

Aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung  
der Georg-August-Universität Göttingen

---

**Untersuchungen und Kalkulationstabellen zur Schätzung  
der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau  
von *Lupinus albus* und *Lupinus luteus* in Reinsaat  
und von *Vicia faba* und *Pisum sativum* in Reinsaat  
und im Gemenge mit *Avena sativa***

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. sc. agr.)  
der Fakultät für Agrarwissenschaften  
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von  
**Britta Jost**  
aus Rheinhausen j. Duisburg

Göttingen, im Juli 2003

D 7

1. Referent: Prof. Dr. Rauber  
2. Referent: Prof. Dr. Becker

Tag der mündlichen Prüfung: 11. Juli 2003

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>4</b>
2.1	<b>Die Naturräume.....</b>	<b>5</b>
2.1.1	Standort Borwede .....	9
2.1.2	Standort Föhrste .....	13
2.1.3	Standort Göttingen.....	18
2.1.4	Standort Groß Malchau.....	23
2.2	<b>Die Prüfglieder .....</b>	<b>27</b>
2.3	<b>Die Versuchsanlagen .....</b>	<b>29</b>
2.3.1	Borwede .....	30
2.3.2	Föhrste .....	31
2.3.3	Göttingen.....	31
2.3.4	Groß Malchau .....	32
2.4	<b>Untersuchungen am ober- und unterirdischen Pflanzenmaterial .....</b>	<b>33</b>
2.4.1	Beerntung der Sprossmasse .....	33
2.4.2	Beprobung der Wurzelmasse .....	34
2.4.3	Aufarbeitung der Pflanzenproben .....	34
2.4.4	Aufarbeitung der Wurzelproben .....	35
2.4.5	Schätzung der Wurzeltrockenmasse .....	35
2.4.6	Pflanzenanalyse.....	41
2.4.7	Schätzung der von den Körnerleguminosen fixierten N-Menge .....	42
2.5	<b>Mineralischer Stickstoff im Boden .....</b>	<b>45</b>
2.6	<b>Bodenphysikalische Methoden .....</b>	<b>46</b>
2.7	<b>Bodenchemische Methoden.....</b>	<b>47</b>
2.8	<b>Statistik.....</b>	<b>48</b>
<b>3</b>	<b>KALKULATIONSVERFAHREN ZUR BERECHNUNG DER N-FLÄCHEN- BILANZ BEI KÖRNERLEGUMINOSEN .....</b>	<b>49</b>
3.1	<b>Beispielrechnung zur Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und des N-Flächen- bilanzsaldos beim Anbau von Körnerleguminosen .....</b>	<b>49</b>
3.2	<b>Zur Stickstoff-Rhizodeposition von Körnerleguminosen .....</b>	<b>51</b>

**4 ANBAU VON KÖRNERLEGUMINOSEN ZUR KÖRNERNUTZUNG –  
ERTRAGS- UND STICKSTOFFDATEN DER PRÜFGLIEDER IN REINSAAT 54**

<b>4.1</b>	<b>Isotopenfraktionierung der geprüften Arten und Sorten.....</b>	<b>55</b>
<b>4.2</b>	<b>Trockenmasseerträge von <i>Vicia faba</i>.....</b>	<b>56</b>
4.2.1	Dreifaktorielle Prüfung der Mittelwerte der Sorten .....	56
4.2.2	Standort Borwede.....	57
4.2.3	Standort Föhrste.....	58
4.2.4	Standort Göttingen .....	59
4.2.5	Standort Groß Malchau .....	60
<b>4.3</b>	<b>Stickstoff-Erträge von <i>Vicia faba</i>.....</b>	<b>61</b>
4.3.1	Dreifaktorielle Prüfung.....	61
4.3.2	Standort Borwede.....	63
4.3.3	Standort Föhrste.....	64
4.3.4	Standort Göttingen .....	66
4.3.5	Standort Groß Malchau .....	67
<b>4.4</b>	<b>Stickstoff-Quellen von <i>Vicia faba</i>.....</b>	<b>69</b>
4.4.1	Dreifaktorielle Prüfung.....	69
4.4.2	Standort Borwede.....	70
4.4.3	Standort Föhrste.....	72
4.4.4	Standort Göttingen .....	73
4.4.5	Standort Groß Malchau .....	74
<b>4.5</b>	<b>Vergleich der mit Hilfe von <math>\delta^{15}\text{N}</math>- und erweiterter Differenzmethode ermittelten N<sub>2</sub>-Fixierung bei <i>Vicia faba</i> .....</b>	<b>75</b>
<b>4.6</b>	<b>Trockenmasseerträge von <i>Pisum sativum</i> zur Nutzung als Grünspeiseerbse.....</b>	<b>77</b>
4.6.1	Standort Borwede.....	78
4.6.2	Standort Föhrste.....	78
4.6.3	Standort Göttingen .....	79
4.6.4	Standort Groß Malchau .....	80
<b>4.7</b>	<b>Stickstoff-Erträge bei <i>Pisum sativum</i> zur Nutzung als Grünspeiseerbse .....</b>	<b>81</b>
4.7.1	Standort Borwede.....	82
4.7.2	Standort Föhrste.....	83
4.7.3	Standort Göttingen .....	85
4.7.4	Standort Groß Malchau .....	86
<b>4.8</b>	<b>Stickstoff-Quellen von <i>Pisum sativum</i> zur Nutzung als Grünspeiseerbse .....</b>	<b>88</b>
4.8.1	Zweifaktorielle Varianzanalyse.....	88
4.8.2	Standort Borwede.....	89
4.8.3	Standort Föhrste.....	90
4.8.4	Standort Göttingen .....	90
4.8.5	Standort Groß Malchau .....	91
<b>4.9</b>	<b>Vergleich der mit Hilfe von <math>\delta^{15}\text{N}</math>- und erweiterter Differenzmethode ermittelten N<sub>2</sub>-Fixierung bei <i>Pisum sativum</i> zur Nutzung als Grünspeiseerbse .....</b>	<b>92</b>
<b>4.10</b>	<b>Trockenmasseerträge von <i>Pisum sativum</i> zur Nutzung als Körnererbse.....</b>	<b>94</b>



4.10.1	Dreifaktorielle Varianzanalyse .....	94
4.10.2	Standort Borwede .....	95
4.10.3	Standort Föhrste .....	96
4.10.4	Standort Göttingen.....	97
4.10.5	Standort Groß Malchau.....	98
<b>4.11</b>	<b>Stickstoff-Erträge von <i>Pisum sativum</i> zur Nutzung als Körnererbse.....</b>	<b>99</b>
4.11.1	Dreifaktorielle Varianzanalyse .....	99
4.11.2	Standort Borwede .....	101
4.11.3	Standort Föhrste .....	102
4.11.4	Standort Göttingen.....	104
4.11.5	Standort Groß Malchau.....	105
<b>4.12</b>	<b>Stickstoff-Quellen von <i>Pisum sativum</i> zur Nutzung als Körnererbse .....</b>	<b>107</b>
4.12.1	Dreifaktorielle Varianzanalyse .....	107
4.12.2	Standort Borwede .....	108
4.12.3	Standort Föhrste .....	109
4.12.4	Standort Göttingen.....	110
4.12.5	Standort Groß Malchau.....	111
<b>4.13</b>	<b>Vergleich der mit Hilfe von <math>\delta^{15}\text{N}</math>- und erweiterter Differenzmethode ermittelten <math>\text{N}_2</math>-Fixierung bei <i>Pisum sativum</i> zur Nutzung als Körnererbse.....</b>	<b>112</b>
<b>4.14</b>	<b>Trockenmasseerträge von <i>Lupinus albus</i> .....</b>	<b>114</b>
4.14.1	Standort Borwede .....	115
4.14.2	Standort Föhrste .....	116
4.14.3	Standort Göttingen.....	117
4.14.4	Standort Groß Malchau.....	118
<b>4.15</b>	<b>Stickstoff-Erträge von <i>Lupinus albus</i> .....</b>	<b>119</b>
4.15.1	Standort Borwede .....	120
4.15.2	Standort Föhrste .....	122
4.15.3	Standort Göttingen.....	123
4.15.4	Standort Groß Malchau.....	124
<b>4.16</b>	<b>Stickstoff-Quellen von <i>Lupinus albus</i>.....</b>	<b>126</b>
4.16.1	Dreifaktorielle Varianzanalyse .....	126
4.16.2	Standort Borwede .....	127
4.16.3	Standort Föhrste .....	128
4.16.4	Standort Göttingen.....	129
4.16.5	Standort Groß Malchau.....	130
<b>4.17</b>	<b>Vergleich der mit Hilfe von <math>\delta^{15}\text{N}</math>- und erweiterter Differenzmethode ermittelten <math>\text{N}_2</math>-Fixierung bei <i>Lupinus albus</i> .....</b>	<b>131</b>
<b>4.18</b>	<b>Trockenmasse-Erträge von <i>Lupinus luteus</i> .....</b>	<b>132</b>
4.18.1	Standort Borwede .....	132
4.18.2	Standort Groß Malchau.....	133
<b>4.19</b>	<b>Stickstoff-Erträge von <i>Lupinus luteus</i> .....</b>	<b>134</b>
4.19.1	Standort Borwede .....	134
4.19.2	Standort Groß Malchau.....	135

<b>4.20</b>	<b>Stickstoff-Quellen von <i>Lupinus luteus</i></b> .....	<b>137</b>
4.20.1	Standort Borwede.....	137
4.20.2	Standort Groß Malchau .....	138
<b>4.21</b>	<b>Vergleich der mit Hilfe von <math>\delta^{15}\text{N}</math>- und erweiterter Differenzmethode ermittelten <math>\text{N}_2</math>-Fixierung bei <i>Lupinus luteus</i></b> .....	<b>139</b>
<b>5</b>	<b>KÖRNERLEGUMINOSEN IM GEMENGEANBAU – ERTRAGS- UND STICKSTOFFDATEN DES ACKERBOHNE/HAFER-GEMENGES UND DES ERBSE/HAFER-GEMENGES IN DEN NUTZUNGSVARIANTEN GANZPFLANZENSILAGE (GPS) UND KÖRNERNUTZUNG (KN)</b> .....	<b>140</b>
<b>5.1</b>	<b>Trockenmasse-Erträge des Ackerbohne/Hafer-Gemenges</b> .....	<b>140</b>
5.1.1	Zweifaktorielle Varianzanalyse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS).....	141
5.1.2	Zweifaktorielle Varianzanalyse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Körner-nutzung (KN) .....	143
5.1.3	Standort Borwede.....	145
5.1.4	Standort Föhrste.....	146
5.1.5	Standort Göttingen .....	148
5.1.6	Standort Groß Malchau .....	150
<b>5.2</b>	<b>Stickstoff-Erträge des Ackerbohne/Hafer-Gemenges</b> .....	<b>151</b>
5.2.1	Zweifaktorielle Varianzanalyse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS).....	151
5.2.2	Zweifaktorielle Varianzanalyse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Körner-nutzung (KN) .....	153
5.2.3	Standort Borwede.....	155
5.2.4	Standort Föhrste.....	157
5.2.5	Standort Göttingen .....	159
5.2.6	Standort Groß Malchau .....	162
<b>5.3</b>	<b>Stickstoff-Quellen des Ackerbohne/Hafer-Gemenges</b> .....	<b>164</b>
5.3.1	Zweifaktorielle Varianzanalyse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN) .....	164
5.3.2	Standort Borwede.....	165
5.3.3	Standort Föhrste.....	166
5.3.4	Standort Göttingen .....	167
5.3.5	Standort Groß Malchau .....	168
<b>5.4</b>	<b>Vergleich der mit Hilfe von <math>\delta^{15}\text{N}</math>- und erweiterter Differenzmethode ermittelten <math>\text{N}_2</math>-Fixierung des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN)</b> .....	<b>170</b>
<b>5.5</b>	<b>Trockenmasse-Erträge des Erbse/Hafer-Gemenges</b> .....	<b>172</b>
5.5.1	Zweifaktorielle Varianzanalyse des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS).....	172
5.5.2	Zweifaktorielle Varianzanalyse des Erbse/Hafer-Gemenges zur Körnernutzung (KN) .....	174
5.5.3	Standort Borwede.....	176
5.5.4	Standort Föhrste.....	177
5.5.5	Standort Göttingen .....	178

5.5.6	Standort Groß Malchau.....	180
<b>5.6</b>	<b>Stickstoff-Erträge des Erbse/Hafer-Gemenges .....</b>	<b>181</b>
5.6.1	Zweifaktorielle Varianzanalyse des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) .....	181
5.6.2	Zweifaktorielle Varianzanalyse des Erbse/Hafer-Gemenges zur Körnernutzung (KN) .....	182
5.6.3	Standort Borwede .....	184
5.6.4	Standort Föhrste .....	186
5.6.5	Standort Göttingen.....	188
5.6.6	Standort Groß Malchau.....	190
<b>5.7</b>	<b>Stickstoff-Quellen des Erbse/Hafer-Gemenges .....</b>	<b>192</b>
5.7.1	Zweifaktorielle Varianzanalyse des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN) .....	192
5.7.2	Standort Borwede .....	193
5.7.3	Standort Föhrste .....	194
5.7.4	Standort Göttingen.....	195
5.7.5	Standort Groß Malchau.....	196
<b>5.8</b>	<b>Vergleich der mit Hilfe von <math>\delta^{15}\text{N}</math>- und erweiterter Differenzmethode ermittelten <math>\text{N}_2</math>-Fixierung des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN) .....</b>	<b>198</b>
<b>6</b>	<b>ERGEBNISSE DER STICKSTOFF-FLÄCHENBILANZIERUNG DER PRÜFGLIEDER .....</b>	<b>200</b>
6.1	Stickstoff-Flächenbilanzsalden der geprüften Arten in Reinsaat .....	200
6.2	Stickstoff-Flächenbilanzsalden des Ackerbohne/Hafer- bzw. des Erbse/Hafer-Gemenges .....	208
6.2.1	Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzen-silage (GPS) und zur Körnernutzung (KN) .....	208
6.2.2	Erbse/Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN).....	210
<b>7</b>	<b>ERGEBNISSE DER REGRESSIONSANALYSE DER PRÜFGLIEDER IN REINSAAT .....</b>	<b>212</b>
7.1	Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der erweiterten Stickstoff-Flächenbilanz bei <i>Vicia faba</i> .....	212
7.2	Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der erweiterten Stickstoff-Flächenbilanz <i>Pisum sativum</i> zur Nutzung als Grünspeiseerbse .....	215
7.3	Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der erweiterten Stickstoff-Flächenbilanz bei <i>Pisum sativum</i> zur Nutzung als Körnererbse .....	217
7.4	Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der erweiterten Stickstoff-Flächenbilanz bei <i>Lupinus albus</i> .....	219

7.5	Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der erweiterten Stickstoff-Flächenbilanz bei <i>Lupinus luteus</i> .....	223
<b>8</b>	<b>ERGEBNISSE DER REGRESSIONSANALYSE DES ACKERBOHNE/ HAFER- UND DES ERBSE/HAFER-GEMENGES.....</b>	<b>225</b>
8.1	Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der Teil-N-Flächenbilanzen des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS).....	225
8.2	Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der Teil-N-Flächenbilanzen des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Körnernutzung (KN).....	230
8.3	Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der Teil-N-Flächenbilanzen des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS).....	235
8.4	Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der Teil-N-Flächenbilanzen des Erbse/Hafer-Gemenges zur Körnernutzung (KN).....	240
<b>9</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>244</b>
9.1	Wahl der Referenzpflanzen.....	245
9.2	Isotopenfraktionierung .....	247
9.3	Güte der Regressionskoeffizienten als Qualitätsmerkmal der Modellrechnungen.....	248
9.4	Vergleich von $\delta^{15}\text{N}$ - und erweiterter Differenzmethode zur Schätzung der $\text{N}_2$ -Fixierleistung .....	250
9.5	Trockenmasse- und Stickstoff-Mengen .....	254
9.5.1	Einfluss des Niederschlags auf verschiedene Ertragsparameter .....	259
9.5.2	Stickstoff-Mengen der Wurzeln .....	261
9.5.3	Stickstoff-Anteile aus Fixierung und Boden .....	265
9.6	Stickstoff-Angebot und residuale $\text{N}_{\text{min}}$ -Mengen im Boden sowie Stickstoff-Rhizodeposition.....	270
9.7	Stickstoff-Verluste beim Anbau von Körnerleguminosen.....	274
9.8	Stickstoff-Transfer beim Anbau von <i>Vicia faba</i> bzw. <i>Pisum sativum</i> im Gemenge mit <i>Avena sativa</i> .....	275
9.9	Möglichkeiten und Grenzen des Kalkulationsmodells .....	277
9.10	Kalkulationsverfahren zur Schätzung des N-Flächenbilanzsaldos.....	279
<b>10</b>	<b>AUSBLICK .....</b>	<b>284</b>
<b>11</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>286</b>

<b>12</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>289</b>
<b>13</b>	<b>LITERATUR .....</b>	<b>292</b>
<b>14</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>301</b>









## 1 Einleitung

Stickstoff-Flächenbilanzen sind in der landwirtschaftlichen Anbau- und Düngeberatung anerkannte Verfahren beim Anbau von Nichtleguminosen. Hingegen sind die gesamt-pflanzlichen N-Gehalte und N-Flüsse beim Anbau von Körnerleguminosen durch Untersuchungen bisher nur unzureichend abgesichert. Auch stellte STÖCKMANN-BECKER (1998) in Umfragen Lücken in der Fachberatung fest.

Ziel dieser Arbeit war es deshalb,

- eine nach Leguminosenart und -sorte, Standort und Nutzungsvariante differenzierte Datengrundlage zu erstellen, mit deren Hilfe Kalkulationsverfahren zur Ermittlung der  $N_2$ -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz beim Anbau von Körnerleguminosen abgeleitet werden können und
- eine Grundlage zu schaffen, um die Auswirkungen des Leguminosenanbaus auf N-Flüsse standortbezogen quantifizieren zu können, so dass die Entwicklung und Einführung neuer leguminosenbasierter, umweltentlastender Anbausysteme gefördert wird.

Der Anbau von Körnerleguminosen dient in erweiterten Fruchtfolgen u.a. der Substitution mineralischer Stickstoffdünger. Zur Bereitstellung mineralischer Stickstoffdüngemittel wird derzeit im Mittel für Synthese, Transport und Ausbringung eine Energie in Höhe von 49,1 MJ je kg N (PATYK et al. 1997) aufgewendet. Diese Energie stammt vorrangig aus der Verbrennung fossiler Energieträger, wodurch in der Regel eine Emission von 2984 g  $CO_2$  je kg N verbunden ist. Aus Berechnungen von HAAS et al. (1995) geht hervor, dass in der pflanzlichen Erzeugung der Bundesrepublik Deutschland 36,9 % des Bedarfs an fossiler Energie allein für die Bereitstellung mineralischer N-Düngemittel benötigt werden. Die Bereitstellung mineralischer Stickstoffdünger führt nach PATYK et al. (1997) zu einer Belastung der Atmosphäre mit klimarelevanten Spurengasen ( $CO_2$ ,  $N_2O$ ,  $CH_4$ ), die einer Emission in Höhe von 7820 g  $kg^{-1}$  N äquivalent ist.

Ackerbaulich lässt sich der natürliche Weg der Stickstoffassimilation über den Anbau von Futter- und Körnerleguminosen nutzen (SCHMIDTKE 1997a). Symbiotisch fixierter Stickstoff fällt als Koppelprodukt im Zuge des Anbaus von Leguminosen an. Die für die Reduktion des molekularen Luftstickstoffs zu pflanzenverfügbaren Stickstoffverbindungen benötigte Energie ist aus Photosyntheseprodukten der Pflanze regenerativ über die Nutzung der Energie des Sonnenlichts verfügbar (GUTSCHICK 1980, LAYZELL & MOLONEY 1994). Bei einem jährlichen Verbrauch von mineralischen N-Düngemitteln in Höhe von ca. 1,85 Mio t im Jahr 2000 in der Bundesrepublik

Deutschland (FAO 2003) ließe sich deshalb im Land- und Gartenbau eine deutliche Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen und Senkung der N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen über eine Substitution mineralischer Stickstoffdüngemittel durch Nutzung der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierung von Leguminosen erzielen.

Die Förderung des Körnerleguminosenanbaus erfolgt auf der Ebene der Europäischen Union (EU) seit 1978. Der Anbau stieg dank verschiedener Anstrengungen wie der Garantie von Mindestpreisen und flächenbezogenen Förderprämien, stagniert aber seit dem Anfang der neunziger Jahre. Rund ein Viertel des Gesamtverbrauchs an Körnerleguminosen wird von Ländern außerhalb der EU importiert (MARGGRAF et al. 1996). STÖCKMANN-BECKER formulierte 1998 nach einer Praktikerbefragung, dass bei den Leguminosenanbauern ein großer Aufklärungsbedarf hinsichtlich eines bewussten Umgangs mit N-Düngern besteht. Ebenso bedarf es weiterer Aufklärung der nach Leguminosenanbau möglichen Freisetzung von Nitratstickstoff. Ferner könnte durch interessenfreie und kompetente Beratung eine Optimierung der verschiedenen Anbaufaktoren erreicht und damit die Kompetenz und Akzeptanz für den Leguminosenanbau gesteigert werden.

In dieser Arbeit wird sowohl die theoretische Grundlage in Form einer breiten Datenbasis als auch die Überführung der Daten in ein Praxismodell vorgenommen. Durch die Anwendung der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode zur Bestimmung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung der Körnerleguminosen sollen die Stickstoffflüsse zwischen Atmosphäre, Boden und Pflanze beim Anbau von Körnerleguminosen genau nachvollzogen und die Voraussetzungen für eine exakte N-Bilanzierung verbessert werden. Auf Basis dieser Erhebungen werden N-Flächenbilanzen für die mit Körnerleguminosen bestellten Nutzflächen berechnet und über spezielle statistische Methoden erweiterte Schätzverfahren entwickelt. Die symbiotisch fixierte N-Menge und der N-Flächenbilanzsaldo wird differenziert nach der jeweiligen Körnerleguminosenart Nutzungsvariante abgeleitet.

Das nach SCHMIDTKE (2001) entwickelte Schätzverfahren zur Ermittlung der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung und N-Flächenbilanz ist so aufbereitet, dass es direkt in die land- und wasserwirtschaftliche Fachberatung einfließen kann. So können im Zuge der Beratung Wirkungen des Leguminosenanbaus auf N-Flüsse standortbezogen quantifiziert und hierdurch die Einführung neuer leguminosenbasierter, umweltentlastender Anbausysteme gefördert werden.

Die vorliegende Arbeit zur N<sub>2</sub>-Fixierleistung verschiedener Körnerleguminosen an unterschiedlichen Standorten in Niedersachsen stellt die während des dreijährigen Projektes durchgeführten Untersuchungen, Verfahren und Ergebnisse dar. Die schriftliche Ausarbeitung gliedert sich in einen ausführlichen Material- und Methodenteil, an den sich die Beschreibungen der Ergebnisse anschließen. Hierbei werden sowohl die Trockenmasse- und Stickstoff-Ergebnisse als auch die statistische Überprüfung mit Hilfe von ein-, zwei- und dreifaktorieller Varianzanalyse der Daten be-

schrieben. Aus diesen Daten lassen sich regressionsanalytisch gute Beziehungen zwischen Korn-Trockenmasse-Ertrag zu Korn-N-Ertrag und gesampflanzlicher N-Menge ableiten. Diese Daten eignen sich sehr gut zu der angestrebten Modellbildung zur Ableitung der N<sub>2</sub>-Fixierung und N-Flächenbilanz der untersuchten Körnerleguminosen. Im Anhang befinden sich die ausführlichen Tabellen der untersuchten Ertragsparameter. Des Weiteren werden die für die landwirtschaftliche Fachberatung und Praxis entwickelten Kalkulationstabellen zur N<sub>2</sub>-Fixierung und N-Flächenbilanz im Ergebnisteil detailliert erläutert und eingeführt. Die ausführlichen Kalkulationstabellen sind im Anhang beigefügt.

## 2 Material und Methoden

Die dreifaktoriellen Feldversuche wurden in den Vegetationsperioden der Jahre 1999 bis 2001 durchgeführt. Die Versuchskonzeption beinhaltete die Untersuchung verschiedener Körnerleguminosenarten und -sorten auf Standorten in unterschiedlichen naturräumlichen Gegebenheiten Niedersachsens (Abb. 1). Ziel der Untersuchungen war es festzustellen, wie stark sich die  $N_2$ -Fixierleistung der einzelnen Arten und Sorten unter den naturräumlichen Gegebenheiten unterscheidet, um die Genauigkeit der zu schätzenden Stickstoff-Flächenbilanzen für die land- und wasserwirtschaftliche Beratung zu erhöhen. Die Untersuchungen sollten die Leistungsfähigkeit der einzelnen Bestände unter den gegebenen Standorteigenschaften erfassen. Neben den Bodenparametern ließen insbesondere Temperatur und Niederschläge einen Einfluss auf die Ertragsleistung und somit auf die  $N_2$ -Fixierleistung der einzelnen Arten erwarten.



Abb. 1: Lage der Untersuchungsstandorte aus der Versuchsreihe zur Schätzung der  $N_2$ -Fixierleistung verschiedener Körnerleguminosen auf unterschiedlichen Standorten Niedersachsens

## 2.1 Die Naturräume

Niedersachsen umfasst sehr unterschiedliche geologische Einheiten und vielfältige Landschaften mit drei Hauptlandschaften: Nordseeraum, Geest und Bergland, die durch quartäre Vorgänge geschaffen oder umgestaltet worden sind (BENDA 1995). Die quartären Sedimente der Mittelgebirge, der Flussterrassen und -täler und des Flachlandes werden vielseitig ackerbaulich genutzt, ebenso wie die durch Meliorationsmaßnahmen kultivierten Moore. Die Wahl der Untersuchungsstandorte wurde so vorgenommen, dass pedologisch wie klimatisch die Bedingungen für das Wachstum der Bestände an den Untersuchungsstandorten deutlich voneinander verschieden waren.

Tab. 1: Allgemeine Beschreibung der pedologischen und klimatologischen Verhältnisse

Standort	Borwede	Föhrste	Göttingen	Groß Malchau
Landkreis	Diepholz	Hildesheim	Göttingen	Uelzen
Bodenherkunft	pleistozäne Sande	lössbürtig	lössbürtiges Auenkolluvium	pleistozäne Sande
Bodenzahl	55	65	85	16
Niederschläge im langj. Mittel [mm]	713	825	647	567
Temperatur im langj. Mittel [°C]	8,7	8,2	8,7	8,6

Anhand der Zusammenstellung der Daten in Tab. 1 und Abb. 2 werden die Faktoren verdeutlicht, deren Einfluss auf die Ertragsbildung und N<sub>2</sub>-Fixierung durch die Untersuchungen dieses Projektes herausgearbeitet werden sollen. Besonders ausgeprägt waren die Unterschiede in den Bodenwertzahlen, die zwischen 16 in Groß Malchau und 85 in Göttingen lagen. Die langjährigen Jahresmitteltemperaturen lagen in Groß Malchau bei 8,4 °C, in Göttingen bei 8,9 °C. Die langjährigen Mittel der Niederschläge variierten zwischen 618 mm in Groß Malchau und 750 mm in Föhrste. Bei der Verteilung der Niederschläge im langjährigen Monatsmittel (Abb. 2) fallen besonders die ausgeprägten Frühjahrs- und Sommerniederschläge am Standort Föhrste von 106 mm im Mai bis 77 mm im August auf. Der Standort mit den geringsten Niederschlagsverhältnissen während der empfindlichen Frühjahrsentwicklung der Pflanzen war Groß Malchau mit Niederschlagsmengen im langjährigen Monatsmittel zwischen 36 mm im März und 61 mm im Juli.

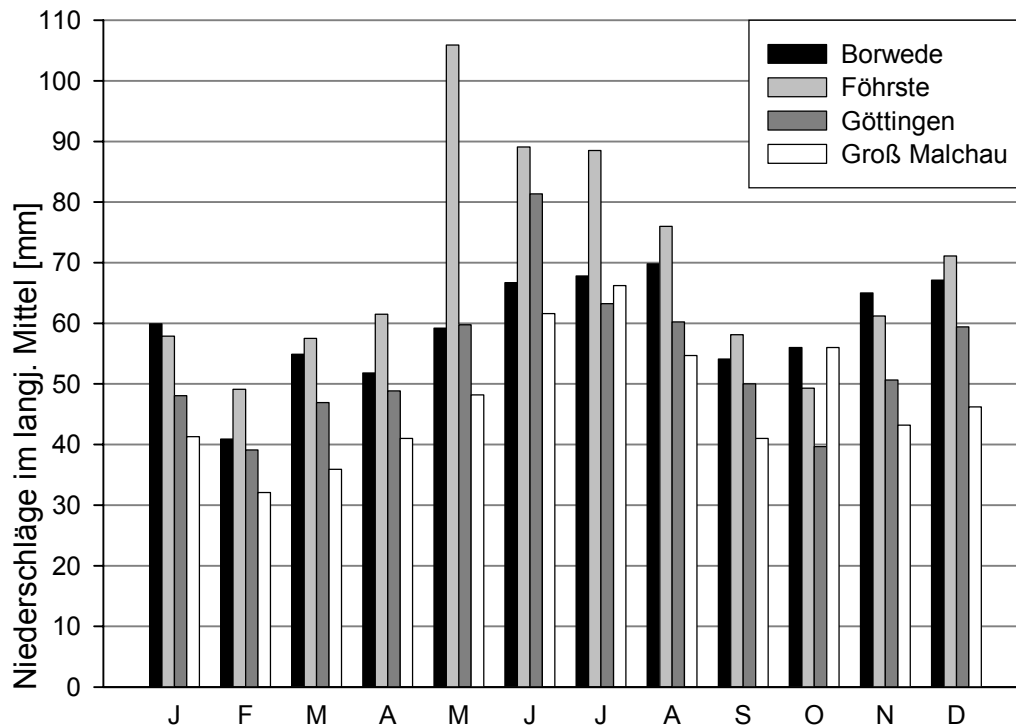


Abb. 2: Niederschläge im langjährigen Monatsmittel an den einzelnen Untersuchungsstandorten

Durch das Aufsummieren der einzelnen Niederschläge einer Vegetationsperiode bezogen auf Prüfglieder am Standort eines Versuchsjahres (Tab. 2) wird deutlich, welchen Schwankungen in der Wasserversorgung die einzelnen Arten auf den verschiedenen Standorten über die drei Versuchsjahre ausgesetzt waren. Die Werte in den Klammern vermitteln die Differenzen der Niederschlagssummen zu den Summen der Monatsniederschläge im langjährigen Mittel. Die Niederschlagsmenge erreichte am Standort Borwede zwischen März und September zwischen 399 mm und 559 mm. Am Standort Föhrste lagen die berechneten Differenzen der Wachstumsperioden in allen Jahren unter dem der langjährigen Mittelwerte. Hier muss darauf verwiesen werden, dass für den Standort Föhrste keine Daten zur Verfügung standen. Die Monatswerte stammen von der 30 km südlich von Föhrste gelegenen Station Northeim-Höckelheim. Von dieser Station existieren noch keine Daten zu den langjährigen Monatsmittel der Niederschläge und Temperaturen. Diese wurden durch Werte des DWD (Mittelwerte der räumlich nächsten Stationen, s.a. Kap. 2.1.2.1) ersetzt. Die Niederschlagssummen am Standort Göttingen sind über die Jahre für die einzelnen Erntetermine relativ konstant. Die Abweichungen zu den Summen der langjährigen Monatsmittel schwankt zwischen  $-50$  und  $+26$  mm. In Groß Malchau blieben die Niederschlagssummen zu allen Terminen niedriger als an den anderen Standorten und waren im Jahr 2001 mit 394 mm zwischen März und September am höchsten. In den Untersuchungsjahren 1999 bis 2001 waren die Niederschläge zu allen Terminen niedriger als die Summen der langjährigen Monatsmittel.

Tab. 2: Summe der Monatsniederschläge an den vier Untersuchungsstandorten relevant für die unterschiedliche Dauer der Vegetationsperiode der geprüften Arten aus den Untersuchungsjahren 1999 bis 2001 (Differenz zur Summe der langjährigen Monatsmittel)

Monatsniederschläge	Borwede			Föhrste			Göttingen			Groß Malchau		
	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001
03. - 06. <sup>1</sup>	227,7 (-5)	238,6 (+4)	306,3 (+74)	172,9 (-141)	202,6 (-111)	174,7 (-139)	201,0 (-36)	219,0 (-18)	223,0 (-14)	161,1 (-26)	121,3 (-65,4)	126,4 (-60)
03. - 07. <sup>2</sup>	271,2 (-29)	328,1 (+28)	332,4 (+32)	240,8 (-162)	292,6 (-110)	248,9 (-154)	253,0 (-47)	274,0 (+26)	292,0 (-8,1)	206,3 (-47)	235,1 (-18)	194,2 (-59)
03. - 08. <sup>3</sup>	337,9 (-32)	414,4 (+44)	404,1 (+34)	317,9 (-161)	350,0 (-129)	300,3 (-178)	341,0 (-19)	327,0 (-33)	340,0 (-20)	282,2 (-25)	282,5 (-25)	250,5 (-57)
03. - 09. <sup>4</sup>	399,3 (-24)	480,2 (+56)	559,4 (+135)	367,8 (-169)	390,9 (-146)	407,4 (-129)	374,0 (-36)	360,0 (-50)	432,0 (+22)	282,2 (-66)	337,3 (-11)	393,9 (-45)

Niederschlagssumme der Vegetationsperioden der Prüfglieder <sup>1</sup>Grünspeiseerbse, Erbse/Hafer- und Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Ganzpflanzensilage; <sup>2</sup>Erbse und Erbse/Hafer-Gemenge zur Körnernutzung <sup>3</sup>Ackerbohne und Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Körnernutzung <sup>4</sup>Weißer und Gelber Lupine zur Körnernutzung.

In Tab. 3 sind Ergebnisse zu den Untersuchungen der pH-Werte und der Grundnährstoffsituation im Boden der Standorte zusammengefasst. Die pH-Werte der Untersuchungsflächen in Borwede und Groß Malchau sind als mittel sauer einzustufen, die Fläche im zweiten und dritten Untersuchungsjahr am Standort Föhrste wiesen sehr schwach saure Verhältnisse auf. Der pH-Wert des Bodens am Standort Föhrste im ersten Jahr (1999) und die pH-Situation in Göttingen mit pH-Werten < 7 werden als sehr schwach alkalisch bewertet (nach AG BODEN 1994). Die K<sub>2</sub>O-Versorgung war nach den Gehaltsklassen der LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER (1998) unter Berücksichtigung des Ton- und Humusgehaltes auf allen Standorten als hoch zu bewerten. Die verfügbaren Phosphor-Gehalte (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) im Boden lagen in Borwede, Föhrste und Göttingen in der sehr hohen Gehaltsklasse, in Groß Malchau in der optimalen. Die Versorgung mit Magnesium war in Borwede hoch und in Föhrste auf beiden Flächen, in Göttingen sowie in Groß Malchau optimal (Tab. 3).

Tab. 3: pH-Wert und Grundnährstoffversorgung der Böden auf den Untersuchungsflächen in 0 bis 25 cm Tiefe

	pH-Wert <sup>1</sup>	K <sub>2</sub> O (mg/100g) <sup>2</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g) <sup>2</sup>	Mg (mg/100g) <sup>3</sup>
Borwede	5,5	14,8	24,5	9,9
Föhrste (1999)	7,1	15,5	22,3	9,0
Föhrste (2000-2001)	6,7	25,4	24,6	7,1
Göttingen	7,0	23,8	16,6	6,9
Groß Malchau	6,0	9,9	12,4	5,4

<sup>1</sup>in 0,01 mol/l CaCl<sub>2</sub>, <sup>2</sup>CAL-Methode, <sup>3</sup>0,025 mol/l CaCl<sub>2</sub>

Tab. 4: Die effektive Kationenaustauschkapazität  $KAK_{\text{eff}}$  der Untersuchungsstandorte

Standort	Tiefe cm	$KAK_{\text{eff}}$ mmol <sub>c</sub> /100g cmol <sub>c</sub> /kg <sup>1</sup>	Bewertung	S-Wert mmol <sub>c</sub> /100g cmol <sub>c</sub> /kg <sup>2</sup>	Bewertung	BS [%] <sup>2</sup>
Borwede	0-25	8,03	gering	7,93	gering	98,75
	25-50	4,74	s. gering	4,52	s. gering	95,43
Föhrste	0-25	16,41	mäßig	16,28	mäßig	99,23
	25-50	12,19	mäßig	12,09	mäßig	99,18
Göttingen	0-25	17,67	mäßig	17,58	mäßig	99,49
	25-50	17,41	mäßig	17,31	mäßig	99,44
Groß Malchau	0-25	5,74	gering	5,60	gering	97,56
	25-50	2,80	s. gering	2,68	s. gering	95,71

<sup>1</sup>nach LÜER & BÖHMER (2000), <sup>2</sup>nach AG BODEN (1994)

Die effektive Kationenaustauschkapazität  $KAK_{\text{eff}}$  ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{H}^+$ ) eines Bodens ist abhängig von der potentiellen Austauschkapazität  $KAK_{\text{pot}}$  eines Mineralbodens, dem Humusgehalt und dem aktuellen pH-Wert und beschreibt die Fähigkeit, Kationen und andere Stoffe im Kreislauf Boden-Pflanze zu halten (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989). Der S-Wert ist die Menge der basischen Kationen ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ) der  $KAK_{\text{eff}}$ . Das Maß für die Basizität eines Bodens (Basensättigung BS) ist der prozentuale Anteil der Kationen am Kationenbelag. Die  $KAK_{\text{eff}}$  ist abhängig von den Bodenkolloiden (< 6  $\mu\text{m}$ ) einschließlich Ton und organischer Substanz. Durch den negativen Ladungsüberschuss dieser Teile nehmen die Werte mit dem Tongehalt der Horizonte zu. Die  $KAK_{\text{eff}}$  und der S-Wert sind auf den sandigen Böden der Standorte Borwede und Groß Malchau als gering bis sehr gering einzustufen (Tab. 4). Mit zunehmendem Ton- und Humusgehalt nehmen die Werte in Föhrste und Göttingen deutlich zu. Sie liegen auf Grund des höheren Humusgehaltes in den Horizonten 0 bis 25 cm auf allen Standorten über den Werten der Horizonte 25 bis 50 cm.



## 2.1.1 Standort Borwede

Der für das Projekt ausgewählte Standort Borwede befindet sich auf den Gauß-Krüger-Koordinaten (GKK) R <sup>34</sup>75300 H <sup>58</sup>49100 nordwestlicher als die anderen Flächen auf pleistozänen Sanden. Die Fläche liegt auf 50 m üNN.

### 2.1.1.1 Klima in Borwede

Die Witterungsdaten der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001 des Standortes Borwede wurden von der Landwirtschaftskammer Hannover zur Verfügung gestellt und wurden vor Ort erhoben. Die Werte der langjährigen Mittel stammen vom Deutschen Wetterdienst von der ca. 30 km westlich gelegenen Station Großenkneten-Ahlhorn. In Tab. 1 sind die Monatsmitteltemperaturen und die langjährigen Mitteltemperaturen dargestellt. Abb. 3 und Abb. 4 zeigen die monatlichen Niederschlagssummen und die Niederschläge im langjährigen Mittel. Im Untersuchungsjahr 1999 lagen die Temperaturen in den Monaten März, April, Juli und September über den Mitteltemperaturen. Im Juni 1999 war es um ein Grad kühler als im Mittel. Die Niederschlagssummen lagen im März 1999 unter denen des langjährigen Mittels. Die Niederschläge von April bis Juli 1999 entsprachen dem langjährigen Mittel. Die hohen Monatsmitteltemperaturen im Juli 1999 gingen mit einer ausgeprägten Trockenheit einher. Die Niederschläge im März 2000 lagen deutlich über den Mittelwerten, im weiteren Verlauf des Frühjahres lagen sie jedoch unter den Mittelwerten. Die Temperaturen im Juli 2000 waren verglichen mit den Mittelwerten relativ niedrig. Es fielen von Juli bis September 2000 überdurchschnittlich hohe Niederschläge. Die Witterungsverhältnisse des Untersuchungsjahres 2001 waren im Frühjahr deutlich feuchter als im Mittel, die Temperaturen lagen im März und April unter den Jahresmitteltemperaturen. Die hohen Niederschläge im Juni waren mit niedrigen Durchschnittstemperaturen verbunden. Im Juli und August 2001 herrschten konstante Trockenheit und Temperaturen über dem langjährigen Mittel.

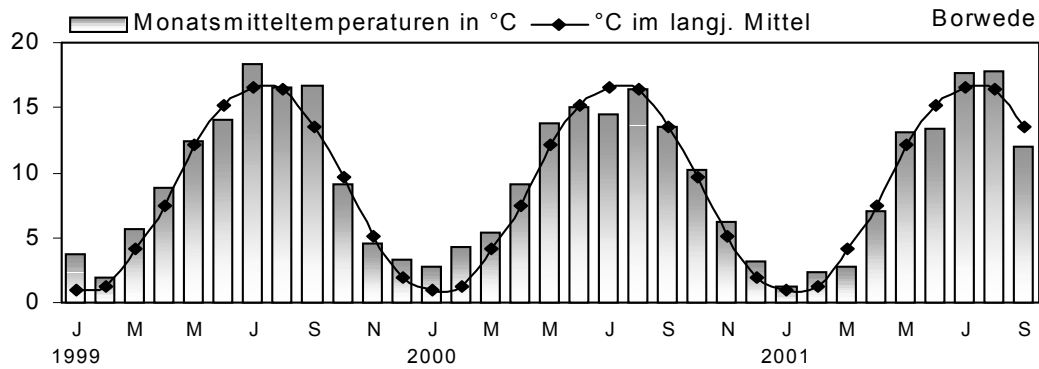


Abb. 3: Monatsmitteltemperaturen im Versuchszeitraum 1999 bis 2001 und im langjährigen Mittel am Versuchsstandort Borwede (langjähriges Mittel der Wetterstation des DWD, Station Großenkneten-Ahlhorn)

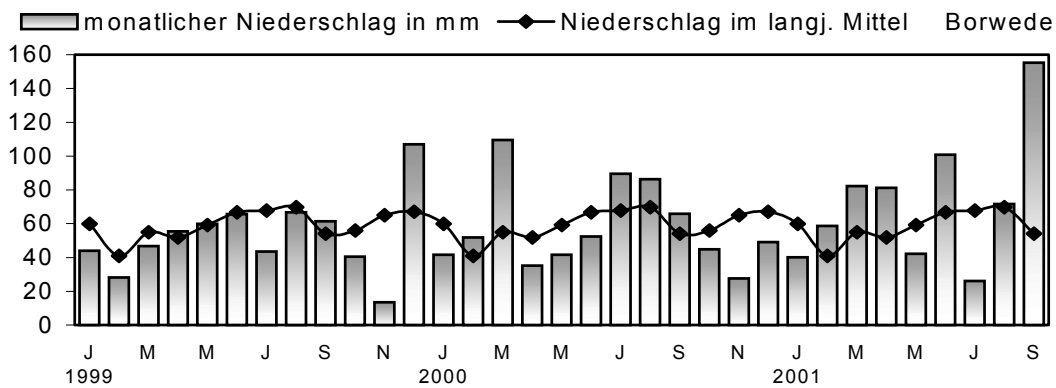


Abb. 4: Monatliche Niederschlagssummen des Versuchszeitraums 1999 bis 2001 und im langjährigen Mittel am Versuchsstandort Borwede (langjähriges Mittel der Wetterstation des DWD, Station Großenkneten-Ahlhorn)

### 2.1.1.2 Boden der Untersuchungsfläche bei Borwede

Der aus pleistozänen Sanden bestehende Boden des Standortes Borwede mit einer Bodenzahl von 55 (s. Tab. 1) bildet hier eine tiefgründige Pseudogley-Braunerde mit einer effektiven Durchwurzelungstiefe von 7 bis 8 dm (nach AG BODEN 1994). Das folgende Profil wurde am 05.04.2001 bei Feldkapazität aufgenommen:

Horizont	Tiefenstufe	Feldbeschreibung des Bodenprofils Borwede
Ap	0 – 34 cm	schwarzer (5 Y 2,5/1-2), mittelhumoser sandiger Schluff, stark durchwurzelt mit Krümelgefüge im oberen Bereich, nach 20 cm und Übergang zu Bröckelgefüge
Sw-Bhv	34 – 42 cm	dunkelbrauner (10 YR 3/3-5/3), schwach humoser sandiger Schluff, Kohärentgefüge, wenige Regenwurm-Röhren, den Übergang bilden ca. 10 cm tiefe Dreiecke mit leichter Humusanreicherung (evtl. fossiler Ap), Stauchwurzeln deuten eine Krumenbasisverdichtung an
Sw	42 – 75 cm	hell gelblichbrauner (10 YR 6/4), sehr schwach humoser, sandiger Schluff, Kohärentgefüge, im Mittelteil leicht polyedrig (leichte Verdichtung), schwach durchwurzelt mit wenigen Regenwurmängen, Humusanreicherung in alten Röhren
Sd	75 – 102 cm	brauner (7,5 YR 5/4), sehr schwach humoser sandig lehmiger Schluff, Kohärentgefüge, Tonanreicherungshorizont mit Oxidations (eo)- und Reduktionsmerkmalen (rb)
IIC	102 – 120 cm	hell gelblichbrauner (10 YR 6/4), sehr schwach humoser, schwach schluffiger Sand (glazifluviatil) mit einem Kiesanteil von ca. 5 %,

Tab. 5: Bodenchemische (organischer Kohlenstoff  $C_{org-C}$  und Gesamtstickstoffgehalt  $N_t$ ) und bodenphysikalische (Rohdichte des Bodens  $d_B$  und nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums  $nFKWE$ ) Kennwerte des Standortes Borwede

Horizont	Tiefe in cm	$C_{org-C}$ in Gew.-%	$N_t$ in Gew.-%	$C_{org-C}/N_t$ -Verhältnis	$d_B^1$ in $g\ cm^{-3}$	$nFKWE$ in mm
Ap	34	2,41	0,164	14,7	1,23	80,8
Sw-Bhv	42	0,81	0,062	13,0	1,60	17,0
Sw	75	0,46	0,055	8,6	1,43	80,9
Sd	102	0,15	0,020	7,5	1,60	
IIC	120	0,04	0,005	7,7	1,75	Summe:178,7

<sup>1</sup> Rohdichte

Tab. 5 gibt die Ergebnisse der bodenchemischen und –physikalischen Untersuchungen wieder. Die Dichte des Bodens nimmt unter dem Oberboden (bis 34 cm) von 1,2 (geringe Dichte) auf  $1,8\ g\ cm^{-3}$  (hohe Dichte, nach AG BODEN 1994) zu. Die Lagerungsdichte ist in dem IIC-Horizont mit  $1,75\ g\ cm^{-3}$  am größten. Korrelierend mit der Abnahme des  $C_{orgC}$ -Anteils von 2,41 Gew.-% im Oberboden auf 0,04 Gew.-% nehmen auch der  $N_t$ -Gehalt von 0,164 auf 0,005 Gew.-% und  $C_{orgC}/N_t$ -Verhältnis von

14,7 auf 7,7 ab. Das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff im Boden dient der Bewertung organischer Rückstände und der mikrobiellen Zersetzbarkeit. Das  $C_{org}C/N_T$ -Verhältnis im Boden mit Werten zwischen 7,7 bis 14,7 ist als eng zu beurteilen. Beeinflusst durch Substrat, Humusgehalt und Lagerungsdichte liegt die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes nFKWE (bis 75 cm) bei 178,7 mm. Die Austauschhäufigkeit (nach FREDE & DABBERT 1999) berechnet mit den mittleren Winter- und Sommerniederschlägen und auf Grund des Grundwasserspiegels liegt bei 95 %, was bedeutet, dass auf dem Standort mit den gegebenen mittleren Niederschlagswerten ( $713 \text{ mm a}^{-1}$ ) eine sehr geringe Nitratauswaschungsgefahr besteht.

Die aus der Korngrößenanalyse gewonnenen Daten sind in Tab. 6 zusammengefasst. Das Substrat der Untersuchungsfläche in Borwede ist durch einen von 0 bis 75 cm nach unten hin abnehmenden Sandanteil von 39 auf 17 Gew.-% gekennzeichnet. Der darunter liegende Horizont enthält 21 Gew.-% Sand, die Lagen von 0 bis 102 cm Tiefe enthalten zwischen 55 und 75 Gew.-% Schluff und zwischen 6 und 13 Gew.-% Ton. Aufgrund der starken Verschiebung der Feinbodenanteile zu Gunsten des Sandes auf 80 Gew.-% und einer Reduzierung des Schluffanteils auf 17 Gew.-% wird der untere Horizont (102 bis 120 cm) einem eigenen Sedimentationszyklus zugeordnet (IIC). Die Pseudogley-Braunerde ist im Sw- und besonders im Sd-Horizont mit Ton angereichert (13 Gew.-%). Die Pseudovergleyung wird u.a. durch diese Anreicherung hervorgerufen.

Tab. 6: Verteilung der Kornfraktionen des Feinbodens (Äquivalentdurchmesser in  $\mu\text{m}$ ) in Gew.-% am Standort Borwede

Horizont	Bodenart*	Tiefe (cm)	T < 2	fU 2-6,3	mU 6,3-20	gU 20-63	U 2-63	fS > 0,063	mS > 0,2	gS > 0,63	S 63-2000
Ap	Us	34	6,27	2,21	7,53	44,98	54,73	20,22	16,91	1,87	39,00
Sw-Bhv	Us	42	6,41	1,94	7,18	51,52	60,64	17,71	13,17	2,06	32,94
Sw	Us	75	8,36	3,08	9,87	61,60	74,54	10,48	6,00	0,62	17,10
Sd	Uls	102	12,55	1,67	9,13	55,37	66,18	14,05	6,84	0,38	21,27
IIC	Su2	120	3,36	0,44	1,93	14,74	17,11	45,51	32,67	1,36	79,54

\* T – Ton, fU – Feinschluff, mU – mittlerer Schluff, gU – grober Schluff, U – Schluff, fS – feiner Sand, mS – mittlerer Sand, gS – grober Sand, S – Sand

An der Verteilung der Porengrößen des Bodens am Standort Borwede ist eine deutliche Abnahme des Gesamt-Porenvolumens (GPV) unterhalb der Krume (Ap 0 bis 34 cm) zu erkennen (Abb. 5). In dieser Pflugsohle nimmt das GPV von 53 auf knapp 40 Vol.-% ab. Von der Verdichtung sind vor allem die sehr weiten Grobporen (SWGPs) mit einer Reduktion von 12 auf 5,5 Vol.-% und die weiten Grobporen (WGP) von 8 auf 2 Vol.-% betroffen. In dem folgenden Horizont bis 75 cm Tiefe steigt das GPV wieder auf 46 Vol.-% vor allem durch eine Zunahme der SWGP von 5,5 Vol.-%

auf 8,3 Vol.-%, der Weiten Mittelporen (WMP) und Engen Mittelporen (EMP) um etwa 3 Vol.-% an. Die Tiefenstufe von 75 bis 102 cm enthält einen besonders hohen Anteil Totwasservolumens (Feinporen FP 13 Vol.-%) und einen geringen Anteil von 3,6 bis 1,4 Vol.-% der SWGP bis mittleren Grobporen (MGP). Im untersten Horizont von 102 bis 120 cm Tiefe beträgt das GPV nur noch 34 Vol.-% mit SWGP bis engen Grobporen (EGP) von 4 bis 8,5 Vol.-% und FP von 2,4 Vol.-%.

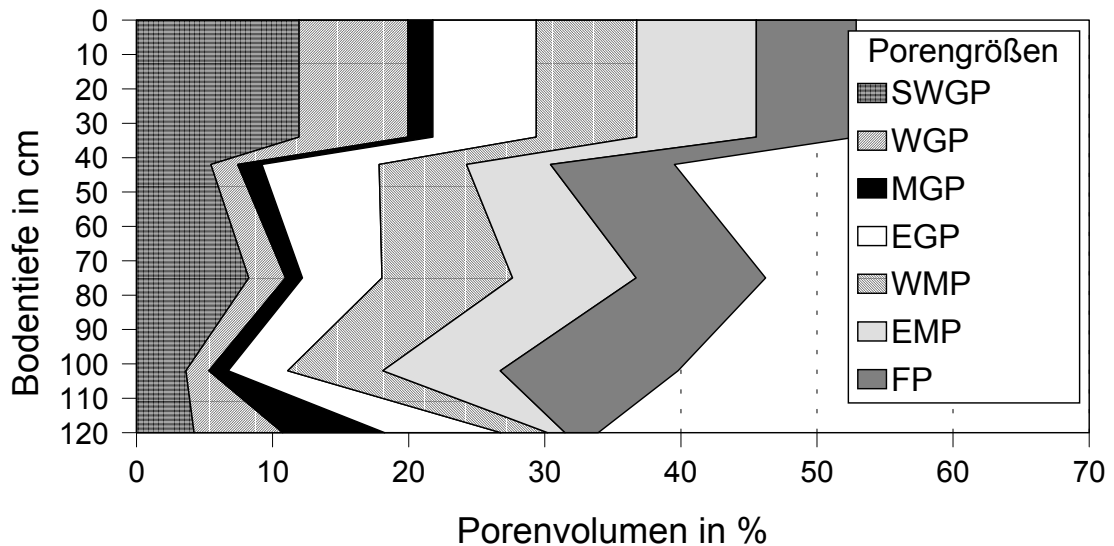


Abb. 5: Porenprofil des Bodens am Standort Borwede:

SWP - sehr weite Grobporen > 120  $\mu\text{m}$ , WGP - weite Grobporen 50-120  $\mu\text{m}$ , MGP - mittlere Grobporen 30-50  $\mu\text{m}$ , EGP - enge Grobporen 10-30  $\mu\text{m}$ , WMP - weite Mittelporen 3-10  $\mu\text{m}$ , EMP - enge Mittelporen 0,2-3  $\mu\text{m}$ , FP - Feinporen < 0,2 $\mu\text{m}$

## 2.1.2 Standort Föhrste

Die im Jahr 1999 genutzte Untersuchungsfläche am Standort Föhrste lag in der Leineue bei GKK R <sup>35</sup>58300 H <sup>57</sup>58600. Diese in der Leineue gelegene Fläche wurde in den Jahren 2000 und 2001 aufgrund der starken Hochwassergefahr durch eine Fläche auf einem höheren Niveau (üNN) getauscht (s. Kap. 2.3.2). Die bodenkundlichen Untersuchungen wurden auf der zweiten Fläche, westlich von Föhrste, 160 m üNN gelegen (GKK 2 R <sup>35</sup>56200 H <sup>57</sup>58500) durchgeführt.

### 2.1.2.1 Klima in Föhrste

Die Landwirtschaftskammer konnte für den Standort Föhrste keine Witterungsdaten zur Verfügung stellen. Die in Abb. 6 und Abb. 7 dargestellten Monatswerte stammen von der 30 km südlich von Föhrste gelegenen Station Northeim-Höckelheim. Da von dort keine langjährigen Monatsmittel der Niederschläge und Temperaturen vorlagen, wurden diese durch Werte des DWD ersetzt. Die beiden dem Standort nächstgelegenen Stationen sind Hildesheim (nördlich) und Seesen (östlich). Aufgrund der engräumigen Verzahnung der Naturräume (Hildesheimer Börde mit kontinentalem Einschlag, Seesen im Harzvorland mit wetterstauender Wirkung, sehr niederschlagsreich), wurden aus den langjährigen Monatsmittelwerten für Niederschlag und Temperatur dieser beiden Stationen ein Mittelwert gebildet und für den Standort Föhrste als Schätzwert des langjährigen Mittels genutzt.

Die warmen Temperaturen während der gesamten Vegetationsperiode des Jahres 1999 lagen an Standort Föhrste 1 bis 2°C über den langjährigen Monatsmitteltemperaturen. Die Kulturen auf den Untersuchungsflächen der Jahre 2000 und 2001 waren auf Grund ihrer Lage 160 m üNN ohne Grundwassereinfluss abhängig von den Niederschlägen. Das Frühjahr 2000 war bis auf die hohen Niederschläge im März relativ trocken. Hier lagen die Temperaturen über denen des langjährigen Monatsmittels. Im Juli 2000 lagen sie jedoch deutlich darunter mit zugleich überdurchschnittlich hohen Niederschlägen von 90 mm. Das Frühjahr des Untersuchungsjahres 2001 war durch hohe Niederschläge im März und anhaltende Trockenheit im Mai und Juni geprägt. Die Temperaturen lagen im April um 0,4°C unter dem Mittel und von Mai bis September um 1,1 bis 1,7°C darüber.

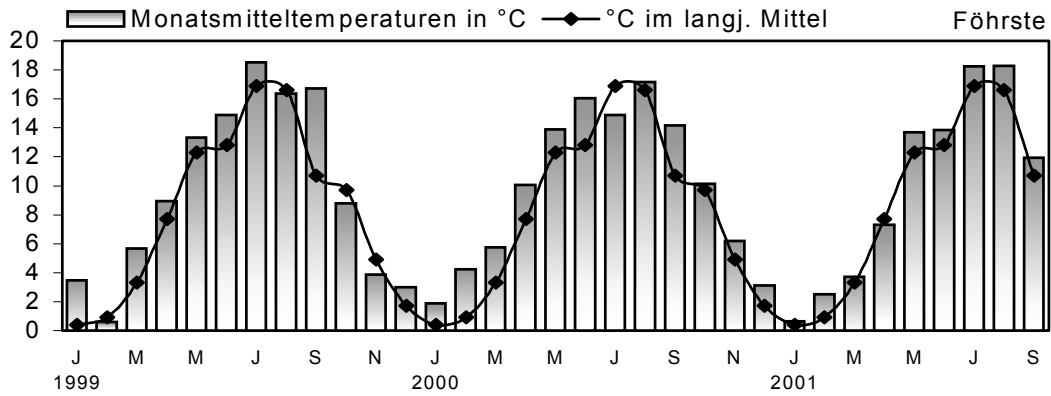


Abb. 6: Monatsmitteltemperaturen im Versuchszeitraum 1999 bis 2001 für den Versuchsstandort Föhrste, Monatswerte der LWK Northeim-Höckelheim, langjährige Mitteltemperaturen des DWD als Mittelwert der Stationen Hildesheimer Börde und Seesen

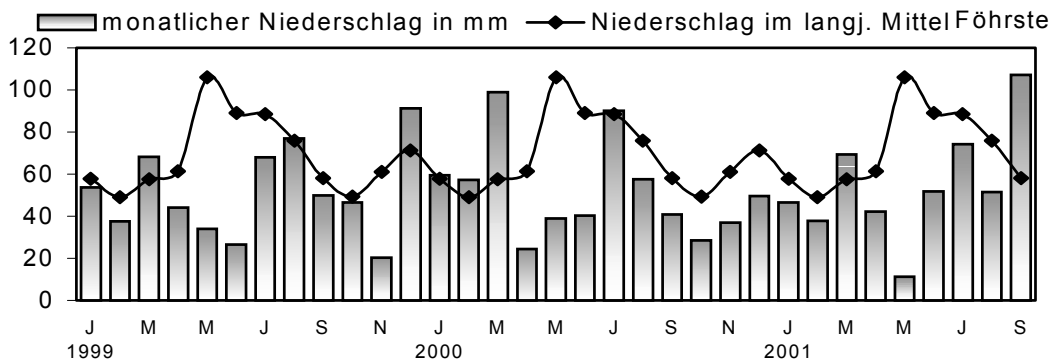


Abb. 7: Niederschlagssummen des Versuchszeitraums 1999 bis 2001 für den Versuchsstandort Föhrste, Monatswerte der LWK Northeim-Höckelheim, langjährige Niederschlagsmitteltemperaturen des DWD als Mittelwert der Stationen Hildesheimer Börde und Seesen

### 2.1.2.2 Boden der Untersuchungsfläche bei Föhrste

Die Pseudogley-Braunerde aus lösshaltigem Kolluvium über pleistozänen Schmelzwassersanden und -kiesen lag an einem Hangfuss und ist leicht nach Südwesten geneigt. Ein kleiner begradigter Vorfluter entwässert das Gebiet nach Süden. Grundwassereinfluss war bei dieser Fläche nicht gegeben. Das folgende Bodenprofil wurde am Standort Föhrste bei Feldkapazität aufgenommen:

Horizont	Tiefenstufe	Feldbeschreibung des Bodenprofils Föhrste
Ap	0 – 24cm	dunkel gelblichbrauner (10 YR 4/4), schwach humoser, mittel toniger Schluff, Pseudokrümel, stark durchwurzelt
Bv-Sw	24 – 50 cm	nach Westen leicht geneigte Schicht, gelblichbrauner (10 YR 5/6), sehr schwach humoser, mittel toniger Schluff, nur sehr leichte Krümenbasisverdichtung erkennbar, wenige Regenwurmröhren, Kohärentgefüge
Bv-Swd	50 – 67 cm	nach Westen leicht geneigte Schicht mit Rinnenstruktur an der niedrigsten Stelle, starkbrauner (7,5 YR 4/6), sehr schwach humoser, mittel toniger Schluff, vereinzelt Kiese, Subpolyedergefüge, Wurzeln auch noch in den Boden-Aggregaten, wenige Regenwurmröhren
IIC	67 – 98 cm	Schicht unterhalb der obigen Rinne dünner als am östlichen Rand der Profilwand, in ähnlicher Position wieder auf Rinnenstruktur aufliegend, gelblichbrauner (10 YR 4/4-5/6) sehr schwach humoser, schwach schluffiger Sand, Polyedergefüge, leicht bröckelig, mit wenigen Wurzeln
IIC	98 – 120 cm	kiesfreie fluviatile Sande in dünnen Lagen mit sehr leichter West-Neigung, Sandlagen mit stärker humosen Feinlagen im Wechsel, Rinne im westlichen Teil der Profilwand ca. 7 cm tief in Horizont erodiert, auf der Rinne Sedimente in Fließrichtung (wahrscheinlich SO-NW) auch in sandigen und humosen Feinlagen, gelblichbrauner (10 YR 4/6-5/6) Horizont aus sehr schwach humosem, schwach schluffigem Sand, Einzelkorngefüge, noch vereinzelt Wurzeln vorhanden

Tab. 7: Verteilung der Kornfraktionen des Feinbodens (Äquivalentdurchmesser in  $\mu\text{m}$ ) in Gew.-% am Standort Föhrste

Horizont	Bodenart	Tiefe (cm)	T < 2	fU 2-6,3	mU 6,3-20	gU 20-63	U 2-63	fS > 0,063	mS > 0,2	gS > 0,63	S 63-2000
Ap	Ut3	24	15,85	4,02	15,34	56,65	76,01	3,41	3,30	1,42	8,13
Bv-Sw	Ut3	50	17,99	4,03	13,49	54,67	72,19	4,66	2,95	2,20	9,82
Bv-Swd	Ut3	67	17,99	4,03	13,49	54,67	72,19	4,66	2,95	2,20	9,82
IIC	Su2	98	4,21	1,63	2,42	8,19	12,24	54,54	26,71	2,29	83,55
IIC	Su2	120	4,11	2,08	1,92	10,02	14,01	54,32	25,03	2,52	81,87

\* T – Ton, fU – Feinschluff, mU – mittlerer Schluff, gU – grober Schluff, U – Schluff, fS – feiner Sand, mS – mittlerer Sand, gS – grober Sand, S – Sand



Tab. 7 zeigt die Daten der Korngrößenanalyse der Pseudogley-Braunerde des Standortes Föhrste. Die Schlufffraktion überwiegt in den Horizonten bis 67 cm Tiefe mit einem Anteil von 72 bis 76 %. Auch sind die Tonanteile mit 16 bis 18 % und die Sandanteile mit 8 bis 9 % sehr konstant. Einen starken Wechsel vollzieht die Textur unterhalb von 67 cm Tiefe. Die Sandanteile liegen über 80 % gefolgt vom Schluff mit 12 bis 14 % und Ton mit 4 %. Dieser Sprung in der Textur deutet auf veränderte Umwelt- und Sedimentationsbedingungen hin, die in den unteren Horizonten wahrscheinlich durch langsame Fließgewässer dominiert waren (Rinnenstruktur im Profil), während die Horizonte oberhalb von 67 cm möglicher Weise Hangkolluvien darstellen.

In Tab. 8 sind die bodenchemischen und physikalischen Ergebnisse zusammengefasst. Die Dichte des Bodens nimmt im Profilverlauf von 1,5 (mittlere Dichte) im Ap-Horizont auf 1,7 g cm<sup>-3</sup> (hohe Dichte) bis 67 cm Tiefe zu (AG BODEN 1994). Die Gehalte an organischer Substanz sind im gesamten Profil als sehr schwach humos zu bezeichnen. Das C<sub>org</sub>/N<sub>t</sub>-Verhältnis ist mit einem Quotienten von kleiner 10 in allen Horizonten sehr eng. Die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes nFKWE (bis 120 cm) summiert sich auf 193,6 mm. Die Austauschhäufigkeit auf Grund des Grundwasserspiegels ohne kapillaren Aufstieg, berechnet mit den mittleren Winter- und Sommerniederschlägen, liegt nach FREDE & DABBERT (1999) bei 143 %. Das bedeutet, dass für den Standort Föhrste mit dem langjährigen mittleren Niederschlagswert von 825 mm pro Jahr eine erhöhte Nitratauswaschungsgefahr besteht.

Tab. 8: Bodenchemische (organischer Kohlenstoff C<sub>org</sub>-C und Gesamtstickstoffgehalt N<sub>t</sub>) und bodenphysikalische (Rohdichte des Bodens d<sub>B</sub> und nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums nFKWE) Kennwerte des Standortes Föhrste

Horizont	Tiefe in cm	C <sub>org</sub> C in Gew.-%	N <sub>t</sub> in Gew.-%	C <sub>org</sub> C/N <sub>t</sub> -Verhältnis	d <sub>B</sub> <sup>1</sup> in g cm <sup>-3</sup>	nFKWE in mm
Ap	24	0,90	0,102	8,8	1,49	46,9
Bv-Sw	50	0,19	0,032	6,1	1,61	48,6
Bv-Sws	67	0,19	0,032	6,1	1,68	30,4
IIC	98	0,14	0,032	4,3	1,67	39,6
IIC	120	0,03	0,007	4,5	1,49	28,1

<sup>1</sup> Rohdichte

Summe: 193,6

Abb. 8 zeigt die Porenverteilung im Bodenprofil am Standort Föhrste bis 120 cm Tiefe. Der Ap- und der Bv-Sw-Horizont zeigen eine ähnliche Verteilung der Porengrößen mit einer leichten Reduktion des GPV an der Pflugsohle um etwa 5 Vol.-% auf 39 Vol.-%, vor allem in den sehr weiten Grobporen um 2,3 Vol.-% Der Anteil der

Feinporen (FP) liegt bei 13 bis 14 Vol.-%. Die Summe der Weiten Grobporen (WGP) bis Engen Grobporen (EGP) beträgt 7 Vol.-%, die der Mittelporen 16,5 bzw. 15 Vol.-%. Im Horizont Bv-Sws bis 67 cm setzt sich das Bild der Porenverteilung fort mit einer Reduktion des GPV auf 36,5 %. Das Verhältnis in der Porenverteilung ist im Horizont IIC von 67 bis 120 cm auf Grund der geänderten Textur stark verändert. Der Anteil der FP beträgt hier nur noch knapp 3 Vol.-%, wohingegen die Summe der WGP bis EGP 31 Vol.-% beträgt und die der WMP und EMP lediglich 4,4 Vol.-% ergibt.

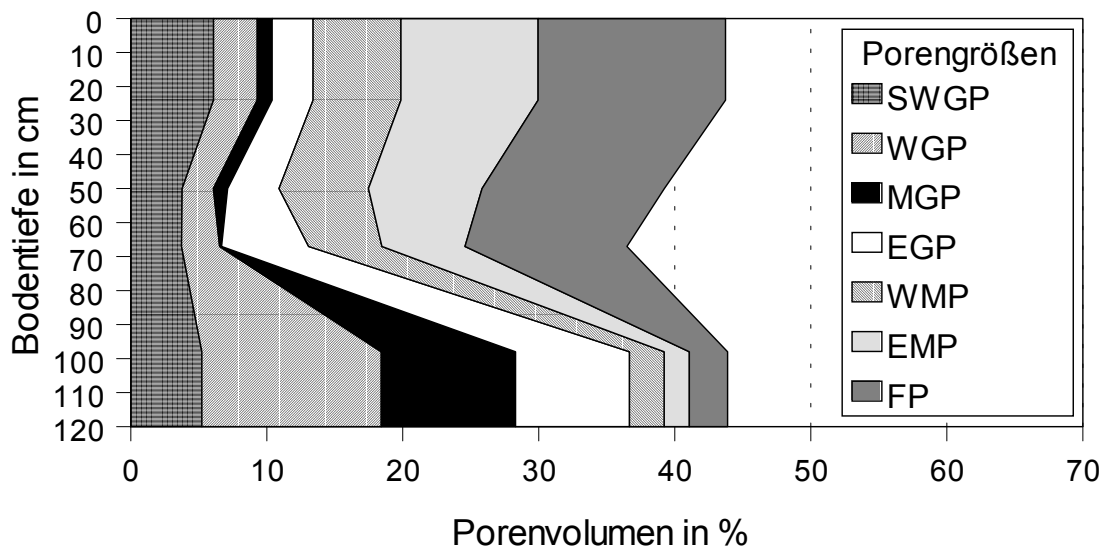


Abb. 8: Porenprofil des Bodens am Standortes Föhrste (Erläuterungen s. Abb. 5)

### 2.1.3 Standort Göttingen

Die Untersuchungen südlich von Göttingen wurden auf dem Versuchsgut Reinshof der Universität Göttingen durchgeführt. Die Untersuchungsfläche liegt bei GKK R<sup>35</sup>64400 und H<sup>57</sup>07200 südlicher als die übrigen Untersuchungsstandorte auf 160 m üNN.

#### 2.1.3.1 Klima in Göttingen

Die Witterungsdaten des Standortes Göttingen stammen von der Station des Deutschen Wetterdienstes in Göttingen. Das Untersuchungsjahr 1999 des Standortes Göttingen verlief mit höheren Temperatur und geringeren Niederschläge ab März 1999 abweichend von den langjährigen Monatsmitteln (Abb. 9 und Abb. 10). Lediglich der Juni des Jahres 1999 fiel kühler aus als das langjährige Mittel. Das Frühjahr

2000 war von März bis Mai verglichen mit den langjährigen Monatsmitteln des Standortes relativ warm und trocken. Im Juni 2000 folgten höhere Niederschläge und im Juli 2000 niedrigere Temperaturen als die langjährigen Mittel. Der April 2001 war durch Kälteeinbrüche geprägt. Im Mai 2001 folgte eine ausgeprägte Trockenperiode verbunden mit relativ hohen Temperatursummen. Der vergleichsweise kühle Juni 2001 war mit geringen Niederschlagsmengen verbunden. Die Vegetationsperiode der Körnerleguminosen des Jahres 2001 endete mit Temperaturen über den langjährigen Mitteln und einem trockenen August.

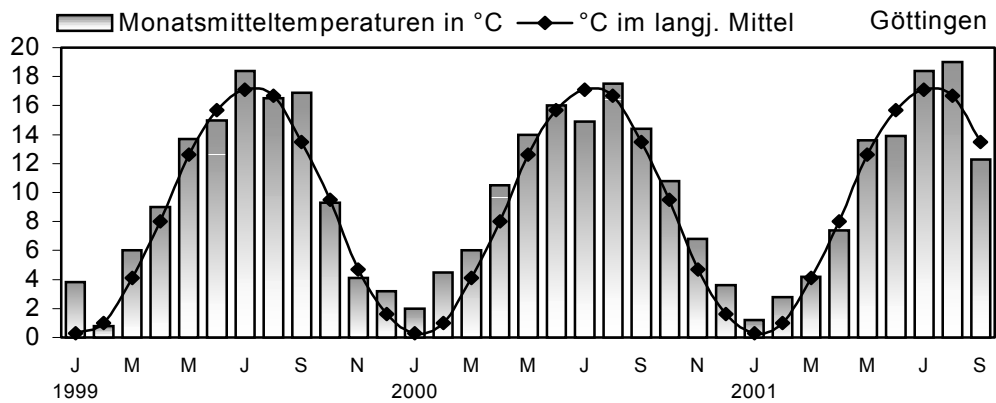


Abb. 9: Monatsmitteltemperaturen im Versuchszeitraum 1999 bis 2001 und im langjährigen Mittel am Versuchsstandort Göttingen (Daten des DWD, Station Göttingen)

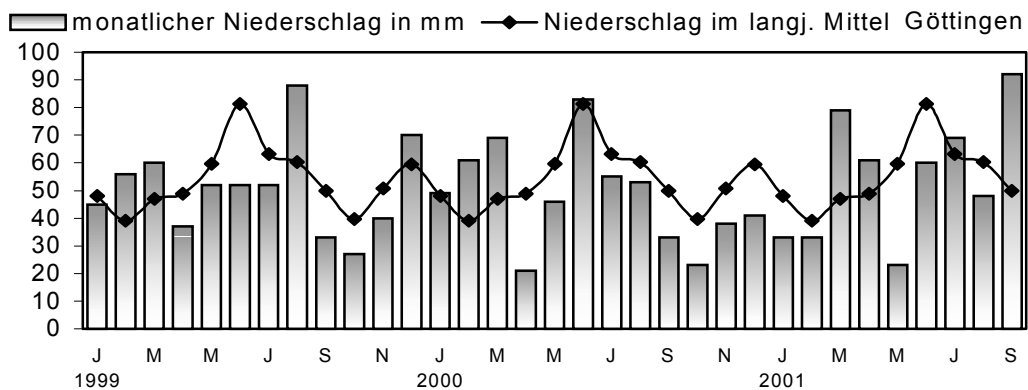


Abb. 10: Monatliche Niederschlagssummen des Versuchszeitraums 1999 bis 2001 und im langjährigen Mittel am Versuchsstandort Göttingen (Daten des DWD, Station Göttingen)

### 2.1.3.2 Boden der Untersuchungsfläche bei Göttingen

Der lössbürtige Aueboden des Untersuchungsstandortes Göttingen (Gley-Vega) bietet für Feldversuche auf diesem Schlag relativ einheitliche Bodenbedingungen. Ein Grundwassereinfluss ist hauptsächlich in den Wintermonaten gegeben, weshalb die Feldkapazität des Bodens ohne kapillaren Aufstieg berechnet wurde (Tab. 9). Das folgende Bodenprofil wurde am 24.04.2001 bei Feldkapazität aufgenommen:

Horizont	Tiefenstufe	Feldbeschreibung des Bodenprofils Göttingen
Ap	0 – 30 cm	dunkel gelblichbrauner (10 YR 3/4), schwach humoser, stark toniger Schluff, stark durchwurzelt, Bröckelgefüge, lessiviert, sehr carbonatarm
AM1	30 – 35 cm	gelblichbrauner (10 YR 5/4), schwach humoser, stark toniger Schluff, feine hellere Einschlümmungsbänder (Schluff), gut durchwurzelt, Subpolyedergefüge, lessiviert, leicht verdichtet, sehr carbonatarm
aM2	35 – 42 cm	dunkelgelblichbrauner (10 YR 3/4), schwach humoser, schluffiger Lehm, gut durchwurzelt, Polyedergefüge, Humus- und Tonanreicherung an Aggregatoberflächen, sehr carbonatarm
Mgor1	42 – 52 cm	stark brauner bis dunkel gelblich brauner (30 % 7,5 YR 4/6, 70 % 10 YR 3/4), sehr schwach humoser, schluffiger Lehm, Polyedergefüge, gut durchwurzelt, Stauchwurzeln an Untergrenze deuten Pflugsohlenverdichtung an, wenige Regenwurmröhren, fleckige Vergleungsmerkmale; Oxidations- und Reduktionsmerkmale (Grundwasserschwankungsbereich), carbonatfrei
Mgor2	52 – 108 cm	dunkel gelblich brauner bis stark brauner (70 % 7,5 YR 4/6, 30 % 10 YR 3/4), sehr schwach humoser, sandig-lehmiger Schluff, Polyedergefüge, wenige Wurzeln, einige Regenwurmröhren, Einlagerung von Humus und Ton an Aggregatoberflächen, fleckige Vergleung, vermehrt Reduktionsmerkmale, schwach carbonathaltig
IlaC	108 – 120 cm	dunkelbrauner (7,5 YR 3/2), schwach humoser, stark lehmiger Sand, Terrassenkies, Kiesanteil nach unten zunehmend (von 25 bis 50%), Kittgefüge, Grundwasser ca. bei 120 cm Tiefe anstehend, mittel carbonathaltig

Tab. 9: Bodenchemische (organischer Kohlenstoff  $C_{org}$ -C und Gesamtstickstoffgehalt  $N_t$ ) und bodenphysikalische (Rohdichte des Bodens  $d_B$  und nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums  $nFKWE$ ) Kennwerte des Standortes Göttingen

Horizont	Tiefe in cm	$C_{org}C$ in Gew.-%	$CaCO_3$ in Gew.-%	$N_t$ in Gew.-%	$C_{org}C/N_t$ -Verhältnis	$d_B^1$ in $g\ cm^{-3}$	$nFKWE$ in mm
Ap	30	1,11	0,41	0,126	8,8	1,48	57,1
AM1	35	0,75	0,04	0,087	8,7	1,56	9,1
aM2	42	0,69	0,04	0,076	9,1	1,52	14,7
Mgor1	52	0,44	0,0	0,055	8,0	1,51	18,4
Mgor2	108	0,22	2,3	0,029	7,4	1,58	102,1
IIaC	120	0,16	5,84	0,04	4,4	--	Summe: 201,3

<sup>1</sup> Rohdichte

Tab. 9 und Tab. 10 geben die bodenphysikalischen und bodenchemischen Kenndaten sowie die Verteilung der Kornfraktionen des Feinbodens wieder. Unter dem gegebenen pH-Wert von 7,0 (s. Tab. 3) und Kalkgehalten bis zu 6 Gew.-% ist es relativ unwahrscheinlich, dass es in der Auenparabraunerde zu einer rezenten Tonverlagerung (bei pH 6,5-5,0 SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989) kommt. Die Tongehalte in den Horizonten MBt und MGorBt liegen bei 29 bzw. 23 Gew.-%. In der Tiefe von 108 bis 120 cm Tiefe sind 16 bzw. 17 Gew.-% Ton enthalten. Der Anteil der Schlufffraktionen nimmt vom oberen Horizonten mit 67 Gew.-% bis zum MGro-Horizont mit 56 Gew.-% ab. Der Terrassenkies führt nur noch 20 Gew.-% Schluff. Der Sandanteil von 0 bis 52 cm liegt zwischen 11 und 15 Gew.-%, hauptsächlich bestehend aus Fein- und Mittelsanden. Von 52 bis 108 cm Tiefe finden sich 28 Gew.-% Sand. Der Anteil dieser Fraktion (63-2000  $\mu m$ ) liegt im IIaC bei 63 Gew.-%. Der Humusgehalt nimmt vom Ap zum MGro von 1,16 auf 0,49 Gew.-% ab. Das von 0 bis 50 cm  $C_{ORG}C/N_T$ -Verhältnis ist mit Quotienten zwischen 9,1 und 4,4 im gesamten Profil eng bis sehr eng. Die Lagerungsdichte steigt von 0 bis 108 cm Tiefe mit 1,48 bis 1,58  $g\ cm^{-3}$  leicht an. Die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes  $nFKWE$  kann am Standort Göttingen auf Grund der konstanten Lagerungsdichte bis 108 cm angenommen werden und liegt ohne Berücksichtigung eines kapillaren Aufstiegs bei 201,3 mm. Die Austauschhäufigkeit, berechnet mit den mittleren Winter- und Sommerniederschlägen (nach FREDE & DABBERT 1999), liegt bei 45 %. Dies bedeutet, dass auf der Untersuchungsfläche in Göttingen mit den gegebenen mittleren Niederschlagswerten (647  $mm\ a^{-1}$ ) eine sehr geringe Gefahr der Nitratauswaschung besteht.

Tab. 10: Verteilung der Kornfraktionen des Feinbodens (Äquivalentdurchmesser in µm) in Gew.-% am Standort Göttingen

Horizont	Bodenart	Tiefe (cm)	T < 2	fU 2-6,3	mU 6,3-20	gU 20-63	U 2-63	fS > 0,063	mS > 0,2	gS > 0,63	S 63-2000
Ap	Ut4	30	18,45	7,31	11,85	48,26	67,43	8,04	5,79	0,28	14,12
AM1	Ut4	35	19,72	5,30	16,16	45,23	66,69	7,69	5,59	0,31	13,59
aM2	Lu	42	29,10	4,55	14,78	40,48	59,80	6,27	4,69	0,14	11,10
Mgor1	Lu	52	23,19	6,09	0,11	55,82	62,02	8,26	6,42	0,10	14,78
Mgor2	Uls	108	15,92	2,68	8,39	45,35	56,42	16,83	10,13	0,71	27,67
IlaC	SI4	120	17,22	2,02	5,38	12,24	19,64	16,90	41,55	4,69	63,14

\* T – Ton, fU – Feinschluff, mU – mittlerer Schluff, gU – grober Schluff, U – Schluff, fS – feiner Sand, mS – mittlerer Sand, gS – grober Sand, S - Sand

Das GPV des Profils am Standort Göttingen nimmt nur wenig von 44 auf 41 Vol.-% an der Pflugsohle ab. Hauptsächlich sind es die SWGP, die von einem Anteil von 9,0 auf 6,7 Vol.-% reduziert werden. Im weiteren Profilverlauf ist bis 52 cm Tiefe wieder eine leichte Zunahme des GPV auf 43 Vol.-% zu verzeichnen, vor allem durch die Erhöhung des Totwasseranteils (pF < 4,2) auf 18 Vol.-%. In 108 cm Tiefe beträgt das GPV immer noch 40 Vol.-% mit einem hohen Anteil Totwasservolumens von 18 Vol.-%.

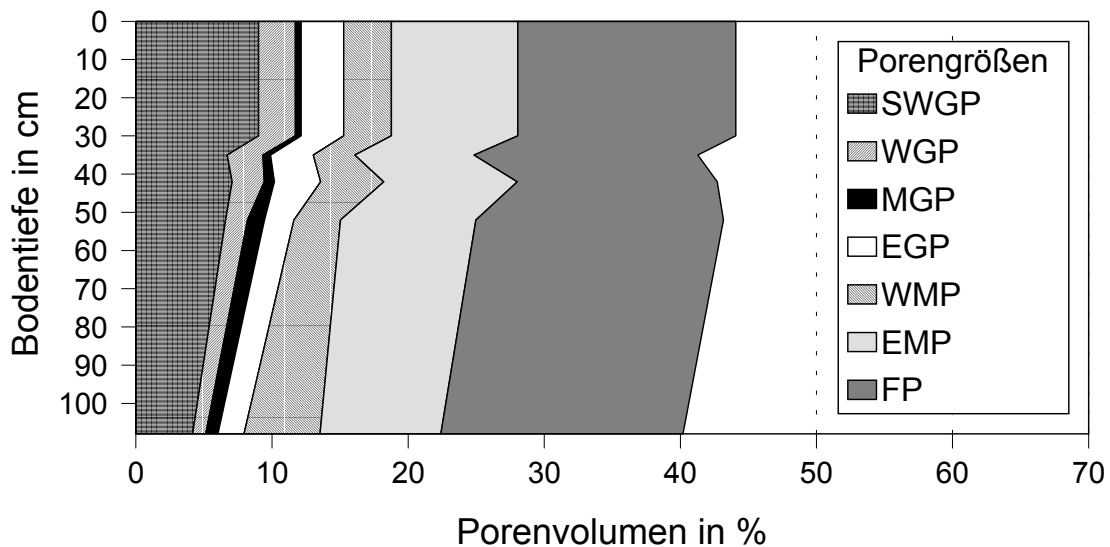


Abb. 11: Porenprofil des Standortes Göttingen (Erläuterungen s. Abb. 5)

## 2.1.4 Standort Groß Malchau

Groß Malchau mit den GKK R <sup>44</sup>18000 H <sup>58</sup>80700 ist der am östlichsten gelegene Standort innerhalb dieses Projektes. Das Gebiet östlich von Uelzen besitzt eine deutlich kontinentale Ausprägung. Die Fläche liegt 60 m üNN.

### 2.1.4.1 Klima in Groß Malchau

Die Klimadaten des Standortes Groß Malchau konnten durch die Messungen der Landwirtschaftskammer Hannover vor Ort zur Verfügung gestellt werden. Die langjährigen Mittelwerte (Niederschlag und Temperatur) stammen von der 28 km westlich gelegenen Station des Deutschen Wetterdienstes Wendisch-Evern. Die Daten sind in Abb. 12 und Abb. 13 zusammengefasst. Die Standortverhältnisse der Region östlich von Uelzen sind bezüglich des Bodens und des Klimas mit kontinentaler Ausprägung für den Ackerbau mit besonderen Schwierigkeiten verbunden. Die Temperaturen im Frühjahr 1999 lagen bis zum Mai über den langjährigen Monatsmittelwerten. Die Niederschlagsmengen blieben während der Vegetationsperiode des Untersuchungsjahres 1999 bis auf die Monate Mai und August unter den langjährigen Mittelwerten. Die Monatsmitteltemperaturen des Untersuchungsjahres 2000 waren bis zum Juni über oder im langjährigen Monatsmittel. Die Niederschläge im März 2000 lagen ca. 9 mm über dem Mittel. Die Monate April bis Juni 2000 brachten eine ausgeprägte Trockenperiode. Die Niederschläge im Juli 2000 fielen mit 120 mm außergewöhnlich hoch aus. Die Frühjahrsentwicklung verlief auf Grund der ähnlichen Witterungsverhältnisse mit einer Trockenperiode im April und Juni im Untersuchungsjahr 2001 wie die des Vorjahres. Die Niederschläge im Juli und August 2001 entsprachen den langjährigen Mittelwerten, die Temperatursummen lagen darüber. Wegen ausgeprägter Trockenperioden des Standortes Groß Malchau mussten die Versuchsbestände in den Jahren 2000 und 2001 zur Bestandeserhaltung beregnet werden (Tab. 11).

Tab. 11: Beregnungstermine der Bestände am Standort Groß Malchau

Beregnungen à 25 mm	2000			2001		
		07.05.	15.05.	17.06.	16.05.	26.05.

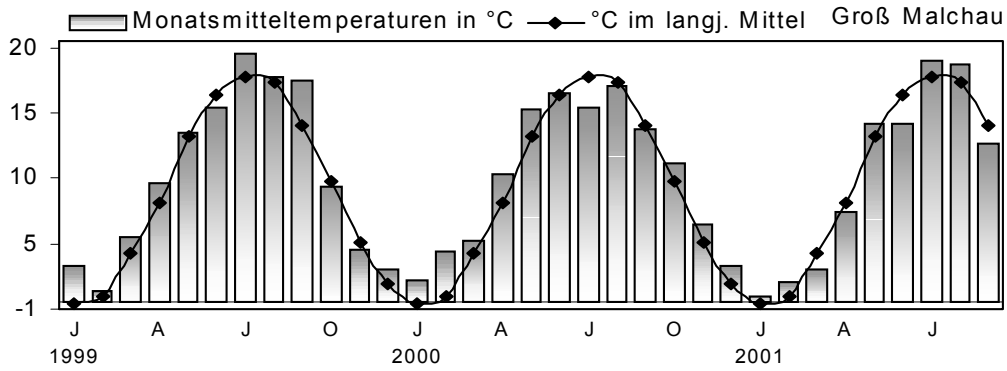


Abb. 12: Monatsmitteltemperaturen im Versuchszeitraum 1999 bis 2001 und im langjährigen Mittel am Versuchsstandort Groß Malchau (langjähriges Mittel der Wetterstation des DWD, Station Wendisch-Evern)

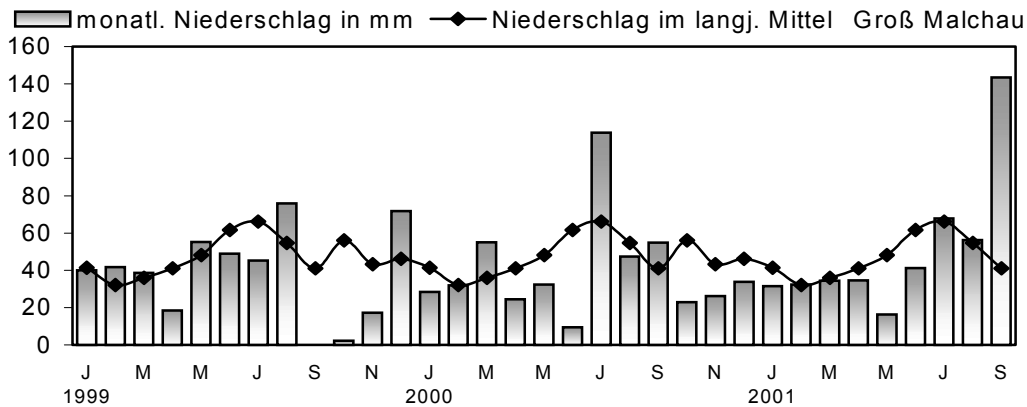


Abb. 13: Monatliche Niederschlagssummen des Versuchszeitraums 1999 bis 2001 und im langjährigen Mittel am Versuchsstandort Groß Malchau (langjähriges Mittel der Wetterstation des DWD, Station Wendisch Evern)

### 2.1.4.2 Boden der Untersuchungsfläche bei Groß Malchau

Die Pseudogley-Braunerde aus pleistozänen Sanden der Untersuchungsfläche Groß Malchau sind in diesem Gebiet ohne Grundwasseranschluss (> 10 m unter GOF), weshalb die Kulturen von Niederschlägen und i.d.R. auch von Beregnungen abhängig sind. Die effektive Durchwurzelungstiefe beträgt zwischen 7 bis 8 dm. Folgendes Profil wurde am 15.11.99 bei Feldkapazität aufgenommen:



Horizont	Tiefenstufe	Feldbeschreibung des Bodenprofils Groß Malchau
Ap	0 – 31 cm	dunkel gelblichbrauner (10 YR 3/4), schwach humoser, schwach schluffiger Sand, wenige Steine (+/- 2 cm), gut durchwurzelt, nicht verrottete Strohlage in 13 bis 15 cm Tiefe, Stauchwurzeln deuten auf Krumbasisverdichtung hin, Einzelkorngefüge
Bv	31 – 43 cm	gelblich brauner (10 YR 5/6), schwach humoser, schwach lehmiger Sand, kohärent, verdichtet, deutlich reduzierte Durchwurzlung, wenige Regenwürmer, Einzelkorngefüge bis Kohärentgefüge
Bv	43 – 50 cm	gelblich brauner (10 YR 5/6), schwach humoser, schwach schluffiger Sand mit kleinen Kiesen, Humusanreicherung in fossilen Tiergängen, Einzelkorngefüge
BvSw	50 – 78 cm	bräunlich gelber (10 YR 6/8) sehr schwach humoser, schwach schluffiger Sand, wenig durchwurzelt, vereinzelt rostfleckig (7,5 YR 5/6), Einzelkorngefüge
Sdw	78 – 92 cm	hellgrauer (10 YR 7/2), sehr schwach humoser, schluffig lehmiger Sand, Einzelkorngefüge bis kohärent durch verdichtete Lage ab 84 cm, hier im Kern reduziert (10 YR 7/2) Umgebung oxidiert (10 YR 5/6), darunter wieder Sw mit 10 YR 6/6), tiefste Lage der Wurzeln bei 84 cm, Horizont leicht nach Osten abfallend
Swd	92 – 130 cm	bräunlich gelber (10 YR 6/6), sehr schwach humoser, schluffig lehmiger Sand, Horizont fein- bis grobklagig strukturiert, kohärent mit hoher Lagerungsdichte

Tab. 12: Bodenchemische (organischer Kohlenstoff  $C_{org-C}$  und Gesamtstickstoffgehalt  $N_t$ ) und bodenphysikalische (Rohdichte des Bodens  $d_B$  und nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums  $nFKWE$ ) Kennwerte des Standortes Groß Malchau

Horizont	Tiefe in cm	$C_{org-C}$ in Gew.-%	$N_t$ in Gew.-%	$C_{org-C}/N_t$ -Verhältnis	$d_B^1$ in $g \times cm^{-3}$	$nFKWE$ in mm
Ap	31	1,09	0,092	11,8	1,4	50,7
Bv	43	1,03	0,086	12,0	1,6	23,4
Bv	50	0,25	0,022	11,1	1,7	12,1
BvSw	78	0,07	0,007	8,8	1,7	43,4
Sdw	92	0,08	0,013	6,1	1,8	
Swd	130	0,07	0,015	4,8	2,0	Summe: 129,7

<sup>1</sup> Rohdichte

In Tab. 12 sind die Ergebnisse der bodenchemischen und –physikalischen Untersuchungen am Standort Groß Malchau zusammengefasst. Das gesamte Profil ist arm an organischer Masse. Der  $C_{\text{org}}$ -Gehalt liegt im Ap- und im Bv-Horizont bei 1 Gew.-% und nimmt von 43 bis 130 cm Tiefe auf 0,07 Gew.-% ab. Die Lagen von 50 bis 130 cm Tiefe sind mit  $C_{\text{org}}$ -Gehalten zwischen 0,25 und 0,07 Gew.-% nur noch sehr schwach humos. Entsprechend niedrig sind auch die  $N_T$ -Gehalte, die  $C_{\text{ORG}}/N_T$ -Verhältnisse sind mit Werten zwischen 11,8 bis 12,0 als eng bis sehr eng einzustufen. Die effektive Lagerungsdichte (dB) steigt vom Ap mit  $1,4 \text{ g cm}^{-3}$  zum Sw-Sd mit  $2,0 \text{ g cm}^{-3}$  von gering auf sehr hoch. Die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (0 bis 78 cm) ist mit 129,7 mm relativ gering. Dementsprechend ist die Austauschfähigkeit des Bodenwassers mit 116 % (nach FREDE & DABBERT 1999) berechnet mit den mittleren Winter- und Sommerniederschlägen (567 mm) ohne Grundwasseranschluss und damit die Gefahr der Nitratauswaschung erhöht.

Tab. 13 zeigt die Verteilung der Kornfraktionen des Feinbodens am Standort Groß Malchau. Das Profil ist bis zu einer Tiefe von 78 cm durch einen hohen Sandanteil zwischen 71 und 82 Gew.-% dominiert. Der Tonanteil liegt bis zu dieser Tiefe zwischen 4 und 5 Gew.-% und beträgt lediglich im Bv von 43 bis 50 cm 8 Gew.-%. Die Schlufffraktionen liegen zwischen 21 und 24 Gew.-%. Das Profil ist durch Pseudovergleyung geprägt, die u.a. durch erhöhte Ton- (13 bis 16 Gew.-%) und Schluffanteile (44 und 45 Gew.-%) in den Lagen bis 92 und 130 cm Tiefe hervorgerufen werden. Der Sandanteil in diesen Horizonten beträgt nur noch 43 bzw. 39 Gew.-%.

Tab. 13: Verteilung der Kornfraktionen des Feinbodens (Äquivalentdurchmesser in  $\mu\text{m}$ ) in Gew.-% am Standort Groß Malchau

Horizont	Bodenart	Tiefe (cm)	T < 2	fU 2-6,3	mU 6,3-20	gU 20-63	U 2-63	fS > 0,063	mS > 0,2	gS > 0,63	S 63-2000
Ap	Su2	31	4,43	1,76	3,90	17,78	23,44	26,85	39,00	6,28	72,13
Bv	Sl2	43	8,10	1,59	4,89	14,56	21,03	27,47	36,42	6,98	70,87
Bv	Su2	50	4,85	1,98	4,08	17,54	23,60	35,82	32,15	3,58	71,54
BvSw	Su2	78	4,32	-- <sup>1</sup>	-- <sup>1</sup>	-- <sup>1</sup>	13,85	42,94	35,43	3,46	81,83
IISdw	Slu	92	13,10	-- <sup>1</sup>	-- <sup>1</sup>	-- <sup>1</sup>	43,59	23,71	18,14	1,46	43,31
IISwd	Slu	130	16,07	4,71	8,53	32,01	45,25	22,18	15,29	1,20	38,67

\* T – Ton, fU – Feinschluff, mU – mittlerer Schluff, gU – grober Schluff, U – Schluff, fS – feiner Sand, mS – mittlerer Sand, gS – grober Sand, S – Sand; <sup>1</sup>Einzelwerte liegen nicht vor,

Die Verteilung der Poren im Boden am Standort Groß Malchau zeigt eine deutliche Reduzierung des GPV unterhalb des Ap von 48 auf 43 Vol.-%. Hauptsächlich geht in der Pflugsohle (30 bis 43 cm) der Anteil der SWGP von 15 auf 8 Vol.-% zurück. Im Horizont bis 50 cm Tiefe nimmt das GPV nochmals um 6 Vol.-% ab. Bis in 78 cm Tiefe ist eine leichte Zunahme des GPV auf 39 Vol.-% zu verzeichnen. Bis zu einer Tiefe von 120 cm wird das Gesamtporenvolumen stark reduziert. Lediglich die Weiten und Engen Mittelporen und die Feinporen erfahren eine Zunahme. Das Totwasservolumen erreicht hier 11 Vol.-%.

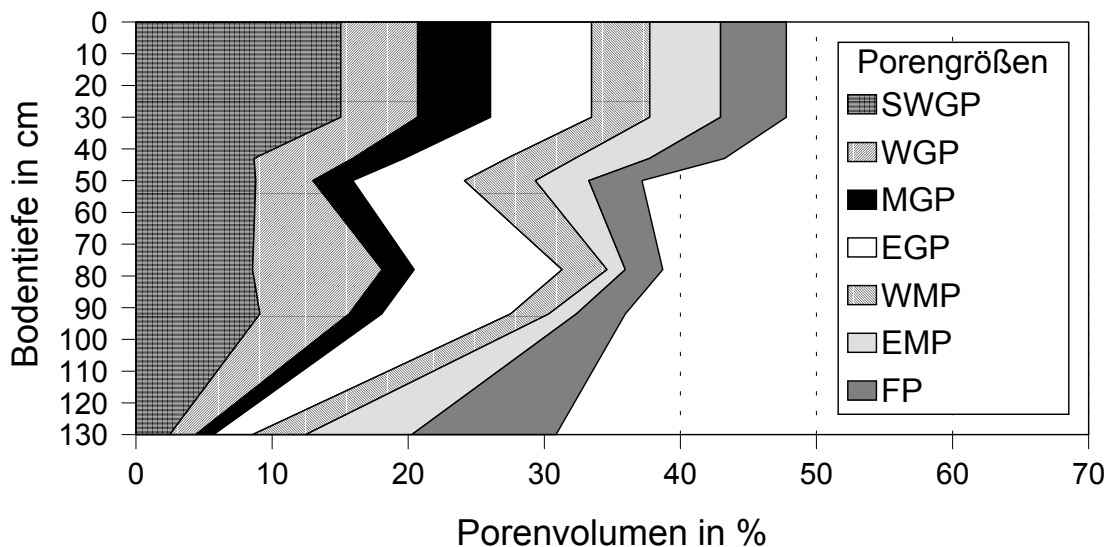


Abb. 14: Porenprofil des Standortes Groß Malchau (Erläuterungen s. Abb. 5)

## 2.2 Die Prüfglieder

Die Untersuchungen wurden an vier Standorten Niedersachsens mit den folgenden Prüfgliedern durchgeführt: Ackerbohne, Körnererbse, Grünspeiseerbse, Weiße Lupine an allen Standorten, Gelbe Lupine nur an den Standorten Borwede und Groß Malchau. Geprüft wurden je Art zwischen zwei (Gelbe und Weiße Lupine) und vier Sorten (Körnererbse) zur Körnernutzung. Bei Ackerbohne und Erbse wurde zusätzlich ein Gemenge mit Hafer zur Ganzpflanzensilage-Nutzung und Körnernutzung geprüft. Die Bestände wurden in Reinsaat mit 50 (Ackerbohne), 80 (Erbse), 50 (Lupine), 300 (Hafer) und 50 (Raps) keimfähigen Samen pro m<sup>2</sup> angesät. Die Gemenge wurden mit 80 % Leguminose und 20 % Hafer der Reinsaatstärke angelegt.

Tab. 14: Die Prüfglieder der Körnerleguminosen

Prüfglieder	Art	Pfl. m <sup>-2</sup>	Sorten
<b>Reinsaat</b>	Ackerbohne ( <i>Vicia faba</i> L.)	50	Scirocco, Caspar, Alfred
	Grünspeiseerbse ( <i>Pisum sativum</i> L.)	80	Nevado
	Körnererbse ( <i>Pisum sativum</i> L.)	80	Bohatyr, Eiffel, Loto, Swing
	Weißer Lupine ( <i>Lupinus albus</i> L.)	50	Bardo, Nelly
	Gelber Lupine <sup>1</sup> ( <i>Lupinus luteus</i> L.)	50	Juno, Refusa Nova
<b>Gemenge</b>	Ackerbohne/Hafer	40/60	Scirocco/Lutz <sup>2, 3</sup>
	Körnererbse/Hafer	64/60	Eiffel/Lutz <sup>2, 3</sup>
<b>Referenzpflanze</b>	Hafer ( <i>Avena sativa</i> L.)	300	Lutz
	Raps ( <i>Brassica napus</i> var. <i>napus</i> L.)	50	Petranova

<sup>1</sup>Prüfglieder der Standorte Borwede und Groß Malchau, <sup>2</sup> Ganzpflanzensilage, <sup>3</sup> Körnernutzung

Die Prüfglieder einer Art wurden in Absprache mit der Landwirtschaftskammer Hannover ausgewählt. Es sollten Sorten genutzt werden, die in der landwirtschaftlichen Praxis gängig und beim Bundessortenamt gelistet sind. Durch die Untersuchungen sollte auch festgestellt werden, ob sich die Sorten einer Art durch die züchterische Weiterentwicklung hinsichtlich der Ertragsleistung und der N<sub>2</sub>-Fixierleistung auf den verschiedenen Standorten unterscheiden. Hierzu wurde bei *Pisum sativum* die Sorte Bohatyr als einzige normalbeblätterte (ältere) Sorte der Körnererbsen im Versuch integriert. Die anderen Sorten zählen aufgrund der zu Ranken reduzierten Blattspreite zu den halbblattlosen Erbsen.

Die Sorte Nelly der Art *Lupinus albus* gehört als alte Sorte zu den nicht wachstumsdeterminierten Pflanzen. Für die Praxis kann die Wahl dieser Art zu erschwerten Erntebedingungen führen, wenn während der Vegetationsperiode die Pflanzen durch ausreichende Feuchtigkeit nicht zur Tотреife gelangen können. Das apikale Wachstum mit Blüte und Hülsenansatz erzeugt dann bis in den Herbst korngefüllte Hülsen, die den Drusch der Pflanzen erheblich erschweren. Die Sorte Bardo hingegen ist züchterisch weiterentwickelt und gelangt in der Regel innerhalb der Vegetationsperiode zur Abreife.

Um die Berechnungen zur N<sub>2</sub>-Fixierleistung durchführen zu können, müssen nicht nodulierende Arten angebaut werden, die unter gleichen Bedingungen wachsen wie die legumen Prüfglieder. Referenzpflanzen sollen das zeitliche Integral der Aufnahme an mineralischem Bodenstickstoff widerspiegeln. Bei der Wahl der Referenzpflanzen ist zu beachten, dass die Wurzeln der legumen Arten und die Referenzpflanze den Boden in möglichst gleicher Weise durchwurzeln, das heißt die gleichen

Stickstoff-Ressourcen des Standortes nutzen können. Auch können monokotyle und dikotyle Pflanzen Unterschiede in der Nutzungseffizienz bodenbürtiger N-Vorräte aufweisen, die sich auch in der isotopischen Zusammensetzung des Stickstoffs in der Biomasse der Pflanzen widerspiegeln können. Deshalb wird für Untersuchungen zur Schätzung der symbiotisch fixierten N-Menge von Leguminosen für die Anwendung der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode empfohlen mehrere nichtlegume Referenzfruchtarten zu nutzen (SHEARER & KOHL 1986). Für die Untersuchungen zur Quantifizierung der symbiotischen  $\text{N}_2$ -Fixierleistung der Körnerleguminosen wurden deshalb eine monokotyle (*Avena sativa*) und eine dikotyle Referenzpflanze (*Brassica napus*) genutzt.

## 2.3 Die Versuchsanlagen

Bei den Versuchsanlagen auf den vier Standorten handelte es sich um vollständig randomisierte Blockanlagen mit jeweils drei Wiederholungen, die in allen drei Untersuchungsjahren weitgehend identisch waren (s. Kap. 2.3, Die Versuchsanlagen). Zwei Beete eines Prüfgliedes bildeten eine Versuchsparzelle. Jeweils ein Beet à sechs Drillreihen wurde für den Kernparzellendrusch durch die Landwirtschaftskammer genutzt, das zweite für die einzelnen Beprobungen und Untersuchungen durch das Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. Die Anlagen in Göttingen und Föhrste bestanden aus 42 Parzellen, in Borwede und Groß Malchau aus jeweils 48 Parzellen. Dort waren noch zwei Sorten Gelbe Lupine (Juno, Refusa Nova) in den Versuchsanlagen integriert (s. Tab. 14, Anlagepläne der Versuche im Anhang). Landwirtschaftliche Grunddaten sind in Tab. 15 zusammengefasst.

Tab. 15: Grunddaten zu den Versuchsanlagen

Vorfrucht vor Untersuchungsjahr	Borwede	Föhrste	Göttingen	Groß Malchau
1999	Wintergerste	Winterweizen	Winterweizen	Winterroggen
2000	Wintergerste	Hafer	Winterweizen	Winterroggen
2001	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterroggen
Düngung (kg x ha <sup>-1</sup> ) im Jahr vor Versuchsbeginn (N, P, K, Ca)				
1998	110, 0, 50, 0	230, 0, 0, 1200	211, 0, 0, 0	90, 70, 200, 0
1999	170, 0, 120, 0	150, 90, 250, 0	200, 0, 0, 0	40, 70, 120, 0
2000	152, 0, 60, 0	220, 0, 0, 0	230, 0, 0, 0	140, 70, 100, 0

Witterungsbedingt fanden sowohl die Aussaaten als auch die Ernten der im Versuch integrierten Arten über die Jahre und Standorte zu unterschiedlichen Terminen statt (s. Tab. 16). Die Versuchspartellen wurden an den Standorten Borwede, Föhrste

und Groß Malchau von den Mitarbeitern der Landwirtschaftskammer betreut, in Göttingen vom Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (manuelle Unkrautkontrolle, Zaunbau zur Vermeidung von Wildverbiss, vereinzelt Pflanzenschutzmaßnahmen). In den Beeten, die für die Untersuchungen genutzt wurden, wurden nach dem Auflaufen der Pflanzen die Beprobungsfenster (Kleinteilstück aus den vier zentralen Reihen der Beete à 1,50 m Länge) in den Beständen mit Holzstäben markiert (s. Anhang). Die Auswahl sollte für den Gesamtbestand repräsentativ sein. In diesen Kleinteilstücken wurde der Aufgang gezählt. Die Markierung ermöglichte das Wiederfinden der Kleinteilstücke zum Zeitpunkt der Ernte. Besonders bei den Beeten der Referenzpflanze *Brassica napus*, die zu jeder Ernte (bis zu vier Ernten pro Jahr  $\hat{=}$  bis zu vier Kleinteilstücke) mit beprobt wurde, war es unerlässlich, den zur Verfügung stehenden Raum aufzuteilen.

Tab. 16: Aussaattermine an den Untersuchungsstandorten

Aussaat	Borwede	Föhrste	Göttingen	Groß Malchau
1999	19.03.	30.04.	18.03.	30.03.
2000	02.04.	04.04.	06.04.	29.03.
2001	02.04.	24.04.	09.04.	04.04.

Besonderheiten der Versuchsjahre werden im Folgenden standortbezogen beschrieben.

### 2.3.1 Borwede

Nach dem Auszählen des Aufgangs der Pflanzen im Untersuchungsjahr 1999 musste in den Beprobungsbeeten die Anzahl Pflanzen in einigen Prüfgliedern (Alfred, Caspar, Scirocco, Bohatyr, Eiffel, Loto, Swing, Nevado, Bardo, Nelly, Juno, Refusa, Nova, Scirocco/Lutz, Eiffel/Lutz und Lutz) in den Kleinteilstücken auf die angestrebte Menge  $\text{m}^{-2}$  reduziert werden. Das erste Versuchsjahr erbrachte in Borwede bei der Art *Vicia faba* Pflanzenbestände über 1,70 m Höhe. Aus diesem Grund wurde in den Folgejahren die Versuchsanlage leicht modifiziert: Um den Randeffekt durch starke Beschattung zu reduzieren, wurde die Anzahl der Beete der niedrigwüchsigeren Prüfglieder (*Pisum sativum*, *Lupinus albus* und *L. luteus*, *Avena sativa*), die in direkter Nachbarschaft zu den Ackerbohnen lagen, auf drei erweitert. Beprobt wurde dann jeweils das mittlere der drei Beete. Die Reihenfolge innerhalb der randomisierten Blöcke wurde beibehalten. Da es während des Versuchsjahres 1999 auf dem Versuchsfeld Borwede zu erheblichen Blattverlusten durch den Fraß von Blattrandkäfern (*Sitona lineatus*) gekommen war, wurden diese in beim ersten Auftreten einer große-

ren Population (05.05.00, 15.06.01) mit dem Insektizid Karate® bekämpft. Des Weiteren wurden die Bestände am 15.06.01 gegen Blattläuse mit dem Insektizid Pirimor® behandelt.

### 2.3.2 Föhrste

Die Landwirtschaftskammer konnte in diesem Raum selber keine Fläche für die Untersuchungen zur Verfügung stellen, weshalb auf die Fläche eines ortsansässigen Landwirtes ausgewichen wurde. Die Aussaat und Ernte wurde durch die Landwirtschaftskammer gewährleistet, Unkrautkontrolle und die weitere Betreuung des Versuches erfolgte über den Landwirt. Die erste Versuchsanlage im Leinetal (110 m üNN) am Standort Föhrste konnte wegen des anhaltenden Leinehochwasser im Frühjahr des Jahres 1999 erst deutlich später angelegt werden (30.04.99, vergl. Tab. 16) als an den übrigen Standorten. Somit ist der pedologisch und klimatisch bedingte Einfluss auf die N<sub>2</sub>-Fixierleistung und den Ertrag überlagert vom späten Aussattermin. Des Weiteren wurde an diesem Standort das Saatgut anstatt in sechs Reihen in zehn Reihen pro Beet gedrillt. Die Anlagen der Jahre 2000 und 2001 wurden wegen der Hochwassergefahr im Leinetal auf eine westlich von Föhrste auf 160 m üNN gelegene Fläche verlegt. Im Jahr 2000 wurde dort der Bestand der Referenzpflanze *Brassica napus* durch den Rapserrdflor (*Psylliodes chrysocephala*) zerstört. Die Nachsaat fand am 06.05.2000 statt. Der Bestand konnte durch Filbiokulturschutznetze der Fa. Hartmann-Brockhaus etabliert werden. Im Versuchsjahr 2001 wurden die Netze direkt nach der Anlage des Versuchs eingesetzt. Weitere Pflanzenschutzmaßnahmen wurden in diesem Versuch nicht durchgeführt.

### 2.3.3 Göttingen

Im ersten Versuchsjahr 1999 konnte die Anlage in Göttingen frühzeitig (18.03.) dank der milden Temperaturen und den günstigen Bodenverhältnissen erstellt werden. Die drei Parzellen mit der Referenzpflanze *Brassica napus* wurden durch den Rapserrdflor (*Psylliodes chrysocephala*) zerstört. Die Nachsaat vom 19.04.99 konnte mithilfe der Filbiokulturschutznetze der Fa. Hartmann-Brockhaus etabliert werden. In den Jahren 2000 und 2001 wurden diese Netze in Göttingen mit gutem Erfolg präventiv eingesetzt. Die Pflanzen der Parzellen mit den Prüfgliedern *Vicia faba* und *Pisum sativum* wurden in den Jahren 1999 bis 2001 durch Blattrandkäfer (*Sitona lineatus*) in den Stadien BBCH 11 bis 15 leicht bis mittelschwer beeinträchtigt. Die Bestände konnten die Fraßschäden in späteren Stadien wieder ausgleichen. Im Untersuchungsjahr 2001 kam es jedoch zu einem Totalverlust der Bestände des Prüfgliedes Nevada (*Pisum sativum*, Grünspeiseerbse), da in diesem Jahr die frühe Entwicklung

der Pflanzen dieser Sorte durch die niedrigen Temperaturen besonders beeinträchtigt war und sich kein nennenswerter Bestand etablieren konnte. Die Pflanzen der Parzellen der Arten *Lupinus albus* (Sorten Bardo und Nelly) wurden im Jahr 2000 durch Wildverbiss (Feldhase, *Lepus europaeus*) trotz einer Umzäunung der Parzellen so stark geschädigt, dass die Bestände im Juni 2000 aufgegeben werden mussten. Bis auf manuelle Unkrautregulierung wurden keine weiteren Pflanzenschutzmaßnahmen am Standort Göttingen durchgeführt.

### 2.3.4 Groß Malchau

Wie am Standort Föhrste stellte auch in Groß Malchau ein Landwirt für die Untersuchungen Flächen zur Verfügung. Die Betreuung vor Ort fand ausschließlich durch das Personal der Versuchsstation Groß Malchau der Landwirtschaftskammer Hannover statt. Der Standort barg für die Prüfglieder auf Grund der pedologischen und klimatischen Gegebenheiten (s. Tab. 1 und Kap. 2.1.4.1f) die größten Schwierigkeiten. Auf dem Versuchsfeld kam es im Untersuchungsjahr 1999 zu erheblichen Blattverlusten aller Lupinensorten, in geringerem Umfang auch der Ackerbohnsorten durch den Befall von Blattrandkäfern (*Sitona lineatus*). Besonders bei *Lupinus luteus* wurden über 50% der Belaubung zerstört, so dass davon auszugehen ist, dass hiervon auch die Ertragsbildung und die N<sub>2</sub>-Fixierung beeinflusst wurden. Da es während des Versuchsjahres 1999 auch in Groß Malchau zu erheblichen Blattverlusten durch den Fraß von Blattrandkäfern (*Sitona lineatus*) gekommen war, wurden diese in den folgenden Versuchsjahren beim ersten Auftreten einer größeren Population mit den Insektiziden Karate® (15.06.00, 16.06.01) und Decis® (16.06.01) behandelt. Die Beregnungen (Tab. 11) entsprachen jeweils ca. 25 mm Niederschlag und dienten der Bestandeseerhaltung.

In Groß Malchau wie auf den anderen Standorten sollte eine manuelle Unkrautregulierung durchgeführt werden. Der Erfolg dieser Maßnahmen war jedoch schlechter als auf den anderen Standorten. Die Bestände waren in allen drei Jahren bis zum Ende der Vegetationsperiode verunkrautet (Weißer Gänsefuß - *Chenopodium album*), so dass davon ausgegangen werden muss, dass die Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe zu Ertragseinbußen geführt hat. Im Untersuchungsjahr 2000 konnte die Sorte Refusa Nova (*Lupinus luteus*) nicht geerntet werden, weil sie vor der Beprobung versehentlich gedroschen wurde. Im Untersuchungsjahr 2001 kam es auf Grund des großen Unkrautdrucks zum Totalausfall der Prüfglieder der Art *Lupinus luteus* (Parzelle 31/Sorte Refusa Nova konnte geerntet werden). Des Weiteren waren im Untersuchungsjahr 2001 abweichend von der Planung fünf statt sechs Reihen pro Beet gedrillt worden, wodurch wiederum ein mit den geänderten Standraumverhältnissen einhergehender Einfluss auf die Erträge und die N<sub>2</sub>-Fixierleistung der Prüfglieder nicht



glieder nicht ausgeschlossen werden kann. Die Kleinteilstücke (Beerntung, Bodenproben) wurden in den zentralen drei der fünf Reihen abgesteckt.

## 2.4 Untersuchungen am ober- und unterirdischen Pflanzenmaterial

Die Ernten der Arten und Sorten fanden standort- und witterungsbedingt in den Jahren 1999 bis 2001 zu unterschiedlichen Terminen statt, ebenso wie die Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage oder Körnernutzung der angebauten Gemenge. Der Entwicklungsverlauf der Prüfglieder auf den Außenstandorten Borwede, Föhrste und Groß Malchau wurde durch die Versuchsansteller vor Ort regelmäßig festgehalten. Zum ersten Erntetermin wurden die Grünspeiseerbse Nevada im Stadium der Teigreife (BBCH 79) geerntet. Der Zeitpunkt der Ernte bei dieser Nutzungsform ist deshalb sehr sensibel, weil die Erbsen zu einem späteren Zeitpunkt mit zunehmender Festigkeit ihre Eignung als Gemüseerbse verlieren. Zu diesem Termin wurden auch die Gemengeparzellen beerntet. Alle weiteren Prüfglieder wurden zur Voll- bis Totreife geerntet (BBCH 89 bis 99). Zu jeder Ernte war es notwendig, die Referenzpflanzen als Berechnungsgrundlage zur  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode mit zu beproben (Sprossmasse, Wurzeln, Boden, Blattfall). Die frühe Reife erlaubte jedoch in allen drei Untersuchungsjahren, die Referenzpflanze Hafer nur bis zur zweiten Ernte (Gemenge als Ganzpflanzensilage, Erbsengemenge zur Körnernutzung und Erbse zur Körnernutzung) zu nutzen. Spätere Ernten hätten Fehleinschätzungen des Bodenstickstoffs zur Folge gehabt, da der Hafer nach der Totreife relativ leicht ausfällt.

### 2.4.1 Beerntung der Sprossmasse

Die Beerntung der Sprossmasse sollte entsprechend der Nutzungsform die Bedingungen in der Praxis nachzeichnen, um die Stickstoffbilanzen entsprechend der Nutzung berechnen zu können. Ganzpflanzensilagen werden in der landwirtschaftlichen Praxis mit einem Balkenmäher geerntet, der Stoppeln von ca. 5 cm Höhe auf dem Feld belässt. Der Großteil des Pflanzenmaterials wird abgefahren. Dementsprechend wurden in den Kleinteilstücken der Gemenge aus *Pisum sativum* und *Avena sativa* bzw. *Vicia faba* und *Avena sativa* zum frühen Zeitpunkt mit einer Pflanzenschere in 5 cm Höhe geschnitten. Von den verbleibenden Stoppeln wurden die zentralen zwei der vier Reihen bodennah abgesägt und einer separaten Analyse zugeführt. Um den gesamt-pflanzlichen Stickstoff-Gehalt der Prüfglieder *Avena sativa* und *Brassica napus* zu bestimmen, wurden die Kleinteilstücke zum Termin der Ganzpflanzensilageernte wie auch zu allen weiteren Ernten bodeneben abgesägt und der weiteren Verarbeitung zugeführt (s. Kap. 2.4.3 Aufarbeitung der Pflanzen). Zur Bestimmung des

Bestandesabfalls wurde pro Parzelle je ein Drahtkorb aufgestellt (Größe: 0,2 m<sup>2</sup>). Diese wurden zu mehreren Erntezeitpunkten entleert. Die Ermittlung des Korn- und Schnittgutertrages mit Parzellenmähdreschern erfolgte an den Standorten Föhrste, Borwede und Groß Malchau durch die Landwirtschaftskammer Hannover, am Standort Göttingen durch das Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung.

## 2.4.2 Beprobung der Wurzelmasse

Vorrangiges Ziel des Projektes war, die gesamt-pflanzliche Stickstoff-Fixierleistung mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode erstellen zu können. Die Ermittlung der Wurzelmasse und der darin befindlichen Stickstoff-Mengen war dementsprechend ein wesentlicher Bestandteil der Beprobung, Analyse und Berechnung. Die Entnahme der Wurzelproben erfolgte bei jeder Ernte des jeweiligen Prüfgebietes mit Hilfe von schlaghammerbetriebenen Rammkernsonden (Fa. Stitz) mit einem Durchmesser von 8,7 cm für Bodensäulen einer Länge von 50 cm. Um die Wurzelmengen richtig abschätzen zu können, wurde der Wurzelraum auf und zwischen den Pflanzenreihen mit je zwei Einstichen beprobt, aufgeteilt in die Segmente 0 bis 25 cm und 25 bis 50 cm. Das Material wurde in Tüten gefüllt und der weiteren Verarbeitung im Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung zugeführt.

## 2.4.3 Aufarbeitung der Pflanzenproben

Nach den Ernten wurden die Pflanzenproben zur Weiterverarbeitung ins Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung nach Göttingen gebracht und über Nacht im Kühlraum bei 7°C aufbewahrt. Am folgenden Tag erfolgte die Sortierung, Trennung und Frischmassebestimmung der oberirdischen Pflanzenteile. Die Proben der Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage wurde feldfrisch nach ihren Anteilen und Beikräutern getrennt. Die Pflanzen wurden gezählt (*Vicia faba*, *Avena sativa*) gewogen, zerkleinert und vermischt. Ein Aliquot für die Analysen von ca. 150 bis 200 g wurde eingewogen, auf 60°C getrocknet und ausgewogen. Zum Feststellen der Gesamtfeuchtigkeit des Materials wurde ein weiteres Aliquot eingewogen, auf 60°C vortrocknet, auf 105°C nachgetrocknet und ausgewogen. Die Stoppeln der Ganzpflanzensilage wurden nach ihren Anteilen (*Pisum sativum* bzw. *Vicia faba*, *Avena sativa*, Beikräuter) getrennt, gewaschen und nach dem Trocknen bei 60°C ausgewogen. Die Restfeuchte wurde mit einer Teilprobe auf 105°C ermittelt. Das Material der Körnernutzung wurde ebenfalls nach Aufwuchs und Beikräutern getrennt. Die legumen Prüfglieder wurden größtenteils feldfrisch verarbeitet: Die Stängel (außer bei *Pisum sativum*) wurden gezählt, die Hülsen gepflückt, gewogen und von Hand entleert oder gedroschen. Die Hülsenwände wurden dem Stroh zugeführt, um durch die

Analysen für die Stickstoff-Flächenbilanz den auf der Fläche verbleibenden Stickstoff nach einem Drusch abschätzen zu können. Nach diesen Schritten wurde das Stroh gewogen, gehäckselt und wie oben beschrieben eingewogen. Die gewonnenen Samen wurden gewogen und als Aliquot zur Bestimmung der Gesamtfeuchte und zur Trocknung des Analysematerials eingewogen. Zu Zeiten großen Probenaufkommens mussten die totreifen Pflanzenproben im Gewächshaus des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung bis zur weiteren Verarbeitung zwischengelagert werden. Im abgereiften Zustand wurde die Pflanzenanzahl der als Referenzpflanze und als Gemengepartner genutzten Art *Avena sativa* festgestellt, die Rispen geschnitten, gezählt, gewogen und gedroschen. Die Spreu wurde wie bei den leguminen Prüfgliedern dem Stroh zugefügt. Die als Referenzpflanze zu jeder Ernte genutzte Art *Brassica napus* wurde gezählt, gewogen, gehäckselt und wie oben beschrieben eingewogen. Von den Samen (außer *Brassica napus*) eines jeden Prüfgliedes (jeder Wiederholung, jeden Standortes) wurde mit Hilfe der 105°C-Proben das Tausendkorngewicht festgestellt. Der Blattfall wurde bei 60°C getrocknet und ausgewogen, die Beikräuter wurden wie das Stroh der Prüfglieder eingewogen und der Analyse zugeführt.

#### **2.4.4 Aufarbeitung der Wurzelproben**

Die feldfrischen Wurzelproben wurden in Polyethylenschüsseln in den Gewächshäusern des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung vor- und im Trockenschrank bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz weitergetrocknet. Das Trockengewicht der getrockneten Proben wurde festgestellt. Die Wurzeln mussten größtenteils bis zur Weiterverarbeitung zwischengelagert werden. Die Wurzelproben wurden mit einer halbautomatischen Wurzelwaschanlage (geändert nach Delta-T, Fa. UP) über einem Sieb mit einer Maschenweite von 1,25 mm ausgewaschen. Die so gewonnenen Wurzeln wurden von Hand nachverlesen und bis zur weiteren Verarbeitung bei -20°C tiefgefroren. Die später bei 60°C getrockneten Einzelproben der Wurzeln (s. Kap. 2.4.2) wurden gewogen, parzellenweise zusammengeführt und der Weiterverarbeitung zugeführt.

#### **2.4.5 Schätzung der Wurzeltrockenmasse**

Die Beprobung der Wurzeln der Pflanzenbestände unter Feldbedingungen mit Hilfe der Rammkernsonde zeigt jeweils nur einen Ausschnitt der tatsächlich gebildeten Wurzelmasse. Die Variation der Messergebnisse zwischen den Proben in den Wiederholungen ist oft sehr groß, auch wenn hohe Probenzahlen vorliegen (VAN NOORDWIJK et al. 1985; BENGOUGH et al. 2000). Kleinräumige Bodenheterogenität kann eine inhomogene Wurzelverteilung und Nährstoffaufnahme bewirken. Der Wissensstand

über die an Versuchsfrage und Pflanzenart angepassten Probennahmemuster ist noch gering und es besteht die Forderung nach neuen experimentellen und theoretischen Untersuchungen (BENGOUGH et al. 2000). Vergleiche unterschiedlicher Beprobungsmethoden sind aufwendig und arbeitsintensiv (BÖHM et al. 1977), so dass die Wahl der passenden Beprobungsmethoden verstärkt durch die Anwendung von Modellen getroffen wird (BENGOUGH et al. 2000). Wird die Summe der Wurzelmengen aus beiden Bohrstöcken auf die Fläche hochgerechnet, findet eine Gleichgewichtung des "auf der Reihe"- und des "zwischen der Reihe"- Wertes statt. Dadurch kann die Wurzelmenge in dichten Reihenkulturen wie Getreide um bis zu 30 % überschätzt werden (BENGOUGH et al. 2000). Bei Kulturen mit geringer Bestandesdichte sind dabei noch größere Fehler zu erwarten. Für den in ausgeprägter Reihenkultur stehenden Hafer, aber auch für Erbse wurde deshalb eine flächenbezogene Berechnung gewählt. Für die Prüfglieder Ackerbohne, Gelbe und Weiße Lupine und die Referenzfrucht Raps wurde eine nach Pflanzenanzahl differenzierte standraumbezogene Kalkulation angewendet (VAN NOORDWIJK et al. 1985). Folgende Berechnungsschritte wurden nach dem von ANTHES & REITER (2001) am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung entwickelten Modells durchgeführt:

- Über die Gewichte der entnommenen Bodenproben und die Lagerungsdichten der einzelnen Horizonte wurde das Bodenvolumen der jeweils auf und zwischen der Reihe entnommenen Proben ermittelt.
- Über die Schichtdicke von jeweils 25 cm der entnommenen Bodenproben wurde die Fläche als Bezugsgröße für das Gewicht der gewonnenen Wurzelprobe ermittelt.
- Die Menge für auf der Reihe und zwischen der Reihe entnommene Wurzeln (in dt ha<sup>-1</sup>) wurde für jede Bodenschicht berechnet.

Flächenbezogene Berechnung für reihenbetonte Früchte:

Bezogen auf eine Flächeneinheit von 1 m<sup>2</sup> ergibt sich bei einem Reihenabstand von 24 cm bei 4 Reihen eine Reihenlänge von 1,04167 m. Die Gesamtreihenlänge beträgt demnach 4,16668 m. Der Durchmesser des Bohrstockes beträgt 8,7 cm, so dass über die Beprobung der Reihen ein Raum von 3625 cm<sup>2</sup> abgedeckt ist. Von der Gesamtfläche befinden sich also 36,25 % im Reihenraum, 63,75 % im Zwischenreihenraum. Mit diesen Faktoren werden die zuvor erhobenen Flächenertragswerte für auf der Reihe und zwischen der Reihe korrigiert und anschließend addiert. Für die weitere Verrechnung werden zudem die Horizonte aufaddiert.

Standraumbezogene Berechnung für einzelpflanzenbetonte Kulturen:

Die Annahme eines Reihenraumes, der bei beliebigem Einschlagsort den "auf der Reihe" - Wert wiedergibt, ist bei einzelpflanzenbetonten Kulturen nicht richtig. Ein Bohrstock, der direkt auf eine (oder mehrere) Pflanzen gesetzt wurde, ist nur für eine

sehr viel geringere Fläche als den gesamten Reihenraum repräsentativ. Der Korrekturfaktor errechnet sich über die tatsächliche oder über den Feldaufgang ermittelte Pflanzenzahl auf der beprobten Fläche. Bei 4,16668 Reihenmetern können maximal 47 Bohrstöcke ( $\varnothing$  8,7 cm) nebeneinander gesetzt werden. Der Standraum einer Pflanze wird berechnet über den Abstand der Pflanzen innerhalb der Reihe (a) und dem Reihenabstand (24 cm). Ist der Abstand der Pflanzen innerhalb der Reihe > 8,7 cm, lassen sich die Korrekturfaktoren über den Standort-Anteil der Zylinderfläche des Bohrstockes, der auf die Pflanze gesetzt wurde, leicht berechnen:

Berechnung des Anteils „auf der Reihe (a)“ (in %):

$$\frac{100}{\text{Standraum}} * \text{Zylinderfläche} = \frac{100}{a * 24 \text{ cm}} * [(4,35 \text{ cm})^2 * \pi]$$

Analog kann der Anteil zwischen der Reihe (z)

$$= 100 - \text{Anteil "auf der Reihe"}$$

abgeleitet werden. Überschneiden sich die Zylinderflächen bei der theoretischen Einzelpflanzenbeprobung pro Standraum (Abb. 15), so muss der Anteil der Wurzel proportional verringert werden, um eine individuenbezogene Schätzung durchführen zu können (ANTHES & REITER 2001).

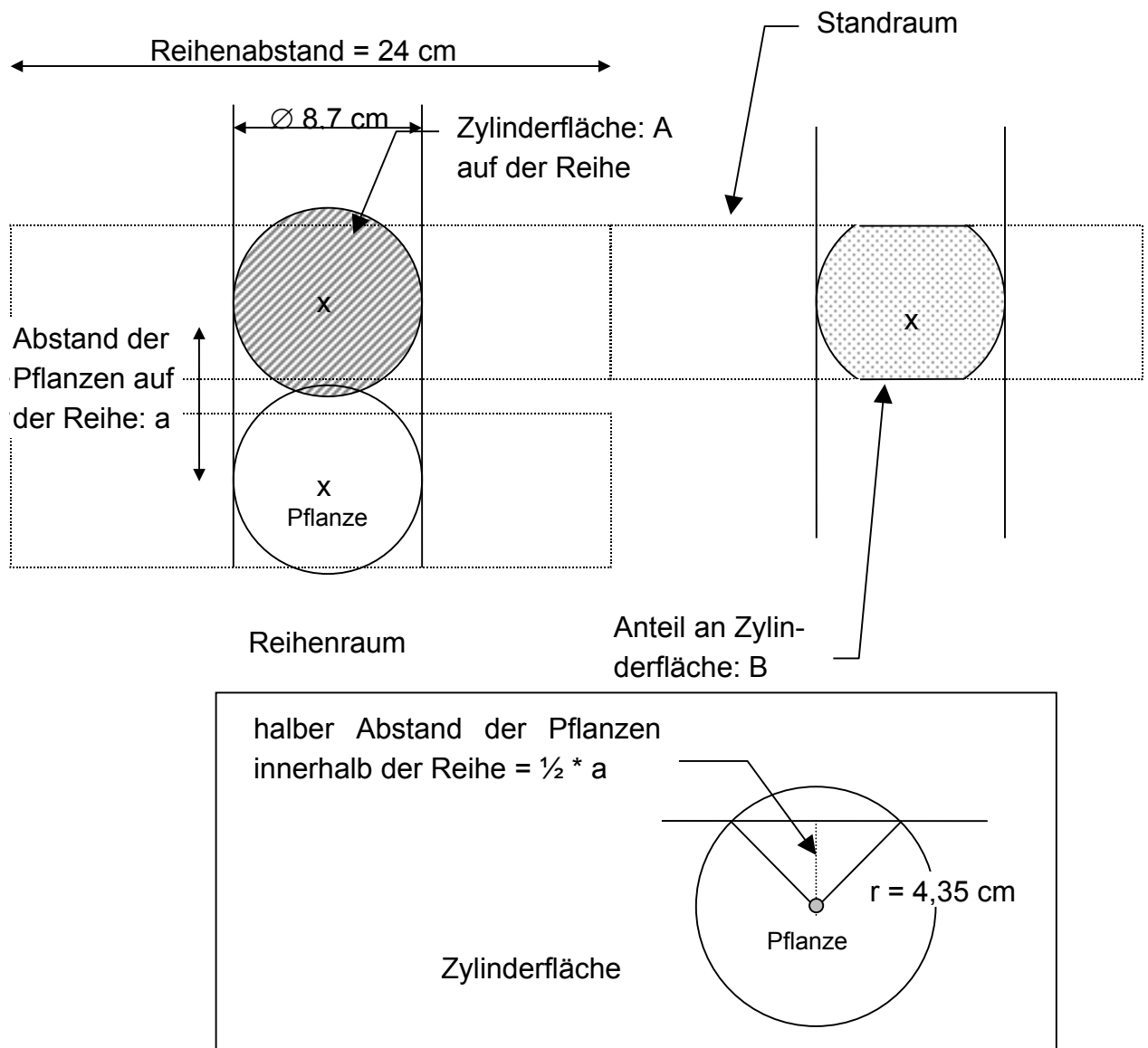


Abb. 15: Standraumzuteilung bei Einzelpflanzenbeprobung. Anteil "auf der Reihe" (ANTHES & REITER 2001)

Der Zylinderflächenanteil (= B) am Standraum wird nach folgender Formel berechnet:

$$B = \text{Gesamt-Zylinderfläche} - 2 * (\text{Kreissektorensegment} - \text{Dreieck})$$

$$= \text{Gesamt-Zylinderfläche} - 2 * [(r^2 * \arccos(\frac{1}{2} * a / r)) - (\frac{1}{2} * a * (r^2 - (\frac{1}{2} * a)^2)^{1/2})]$$

Die Differenz zwischen Gesamtstandraum und dem Zylinderflächenanteil (B) am Standraum entspricht dem Zwischenreihenraum (Abb. 16).

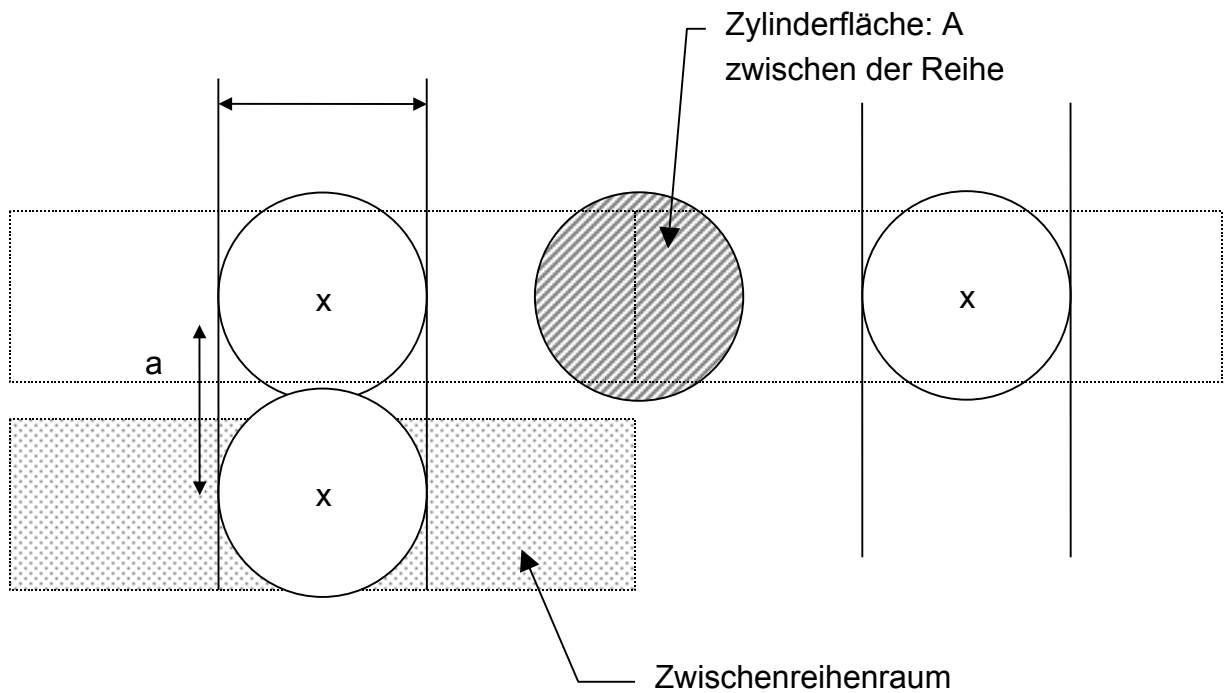


Abb. 16: Standraumzuteilung bei Einzelpflanzenbeprobung: Anteil des Zwischenreihenraumes (ANTHES & REITER 2001)

Die Anteile "auf" und "zwischen der Reihe" werden wie oben berechnet. Für standraumbezogene Kulturen ergeben sich nach Tab. 17 folgende Korrekturwerte bei definierten Feldaufgangsdaten:

Tab. 17: Standraumbezogene Korrekturfaktoren (ANTHES &amp; REITER 2001)

Pflanzen m <sup>-2</sup>	auf der Reihe	zwischen der Reihe
63	0,324	0,676
66	0,328	0,672
67	0,329	0,671
68	0,330	0,670
71	0,333	0,667
73	0,335	0,665
76	0,337	0,663
77	0,338	0,662
80	0,340	0,660

Die Wurzelmasse der Prüfglieder wurde nach diesen theoretischen Überlegungen wie folgt geschätzt:

- Individuenbezogene Schätzung der Wurzeltrockenmasse bei Pflanzen mit ausgeprägter Pfahlwurzel (Ackerbohne, Weiße und Gelbe Lupine, Raps)
- Standraumbezogene Schätzung der Wurzel-TM von Pflanzen mit homorrhizem Wurzelsystem (Hafer) und/oder in dichtreihigen Pflanzenbeständen (Erbse)
- Aufteilung der Wurzelmasse anhand des Spross/Wurzel-Verhältnisses der Gemengepartner in Reinsaat (s. Beschreibung im folgenden Absatz); wurzelspezifische Schätzung der rechnerisch aufgeteilten Wurzelmasse individuellen- oder standraumbezogen (s.o.)

Wie oben erwähnt wurde die ausgewaschene Wurzel-TM der Prüfglieder im Gemengeanbau (Ackerbohne/ bzw. Erbse/Hafer-Gemenge) rechnerisch aufgeteilt, da das Material nicht nach Gemengepartnern trennbar waren. Das Spross-Wurzel-Verhältnis der Reinsaaten der Gemengepartner wurde folgendermaßen in die Schätzung einbezogen:

$$\text{Faktor } S/W_{\text{Reinsaat}} = \frac{\text{Sprossmasse}_{\text{Leg. bzw. Hafer in Reinsaat}}}{\text{Wurzelmasse}_{\text{Leg. bzw. Hafer in Reinsaat}}}$$

S/W = Spross/Wurzel-Verhältnis, Leg. = Leguminose



$$\text{theor. Wurzelmasse}_{\text{Leg. bzw. Hafer im Gemenge}} = \frac{\text{Sprossmasse}_{\text{Leg. bzw. Hafer im Gemenge}}}{\text{Faktor S/W}_{\text{Leg. bzw. Hafer in Reinsaat}}}$$

theor. = theoretisch, S/W = Spross/Wurzel-Verhältnis, Leg. = Leguminose

Aufteilung der Wurzelmasse des Gemenges:

$$\text{Wurzelmasse}_{\text{Leg. im Gemenge}} = \frac{\text{Wurzelmasse}_{\text{Gemenge}} * \text{theor. Wurzelmasse}_{\text{Leg. im Gemenge}}}{\text{theor. Wurzelmasse}_{\text{(Leg. + Hafer im Gemenge)}}$$

$$\text{Wurzelmasse}_{\text{Hafer im Gemenge}} = \frac{\text{Wurzelmasse}_{\text{Gemenge}} * \text{theor. Wurzelmasse}_{\text{Hafer im Gemenge}}}{\text{theor. Wurzelmasse}_{\text{(Leg. + Hafer im Gemenge)}}$$

Beispielrechnungen der einzelnen Modelle befinden sich im Anhang.

## 2.4.6 Pflanzenanalyse

Das Zerkleinern aller getrockneten Pflanzenteile wurde mit einer Ultrazentrifugalmühle (ZM 100, Fa. Retsch) auf eine Größe von  $\leq 0,2$  mm durchgeführt. Die zerkleinerte und homogenisierte Probensubstanz wurde anschließend der Bestimmung des Stickstoff-Isotopenverhältnisses (Gesamtstickstoff, Gehalt der Isotope  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ ) mittels N-Elementaranalyser (Typ NA 1500, Fa. Carlo Erba) und nachgeschaltetem Isotopen-Massenspektrometer (IRMS, Typ MAT 251, Fa. Finnigan) im Isotopenlabor der Universität Göttingen zugeführt. Dazu wurden je nach Stickstoffanteil 2 bis 5 mg des Materials in Zinnkapseln eingewogen. Die in den Parzellen der Prüfglieder angefallenen Kräuter wurden mit einem Flächenertrag  $< 2$  dt ha $^{-1}$  lediglich auf ihren Gehalt an Stickstoff und Kohlenstoff hin untersucht. Die auf  $\leq 0,2$  mm zermahlene Proben wurden bei 950 bis 1000°C in mit Sauerstoff hoch angereicherter Helium-Atmosphäre in einem mit CuO gefüllten Verbrennungsrohr verbrannt. Der Wärmeleitfähigkeitsdetektor misst die spezifischen Komponenten des entstehenden Gasgemisches (Typ Elementaranalysator vario EL, Fa. Elementar Analysensysteme).

## 2.4.7 Schätzung der von den Körnerleguminosen fixierten N-Menge

### 2.4.7.1 Die $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (natural $^{15}\text{N}$ abundance method)

Die symbiotische Fixierleistung von Leguminosen kann mit Hilfe verschiedener Verfahren geschätzt werden. Zur Schätzung der  $\text{N}_2$ -Fixierung von Leguminosen eignen sich besonders die Methoden, bei denen die nicht-radioaktiven, stabilen Stickstoff-Isotopenverhältnisse  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  zur Berechnung herangezogen werden. Grundlage dabei bildet das Isotopenverhältnis des Luftstickstoffs  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ , das weltweit mit nur sehr geringer räumlicher und zeitlicher Variabilität bei 0,3663 atom% liegt (MARIOTTI 1983). Der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert entspricht der atom%  $^{15}\text{N}$ -Abweichung (‰) vom Standard Luft. Definitionsgemäß entspricht der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert der Luft also 0 ‰. (SHEARER & KOHL 1986).

$$\delta^{15}\text{N} = \frac{\text{atom\% } ^{15}\text{N (Probe)} - \text{atom\% } ^{15}\text{N (Standard Luft)}}{\text{atom\% } ^{15}\text{N (Standard Luft)}} * 1000 \text{ ‰}$$

In der Regel entnehmen Leguminosen und Referenzfrüchte bodenbürtigen Stickstoff zum überwiegenden Teil aus oberen Horizonten des Bodens, da hier die größte Menge an Stickstoff aus organischen Bodenvorräten mineralisiert und den Pflanzen zur Verfügung gestellt wird, so dass Leguminosen und Referenzpflanzen in der Regel bodenbürtigen Stickstoff mit nahezu gleichem Isotopenverhältnis aufnehmen (SCHMIDTKE 1997a). Die gewählten Referenzpflanzen müssen den Anspruch erfüllen, sich des gleichen Stickstoffvorrates wie die Leguminosen zu bedienen. Das Wurzelsystem sollte deshalb dem der Leguminose entsprechen, auch um die zeitliche und räumliche Variation des  $\delta^{15}\text{N}$ -Wertes annähernd gleich zu erfassen (SHEARER & KOHL 1986).

Der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert der Leguminose stellt einen Mischwert der von den Leguminosen genutzten Stickstoff-Ressourcen Luft und Boden dar. Diese Referenzpflanzen (hier als monokotyle Pflanze *Avena sativa* und als dikotyle Pflanze *Brassica napus*) stellen auch gleichzeitig nach Abzug der zu Vegetationsbeginn im Boden bereits vorhandenen  $\text{N}_{\text{min}}$ -Menge das zeitliche Integral über das Stickstoff-Mineralisationsvermögen eines Bodens über die Vegetationsperiode dar.

Bei den Leguminosen kann es während der  $\text{N}_2$ -Fixierung art- und sortenspezifisch zu einer Diskriminierung des  $^{15}\text{N}$ -Isotops kommen. Der Grad der  $^{15}\text{N}$ -Diskriminierung wurde ermittelt, indem die einzelnen legumen Prüfglieder (s. Kap. 2.2) unter Gewächshausbedingungen in N-freiem Substrat angezogen und der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert im

Pflanzenmaterial gemessen wurde (s. Kap. 2.4.3 und 2.4.6). Eine Zusammenstellung der Delta  $^{15}\text{N}$ -Werte der auf N-freiem Substrat angezogenen Leguminose befindet sich im Anhang.

Der Anteil des Stickstoffs aus der Luft (nitrogen derived from atmosphere, Ndfa) wird nach SHEARER & KOHL (1986) über folgende Formel abgeleitet:

$$\text{Ndfa} = \frac{\delta^{15}\text{N}_{\text{Referenzpflanze}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{Leguminose}}}{\delta^{15}\text{N}_{\text{Referenzpflanze}} - \delta^{15}\text{N}_0}$$

$\delta^{15}\text{N}_0$  -  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert des symbiotisch fixierten Luftstickstoffs der Leguminose nach Anzucht auf N-freiem Substrat ( $0 < \text{Ndfa} < 1$ )

Über natürliche Diskriminierungsprozesse bei der Nitrifikation und Denitrifikation kommt es in den Böden häufig zu einer leichten Anreicherung des schwereren  $^{15}\text{N}$ -Isotopes. Die Differenz zwischen den  $^{15}\text{N}$ -Gehalten der Luft und des Bodens kann genutzt werden, weil Leguminosen ihren Stickstoff-Bedarf sowohl aus dem Boden als auch durch die Stickstoff-Fixierung decken, wo hingegen nicht nodulierende Pflanzen auf den Stickstoff-Vorrat des Bodens angewiesen sind. Der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert der Referenzpflanzen spiegelt somit den  $\delta^{15}\text{N}$ -Gehalt des Bodens wider.

Voraussetzung für die Anwendung der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode ist, dass der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert der Referenzpflanze signifikant vom  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert der Luft (= 0 ‰  $\delta^{15}\text{N}$ ) abweicht. Die Differenz sollte nach LEDGARD & PEOPLES (1988) mehr als 5 ‰  $\delta^{15}\text{N}$  betragen, damit der prozentuale Standardfehler des Mittelwertes der Bestimmung des Anteiles Stickstoff aus der Luft in Leguminosen (Ndfa) kleiner 5 % wird. Die  $\delta^{15}\text{N}$ -Gehalte der Voruntersuchungen auf den ausgewählten Standorten sind in Tab. 18 zusammengefasst.

Tab. 18:  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte aus den Voruntersuchungen an den Standorten

Standort	Pflanzenmaterial	$\delta^{15}\text{N}$ in ‰	Anmerkung
Borwede	<i>Solanum tuberosum</i> (Knolle)	+ 3,99	gedüngt mit Mineral-N
Föhrste <sup>1</sup>	n.e.	n.e.	gedüngt mit Mineral-N
Föhrste <sup>2</sup>	<i>Triticum aestivum</i>	+ 3,45	gedüngt mit Mineral-N
Reinshof	<i>Brassica oleracea</i>	+ 6,74	gedüngt mit Mineral-N
Groß Malchau	<i>Elymus repens</i> (Blatt)	+ 4,17	gedüngt mit Mineral-N

n.e. = nicht erhoben; <sup>1</sup>Versuchsjahr 1999, <sup>2</sup>Versuchsjahre 2000 und 2001 nach Flächenwechsel

Die Düngung einer Fläche bewirkt ein Herabsenken der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte, weshalb die Werte der analysierten Pflanzen z.T. unter der oben genannten Grenze zur Anwendung der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode lagen. Es ist zu erwarten, dass die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte ohne N-

Gaben den Wert von 5 ‰ überschritten hätten. Da in der Versuchskonzeption keine N-Düngung vorgesehen war, wurde zunächst auf eine Anreicherung mit  $^{15}\text{N}$ -angereichertem Düngemitteln der Flächen Borwede, Föhrste und Groß Malchau verzichtet. Die geringen  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Referenzpflanzen des Versuchsjahres 1999 des Standortes Groß Malchau machten jedoch eine Anreicherung erforderlich.

### 2.4.7.2 Die $^{15}\text{N}$ -Verdünnungsmethode

Die Pflanzenanalysen des Standortes Groß Malchau des ersten Untersuchungsjahres zeigte wider Erwarten, dass die natürliche  $^{15}\text{N}$ -Anreicherung des Bodens bei den Prüfgliedern nicht die ausreichende Differenz in den  $\delta^{15}\text{N}$ -Werten von 5 ‰ zum Luftstandard erbrachte. Die  $^{15}\text{N}$ -Verdünnungsmethode bietet hier die Möglichkeit, durch eine für die Versuchfrage nicht relevante, geringfügige N-Düngung mit  $^{15}\text{N}$ -angereichertem Harnstoff den  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert im pflanzenverfügbaren Bodenstickstoff zu erhöhen. Die Quantifizierung der symbiotisch fixierten N-Mengen erfolgt dabei analog der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode. In den Jahren 2000 und 2001 wurde am Standort Groß Malchau eine Anreicherung des Bodens mit  $^{15}\text{N}$ -Düngemitteln vorgenommen. Hierzu wurde  $\text{CO}(^{15}\text{NH}_2)_2$  mit 10 atom%  $^{15}\text{N}$  als Dünger verwendet (Fa. Euriso-Top). Nach Gleichung 1 konnte der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert des eingesetzten Harnstoff-Düngers berechnet werden (PEOPLES et al. 1989, REITER et al. 2002):

$$\delta^{15}\text{N} = \frac{{}^{15}\text{N} / {}^{14}\text{N} (\text{Probe}) - {}^{15}\text{N} / {}^{14}\text{N} (\text{Standard})}{{}^{15}\text{N} / {}^{14}\text{N} (\text{Standard})} * 1000$$

Die Applikation von  $^{15}\text{N}$ -Harnstoff erfolgte jeweils direkt nach der Aussaat. Hierzu wurden 25 g des  $^{15}\text{N}$ -angereicherten Harnstoffes in einer Feldspritze in 300 l Wasser gelöst und in mehreren Fahrten gleichmäßig auf die Versuchsfläche ausgebracht. Dies entsprach einer applizierten Düngermenge von 31 g N ha<sup>-1</sup> bzw. 0,3 g  $^{15}\text{N}$  ha<sup>-1</sup>. Die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Referenzpflanzen lagen am Standort Föhrste in den Jahren 2000 und 2001 ebenfalls leicht unterhalb der notwendigen 5 ‰. Eine Anreicherung konnte auf diesem Standort nicht durchgeführt werden, weil die Analysewerte aus dem Isotopenlabor zur Aussaat im Frühjahr 2001 noch nicht vorlagen.

### 2.4.7.3 Die erweiterte Differenzmethode

Die erweiterte Differenzmethode bietet für die Standorte, an denen die Differenz der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte zwischen Referenzpflanze und Leguminose für die Anwendung der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode zu gering ist, eine weitere Möglichkeit, die Stickstoff-Fixierleistung der Leguminosen zu schätzen. Die Gleichung der Differenzmethode – Erweiterungsstufe I – (RUSCHEL et al. 1979, LA RUE & PATTERSON 1981) lautet unter der Annahme gleicher Stickstoff-Aufnahmen des legumen und des nicht legumen Prüfgliedes aus dem Boden:

$$\% \text{ Ndfa} = (N_{\text{Leg}} - N_{\text{Ref}}) / N_{\text{Leg}} * 100$$

$N_{\text{Leg}}$  bzw.  $N_{\text{Ref}}$  – Stickstoffmenge im Aufwuchs des legumen bzw. nicht legumen Prüfgliedes in  $\text{kg ha}^{-1}$

Die erweiterte Differenzmethode - Erweiterungsstufe II - nach STÜLPNAGEL (1982) berücksichtigt die Nitratsparsamkeit der Leguminosen mit folgender Gleichung:

$$\% \text{ Ndfa} = [(N + \text{NO}_3^- \text{-N})_{\text{Leg}} - (N + \text{NO}_3^- \text{-N})_{\text{Ref}}] / N_{\text{Leg}} * 100$$

Die Genauigkeit der Schätzung ist durch die Anwendung der Erweiterungsstufe III erhöht. Hierbei wird der Tatsache Rechnung getragen, dass bei den vorherigen Schätzungen die Stickstoff-Verluste der Leguminosen durch Blattfall unberücksichtigt blieben. Die Differenzmethode – Erweiterungsstufe IV – bezieht zur Erhöhung der Schätzgenauigkeit auch noch die Stickstoff-Mengen in Wurzeln und Knöllchen mit ein, was nach HAUSER (1987) zu folgender Gleichung führt:

$$\% \text{ Ndfa} = [(N_{\text{Bt}} + \text{NO}_3^-)_{\text{Leg}} - (N_{\text{Bt}} + \text{NO}_3^-)_{\text{Ref}}] / (N_{\text{Bt}})_{\text{Leg}} * 100$$

$N_{\text{Bt}}$  – gesamt-pflanzlicher Stickstoff (Biomasse total) in  $\text{kg ha}^{-1}$

## 2.5 Mineralischer Stickstoff im Boden

Der Vorrat an mineralischem Stickstoff ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) im Boden wurde mit zwei halb-automatischen Probenahmevorrichtungen (Fa. Nietfeld) bis 125 cm Tiefe, unterteilt in Segmente zu je 25 cm erfasst. Zur Aussaat wurden die  $N_{\text{min}}$ -Mengen im Boden im Mittel eines Blockes (sechs Einstiche je Block) erhoben. Zu den Ernten wurden pro Ernteparzelle vier Einstiche (zwei auf den abgeernteten Pflanzenreihen, zwei dazwischen) beprobt, die in den jeweiligen Tiefenstufen als Mischproben und im Feld in Kühltaschen mit Kühlakkus verpackt wurden. Die Bodenproben wurden im Institut für

Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung nach dem Homogenisieren sofort bei  $-20^{\circ}\text{C}$  tiefgefroren.

## 2.6 Bodenphysikalische Methoden

Die Untersuchungen zur Bodendichte, nutzbarer Feldkapazität, Wasserleitfähigkeit, Korngröße, pH-Wert,  $C_{\text{org}}\text{-C/N}_t$ -Gehalte der Böden wurden am Institut für Pflanzenbau durchgeführt. Die Bestimmung der Korngrößenverteilung im Feinboden erfolgte nach DIN (1973, 19683 Bl. 2). Die Humusanteile wurden durch Wasserstoffperoxid zerstört. Die Carbonatanteile wurden durch die Zugabe von Salzsäure beseitigt und die entstandenen Salze durch mehrmaliges „Auswaschen“ mit destilliertem Wasser entfernt. Die Bodenlösung wurde danach mit 4 %iger Na-Metaphosphatlösung dispergiert. Die Bodenlösung wurde durch einen dreiteiligen Siebturm (Maschenweite 2,0 mm, 0,63 mm und 0,2 mm) mit Hilfe eines Glastrichters in einen Glaszylinder überführt und so nach Sandanteilen und nicht siebbarem Feinboden getrennt. Die Siebe wurden mit destilliertem Wasser über dem Glaszylinder gründlichst nachgespült und nach dem Trocknen bei  $105^{\circ}\text{C}$  der Rückstand ausgewogen. Die Schlämmanalyse erfolgte nach der Methode von MOSCHREFI (1983). Die Probe in dem stehenden 1000 ml-Zylinder wurde von Hand aufgerührt (Stab ähnlich einem Kartoffelstampfer). Nach den durch die Absinkgeschwindigkeiten (Stoke's Gesetz) vorgegebenen Zeiten wurden durch Bohrungen im Zylinder, die mit Septen verschlossen waren, drei Proben à 10 mm (Einwegspritze) in drei Tiefenstufen gezogen. Hierbei enthielt die erste Probe Fein- und Mittelschluff und Ton in äquivalenten Anteilen, die zweite Probe enthielt nur noch Feinschluff und Ton, die dritte Probe enthielt nur noch die Tonfraktionen. Die Proben wurden in gewogenen Tiegel bei  $105^{\circ}\text{C}$  getrocknet und ausgewogen. Durch Subtraktion der anteiligen Menge Na-Metaphosphats wurde der Tonanteil und durch weitere Subtraktionen der einzelnen Fraktionen die Gewichtsanteile von Fein-, Mittel- und Grobschluff ermittelt (Probe 2 minus Na-Metaphosphat minus Tonmenge in Probe 1 = Feinschluffmenge etc.).

Zur weiteren Standortbeschreibung der einzelnen Untersuchungsstandorte dienen die Lagerungsdichte, das Gesamtporenvolumen und die Verteilung der Porengrößen in den Bodenhorizonten. Hierzu wurden an allen Standorten in den oben beschriebenen Bodenprofilen jeweils acht Stechzylinderproben pro Horizont à  $100\text{ cm}^3$  gezogen. Mittels der Druckmethode nach RICHARDS & FIREMAN (1943) wurden die oben genannten Parameter bestimmt. Die Lagerungsdichte der Böden der vier Untersuchungsstandorte wurde anhand von Quarz als Hauptbestandteil des mineralischen Bodens mit einer Dichte von  $d_F = 2,65\text{ g cm}^3$  ermittelt.

## 2.7 Bodenchemische Methoden

Die gefrorenen Bodenproben zur Bestimmung des Vorrates an mineralischem Stickstoff wurden im Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung analysiert. Jeweils 100 g einer Bodenprobe wurden mit 250 ml einer 0,01 molaren  $\text{CaCl}_2$ -Lösung versetzt und in Polyethylenflaschen eine Stunde bei Raumtemperatur geschüttelt (VDLUFA 1991). Die Suspension wurde anschließend über einen N-freien Faltenfilter (Fa. Macherey-Nagel, MN 619) gereinigt. Das abgefilterte Boden-Extrakt des löslichen mineralischen Bodenstickstoffs ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) wurde mittels luftsegmentierter Durchflussanalyse (Typ Flow solution 3, Fa. Perstorp Analytical) photometrisch detektiert. Hierbei wird das Nitrat in einer Cadmium-Säule zu Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) reduziert. Dieses reagiert mit Sulfilamid unter Bildung eines Diazoniumsalzes. Die Konzentration des bei der folgenden Azokupplung entstehenden rot-violette Farbstoffs wurde in der Messlösung bei 50 nm erfasst. Die Messung des Ammoniumgehaltes erfolgte auf der Basis der Berthelot-Reaktion. Hierbei bilden sich Phenole und Ammoniak Indophenole, in diesem Fall ein grün gefärbtes Indophenolderivat, das bei 660 nm photometrisch erfasst wird (KÖNIG & FORTMANN 1996).

Die C- und N-Gehalte der Bodenproben aus der Blockbeprobung eines Jahrgangs wurden wie die C- und N-Gehalte der Beikräuter analysiert (s. Kap. 2.4.6 Pflanzenanalyse).

Die Analyse der Grundnährstoffe Kalium und Phosphat wurden im Institut für Agrarkulturchemie der Universität Göttingen mittels CAL-Methode (SCHÜLLER 1969) durchgeführt. Hierzu wurden 5 g Feinboden mit 100 ml CAL-Lösung versetzt. Die Konzentration der Nährstoffe wurde flammenphotometrisch bestimmt.

Zur Bestimmung der Magnesiumversorgung wurde der luftgetrocknete Boden in einer 0,025 mol/l  $\text{CaCl}_2$ -Lösung eine Stunde geschüttelt. Die Magnesium-Gehalte wurden ebenfalls flammenphotometrisch im Filtrat festgestellt.

Die Bestimmung der pH-Werte wurde mittels 0,01 mol/l  $\text{CaCl}_2$ -Lösung durchgeführt. Die effektive Kationenaustauschkapazität ( $\text{KAK}_{\text{eff}}$ ) wurde am Geographischen Institut der Universität Göttingen nach der Methode von LÜER & BÖHMER (2000) gemessen. Dazu wurden 2,5 g Feinboden in 100 ml 1 M  $\text{NH}_4\text{Cl}$  drei mal in 24 Stunden geschüttelt, vier Stunden sedimentiert und filtriert. Die Messung der Kationen (Al, Ca, Fe, H, K, Mg, Mn, Na) erfolgte mittels ICP-OES (Optima 4300™, Fa. Perkin Elmer). Die Summe der gemessenen Kationen wird als S-Wert bezeichnet, die Basensättigung (BS [%]) beschreibt den prozentualen Anteil der basischen Kationen (Ca, K, Mg, Na) am S-Wert (bzw.  $\text{KAK}_{\text{eff}}$ ).

## 2.8 Statistik

Die Ergebnisse der einzelnen Prüfglieder, die statistisch miteinander verrechnet wurden, stammen aus drei Anbaujahren und vier Standorten aus vollständig randomisierten einfaktoriellen Blockanlagen in dreifacher Wiederholung. Sie wurden nach McINTOSH (1983) nach den Faktoren Standort, Jahr und Sorte sortiert und gesondert verrechnet (SAS-Prozedur GLM). Die statistischen Analysen wurden mit Hilfe des Programmpaketes SAS für Personalcomputer vorgenommen (SAS-INSTITUTE 1999, Version 8.01). Tests auf Normalverteilung der Residuen wurden nach SHAPIRO & WILK (1965) durchgeführt. Wenn die Voraussetzungen für die Varianzanalyse nicht erfüllt waren, wurde versucht, mittels Wurzeltransformation, logarithmischer Transformation (MUNZERT 1992, SACHS 1992) oder Quadrierung Normalität der Rohdaten herzustellen. Konnte diese auch nach der Transformation der Rohdaten nicht erreicht werden, wurde auf die varianzanalytische Verrechnung der Ergebnisse verzichtet.

Multiple Vergleiche der Mittelwerte und simultane Vertrauensbereiche wurden mit Hilfe des Tukey-Testes ermittelt (TUKEY 1953). Simultane Irrtumswahrscheinlichkeiten wurden berechnet für:

- $\alpha$  = 0,05;      gekennzeichnet durch \*
- $\alpha$  = 0,01;      gekennzeichnet durch \*\*
- $\alpha$  = 0,001;     gekennzeichnet durch \*\*\*
- n.s. = nicht signifikant
- # = auch nach Transformationen keine Normalverteilung

Im Ergebnisteil und im Anhang sind die Ergebnisse multipler Mittelwertvergleiche in Form von Tabellen zusammengestellt. Durch waagerechte ( $\rightarrow$ ) und senkrechte Pfeile ( $\downarrow$ ) in den Tabellen wird die Leserichtung, in der die Prüfglieder miteinander verglichen werden, angezeigt.

Zur Prüfung des Zusammenhanges zwischen Merkmalen wurde der (lineare) empirische Pearsonsche Korrelationskoeffizient (SAS-Prozedur CORR) berechnet. Lineare Regressionen wurden mit der SAS-Prozedur REG, quadratische Regressionsfunktionen mit der SAS-Prozedur NLIN ermittelt. Die Überschreitungswahrscheinlichkeit zum Test der Nullhypothese, dass das Bestimmtheitsmaß der entsprechenden Zufallsvariablen Null ist, wurde mittels t-Test berechnet (DUFNER et al. 1992). Um Inhomogenitätskorrelationen auszuschließen, wurde vor Durchführung der Regressionsanalyse die Verteilung der Wertepaare im Koordinatensystem visuell überprüft (SACHS 1992).



### **3 Kalkulationsverfahren zur Berechnung der N-Flächenbilanz bei Körnerleguminosen**

Die aus dem Projekt zur Stickstoff-Fixierleistung von Körnerleguminosen stammenden Ertragsdaten der Trockenmasse und Stickstoffmengen der einzelnen Pflanzenbestandteile der Pflanzenarten wurden regressionsanalytisch ausgewertet. Die Korrelationen mit dem höchsten Bestimmtheitsmaß ( $r^2 \geq 0,5$ ) dienten zur Entwicklung des Modells der N-Flächenbilanz. Die in das Modell ebenfalls einfließenden Nmin-Werte entsprechen den in der Versuchreihe ermittelten Werten. Zur Ableitung des Modells der erweiterten N-Flächenbilanz bedarf es zweier Regressionen, deren Ableitung der Schätzung der gesamt-pflanzlichen Biomasse dienen. Mit Hilfe der im Projekt gewonnenen Daten wurde die Annahme überprüft, ob sich Ableitungen ergeben, die in der Praxis standardisiert erhoben werden können und die Ableitung einer N-Flächenbilanz ermöglichen.

#### **3.1 Beispielrechnung zur Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Körnerleguminosen**

Die unten aufgeführte Beispielrechnung soll das den einzelnen Arten beigefügte Kapitel zum Schätzverfahren der Stickstoff-Fixierleistung und N-Flächenbilanz einführend erläutern. Die Zusammenhänge ändern sich artbezogen insofern, dass bei den Arten unterschiedliche Beziehungen zur Ableitung der N-Flächenbilanz herangezogen wurden.

### A. Beispielrechnung zur Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und erweiterter N-Flächenbilanz von Körnerleguminosen in Reinsaat:

-1-	Korn-TM-Ertrag der Leguminose z.B.	30,0 dt TM ha <sup>-1</sup>
-2-	+ 2 % Ernteverlust	30,6 dt TM ha <sup>-1</sup>
-3-	Korn-N-Menge aus a) Kalkulationstabelle (Korrelation zwischen Korn-TM : Korn-N-Menge) b) Futtermittelanalyse (z.B. 3,6 %)	111,0 kg N ha <sup>-1</sup>
-4-	gesamtpflanzlichen N-Menge der Leguminose (N in Spross und Wurzel) aus Kalkulationstabelle (z.B. Korrelation zwischen Korn-TM : gesamtpflanzlicher N-Menge)	161,0 kg N ha <sup>-1</sup>
-5-	N <sub>min</sub> -Angebot des Bodens während des Wachstums der Körnerleguminose a) standortbezogene Schätzung, z.B. mit Hilfe der Beratung b) aus Messung	100,0 kg N <sub>min</sub> ha <sup>-1</sup>
-6-	minus residuale N <sub>min</sub> -Menge im Boden zur Ernte der Körnerleguminose	-28,5 kg N <sub>min</sub> ha <sup>-1</sup>
-7-	ermittelte Boden-N-Aufnahme	71,5 kg N <sub>min</sub> -N ha <sup>-1</sup>
-8-	N <sub>Bt</sub> (s. <sup>-4</sup> )	161,0 kg N ha <sup>-1</sup>
-9-	minus ermittelte Boden-N-Aufnahme (s. <sup>-7</sup> )	-71,5 kg N <sub>min</sub> -N ha <sup>-1</sup>
-10-	= fixierter Luft-N	89,5 kg N ha <sup>-1</sup>
-11-	minus N-Abfuhr (Korn-N) (s. <sup>-3</sup> )	-111,0 kg N ha <sup>-1</sup>
-12-	+ Ernteverlust (s. <sup>-2</sup> )	+2,2 kg N ha <sup>-1</sup>
-13-	einfache N-Flächenbilanz	-19,3 kg N ha <sup>-1</sup>
-14-	+ Rhizodeposition, z.B. 10 % (N <sub>Bt</sub> *N <sub>d</sub> fa*N <sub>d</sub> fr) (0 < N <sub>d</sub> fa bzw. N <sub>d</sub> fr < 1)	+9,0 kg N ha <sup>-1</sup>
-15-	erweiterte N-Flächenbilanz	-10,3 kg N ha <sup>-1</sup>

In den Reinsaaten war es mit Hilfe der Beziehungen zwischen Korn-TM-Ertrag und Korn-N-Menge und einer weiteren Beziehung, die zur gesamtpflanzlichen N-Menge führte, möglich, die N<sub>2</sub>-Fixierleistung des Prüfgliedes und die N<sub>2</sub>-Flächenbilanz in übersichtlichen Tabellen zusammenzufassen (s.a. Kap. 0). Auch aus den Daten des Gemengeanbaus ließen sich sehr enge Beziehungen ableiten, wodurch die Anwendung des oben beschriebenen Schätzverfahrens möglich wird. Es ist allerdings notwendig, die N<sub>2</sub>-Flächenbilanzen beider Gemengepartner einzeln auszuweisen und in separaten Tabellen darzustellen. Für die Praxis wird dies bedeuten, dass der/die Landwirt/in anhand zweier Tabellen getrennt nach Gemengepartner die N<sub>2</sub>-Flächenbilanz ablesen und aufaddieren muss. Es ist nicht sinnvoll, beide Gemengepartner in einer Tabelle zusammenzuführen, da nicht vorhersehbar ist, welchen Ertragsanteil die einzelnen Gemengepartner erzielen werden. Die N-Flächenbilanz eines Gemenges müsste wie folgt modifiziert sein:

## B. Beispielrechnung zur Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und erweiterten N-Flächenbilanz von Gemengen aus Körnerleguminose und Nichtleguminose:

- <sup>16</sup> -	Schätzung des Nmin-Angebot des Bodens (s. Punkt - <sup>5</sup> -)	120,0 kg Nmin ha <sup>-1</sup>
- <sup>17</sup> -	minus residuale Nmin-Menge zum Zeitpunkt der Ernte	-22,8 kg Nmin ha <sup>-1</sup>
- <sup>18</sup> -	verfügbare Nmin-Menge des Bodens	97,2 kg Nmin ha <sup>-1</sup>
- <sup>19</sup> -	minus N <sub>BT</sub> (N des Gemengepartners Hafer in Spross und Wurzel) aus Kalkulationstabelle (Korrelation zwischen Korn-TM : gesamtplanzlicher N-Menge)	-40,0 kg N ha <sup>-1</sup>
- <sup>20</sup> -	für legumen Gemengepartner verfügbare Nmin-Menge des Bodens	57,2 kg N ha <sup>-1</sup>
- <sup>21</sup> -	Schätzung der N-Fixierleistung des legumen Gemengepartners (s. Punkt - <sup>1</sup> - bis - <sup>13</sup> - bzw. - <sup>15</sup> -) unter Einbezug der dem legumen Gemengepartner verfügbaren Nmin-Menge des Bodens (s. - <sup>20</sup> -)	
- <sup>22</sup> -	N-Flächenbilanz des Gemenges entspricht der Summe aus N <sub>Korn</sub> -Menge des Hafers und der einfachen oder erweiterten N-Flächenbilanz des legumen Gemengepartners	

### 3.2 Zur Stickstoff-Rhizodeposition von Körnerleguminosen

Das obige Rechenbeispiel zeigt, dass die Ableitung der N-Flächenbilanz mit Hilfe der Kalkulationstabellen ein überschaubares Instrumentarium darstellt. Die Verbesserung des Kalkulationsverfahrens besteht u.a. darin, dass die gesamtplanzlichen N-Mengen (ober- und unterirdisch) in die Ableitungen eingeflossen sind. Es findet sich aber noch ein weiteres Element, die Rhizodeposition an Stickstoff.

Die Rhizodeposition von landwirtschaftlich genutzten Pflanzen stand in jüngster Zeit im Mittelpunkt verschiedener Untersuchungen. Unter N-Rhizodeposition wird die Abgabe von Stickstoff in den Boden durch die Wurzeln zusammengefasst. Hierzu zählen die Wurzelexsudate, d.h. die Produkte, die von den Pflanzen über ihre Wurzeln z.B. zur Erschließung von Nährstoffen an den Boden abgegeben werden. Des Weiteren zählen zur Rhizodeposition die Wurzelteile, die im Verlauf einer Vegetationsperiode absterben. Die Wurzelexsudate enthalten je nach Pflanzenart und Nutzungsform auch größere Mengen an Stickstoff, was einen bisher unterschätzten Einfluss auf die Nährstoff-Bilanzen haben kann. Die Messungen zur Rhizodeposition erfordern einen hohen Aufwand und sind in der Literatur mit sehr verschiedenen Methoden durchgeführt worden. Die wenigen Arbeiten zu diesem Thema stammen zumeist aus Gewächshausversuchen. Da keine eigenen Untersuchungen zu diesem Thema vorlie-

gen, werden in den Kalkulationstabellen der einzelnen Arten die Werte zur N-Rhizodeposition genutzt, die aus der Literatur bisher bekannt sind. Für wenige Arten existieren bereits mehrere Veröffentlichungen. Die Werte der N-Rhizodeposition bewegen sich in diesen Arbeiten jedoch auf dem gleichen Niveau, weshalb in das Kalkulationsverfahren ein Mittelwert aus den bisherigen Veröffentlichungen einfließt. In Tab. 19 sind die Werte aus diesen Veröffentlichungen und die daraus gebildeten Mittelwerte für das Kalkulationsverfahren zusammengefasst. Für die Gelbe Lupine lagen bisher keine Veröffentlichungen vor. SCHMIDTKE (mündliche Mitteilung) konnte kurzfristig aus aktuellen Untersuchungen einen Wert zur N-Rhizodeposition der Gelben Lupine, Sorte Juno zur Verfügung stellen. Die N-Rhizodeposition wird als prozentualer Anteil der in Spross und Wurzel enthaltenen N-Menge der Leguminosen aufgeführt. Im Kalkulationsverfahren wird der Wert als Faktor Ndfr (Nitrogen derived from rhizodeposition) integriert.

Tab. 19: Zusammenstellung der N-Rhizodepositionsanteile in % des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs ( $N_{Bt}$ ) von Körnerleguminosen aus bisher vorliegenden Veröffentlichungen

Veröffentlichung	Ackerbohne	Grünspeiseerbse	Körnererbse	Weißelupine	Gelbe Lupine	Blaue Lupine
JENSEN 1996c	--	--	7,5	--	--	--
SCHMIDTKE 2002	--	--	10,5	--	--	--
SCHMIDTKE 2003*	10,8	--	--	--	13,3	--
MAYER et al. 2001	15,5	--	14,6	18,8	--	--
SAWATZKY & SOPER 1991	--	8,7	12,0	--	--	--
KHAN et al. 2002	30,1	--	--	--	--	--
RUSSEL & FILLARY 1996	--	--	--	--	--	22,6
für Kalkulation genutzter Wert	18,8	8,7	11,2	18,8	13,3	--

\*mündliche Mitteilung

Die durch die Rhizodeposition der Körnerleguminosen in den Boden gelangten N-Mengen stammen aus der Nährstoffaufnahme der Pflanzen. Dementsprechend muss der Tatsache Rechnung getragen werden, dass die Körnerleguminosen ihren N-Bedarf aus dem Boden und der  $N_2$ -Fixierung der Rhizobien abdecken. Die N-Anteile der Rhizodeposition müssen dementsprechend auf die N-Quellen verteilt werden. Da zur Fragestellung der luftbürtigen N-Anteile in der Rhizodeposition noch keine Veröffentlichungen vorliegen, wird in dem um die Rhizodeposition erweiterten Kalkulationsverfahren nach SCHMIDTKE (2001) die Annahme getroffen, dass die Anteile des Luft-Stickstoffs in der N-Rhizodeposition denen entsprechen, die in Spross und Wur-

zel ( $N_{Bt}$ ) enthalten sind. Im Kalkulationsverfahren werden die N-Mengen der geschätzten Rhizodeposition mit folgender Berechnung angepasst:

$$N \text{ aus Rhizodeposition} = N_{Bt} * N_{dfa} * N_{dfr}$$

$N_{Bt}$ : gesamt pfl. N-Mengen,  $N_{dfa}$ : gesamt pfl. N-Anteil aus der  $N_2$ -Fixierung,  $N_{dfr}$ : gesamt pfl. N-Anteil der Rhizodeposition ( $0 < N_{dfa}$  bzw.  $N_{dfr} < 1$ )

Der N-Anteil in der geschätzten Rhizodeposition, der durch die Aktivität der Rhizobien der Fläche zur Verfügung gestellt wird, bewirkt somit einen leichten Anstieg der vereinfachten N-Flächenbilanzen.

Wie beschrieben werden in den erweiterten N-Flächenbilanzen aus der Literatur bekannte Werte zur Rhizodeposition der Arten einberechnet, um der N-Ausscheidung mit den Wurzelexsudaten und den N-Mengen in frühzeitig absterbenden Wurzeln Rechnung zu tragen. Für die Nutzung als Ganzpflanzensilage lagen für den Gemegepartner Ackerbohne keine Werte vor, so dass für diese Nutzungsvariante lediglich die einfache N-Flächenbilanz kalkuliert werden konnte. Auch für den nicht nodulierenden Gemegepartner Hafer lagen weder für die Nutzung zur Ganzpflanzensilage als auch zur Körnernutzung keine Werte zur Rhizodeposition, so dass auch hier für den Hafer der angebauten Gemege keine erweiterte N-Flächenbilanzen zur Verfügung gestellt werden kann. Die ausführlichen Schätztabelle der  $N_2$ -Fixierung und der N-Flächenbilanzen befinden sich im Anhang.

#### **4 Anbau von Körnerleguminosen zur Körnernutzung – Ertrags- und Stickstoffdaten der Prüfglieder in Reinsaat**

Im Folgenden werden die Ertragsdaten der Versuchsreihe zur Stickstoff-Fixierung von Körnerleguminosen dargestellt. Die Prüfglieder sind nach den Arten getrennt (Ackerbohne, Grünspeiseerbse, Körnererbse, Weiße Lupine, Gelbe Lupine, Ackerbohne/Hafer-Gemenge und Körnererbse/Hafer-Gemenge) und in Unterkapiteln nach den einzelnen Standorten (Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau) beschrieben.

Die Ertragskomponenten Stroh, Korn, Wurzel, gesamt-pflanzliche Biomasse sowie die jeweiligen TM-Harvest-Indizes werden miteinander verglichen und in Abbildungen zusammengefasst. Des Weiteren werden die N-Erträge der Pflanzenbestandteile (Wurzel, Stroh und Korn bzw. im Gemengeanbau zur Nutzung als Ganzpflanzensilage Wurzel, Stoppel und Schnittgut) der Prüfglieder und die N-Harvest-Indizes sowie die  $N_{\text{min}}$ -Werte im Boden der einzelnen Prüfglieder zum Zeitpunkt der Aussaat und Ernte dargestellt.

Die daran anschließenden Kapitel sind den N-Quellen, atmosphärischer Stickstoff aus der Fixierung der Symbiosepartner =  $N_{\text{Atmosphäre}}$  bzw. Stickstoff aus dem Boden =  $N_{\text{Boden}}$  und dem Faktor  $N_{\text{dfa}}$  (Nitrogen derived from atmosphere = Anteil des aus der Fixierung stammenden Stickstoffs) gewidmet.

Für die Reinsaat erfolgte die Varianzanalyse dreifaktoriell über die Standorte, Jahre und Sorten. Standortbezogen wurden die Daten zweifaktoriell mit dem Faktor Jahr als variable und Sorte als fixe Größe überprüft. Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind den oben aufgeführten Kapiteln zugeordnet.

Die statistische Verarbeitung der Gemengedaten erfolgte über die Standorte zweifaktoriell, sortiert nach den Gemengepartnern (Ackerbohne und Hafer bzw. Erbse und Hafer) und einfaktoriell mit den standortbezogenen Daten. Für die Gemenge wurden die Daten der N-Quellen der Gemengepartner zusammengefasst dargestellt und der statistischen Analyse unterzogen.

Nach der Beschreibung ermittelten Isotopenfraktionierung, der Trockenmasse- bzw. N-Erträge und N-Quellen werden zu den jeweiligen Arten die erweiterten Kalkulationsverfahren zur Schätzung der N-Flächenbilanzen (nach SCHMIDTKE 2001) entwickelt. Die Korn-TM der Arten bildet hierbei den Ansatz zur Ableitung des Modells.

Es werden die Korrelationen, z.B. zwischen dem Korn-TM- und dem Korn-N-Ertrag, bei einzelnen Arten aus der dreijährigen Untersuchungsreihe über vier Standorte Niedersachsens genutzt, um für die landwirtschaftliche Beratung und Praxis ein leicht handhabbares Instrumentarium zur Kalkulation der N-Flüsse beim Anbau von Körnerleguminosen bereitzustellen. Für die Praxis bedeutet dies, dass der/die Land-

wirt/in nach dem Anbau von Körnerleguminosen in Form einer übersichtlichen Tabelle die N-Flächenbilanz ablesen kann. Mit dem Wissen um die Höhe der N-An- oder Abreicherung des Bodens durch die auf der Fläche verbliebenen Pflanzenbestandteile kann die N-Düngung der Folgefrüchte gezielt berechnet werden und gegebenenfalls N-Düngemittel (organisch oder mineralisch) eingespart werden. Das Modell stellt somit ein Instrumentarium für eine umweltschonende Landwirtschaft dar.

In den einzelnen Kapiteln wird das artbezogene Modell beispielhaft entwickelt. Im Anhang zu dieser Arbeit befinden sich die vollständigen Tabellen zur Kalkulation der Stickstoff-Flächenbilanzen beim Anbau der Arten in Reinsaaten Ackerbohne, Grünspeiseerbse, Körnererbse, Weiße Lupine, Gelbe Lupine, Ackerbohne/Hafer-Gemenges und Erbse/Hafer-Gemenges.

#### 4.1 Isotopenfraktionierung der geprüften Arten und Sorten

Die Isotopenfraktionierung während der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistung einjähriger Leguminosen wurde für die Anwendung der δ<sup>15</sup>N-Methode für die einzelnen Prüfglieder experimentell bestimmt. Deutlich werden durch die Zusammenstellung in Tab. 20 die Unterschiede in der Isotopenfraktionierung der geprüften Arten. Auch zwischen den Pflanzenteilen sind deutliche Differenzen in der Verwertung des <sup>15</sup>N-Isotops zu erkennen.

Tab. 20: <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N-Isotopenverhältnis in Spross, Wurzel, gesamt-pflanzlicher Biomasse und Isotopenfraktionierungsfaktor β der auf N-freiem Nährmedium angezogenen Körnerleguminosen (Angabe in δ<sup>15</sup>N ‰)

Ackerbohne	Sorte	Spross	Wurzel	gew. Mittel	SD <sup>1</sup>	β
	Alfred	-0.365	-0.631	-0.446	0.185	1,0004
	Caspar	-0.178	-0.239	-0.199	0.017	1,0002
	Scirocco	0.422	0.477	0.436	0.117	0,9996
Grünspeiseerbse	Nevado	-0.694	-0.610	-0.630	0.154	1,0006
Körnererbse	Bohatyr	-0.326	0.285	-0.192	0.043	1,0002
	Eiffel	-0.278	0.062	-0.224	0.010	1,0002
	Loto	-0.587	0.032	-0.467	0.084	1,0005
	Swing	-0.104	0.542	0.144	0.059	0,9999
Weiße Lupine	Bardo	-0.907	2.232	-0.202	0.095	1,0002
	Nelly	-0.993	2.242	-0.375	0.152	1,0004
Gelbe Lupine	Juno	-1.353	2.929	-0.510	0.034	1,0005
	Refusa Nova	-1.323	2.912	-0.499	0.095	1,0005

<sup>1</sup>SD = Standardabweichung

Das Isotopenverhältnis von *Vicia faba* im Spross der Sorte Alfred betrug -0,365 ‰, das der Wurzel -0,631 ‰. Einzelne Sorten wiesen sowohl im Spross als auch den Wurzeln positive <sup>15</sup>N-Werte auf. Bei der Sorte Scirocco (*Vicia faba*) lagen diese bei 0,422 bzw. 0,477, was zu einem positiven  $\beta$ -Wert von 0,9996 führte.

## 4.2 Trockenmasseerträge von *Vicia faba*

### 4.2.1 Dreifaktorielle Prüfung

In Tab. 21 sind die Ergebnisse der dreifaktoriellen Varianzanalyse zusammengefasst. Die Ergebnisse der Tukey-Tests sind in Tab. 22 dargestellt. Es wird deutlich, dass sowohl die Sorte, Ort als auch der Jahreseinfluss signifikante Unterschiede in den Ertragsparametern hervorrufen. So sind die Stroherträge an den Orten und den Tests zur Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort hochsignifikant unterschiedlich. Im Mittelwertvergleichstest sind bei den Orten die Ergebnisse der Standorte Föhrste und Groß Malchau signifikant verschieden. Ebenso wurden beim Kornertrag in den Einzeltests signifikante und den Tests zur Wechselwirkung von Jahr und Ort hochsignifikante Unterschiede ermittelt. Die Trockenmasseerträge der Wurzeln von *Vicia faba* waren an den Orten signifikant und zwischen den Jahren sehr hoch signifikant verschieden. Die Wechselwirkungen ergaben zwischen Jahr und Ort eine hohe Signifikanz. Der Vergleich der Orts-Mittelwerte ergab bei den Wurzeln für Göttingen und Groß Malchau signifikante Unterschiede und bei den Jahren unterschied sich das Jahr 1999 von den beiden folgenden Versuchsjahren. Der Trockenmasse-Harvest-Index ( $H_{\text{TMBt}}$ ) konnte wegen fehlender Normalverteilung der Daten nicht getestet werden.

Tab. 21: *Vicia faba* - Statistischer Vergleich der Trockenmasse-Erträge an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001; dreifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Sorte	Ort	Jahr	Sorte x Ort	Sorte x Jahr	Jahr x Ort	Ort x Sorte x Jahr
Stroh	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.
Korn	*	*	**	n.s.	n.s.	**	n.s.
Wurzel	n.s.	*	***	n.s.	n.s.	**	n.s.
$H_{\text{TMBt}}^1$	#	#	#	#	#	#	#

TM = Trockenmasse,  $H_{\text{TMBt}}$  = gesamtplanzlicher Trockenmasse-Harvest-Index, n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , <sup>1</sup>ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt



Tab. 22: *Vicia faba* – Tukey-Test ( $\alpha = 0,05$ ) der Mittelwerte der Ertragsanteile an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001

Tukey	Sorte			Ort				Jahr		
	A	C	S	B	F	G	M	1999	2000	2001
Stroh	a	a	a	ab	a	ab	b	a	a	a
Korn	ab	b	a	a	ab	a	b	b	a	a
Wurzel	a	a	a	ab	a	b	b	a <sup>2</sup>	b <sup>2</sup>	b <sup>2</sup>
H <sub>TMBt</sub> <sup>1</sup>	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#

Sorten: A = Alfred, C = Caspar, S = Scirocco, Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, H<sub>TMBt</sub> = gesamt-pflanzlicher Trockenmasse-Harvest-Index, <sup>1</sup>ohne Blattfall, <sup>2</sup> $\alpha = 0,01$ , nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

#### 4.2.2 Standort Borwede

In Abb. 17 sind die Mittelwerte der Stroh- und Kornerträge der Sorten von *Vicia faba* am Standort Borwede zusammen mit den TM-Harvest-Indizes der gesamten Biomasse (H<sub>TMBt</sub> ohne Blattfall) der jeweiligen Untersuchungsjahre dargestellt. Über der Graphik (Abb. 17) sind die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse der Einzelwerte (Sorte und Jahr) zusammengefasst. In den Untersuchungsjahren von 1999 bis 2001 lagen in Borwede die Stroherträge im Mittel über die Sorten bei 69,5, 51,8 und 69,3 dt TM ha<sup>-1</sup>, wobei die Stroherträge der Sorten und der Jahre voneinander signifikant ( $P < 0,05$ ) verschieden waren. Die Kornerträge der Untersuchungsjahre lagen im Mittel über die Sorten bei 50,4, 48,3 und 60,6 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die gebildete Wurzelmasse der Ackerbohnen war am Standort Borwede zwischen den Jahren signifikant ( $P < 0,01$ ) verschieden. Die Mittelwerte der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001 über die Sorten lag bei 18,0, 9,1 und 14,8 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die TM-Harvest-Indizes waren zwischen den Jahren nicht signifikant verschieden. Die Sorte Caspar wies am Standort Borwede einen signifikant höheren H<sub>TMBt</sub> auf als die Sorte Alfred (Abb. 17).

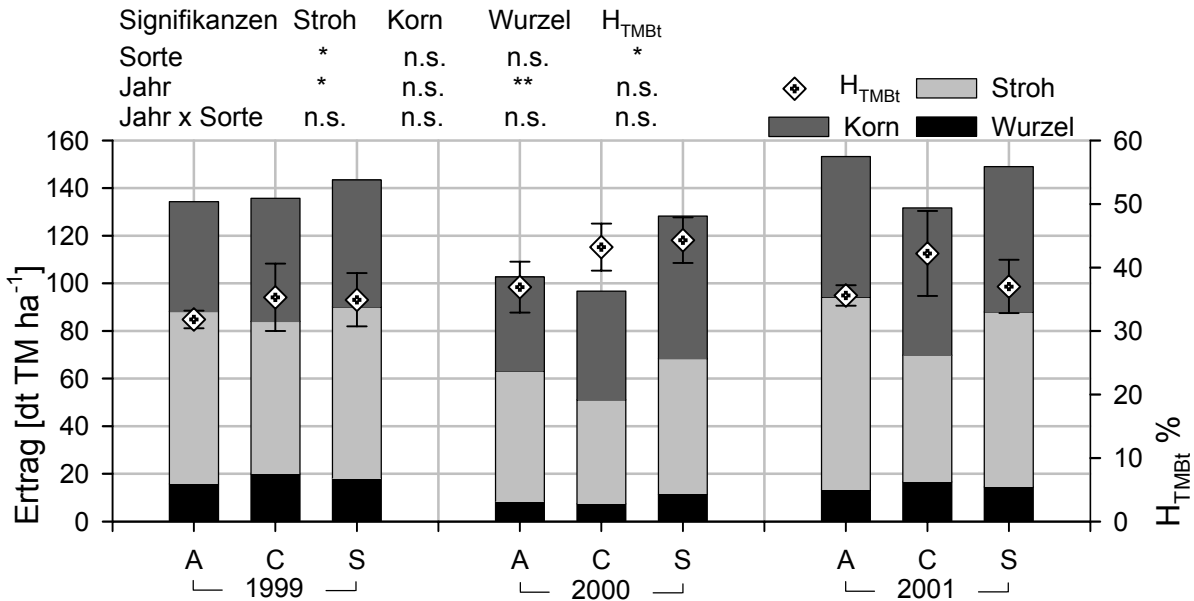


Abb. 17: Borwede – Erträge und Trockenmasse-Harvest-Indizes ( $H_{TMbt}$ ) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Vicia faba* der Sorten Alfred (A), Caspar (C) und Scirocco (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ ,  $\diamond$  = Standardabweichung

### 4.2.3 Standort Föhrste

Die Erträge von *Vicia faba* am Standort Föhrste und die  $H_{TMbt}$ -Werte (ohne Blattfall) der drei Sorten über die drei Untersuchungsjahre sind in Abb. 18 zusammengefasst dargestellt. In die statistische Verrechnung sind die Jahre 2000 und 2001 eingeflossen, da die Versuchsanlage nach dem ersten Versuchsjahr 1999 auf eine andere Fläche mit im Vergleich zur ersten Fläche stark unterschiedlichen Standortbedingungen verlegt werden musste (vergleiche Kap. 1.1.2). Im Mittel über die Sorten lagen die Stroherträge 2000 und 2001 bei 46,0 und 68,0 dt TM ha<sup>-1</sup>. In der Varianzanalyse zeigten die Daten signifikante Unterschiede zwischen den Jahren und Wechselwirkungen zwischen dem Jahr und der Sorte ( $P < 0,05$ ). Die Kornenerträge lagen 2000 bei 48,9 und 2001 bei 49,1 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die gebildete Wurzelmasse lag bei 15,9 und 14,4 dt TM ha<sup>-1</sup>. Es waren keine signifikanten Wirkungen zu verzeichnen. Beim Trockenmasse-Harvest-Index lag eine signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Sorte vor. Während die  $H_{TMbt}$ -Werte der Sorte Alfred in den Jahren 2000 und 2001 ähnlich waren, reduzierten sie sich bei den Sorten Caspar und Scirocco von 46 % auf 37,4 % bzw. 35,6 %. Die  $H_{TMbt}$ -Werte lagen entsprechend der Kornenerträge im Mittel über die Sorten mit 44,0 % und 37,0 % relativ hoch.

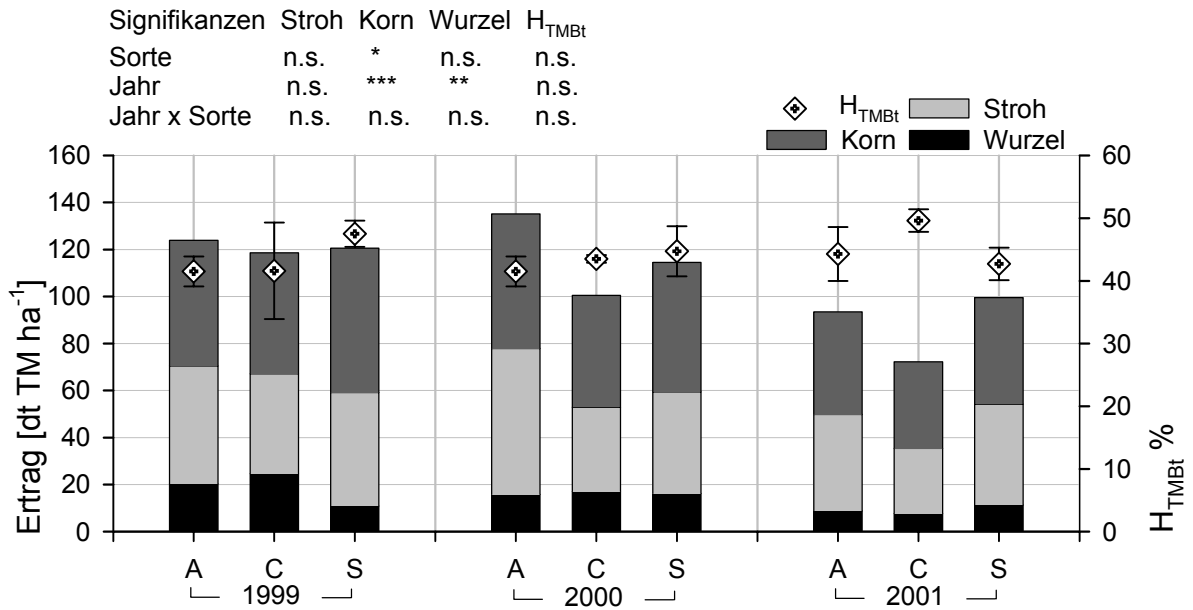


Abb. 18: Föhrste – Erträge und Trockenmasse-Harvest-Index (H<sub>TMbt</sub>) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Vicia faba* der Sorten Alfred (A), Caspar (C) und Scirocco (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0.05,  $\overline{\sigma}$  = Standardabweichung

#### 4.2.4 Standort Göttingen

Am Untersuchungsstandort Göttingen wurden in den Jahren 1999 bis 2001 Stroherträge von 47,0, 47,0, und 37,2 dt TM ha<sup>-1</sup> im Mittel über die Sorten erzielt (Abb. 19). Die Unterschiede waren zwischen den Jahren und Sorten nicht signifikant. Die Korn-erträge lagen in den Untersuchungsjahren bei 55,5, 53,3 und 42,0 TM ha<sup>-1</sup>. Hier ergab die statistische Prüfung bei den Sorten eine Signifikanz (P < 0,05) zwischen den Sorten und eine hohe Signifikanz (P < 0,001) zwischen den Jahren. Die ermittelte Trockenmasse der Wurzeln von *Vicia faba* am Standort Göttingen erreichte Werte von 18,6, 16,3 und 9,2 dt ha<sup>-1</sup> für 1999, 2000 und 2001 (P < 0,01).

Der Trockenmasse-Harvest-Index lag am Standort Göttingen im Mittel über die Sorten mit 46,0, 46,0 und 47,8 % in den drei Untersuchungsjahren deutlich über den Werten der anderen Untersuchungsstandorte. Signifikante Unterschiede wurden nicht ermittelt.

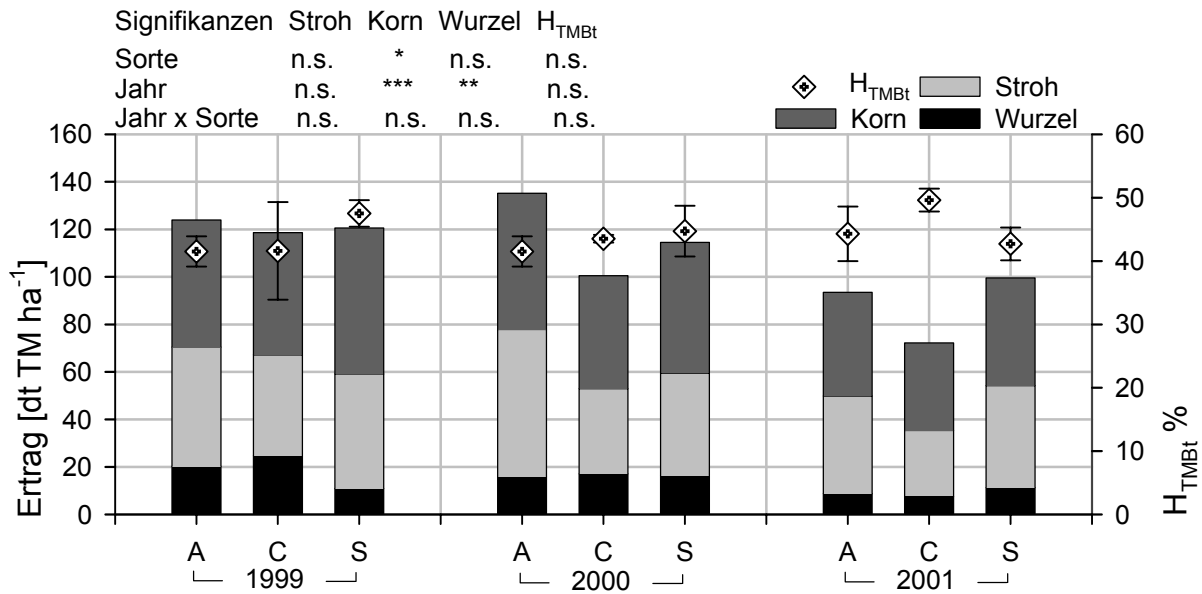


Abb. 19: Göttingen – Erträge und Trockenmasse-Harvest-Index ( $H_{\text{TMBt}}$ ) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Vicia faba* der Sorten Alfred (A), Caspar (C) und Scirocco (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0.05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0.001$ ,  $\bar{\sigma}$  = Standardabweichung

#### 4.2.5 Standort Groß Malchau

Die Trockenmasseerträge von *Vicia faba* in Groß Malchau lagen auf Grund der geringen Leistungsfähigkeit des Bodens deutlich unter denen der übrigen Standorte. Die Stroherträge von 25,9, 24,8 und 26,4 dt TM ha<sup>-1</sup> im Mittel über die Sorten ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen den Jahren (Abb. 20). Die Kornerträge zeigten eine hohe Signifikanz ( $P < 0,01$ ) zwischen den Jahren. Es wurden von 1999 bis 2001 Erträge von 15,1, 18,0 und 29,5 dt TM ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die gebildete Wurzelmasse blieb mit 6,0, 5,4 und 7,3 dt TM ha<sup>-1</sup> deutlich unter den Werten der anderen Standorte. Die Werte des  $H_{\text{TMBt}}$  von 31,9, 38,1 und 46,3 % ließen wegen fehlender Normalverteilung der Daten keine statistische Überprüfung zu (Abb. 20).

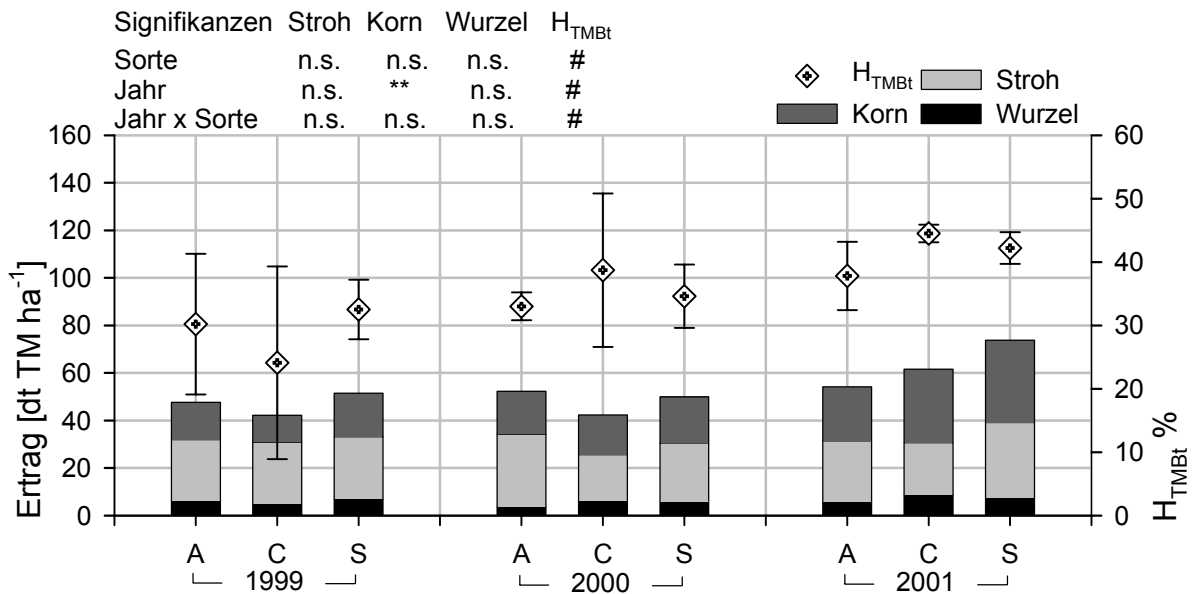


Abb. 20: Groß Malchau – Erträge und Trockenmasse-Harvest-Index ( $H_{TMBt}$ ) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Vicia faba* der Sorten Alfred (A), Caspar (C) und Scirocco (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \*\* =  $P < 0,01$ , # = nicht normalverteilt,  $\sigma$  = Standardabweichung

### 4.3 Stickstoff-Erträge von *Vicia faba*

#### 4.3.1 Dreifaktorielle Prüfung

Tab. 23 zeigt die Ergebnisse der N-Erträge bei *Vicia faba* der getesteten Faktoren Sorte, Ort und Jahr aus der dreifaktoriellen Varianzanalyse. In Tab. 24 sind die Ergebnisse des Tukey-Tests zusammengefasst. Der N-Ertrag im Stroh zeigt in den Einzeltests lediglich an den Orten signifikante Unterschiede. Die Werte am Standort Groß Malchau lagen deutlich unter denen der anderen Standorte. Zwischen Jahr und Ort wurde eine Wechselwirkung hoher Signifikanz ermittelt. So lagen die Stroh-N-Erträge am Standort Föhrste im Jahr 2000 unter denen des Jahres 2001, während die Ackerbohnen am Standort Göttingen 2000 einen deutlich höheren Stroh-N-Ertrag im Vergleich zum Folgejahr aufwiesen. Die geprüften Faktoren zeigen bei den Korn-N-Erträgen von *Vicia faba* deutlichere Wirkungen. Die N-Mengen im Korn wichen zwischen den Sorten und an den Orten signifikant und zwischen den Jahren hoch signifikant ( $P < 0,01$ ) voneinander ab. Die Sorte Caspar und Scirocco waren im Korn-N-Ertrag signifikant verschieden. Hierbei wichen die Werte des Ortes Groß Malchau signifikant von denen der anderen Orte ab. Bei den Jahren war es das Versuchsjahr 1999 mit signifikant geringeren Korn-N-Mengen. Die Wechselwirkung in den Korn-N-Erträgen zwischen Jahr und Ort war ebenfalls signifikant. Am Standort Borwede reagierten die Ackerbohnen vom Untersuchungsjahr 2000 zum Untersuchungsjahr 2001 mit einer deutlichen Steigerung der Korn-N-Erträge, während in Göttingen von 2000

auf 2001 die Korn-N-Erträge abnahmen. Die N-Mengen in den Wurzeln der Prüflieder wichen an den Orten mit hoher Signifikanz und zwischen den Jahren signifikant voneinander ab. Bei den Wechselwirkungen zeigt das Zusammenspiel von Jahr und Ort hochsignifikante Ergebnisse. Die Menge an Wurzel-N nahm am Standort Borwede von 1999 auf 2000 ab, um im Folgejahr wieder anzusteigen. Hingegen reagierten die Ackerbohnen in Göttingen nach hohen Wurzel-N-Erträgen 1999 im Jahr 2000 mit geringeren N-Mengen der Wurzel und mit einer weiteren Absenkung im Jahr 2001. Der N-Harvest-Index konnte wegen fehlender Normalverteilung der Daten keiner Varianzanalyse unterzogen werden.

Tab. 23: *Vicia faba* - Vergleich der N-Erträge an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001; dreifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Sorte	Ort	Jahr	Sorte x Ort	Sorte x Jahr	Jahr x Ort	Ort x Sorte x Jahr
Stroh-N	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.
Korn-N	*	*	**	n.s.	n.s.	**	n.s.
Wurzel-N	n.s.	**	*	n.s.	n.s.	***	n.s.
$H_{NBt}^1$	#	#	#	#	#	#	#

n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , <sup>1</sup>ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt

Tab. 24: *Vicia faba* – Tukey-Test ( $\alpha = 0,05$ ) der Mittelwerte der N-Erträge an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001

Tukey	Sorte			Ort				Jahr		
	A	C	S	B	F	G	M	1999	2000	2001
Stroh-N	a	a	a	ab	a	ab	b	a	a	a
Korn-N	ab	b	a	a	ab	a	b	b	a	a
Wurzel-N	a	a	a	a	a	a	b	a	b	a
$H_{NBt}^1$	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#

Sorten: A = Alfred, C = Caspar, S = Scirocco, Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau,  $H_{NBt}$  = gesamt-pflanzlicher N-Harvest-Index, <sup>1</sup>ohne Blattfall, nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

### 4.3.2 Standort Borwede

Im Mittel der Sorten lagen die Stroh-N-Erträge am Standort Borwede von 1999 bis 2001 bei 49,9, 67,5 und 68,8 kg N ha<sup>-1</sup> (Abb. 21). Hierbei waren die Unterschiede zwischen den Sorten nicht signifikant. Zwischen den Jahren wurden signifikante Unterschiede ermittelt, wobei im Jahr 2001 die höchsten Erträge erzielt wurden. Die Wechselwirkungen zwischen Jahr und Sorte waren nicht signifikant. Die Korn-N-Erträge erbrachten am Standort Borwede bei keinem der geprüften Faktoren signifikante Unterschiede. Der Stickstoff-Ertrag der Wurzeln zeigte zwischen den Jahren Abweichungen von hoher Signifikanz. Die Werte des N-Harvest-Index waren nicht normal verteilt. Sie lagen im Mittel über die Sorten bei 65,2, 66,9 und 66,5 % in den drei Versuchsjahren.

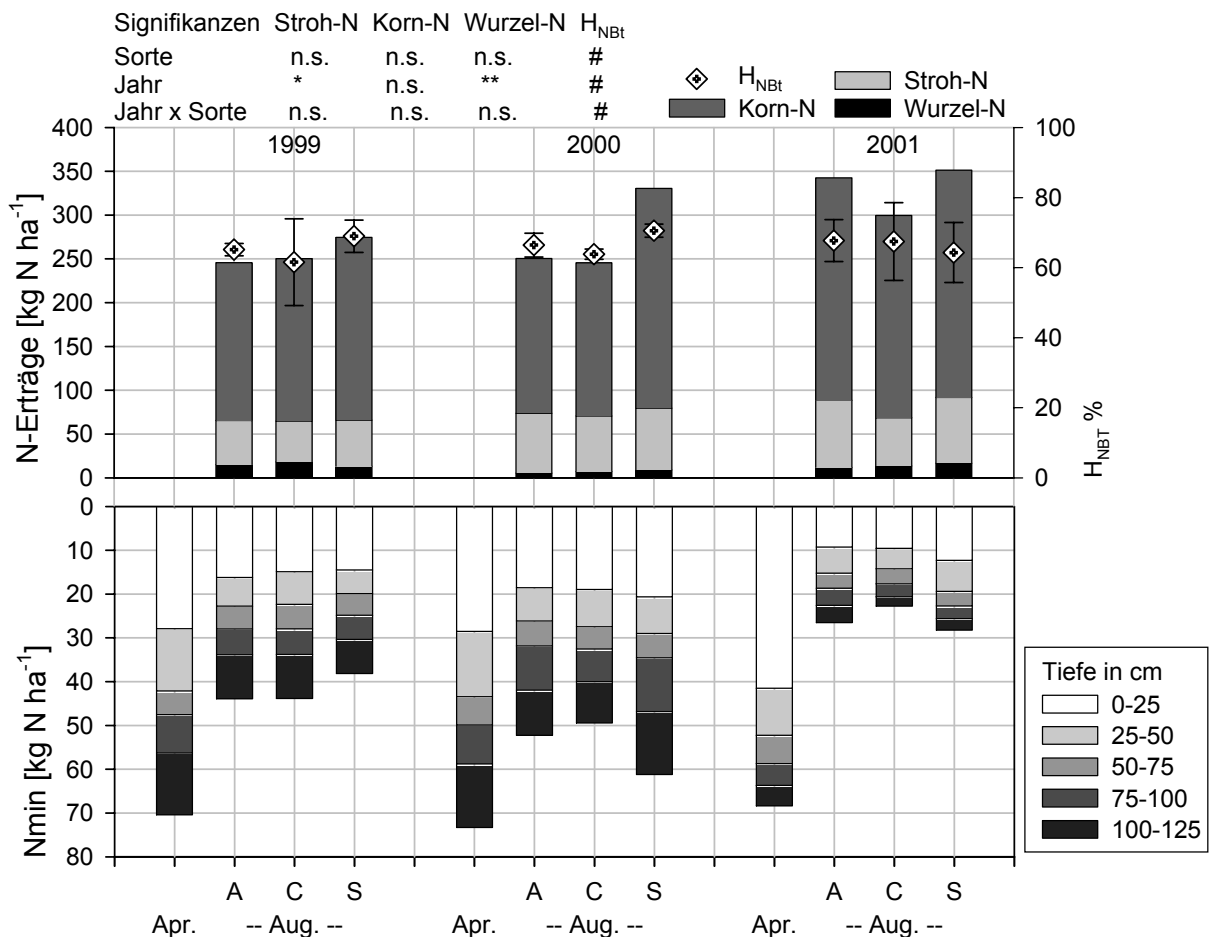


Abb. 21: Borwede – N-Erträge, N-Harvest-Index (H<sub>NBT</sub>) der gesamten Biomasse und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat im April und zur Ernte im August von *Vicia faba* der Sorten Alfred (A), Caspar (C) und Scirocco (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0.05, \*\* = P < 0,01, # = nicht normalverteilt, ⋄ = Standardabweichung

Die Nmin-Mengen im Boden am Standort Borwede in Abb. 21 zeigten zur Aussaat in den Versuchsjahren bis in 125 cm Tiefe ein recht einheitliches Niveau in Höhe von etwa  $70 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Verschieden waren jedoch die Mengen in den einzelnen Tiefenstufen. Besonders hoch lag die Nmin-Menge des Horizontes von 0 bis 25 cm mit  $41,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ . An den Säulen ist zu erkennen, dass sich die Ackerbohne hauptsächlich des Vorrates an Nmin bis 50 cm Tiefe bediente. Im ersten Untersuchungsjahr lag die Nmin-Menge zu Vegetationsbeginn bei  $70,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die Sorten Alfred, Caspar und Scirocco reduzierten die Bodensäule bis 125 cm Tiefe auf 43,9, 43,8 und  $38,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Für das Jahr 2000 wurde ein Ausgangswert von  $73,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  ermittelt. Entgegen dem Bild des N-Ertrages hat die Sorte Caspar mit  $49,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  den Bodenvorrat am stärksten genutzt, wohingegen die Sorte Scirocco trotz höherer N-Erträge noch  $61,2 \text{ kg N ha}^{-1}$  im Boden hinterließ. Das Bodenprofil war im Untersuchungsjahr 2001 zur Ernte nach einem Anfangswert von  $68,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  im Vergleich der Jahre am stärksten entleert. Die Werte lagen im Mittel bei  $25,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die N-Mengen im Aufwuchs waren in diesem Jahr am höchsten.

### 4.3.3 Standort Föhrste

Die N-Erträge und der N-Harvest-Index von *Vicia faba* am Standort Föhrste sind in Abb. 22 zusammen mit den Ergebnissen der zweifaktoriellen Varianzanalyse abgebildet. Varianzanalytisch wurden lediglich die Jahre 2000 und 2001 untersucht, da die Ergebnisse des ersten Jahres auf Grund des Flächenwechsels und des späten Aussaattermins (30.04.1999) nicht mit den Ergebnissen des zweiten und dritten Jahres verglichen werden können. Die Stroh-N-Erträge der Jahre 1999, 2000 und 2001 lagen im Mittel der Sorten bei 96,2, 51,1 und  $65,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Bei den Kornerträgen wurden Werte von 117,1, 208,7 und  $201,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  ermittelt. Mit den Wurzeln verblieben im Mittel über die Sorten 46,0 kg, 21,3 kg und  $13,2 \text{ kg N ha}^{-1}$  auf der Fläche. Der N-Harvest-Index lag bei 44,1, 68,7 und 62,8 % im Mittel über die Jahre. Es wurden in keinem der geprüften Parameter signifikante Wirkungen festgestellt.



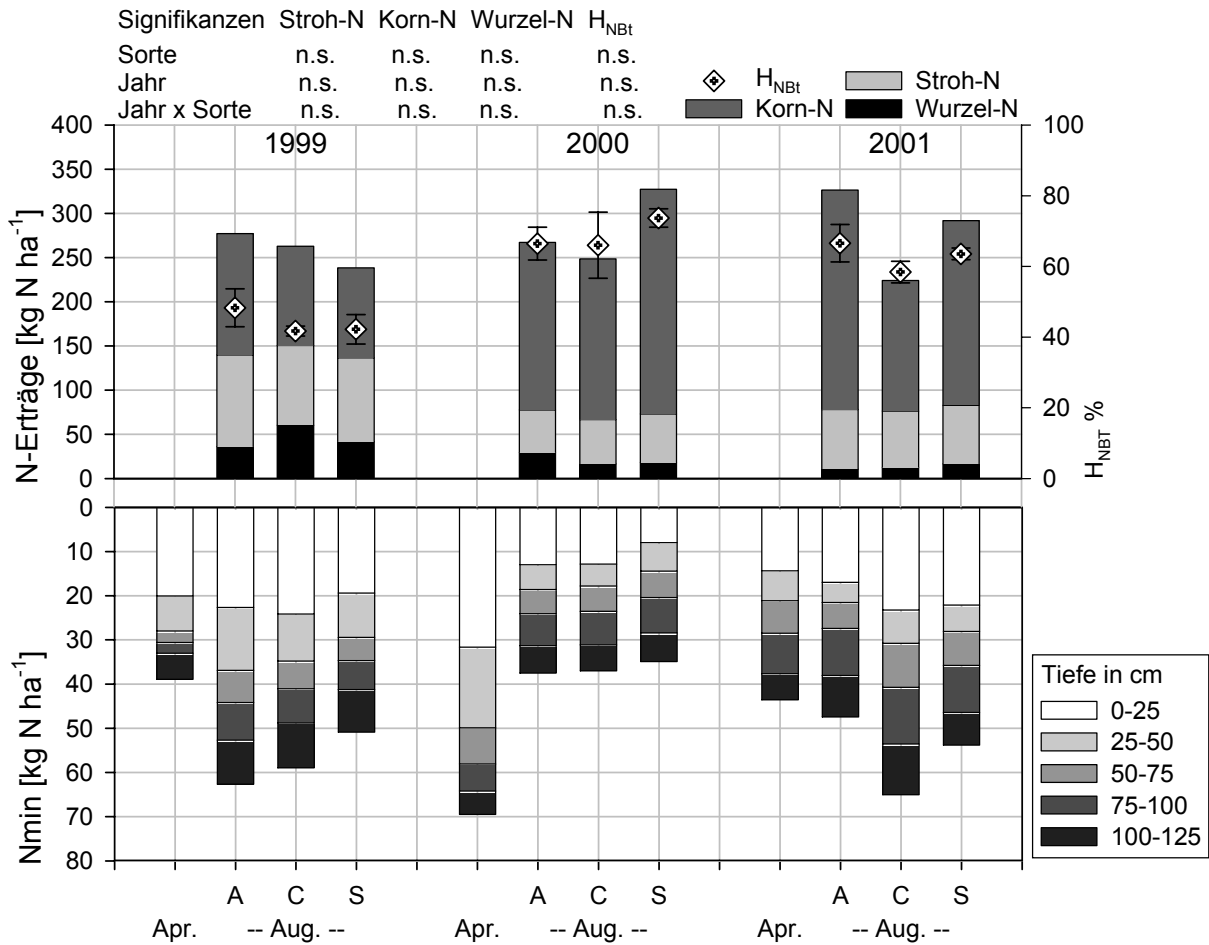


Abb. 22: Föhrste – N-Erträge, N-Harvest-Index (H<sub>NBT</sub>) der gesamten Biomasse und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat im April und zur Ernte im August von *Vicia faba* der Sorten Alfred (A), Caspar (C) und Scirocco (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant,  $\sigma$  = Standardabweichung

Zu Beginn des zweiten und dritten Untersuchungsjahres stellte sich die Ausgangssituation des Nmin-Angebotes uneinheitlich dar. Die Nmin-Mengen im Boden lagen zur Aussaat im Jahr 2000 um ca. 25 kg N ha<sup>-1</sup> über denen des Jahres 2001. Besonders in den Horizonten bis 50 cm Tiefe wichen die Nmin-Angebote erheblich voneinander ab. Zu Beginn des Jahres 1999 war die mineralisch gebundene N-Menge aufgrund der zuvor vorhandenen Hochwassersituation sehr gering. Während der Vegetationsperiode kam es zu einer starken Mineralisation von Stickstoff im Boden. Dieser konnte von den Ackerbohnen nicht genutzt werden. Nach der Ernte der Sorten Alfred, Caspar und Scirocco verblieben 62,7, 58,91 bzw. 50,86 kg N ha<sup>-1</sup> in Bodentiefen von 0 bis 125 cm. Die N-Erträge wiesen ein entgegengesetztes Bild auf: Die N-Erträge im Aufwuchs der Sorte Alfred blieben hinter denen der Sorten Caspar und Scirocco zurück. Die N-Aufnahme der Sorten verlief im Jahr 2000 sehr einheitlich. Nach einem Nmin-Wert im April von 69,5 kg N ha<sup>-1</sup> hinterließen sie residuale Nmin-Mengen von 36,5 kg N ha<sup>-1</sup> im Durchschnitt der Sorten. Die Nmin-Menge im Boden zu Wachstumsbeginn der Ackerbohnen des Jahres 2001 war mit 43,6 kg N ha<sup>-1</sup> deut-

lich geringer als die des Vorjahres. Im Untersuchungsjahr 2001 waren die N-Erträge der Sorte Alfred am höchsten, die auch den Bodenstickstoff am stärksten genutzt hat. Unter den Sorten Alfred, Caspar und Scirocco befanden sich nach der Ernte noch 47,4, 65,1 und 53,8 kg N ha<sup>-1</sup> residuale Nmin-Mengen im Boden.

#### 4.3.4 Standort Göttingen

Abb. 23 zeigt die N-Erträge, den N-Harvest-Index und die Nmin-Menge im Boden sowie die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse der Prüfglieder von *Vicia faba* am Standort Göttingen. Die N-Mengen im Stroh lagen in den Untersuchungsjahren 1999 bis 2001 bei 47,8, 65,1 und 35,7 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Unterschiede zwischen den Stroh-N-Erträgen waren zwischen den Jahren signifikant verschieden. Für die Korn-N-Erträge konnte zwischen den Sorten und bei der Wechselwirkung zwischen Jahr und Sorte eine Signifikanz ermittelt werden. Die Korn-N-Mengen lagen in den Versuchsjahren bei 217,2, 235,1 und 186,7 kg N ha<sup>-1</sup>. Die N-Mengen in den Wurzeln lagen in Göttingen bei 17,5, 11,6 und 8,1 kg N ha<sup>-1</sup>. Beim N-Harvest-Index konnte eine Signifikanz der Sorten mit Höchstwerten der Sorte Alfred von 74,4 % im Dreijahresdurchschnitt und eine hohe Signifikanz zwischen den Jahresdifferenzen mit Höchstwerten von im Mittel der Sorten 76,6 % im Jahr 2001 ermittelt werden. Die übrigen Sortenmittelwerte lagen 1999 und 2000 bei 72,4, 69,6 %. Der N-Harvest-Index war hier somit deutlich höher als an den anderen Standorten.

Die Nmin-Daten des Standortes Göttingen in Abb. 23 zeigen auch hier unterschiedliche Ausgangssituationen zu Beginn der Vegetationsperioden. Im April 1999 befanden sich im Vergleich zu 2000 18 kg N ha<sup>-1</sup> und im Vergleich zu 2001 17 kg N ha<sup>-1</sup> mehr im Boden, vor allem durch größere N-Mengen in den Horizonten von 50 bis 125 cm Tiefe. Das Angebot an mineralischem Stickstoff im Horizont von 0 bis 25 cm war im Jahr 2000 größer als im Jahr 2001. Der Rückgang des Nmin-Stickstoffs unter den verschiedenen Ackerbohnsorten war in den drei Untersuchungsjahren recht einheitlich. Die Sorte Caspar hinterließ bei den geringsten N-Erträgen in der Biomasse jeweils die höchste residuale Nmin-Menge im Boden. Der Ausgangswert des Jahres 1999 von 68,0 kg N ha<sup>-1</sup> wurde von den Sorten Alfred, Caspar bzw. Scirocco auf 33,5, 43,3 und 38,0 kg N ha<sup>-1</sup> zur Ernte reduziert. Die Sorten konnten trotz der geringen Nmin-Mengen im Boden im April des Jahres 2000 von 49,4 kg N ha<sup>-1</sup> höhere N-Erträge als im Vorjahr erzielen. Die Werte der Sorten Alfred, Caspar bzw. Scirocco lagen nach der Ernte bei 34,4, 37,7 und 31,2 kg N ha<sup>-1</sup>. Im Jahr 2001 befanden sich zur Aussaat 52,2 kg N ha<sup>-1</sup> im Boden. Die geringeren N-Erträge dieses Jahres verursachten höhere Nmin-Reste nach der Ernte von 48,8, 59,6 und 49,8 kg N ha<sup>-1</sup> bei den Sorten Alfred, Caspar und Scirocco (Abb. 23).

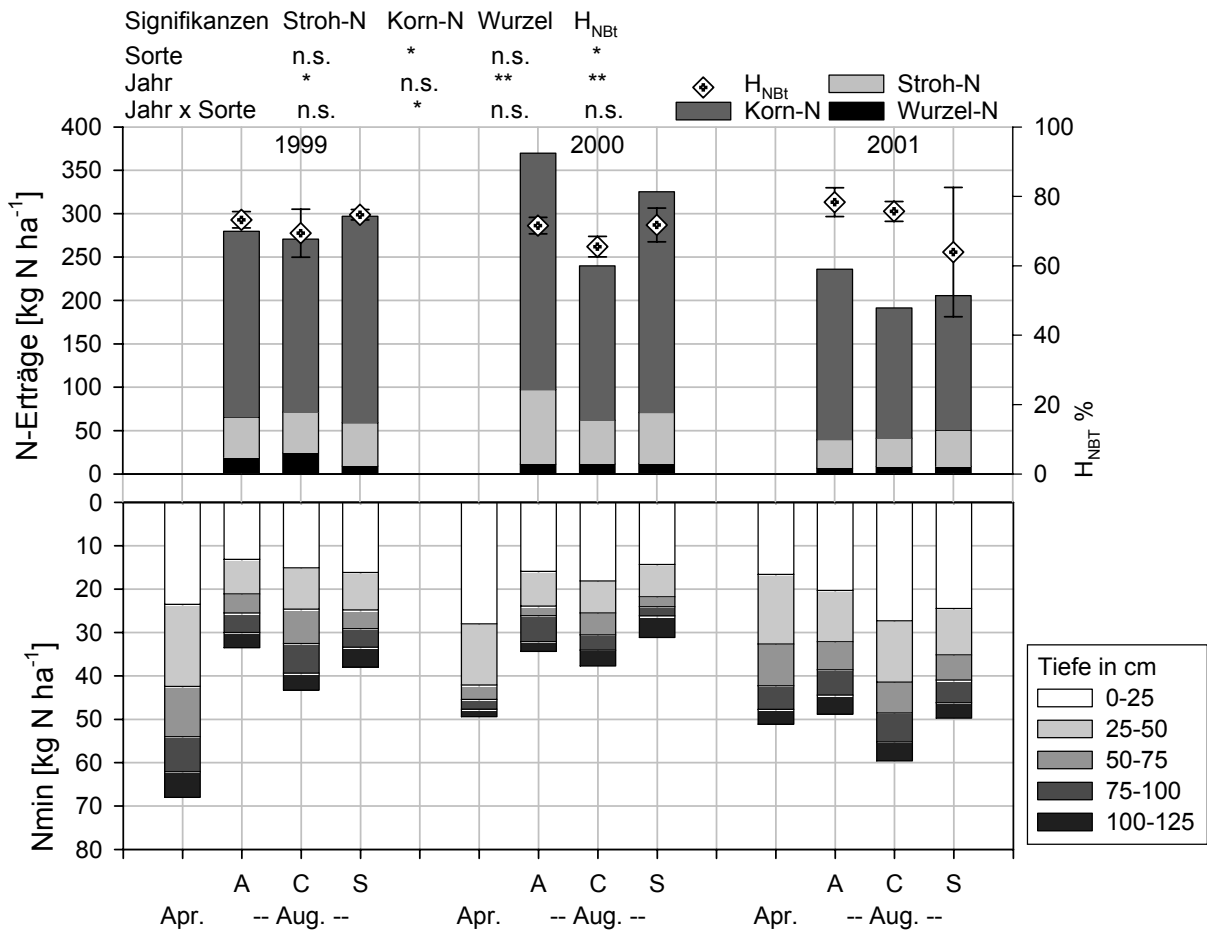


Abb. 23: Göttingen – N-Erträge, N-Harvest-Index ( $H_{NBt}$ ) der gesamten Biomasse und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat im April und zur Ernte im August von *Vicia faba* der Sorten Alfred (A), Caspar (C) und Scirocco (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ ,  $\sigma$  = Standardabweichung

### 4.3.5 Standort Groß Malchau

In Abb. 24 sind die Mittelwerte der N-Erträge der Ackerbohnen der Untersuchungs-jahre 1999 bis 2001 am Standort Groß Malchau mit dem N-Harvest-Index, den Nmin-Mengen im Boden und den Ergebnissen der zweifaktoriellen Varianzanalyse zusammengefasst. In Groß Malchau erzielten die Ackerbohnen auf Grund der vergleichsweise schlechten Standortbedingungen auch bei den N-Erträgen die geringsten N-Mengen im Vergleich der Standorte.

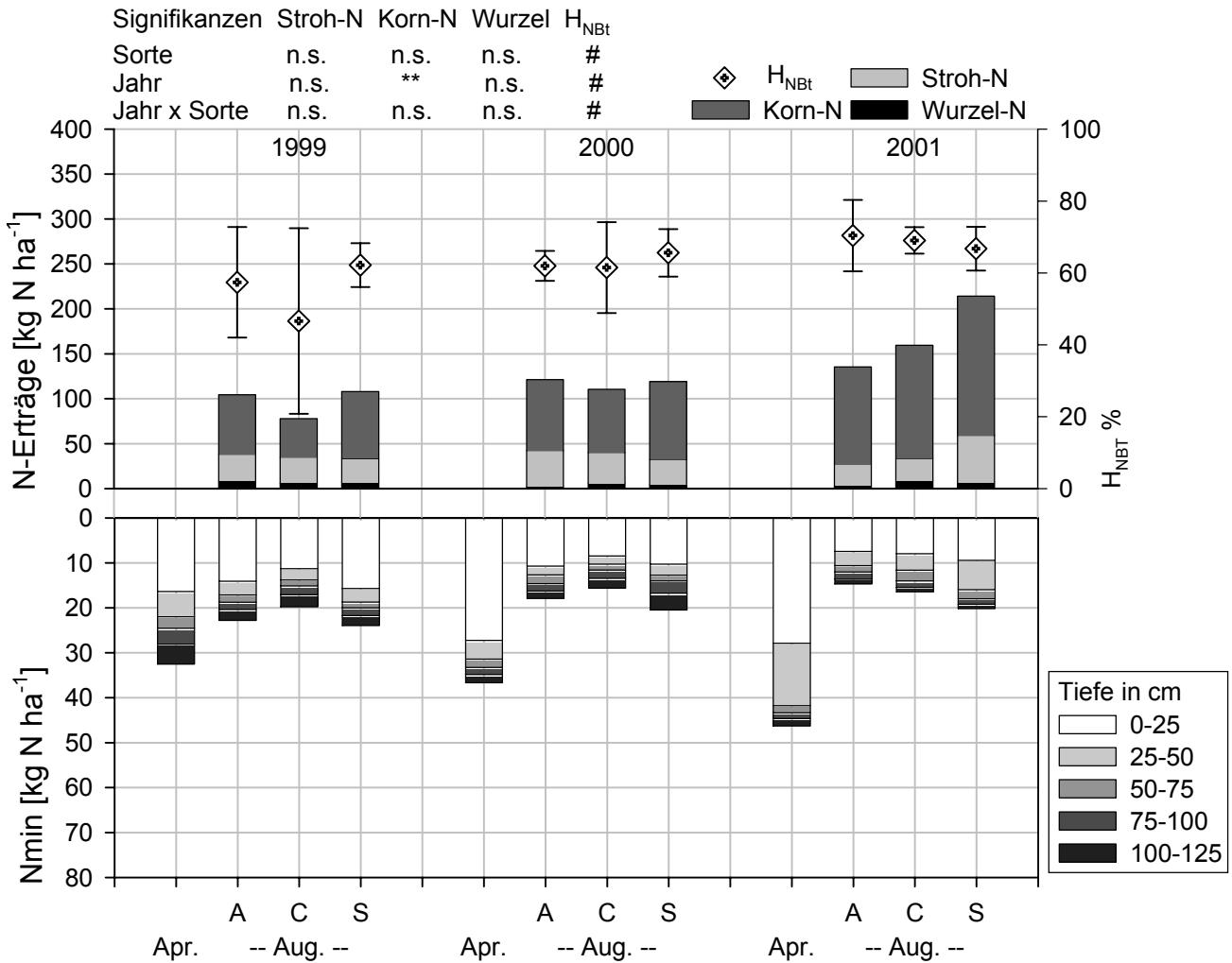


Abb. 24: Groß Malchau – N-Erträge, N-Harvest-Index ( $H_{NBT}$ ) der gesamten Biomasse und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat im April und zur Ernte im August von *Vicia faba* der Sorten Alfred (A), Caspar (C) und Scirocco (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \*\* =  $P < 0,01$ , # = nicht normalverteilt,  $\bar{\sigma}$  = Standardabweichung

Die Stroh-N-Mengen wiesen keine signifikanten Unterschiede auf. Sie lagen in den drei Versuchsjahren im Mittel der Sorten bei 28,6 kg, 34,2 kg und 33,8 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Korn-N-Mengen erreichten Werte von 61,1, 78,5 und 129,5 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Differenzen zwischen den Jahren wiesen eine Signifikanz auf. Die N-Mengen in den Wurzeln waren ohne signifikanten Unterschied in allen Prüffaktoren. Es wurden N-Mengen von 7,0, 4,2 und 6,4 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die Daten des N-Harvest-Index waren auch nach Transformationen nicht normalverteilt und wurden keiner Varianzanalyse unterzogen. Sie lagen bei 55,4 %, 63,0 % und 68,7 %.

Die Nmin-Menge im Boden zur Aussaat in den Untersuchungsjahren 1999, 2000 und 2001 lagen bei 32,5, 36,6 und 46,3 kg N ha<sup>-1</sup>. Im ersten Jahr war das N-Angebot in den Horizonten bis 50 cm Tiefe mit 22 kg N ha<sup>-1</sup> am geringsten. In Groß Malchau fällt

auf, dass die höheren N-Angebote die N-Erträge positiv beeinflusst haben. In den drei Versuchsjahren war durchgängig die geringste Aufnahme an mineralischem Bodenstickstoff verbunden mit den größten N-Mengen in der Biomasse bei der Sorte Scirocco. Die residualen N<sub>min</sub>-Mengen lagen zum Zeitpunkt der Ernte 1999 der Sorten Alfred, Caspar und Scirocco bei 22,8, 19,8 und 23,9 kg N ha<sup>-1</sup>. Im Jahr 2000 war das Niveau mit 19,9, 15,6 und 20,5 kg N ha<sup>-1</sup> etwas geringer, verbunden mit höheren N-Erträgen in der Biomasse der Ackerbohnen. Die N<sub>min</sub>-Werte von ± 10 kg N ha<sup>-1</sup> weist darauf hin, dass die Mineralisation des jüngeren organischen Materials auf diesem Standort sehr schnell einsetzt. Die residualen N<sub>min</sub>-Mengen im Boden der Sorten Alfred, Caspar und Scirocco lagen im Jahr 2001 zum Erntezeitpunkt bei 14,7 kg, 16,4 kg und 20,2 kg N ha<sup>-1</sup>.

## 4.4 Stickstoff-Quellen von *Vicia faba*

### 4.4.1 Dreifaktorielle Prüfung

Die N-Quellen des legumen Prüfglieds *Vicia faba*, Boden und Luft, werden in diesem Kapitel in ihren Anteilen an der gesamten Biomasse (Wurzel, Spross, Korn und Blattfall) der Untersuchungsjahre 1999, 2000 und 2001 beschrieben. In Tab. 25 sind die Ergebnisse der dreifaktoriellen Varianzanalyse zusammengefasst. Die Ergebnisse des Tukey-Tests sind in Tab. 26 dargestellt. Die Differenzen des Luft-Stickstoffs (N<sub>Atmosphäre</sub>) zwischen den Daten der Orte wiesen eine hohe Signifikanz auf, die der Jahre waren ebenfalls signifikant verschieden. Bei den Wechselwirkungen waren die Unterschiede zwischen Sorte und Jahr hoch signifikant. Sehr hohe Signifikanzen traten bei den Wechselwirkungen zwischen Ort, Sorte und Jahr auf. Während der Luftstickstoff der Sorte Alfred zwischen den Jahren 2000 und 2001 in einer konstanten Menge auftrat, war die Menge Luftstickstoff der Sorte Scirocco im Jahr 2001 um 11,7 % geringer als im Jahr 2000. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort war ebenfalls hoch signifikant. Im Mittel der Sorten wurden am Standort Borwede im Jahr 2001 13 % mehr Stickstoff aus der Luft fixiert als im Jahr 2000, während am Standort Göttingen die N<sub>2</sub>-Fixierleistung im Jahr 2001 um 21 % geringer war als im Vorjahr.

Der Vergleich der Mittelwerte (Tukey-Test) zeigte signifikante Differenzen zwischen den Orten. Hier wichen die Werte des Standortes Groß Malchau signifikant von den Werten der Standorte Borwede und Göttingen ab. Der Vergleich der Jahresmittelwerte ergab signifikante Unterschiede des Untersuchungsjahres 1999 zu den beiden folgenden Jahren. Die Boden-Stickstoffaufnahme zeigte signifikante Differenzen zwischen den Sorten und den Jahren, die Differenzen zwischen den Orten waren hoch signifikant. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Sorte zeigte signifikante Unterschiede.

Sehr hoch signifikant waren die Differenzen der Boden-N-Mengen zwischen Ort, Sorte und Jahr. Die Boden-N-Aufnahme der Sorte Alfred lag an allen Orten über die drei Versuchsjahre über den Sorten Caspar und Scirocco. Im Untersuchungsjahr 2001 lag die Boden-N-Aufnahme der Sorte Alfred um 49,4 % über der des Vorjahres, bei der Sorte Scirocco war hierbei eine Steigerung um 371,2 % zu verzeichnen. Am Standort Göttingen wurde von 2000 auf 2001 bei allen Sorten eine geringere Boden-N-Aufnahme festgestellt, die bei der Sorte Alfred um 47,7 % niedriger war und bei der Sorte Scirocco um 7,7 %. Der Mittelwertvergleichstest der Bodenstickstoffdaten ergab, dass die Werte der Sorte Caspar signifikant von den Sorten Alfred und Scirocco abwich. Der Vergleich der Ortsmittelwerte ergab signifikant geringere  $N_{\text{Boden}}$ -Mengen des Standortes Groß Malchau. Die Werte des Jahres 1999 wichen signifikant von denen der Untersuchungsjahre 2000 und 2001 ab. Die Ndfa-Werte konnten wegen fehlender Normalverteilung keiner statistischen Prüfung unterzogen werden.

Tab. 25: *Vicia faba* - Vergleich der N-Quellen an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001; dreifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Sorte	Ort	Jahr	Sorte x Ort	Sorte x Jahr	Jahr x Ort	Ort x Sorte x Jahr
$N_{\text{Atmosphäre}}$	n.s.	**	*	n.s.	**	**	***
$N_{\text{Boden}}$	*	**	*	n.s.	*	n.s.	***
Ndfa	#	#	#	#	#	#	#

n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , <sup>1</sup>ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt

Tab. 26: *Vicia faba* – Tukey-Test ( $\alpha = 0,05$ ) der Mittelwerte der N-Quellen an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001

Tukey	Sorte			Ort				Jahr		
	A	C	S	B	F	G	M	1999	2000	2001
$N_{\text{Atmosphäre}}$	a	a	a	a	ab	a	b	b	a	ab
$N_{\text{Boden}}$	ab	b	a	a	a	a	b	b	a	ab
Ndfa	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#

Sorten: A = Alfred, C = Caspar, S = Scirocco, Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

#### 4.4.2 Standort Borwede

Die in Abb. 25 dargestellten Daten stammen vom Standort Borwede. Die Abbildung zeigt die jeweiligen N-Mengen der gesamten Biomasse des Prüfgliedes *Vicia faba*, die aus dem Boden aufgenommen wurden oder aus der Stickstoff-Fixierung der Pflanzen stammen. Der Anteil des luftbürtigen Stickstoffs Ndfa (Nitrogen derived from

atmosphäre) ist zusätzlich dargestellt. Oberhalb der Abbildung sind die Ergebnisse der zweifaktoriellen Prüfung der Daten zusammengefasst. Die Abbildung verdeutlicht, dass die N<sub>2</sub>-Fixierleistung der Sorte Scirocco in allen drei Untersuchungsjahren über den Sorten Alfred und Caspar lag. Besonders hoch war der Ndfa-Wert des Untersuchungsjahres 2000. Im Gegensatz dazu lag der Ndfa-Wert der Sorte Alfred in den Jahren 1999, 2000 und 2001 unter den Werten der anderen Sorten. Die statistische Überprüfung der Daten ergab signifikante Differenzen der luftbürtigen Stickstoffmengen zwischen den Untersuchungsjahren und eine hohe Signifikanz bei der Wechselwirkung zwischen Jahr und Sorte. Die Mengen an luftbürtigem Stickstoff der Sorte Alfred lagen während der Jahre 1999, 2000 und 2001 bei 166,4, 198,0 und 273,6 kg N ha<sup>-1</sup>, während die Menge des luftbürtigen Stickstoffs der Sorte Scirocco von 197,3 auf 335,6 kg N ha<sup>-1</sup> anstieg und im Jahr 2001 auf 312,1 kg N ha<sup>-1</sup> absank.

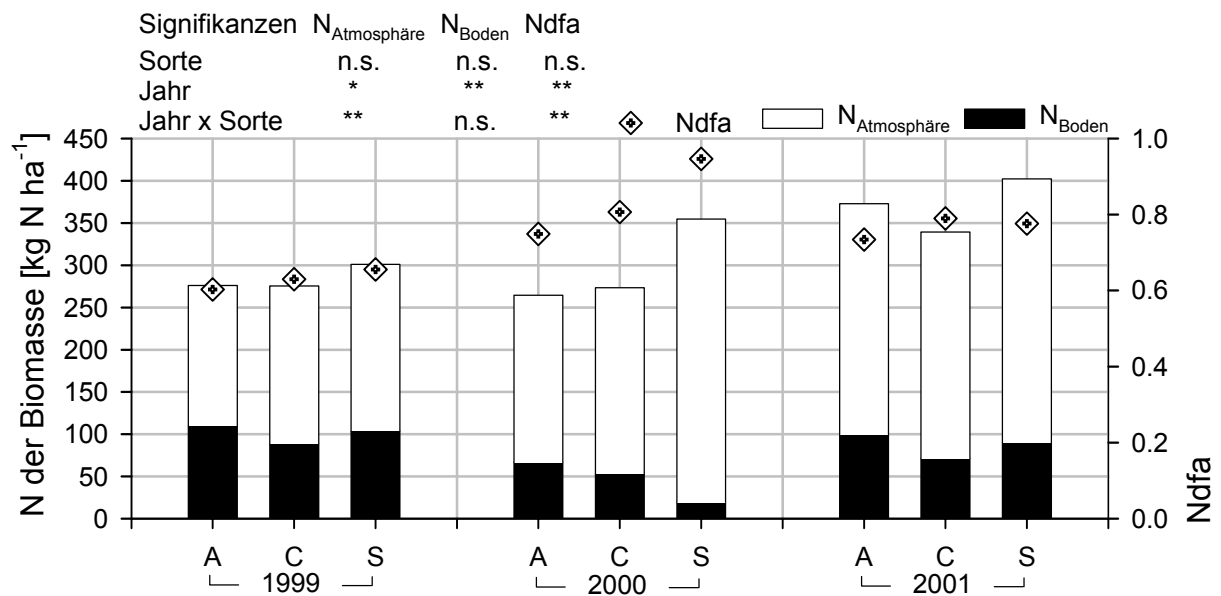


Abb. 25: Borwede – N-Quellen (N<sub>Atmosphäre</sub> und N<sub>Boden</sub>), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse von *Vicia faba* der Sorten Alfred (A), Caspar (C) und Scirocco (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0,05, \*\* = P < 0,01, # = nicht normalverteilt

Die Differenzen der N<sub>Boden</sub>-Mengen waren zwischen den Jahren hoch signifikant. Der prozentuale Anteil des luftbürtigen Stickstoffs (Ndfa) zeigte hoch signifikante Unterschiede zwischen den Untersuchungsjahren, aber auch eine hoch signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Sorte. Hierbei stiegen die Ndfa-Werte der Sorte Alfred von 60,4 % im Jahr 1999 auf 74,9 % im Jahr 2000. Das Jahr 2001 ergab für diese Sorte einen leicht geringeren Ndfa-Wert von 73,5 %. Hingegen wurden von der Sorte Scirocco im Untersuchungsjahr 1999 65,2 % des Stickstoffbedarfs aus der Luft gedeckt. Dieser Wert lag im Jahr 2000 mit 94,6 % deutlich höher. Im Jahr 2001 wa-

ren es wiederum nur noch 77,5 % des gesamtplanzlichen Stickstoffs, die aus der Luft stammten.

#### 4.4.3 Standort Föhrste

Abb. 26 fasst die Daten der Schätzung des luftbürtigen Stickstoffs ( $N_{\text{Atmosphäre}}$ ) am Standort Föhrste der Jahre 1999, 2000 und 2001 zusammen, sowie die Ergebnisse der Berechnung des bodenbürtigen Stickstoffs. Sie zeigt auch den Anteil des luftbürtigen Stickstoffs (Ndfa) am  $N_{\text{Bt}}$  ( $N_{\text{Biomasse total}}$ ). Oberhalb der Abbildung befinden sich wegen des Flächenwechsels die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse der Untersuchungsjahre 2000 und 2001.

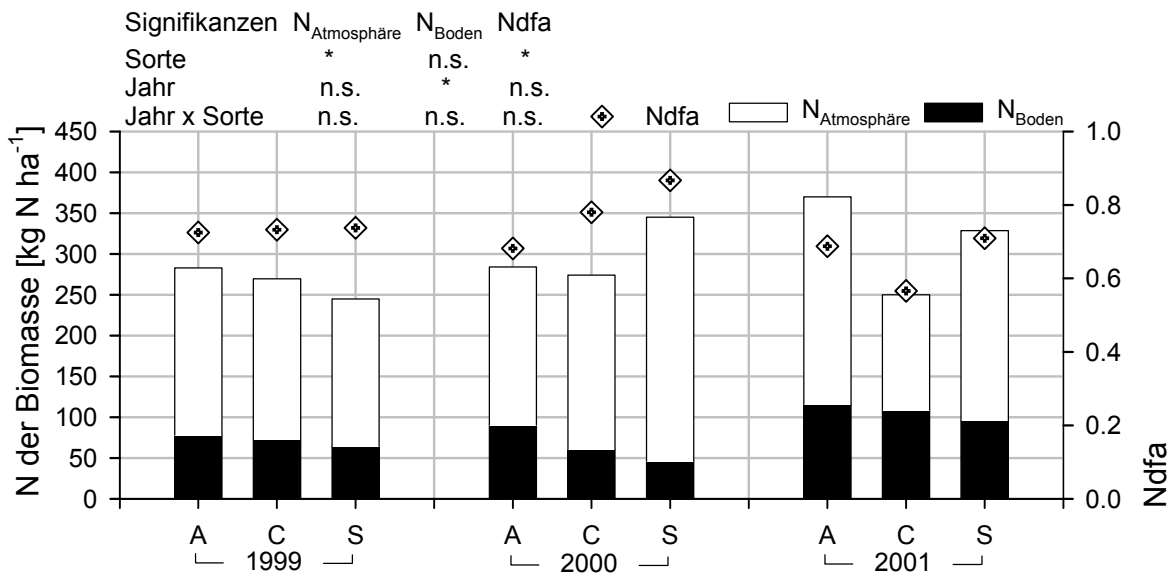


Abb. 26: Föhrste – N-Quellen ( $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$ ), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse von *Vicia faba* der Sorten Alfred (A), Caspar (C) und Scirocco (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$

Der Anteil des luftbürtigen Stickstoffs an der gesamten Biomasse war auch am Standort Föhrste bei der Sorte Scirocco in den drei Untersuchungsjahren am höchsten. Für die Sorten Alfred, Caspar und Scirocco wurde für die drei Versuchsjahre ein Mittel von 194,3, 235,4 und 209,6 kg N ha<sup>-1</sup> an luftbürtigem Stickstoff festgestellt. Die Menge des bodenbürtigen Stickstoffs der drei Jahre wurde im Sortenmittel mit 71,4, 65,5 und 106,5 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. In den Jahren 1999, 2000 und 2001 erreichte der luftbürtige Stickstoff im Mittel der Sorten Anteile von 72,9, 77,4 und 64,4 %. In der zweifaktoriellen Varianzanalyse zeigten sich signifikante Differenzen des luftbü-



tigen Stickstoffs zwischen den Sorten, des bodenbürtigen Stickstoffs zwischen den Jahren und in der Verhältniszahl Ndfa zwischen den Sorten.

#### 4.4.4 Standort Göttingen

Abb. 27 fasst die Werte der N-Quellen Boden und Luft und die daraus resultierende Verhältniszahl Ndfa sowie die zweifaktorielle Varianzanalyse von *Vicia faba* am Standort Göttingen zusammen. Auch in Göttingen ist es die Sorte Scirocco, die in allen drei Untersuchungs Jahren den höchsten Ndfa-Wert erzielte. Im Sortenmittel lagen die prozentualen Anteile während der Jahre 1999, 2000 und 2001 bei 77,0, 76,9 und 75,1 % der gesamten Biomasse. Die Aufnahme an bodenbürtigem Stickstoff war im Jahr 2000 mit einem Wert im Sortenmittel von 76,8 kg N ha<sup>-1</sup> höher als die Werte der Jahre 1999 und 2001 mit 68,0 und 59,0 kg N ha<sup>-1</sup>. Auch die Menge des fixierten Luftstickstoffs (N<sub>Atmosphäre</sub>) im Versuchsjahr 2000 lag mit 259,1 kg N ha<sup>-1</sup> deutlich über denen der Jahre 1999 und 2001 mit 231,0 bzw. 184,3 kg N ha<sup>-1</sup>. Die statistische Überprüfung der Daten ergab für den luftbürtigen Stickstoff einen signifikanten Unterschied zwischen den Sorten und hoch signifikante Unterschiede zwischen den Jahren. Die Werte des bodenbürtigen Stickstoffs waren in den geprüften Parametern nicht signifikant verschieden. Auch die Ndfa-Werte zeigten keine signifikanten Differenzen.

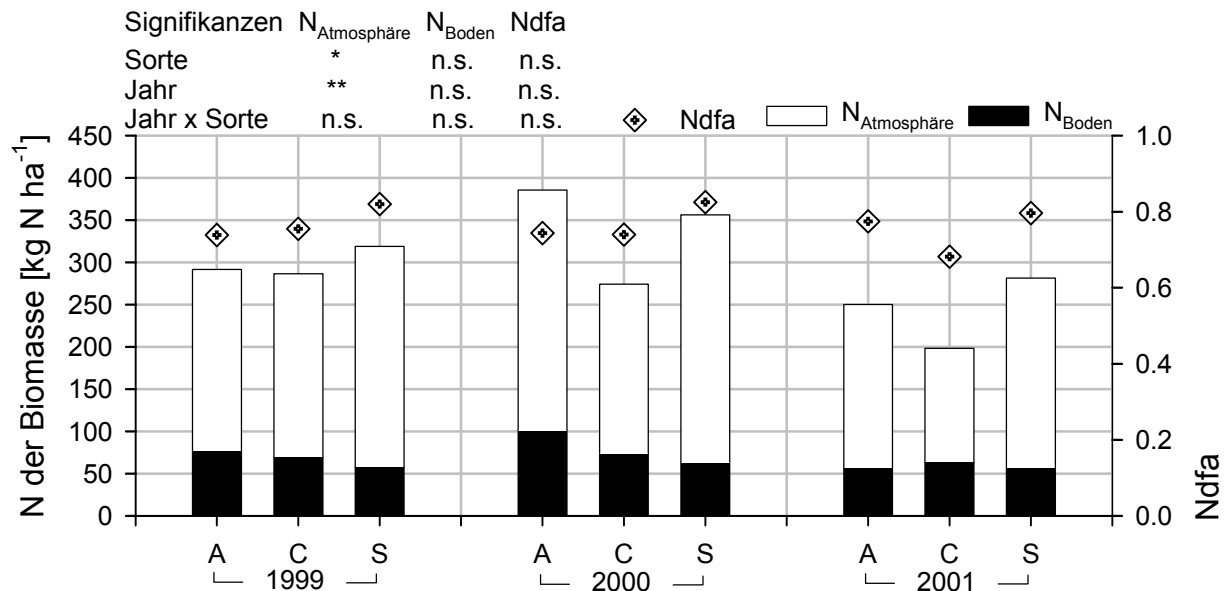


Abb. 27: Göttingen – N-Quellen (N<sub>Atmosphäre</sub> und N<sub>Boden</sub>), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse von *Vicia faba* der Sorten Alfred (A), Caspar (C) und Scirocco (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0,05, \*\* = P < 0,01, # = nicht normalverteilt

#### 4.4.5 Standort Groß Malchau

Abb. 28 zeigt die Daten der N-Quellen der *Vicia faba*-Sorten am Untersuchungsstandort Groß Malchau, zusammen mit den Ndfa-Werten und den Ergebnissen der zweifaktoriellen Varianzanalyse oberhalb der Abbildung. Auch am Standort Groß Malchau wies die Sorte Scirocco in den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 die höchsten Ndfa-Werte auf. Das prozentuale Sortenmittel für die Ndfa lag in den drei Versuchsjahren bei 73,9, 76,1 und 51,6 %. Die Menge an bodenbürtigem Stickstoff von im Mittel der Sorten 90,2 kg N ha<sup>-1</sup> des Versuchsjahres 2001 lag deutlich über dem Sortenmittel der Jahre 1999 und 2000 mit 26,8 und 30,1 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Menge an fixiertem Stickstoff in der gesamten Biomasse der Ackerbohnen erreichte im Mittel der Sorten während der Jahre 1999, 2000 und 2001 80,3, 95,1 bzw. 100,2 kg N ha<sup>-1</sup>. Die zweifaktorielle Varianzanalyse ergab für den luftbürtigen Stickstoff eine Wechselwirkung zwischen Jahr und Sorte. Während die Menge des fixierten Luftstickstoffs der Sorte Alfred in den Jahren 1999 und 2000 von 78,1 auf 94,3 kg N ha<sup>-1</sup> stieg, im Jahr 2001 mit 55,7 kg N ha<sup>-1</sup> aber wieder deutlich geringer ausfiel, lag die Menge an fixiertem Luftstickstoff der Sorte Scirocco mit 101,0, 105,4 und 143,0 kg N ha<sup>-1</sup> besonders im dritten Untersuchungsjahr über denen der Vorjahre. Die Werte des bodenbürtigen Stickstoffs wiesen keine signifikanten Differenzen auf. Die Ndfa-Werte konnten wegen fehlender Normalverteilung keiner Varianzanalyse unterzogen werden.

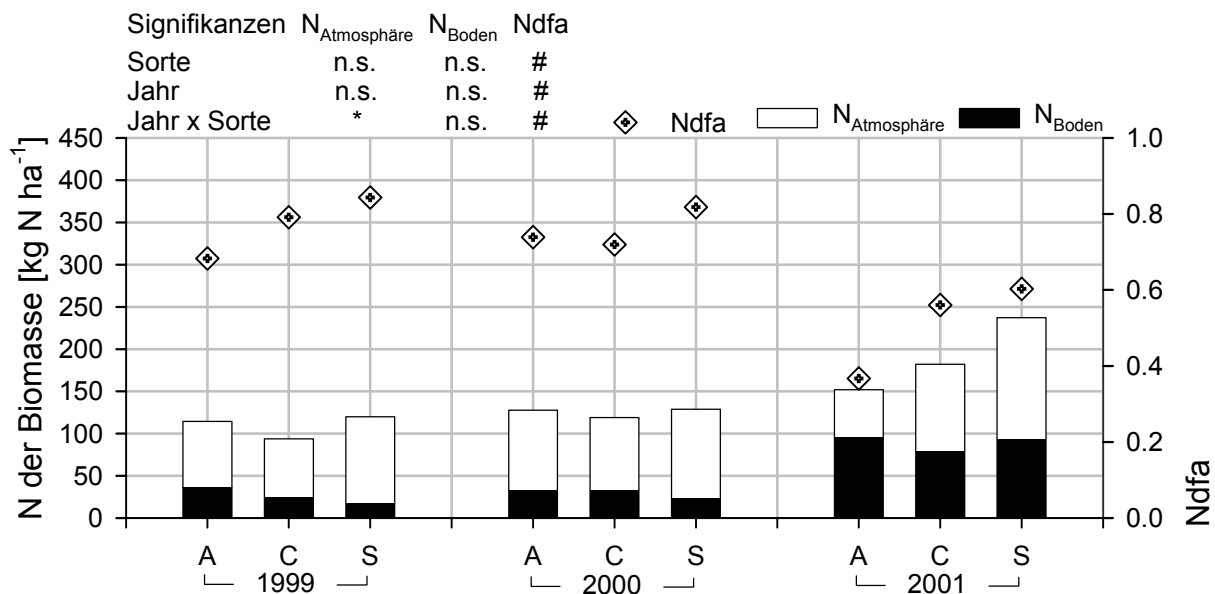


Abb. 28: Groß Malchau – N-Quellen (N<sub>Atmosphäre</sub> und N<sub>Boden</sub>), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse als Faktor von *Vicia faba* der Sorten Alfred (A), Caspar (C) und Scirocco (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

### 4.5 Vergleich der mit Hilfe von $\delta^{15}\text{N}$ - und erweiterter Differenzmethode ermittelten $\text{N}_2$ -Fixierung bei *Vicia faba*

Die Gegenüberstellung der Schätzergebnisse zur symbiotischen  $\text{N}_2$ -Fixierung von *Vicia faba* (Abb. 29), die mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode ermittelt wurden (Abszisse) zu denen, deren Ergebnisse aus der Schätzung mit der erweiterter Differenzmethode stammen (Ordinate), zeigen eine enge Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,91$ . Im Mittel über die Sorten und Jahre wurden mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode in Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau  $\text{N}_{\text{Atmosphäre}}$ -Werte von 242,4, 204,6, 224,7 und 96,6  $\text{kg N ha}^{-1}$  ermittelt, denen Werte aus der erweiterter Differenzmethode von 259,0, 235,4, 256,3 und 111,6  $\text{kg N ha}^{-1}$  gegenüberstehen.

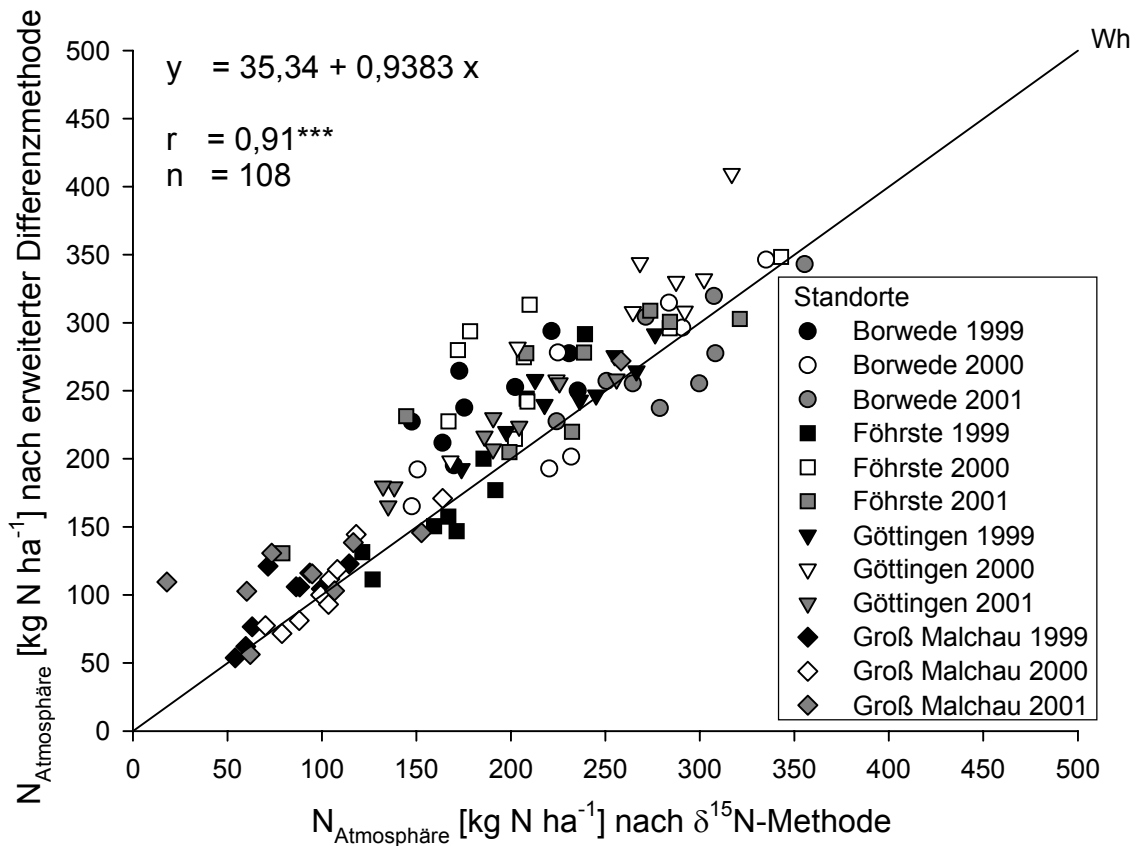


Abb. 29: *Vicia faba* - Korrelation der Ergebnisse zur Schätzung der symbiotischen  $\text{N}_2$ -Fixierleistung im Mittel der Sorten Alfred, Caspar und Scirocco, ermittelt nach  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (x) und erweiterter Differenzmethode (y) aller Standorte der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001; Wh = Winkelhalbierende

Die Differenzen der Mittelwerte beider Methoden liegen also zwischen 15,0 und 30,8 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Amplitude der Parzellenwerte war von 0,3 bis 115,4 kg N ha<sup>-1</sup> deutlich größer. Die Lage der Orts- und Jahressymbole zur Winkelhalbierenden veranschaulicht, dass die Abweichungen der Schätzergebnisse nicht orts- oder jahresabhängig sind. In 23 von 108 Fällen wurden mit der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode höhere N<sub>2</sub>-Fixierleistungen von *Vicia faba* ermittelt als mit der erweiterten Differenzmethode.

### 4.6 Trockenmasseerträge von *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse

Die Grünspeiseerbse *Pisum sativum* war in dieser Versuchsreihe mit einer Sorte (Nevado) integriert. In Tab. 27 werden die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse der TM-Erträge und des Mittelwertvergleichstests (Tukey-Test) zusammengefasst. In die zweifaktorielle Varianzanalyse konnten die Ergebnisse des Jahres 2001 nicht einfließen, weil sich in diesem Jahr am Standort Göttingen die drei Wiederholungen der Sorten Nevado nicht etabliert werden konnten und mit diesem Totalausfall auch eine unbalancierte Varianzanalyse nicht möglich war. Die Einzelwerte der Stroh-Trockenmasse zeigten lediglich bei den Wechselwirkungen zwischen Jahr und Ort signifikante Unterschiede. Der Vergleich der Mittelwerte erbrachte kein signifikantes Ergebnis. Die Unterschiede in der Korn-Trockenmasse waren zwischen den Jahren sehr hoch signifikant, was sich auch beim Vergleich der Mittelwerte ( $\alpha = 0,001$ ) widerspiegelt. Wiederum sehr einheitlich war die gebildete Wurzelmasse an den Orten und innerhalb der Jahre. Der TM-Harvest-Index ( $H_{TMbt}$ ) war zwischen den Jahren sehr hoch signifikant. Er zeigte eine signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. Der  $H_{TMbt}$  reagierte hierbei an den Standorten Borwede und Groß Malchau mit einem um 46,7 bzw. 57,3 % reduzierten  $H_{TMbt}$  von 1999 auf 2000, während dieser sich in diesen zwei Jahren am Standort Göttingen lediglich um 24,6 % verringerte.

Tab. 27: *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse - Statistischer Vergleich der Trockenmasse-Erträge und des TM-Harvest-Index ( $H_{TMbt}$ ) an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 und 2000; zweifaktorielle Varianzanalyse und Tukey-Test ( $\alpha = 0,05$ ) der Mittelwerte

Varianzanalyse	Ort	Jahr	Jahr x Ort	Tukey-Test	Ort				Jahr	
					B	F	G	M	1999	2000
Stroh	n.s.	n.s.	*	→	a	a	a	a	a	a
Korn	n.s.	***	n.s.		b	a	ab	ab	a <sup>2</sup>	b <sup>2</sup>
Wurzel	n.s.	n.s.	n.s.		a	a	a	a	a	a
$H_{TMbt}^1$	n.s.	***	*		a	a	a	a	a <sup>2</sup>	b <sup>2</sup>

n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , <sup>1</sup>ohne Blattfall, <sup>2</sup> $\alpha = 0,001$ , # = nicht normalverteilt, → Leserichtung, nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau

#### 4.6.1 Standort Borwede

Die von der angebauten Sorte Nevado am Standort Borwede gebildete Biomasse mit den in die Untersuchung einfließenden Bestandteilen Stroh, Korn und Wurzel und dem daraus berechneten TM-Harvest-Index sind in Abb. 30 dargestellt. Die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse befinden sich oberhalb des Diagramms. In den Untersuchungsjahren konnte die Sorte Nevado am Standort Borwede einen Strohertrag von 56,1, 63,8 und 66,5 dt TM ha<sup>-1</sup> bilden. Die Unterschiede zwischen den Jahren waren nicht signifikant. Die Kornerträge waren hoch signifikant verschieden und erreichten 8,4, 5,2 und 2,4 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die Wurzelmasse lag in den drei Untersuchungsjahren bei 2,6, 5,1 und 1,9 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die Differenzen in der Wurzelmasse wie auch im Trockenmasse-Harvest-Index waren signifikant. Mit dem Korn wurden am Standort Borwede 1999, 2000 und 2001 von der Biomasse 12,9, 6,9 und 3,4 % vom Feld abgefahren.

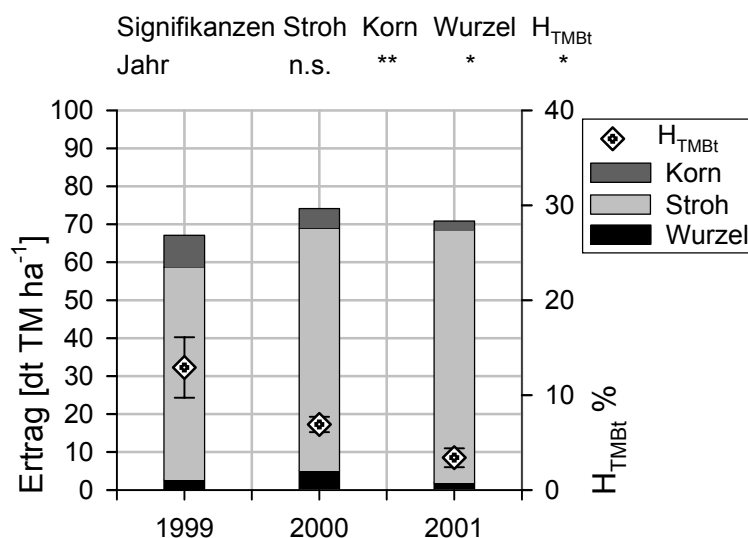


Abb. 30: Borwede – Erträge und Trockenmasse-Harvest-Index (H<sub>TMbt</sub>) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Pisum sativum* der Sorte Nevado; einfaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0,05, \*\* = P < 0,01

#### 4.6.2 Standort Föhrste

In Abb. 31 sind die Bestandteile der Biomasse der Sorte Nevado am Standort Föhrste, der TM-Harvest-Index in den Jahren 1999 bis 2001 und die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse zusammengefasst. Die Stroherträge erreichten in den drei Untersuchungsjahren 43,1, 35,8 und 45,9 dt TM ha<sup>-1</sup>. Bei den Kornerträgen wurden im Mittel 21,1, 12,0 und 12,9 dt TM ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die Wurzelmassen lagen bei 4,3, 3,1 und 3,2 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab für keinen der geprüften Parameter signifikante Unterschiede. Der TM-Harvest-Index zeigt an, dass

1999, 2000 und 2001 30,6, 23,8 und 20,8 % der Biomasse mit dem Korn vom Feld abgefahren wurden. Hier konnte wegen fehlender Normalverteilung auch nach Transformation keine Varianzanalyse durchgeführt werden.

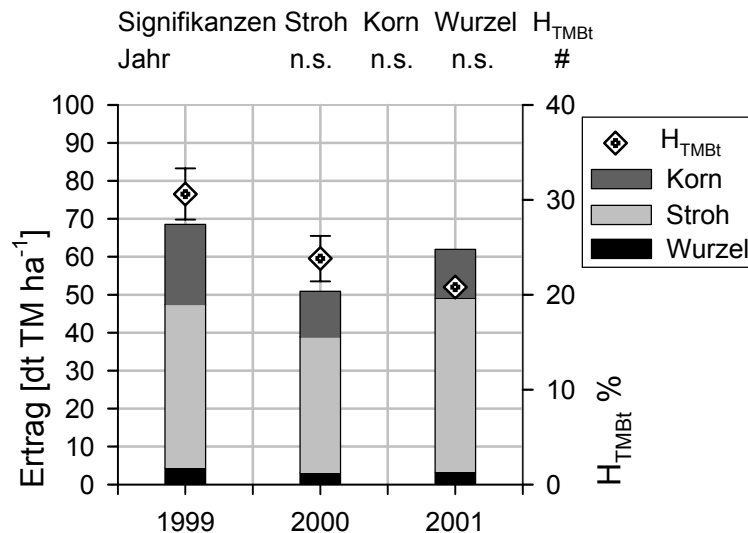


Abb. 31: Föhrste – Erträge und TM-Harvest-Index ( $H_{TMBt}$ ) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Pisum sativum* der Sorte Nevado; einfaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

### 4.6.3 Standort Göttingen

Die in Abb. 32 dargestellten Mittelwerte der Biomasse, des TM-Harvest-Index und der einfaktoriellen Varianzanalyse der Erbsensorte Nevado am Standort Göttingen wurden in den Jahren 1999 und 2000 ermittelt. Im Jahr 2001 war es zu einem Totalausfall der drei Wiederholungen gekommen. Die Stroherträge lagen 1999 und 2000 bei 45,8 und 39,3 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die Kornerträge lagen bei 13,8 und 8,7 dt TM ha<sup>-1</sup> im Mittel der Wiederholungen. Sowohl beim Stroh- als auch beim Kornertrag waren keine signifikanten Differenzen zwischen den Jahren zu ermitteln. Hingegen waren die TM-Erträge zwischen den Wurzeln in beiden Jahren signifikant unterschiedlich. Die Biomasse der Wurzeln lag bei 1,8 und 3,2 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die Unterschiede im TM-Harvest-Index der beiden Untersuchungsjahre waren signifikant. Im Mittel der Wiederholungen wurden 22,3 und 16,9 % der Biomasse vom Feld abgefahren.

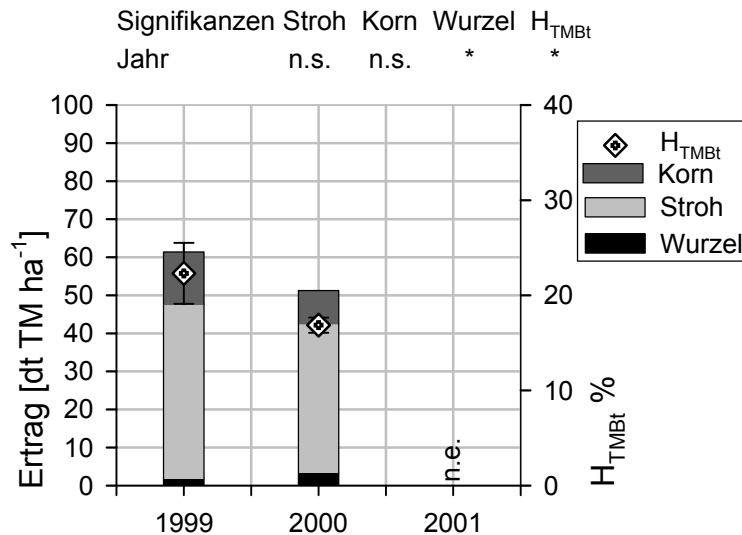


Abb. 32: Göttingen – Erträge und Trockenmasse-Harvest-Index ( $H_{\text{TMbt}}$ ) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Pisum sativum* der Sorte Nevado; einfaktorische Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,01$ ; n.e. = nicht erhoben

#### 4.6.4 Standort Groß Malchau

In Abb. 33 werden die TM-Erträge der für die Untersuchung relevanten Pflanzenteile, der TM-Harvest-Index als Mittelwert der Sorte und die Ergebnisse der einfaktorischen Varianzanalyse der Jahre 1999 bis 2001 dargestellt. Die Grünspeiseerbse Nevado erbrachte im Vergleich mit den anderen Untersuchungsstandorten in Groß Malchau für die dort ungünstigen Standortverhältnisse stabile Erträge. Die gebildete Strohmasse betrug in den Jahren 1999, 2000 und 2001 26,1, 41,6 und 24,3 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die Unterschiede zwischen den Jahren waren signifikant. Nicht signifikant waren die Differenzen der Stroherträge sowie der Wurzelmasse. An Kornerträgen konnten in den drei Untersuchungsjahren 14,1, 8,1 und 15,0 dt TM ha<sup>-1</sup> erhoben werden. Die Biomasse der Wurzeln bewegt sich mit 2,2, 3,4 und 1,8 dt TM ha<sup>-1</sup> auf dem Niveau der anderen Untersuchungsstandorte. Mit dem Korn wurden 33,5, 14,3 und 36,3 % der Trockenmasse abgefahren. Für den TM-Harvest-Index konnte wegen fehlender Normalverteilung der Daten auch nach Transformation keine Varianzanalyse durchgeführt werden.



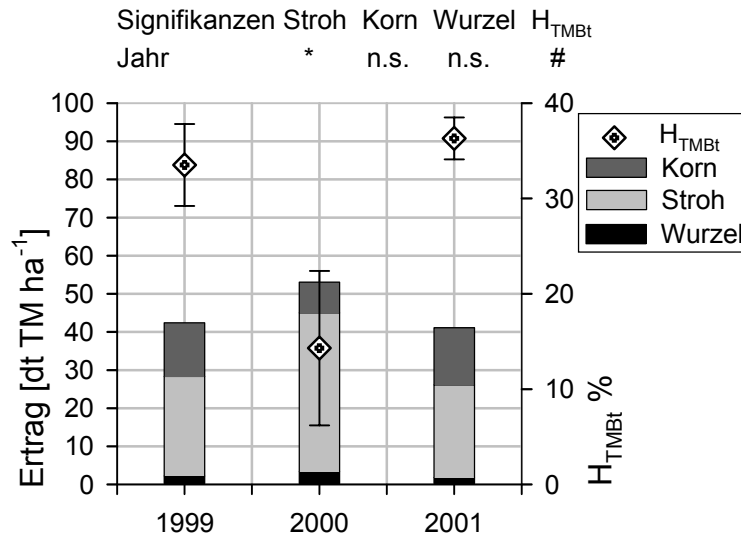


Abb. 33: Groß Malchau – Erträge und TM- Harvest-Index ( $H_{TMBt}$ ) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Pisum sativum* der Sorte und Nevado; einfaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* = 0,05

#### 4.7 Stickstoff-Erträge bei *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspiseerbse

Die in Tab. 28 zusammengefassten Daten sind das Ergebnis der zweifaktoriellen Varianzanalyse der Grünspiseerbse Nevado der Jahre 1999 und 2000. Geprüft wurden wie auch beim Mittelwertvergleichstest (Tukey-Test) die Parameter Ort und Jahr. Die Faktoren Ort und Jahr zeigten bei der Prüfung der Unterschiede in den Stroh-N-Erträgen keine signifikanten Unterschiede. Die Differenzen in der Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort waren jedoch hochsignifikant. Während die Stroh-N-Erträge an den Standorten Borwede und Göttingen von 1999 auf 2000 nur leicht anstiegen, lag er in Groß Malchau im zweiten Versuchsjahr um mehr als das doppelte höher. Die N-Mengen im Korn waren an den Untersuchungsorten signifikant verschieden, die Jahre zeigten einen hochsignifikanten Einfluss, wohingegen die Wechselwirkung zwischen Ort und Jahr keine Signifikanz aufwies. Beim Vergleich der Mittelwerte wurden Wirkungen der Orte auf die Korn-N-Menge deutlich: Der Korn-N-Ertrag in Borwede war hierbei signifikant höher als am Standort Föhrste. Mit einem statistischen Fehler von 1 % war der Einfluss der Jahre auf den Korn-N-Ertrag hochsignifikant. Die Unterschiede der N-Mengen in den Wurzeln waren nicht signifikant. Der N-Harvest-Index ( $H_{NBt}$ ) war zwischen den Jahren hochsignifikant verschieden, wobei die N-Abfuhr mit dem Korn im Mittel der Orte im Jahr 1999 deutlich höher war als im Jahr 2000. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort zeigte einen signifikanten Einfluss. Während der  $H_{NBt}$  sich an den Standorten Borwede und Göttingen in beiden Jahren auf einem einheitlichen Niveau bewegte, sank dieser am Standort Groß Malchau von 1999 auf 2000 um 57 %.

Tab. 28: *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse - Statistischer Vergleich der N-Erträge und des N-Harvest-Index ( $H_{NBt}$ ) an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2000; zweifaktorielle Varianzanalyse und Tukey-Test ( $\alpha = 0,05$ ) der Mittelwerte

Varianzanalyse	Ort	Jahr	Jahr x Ort	Tukey-Test	Ort				Jahr	
					B	F	G	M	1999	2000
Stroh-N	n.s.	n.s.	**	→	a	a	a	a	a	a
Korn-N	*	**	n.s.		b	a	ab	ab	a <sup>2</sup>	b <sup>2</sup>
Wurzel-N	n.s.	n.s.	n.s.		a	a	a	a	a	a
$H_{NBt}^1$	n.s.	***	*		a	a	a	a	a <sup>3</sup>	b <sup>3</sup>

n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , <sup>1</sup>ohne Blattfall, <sup>2</sup> $\alpha = 0,01$ , <sup>3</sup> $\alpha = 0,001$ , # = nicht normalverteilt, → Leserichtung, nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau

#### 4.7.1 Standort Borwede

Abb. 34 fasst die N-Erträge der Biomasse aus den Untersuchungsjahren 1999 bis 2001 der Grünspeiseerbse Nevado am Standort Borwede zusammen und zeigt in der unteren Hälfte die Nmin-Menge im Boden zu Beginn der Vegetationsperiode (April) und diejenigen zum Zeitpunkt der Ernte. Die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse der N-Erträge der Biomasse sind im Kopf der Abbildung zusammengefasst. Die Stroh-N-Mengen der Sorte Nevado waren mit 140,7, 146,5 und 162,0 kg N ha<sup>-1</sup> zwischen den Jahren nicht signifikant verschieden. Die Korn-N-Mengen zeigten hochsignifikante Unterschiede zwischen den Untersuchungsjahren. Es wurden Werte von 34,9, 21,8 und 11,4 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Wiederum ohne Signifikanz waren die N-Mengen in den Wurzeln mit 5,4, 7,8 und 2,9 kg N ha<sup>-1</sup> in den Jahren 1999, 2000 und 2001. Mit dem Korn wurde in den drei Untersuchungsjahren 19,7, 12,3 und 6,5 % des akkumulierten Stickstoffs von der Fläche abgefahren. Die im Boden zu Beginn der Vegetationsperioden der Jahre 1999, 2000 und 2001 gefundenen Nmin-Mengen lagen relativ einheitlich bei 70,4, 73,3 und 68,3 kg N ha<sup>-1</sup>. Unterschiedlich ist das Nmin-Angebot in den verschiedenen Tiefenstufen. Ein Großteil des mineralischen Stickstoffs befand sich im April 1999 und 2001 in der Tiefe von 0 bis 25 cm, aber auch bei 100 bis 125 cm wurden noch Mengen über 10 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Im Untersuchungsjahr 2001 war das Angebot von 0 bis 25 cm Tiefe um 14 kg N ha<sup>-1</sup> deutlich höher als 2000 und 2001, wohingegen den Pflanzen in größeren Tiefen deutlich weniger Nmin-Stickstoff zur Verfügung stand. Die Nmin-Profile zeigen deutlich, dass der Bodenstickstoff unterhalb von 75 cm Tiefe nur zu einem geringen Teil von der Erbse genutzt wurde, weshalb die residualen N-Mengen dieser Tiefe in allen drei Jahren wenig verändert erscheinen. Im Jahr 2001 mit den geringsten residualen Nmin-Mengen von 28,5 kg N ha<sup>-1</sup> wurde im Stroh die höchste N-Menge ermittelt.

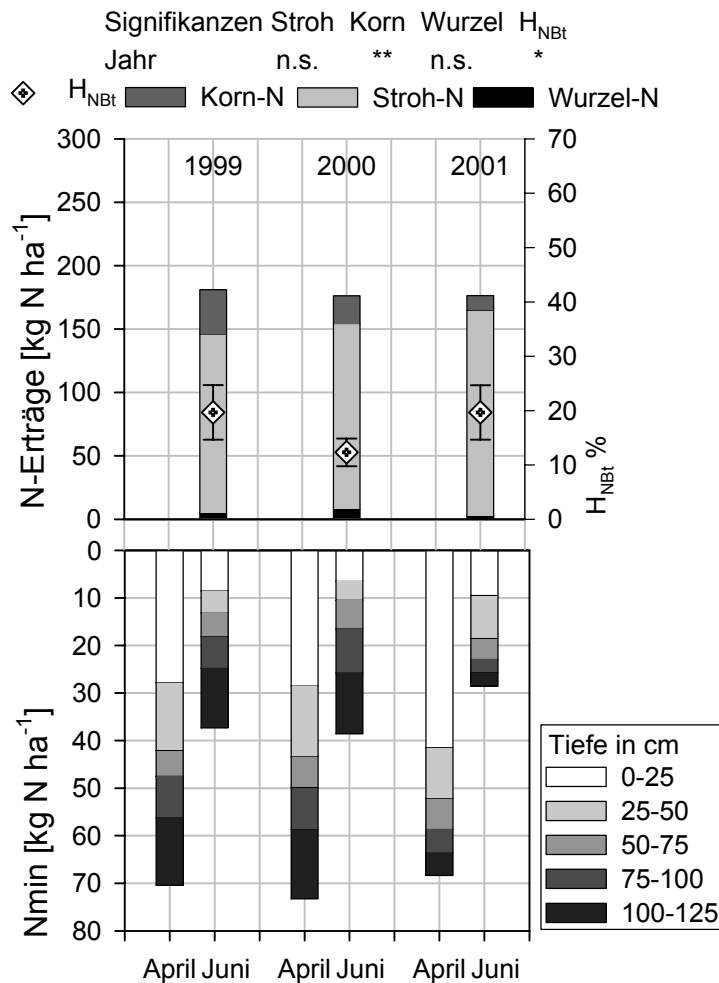


Abb. 34: Borwede – N-Erträge und N-Harvest-Index ( $H_{NBT}$ ) der gesamten Biomasse von Grünspeiseerbse *Pisum sativum* der Sorte Nevado und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat im April und zur Ernte; einfaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$

#### 4.7.2 Standort Föhrste

Die für den Untersuchungsstandort Föhrste ermittelten N-Erträge der Biomasse von *Pisum sativum* (Sorte Nevado), die Nmin-Werte zu Beginn der Vegetationsperiode bzw. zum Zeitpunkt der Ernte in den Jahren von 1999 bis 2001 und die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse der Jahre 2000 und 2001 sind Abb. 35 zusammengefasst. Das Jahr 1999 ist mit den beiden folgenden weder in den N-Mengen der Biomasse noch in den Nmin-Werten im Boden vergleichbar, da 1999 eine Fläche in der Leineaue genutzt wurde. Die im ersten Untersuchungsjahr akkumulierten N-Mengen der Biomasse lagen in Stroh, Korn und Wurzel bei 100,3, 78,0 und 9,3 kg N ha<sup>-1</sup>. Der N-Harvest-Index betrug 41,3 %. Die Jahre 2000 und 2001 zeigten keine signifikanten Unterschiede in den geprüften Parametern Stroh-N mit 69,0 bzw. 110,0 kg N ha<sup>-1</sup>, Korn-N-Ertrag mit 78,0 bzw. 53,5 kg N ha<sup>-1</sup> und Wurzel-N mit 5,3

bzw. 3,9 kg N ha<sup>-1</sup>. Mit dem Korn wurden in den Jahren 2000 und 2001 42,1 und 31,9 % des akkumulierten Stickstoffs von der Fläche abtransportiert.

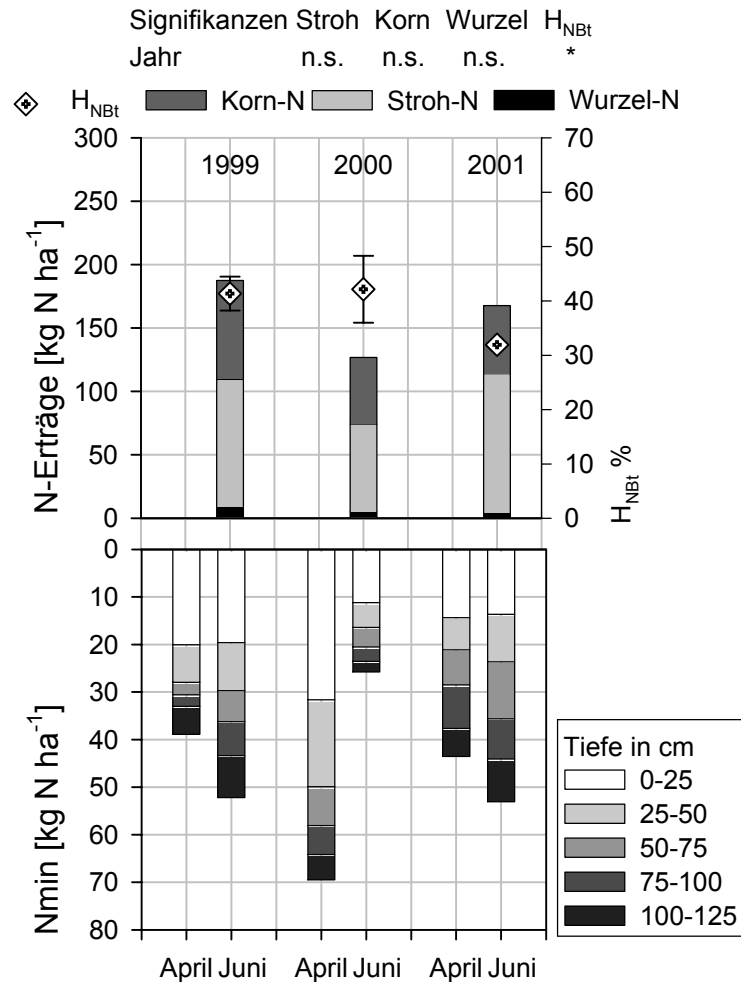


Abb. 35: Föhrste – N-Erträge und N-Harvest-Index (H<sub>NBt</sub>) der gesamten Biomasse von Grünspeiseerbse *Pisum sativum* der Sorte Nevado und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat im April und zur Ernte; einfaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0,05

Die in der Aue zur Aussaat festgestellten Nmin-Mengen im Boden des Jahres 1999 von 38,9 kg N ha<sup>-1</sup> stiegen im Vegetationsverlauf unter der Sorte Nevado auf 52,2 kg N ha<sup>-1</sup> zur Ernte. Hier fällt auf, dass die Nmin-Menge bis 25 cm Tiefe annähernd gleich blieb und die Tiefenstufen bis 100 cm zur Ernte deutlich höhere Nmin-Mengen im Vergleich zur Aussaat aufwiesen. Die mineralisierte N-Menge im Boden der Jahre 2000 und 2001 waren zu Vegetationsbeginn deutlich unterschiedlich und lagen bei 69,5 bzw. 43,7 kg N ha<sup>-1</sup>. Besonders in den Horizonten von 0 bis 50 cm Tiefe war das Nmin-Angebot im Untersuchungsjaar 2000 mit 49,9 kg N ha<sup>-1</sup> deutlich höher als im Folgejaar mit 21,2 kg N ha<sup>-1</sup>. Im Untersuchungsjaar 2000 konnte das Profil durch

die Grünspeiseerbse Nevado deutlich an Nmin-Stickstoff entleert werden. 2001 wurde zwar eine größere N-Menge im Aufwuchs akkumuliert, die residuale Nmin-Menge lag mit  $53,1 \text{ kg N ha}^{-1}$  dennoch deutlich über der des Vorjahres und auch über der zu Vegetationsbeginn. Vor allem in den Tiefen von 25 bis 75 cm kam es zu einer Anreicherung an mineralischem Stickstoff.

### 4.7.3 Standort Göttingen

In Abb. 36 sind die N-Erträge der Biomasse, der N-Harvest-Index, die Nmin-Werte zu Beginn der Vegetationsperiode und zum Zeitpunkt der Ernte sowie die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse am Standort Göttingen der Grünspeiseerbse Nevado der Jahre 1999 und 2000 dargestellt. Die Parzellen konnten im Versuchsjahr 2001 nach einem Totalausfall nicht erhoben werden. Die N-Menge im Stroh mit  $96,5$  bzw.  $101,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  und Korn mit  $54,4$  bzw.  $43,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  wiesen zwischen den Jahren keine signifikanten Unterschiede auf. Die N-Mengen in den Wurzeln waren signifikant verschieden. Nach der Ernte verblieben 1999 und 2000 mit den Wurzeln im Mittel  $3,9$  und  $6,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  auf den Untersuchungsflächen. Mit dem Korn wurden in den Untersuchungsjahren 2000 und 2001  $35,1$  und  $28,8 \%$  des akkumulierten Stickstoffs abtransportiert.

Die Differenzen im N-Harvest-Index zwischen den Jahren waren nicht signifikant. Die in den Jahren 1999 und 2000 im Boden für die Pflanzen verfügbaren Nmin-Mengen befanden sich in  $0 - 125 \text{ cm}$  mit  $68,0$  bzw.  $49,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  auf unterschiedlichen Ausgangsniveaus. Im Untersuchungsjahr 1999 fällt auf, dass vor allem in den Tiefen von  $25$  bis  $125 \text{ cm}$  den Pflanzen deutlich höhere Nmin-Mengen zur Verfügung standen als im darauf folgenden Jahr. In beiden Jahren nutzten die Pflanzen jedoch hauptsächlich das Nmin-Angebot der Horizonte bis  $50 \text{ cm}$  Tiefe. In beiden Jahren war das Bodenprofil nach der Ernte um ca.  $23,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  gegenüber dem Wert zur Aussaat vermindert.

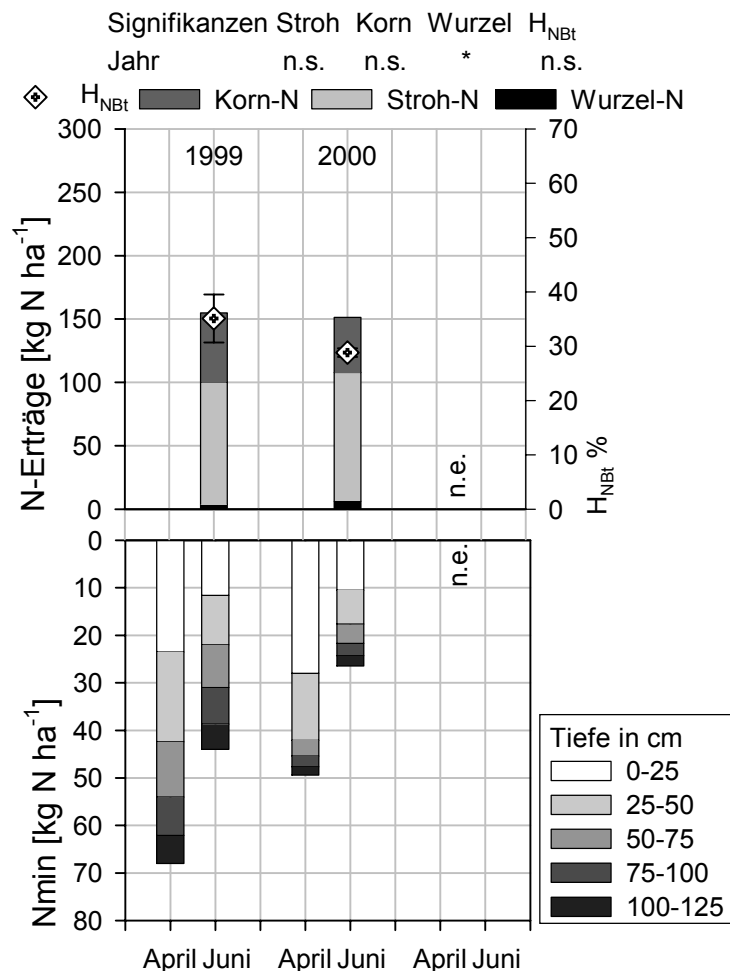


Abb. 36: Göttingen – N-Erträge und N-Harvest-Index ( $H_{NBt}$ ) der gesamten Biomasse von Grünspeiseerbse *Pisum sativum* der Sorte Nevado und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat im April und zur Ernte; einfaktorische Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ ; n.e. = nicht erhoben

#### 4.7.4 Standort Groß Malchau

Abb. 37 fasst die N-Erträge der Biomasse, den N-Harvest-Index, die Ergebnisse der einfaktorischen Varianzanalyse, die Nmin-Werte im Boden zur Aussaat und zur Ernte der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001 der Grünspeiseerbse Nevado am Standort Groß Malchau zusammen. Im Stroh wurden in den drei Untersuchungsjahren 40,6, 99,3 und 46,8 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die Unterschiede zwischen den Jahren waren hochsignifikant verschieden. Die Korn-N-Erträge konnten keiner Varianzanalyse unterzogen werden, da keine Normalverteilung der Daten hergestellt werden konnte. Sie lagen 1999, 2000 und 2001 bei 55,8, 36,0 und 60,7 kg N ha<sup>-1</sup>. Mit den Wurzeln verblieben 4,1, 6,9 und 2,7 kg N ha<sup>-1</sup> auf der Fläche. Die Unterschiede zwischen den N-Mengen in den Wurzeln wie auch für den N-Harvest-Index waren nicht signifikant. Mit dem Korn wurde in den drei Untersuchungsjahren 55,8, 23,8 und 54,6 % des akkumulierten Stickstoffs von der Fläche abtransportiert. Die im Boden zu Vegetations-

beginn vorliegenden Mengen an  $\text{NO}_3^-$ - und  $\text{NH}_4^+$ -N waren in den Jahren von 1999 bis 2001 sehr unterschiedlich. Sie lagen bei 32,5, 36,6 und 46,3  $\text{kg N ha}^{-1}$ . Das N-Angebot von 0 bis 25 war in den Versuchsjahren 2000 und 2001 mit ca. 28  $\text{kg N ha}^{-1}$  deutlich höher als im Jahr 1999 mit 16,4  $\text{kg N ha}^{-1}$ . Im dritten Untersuchungsjahr befanden sich zusätzlich noch größere Mengen an Nmin in der Tiefe von 25 bis 50 cm (13,9  $\text{kg N ha}^{-1}$ ). Die Bodenprofile wurden während des Wachstums vorrangig bis 50 cm Tiefe an Nmin entleert. Zur Ernte verblieben in den Untersuchungsjahren 16,7, 3,7 und 19,1  $\text{kg Nmin ha}^{-1}$  von 0 bis 125 im Boden zurück (Abb. 37).

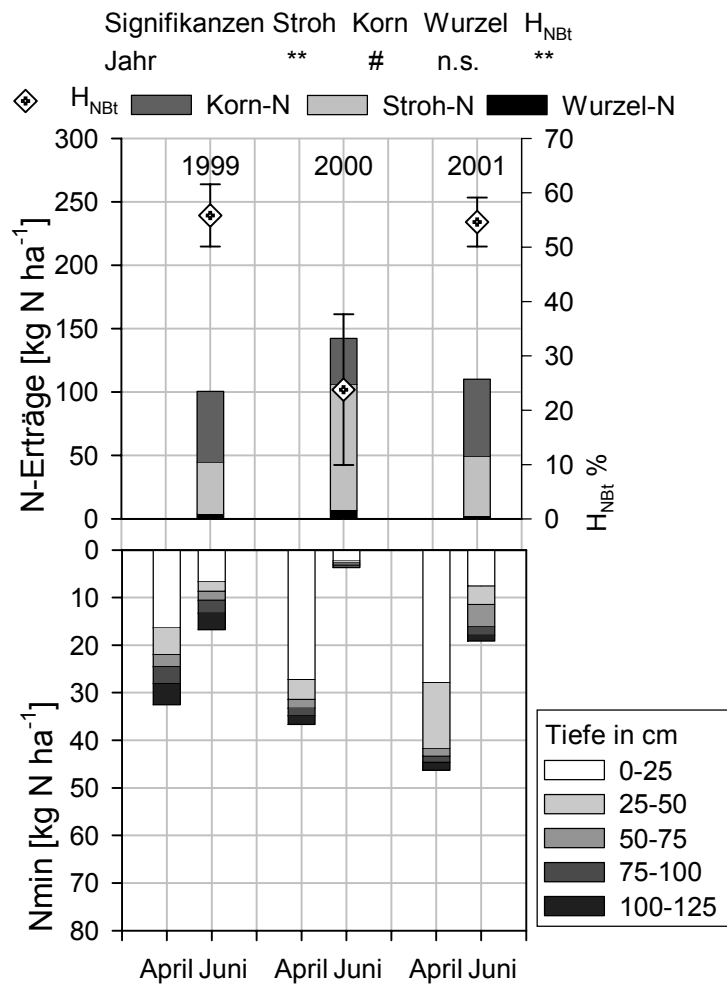


Abb. 37: Groß Malchau – N-Erträge und N-Harvest-Index ( $H_{\text{NBT}}$ ) der gesamten Biomasse von Grünspeiseerbse *Pisum sativum* der Sorte Nevado und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat im April und zur Ernte; einfaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , # = nicht normalverteilt

## 4.8 Stickstoff-Quellen von *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse

### 4.8.1 Zweifaktorielle Varianzanalyse

In Tab. 29 sind die Ergebnisse der statistischen Überprüfung anhand der zweifaktoriellen Varianzanalyse der N-Quellen und der Ndfa-Werte der gesamten Biomasse über alle Untersuchungsstandorte der Grünspeiseerbse Nevado zusammen gefasst. Die Ergebnisse des Mittelwertvergleichstests befinden sich im rechten Teil der Tabelle. Die Differenzen des luftbürtigen Stickstoffs ( $N_{\text{Atmosphäre}}$ ) wiesen bei der Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort eine sehr hohe Signifikanz auf. Überprüft werden konnten nur die Versuchsjahre 1999 und 2000 über alle Standorte, da es am Standort Göttingen im Jahr 2001 zu einem Totalausfall der drei Wiederholungen der Grünspeiseerbse kam. Während am Standort Borwede der luftbürtige Stickstoff von 1999 auf 2000 um 81,6 % höher lag, fiel dieser Wert am Standort Göttingen von 1999 auf 2000 um 27,9 %. Der Mittelwertvergleichstest zeigte über die Orte und Jahre keine signifikante Wirkung. Die N-Aufnahme aus dem Bodenvorrat war zwischen den Jahren signifikant verschieden. Auch hier zeigte die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort eine sehr hohe Signifikanz. Am Standort Borwede wurde in der gesamten Biomasse für das Untersuchungsjahr 2000 ein um 75,1 % geringerer Anteil an bodenbürtigem Stickstoff festgestellt als im Vorjahr. Hingegen konnte am Standort Göttingen für diesen Zeitraum eine Steigerung der bodenbürtigen Stickstoffaufnahme um 46 % ermittelt werden. Beim Mittelwertvergleichstest zeigte sich, dass das Jahr 2000 signifikant vom Vorjahr abwich. Die Daten der Ndfa konnten wegen fehlender Normalverteilung auch nach Datentransformation keiner statistischen Prüfung unterzogen werden.

Tab. 29: *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse - Vergleich der N-Quellen an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 und 2000; zweifaktorielle Varianzanalyse und Tukey-Test ( $\alpha = 0,05$ ) der Mittelwerte

Varianzanalyse	Ort	Jahr	Jahr x Ort	Tukey-Test	Ort				Jahr	
					B	F	G	M	1999	2000
$N_{\text{Atmosphäre}}$	n.s.	n.s.	***	→	a	a	a	a	a	a
$N_{\text{Boden}}$	n.s.	*	***		a	a	a	a	a	b
Ndfa	#	#	#		#	#	#	#	#	#

n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , <sup>1</sup>ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt, → Leserichtung, nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau



### 4.8.2 Standort Borwede

Abb. 38 zeigt die mit Hilfe der Delta-<sup>15</sup>N-Methode geschätzten luftbürtigen Stickstoffwerte und die berechneten Werte der Boden-N-Aufnahme an gesamt-pflanzlichem Stickstoff der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 am Standort Borwede. Ebenso werden die Ndfa-Werte der drei Untersuchungsjahre und die Ergebnisse der ein-faktoriellen Varianzanalyse dargestellt. Der gesamt-pflanzliche Stickstoff war in den Jahren 1999, 2000 und 2001 mit 171,0, 176,2 und 176,3 kg N ha<sup>-1</sup> relativ einheitlich. Die Ndfa-Werte der Jahre 2000 und 2001 lagen mit 86,2 % und 77,2 % deutlich über dem des Jahres 1999 mit 43,6 %. Der Anteil des bodenbürtigen Stickstoffs erreichte dementsprechend mit 101,3 kg N ha<sup>-1</sup> im Jahr 1999 ein deutlich höheres Niveau als in den Jahren 2000 und 2001 mit 24,2 und 40,2 kg N ha<sup>-1</sup>. Die ein-faktorielle Varianzanalyse ergab für den luftbürtigen Stickstoff signifikante Unterschiede und hochsignifikante Unterschiede für den bodenbürtigen Stickstoff. Die Ndfa-Werte konnten wegen fehlender Normalverteilung auch nach Transformation keiner Varianzanalyse unterzogen werden.

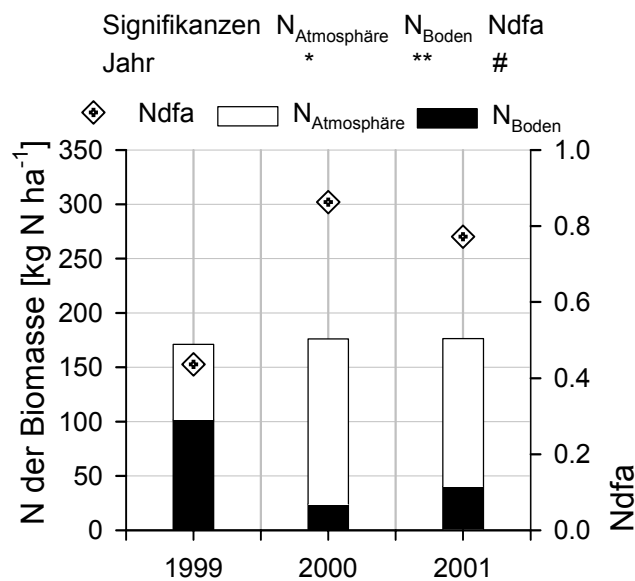


Abb. 38: Borwede – N-Quellen (N<sub>Atmosphäre</sub> und N<sub>Boden</sub>), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse der Grünspeiseerbse *Pisum sativum*, Sorte Nevado; ein-faktorielle Varianzanalyse: \* = P < 0,05, \*\* = P < 0,01, # = nicht normalverteilt

### 4.8.3 Standort Föhrste

Abb. 39 fasst die Daten der N-Quellen Boden und Luft sowie die Ndfa-Werte der Grünspeiseerbse am Standort Föhrste der Untersuchungsjahre 1999, 2000 und 2001 zusammen. Die statistische Überprüfung mit Hilfe der einfaktoriellen Varianzanalyse erfolgte lediglich mit den Daten der Jahre 2000 und 2001, da der Versuch nach 1999 auf eine andere Fläche verlegt werden musste. Die Ndfa-Werte lagen auf einem einheitlichen Niveau mit einem Wert im Mittel der Jahre von 66,9 %. Die gesamt-pflanzlichen Stickstoffmengen waren in den Untersuchungsjahren 1999, 2000 und 2001 mit 187,6, 126,8 und 167,4 kg N ha<sup>-1</sup> sehr unterschiedlich. Auch der luftbürtige Stickstoff erreichte während der drei Untersuchungsjahre mit 130,3, 83,1 und 109,6 kg N ha<sup>-1</sup> unterschiedliche Werte. Die Überprüfung der Ergebnisse ergab jedoch in keinem der geprüften Parameter signifikante Differenzen.

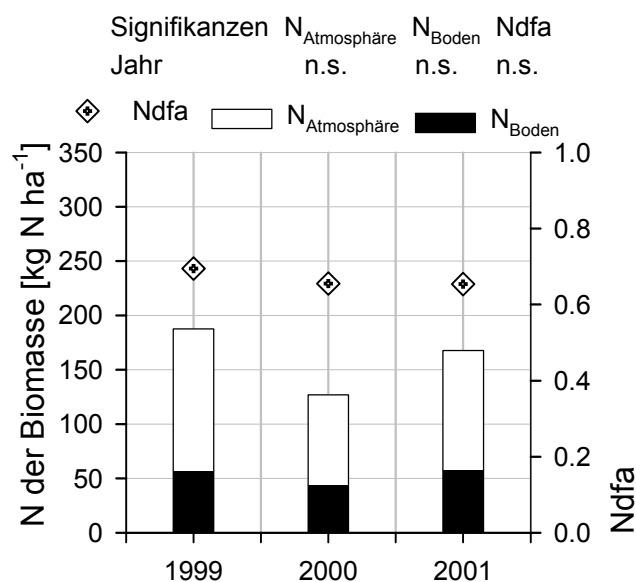


Abb. 39: Föhrste – N-Quellen ( $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$ ), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse der Grünspeiseerbse *Pisum sativum*, Sorte Nevado; einfaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant

### 4.8.4 Standort Göttingen

Die in Abb. 40 zusammengefassten Daten stammen vom Standort Göttingen und zeigen die Aufteilung der gesamt-pflanzlichen Stickstoffmenge der Grünspeiseerbse Nevado, die Ndfa-Werte und die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse der Untersuchungsjahre 1999 und 2000. Für das Jahr 2001 lagen wegen eines Totalausfalls keine Untersuchungsergebnisse vor. Die Ndfa-Werte der Jahre 1999 und 2000

lagen mit 65,3 und 48,3 % auf einem unterschiedlichen Niveau. Die gesamt-pflanzliche N-Menge lag in den beiden ausgewerteten Versuchsjahre bei 153,8 und 208,1 kg N ha<sup>-1</sup>. Im Vergleich fielen die Boden-N-Mengen mit 53,7 und 129,7 kg N ha<sup>-1</sup> sehr verschieden aus. Die Varianzanalyse ergab signifikante Differenzen der N<sub>Boden</sub>-Mengen und signifikante Unterschiede zwischen Ndfa-Werten der beiden Jahre.

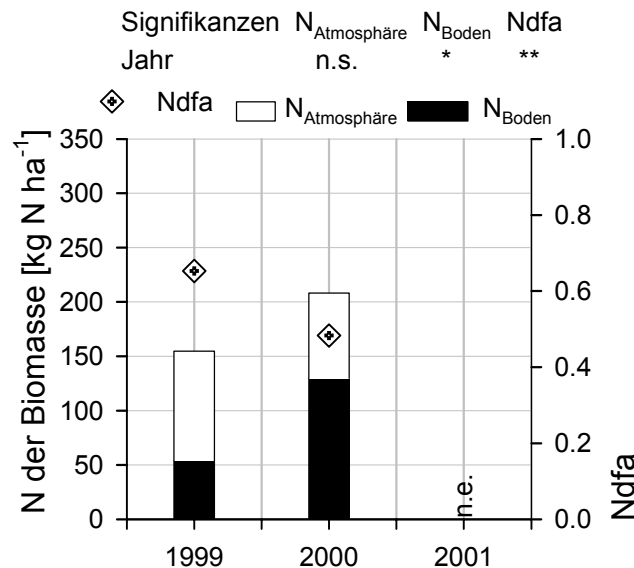


Abb. 40: Göttingen – N-Quellen (N<sub>Atmosphäre</sub> und N<sub>Boden</sub>), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse der Grünspeiseerbse *Pisum sativum*, Sorte Nevado; einfaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0,05, \*\* = P < 0,01; n.e. = nicht erhoben

#### 4.8.5 Standort Groß Malchau

In Abb. 41 sind die N-Quellen in der Biomasse der Grünspeiseerbse, die Ndfa-Werte und die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse am Standort Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999, 2000 und 2001 dargestellt. Die Ndfa-Werte der Jahre 1999 und 2000 lagen im Mittel bei 73,1 %. Der Ndfa-Wert in der Grünspeiseerbse des Jahres 2001 lag hingegen nur bei 56,4 %. Die gesamt-pflanzliche N-Menge der drei Untersuchungsjahre erreichte 100,5, 142,2 und 110,2 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Menge des bodenbürtigen Stickstoffs der Jahre 1999 und 2000 lag mit 27,4 und 37,7 kg N ha<sup>-1</sup> unter der des Jahres 2001 mit 47,9 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Menge an fixiertem Stickstoff des Jahres 2000 lag bei 104,5 kg N ha<sup>-1</sup>; die der Jahre 1999 und 2001 erreichte 73,1 und 62,2 kg N ha<sup>-1</sup>. In der Varianzanalyse zeigten die N<sub>Boden</sub>-Werte und die Ndfa-Werte signifikante Differenzen zwischen den Jahren.

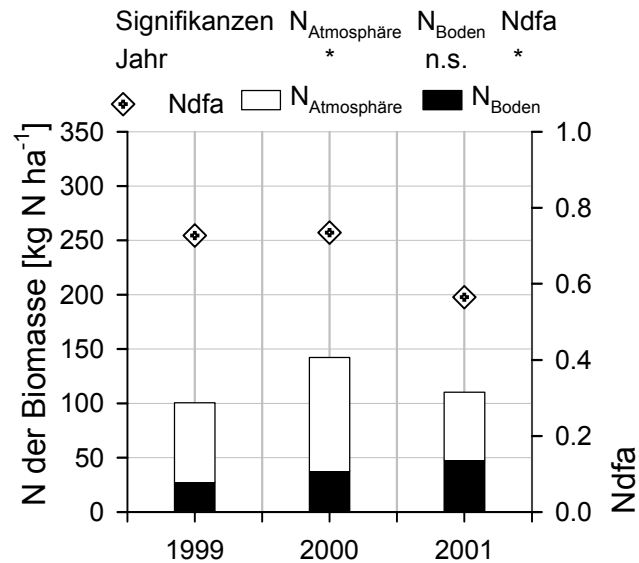


Abb. 41: Groß Malchau – N-Quellen ( $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$ ), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse als Faktor von der Grünspeiseerbse *Pisum sativum* der Sorte Nevado; zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$

#### 4.9 Vergleich der mit Hilfe von $\delta^{15}\text{N}$ - und erweiterter Differenzmethode ermittelten $\text{N}_2$ -Fixierung bei *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse

Die Ergebnisse der  $\text{N}_2$ -Fixierleistung von *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse, zum einen mit der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (Abszisse) und zum anderen mit der erweiterten Differenzmethode (Ordinate) geschätzt (Abb. 42), ergaben mit  $r = 0,52$  keine sehr enge Korrelation. Bei zehn von dreißig Werten lagen auch bei dieser Nutzungsvariante die Mehrzahl der Ergebnisse der erweiterten Differenzmethode über denen der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode. Die Werte des Jahre 2001 vom Standort Groß Malchau konnten nicht miteinander verglichen werden, da die erweiterte Differenzmethode negative  $N_{\text{Atmosphäre}}$ -Mengen ergab. Mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode wurden für Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau fixierte N-Mengen im Mittel der Jahre von 108,9, 106,7, 86,9 und 90,2 berechnet. Dem gegenüber lagen die Werte aus der erweiterten Differenzmethode bei 105,8, 109,6, 87,2 und 95,3 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Amplitude der Differenzen lag bei den Mittelwerten bei 0,3 bis 5,1 kg N ha<sup>-1</sup>, die der Einzelwerte bei 0,9 bis 67,4 kg N ha<sup>-1</sup>.

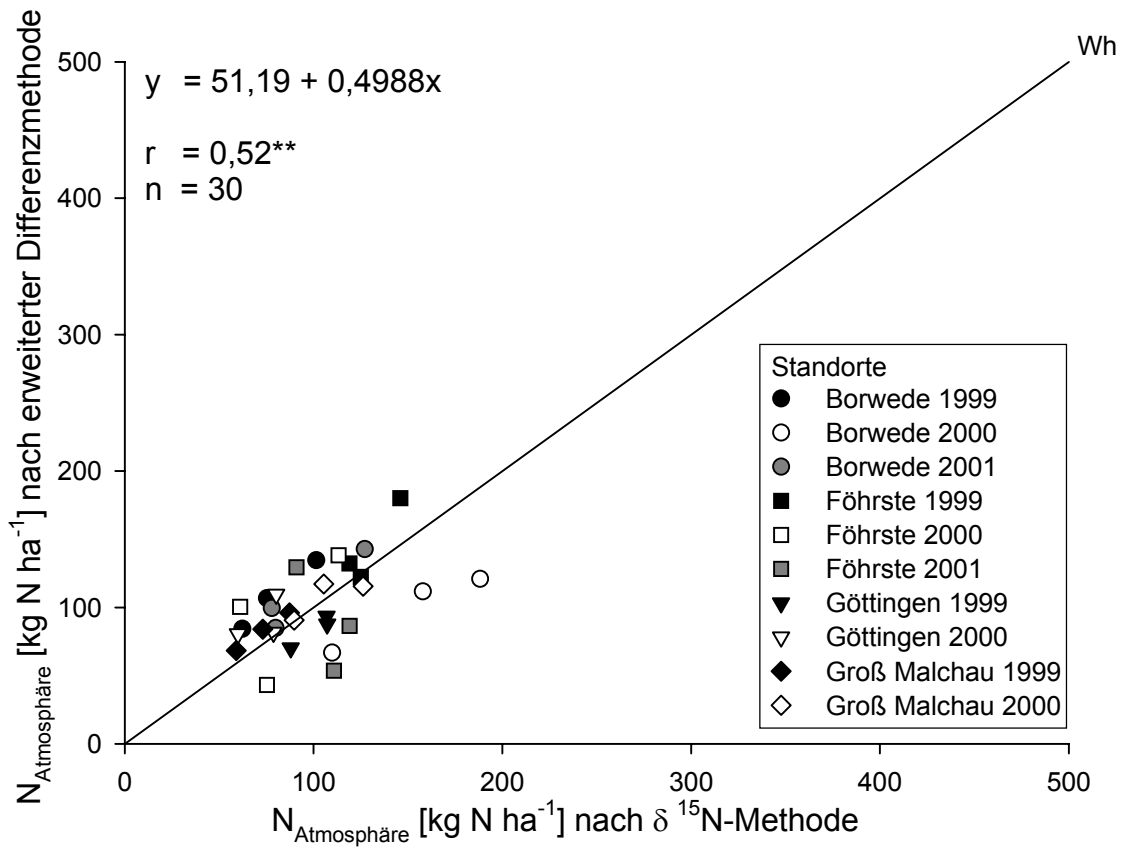


Abb. 42: *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse - Korrelation der Ergebnisse zur Schätzung der symbiotischen  $\text{N}_2$ -Fixierleistung der Sorte Nevado, ermittelt nach  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (x) und erweiterter Differenzmethode (y) aller Standorte der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001; Wh = Winkelhalbierende

## 4.10 Trockenmasseerträge von *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse

### 4.10.1 Dreifaktorielle Varianzanalyse

In Tab. 30 sind die Resultate der dreifaktoriellen Varianzanalyse der TM-Erträge dargestellt. Tab. 31 zeigt die Ergebnisse des Tukey-Tests (Mittelwertvergleichstest). Die Werte des Strohertrages konnten statistisch nicht geprüft werden, da keine Normalverteilung der Daten hergestellt werden konnte. Bei den Kornenerträgen konnte zwischen den Orten ein signifikanter Unterschied festgestellt werden, wobei am Standort Groß Malchau geringere Kornenerträge zu verzeichnen waren. Es lag eine signifikante Wechselwirkung aus Sorte und Jahr vor. Während an den Standorten Borwede und Göttingen die Kornenerträge 2001 im Vergleich zu 2000 um über 15 % sanken, waren sie an den Standorten Führste und Groß Malchau in beiden Jahren konstant. Der Mittelwertvergleichstest zeigte, dass die Kornenerträge des Standortes Groß Malchau signifikant von denen der anderen Standorte verschieden waren. Die Varianzanalyse der Wurzelmasse zeigte keine signifikanten Unterschiede. Jedoch war hier die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort hochsignifikant. Während die Wurzelmasse am Standort Borwede von 2000 auf 2001 um mehr als 63 % abnahm, war am Standort Führste von 2000 auf 2001 ein Anstieg in der Wurzelmasse um 19 % zu verzeichnen. Wegen fehlender Normalverteilung wurde der Trockenmasse-Harvest-Index nicht getestet.

Tab. 30: *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse - Statistischer Vergleich der Trockenmasse-Erträge an den Standorten Borwede, Führste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001; dreifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Sorte	Ort	Jahr	Sorte x Ort	Sorte x Jahr	Jahr x Ort	Ort x Sorte x Jahr
TM Stroh	#	#	#	#	#	#	#
TM Korn	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.
TM Wurzel	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.
H <sub>TMBt</sub> <sup>1</sup>	#	#	#	#	#	#	#

n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , <sup>1</sup> ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt

Tab. 31: *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse - Tukey-Test der Mittelwerte der Erträge an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001

Tukey	Sorte				Ort				Jahr		
	B	E	L	S	B	F	G	M	1999	2000	2001
TM Stroh	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
TM Korn	a	a	a	a	a	a	a	b	a	a	a
TM Wurzel	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
H <sub>TMBt</sub> <sup>1</sup>	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#

Sorten: B = Bohatyr, E = Eiffel, L = Loto, S = Swing, Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, <sup>1</sup>ohne Blattfall, nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

#### 4.10.2 Standort Borwede

Die Trockenmasse-Erträge, der Trockenmasse-Harvest-Index (H<sub>TMBt</sub>) und die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse der Erträge am Standort Borwede sind in Abb. 43 zusammengefasst. Die Stroh-Trockenmasse betrug 57,3, 49,9 und 66,9 dt TM ha<sup>-1</sup> in den Jahren 1999, 2000 und 2001. Die Varianzanalyse ergab einen signifikanten Unterschied der Werte zwischen den Jahren. Die Analyse der Kornerträge ergab keine signifikanten Unterschiede bei den geprüften Haupt- und Wechselwirkungen. Sie lagen in den drei Untersuchungsjahren im Mittel bei 44,1, 48,2 und 40,1 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die Wurzelmasse der Körnererbsen erreichte in Borwede im Mittel der Sorten in den Jahren 1999, 2000 und 2001 4,6 dt, 3,6 dt und 1,4 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die Differenzen der Werte wurden zwischen den Jahren als sehr hoch signifikant ermittelt. Beim Trockenmasse-Harvest-Index wurden die Unterschiede zwischen den Sorten und den Jahren als signifikant getestet. Die H<sub>TMBt</sub>-Werte lagen in den Jahren 1999, 2000 und 2001 bei 41,5, 46,6 und 36,5 %. Die Sorte Bohatyr wies im Mittel der drei Versuchsjahre einen signifikant geringeren TM-Harvest-Index auf als die Sorten Eiffel, Loto und Swing.

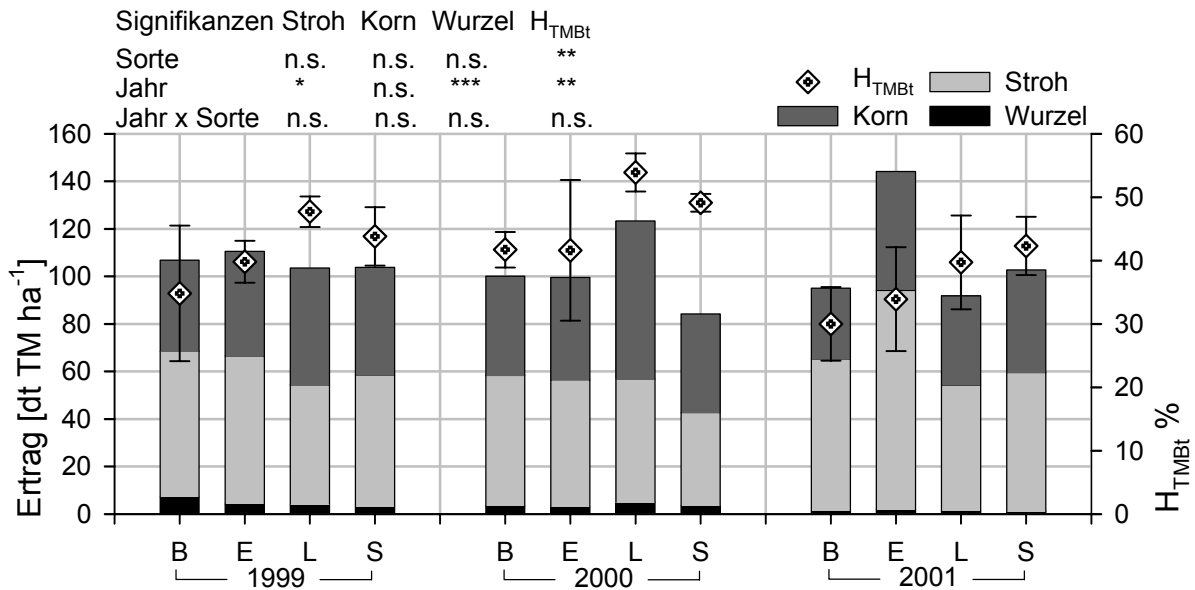


Abb. 43: Borwede – Erträge und Trockenmasse-Harvest-Index ( $H_{TMbt}$ ) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Pisum sativum* der Sorten Bohatyr (B), Eiffel (E), Loto (L) und Swing (S); zweifaktorielle Varianzanalyse, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , n.s. = nicht signifikant

#### 4.10.3 Standort Föhrste

Die Trockenmasse-Erträge und der Trockenmasse-Harvest-Index der Körnererbse am Standort Föhrste sind in Abb. 44 zusammengefasst. Die zweifaktorielle Varianzanalyse der Ertragsparameter wurde wegen des Flächenwechsels nach 1999 nur für die Jahre 2000 und 2001 durchgeführt. Beim Stroh-Ertrag war kein signifikanter Unterschied in den geprüften Parametern festzustellen. Die Werte lagen im Mittel der Sorten in den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 bei 43,9, 44,3 und 66,3 dt ha<sup>-1</sup>. Die Werte des Kornertrages konnten varianzanalytisch nicht überprüft werden, da keine Normalverteilung der Daten hergestellt werden konnte. Sie lagen in den Versuchsjahren im Mittel der Sorten sehr konstant bei 41,2, 41,9 und 42,2 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die Wurzelmasse wurde mit 2,6, 3,0 und 3,6 dt ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die statistische Überprüfung ergab eine Signifikanz der Sortenunterschiede. Hierbei lag die Wurzelmenge der Sorten Bohatyr und Loto im Mittel der Jahre deutlich über der Wurzelmenge der Sorten Eiffel und Swing. Der Faktor Jahr und die Wechselwirkungen zwischen Jahr und Sorte ergaben keine Signifikanz. Ein signifikanter Jahreseffekt war jedoch bei den Werten des Trockenmasse-Harvest-Index festzustellen. Im Mittel der Sorten wurden in den drei Untersuchungsjahren 46,8 %, 46,9 % und 38,1 % der von den Körnererbsen gebildeten Trockenmasse vom Feld über das Korn abgefahren, wobei der TM-Harvest-Index im Jahr 2000 über dem des Jahres 2001 lag.



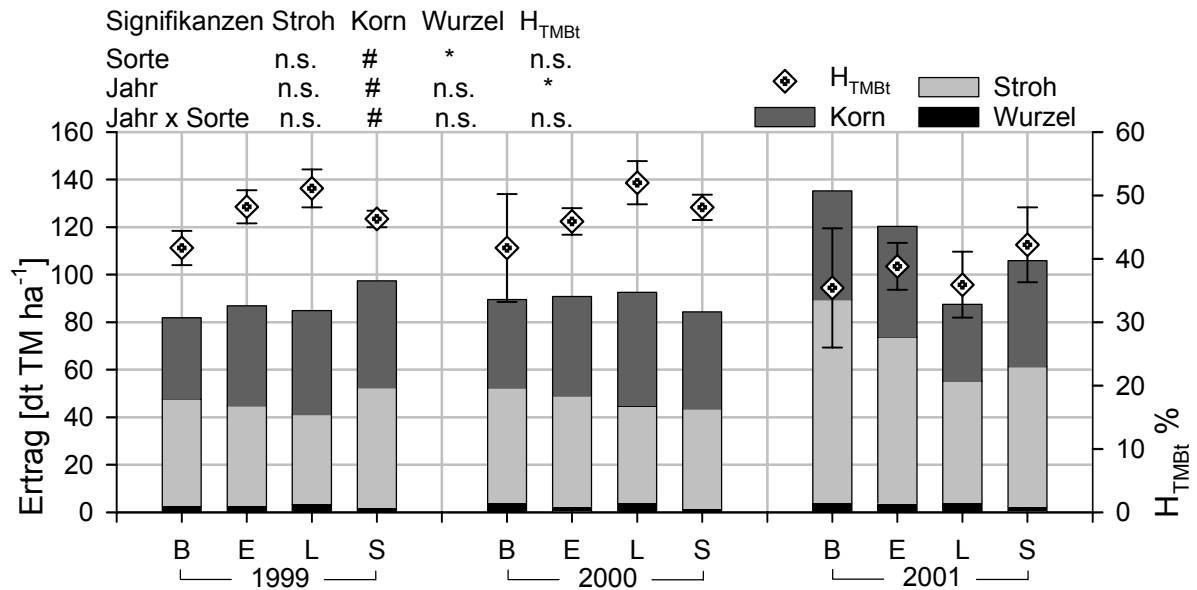


Abb. 44: Föhrste – Erträge und Trockenmasse-Harvest-Index ( $H_{TMBt}$ ) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Pisum sativum* der Sorten Bohatyr (B), Eiffel (E), Loto (L) und Swing (S); zweifaktorielle Varianzanalyse, \* =  $P < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

#### 4.10.4 Standort Göttingen

Die TM-Erträge und TM-Harvest-Indizes der geprüften Sorten der Jahre 1999, 2000 und 2001 des Standortes Göttingen werden in Abb. 45 dargestellt. Die Abbildung zeigt auch die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse. Beim Stroh konnten Trockenmasseerträge von 44,7, 39,3 und 35,8 dt TM ha<sup>-1</sup> ermittelt werden. Hier wurde ein signifikanter Jahreseinfluss festgestellt. Die Kornerträge waren zwischen den Jahren ebenfalls signifikant verschieden. Die Werte lagen in den drei Versuchsjahren bei 51,0, 40,7 und 34,5 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die Wurzelmasse betrug in den Jahren 1999, 2000 und 2001 2,7, 3,3 und 2,9 dt TM ha<sup>-1</sup>, ohne dass ein signifikanter Unterschied der geprüften Faktoren vorlag. Der Trockenmasse-Harvest-Index zeigte eine Signifikanz zwischen den Jahren mit Werten von 51,8, 49,1 und 47,2 %.

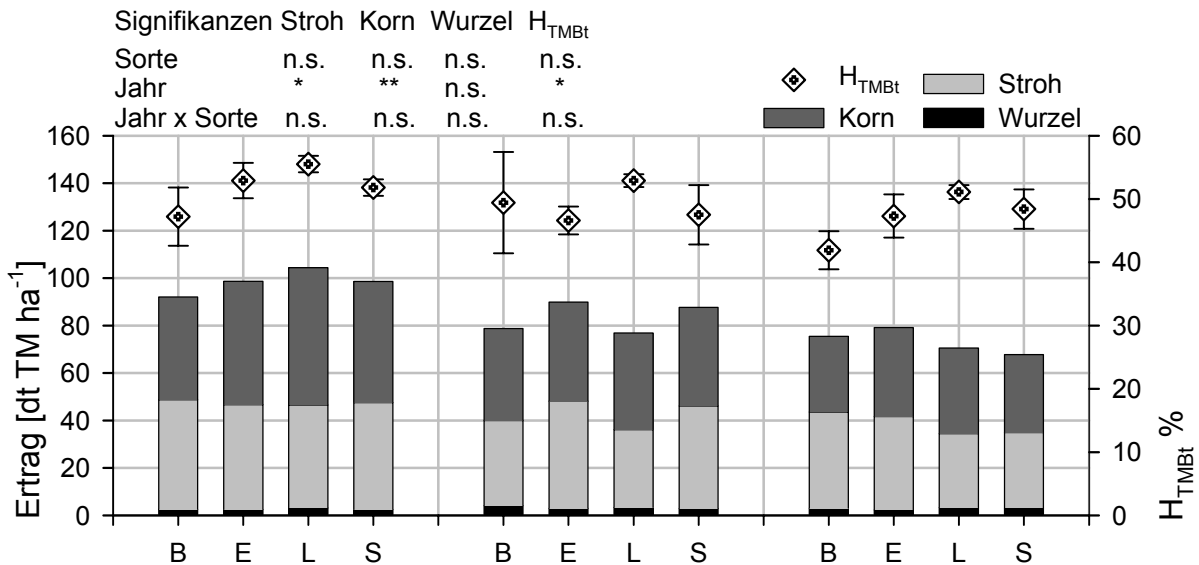


Abb. 45: Göttingen – Erträge und Trockenmasse-Harvest-Index ( $H_{\text{TMbt}}$ ) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Pisum sativum* der Sorten Bohatyr (B), Eiffel (E), Loto (L) und Swing (S); zweifaktorielle Varianzanalyse, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , n.s. = nicht signifikant

#### 4.10.5 Standort Groß Malchau

Abb. 46 zeigt die Trockenmasse-Erträge der Körnererbse am Standort Groß Malchau der Versuchsjahre 1999 bis 2001, den Trockenmasse-Harvest-Index und die Ergebnisse der zweifaktoriellen statistischen Prüfung. Die Prüffaktoren zeigten keine signifikante Wirkung auf die Bildung der Stroh-Trockenmasse. Die Werte lagen in den drei Untersuchungsjahren bei 32,0, 47,7 und 26,8 dt TM ha<sup>-1</sup>. Der Korntrag wurde in den drei Jahren mit 27,0, 27,3 und 28,9 dt TM ha<sup>-1</sup> ermittelt. Eine statistische Überprüfung konnte wegen fehlender Normalverteilung der Daten nicht durchgeführt werden. Die Unterschiede in den Trockenmasseerträgen der Wurzeln von *Pisum sativum* am Standort Groß Malchau waren nicht signifikant. Die Wurzelmengen der Sorten lagen in den Jahren 1999, 2000 und 2001 bei 2,3, 2,0 und 1,8 dt TM ha<sup>-1</sup>. Mit dem Korn wurden 43,5, 35,6 und 49,7 % der gesamten Biomasse abgefahren. Die Differenzen waren zwischen den Sorten signifikant und zwischen den Jahren hoch signifikant. Die Sorte Bohatyr war auch am Standort Groß Malchau durch einen geringen TM-Harvest-Index gekennzeichnet. Im dritten Versuchsjahr waren für alle Sorten die höchsten Harvest-Indizes zu verzeichnen.

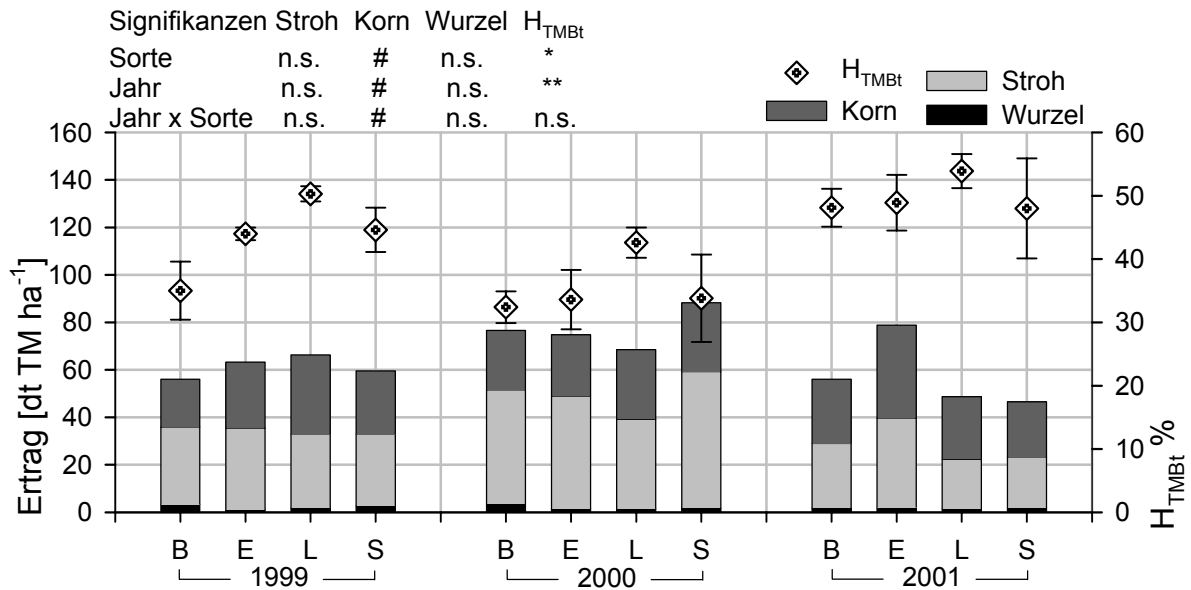


Abb. 46: Groß Malchau – Erträge und Trockenmasse-Harvest-Index ( $H_{TMbt}$ ) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Pisum sativum* der Sorten Bohatyr (B), Eiffel (E), Loto (L) und Swing (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , n.s. = nicht signifikant, # = Daten ohne Normalverteilung

#### 4.11 Stickstoff-Erträge von *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse

##### 4.11.1 Dreifaktorielle Varianzanalyse

Tab. 32 zeigt die Ergebnisse der dreifaktoriellen Überprüfung der N-Mengen in Erbsen der Untersuchungsstandorte von 1999 bis 2001. Tab. 33 fasst die Ergebnisse des Mittelwert-Vergleichstests (Tukey-Test) zusammen. Die Differenzen zwischen den N-Mengen im Stroh zeigten zwischen den Sorten und Orten keinen signifikanten Unterschied. Die Unterschiede zwischen den Jahren wurden als sehr hochsignifikant getestet. Die N-Mengen im Stroh lagen im Mittel über die Sorten und Orte im Jahr 2001 36 % bzw. 40 % über den beiden Vorjahren. Während sich am Standorten Führste die Stroh-N-Erträge 2001 im Vergleich zu 2000 mehr als verdoppelten, sanken sie an den Standorten Göttingen und Groß Malchau um 36 % bzw. 34 %. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort zeigte sehr hoch signifikante Differenzen. Während am Standort Borwede die Stroh-N-Menge von 2000 auf 2001 um 94,6 % zunahm, war am Standort Groß Malchau in diesem Zeitraum eine Reduktion der Stroh-N-Menge um 34,3 % zu verzeichnen. Die Ergebnisse des Tukey-Tests zeigten beim Stroh-N zwischen den Sorten und Orten gleichfalls keine Signifikanz. Die Stroh-N-Mengen im Jahr 2001 waren von den Jahren 1999 und 2000 sehr hoch signifikant verschieden. Die ermittelten Werte der Korn-N-Mengen konnten wegen fehlender

Normalverteilung statistisch nicht überprüft werden. Die Einzelwerte des Wurzel-N zeigten unter den Sorten und den Jahren signifikante Differenzen. Der Vergleich der Sorten, Orte und Jahre zeigte keine signifikanten Unterschiede. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort war hochsignifikant. Die N-Menge in den Wurzeln war im Vergleich der Jahre an den Standorten Göttingen und Groß Malchau konstant. Die Werte der Jahre 2000 und 2001 in Borwede verringerten sich um 65 %, während sie in Föhrste in diesem Zeitraum um 16 % anstiegen. Die Werte des N-Harvest-Index waren nicht normalverteilt und wurden deshalb statistisch nicht getestet.

Tab. 32: *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse - Vergleich der Mittelwerte der N-Erträge der Standorte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Versuchsjahre 1999 bis 2001; dreifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Sorte	Ort	Jahr	Sorte x Ort	Sorte x Jahr	Jahr x Ort	Ort x Sorte x Jahr
Stroh-N	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.	***	n.s.
Korn-N	#	#	#	#	#	#	#
Wurzel-N	*	n.s.	*	n.s.	n.s.	***	n.s.
H <sub>NBI</sub> <sup>1</sup>	#	#	#	#	#	#	#

n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , <sup>1</sup> ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt

Tab. 33: *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse - Tukey-Test ( $\alpha = 0,05$ ) der Mittelwerte der N-Erträge an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001

Tukey	Sorte				Ort				Jahr		
	B	E	L	S	B	F	G	M	1999	2000	2001
Stroh-N	a	a	a	a	a	a	a	a	b <sup>2</sup>	b <sup>2</sup>	a <sup>2</sup>
Korn-N	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
Wurzel-N	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
H <sub>NBI</sub> <sup>1</sup>	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#

Sorten: B = Bohatyr, E = Eiffel, L = Loto, S = Swing, Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, <sup>1</sup> ohne Blattfall, <sup>2</sup> $\alpha = 0,001$ , nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

Die ermittelten N-Mengen wurden standortbezogen einer zweifaktoriellen Varianzanalyse unterzogen. Die Mittelwerte der N-Mengen der Sorten und die Ergebnisse dieser Analyse sind in den folgenden Kapiteln dargestellt.

#### 4.11.2 Standort Borwede

Abb. 47 zeigt im oberen Teil die N-Menge in Wurzel, Stroh und Korn am Standort Borwede, den N-Harvest-Index und die Ergebnisse der zweifaktoriellen statistischen Überprüfung sowie die Nmin-Mengen im Boden zur Aussaat im April und zum Zeitpunkt der Ernte (Juli). Die Differenzen der Stroh-N-Mengen waren zwischen den Jahren hochsignifikant. Im Mittel der Sorten lagen sie in den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 bei 77,4, 51,3, und 99,8 kg N ha<sup>-1</sup>. Die N-Mengen im Korn betragen in den drei Versuchsjahren 152,0, 175,6 und 150,9 kg N ha<sup>-1</sup> im Mittel der Sorten. Die Unterschiede waren nicht signifikant. Bei den N-Mengen in den Wurzeln wurde zwischen den Jahren eine sehr hohe Signifikanz ermittelt. Die Werte der drei Untersuchungsjahre erreichten 6,7, 6,0 und 2,1 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Sorte war hoch signifikant. Die N-Menge in den Wurzeln der Sorte Bohatyr verringerte sich in den Jahren 1999, 2000 und 2001 (12,0, 6,1 und 2,1 kg N ha<sup>-1</sup>), während bei der Sorte Loto nach dem ersten Jahr ein Verdopplung und im dritten Jahr eine starke Reduktion der Wurzel-N-Menge (4,1, 8,6 und 2,1 kg N ha<sup>-1</sup>) zu verzeichnen war. Die N-Abfuhr mit der Kornmasse betrug 1999, 2000 und 2001 64,2, 74,7 und 58,4 % des Gesamtbiomassestickstoffs. Die Werte wurden jedoch wegen fehlender Normalverteilung statistisch nicht geprüft.

Die Darstellung der Nmin-Werte (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> und NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) zeigt zu Beginn der Vegetationsperioden relativ einheitliche Bodenstickstoff-Verhältnisse der Jahre 1999, 2000 und 2001 in Höhe von 70,4, 73,3 und 68,3 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Abnahme des Nmin-Stickstoffs im Boden war im Jahr 1999 unter den Sorten sehr unterschiedlich und spiegelte sich in den N-Mengen des Aufwuchses wieder. Zur Ernte lag die Menge an residualem Boden-N unter der Sorte Bohatyr mit der geringsten Abnahme an Nmin im Boden im Mittel der drei Wiederholungen bei 55,0 kg N ha<sup>-1</sup> und unter der Sorte Loto mit der höchsten Nmin-Abnahme bei 35,2 kg N ha<sup>-1</sup> von 0 bis 125 cm Tiefe. Die Nmin-Mengen nach der Ernte im Jahr 2000 lagen im Gegensatz dazu recht einheitlich zwischen 46,5 kg und 40,1 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Nmin-Werte nach der Ernte des Jahres 2001 zeigten bei den Sorten Bohatyr und Loto eine Zunahme im Verlauf der Vegetationsperiode. Die Abnahme an Nmin-Stickstoff im Boden war unter der Sorte Eiffel höher mit einem Nmin-Wert zur Ernte von 52,9 kg N ha<sup>-1</sup> als die Abnahme Sorte Loto mit einem Nmin-Wert zur Ernte von 73,3 kg N ha<sup>-1</sup>.

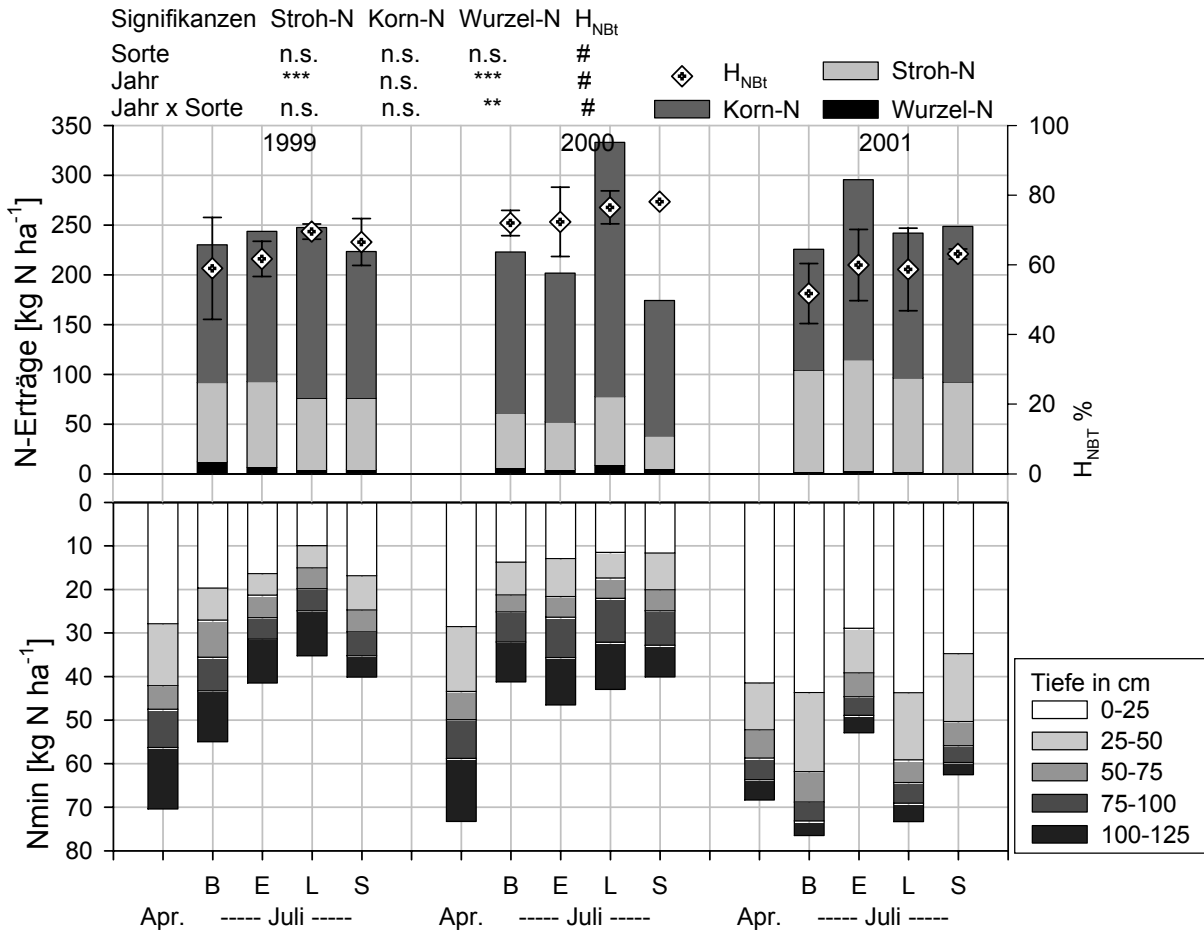


Abb. 47: Borwede – N-Erträge und N-Harvest-Index ( $H_{NBt}$ ) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Pisum sativum* der Sorten Bohatyr (B), Eiffel (E), Loto (L) und Swing (S) sowie Nmin-Menge im Boden zur Aussaat (April) und Ernte (Juli); zweifaktorielle Varianzanalyse, \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

### 4.11.3 Standort Föhrste

Im Folgenden werden die in Abb. 48 dargestellten Werte der N-Erträge, der N-Harvest-Indizes und die Nmin-Mengen im Boden am Standort Föhrste beim Anbau von Körnererbse der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 beschrieben. Für die Auswertung der zweifaktorielle Varianzanalyse wurden wegen des Flächenwechsels nach 1999 nur die Ergebnisse der Jahre 2000 und 2001 genutzt. Die Differenzen zwischen den Stroh-N-Mengen waren hoch signifikant. Sie lagen im Mittel der Sorten in den drei Untersuchungsjahren bei 49,9, 40,2 und 93,1  $\text{kg N ha}^{-1}$ . Die N-Mengen im Korn wurden in den drei Versuchsjahren im Mittel der Sorten mit 142,4, 138,1 und 156,6  $\text{kg N ha}^{-1}$  ermittelt. Es konnte wegen fehlender Normalverteilung keine statistische Prüfung durchgeführt werden. Die Differenzen der N-Mengen in den Wurzeln zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen den Sorten mit Mittelwerten über die Jahre 2000 und 2001 der Sorte Loto von 6,1  $\text{kg N ha}^{-1}$  und der Sorte Swing von

2,8 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Werte betragen 1999, 2000 und 2001 im Mittel der Sorten 4,0, 4,4 und 5,1 kg N ha<sup>-1</sup>. Der N-Harvest-Index lag im Mittel der Sorten bei 72,2, 75,8 und 61,2 % in den drei Untersuchungsjahren. Die statistische Überprüfung konnte wegen mangelnder Normalverteilung nicht durchgeführt werden.

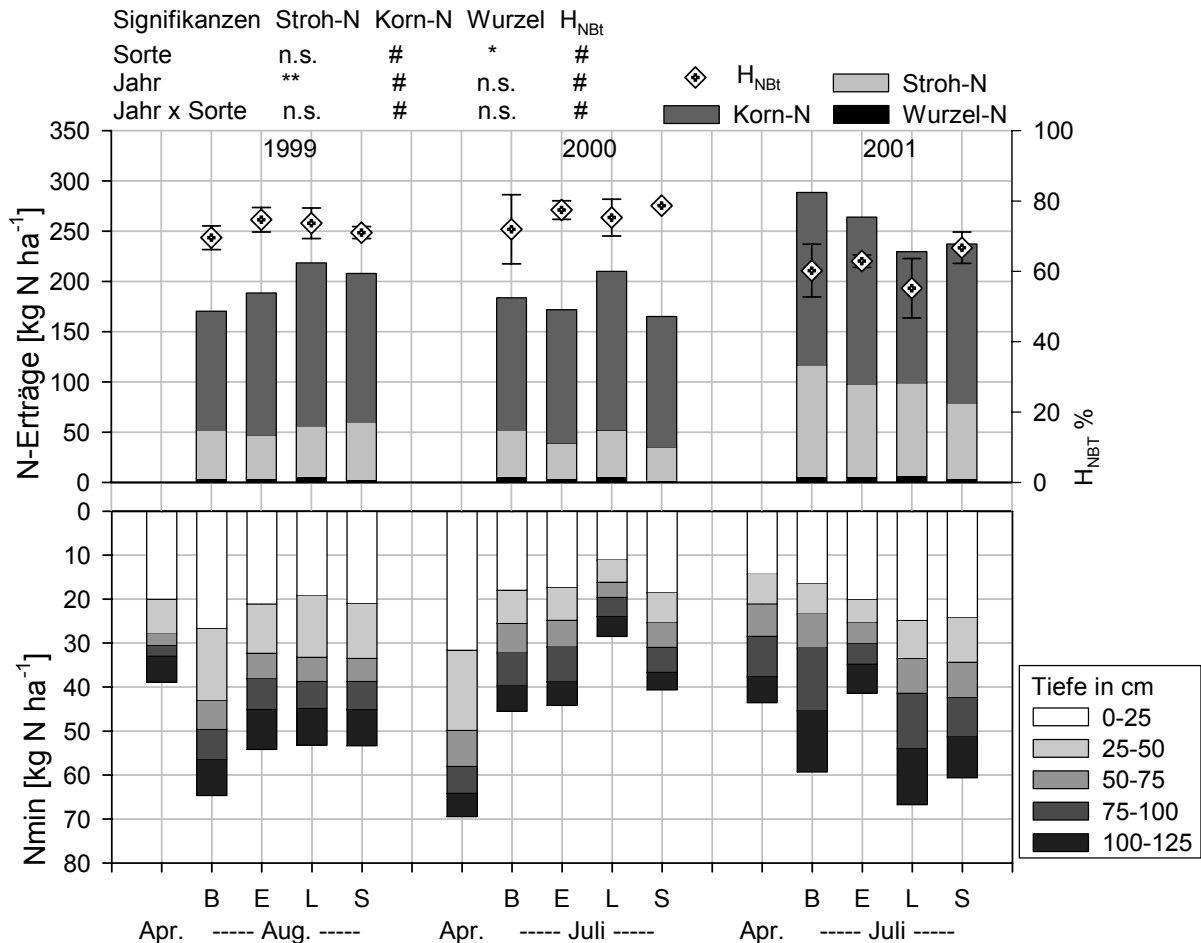


Abb. 48: Föhrste – N-Erträge und N-Harvest-Index (H<sub>NBt</sub>) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Pisum sativum* der Sorten Bohatyr (B), Eiffel (E), Loto (L) und Swing (S) sowie Nmin-Menge im Boden zur Aussaat (April) und Ernte (Juli und August); zweifaktorielle Varianzanalyse: \* = P < 0,05, \*\* = P < 0,01, n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

Die Nmin-Menge im Boden des Untersuchungsjahres 1999 wurde auf Grund des Standortwechsels nicht mit den Jahren 2000 und 2001 verglichen. Die Nmin-Menge zur Aussaat 1999 lag trotz guter Bodenverhältnisse nur bei 38,9 kg N ha<sup>-1</sup>. Die residuale Nmin-Menge im Boden zur Ernte der Sorten Eiffel, Loto und Swing betrug durchschnittlich 53,6 kg N ha<sup>-1</sup>. Der Wert der normalbeblätterten Sorte Bohatyr lag zur Ernte bei 64,7 kg. Die Nmin-Menge zu Beginn der Vegetationsperiode 2000 betrug 69,5 kg N ha<sup>-1</sup>. Der Entzug an Stickstoff der Sorten Bohatyr, Eiffel und Swing führte im Mittel zu residualen Nmin-Werten von 43,5 kg Nmin ha<sup>-1</sup> zur Ernte. Einzig bei der Sorte Loto wurde der Wert entsprechend der höheren N-Menge im Aufwuchs

auf  $28,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  reduziert. Die Menge an mineralischem Stickstoff lag zur Aussaat des Jahres 2001 bei  $43,6 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die Entleerung des Bodenprofils durch die verschiedenen Sorten führte zu residualen Nmin-Mengen zur Ernte, die sich nicht in den N-Mengen des Aufwuchses widerspiegelten. Die Werte von Bohatyr, Loto und Swing lagen bei  $59,3$ ,  $66,7$  und  $60,6 \text{ kg N ha}^{-1}$  und waren somit deutlich höher als im April 2001. Im Boden der Parzellen der Sorte Eiffel verblieben dagegen lediglich  $41,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

#### 4.11.4 Standort Göttingen

Abb. 49 zeigt die N-Erträge und die N-Harvest-Indizes der geprüften Sorten der Körnererbse der Jahre 1999 bis 2001 am Standort Göttingen und die dazugehörigen Nmin-Mengen im Boden. Die Stroh-N-Mengen lagen während der Jahre 1999, 2000 und 2001 im Mittel der Sorten bei  $34,1$ ,  $49,4$  und  $31,8 \text{ kg N ha}^{-1}$  und waren hochsignifikant verschieden. Die Korn-N-Mengen betragen mit  $150,2$ ,  $148,6$  und  $127,9 \text{ kg N ha}^{-1}$  und wurden weder durch die Sorte noch durch das Jahr signifikant beeinflusst. Die N-Mengen in den Wurzeln waren zwischen den Sorten signifikant verschieden. Sie betragen von 1999 bis 2001 als Mittel zwischen den Sorten  $4,1 \text{ kg}$ ,  $4,8 \text{ kg}$  und  $4,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Der N-Harvest-Index lag bei  $79,8$ ,  $73,2$  und  $77,9 \%$ . Die Differenzen wiesen zwischen den Jahren eine hohe Signifikanz auf.

Die Abnahme des mineralischen Bodenstickstoffs am Standort Göttingen verlief über die drei Versuchsjahre einheitlicher als auf den Standorten Borwede und Föhrste. Im Jahr 1999 lag der Nmin-Wert im April bei  $68,0 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Das Bodenprofil wurde von den Sorten gleichmäßig entleert. Die  $\text{CaCl}_2$ -extrahierbare Nmin-Menge von 0 bis 125 cm Tiefe war mit  $29,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  bei der Sorte Swing am geringsten und unter der Sorte Loto mit  $36,6 \text{ kg N ha}^{-1}$  am höchsten. Die Nmin-Mengen im Boden zu Versuchsbeginn des Versuchsjahres 2000 war mit  $49,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  deutlich geringer. Zur Ernte war die residuale N-Menge mit  $28,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  unter der Sorte Loto am geringsten und mit  $32,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  unter der Sorte Eiffel am höchsten. Die N-Erträge bewegten sich auf dem gleichen Niveau wie 1999. Die Verwertung des zur Verfügung stehenden Bodenstickstoffs war im Versuchsjahr 2001 deutlich geringer. Die Nmin-Menge von 0 bis 125 cm Tiefe betrug im Frühjahr  $51,2 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die Entleerung verlief ungleichmäßiger und hinterließ unter den Sorten Bohatyr, Eiffel, Loto und Swing residuale Nmin-Mengen von  $43,2$ ,  $50,7$ ,  $40,3$  und  $43,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die geringere Abnahme der Boden-Nmin-Menge spiegelt sich in den N-Erträgen des Aufwuchses durchgängig wider (Abb. 49).



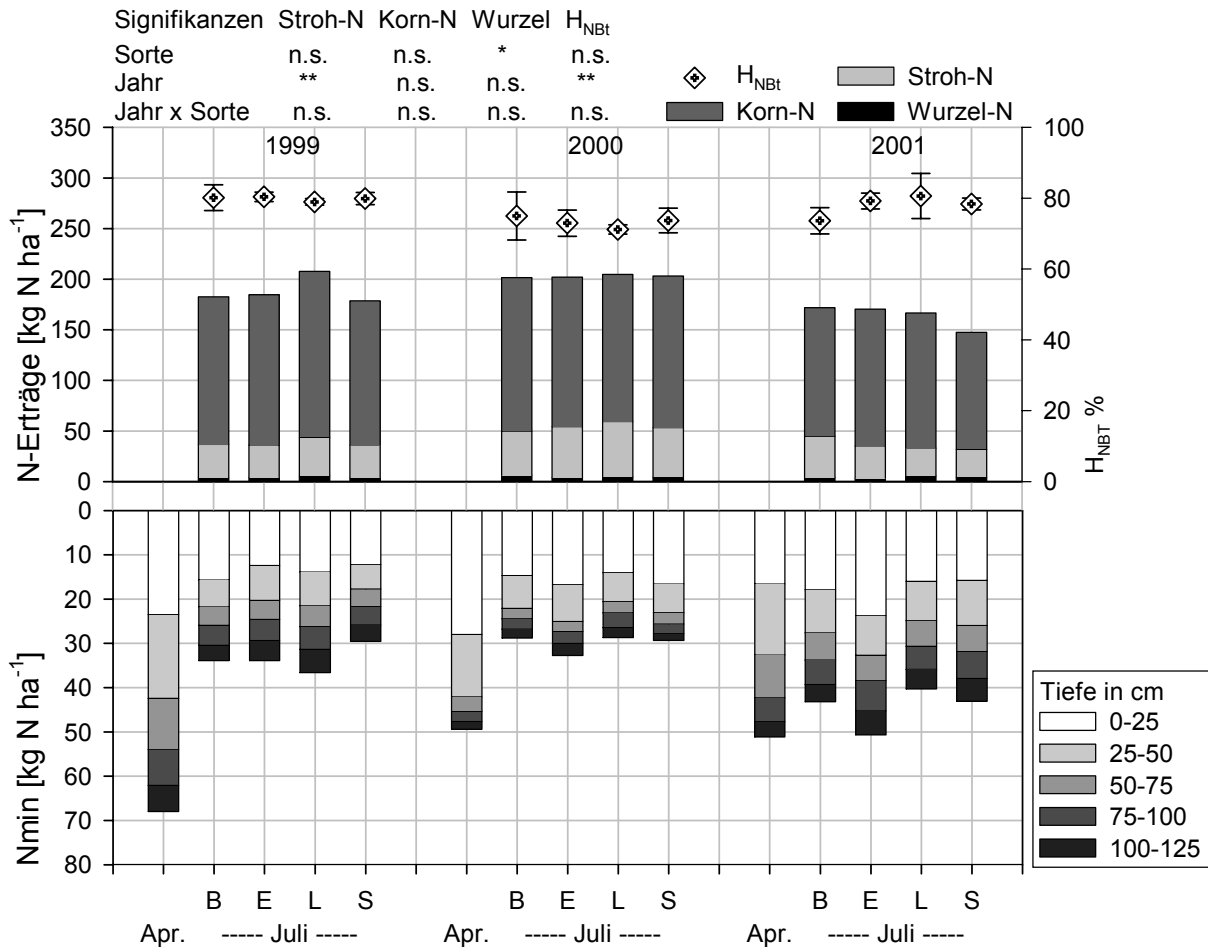


Abb. 49: Göttingen – N-Erträge und N-Harvest-Index ( $H_{NBT}$ ) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Pisum sativum* der Sorten Bohatyr (B), Eiffel (E), Loto (L) und Swing (S) sowie Nmin-Menge im Boden zur Aussaat (April) und Ernte (Juli); zweifaktorielle Varianzanalyse: \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , n.s. = nicht signifikant

#### 4.11.5 Standort Groß Malchau

In Abb. 50 sind die N-Erträge der Körnererbse, der N-Harvest-Index und die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse der Jahre 1999 bis 2001 am Standort Groß Malchau zusammengefasst. Im unteren Teil der Abbildung ist die Nmin-Menge im Boden zu Vegetationsbeginn und zur Ernte abgetragen. Die Daten der N-Mengen im Stroh waren auch nach Transformation nicht normalverteilt. Sie betragen in den Jahren 1999, 2000 und 2001 im Mittel der Sorten 21,1, 47,3 und 31,1  $kg N ha^{-1}$  im Mittel der Sorten. Die Korn-N-Mengen lagen im Mittel der Sorte während der drei Versuchsjahre bei 89,2, 107,2 und 104,1  $kg N ha^{-1}$ . Sie zeigten ebenso wie die N-Mengen der Wurzeln in den Differenzen keine signifikante Wirkung der Sorten und Jahre. Die Werte der Wurzeln lagen 1999, 2000 und 2001 im Mittel der Sorten bei 3,1, 2,4 und 2,5  $kg N ha^{-1}$ . Die N-Abfuhr mit dem Korn betrug im Mittel der Sorten 78,2, 68,3 und

74,9 % des gesamtanzulichen Stickstoffs. Wegen fehlender Normalverteilung konnten die Werte jedoch statistisch nicht überprüfbar werden.

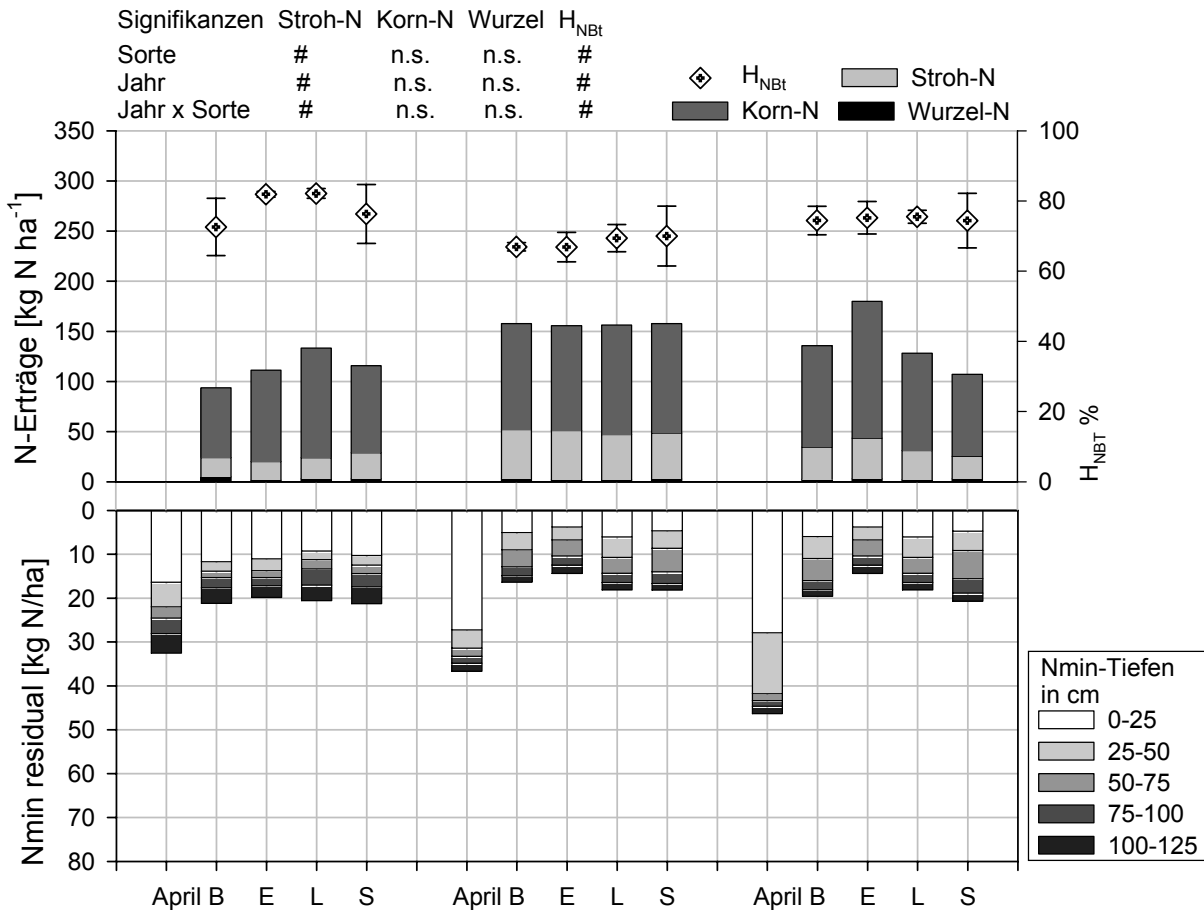


Abb. 50: Groß Malchau – N-Erträge und N-Harvest-Index (H<sub>NBT</sub>) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Pisum sativum* der Sorten Bohatyr (B), Eiffel (E), Loto (L) und Swing (S) sowie Nmin-Menge im Boden zur Aussaat (April) und Ernte (Juli); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

Die geringere Leistungsfähigkeit des Standortes Groß Malchau zeigt sich besonders deutlich in den Nmin-Mengen im Boden zu Vegetationsbeginn. Zu Beginn der Vegetationsperiode 1999 wurden im Profil von 0 bis 125 cm Tiefe 32,5 kg N ha<sup>-1</sup> an mineralischem Stickstoff gemessen. Die Sorten reduzierten die Nmin-Menge gleichmäßig um etwas mehr als 10 kg N ha<sup>-1</sup> und hinterließen nach der Ernte zwischen 19,8 und 21,3 kg N ha<sup>-1</sup>. Die leicht höhere Nmin-Menge im Boden zur Aussaat 2000 von 36,6 kg N ha<sup>-1</sup> spiegelt sich auch in den N-Erträgen des Pflanzenmaterials wider. Die Sorten konnten das Bodenprofil bis auf 14,4 kg N ha<sup>-1</sup> (Sorte Eiffel) und 18,1 kg N ha<sup>-1</sup> (Sorte Swing) entleeren. Die höchste Nmin-Menge am Standort Groß Malchau wurde im Untersuchungsjahr 2001 mit 46,3 kg N ha<sup>-1</sup> für die Tiefe bis 125 cm zu Versuchsbeginn festgestellt. Die N-Erträge des Pflanzenmaterials liegen jedoch nicht gleich-

mäßig bei allen Sorten über denen des Vorjahres. Die residuale Nmin-Menge im Boden lag in diesem Versuchsjahr zur Ernte unter den Sorten Bohatyr, Eiffel, Loto und Swing bei 19,6, 14,4, 18,1, und 20,7 kg N ha<sup>-1</sup> (Abb. 50).

## 4.12 Stickstoff-Quellen von *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse

### 4.12.1 Dreifaktorielle Varianzanalyse

In diesem Kapitel werden die Schätzungen und Berechnungen der N-Aufnahme der Körnererbsen in Tab. 34 (dreifaktorielle Varianzanalyse) und Tab. 35 (Mittelwertvergleichstest) der Jahre 1999, 2000 und 2001 zusammengefasst. Die Daten der luftbürtigen Stickstoffaufnahme konnten wegen fehlender Normalverteilung auch nach Transformation keiner Varianzanalyse unterzogen werden. Die bodenbürtige Stickstoffaufnahme zeigte signifikante Differenzen zwischen den Sorten und sehr hoch signifikante Differenzen zwischen den Jahren. Bei den Wechselwirkungen waren die Differenzen zwischen Sorte und Jahr signifikant. Die Stickstoffmenge, die von der Sorte Bohatyr dem Boden entzogen wurde, nahm im Vergleich der Untersuchungsjahre 2000 und 2001 um 98,9 % zu. Die Steigerung der bodenbürtigen N-Aufnahme in diesem Zeitraum der Sorte Eiffel betrug 44,7 %. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort wies eine sehr hohe Signifikanz auf. Die bodenbürtige N-Aufnahme am Standort Föhrste stieg vom Jahr 2000 auf 2001 im Sortenmittel um 156,3 %, während die Körnererbse am Standort Göttingen 2001 13,2 % weniger Stickstoff dem Boden entzog als 2000. Auch die Wechselwirkungen zwischen Ort, Sorte und Jahr waren signifikant. Die Sorte Loto wies an den Standorten Borwede, Föhrste und Göttingen die höchste bodenbürtige N-Aufnahme auf. An den Standorten Borwede und Föhrste war die bodenbürtige N-Aufnahme im Jahr 2000 deutlich geringer als in den Untersuchungsjahren 1999 und 2001, wohingegen am Standort Groß Malchau das Jahr 1999 mit den geringsten Werten im Mittel der Sorten auffiel. Der Mittelwertvergleichstest (Tukey-Test) ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Sorten Loto und Swing. Die Jahre 2000 und 2001 ergaben signifikante Differenzen in der bodenbürtigen N-Aufnahme ( $\alpha = 0,001$ ). Die Ndfa-Werte konnten wegen fehlender Normalverteilung auch nach Transformation keiner statistischen Analyse unterzogen werden.

Tab. 34: *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse - Statistischer Vergleich der N-Quellen an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001; dreifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Sorte	Ort	Jahr	Sorte x Ort	Sorte x Jahr	Jahr x Ort	Ort x Sorte x Jahr
N <sub>Atmosphäre</sub>	#	#	#	#	#	#	#
N <sub>Boden</sub>	*	n.s.	***	n.s.	*	***	*
N <sub>dfa</sub>	#	#	#	#	#	#	#

n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , # = nicht normalverteilt

Tab. 35: *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse - Tukey-Test der Mittelwerte der N-Quellen an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001

Tukey	Sorte				Ort				Jahr		
	B	E	L	S	B	F	G	M	1999	2000	2001
N <sub>Atmosphäre</sub>	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
N <sub>Boden</sub>	ab	ab	a	b	a	a	a	a	ab <sup>1</sup>	b <sup>1</sup>	a <sup>1</sup>
N <sub>dfa</sub>	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#

Sorten: B = Bohatyr, E = Eiffel, L = Loto, S = Swing, Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, <sup>1</sup> $\alpha = 0,001$ , nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

#### 4.12.2 Standort Borwede

Abb. 51 fasst die Stickstoffquellen der Körnererbsen am Standort Borwede der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 und die dazu gehörigen N<sub>dfa</sub>-Werte zusammen. Die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse befinden sich oberhalb der Abbildung. Die N<sub>dfa</sub>-Werte der Sorte Loto lagen in den drei Untersuchungsjahren unter denen der Sorte Bohatyr, Eiffel und Swing. Die N<sub>dfa</sub>-Werte der Sorte Swing lagen in diesem Zeitraum in der Regel über den Werten der Vergleichssorten. Im Mittel der Sorten wurden von den Körnererbsen in den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 79,0, 30,9 und 54,8 kg N ha<sup>-1</sup> dem Boden entzogen. Die Werte des luftbürtigen Stickstoffs lagen im Mittel der Sorten im Versuchszeitraum bei 157,1, 202,0 und 198,0 kg N ha<sup>-1</sup>.

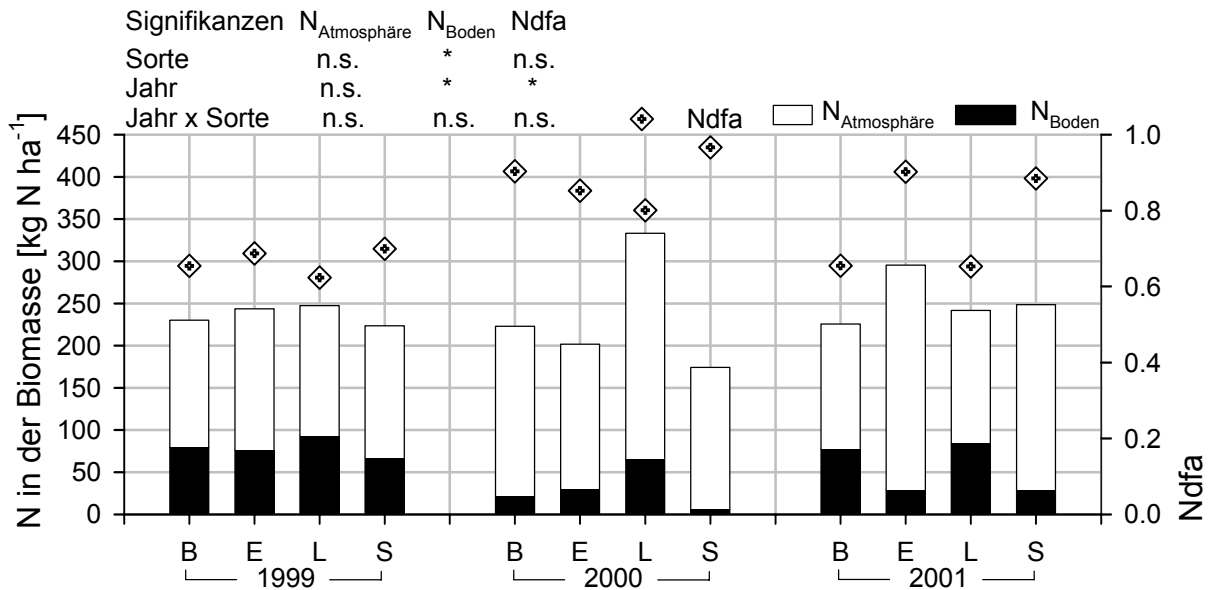


Abb. 51: Borwede – N-Quellen ( $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$ ), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse von *Pisum sativum* der Sorten Bohatyr (B), Eiffel (E), Loto (L) und Swing (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: \* =  $P < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant

Die Versorgung der Körnererbsen mit Stickstoff wurde zum größten Teil aus der  $N_2$ -Fixierung der Rhizobien geleistet. Die Varianzanalyse ergab signifikante Differenzen in der  $N_{\text{Boden}}$ -Aufnahme zwischen den Sorten und Jahren. Bei den Ndfa-Werten zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Jahren.

### 4.12.3 Standort Föhrste

Die in Abb. 52 zusammengefassten Daten stammen vom Standort Föhrste der Untersuchungsjahre 1999, 2000 und 2001 und zeigen die N-Quellen sowie die Ndfa-Werte der angebauten Körnererbsensorten. Im Kopf der Abbildung befinden sich die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse. Der statistische Vergleich erfolgte wegen des Flächenwechsels nach 1999 lediglich für die Daten der Jahre 2000 und 2001. Der Ndfa-Wert der Sorte Loto war auch am Standort Föhrste im Vergleich mit den Sorten Bohatyr, Eiffel und Swing in allen drei Versuchsjahren auf einem sehr niedrigen Niveau.

Die bodenbürtige Stickstoffaufnahme der Erbsen des Untersuchungsjahres 2001 lag mit  $88,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  deutlich über der  $N_{\text{Boden}}$ -Aufnahme der Jahre 1999 und 2000 mit  $44,1$  und  $34,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  und war zwischen den Jahren signifikant verschieden. Die Menge an luftbürtigem Stickstoff des Jahres 2001 lag mit  $166,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  im Mittel der Sorten über den Vorjahren, in denen sie  $152,2$  und  $148,1 \text{ kg N ha}^{-1}$  betrug. Der

statistische Vergleich ergab keine signifikanten Differenzen zwischen den Werten der N-Quellen. Der Ndfa-Wert unterschied sich signifikant zwischen den Sorten.

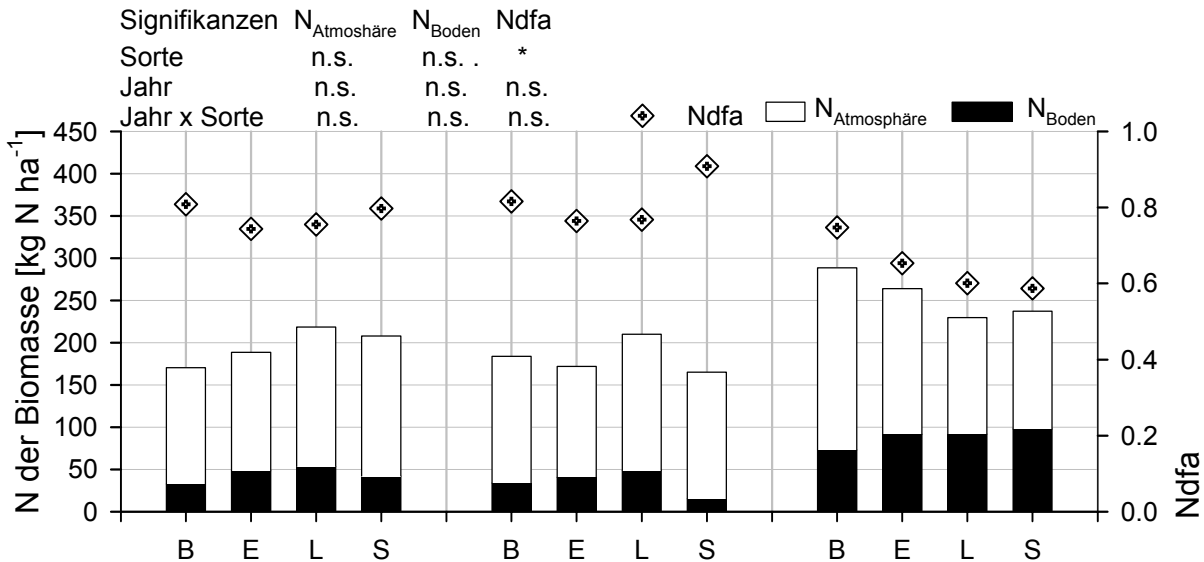


Abb. 52: Föhrste – N-Quellen ( $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$ ), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse von *Pisum sativum* der Sorten Bohatyr (B), Eiffel (E), Loto (L) und Swing (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: \* =  $P < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant

#### 4.12.4 Standort Göttingen

Die in Abb. 53 zusammengestellten Daten zeigen die N-Quellen der Körnererbsen am Standort Göttingen aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001, die Ndfa-Werte und die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse. Die Ndfa-Werte der Sorten Eiffel und Loto lagen in allen drei Versuchsjahren unter denen der Sorten Bohatyr und Swing. Das Versuchsjahr 2001 zeichnete sich im Mittel der Sorten durch eine niedrigere  $N_{\text{Boden}}$ -Menge von  $42,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  im Vergleich zu den beiden Vorjahren von  $56,6$  und  $49,2 \text{ kg N ha}^{-1}$  aus. Die Menge des fixierten Luftstickstoffs von  $121,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  des Jahres 2001 hingegen lag deutlich niedriger als die Menge der Jahre 1999 und 2000 mit  $131,8$  und  $153,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  im Mittel der Sorten. Die statistische Überprüfung der Daten ergab signifikante Differenzen des fixierten Luftstickstoffs zwischen den Jahren. Bei der  $N_{\text{Boden}}$ -Aufnahme wurde eine signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Sorte ermittelt. Während die  $N_{\text{Boden}}$ -Aufnahme der Sorte Bohatyr von 2000 auf 2001 von  $46,9$  auf  $42,8 \text{ kg N ha}^{-1}$  sank, blieb dieser Wert bei der Sorte Swing im gleichen Zeitraum mit  $32,0$  und  $32,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  annähernd stabil. Eine Wechselwirkung zwischen Jahr und Sorte bestand auch zwischen den Ndfa-Werten. Der Anteil des luftbürtigen Stickstoffs der Sorte Eiffel stieg von 2000 auf

2001 von 67,7 auf 71,7 %, während der Ndfa-Wert der Sorte Swing in diesen Jahren von 84,2 auf 78,0 % sank.

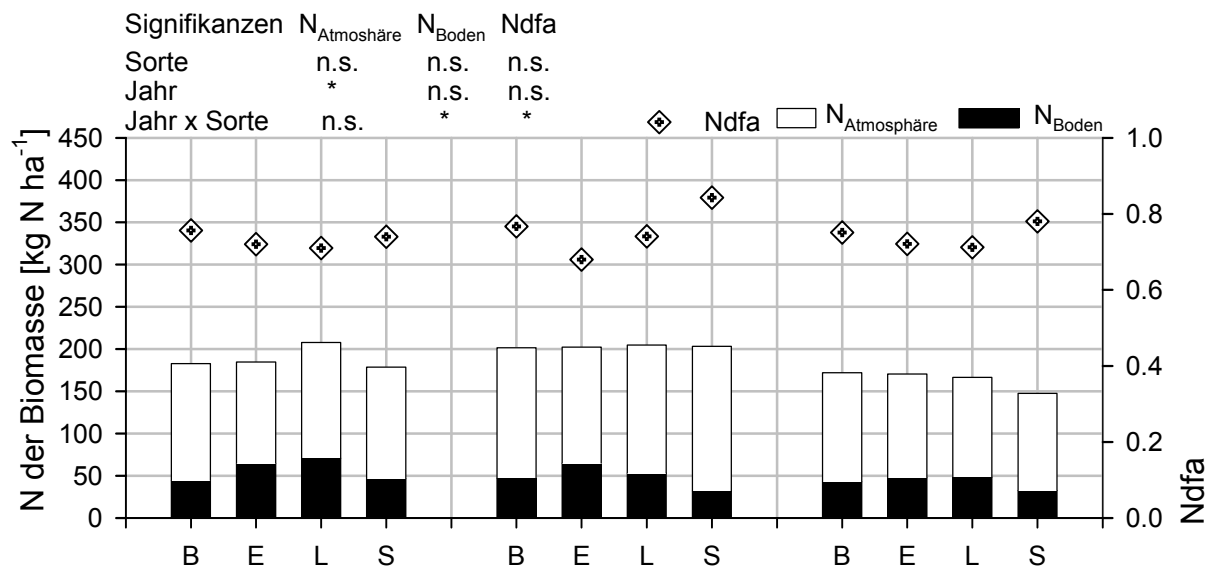


Abb. 53: Göttingen – N-Quellen ( $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$ ), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse von *Pisum sativum* der Sorten Bohatyr (B), Eiffel (E), Loto (L) und Swing (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: \* =  $P < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant

#### 4.12.5 Standort Groß Malchau

Abb. 54 zeigt die N-Quellen der geprüften Körnererbsensorten der Untersuchungs-jahre 1999, 2000 und 2001 am Standort Groß Malchau, den Anteil des luftbürtigen Stickstoffs an der gesamten Biomasse (Ndfa) und die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse. Die Ndfa-Werte der Sorte Loto lagen hier im Jahr 1999 unter denen der Sorte Bohatyr, Eiffel und Swing und in den Jahren 2000 und 2001 unterhalb den jeweiligen Mittelwerten der Sorten. Im Mittel der Sorten stammten in den drei Unter-suchungsjahren 77,3, 73,5 und 43,7 % des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs aus der biologischen Fixierung. Die  $N_{\text{Boden}}$ -Mengen wurden im Mittel der Sorten in den Jahren 1999, 2000 und 2001 mit 26,7, 40,8 und 75,8  $\text{kg N ha}^{-1}$  ermittelt. Die Stickstoff-Mengen aus der Fixierung lagen im Sortenmittel in diesem Zeitraum bei 86,7, 116,1 und 61,9  $\text{kg N ha}^{-1}$ . Der statistische Vergleich der Daten ergab hoch signifikante Dif-ferenzen der  $N_{\text{Atmosphäre}}$ -Werte zwischen den Jahren. Bei den bodenbürtigen N-Werten wurden zwischen den Jahren sehr hoch signifikante Differenzen festgestellt. Wegen fehlender Normalverteilung auch nach Transformation konnten die Ndfa-Werte keiner Varianzanalyse unterzogen werden.

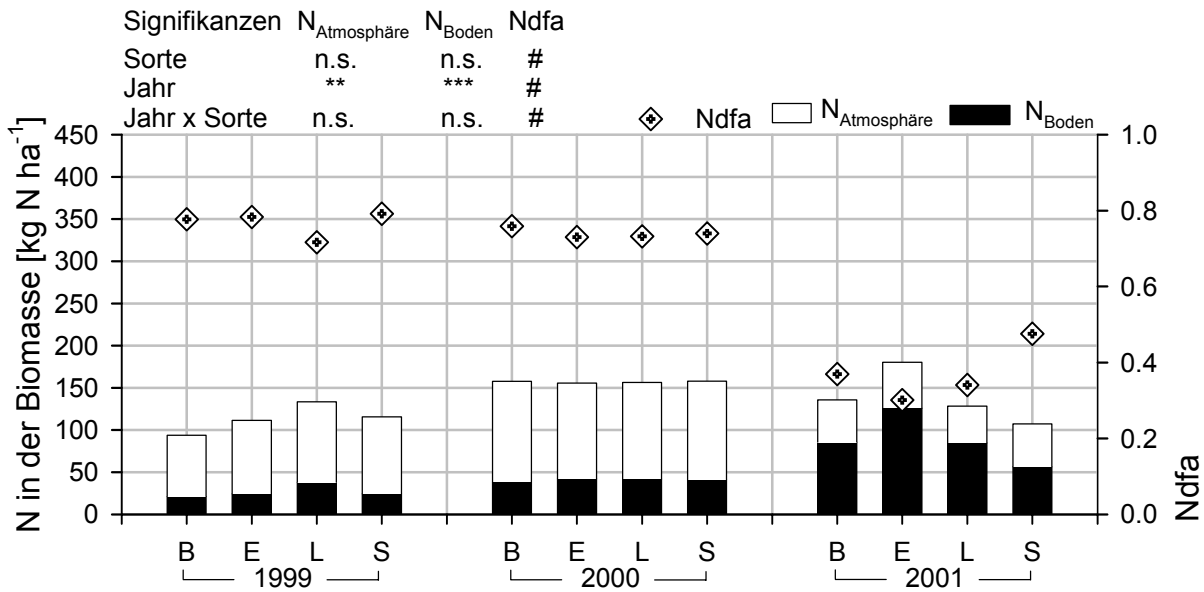


Abb. 54: Groß Malchau – N-Quellen ( $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$ ), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse von *Pisum sativum* der Sorten Bohatyr (B), Eiffel (E), Loto (L) und Swing (S); zweifaktorielle Varianzanalyse: \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

#### 4.13 Vergleich der mit Hilfe von $\delta^{15}\text{N}$ - und erweiterter Differenzmethode ermittelten $\text{N}_2$ -Fixierung bei *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse

Die Gegenüberstellung der Schätzergebnisse (Abb. 55) der  $\text{N}_2$ -Fixierleistung, ermittelt mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (Abszisse) und der erweiterten Differenzmethode (Ordinate) von *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse, ergab einen Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,79$ . Mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode wurden im Mittel über die Sorten und Jahre in Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau  $N_{\text{Atmosphäre}}$ -Werte von 185,6, 155,1, 135,5 und 87,1  $\text{kg N ha}^{-1}$  ermittelt. Demgegenüber lagen die Schätzwerte der erweiterten Differenzmethode bei 194,4, 145,3, 116,9 und 106,4  $\text{kg N ha}^{-1}$ . Im Mittel ergaben sich zwischen den Methoden Differenzen in der  $\text{N}_2$ -Fixierleistung zwischen 9,8 bis 19,3  $\text{kg N ha}^{-1}$ . Die Differenzen der Einzelwerte erreichten eine Amplitude von 0,18 bis 110,3  $\text{kg N ha}^{-1}$ . Die Lage der Orts- und Jahressymbole zur Winkelhalbierenden verdeutlicht, dass bei Körnererbse anders als bei der Ackerbohne verstärkt mit der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (64) höhere  $\text{N}_2$ -Fixierleistungen als mit der erweiterten Differenzmethode (79) geschätzt wurden. Die Werte des Standortes Föhrste des Untersuchungsjahres 1999 mit deutlich späterer Aussaat als an den anderen Standorten, befinden sich alle unterhalb der Winkelhalbierenden. Weitere Orts- oder Jahresabhängigkeiten traten nicht hervor.



Die Schätzung mit Hilfe der erweiterten Differenzmethode ergab einen negativen Wert.

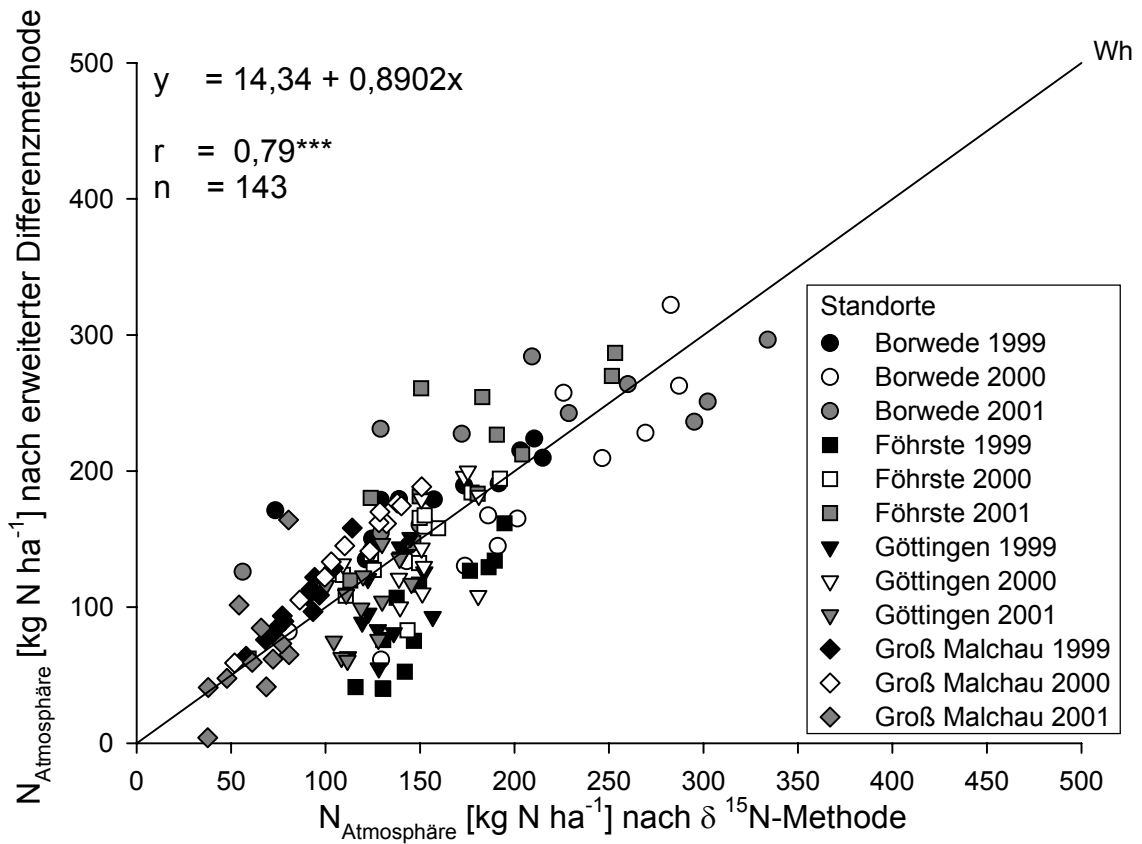


Abb. 55: *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse - Korrelation der Ergebnisse zur Schätzung der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistung im Mittel der Sorten Bohaty, Eiffel, Loto und Swing, ermittelt nach δ<sup>15</sup>N-Methode (x) und erweiterter Differenzmethode (y) aller Standorte der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001; Wh = Winkelhalbierende

#### 4.14 Trockenmasseerträge von *Lupinus albus*

Tab. 36 fasst die Trockenmasse-Erträge der dreifaktoriellen Varianzanalyse von *Lupinus albus*, Sorten Bardo und Nelly aus den Jahren 1999 und 2001 zusammen. Das Versuchsjahr 2000 ist hierbei nicht erfasst, weil am Standort Göttingen nach einem Totalausfall für *Lupinus albus* keine Daten erhoben werden konnten. Der TM-Ertrag des Strohs zeigte in der Varianzanalyse der Faktoren Sorte, Ort und Jahr und der Wechselwirkung zwischen Sorte und Jahr keine signifikanten Differenzen. Als hoch signifikant geprüft wurde jedoch die Wechselwirkung zwischen Sorte und Jahr. Im Vergleich der Versuchsjahre 1999 und 2001 reduzierte sich der Strohertrag der Sorte Bardo um 10 %, während die Sorte Nelly in diesem Zeitraum einen um 25 % höheren Strohertrag bildete. Sehr hoch signifikant war die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. Hierbei lag der Strohertrag im Mittel der Sorten im Jahr 2001 in Borwede um 48 % höher als im Jahr 1999. Der Vergleich dieser Versuchsjahre zeigte für Göttingen im Jahr 2001 einen um 48 % reduzierten und in Groß Malchau einen konstanten Strohertrag. Bei den Wechselwirkungen zwischen Ort, Sorte und Jahr waren die Unterschiede signifikant. Der Stroh-Ertrag der Sorte Nelly nahm am Standort Borwede im Vergleich der Jahre 1999 und 2001 um 54 % zu, wohingegen der Stroh-Ertrag der Sorte Bardo am Standort Göttingen in diesen zwei Jahren um 70 % sank. Der Vergleich der Mittelwerte (Tab. 37) zeigte beim Strohertrag in keinem der geprüften Parameter signifikante Unterschiede. Die Kornerträge waren zwischen den Jahren signifikant verschieden, was auch beim Vergleich der Mittelwerte erkennbar ist. Im Jahr 2001 lagen die Kornerträge durchschnittlich um 25 % niedriger als im Jahr 1999. Die Daten der Wurzelmasse konnten keiner Varianzanalyse unterzogen werden, da die Daten nicht normalverteilt waren. Die Ergebnisse des TM-Harvest-Index zeigten lediglich in der Wechselwirkung zwischen Ort, Sorte und Jahr eine signifikante Wirkung.

Tab. 36: *Lupinus albus* – statistischer Vergleich der Erträge an den Standorten Borwede, Führste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 und 2001; dreifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Sorte	Ort	Jahr	Sorte x Ort	Sorte x Jahr	Jahr x Ort	Ort x Sorte x Jahr
TM Stroh	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	***	*
TM Korn	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
TM Wurzel	#	#	#	#	#	#	#
H <sub>TMBI</sub> <sup>1</sup>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*

n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , <sup>1</sup>ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt

Tab. 37: *Lupinus albus* – Tukey-Test ( $\alpha = 0,05$ ) der Mittelwerte der Ertragsanteile an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 und 2001

Tukey	Sorte		Ort				Jahr	
	B	N	B	F	G	M	1999	2001
TM Stroh	a	a	a	a	a	a	a	a
TM Korn	a	a	a	a	a	a	a	b
TM Wurzel	#	#	#	#	#	#	#	#
H <sub>TMBt</sub> <sup>1</sup>	a	a	a	a	a	a	a	a

Sorten: B = Bardo, N = Nelly, Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, <sup>1</sup>ohne Blattfall, nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = keine Normalverteilung

#### 4.14.1 Standort Borwede

Abb. 56 zeigt die Trockenmasse-Erträge der Art *Lupinus albus*, Sorten Bardo und Nelly, am Untersuchungsstandort Borwede von 1999 bis 2001. Im Kopf der Darstellung befinden sich die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse der drei Untersuchungsjahre. Von 1999 bis 2001 traten im Strohertrag nicht nur deutliche Unterschiede zwischen den Sorten, sondern auch zwischen den Jahren auf. Sie lagen 1999, 2000 und 2001 im Mittel der Sorten bei 65,6, 71,1 und 96,8 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die Differenzen in den Kornerträgen fielen geringer aus und waren nicht signifikant verschieden. Es wurden im Mittel der Sorten in den drei Versuchsjahren 20,1, 13,8 und 17,8 dt TM ha<sup>-1</sup> geerntet. Die Trockenmasse der Wurzeln von *Lupinus albus* sind ähnlich hoch wie die von *Vicia faba* und wurden in den Jahren 1999, 2000 und 2001 mit 16,9, 10,0 und 12,4 dt TM ha<sup>-1</sup> ermittelt. Mit dem Korn der Sorten Bardo und Nelly wurden in den drei Versuchsjahren 20,0, 19,8 bzw. 16,2 % der Biomasse vom Feld gefahren. Die Unterschiede im TM-Harvest-Index zwischen den Sorten und den Jahren waren nicht signifikant, allerdings lag eine signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Sorte vor.

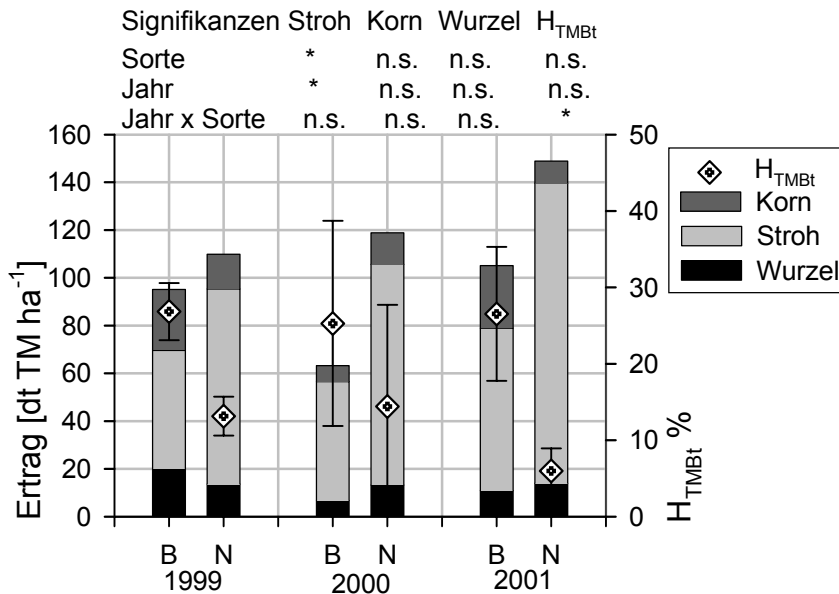


Abb. 56: Borwede – Erträge und Trockenmasse-Harvest-Index ( $H_{TMbt}$ ) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Lupinus albus* der Sorten Bardo (B) und Nelly (N); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$

#### 4.14.2 Standort Föhrste

In Abb. 57 finden sich die TM-Erträge der geprüften Sorten von *Lupinus albus* am Standort Föhrste, der TM-Harvest-Index der Weißen Lupine in den Jahren 1999 bis 2001 und die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse der zweiten Untersuchungsfläche von 2000 und 2001. Die Stroherträge der Sorte Bardo und Nelly von 1999, 2000 und 2001 lagen im Mittel der Sorten bei 67,9, 64,6 und 87,1 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die in ihrem Wachstum nicht determinierte Sorte Nelly wies in den Jahren 2000 und 2001 einen signifikant höheren Strohertrag auf als die Sorte Bardo. Die Kornerträge waren nicht signifikant durch die Sorte oder das Jahr beeinflusst. Es wurden Kornerträge von 27,3, 33,0 und 20,5 dt TM ha<sup>-1</sup> im Mittel der Sorten ermittelt. Die gebildete Wurzelmasse lag im Mittel der Sorten bei 15,2, 6,4 und 11,4 dt TM ha<sup>-1</sup>. Mit dem Korn wurden 24,9, 32,8 und 17,6 % der Biomasse vom Feld abgefahren. Die Differenzen im TM-Harvest-Index der Weißen Lupine zwischen den Jahren 2000 und 2001 wurden als signifikant getestet. Die Varianzanalyse der Sorte bzw. der Wechselwirkungen zwischen Jahr und Sorte ergab keinen signifikanten Effekt.

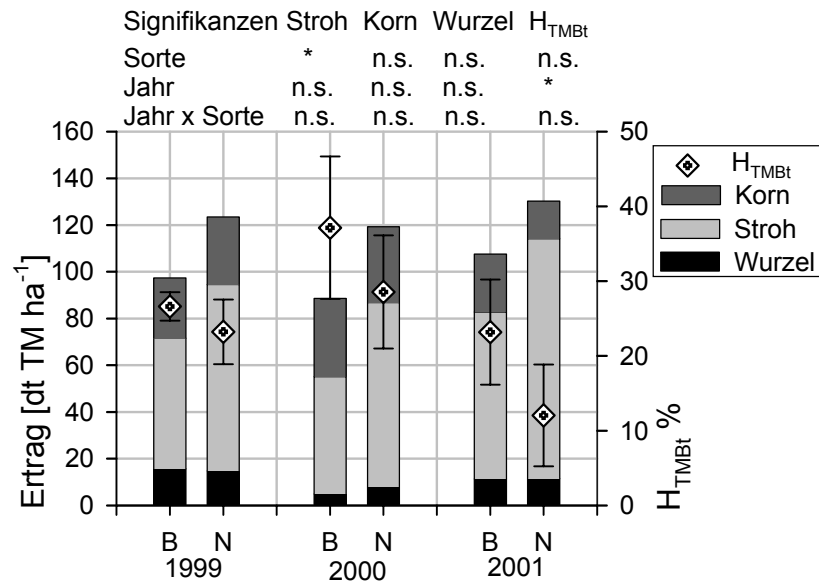


Abb. 57: Föhrste – Erträge und Trockenmasse-Harvest-Index (H<sub>TMbt</sub>) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Lupinus albus* der Sorten Bardo (B) und Nelly (N); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0,05

### 4.14.3 Standort Göttingen

Abb. 58 fasst die Biomassedaten der Art *Lupinus albus* der Untersuchungsjahre 1999 und 2001 am Standort Göttingen zusammen. Im Jahr 2000 konnten die Parzellen dieser Art wegen eines Totalausfalls nicht beprobt werden. Die Ergebnisse der Varianzanalyse der verbleibenden zwei Jahre sind im Kopf der Abbildung zusammengefasst. Die Differenzen der Stroherträge wurden als nicht signifikant getestet, die zwischen den Jahren und die Wechselwirkung zwischen Jahr und Sorte hingegen waren hochsignifikant. Die Strohmenge betrug 1999 und 2001 im Mittel der Sorten 66,7 bzw. 34,7 dt TM ha<sup>-1</sup>. In den Versuchsjahren 1999 und 2001 wurden Kornerträge von 34,9 und 19,6 dt TM ha<sup>-1</sup> ermittelt. Zwischen den Jahren zeigten sich hochsignifikante Unterschiede in der Stroh-TM und signifikante Unterschiede in der Korn-TM. Die ermittelte Wurzelmasse zeigte in den Prüffaktoren Sorte und Jahr keine signifikante Wirkung. Die Wechselwirkung zwischen Sorte und Jahr wurde als hochsignifikant getestet. In den Jahren 1999 und 2001 wurden 16,9 bzw. 5,6 dt TM ha<sup>-1</sup> an Wurzelmasse ermittelt. Bei der Wechselwirkung zwischen Sorte und Jahr lag ein signifikanter Effekt beim TM-Harvest-Index vor. Die Sorte Bardo erzielte in den Jahren 1999 und 2001 einen TM-Harvest-Index von 23,6 und 35,3 %, die Werte der Sorte Nelly lagen bei 37,7 und 30,1 %.

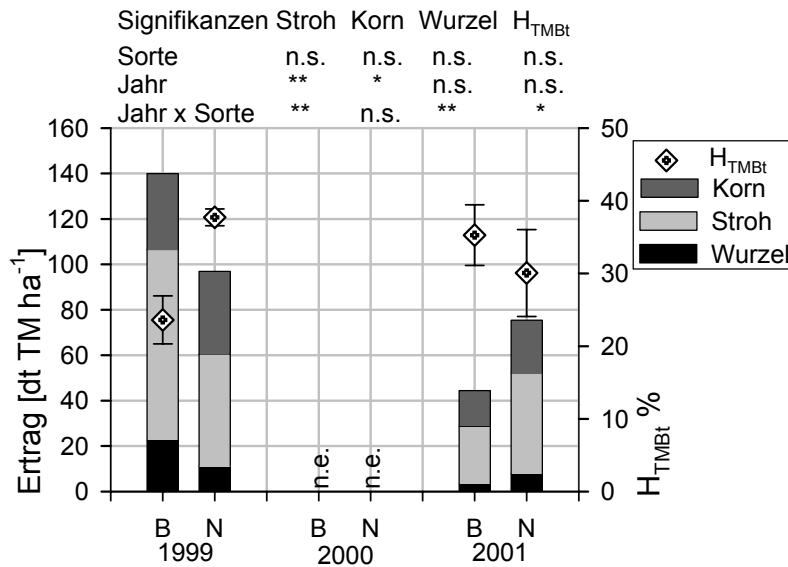


Abb. 58: Göttingen – Erträge und Trockenmasse-Harvest-Index (H<sub>TMbt</sub>) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Lupinus albus* der Sorten Bardo (B) und Nelly (N); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0,05; n.e. = nicht erhoben

#### 4.14.4 Standort Groß Malchau

Die in Abb. 59 zusammengestellten Biomasse-Erträge der Sorten Bardo und Nelly stammen vom Untersuchungsstandort Groß Malchau aus den Jahren 1999, 2000 und 2001. Die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse befinden sich oberhalb der Abbildung. Am Standort Groß Malchau konnte bei allen geprüften Parametern keine Signifikanz in den Differenzen festgestellt werden. Die Stroherträge der Sorten Bardo und Nelly erreichten in den drei Versuchsjahren im Mittel 29,2, 34,6 und 29,9 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die Kornerträge wurden mit 14,6, 21,0 und 14,6 dt TM ha<sup>-1</sup> in den Jahren 1999, 2000 und 2001 ermittelt. Die Trockenmasse der Wurzeln lag im Mittel bei 7,1, 6,1 und 7,0 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die Sorte Bardo erreichte in diesen Jahren einen TM-Harvest-Index von 35,0, 38,5 und 31,5 %, für die Sorte Nelly wurden H<sub>TMbt</sub>-Werte von 22,5, 29,6 und, 28,8 ermittelt.

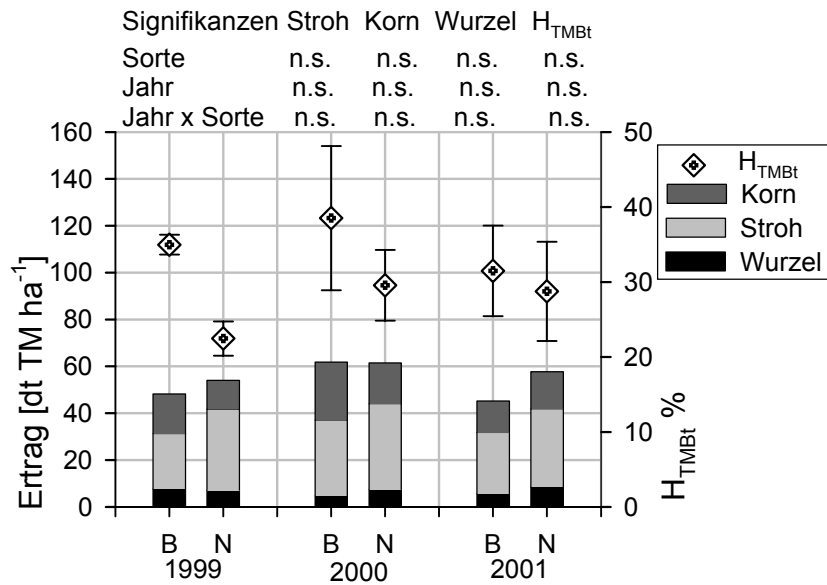


Abb. 59: Groß Malchau – Erträge und Trockenmasse-Harvest-Index (H<sub>TMbt</sub>) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Lupinus albus* der Sorten Bardo (B) und Nelly (N); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0,05

#### 4.15 Stickstoff-Erträge von *Lupinus albus*

Tab. 38 fasst die Ergebnisse der dreifaktoriellen Varianzanalyse der N-Erträge von *Lupinus albus* aller Untersuchungsstandorte zusammen. Wegen des Totalausfalls der Bestände im Jahr 2000 in Göttingen sind die Daten dieses Jahres nicht in die Analyse eingeflossen. In Tab. 39 befinden sich die Ergebnisse des Mittelwertvergleichstests. Die Stroh-N-Erträge von *Lupinus albus* unterschieden sich zwischen den Sorten und Orten hoch signifikant und wiesen eine signifikante Wechselwirkung von Sorte und Ort auf. Während am Standort Groß Malchau beim Vergleich der Jahre 1999 und 2001 der Stroh-N-Ertrag um 12 % anstieg, stieg die Differenz am Standort Göttingen um 60 %. Auch die Mittelwerte zeigten signifikante Abweichungen der Stroh-N-Erträge zwischen Sorte und Ort. Die Korn-N-Erträge waren weder durch den Standort, die Sorte noch das Jahr beeinflusst. Signifikante Unterschiede traten bei den N-Mengen der Wurzeln zwischen den Jahren und bei der Wechselwirkung zwischen Sorte und Jahr auf. Die Wurzel-N-Menge des Versuchsjahres 1999 der Sorte Nelly war um 17,5 % geringer als das der Sorte Bardo. Im Jahr 2001 lag die Wurzel-N-Menge der Sorte Bardo um 36,9 % unter der Sorte Nelly. Die Mittelwerte waren zwischen den Jahren signifikant verschieden. Wiederum hochsignifikant verschieden war der N-Harvest-Index zwischen den Sorten und auch den Orten. Die Wechselwirkungen zwischen Ort, Sorte und Jahr wiesen signifikante Differenzen auf. So stieg der N-Harvest-Index der Weißen Lupine am Standort Borwede der Sorte Bardo im Vergleich der Jahre 1999 und 2001 um 5,4 Prozentpunkte, während bei der Sorte

Nelly in diesen Jahren eine Reduzierung um 10,0 % zu verzeichnen war. Am Standort Göttingen hingegen bewegte sich der N-Harvest-Index in diesen Jahren beider Sorten eng um den Mittelwert von 74,9 %.

Tab. 38: *Lupinus albus* – statistischer Vergleich der N-Erträge der Standorte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 und 2001; dreifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Sorte	Ort	Jahr	Sorte x Ort	Sorte x Jahr	Jahr x Ort	Ort x Sorte x Jahr
Stroh-N	**	**	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.
Korn-N	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Wurzel-N	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	n.s.	n.s.
H <sub>NBt</sub> <sup>1</sup>	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*

n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , <sup>1</sup>ohne Blattfall

Tab. 39: *Lupinus albus* – Tukey-Test ( $\alpha = 0,05$ ) der Mittelwerte der N-Erträge an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 und 2001

Tukey	Sorte		Ort				Jahr	
	B	N	B	F	G	M	1999	2001
Stroh-N	b	a	a	ab	b	ab	a	a
Korn-N	a	a	a	a	a	a	a	a
Wurzel-N	a	a	a	a	a	a	a	b
H <sub>NBt</sub> <sup>1</sup>	a <sup>2</sup>	b <sup>2</sup>	b <sup>2</sup>	ab <sup>2</sup>	a <sup>2</sup>	a <sup>2</sup>	a <sup>2</sup>	a <sup>2</sup>

Sorten: B = Bardo, N = Nelly, Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, <sup>1</sup>ohne Blattfall, <sup>2</sup> $\alpha = 0,01$  nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

#### 4.15.1 Standort Borwede

Die N-Mengen in der Biomasse von *Lupinus albus*, der N-Harvest-Index und die Nmin-Menge zum Zeitpunkt der Aussaat und der Ernte des Standortes Borwede finden sich in Abb. 60. Die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse sind oberhalb der Abbildung zusammengefasst. Die N-Erträge im Stroh der Sorten Bardo und Nelly lagen 1999, 2000 und 2001 bei 93,1, 144,9 und 114,8 kg N ha<sup>-1</sup> im Sortenmittel. Die Werte wiesen zwischen den Sorten und Jahren signifikante Differenzen auf, die Wechselwirkung dieser beiden Faktoren war nicht signifikant. Die Korn-N-Erträge waren in keinem der geprüften Faktoren signifikant verschieden. Es wurden 1999, 2000 und 2001 im Mittel der Sorten 110,0, 74,1 und 115,2 kg N ha<sup>-1</sup> festgestellt. Die N-Mengen, die mit den Wurzeln auf der Fläche verblieben, betragen in den drei Versuchsjahren im Mittel der Sorten Bardo und Nelly 12,1, 5,9 und 6,8 kg N ha<sup>-1</sup>. Die



Ergebnisse waren zwischen den Jahren signifikant verschieden. Der N-Harvest-Index zeigte zwischen den Sorten signifikante Differenzen, wobei die Sorte Nelly in allen drei Versuchsjahren einen geringeren Wert aufwies. Mit dem Korn wurden im Mittel der Sorten in den Jahren 1999, 2000 und 2001 45,9, 36,8 und 43,6 % des von den Pflanzen akkumulierten Stickstoffs abgefahren. Die Mengen an  $\text{NO}_3^-$ - und  $\text{NH}_4^+$ -N im Boden lagen zur Aussaat in allen Versuchsjahren bei ca.  $70 \text{ kg N ha}^{-1}$  mit einem um ca.  $10 \text{ kg N ha}^{-1}$  höheren Nmin-Angebot der Horizonte bis 75 cm im dritten Versuchsjahr. Die Entleerung des Bodenprofils war zum Zeitpunkt der Ernte 1999 und 2000 unter den beiden Sorten annähernd gleich und lag zum Zeitpunkt der Ernte im Sortenmittel bei  $35,2$  und  $34,7 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Im dritten Jahr wurde dem Boden deutlich mehr Nmin entzogen, so dass zur Ernte unter den beiden Sorten noch  $21,1 \text{ kg N ha}^{-1}$  verblieben.

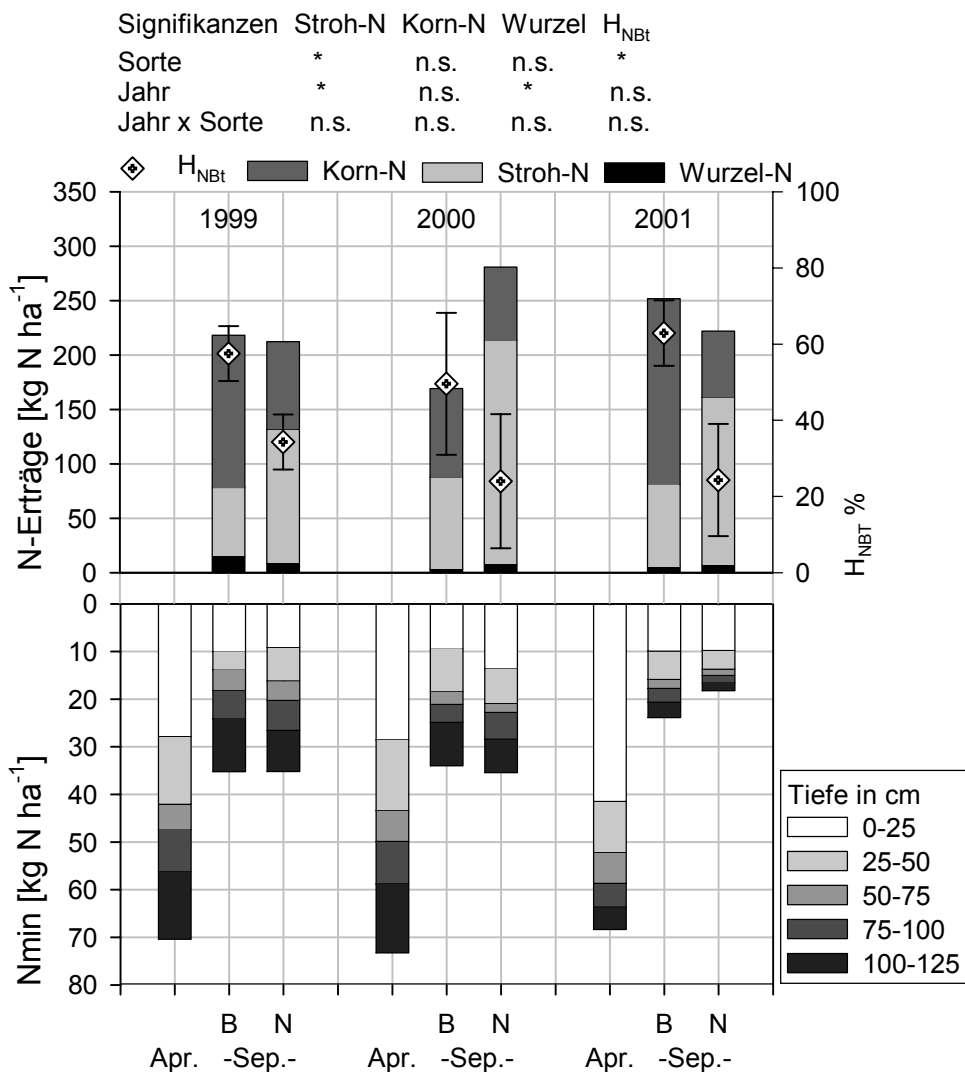


Abb. 60: Borwede – N-Erträge und N-Harvest-Index ( $H_{\text{NBt}}$ ) der gesamten Biomasse von *Lupinus albus* der Sorten Bardo (B) und Nelly (N) sowie Nmin-Mengen im Boden zur Aussaat (April) und zur Ernte (September); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$

### 4.15.2 Standort Föhrste

In Abb. 61 sind die N-Erträge von 1999 bis 2001 der Sorten Bardo und Nelly und die Nmin-Mengen im Boden zum Zeitpunkt der Aussaat und zum Zeitpunkt der Ernte dargestellt. Die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse stammen auf Grund des Flächenwechsels nur aus den Untersuchungsjahren 2000 und 2001. Die Stroh-N-Erträge der Sorten von *Lupinus albus* konnten wegen fehlender Normalverteilung auch nach Datentransformation keiner Varianzanalyse unterzogen werden.

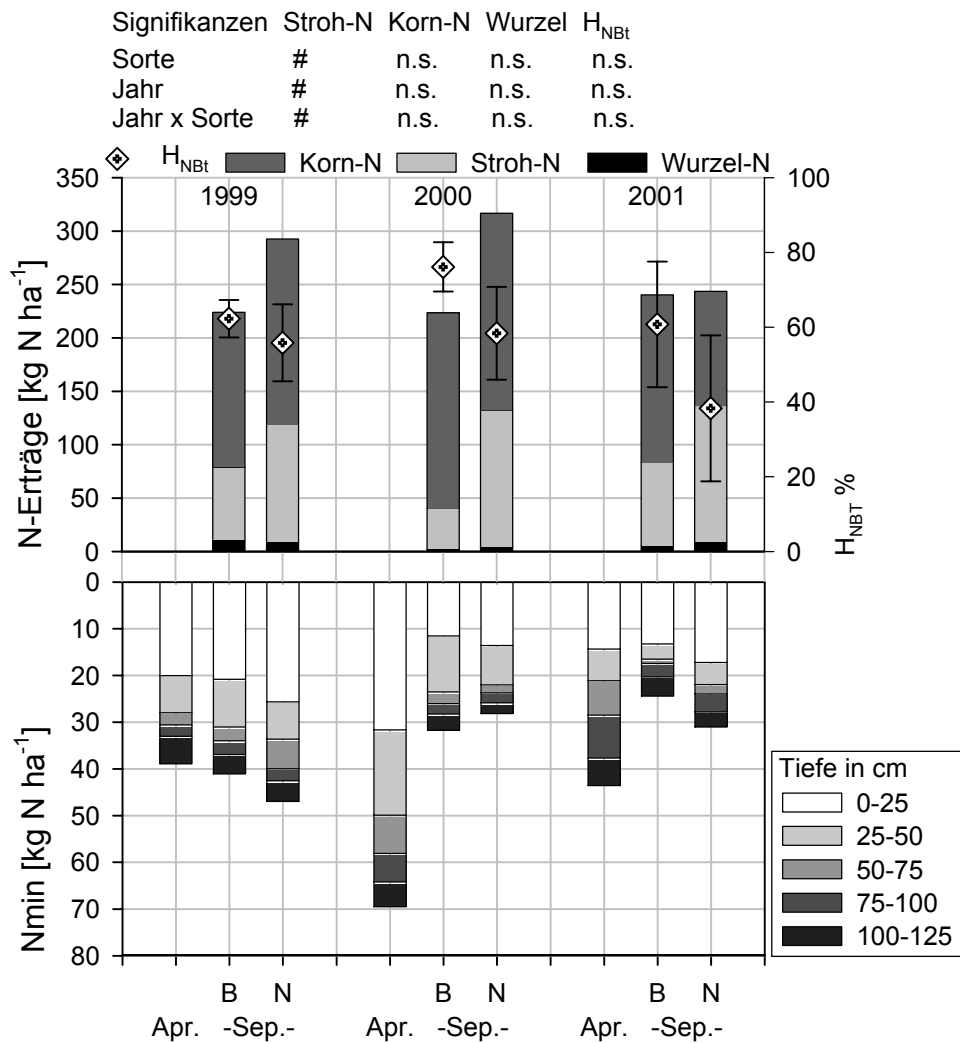


Abb. 61: Föhrste – N-Erträge und N-Harvest-Index (H<sub>NBT</sub>) der gesamten Biomasse von *Lupinus albus* der Sorten Bardo (B) und Nelly (N) sowie Nmin-Mengen im Boden zur Aussaat (April) und zur Ernte (September); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

Im Stroh der Sorten wurden in den Jahren 1999, 2000 und 2001 im Mittel der Sorten 89,0, 83,1 und 102,9 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die Korn-N-Mengen lagen im Mittel der Sorten bei 159,1, 183,5 und 131,9 kg N ha<sup>-1</sup> während der drei Untersuchungsjahre. Mit den Wurzeln verblieben 10,1, 3,5 bzw. 7,1 kg N ha<sup>-1</sup> auf den Flächen. Mit dem Korn wurden 59,0, 67,3 und 49,5 % des von den Pflanzen akkumulierten Stickstoffs von den Flächen abgefahren.

Die Ergebnisse des Stickstoffs im Korn, wie auch in den Wurzeln und des N-Harvest-Index zeigten keine signifikanten Differenzen zwischen den Jahren und den Sorten. Die im Boden für die Pflanzen verfügbaren N<sub>min</sub>-Mengen unterschieden sich in den einzelnen Jahren zum Zeitpunkt der Aussaat stark. Das zweite Untersuchungsjahr war geprägt von hohen N<sub>min</sub>-Mengen, vor allem bis zu einer Tiefe von 50 cm. Sie betragen von 0 bis 125 cm 69,5 kg N ha<sup>-1</sup> und 49,9 kg N ha<sup>-1</sup> von 0 bis 50 cm. Die Sorten Bardo und Nelly hinterließen in den Jahren 2000 und 2001 im Mittel der Jahre und Sorten 28,8 kg N<sub>min</sub>-N ha<sup>-1</sup>. In allen drei Untersuchungsjahren zeigte die Sorte Bardo im Vergleich zu Nelly eine höhere Abnahme an mineralischem Stickstoff bis zu einer Tiefe von 25 cm. Die Tiefenstufen von 25 bis 125 cm waren in den Versuchsjahren 2000 und 2001 gegenüber dem N<sub>min</sub>-Vorrat zur Saat stärker an mineralischem Stickstoff reduziert als im Versuchsjahr 1999.

#### 4.15.3 Standort Göttingen

Abb. 62 fasst die N-Erträge, die N<sub>min</sub>-Mengen im Boden und die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse von *Lupinus albus* der Sorten Bardo und Nelly am Standort Göttingen zusammen. Durch den Totalausfall der Sorten konnten für das Untersuchungsjahr 2000 keine Daten erhoben werden. Die N-Mengen im Stroh erreichten in den Versuchsjahren 1999 und 2001 im Mittel der Sorten 43,3 und 17,3 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Varianzanalyse ergab signifikante Differenzen beim Prüffaktor Jahr. Die Prüffaktoren Sorte bzw. Jahr und Sorte waren ohne Signifikanz. Bei den Korn-N-Erträgen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die N-Mengen im Korn wurden mit 180,8 und 87,6 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die Wurzeln enthielten 1999 und 2001 im Mittel der Sorten 10,6 und 2,3 kg N ha<sup>-1</sup>. Hierbei zeigten die Wechselwirkungen zwischen Jahr und Sorte signifikante Differenzen. Die Daten des N-Harvest-Index konnten wegen fehlender Normalverteilung keiner Varianzanalyse unterzogen werden. Mit dem Korn wurden 74,1 und 75,7 % des pflanzlich gebundenen Stickstoffs von der Fläche abgeführt. Das N<sub>min</sub>-Angebot des Bodens war in den Jahren 1999 und 2001 sehr unterschiedlich. Mit dem höheren N<sub>min</sub>-Angebot des Jahres 1999 war eine stärkere Entleerung des Bodenprofils an NO<sub>3</sub><sup>-</sup>- und NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N verbunden. In den beiden Untersuchungsjahren konnte die Sorte Nelly den mineralischen Stickstoff des Bodens besser nutzen.

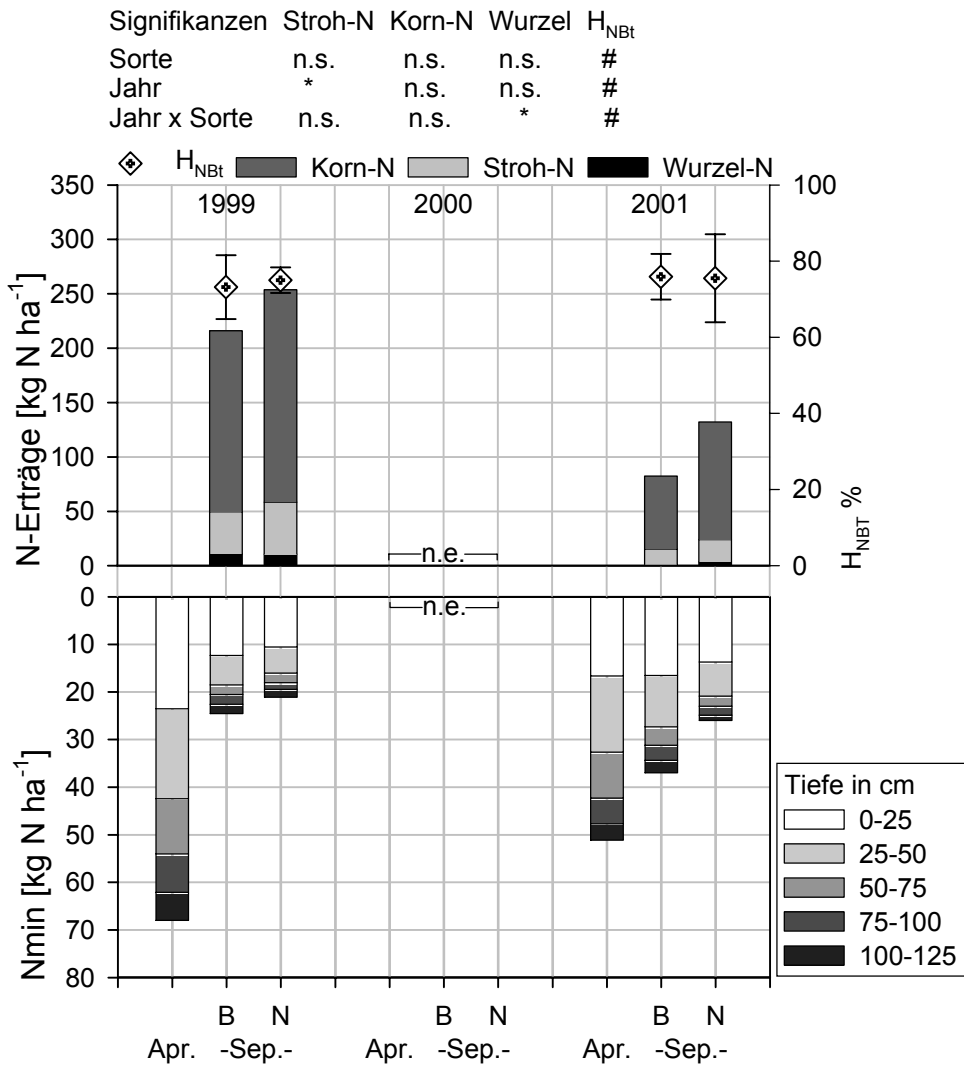


Abb. 62: Göttingen – N-Erträge und N-Harvest-Index (H<sub>NBt</sub>) der gesamten Biomasse von *Lupinus albus* der Sorten Bardo (B) und Nelly (N) sowie Nmin-Mengen im Boden zur Aussaat (April) und zur Ernte (September); zweifaktorielle Varianzanalyse: \* = P < 0,05, n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt; n.e. = nicht erhoben

#### 4.15.4 Standort Groß Malchau

In Abb. 63 sind die N-Erträge der Biomasse, die Nmin-Mengen im Boden und der N-Harvest-Index der Sorten Bardo und Nelly am Standort Groß Malchau der drei Untersuchungsjahre zusammengefasst. Die Varianzanalyse der einzelnen Faktoren ergab für alle geprüften Faktoren keine signifikanten Differenzen. Die N-Mengen im Stroh betragen in den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 38,8, 38,9 und 43,5 kg N ha<sup>-1</sup>. In der geernteten Kornmasse konnten in den drei Untersuchungsjahren 82,7, 126,5 und 87,1 kg N ha<sup>-1</sup> im Mittel der Sorten festgestellt werden. Die Wurzeln hinterließen im Mittel der Sorten 4,9, 3,1 und 5,1 kg N ha<sup>-1</sup> auf der Fläche. Die N-Abfuhr mit dem Korn lag bei 60,6, 73,2 und 58,7 % der von den Weißen Lupinen

akkumulierten N-Menge. Auffällig ist, dass die Jahre 2000 und 2001 mit größeren Nmin-Mengen im Boden bis 25 cm auch höhere N-Mengen in der Biomasse zur Folge hatten. In diesen beiden Jahren konnte die Sorte Nelly die Vorräte an Nmin im Bodenprofil stärker entleeren. Die Sorte Nelly konnte zudem das N-Angebot der tieferen Bereiche (75 bis 100 cm) wie auch die Nachmineralisierung im Verlauf der Vegetationsperiode des Jahres 2001 besser nutzen. Die residualen Nmin-Mengen betragen in den Jahren 1999, 2000 und 2001 im Mittel der Sorten 17,5, 14,3 und 23,8 kg N ha<sup>-1</sup> in 0 bis 125 cm Tiefe.

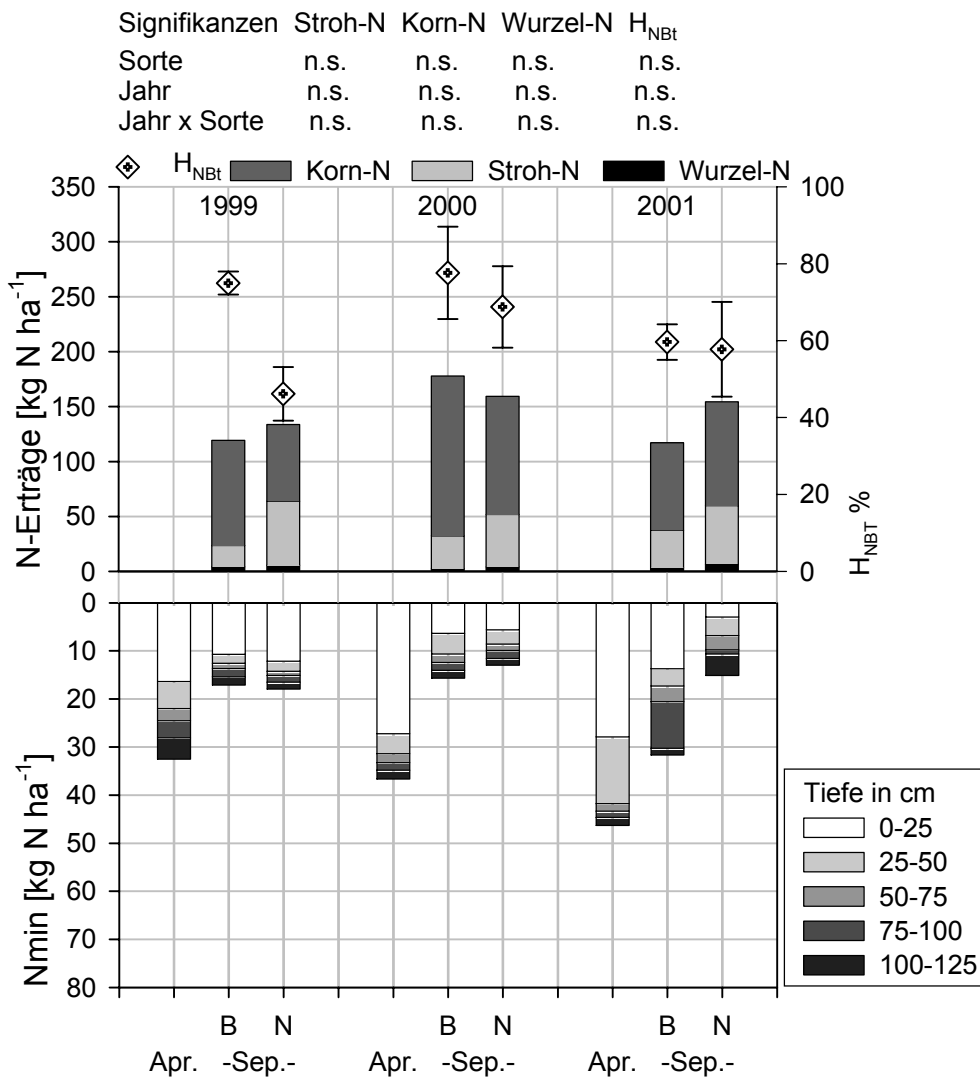


Abb. 63: Groß Malchau – N-Erträge und N-Harvest-Index (H<sub>NBT</sub>) der gesamten Biomasse von *Lupinus albus* der Sorten Bardo (B) und Nelly (N) sowie Nmin-Mengen im Boden zur Aussaat (April) und zur Ernte (September); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant

## 4.16 Stickstoff-Quellen von *Lupinus albus*

### 4.16.1 Dreifaktorielle Varianzanalyse

Tab. 40 fasst die dreifaktorielle Varianzanalyse von den N-Quellen Boden und Luft und die daraus resultierende Verhältniszahl Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) Weißen Lupine, Sorten Bardo und Nelly aus den Jahren 1999 und 2001 zusammen. Das Versuchsjahr 2000 wurde wegen des Totalausfalls am Standort Göttingen nicht mit einbezogen. Es zeigten sich nur in diesen Daten nur wenige signifikante Unterschiede. Die von den Pflanzen aus dem Boden aufgenommene N-Menge war zwischen den Jahren hoch signifikant verschieden. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort auf die N<sub>2</sub>-Fixierung war ebenfalls signifikant. Während am Standort Borwede von 1999 auf 2001 eine Steigerung in der luftbürtigen N-Menge um 87,4 % festgestellt wurde, fixierte die Weiße Lupine am Standort Göttingen 2001 69,7 % weniger Stickstoff als im Vorjahr. Der Vergleich der Mittelwerte ergab für die Daten der N-Quellen der geprüften Jahre keinerlei signifikante Differenzen.

Tab. 40: *Lupinus albus* – statistischer Vergleich der N-Quellen an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 und 2001; dreifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Sorte	Ort	Jahr	Sorte x Ort	Sorte x Jahr	Jahr x Ort	Ort x Sorte x Jahr
N <sub>Atmosphäre</sub>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.
N <sub>Boden</sub>	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Ndfa	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

n.s. = nicht signifikant, \*\* = P < 0,01, # = nicht normalverteilt

Tab. 41: Weiße Lupine – Tukey-Test ( $\alpha = 0,05$ ) der Mittelwerte der N-Quellen an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 und 2001

Tukey	Sorte		Ort				Jahr	
	B	N	B	F	G	M	1999	2001
N <sub>Atmosphäre</sub>	a	a	a	a	a	a	a	a
N <sub>Boden</sub>	a	a	a	a	a	a	a	a
Ndfa	a	a	a	a	a	a	a	a

Sorten: B = Bardo, N = Nelly, Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = keine Normalverteilung

### 4.16.2 Standort Borwede

In Abb. 64 sind die berechneten Werte der N-Quellen Boden und Luft der Weißen Lupine aus den Untersuchungsjahren 1999, 2000 und 2001 am Standort Borwede zusammengefasst. Im Kopf der Abbildung befinden sich die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse. Die bodenbürtige N-Menge in den Sorten Bardo und Nelly der drei Versuchsjahre unterscheidet sich nur geringfügig. So wurden für die Sorte Bardo in den drei Versuchsjahren Werte von 130,2, 100,6 und 80,9 kg N ha<sup>-1</sup>, und für die Sorte Nelly von 149,5, 120,8 und 73,4 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die fixierte Stickstoff-Menge der Versuchsjahre 1999 und 2000 bewegte sich mit 110,2 und 192,8 kg N ha<sup>-1</sup> bei der Sorte Bardo bzw. 84,5 und 172,2 kg N ha<sup>-1</sup> bei der Sorte Nelly ebenfalls auf dem gleichen Niveau. Ein deutlicher Unterschied wurde hierbei im Versuchsjahr 2001 ermittelt. Die fixierten N-Mengen der Sorte Bardo und Nelly unterschieden sich mit 75,3 und 189,9 kg N ha<sup>-1</sup> erheblich. Dementsprechend lagen die Ndfa-Werte der Sorten Bardo und Nelly in den Versuchsjahren 1999 und 2001 mit 45,6 und 36,5 % bzw. 87,8 und 69,8 % recht eng beieinander. Die Differenz zwischen den Sorten des Versuchsjahres 2000 mit 39,6 und 57,8 % der Sorte Bardo und Nelly fällt dementsprechend deutlicher aus. Die zweifaktorielle Varianzanalyse zeigte lediglich in den Ndfa-Werten signifikante Differenzen zwischen den Jahren.

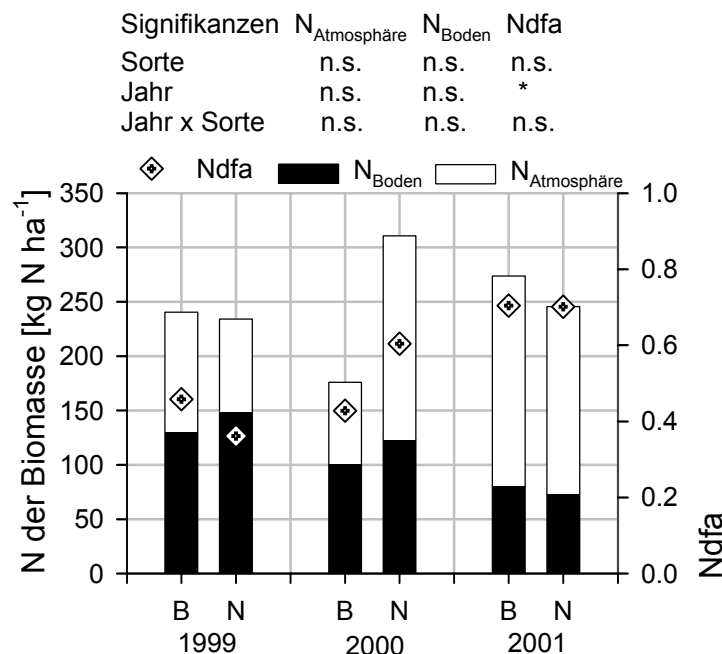


Abb. 64: Borwede – N-Quellen (N<sub>Atmosphäre</sub> und N<sub>Boden</sub>), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse von *Lupinus albus* der Sorten Bardo (B) und Nelly (N); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0,05

### 4.16.3 Standort Föhrste

Abb. 65 fasst die N-Quellen der Weißen Lupine und die daraus resultierenden Ndfa-Werte der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 am Standort Föhrste zusammen. Die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse befinden sich oberhalb der Abbildung. Von der Sorte Bardo wurden in den drei Versuchsjahren 106,1, 89,4 und 110,7 kg N ha<sup>-1</sup> an bodenbürtigem Stickstoff aufgenommen. Der fixierte Luft-N wurde mit 126,7, 146,2 und 148,0 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die bodenbürtige N-Aufnahme der Sorte Nelly lag bei 142,4, 119,8 und 129,4 kg N ha<sup>-1</sup>. Die fixierte N-Menge lag mit 166,2, 210,0 und 141,6 kg N ha<sup>-1</sup> in den Versuchsjahren 1999 und 2000 über den Werten der Sorte Bardo. Die Ndfa-Werte änderten sich zwischen den Versuchsjahren beider Sorten nur geringfügig und lag im Versuchsjahr 2000 leicht über den beiden anderen Versuchsjahren. Für Bardo wurde ein Anteil an luftbürtigem Stickstoff von 54,2, 61,0 und 54,2 % ermittelt. Bei der Sorte Nelly waren es Anteile von 53,7, 61,8 und 52,7 %. Die zweifaktorielle Varianzanalyse ergab keinerlei signifikante Differenzen.

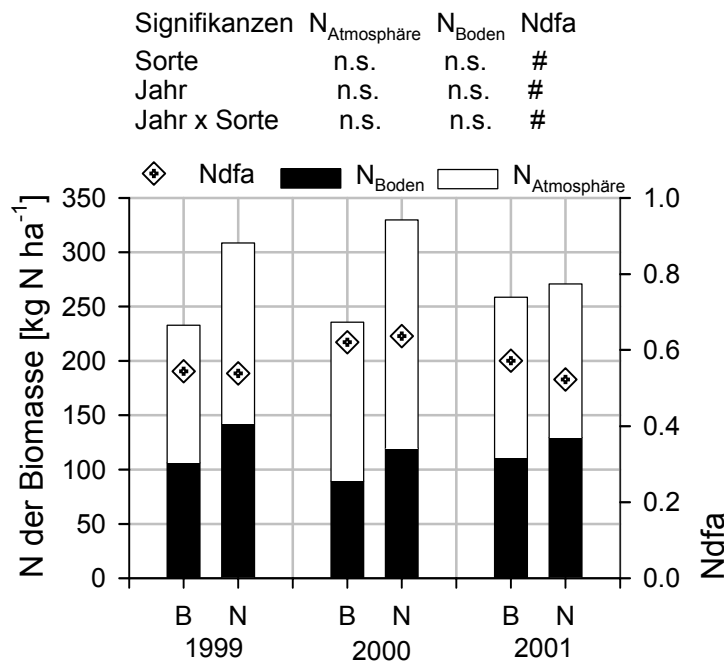


Abb. 65: Föhrste – N-Quellen (N<sub>Atmosphäre</sub> und N<sub>Boden</sub>), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse von *Lupinus albus* der Sorten Bardo (B) und Nelly (N); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt



### 4.16.4 Standort Göttingen

In Abb. 66 sind die Anteile der N-Quellen Boden und Luft der Weißen Lupine am Standort Göttingen der Versuchsjahre 1999 und 2001 dargestellt. Im Kopf der Abbildung sind die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse zusammengefasst. Die Jahre unterschieden sich besonders im luftbürtigen Stickstoff erheblich. Die  $N_{\text{Boden}}$ -Menge der Sorte Nelly in 1999 und 2001 wurde mit 92,8 und 70,7 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Bei Nelly waren es 90,1 und 63,7 kg N ha<sup>-1</sup>. Die fixierten N-Mengen der Sorte Bardo lagen bei 130,2 und 17,1 kg N ha<sup>-1</sup>, für Nelly wurden 170,2 und 74,1 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die Ndfa-Werte beider Sorten wurden im Versuchsjahr 1999 mit 53,7 bzw. 65,0 % ermittelt, 2001 waren es 20,0 bzw. 49,0 %. In der zweifaktoriellen Varianzanalyse zeigten sich signifikante Differenzen in den fixierten N-Mengen zwischen den Sorten.

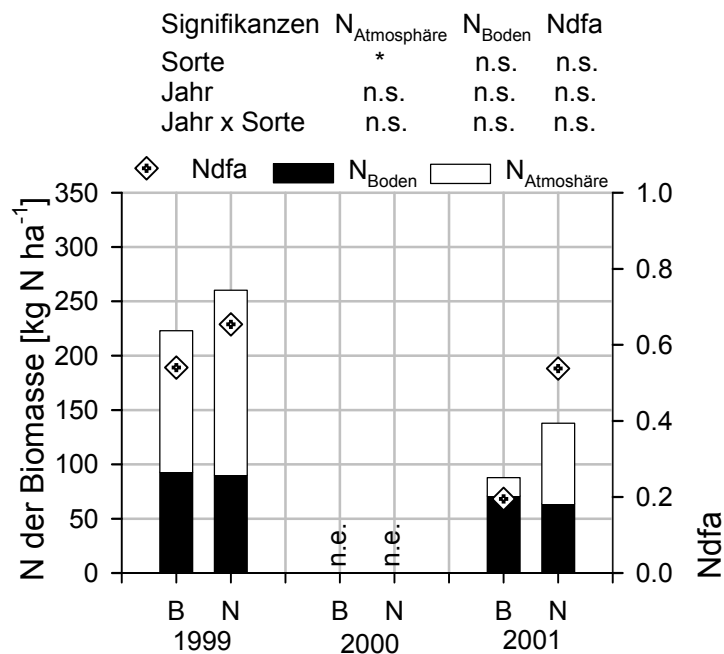


Abb. 66: Göttingen – N-Quellen ( $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$ ), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse von *Lupinus albus* der Sorten Bardo (B) und Nelly (N); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant; n.e. = nicht erhoben

#### 4.16.5 Standort Groß Malchau

Abb. 67 fasst die Daten der N-Quellen der Weißen Lupine aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 des Standortes Groß Malchau und die daraus resultierenden Ndfa-Werte zusammen. Die Boden-N-Aufnahme im Versuchsjahr 1999 unterschied sich zwischen den beiden Sorten Bardo und Nelly mit 41,1 bzw. 99,1 kg N ha<sup>-1</sup> erheblich. In den beiden Folgejahren unterschieden sich die beiden Sorten mit 37,0 und 40,0 kg N ha<sup>-1</sup> bzw. 51,3 und 57,6 kg N ha<sup>-1</sup> weniger deutlich. Auch die luftbürtige N-Menge des Versuchsjahres 1999 zeigte mit 86,2 bzw. 49,6 kg N ha<sup>-1</sup> große Differenzen. Die Verhältniszahl Ndfa des Versuchsjahres 1999 entspricht mit 67,6 bzw. 34,2 diesen Werten. Die fixierte N-Menge der Sorten Bardo und Nelly lagen in 2000 und 2001 bei 146,2 und 124,0 kg N ha<sup>-1</sup> bzw. 80,4 und 111,3 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Ndfa-Werte von Bardo und Nelly lagen im Versuchsjahr 2000 bei 78,8 bzw. 71,9 % und im Versuchsjahr 2001 bei 58,8 bzw. 63,6 %.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse zeigte signifikante Differenzen in der N<sub>Boden</sub>-Aufnahme und den Ndfa-Werten zwischen den Jahren. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Sorte auf die Ndfa-Werte war ebenfalls signifikant. Die Sorte Bardo erzielte von 1999 auf 2001 eine um 11 Prozentpunkte höheren Anteil aus der N<sub>2</sub>-Fixierung der Sorte Bardo. Für die Sorte Nelly wurde von 2000 auf 2001 ein um 8 Prozentpunkte geringerer Anteil aus der Luft ermittelt.

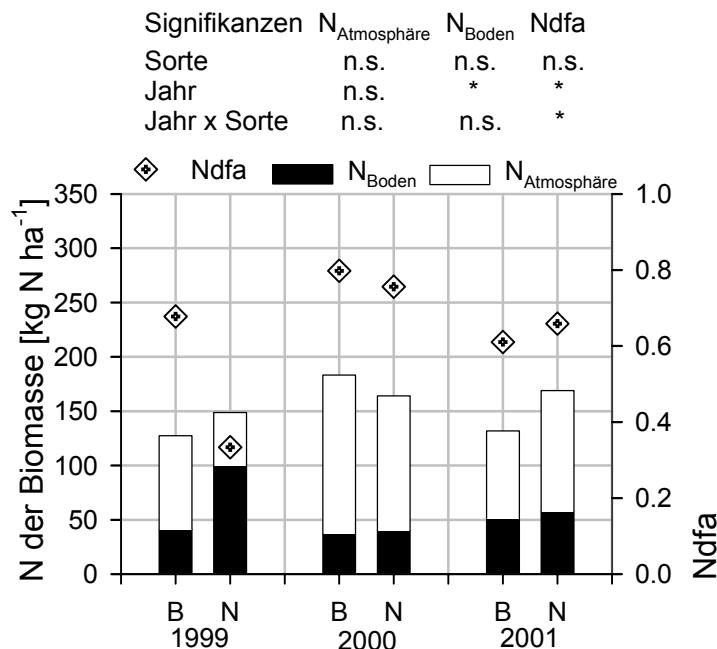


Abb. 67: Groß Malchau – N-Quellen (N<sub>Atmosphäre</sub> und N<sub>Boden</sub>), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse von *Lupinus albus* der Sorten Bardo (B) und Nelly (N); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0,05

### 4.17 Vergleich der mit Hilfe von $\delta^{15}\text{N}$ - und erweiterter Differenzmethode ermittelten $\text{N}_2$ -Fixierung bei *Lupinus albus*

Der Vergleich der mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (Abszisse) und der erweiterten Differenzmethode (Ordinate) ermittelten  $\text{N}_2$ -Fixierleistung von *Lupinus albus* ergab eine enge Korrelation und einen Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,78$ . In acht von 32 Fällen lagen die Werte der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode über denen der erweiterten Differenzmethode. Die Mittelwerte dieser beiden Methoden lagen in Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau bei 126,4, 137,4, 72,2 und 104,6  $\text{kg N ha}^{-1}$  ( $\delta^{15}\text{N}$ -Methode) bzw. bei 159,5, 153,5, 101,0 und 131,9  $\text{kg N ha}^{-1}$  (erweiterte Differenzmethode). Die Differenz der Schätzergebnisse betrug im Mittel zwischen 16,0 und 33,1  $\text{kg N ha}^{-1}$ , die der Einzelwerte zwischen 1,5 und 122,2  $\text{kg N ha}^{-1}$ . In einem Fall wurde mit der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode eine "negative"  $\text{N}_2$ -Fixierleistung geschätzt.

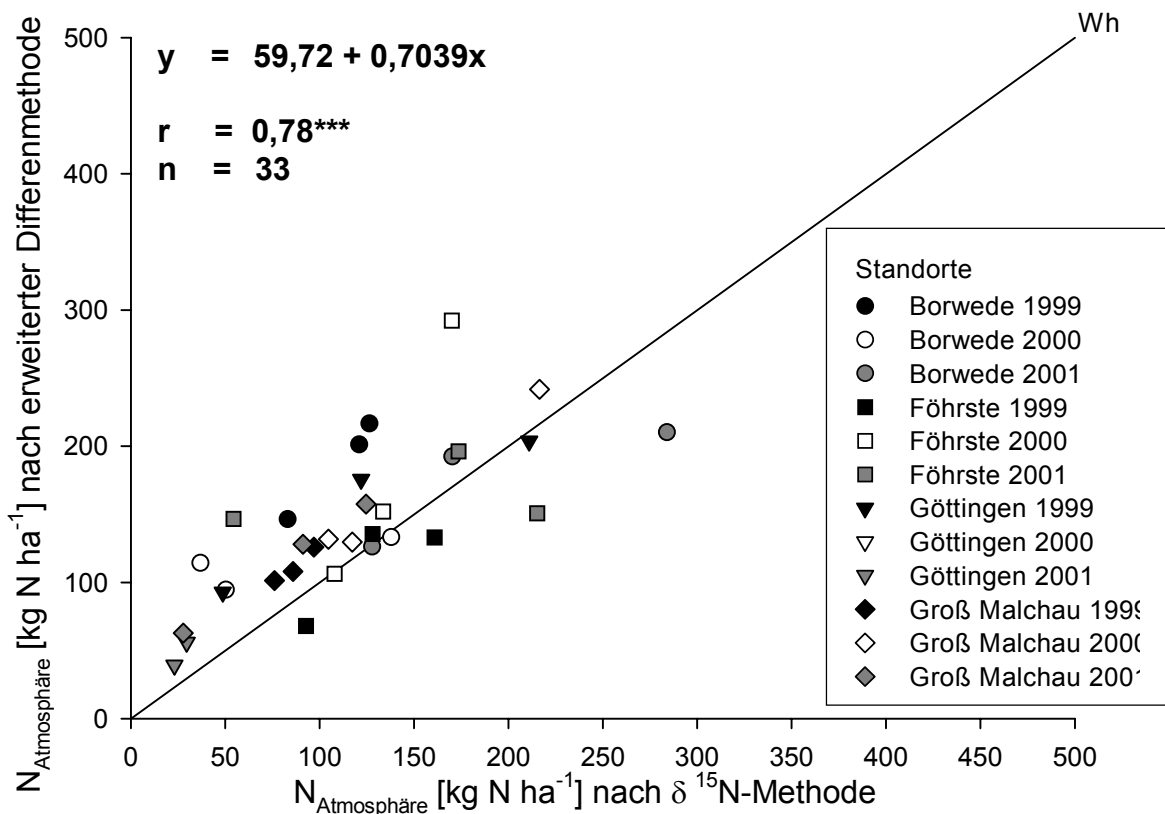


Abb. 68: *Lupinus albus* - Korrelation der Ergebnisse zur Schätzung der symbiotischen  $\text{N}_2$ -Fixierleistung der Sorte Bardo, ermittelt nach  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (x) und erweiterter Differenzmethode (y) aller Standorte der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001; Wh = Winkelhalbierende

## 4.18 Trockenmasse-Erträge von *Lupinus luteus*

### 4.18.1 Standort Borwede

Die in Abb. 69 dargestellten TM-Erträge der Sorten Juno und Refusa Nova der Gelben Lupine vom Standort Borwede stammen aus den Versuchsjahren 1999 bis 2001. Die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse sind oberhalb der Abbildung zusammengefasst. Das erste Untersuchungsjahr erbrachte in der Summe der gesamt-pflanzlichen Biomasse deutlich geringere Erträge. Allerdings lagen die Kornerträge über denen der beiden folgenden Jahre. Dafür investierten die Pflanzen im Jahr 1999 weniger in das Stroh. Die Stroherträge der Jahre 1999, 2000 und 2001 betragen im Mittel der Sorten 44,4, 72,6 und 78,5 dt TM ha<sup>-1</sup>. Bei der Stroh-TM konnten signifikante Differenzen zwischen den Erträgen der Sorten und Jahre festgestellt werden. Die Kornerträge waren in keinem der geprüften Parameter signifikant verschieden. Sie lagen in den drei Versuchsjahren bei 32,2, 29,1 und 27,9 dt TM ha<sup>-1</sup>. Für die Wurzelmasse konnten in den Jahren 1999, 2000 und 2001 9,1, 9,2 und 5,9 dt TM ha<sup>-1</sup> ermittelt werden. Die Ergebnisse zeigten hoch signifikante Differenzen zwischen den Jahren. Beim TM-Harvest-Index waren die Ergebnisse zwischen den Jahren sehr hoch signifikant. Mit dem Korn wurden 37,3, 25,8 bzw. 24,2 % der gebildeten Biomasse vom Feld abgefahren.

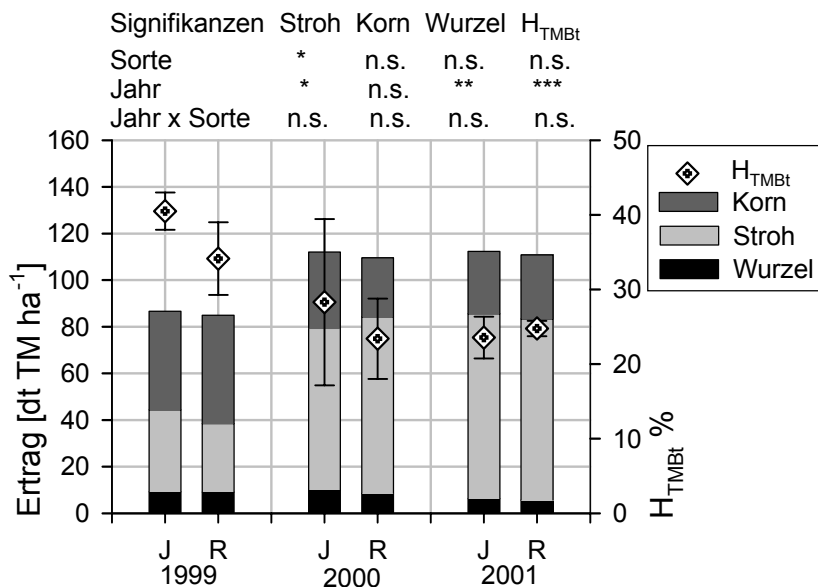


Abb. 69: Borwede – Erträge und TM-Harvest-Index (H<sub>TMbt</sub>) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Lupinus luteus* der Sorten Juno (J) und Refusa Nova (R); zweifaktorielle Varianzanalyse: \* = P < 0,05, \*\* = P < 0,01, \*\*\* = P < 0,001, n.s. = nicht signifikant

### 4.18.2 Standort Groß Malchau

Die Beprobungen der Prüfglieder Juno und Refusa Nova am Standort Groß Malchau konnten in den Jahren 2000 und 2001 nicht vollständig durchgeführt werden. Im Jahr 2000 kam es zu einem Totalausfall der Sorte Refusa Nova. 2001 war es die Sorte Juno, die nicht beerntet werden konnte. Von der Sorte Refusa Nova konnte in 2001 lediglich eine Wiederholung beprobt werden. Auf Grund der geringen Anzahl konnten die Daten keiner Varianzanalyse unterzogen werden. Abb. 70 zeigt die TM-Daten der Sorten am Standort Groß Malchau der drei Versuchsjahre. Wegen der fehlenden Daten werden die Sorten einzeln besprochen. Die Sorte Juno erzielte in den Jahren 1999 und 2000 Stroherträge von 32,1 und 39,6 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die Kornerträge betragen mit 14,2 und 14,9 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die Sorte Juno erzielte eine Wurzelmasse von 6,5 und 4,2 dt TM ha<sup>-1</sup>. Der TM-Harvest-Index lag bei 26,8 und 24,8 % der gesamten Biomasse. Die Sorte Refusa Nova bildete 1999 im Mittel der Wiederholungen in Stroh, Korn und Wurzel 28,2, 11,5 und 7,4 dt TM ha<sup>-1</sup>. Mit dem Korn wurden 24,2 % der Biomasse vom Feld abgefahren. Die Biomasse der verbliebenen Parzelle von Refusa Nova erreichte in Stroh, Korn und Wurzel im Versuchsjahr 2001 28,5, 17,1 und 7,2 dt TM ha<sup>-1</sup>.

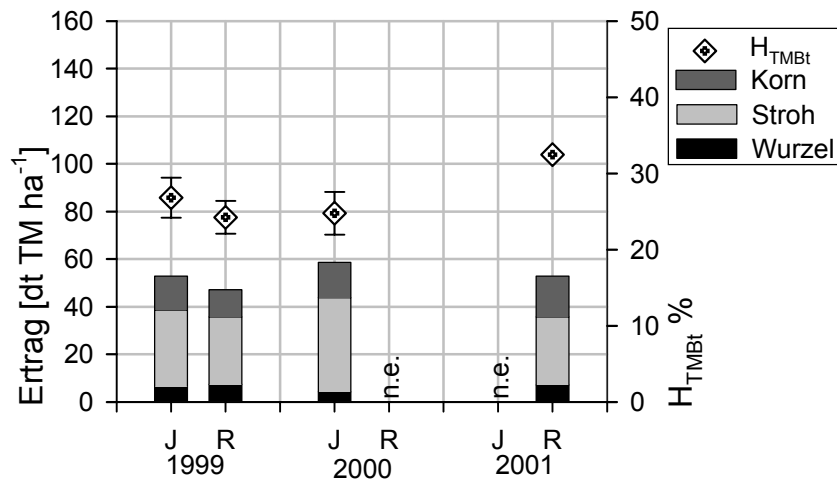


Abb. 70: Groß Malchau – Erträge und Trockenmasse-Harvest-Index (H<sub>TMBt</sub>) der gesamten Biomasse (ohne Blattfall) von *Lupinus luteus* der Sorten Juno (J) und Refusa Nova (R), n.e. = nicht erhoben

## 4.19 Stickstoff-Erträge von *Lupinus luteus*

### 4.19.1 Standort Borwede

Abb. 71 zeigt die Stickstoff-Erträge der Prüfglieder der Sorten von *Lupinus luteus* am Standort Borwede und im unteren Teil die Nmin-Werte zu Beginn der Vegetationsperiode und zur Aussaat. Die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse befinden sich oberhalb der Abbildung.

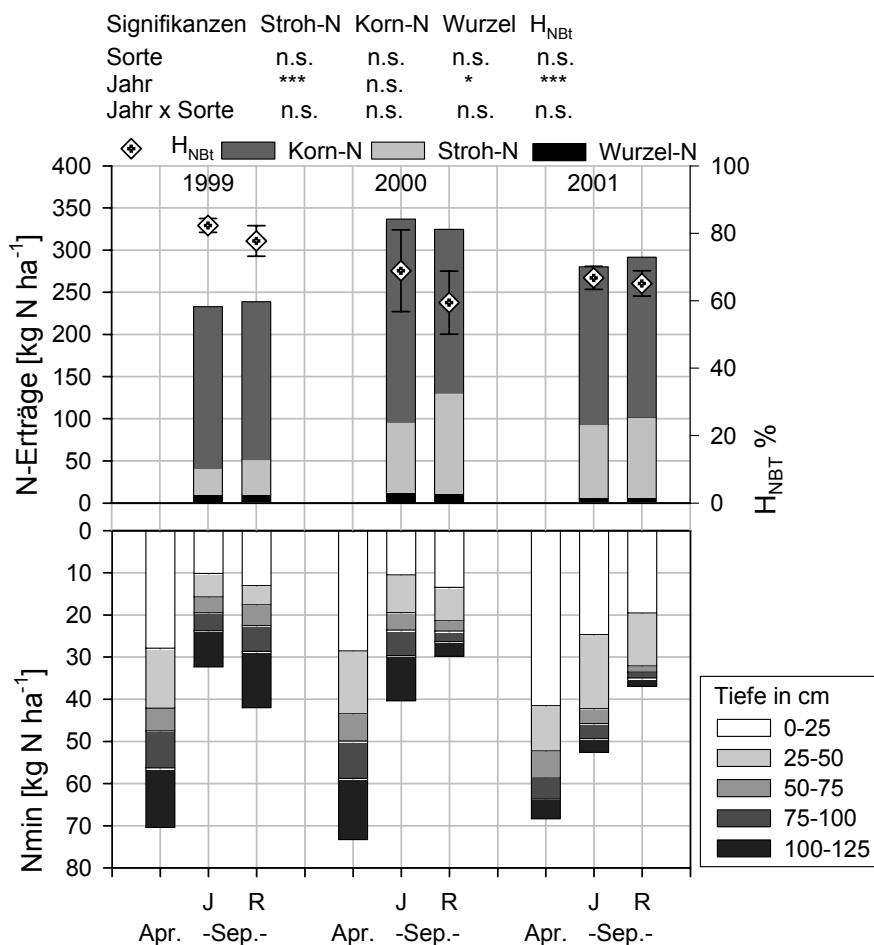


Abb. 71: Borwede – N-Erträge und N-Harvest-Index ( $H_{Nbt}$ ) der gesamten Biomasse und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat (April) und zur Ernte (September) von *Lupinus luteus* der Sorten Juno (J) und Refusa Nova (R); zweifaktorielle Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$

Für die N-Erträge im Stroh konnten in den Untersuchungsjahren 1999, 2000 und 2001 im Mittel der Sorten N-Mengen von 36,6, 101,6 und 91,6 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt werden. Dabei waren die Differenzen zwischen den Jahren sehr hoch signifikant. Die N-Erträge des Kornes zeigten keine signifikanten Unterschiede in den geprüften Pa-

rametern. Sie erreichten 1999, 2000 und 2001 Werte von 189,5, 217,2 und 188,3 kg N ha<sup>-1</sup>. In den Wurzeln wurden in den drei Versuchsjahren 9,7, 11,9 und 6,0 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Signifikante Unterschiede zeigten sich zwischen den Untersuchungsjahren. Der N-Harvest-Index wurde zwischen den Jahren als sehr hoch signifikant verschieden getestet. In den drei Versuchsjahren wurden 80,0, 64,2 und 65,9 % der N-Menge in der Biomasse vom Feld abgefahren.

Die Werte an NO<sub>3</sub><sup>-</sup>- und NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Stickstoff des Bodens lagen im Mittel der drei Versuchsjahre zum Zeitpunkt der Aussaat bei 70,7 kg N ha<sup>-1</sup>. Das Angebot an mineralischem Stickstoff unterschied sich in den Tiefenstufen der drei Untersuchungsjahre allerdings erheblich. Im Jahr 2001 befanden sich von 0 bis 50 cm mit 52,2 kg N ha<sup>-1</sup> ca. 10 kg N ha<sup>-1</sup> mehr als in den beiden vorherigen Untersuchungsjahren. Die residualen Nmin-Mengen waren dementsprechend 2001 mit 44,8 kg N ha<sup>-1</sup> bis 125 cm Tiefe und 37,1 kg N ha<sup>-1</sup> bis 50 cm Tiefe deutlich höher als in den Versuchsjahren 1999 und 2001 mit im Mittel der Sorten 37,8 und 35,1 kg N ha<sup>-1</sup> in 0 bis 125 cm Tiefe. Der mineralische Stickstoff der Tiefe 100 bis 125 cm der Jahre 1999 und 2000 konnte im ersten Versuchsjahr von beiden Sorten nur wenig und im zweiten Versuchsjahr von der Sorte Refusa Nova stärker genutzt werden als von der Sorte Juno. Diese Sorte konnte in den Jahren 2000 und 2001 das Bodenprofil stärker an Nmin entleeren (Abb. 71).

#### 4.19.2 Standort Groß Malchau

Abb. 72 fasst die N-Erträge der Prüfglieder Juno und Refusa Nova am Standort Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999, 2000 und 2001 zusammen. Die Daten der Biomasse sind in der oberen Hälfte der Abbildung zu sehen, die Nmin-Daten zur Aussaat und die residuale Nmin-Menge zum Zeitpunkt der Ernte befinden sich in der unteren Hälfte. Auf Grund der Datenlücken werden die Sorten einzeln besprochen. Die Sorte Juno erzielte im Jahr 2000 einen deutlich höheren N-Ertrag im Korn und in der Summe der Biomasse als 1999. Der N-Ertrag für Korn, Stroh und Wurzel lag im Jahr 1999 bei 98,6, 22,0 bzw. 6,8 kg N ha<sup>-1</sup> und im Versuchsjahr 2000 bei 106,0, 35,0 bzw. 6,7 kg N ha<sup>-1</sup>. Der N-Harvest-Index der Jahre 1999 und 2000 erreichte 77,1 und 69,9 %. Die Sorte Refusa Nova erreichte im Versuchsjahr 1999 in Stroh, Korn und Wurzel mit 23,9, 81,9 und 7,7 kg N ha<sup>-1</sup> im N-Ertrag geringere Werte als die Sorte Juno. Entsprechend lag auch der N-Harvest-Index mit 71,0 % etwas niedriger als bei der Sorte Refusa Nova. In der beernteten Parzelle des Jahres 2001 lagen die N-Werte der Biomasse (Korn, Stroh und Wurzel) der Sorte Refusa Nova bei 127,0, 23,8 und 6,9 kg N ha<sup>-1</sup>. Die residualen Nmin-Mengen des Versuchsjahres 2000 waren in der oberen Bodenschicht mit 8 kg N ha<sup>-1</sup> und im gesamten Profil mit 17,9 kg N ha<sup>-1</sup> um ca. 7 kg N ha<sup>-1</sup> höher als im Versuchsjahr 1999. Die Entnahme des mineralischen Stickstoffs im Boden der Sorte Refusa Nova lag im Untersuchungsjahr 1999

entsprechend der geringeren N-Erträge des Aufwuchses um 5,5 kg N ha<sup>-1</sup> niedriger als bei der Sorte Juno. Die residualen Nmin-Mengen im Jahr 2001 unter der Parzelle der Sorte Refusa Nova waren mit 13,8 kg N ha<sup>-1</sup> trotz der geringen N-Erträge in der Biomasse bei einem hohen Ausgangswert recht gering.

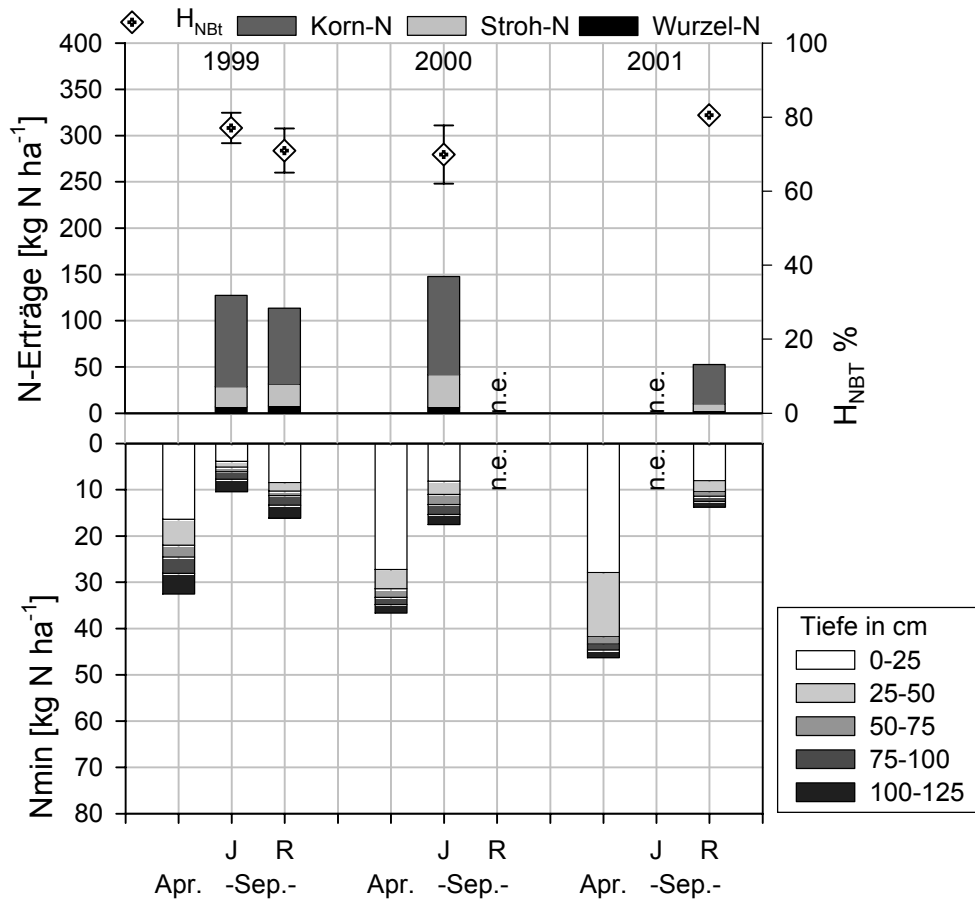


Abb. 72: Groß Malchau – N-Erträge und N-Harvest-Index (H<sub>NBT</sub>) der gesamten Biomasse und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat (April) und zur Ernte (September) von *Lupinus luteus* der Sorten Juno (J) und Refusa Nova (R); n.e. = nicht erhoben



## 4.20 Stickstoff-Quellen von *Lupinus luteus*

### 4.20.1 Standort Borwede

In Abb. 73 sind die N-Quellen Boden und Luft und die Verhältniszahl Ndfa der Gelben Lupine am Standort Borwede aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 dargestellt. Die Differenzen zwischen den Sorten Juno und Refusa Nova waren in allen drei Versuchsjahren gering. Deutlich unterschieden sich die Jahre in der  $N_{\text{Boden}}$ -Aufnahme der Pflanzen. Die Werte der Sorten Juno und Refusa Nova lagen im Mittel der Sorten bei 117,1, 125,0 und 82,5 kg N ha<sup>-1</sup>. Der luftbürtige Stickstoff erzielte im Mittel der Sorten 127,8, 214,7 und 215,0 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Ndfa-Werte des Versuchsjahres 1999 lagen im Mittel der Sorten mit 51,8 % unter den Werten der Jahre 2000 und 2001 mit 63,7 und 71,6 %.

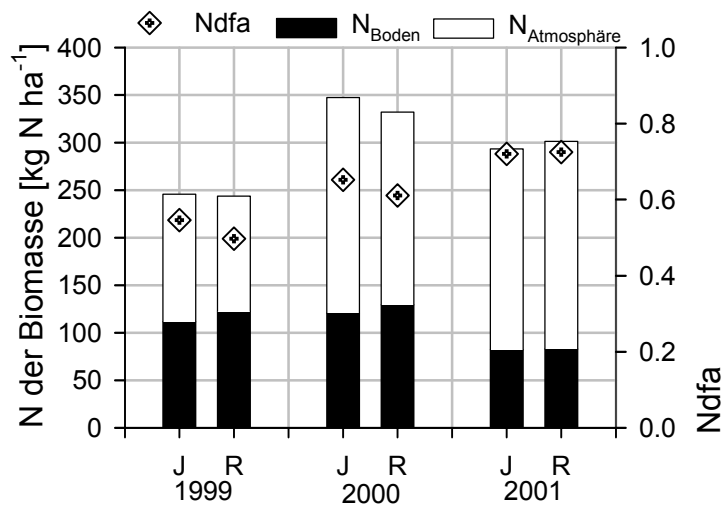


Abb. 73: Borwede – N-Quellen ( $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$ ), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse von *Lupinus luteus* der Sorten Juno (J) und Refusa Nova (R)

#### 4.20.2 Standort Groß Malchau

Abb. 74 zeigt die ermittelten N-Quellen der Gelben Lupine am Standort Groß Malchau beider Sorten aus dem Versuchsjahr 1999, und aus den Versuchsjahren 2000 und 2001 jeweils nur der Sorte Juno oder Refusa Nova (eine Wiederholung). Die bodenbürtige N-Menge mit 40,7 bzw. 38,1 kg N ha<sup>-1</sup> unterschied sich zwischen den Sorten deutlich weniger als die luftbürtige N-Menge mit 86,7 bzw. 75,5 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Ndfa-Werte lagen bei 68,4 bzw. 67,4 %. Die luftbürtige N-Aufnahme der Sorte Juno erreichte im Versuchsjahr 2000 mit 116,5 kg N ha<sup>-1</sup> ein deutlich höheres Niveau als 1999. Die bodenbürtige N-Aufnahme wurde mit 34,7 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt, der Ndfa-Wert lag mit 75,9 % über dem des Vorjahres. Auf der im Jahr 2001 zur Verfügung stehende Parzelle der Sorte Refusa Nova konnten N<sub>Boden</sub>-Werte und N<sub>Atmosphäre</sub>-Werte von 59,0 und 118,7 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt werden. Der Ndfa-Wert lag bei 66,8 %.

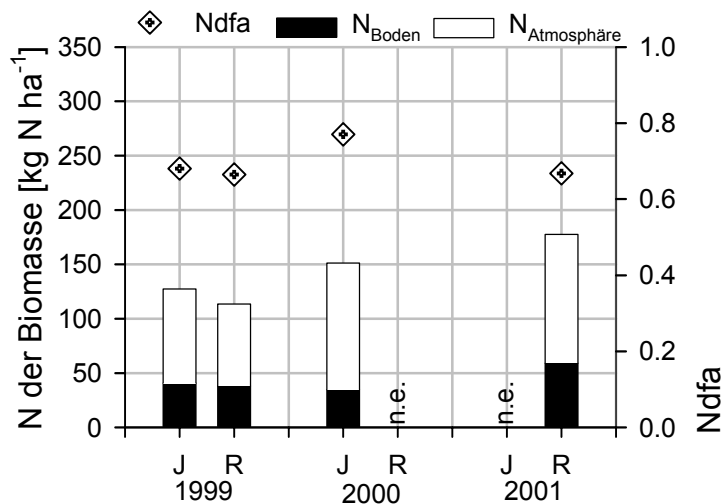


Abb. 74: Groß Malchau – N-Quellen (N<sub>Atmosphäre</sub> und N<sub>Boden</sub>), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse von *Lupinus luteus* der Sorten Juno (J) und Refusa Nova (R) ; n.e. = nicht erhoben

### 4.21 Vergleich der mit Hilfe von $\delta^{15}\text{N}$ - und erweiterter Differenzmethode ermittelten $\text{N}_2$ -Fixierung bei *Lupinus luteus*

Der Vergleich der Schätzergebnisse von *Lupinus luteus* (Abb. 75), die mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode ermittelt wurden (Abszisse) zu denen, deren Ergebnisse aus der Schätzung mit der erweiterten Differenzmethode stammen (Ordinate), ergaben eine hohe Korrelation beider Schätzmethode mit einem Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,90$ . Mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode wurden im Mittel über die Sorten und Jahre in Borwede und Groß Malchau  $N_{\text{Atmosphäre}}$ -Werte von 186,7 und 96,2  $\text{kg N ha}^{-1}$  ermittelt, denen Schätzergebnisse aus der erweiterten Differenzmethode von 231,5 und 116,6  $\text{kg N ha}^{-1}$  gegenüberstehen. In 4 Fällen wurden für den Standort Borwede mit der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode höhere  $\text{N}_2$ -Fixierleistungen von *Lupinus luteus* ermittelt als mit der erweiterten Differenzmethode.

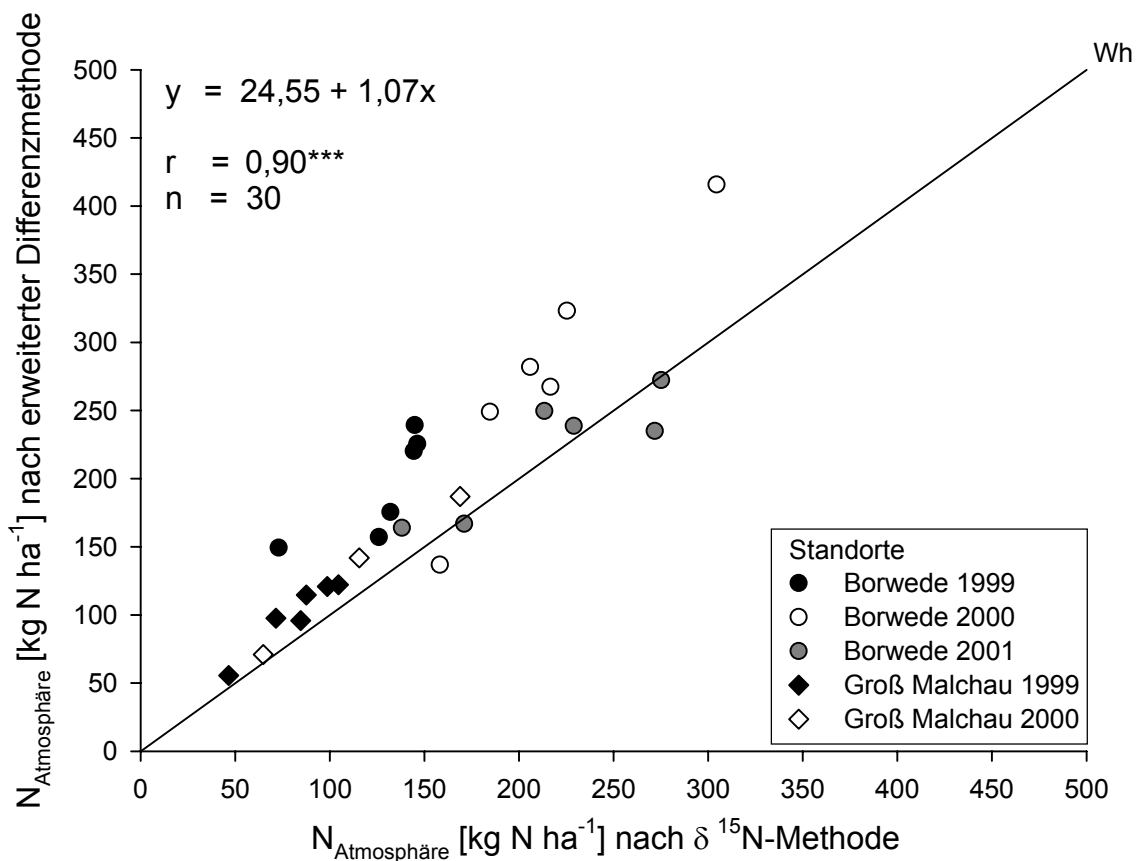


Abb. 75: *Lupinus luteus* - Korrelation der Ergebnisse zur Schätzung der symbiotischen  $\text{N}_2$ -Fixierleistung im Mittel der Sorten Juno und Refusa Nova, ermittelt nach  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (x) und erweiterter Differenzmethode (y) aller Standorte der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001; Wh = Winkelhalbierende

## **5 Körnerleguminosen im Gemengeanbau – Ertrags- und Stickstoffdaten des Ackerbohne/Hafer-Gemenges und des Erbse/Hafer-Gemenges in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN)**

Im Folgenden werden die Daten aus dem Anbau der Körnerleguminosen *Vicia faba* (Sorte Scirocco) und *Pisum sativum* (Sorte Eiffel) im Gemengeanbau mit dem nicht-nodulierenden Partner *Avena sativa* (Sorte Lutz) dargestellt. Nach der zweifaktoriellen Überprüfung (Standort und Jahr) der Daten erfolgt die Darstellung der einzelnen Parameter sortiert nach Standorten mit Hilfe von Säulendiagrammen. Der Aufbau der Darstellungen ist beim Ackerbohne/Hafer-Gemenge und beim Erbse/Hafer-Gemenge identisch. Die zwei linken Säulen der Jahresgruppierung (z.B. Abb. 76) stellen jeweils die Nutzungsvariante Ganzpflanzensilage mit den Bestandteilen Schnittgut (SG), Stoppel und Wurzel der Gemengepartner Ackerbohne (Sorte Scirocco) und Hafer (Sorte Lutz) zusammen. Die zwei rechten Säulen der Gruppen stellen die TM-Daten der KN mit den Bestandteilen Stroh, Korn und Wurzel der Gemengepartner aus der KN dar.

### **5.1 Trockenmasse-Erträge des Ackerbohne/Hafer-Gemenges**

In dem Projekt wurde mit dem Prüfglied Ackerbohne/Hafer-Gemenge der Einfluss der Standorte und Jahre auf die Erträge und die N<sub>2</sub>-Fixierleistung im Gemengeanbau geprüft. Geprüft wurde bei den Ackerbohnen die Sorte Scirocco mit der Sorte Lutz (Hafer) als nichtlegumer Gemengepartner. Hierbei wurden die in der Praxis gängigen Nutzungsvarianten des Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und eines Gemenges zur Körnernutzung (KN) getestet. Hinsichtlich der Trockenmasse- und Stickstoff-Flächenbilanz besteht ein Unterschied im Nutzungszeitpunkt (Nutzung als GPS zu BBCH 79 und bei KN zu BBCH 92) in den von der Fläche abgefahrenen N-Mengen. Die Nutzung als GPS bedingt dabei deutlich geringere residuale N-Mengen (Wurzel und Stoppel) als die KN (Wurzel, Stroh und Spreu). In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Nutzungsvarianten separat behandelt. Die Bestandteile des Gemenges Ackerbohne und Hafer werden im Rahmen der statistischen Berechnung einzeln beschrieben.

### 5.1.1 Zweifaktorielle Varianzanalyse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS)

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse der Trockenmasse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges aus der Nutzung als GPS beschrieben. Tab. 42 und Tab. 43 zeigen die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und des Mittelwertvergleichstests bei Ganzpflanzensilagenutzung der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001. Jeweils im linken Teil befinden sich die Ergebnisse der Ackerbohnen im Gemenge, im rechten Teil sind die des Hafers im Gemenge aufgeführt. Unter Schnittgut werden die Bestandteile zusammengefasst, die bei BBCH 79 (Stroh und unreifes Korn) von den Flächen als Erntegut abgeführt wurden.

In der Schnittgut-TM des Gemengepartners Ackerbohne wurden signifikante Differenzen zwischen den Versuchsstandorten und sehr hoch signifikante Differenzen zwischen den Versuchsjahren ermittelt (Tab. 42). Auch die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort war sehr hoch signifikant. Am Standort Föhrste konnte vom Versuchsjahr 2000 auf 2001 eine Steigerung in der Schnittgut-TM des Gemengepartners Ackerbohne um 118,7 % festgestellt werden, während in diesem Zeitraum für den Standort Göttingen eine Reduktion in der Schnittgut-TM um 25,1 % ermittelt wurde. Die Effekte der Wechselwirkungen zwischen Jahr und Ort auf die TM-Erträge der Ackerbohnenstoppeln waren hoch signifikant. Am Standort Borwede sank die Stoppel-TM von 2000 auf 2001 um 16,34 %, wohingegen am Standort Föhrste eine Steigerung der Stoppel-TM um 113,9 % festgestellt werden konnte. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort auf die TM-Erträge der Ackerbohnenwurzeln war sehr hoch signifikant. Die Wurzel-TM des Gemengepartners Ackerbohne zur Nutzung als GPS nahm am Standort Göttingen von 2000 auf 2001 um 55,1 % ab. Für den Standort Groß Malchau konnte in diesem Zeitraum ein Zuwachs in der Wurzel-TM von 109,9 % ermittelt werden.

Der Mittelwertvergleichstest der Ackerbohnen-Daten ergab signifikante Differenzen in der Schnittgut-TM zwischen den Standorten Borwede und Groß Malchau und zwischen dem Versuchsjahr 2000 und den Versuchsjahren 1999 und 2001 ( $\alpha = 0,001$ ). Die Mittelwerte der Stoppel-TM zeigte mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 1 % ( $\alpha = 0,01$ ) signifikante Unterschiede zwischen den Standorten Borwede und Groß Malchau.

Die TM-Erträge des Gemengepartners Hafer zeigten in den Stoppeln signifikante Differenzen zwischen den Jahren. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort auf die Wurzel-TM des Hafers war hoch signifikant. So konnten zwischen den Versuchsjahren 2000 und 2001 eine Reduzierung der Wurzel-TM am Standort Borwede um 59,5 % ermittelt werden, während am Standort Göttingen eine Steigerung um 46,3 % festgestellt wurde. Hoch signifikant verschieden waren die TM-Harvest-Indizes. Die

TM-Daten des Gemengepartners Hafer zeigten beim Vergleich der Mittelwerte in keinem der geprüften Parameter signifikante Differenzen.

Tab. 42: Ackerbohne/Hafer-Gemenge: Ganzpflanzensilage - Vergleich der Trockenmasse-Erträge der Standorte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001; zweifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Ackerbohne			Hafer		
	Ort	Jahr	Jahr x Ort	Ort	Jahr	Jahr x Ort
TM Schnittgut	*	***	***	n.s.	n.s.	n.s.
TM Stoppel	n.s.	n.s.	**	n.s.	*	n.s.
$H_{TMBt}^1$	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.

n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , <sup>1</sup>ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt

Tab. 43: Ackerbohne/Hafer-Gemenge: Ganzpflanzensilage – Tukey-Test der Mittelwerte der Erträge an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Versuchsjahre 1999 bis 2001

Tukey	Ackerbohne							Hafer						
	Ort				Jahr			Ort				Jahr		
	B	F	G	M	1999	2000	2001	B	F	G	M	1999	2000	2001
TM Schnittgut	a	ab	ab	b	a <sup>3</sup>	b <sup>3</sup>	a <sup>3</sup>	a	a	a	a	a	a	a
TM Stoppel	a <sup>2</sup>	ab <sup>2</sup>	ab <sup>2</sup>	b <sup>2</sup>	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
$H_{TMBt}^1$	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a

Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, <sup>1</sup>ohne Blattfall, <sup>2</sup> $\alpha = 0,01$ , <sup>3</sup> $\alpha = 0,001$ , nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

### 5.1.2 Zweifaktorielle Varianzanalyse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Körnernutzung (KN)

Tab. 44 und Tab. 45 zeigen die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und des Mittelwertvergleichstests der KN des Ackerbohne/Hafer-Gemenges aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001. Die Ergebnisse der Überprüfung der Ackerbohnenbestandteile im Gemenge befinden sich jeweils auf der linken Seite der Tabellen, die der Haferbestandteile im Gemenge jeweils auf der rechten Seite. Die Stroherträge beinhalten bei dieser Nutzungsvariante die Halm-, Blatt- und Spreu-TM. Die zweifaktorielle Varianzanalyse ergab, dass die Stroh-TM der Ackerbohnen zwischen den Jahren sehr hoch signifikante Differenzen aufwiesen. Ebenfalls sehr hoch signifikant war die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. So nahm die Stroh-TM der Ackerbohnen am Standort Borwede von 2000 auf 2001 um 61,2 % zu, hingegen war für den Standort Göttingen in diesem Zeitraum eine Abnahme in der Stroh-TM der Ackerbohnen von 25,8 % zu verzeichnen. Die Korn-TM der Ackerbohne war zwischen den Jahren hoch signifikant verschieden. Ebenfalls sehr hoch signifikant verschieden war die Wechselwirkung der Kornenerträge der Ackerbohnen zwischen Jahr und Ort. Für den Standort Borwede konnten im Jahr 2001 um 124,9 % höhere Korn-TM-Erträge festgestellt werden als für das Jahr 2000. Die Korn-TM-Erträge der Ackerbohne am Standort Göttingen nahmen in diesem Zeitraum um 29,5 % ab. Die Wurzel-TM der Ackerbohnen zeigte hoch signifikante Unterschiede zwischen den Jahren und eine signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. Am Standort Föhrste stieg die Wurzel-TM des Gemengepartners Ackerbohne von 2000 auf 2001 um 24,9 %, während am Standort Göttingen in diesem Zeitraum eine Reduzierung um 31,3 % zu verzeichnen war. Signifikante Differenzen zeigten sich auch im TM-Harvest-Index zwischen den Jahren und in der Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. Am Standort Göttingen sank der TM-Harvest-Index vom Jahr auf 2001 2,4 Prozentpunkte, während in dieser Zeit in Groß Malchau ein Anstieg um 10,4 Prozentpunkte zu verzeichnen war. Der Mittelwertvergleichstest (Tukey-Test) ergab für die Korn-TM der Ackerbohnen signifikant verschiedene Werte zwischen den Orten Göttingen und Groß Malchau und signifikante Differenzen mit  $\alpha = 0,01$  zwischen den Jahren 2000 und 2001.

Für die Stroh-TM-Erträge des Gemengepartners Hafer wurden signifikante Differenzen zwischen den Jahren und eine sehr hoch signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort ermittelt. Am Standort Föhrste nahm die Stroh-TM vom Versuchsjahr 2000 auf 2001 um 51,7 % ab. In diesem Zeitraum war in Groß Malchau eine Zunahme der Stroh-TM um 68,7 % zu verzeichnen. Bei der Korn-TM des Hafers konnte zwischen den Jahren eine signifikante Differenz ermittelt werden. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort war sehr hoch signifikant. Die Korn-TM-Erträge des Hafers am Standort Göttingen stiegen im Vergleich der Jahre 2000 und 2001 um 224,8 % an. Hingegen war am Standort Groß Malchau im gleichen Zeitraum eine

Reduktion der Korn-TM des Hafers um 27,3 % zu verzeichnen. Die Trockenmasse der Haferwurzeln zeigte eine sehr hohe Signifikanz der Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. Für den Standort Borwede wurde im Vergleich der Jahre 2000 und 2001 eine Zunahme der Wurzel-TM des Hafers um 6,0 % festgestellt, wohingegen die Wurzel-TM des Hafers am Standort Göttingen in diesem Zeitraum um 55,2 % abnahm. Der TM-Harvest-Index ( $H_{\text{TMBt}}$ ) des Hafers zur KN wies zwischen den Jahren sehr hoch signifikante Differenzen auf. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort war wiederum sehr hoch signifikant. Für den Versuchsstandort Borwede wurde eine Steigerung des  $H_{\text{TMBt}}$  des Hafers im Vergleich der Jahre 2000 und 2001 um 10,5 Prozentpunkte festgestellt, während der  $H_{\text{TMBt}}$  am Standort Groß Malchau im dritten Versuchsjahr 18,4 Prozentpunkte niedriger lag als im zweiten Versuchsjahr. Im Tukey-Test der Hafer-Daten zeigten sich signifikante Differenzen zwischen den Jahren 1999 und 2001 in den Mittelwerten der Wurzel-TM und zwischen den Jahren 2000 und 2001 im TM-Harvest-Index.

Tab. 44: Ackerbohne/Hafer-Gemenge: Körnernutzung - Vergleich der Trockenmasse-Erträge der Standorte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001; zweifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Ackerbohne			Hafer		
	Ort	Jahr	Jahr x Ort	Ort	Jahr	Jahr x Ort
TM Stroh	n.s.	***	***	n.s.	*	***
TM Korn	n.s.	**	***	n.s.	*	***
$H_{\text{TMBt}}^1$	n.s.	*	*	n.s.	***	***

n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , <sup>1</sup>ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt

Tab. 45: Ackerbohne/Hafer-Gemenge: Körnernutzung – Tukey-Test der Mittelwerte der Erträge an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Versuchsjahre 1999 bis 2001

Tukey	Ackerbohne							Hafer						
	Ort				Jahr			Ort				Jahr		
	B	F	G	M	1999	2000	2001	B	F	G	M	1999	2000	2001
TM Stroh	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	ab	b
TM Korn	ab	ab	a	b	ab <sup>2</sup>	b <sup>2</sup>	a <sup>2</sup>	a	a	a	a	a	a	a
$H_{\text{TMBt}}^1$	#	#	#	#	#	#	#	a	a	a	a	ab	a	b

Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, <sup>1</sup>ohne Blattfall, <sup>2</sup> $\alpha = 0,01$ , nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt



### 5.1.3 Standort Borwede

Abb. 76 fasst die TM-Daten und den TM-Harvest-Index ( $H_{\text{TMBl}}$ ) des Ackerbohne/Hafer-Gemenges am Standort Borwede der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 zusammen. Im Kopf der Abbildung befinden sich die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse aus der Nutzung des Ackerbohne/Hafer-Gemenges als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN). In den drei Versuchsjahren erzielte mit  $62,9 \text{ dt TM ha}^{-1}$  im Mittel der Gemengepartner Ackerbohne im Vergleich zum Gemengepartner Hafer mit  $32,8 \text{ dt TM ha}^{-1}$  in der GPS höhere Schnittgut-TM-Erträge. Auch die Stoppel-TM der Ackerbohne lag im Mittel der drei Versuchsjahre mit  $6,5 \text{ dt TM ha}^{-1}$  über der des Hafers mit  $3,4 \text{ dt TM ha}^{-1}$ . Hingegen war die Wurzel-TM des Gemengepartners Hafer im Untersuchungsjahr 2000 mit  $14,0 \text{ dt TM ha}^{-1}$  höher als die des Gemengepartners Ackerbohne mit  $4,3 \text{ dt TM ha}^{-1}$ . Im Mittel der drei Versuchsjahre erzielte die Ackerbohne am Standort Borwede zur GPS eine Wurzel-TM von  $6,9 \text{ dt TM ha}^{-1}$ , der Gemengepartner Hafer erreichte eine Wurzel-TM von  $9,4 \text{ dt TM ha}^{-1}$ . Der TM-Harvest-Index des Gemengepartners Ackerbohne erzielte mit  $82,9 \%$  im Vergleich um Gemengepartner Hafer mit  $71,2 \%$  höhere Werte.

Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab sehr hoch signifikante Differenzen in der Schnittgut-TM der drei Untersuchungsjahre beim Gemengepartner Ackerbohne. Hoch signifikant waren die Unterschiede der drei Versuchsjahre in der Wurzel-TM des Gemengepartners Ackerbohne und signifikant beim Gemengepartner Hafer. Zur KN erzielte der Gemengepartner Ackerbohne in den Versuchsjahren 1999 und 2001 deutlich höhere Korn-TM-Erträge als der Gemengepartner Hafer. Im Mittel der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 lagen die Werte der Ackerbohne bei  $35,9 \text{ dt TM ha}^{-1}$ , der Gemengepartner erzielte  $10,0 \text{ dt TM ha}^{-1}$ . Auch in der Stroh-TM lagen die Werte der Ackerbohne ( $44,6 \text{ dt TM ha}^{-1}$ ) im Mittel der drei Versuchsjahre über denen des Hafers ( $18,5 \text{ dt TM ha}^{-1}$ ). Die Wurzel-TM des Gemengepartners Ackerbohne lagen im Mittel der drei Versuchsjahre bei  $10,4 \text{ dt TM ha}^{-1}$ , der Gemengepartner Hafer erzielte  $7,0 \text{ dt TM ha}^{-1}$ . Der TM-Harvest-Index der Ackerbohne im Gemenge zur KN wurde mit  $71,2 \%$  ermittelt, der des Gemengepartners Hafer lag bei  $26,5 \%$ . Die statistische Überprüfung der Mittelwerte ergab sehr hoch signifikante Differenzen zwischen den drei Versuchsjahren in der Stroh-TM des Gemengepartners Ackerbohne und signifikante Differenzen in der Korn-TM beider Gemengepartner.

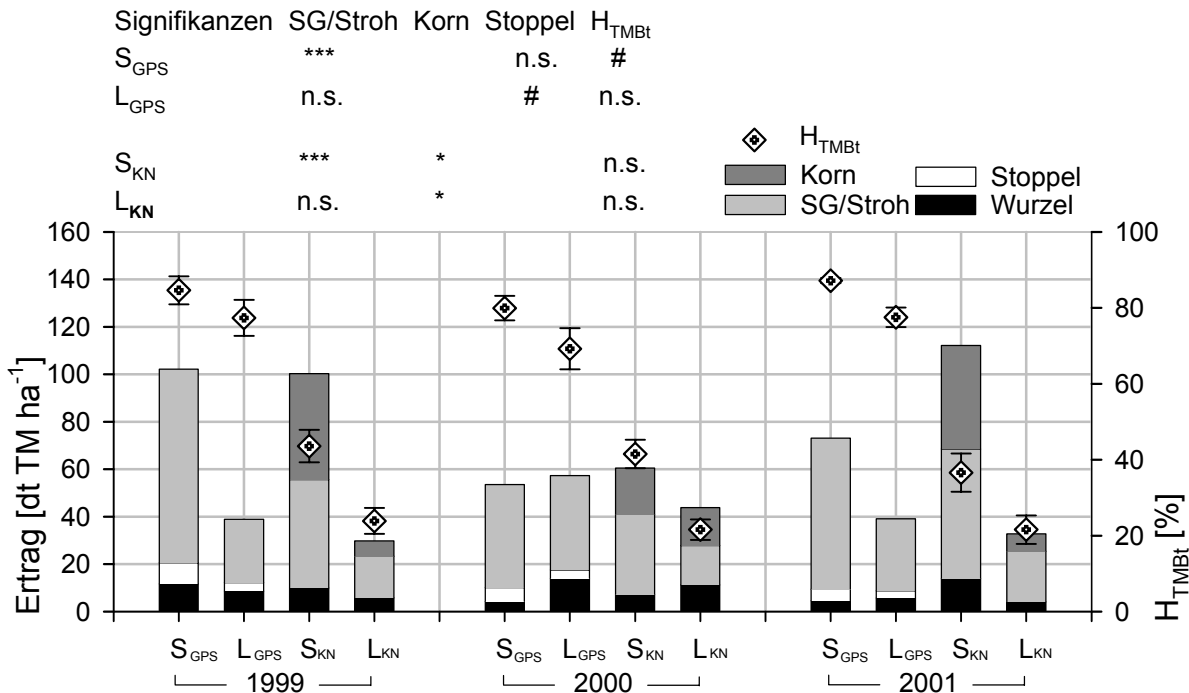


Abb. 76: Borwede – Erträge und TM-Harvest-Index ( $H_{TMbt}$ ) der gesamten Biomasse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges mit den Gemeengepartnern Ackerbohne, Sorte Scirocco (S) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage ( $_{GPS}$ ) und Körnernutzung ( $_{KN}$ ); einfaktorielle Varianzanalyse: SG = Schnittgut der Ganzpflanzensilage, Stroh = Körnernutzung, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

### 5.1.4 Standort Föhrste

In Abb. 77 sind die TM-Erträge des Ackerbohne/Hafer-Gemenges am Standort Föhrste der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 und der TM-Harvest-Index ( $H_{TMbt}$ ) dargestellt. Die einfaktorielle Varianzanalyse erfolgte aufgrund des Flächenwechsels nach 1999 lediglich anhand der Daten aus 2000 und 2001. Die Summe der gesamtpflanzlichen Biomasse der Gemeengepartner Ackerbohne und Hafer des Jahres 1999 mit 60,0 bzw. 55,4 dt TM ha<sup>-1</sup> bewegte wie auch der TM-Harvest-Index auf etwa gleichem Niveau mit einer auffälligen Differenz in der Wurzel-TM. Die TM-Daten des Ackerbohne/Hafer-Gemenges aus den Untersuchungsjahren 2000 und 2001 waren wenig homogen. Die TM-Erträge des Gemeengepartners Ackerbohne fielen im Untersuchungsjahr 2000 deutlich geringer aus als die des Gemeengepartners Hafer. Im Versuchsjahr 2001 verhielt es sich gegenläufig. Auch in den Pflanzenbestandteilen ließ sich keine jahresunabhängige Dominanz eines Gemeengepartners feststellen. Im Mittel der Versuchsjahre 2000 und 2001 wurden für die Bestandteile der Ackerbohne Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln TM-Erträge von 37,9, 5,0 und 7,9 dt TM ha<sup>-1</sup> ermittelt, die Mittelwerte des Gemeengepartners Hafer lagen 2000 und 2001 bei 26,9, 3,9,

und 9,9 dt TM ha<sup>-1</sup>. Der TM-Harvest-Index des Gemengepartners Ackerbohne lag in 2000 und 2001 höher als der des Gemengepartners Hafer. Der Mittelwert über die beiden Jahre wurde bei der Ackerbohne mit 76,3 %, der des Hafers mit 64,9 % ermittelt.

Die Korn-, Stroh- und Wurzel-TM der Gemengepartner Ackerbohne und Hafer zur KN wurden im Versuchsjahr 1999 mit 23,7, 39,7, 7,6 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 13,4, 24,9 und 7,9 dt TM ha<sup>-1</sup> ermittelt. Auch zur KN zeigte sich im Ackerbohne/Hafer-Gemenge keine Tendenz in den TM-Erträgen der Pflanzenbestandteile. Im Mittel der Jahre 2000 und 2001 wurden für den Gemengepartner Ackerbohne in Korn, Stroh und Wurzel 35,6, 40,7 und 8,8 dt TM ha<sup>-1</sup>, für den Gemengepartner Hafer wurden 11,8, 14,7, 2,4 dt TM ha<sup>-1</sup> festgestellt.

Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab für das Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur GPS hoch signifikante Differenzen im Ackerbohne-Schnittgut und signifikante Differenzen in der Wurzel-TM zwischen den Versuchsjahren 2000 und 2001. Die Differenzen zwischen der Schnittgut-TM und der Stoppel-TM des Gemengepartners Hafer waren signifikant. Zur KN zeigten sich bei Ackerbohne im Stroh und im Korn hoch signifikante Differenzen. Bei Hafer wurden im Stroh signifikante Differenzen und bei Korn, Stoppel, Wurzel und TM-Harvest-Index hoch signifikante Differenzen festgestellt.

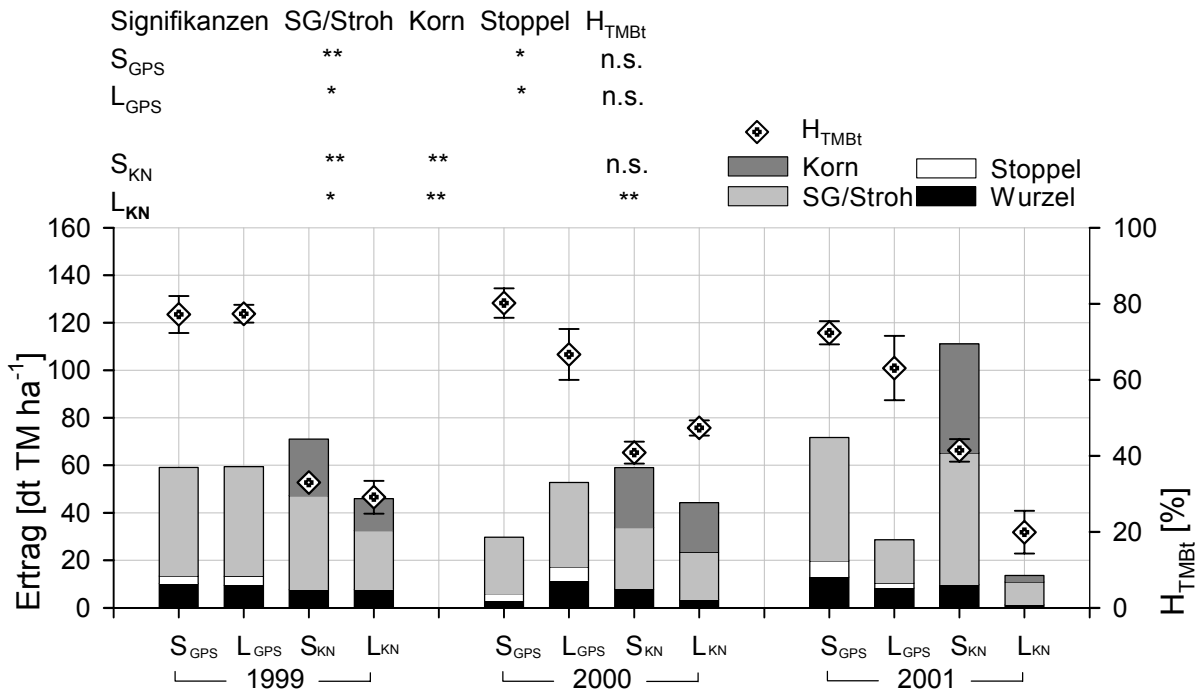


Abb. 77: Föhrste – Erträge und TM-Harvest-Index ( $H_{TMbt}$ ) der gesamten Biomasse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges mit den Gemegepartnern Ackerbohne, Sorte Scirocco (S) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage ( $_{GPS}$ ) und Körnernutzung ( $_{KN}$ ); einfaktorielle Varianzanalyse: SG = Schnittgut der Ganzpflanzensilage, Stroh = Körnernutzung, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

### 5.1.5 Standort Göttingen

Abb. 78 zeigt die TM-Erträge des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN) der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 am Standort Göttingen. Oberhalb der Abbildung sind die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse zusammengefasst. In der GPS wurden in den drei Versuchsjahren beim Gemegepartner Ackerbohne höhere TM-Erträge ermittelt als beim Gemegepartner Hafer. Höhere TM-Erträge ergaben sich auch im Stroh der Ackerbohne. Für die Pflanzenbestandteile Stoppeln und Wurzeln waren keine einheitlichen Tendenzen erkennbar. Die TM-Mittelwerte von Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln des Gemegepartners Ackerbohne betragen 38,2, 3,6 und 7,5 dt TM ha<sup>-1</sup>. Für den Gemegepartner Hafer waren es 22,5, 2,5 und 8,3 dt TM ha<sup>-1</sup>. Der TM-Harvest-Index lag in den drei Versuchsjahren beim Gemegepartner Ackerbohne (77,8 %) höher als bei Hafer (68,2 %). Die einfaktorielle Varianzanalyse der GPS-Daten ergab signifikante Differenzen in der Stoppel-TM beider Gemegepartner und in der Schnittgut-TM des Hafers. Hoch signifikant verschieden war die TM-Daten des Ackerbohnestrohs zwischen den Jahren.

Zur KN des Ackerbohne/Hafer-Gemenges am Standort Göttingen wurden auch für den Gemengepartner Ackerbohne deutlich höhere (2000 und 2001) oder gleich hohe gesampflanzliche TM-Erträge (1999) ermittelt. Die Ackerbohne erzielte 1999, 2000 und 2001 deutlich höhere Korn-TM-Erträge von im Mittel 44,6 dt TM ha<sup>-1</sup> als Hafer mit 15,4 dt TM ha<sup>-1</sup>. Die Stroh-TM-Erträge des Versuchsjahres 1999 lagen bei Hafer (56,9 dt TM ha<sup>-1</sup>) höher als bei Ackerbohne (36,1 dt TM ha<sup>-1</sup>). Die Wurzel-TM der Ackerbohne mit 8,8 dt TM ha<sup>-1</sup> übertraf die des Hafers mit 5,0 dt TM ha<sup>-1</sup> in allen drei Versuchsjahren. Der Anteil der von der gesampflanzlichen Biomasse abgeführten TM übertraf beim Gemengepartner Ackerbohne mit 48,3 % auch in der KN den Anteil der bei Hafer vorlag (32,6 %). Die einfaktorische Varianzanalyse der Daten zur KN ergab zwischen den Jahren signifikante Differenzen in der Stroh-TM und hoch signifikante Differenzen in der Korn- und Wurzel-TM und dem TM-Harvest-Index des Gemengepartners Hafer.

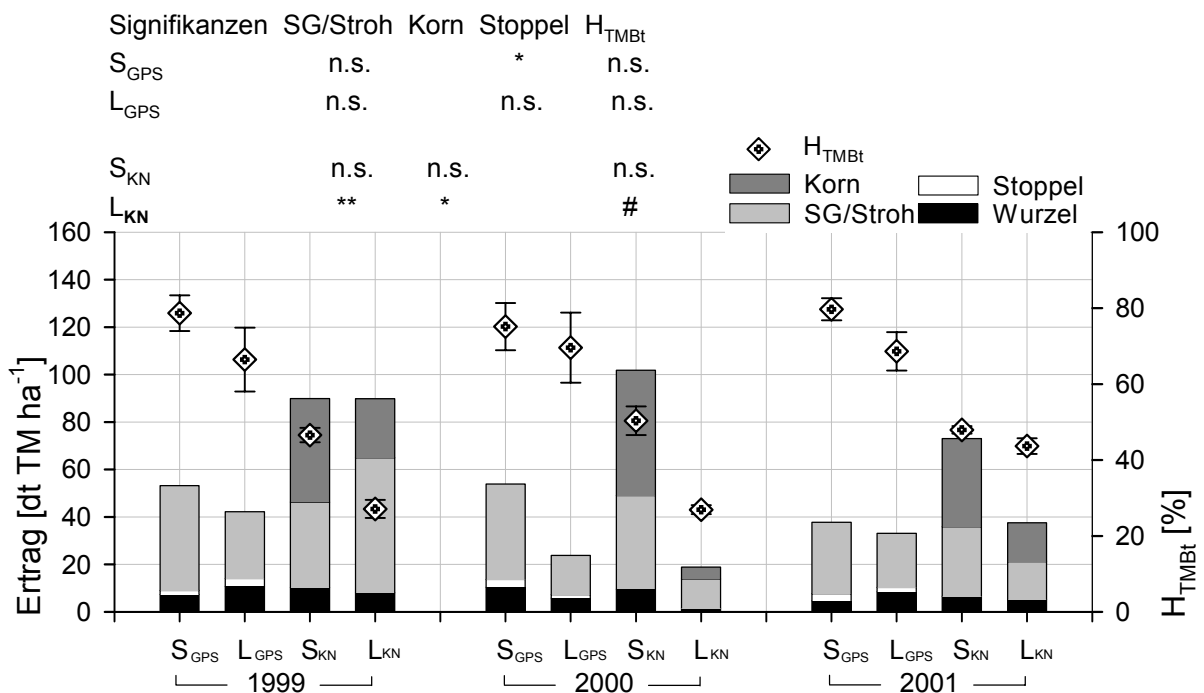


Abb. 78: Göttingen – Erträge und TM-Harvest-Index (H<sub>TMbt</sub>) der gesamten Biomasse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges mit den Gemengepartnern Ackerbohne, Sorte Scirocco (S) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN); einfaktorische Varianzanalyse: SG = Schnittgut der Ganzpflanzensilage, Stroh = Körnernutzung, \* = P < 0,05, \*\* = P < 0,01, n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

### 5.1.6 Standort Groß Malchau

In Abb. 79 sind die TM-Erträge und der TM-Harvest-Index des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN) der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 am Standort Groß Malchau zusammengefasst. Oberhalb der Abbildung befinden sich die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse. In den drei Versuchsjahren erzielte der Gemengepartner Hafer sowohl zur GPS als auch zur KN höhere gesamt-pflanzliche TM-Erträge als der Gemengepartner Ackerbohne. Mit 11,2 dt TM ha<sup>-1</sup> fiel die Menge der Hafer-Wurzeln im Gegensatz zu den Ackerbohnen-Wurzeln mit 4,2 dt TM ha<sup>-1</sup> im Mittel der Versuchsjahre verhältnismäßig hoch aus. Lediglich im Versuchsjahr 1999 lag die Schnittgut-TM der Ackerbohne und damit der TM-Harvest-Index zur GPS über der des Hafers. Die Schnittgut- und Stoppel-TM bzw. der TM-Harvest-Index des Gemengepartners Ackerbohne wurden im Mittel der drei Versuchsjahre mit 22,1 und 2,5 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 76,6 %, die Werte des Gemengepartners Hafer betragen 30,3 und 3,2 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 68,0 %. Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab signifikante Differenzen in der Stoppel-TM und im TM-Harvest-Index des Gemengepartners Hafer und hoch signifikante Differenzen in der Wurzel-TM des Gemengepartners Ackerbohne.

Zur KN ließen sich im Ackerbohne/Hafer-Gemenge keine einheitlichen Tendenzen in der TM der einzelnen Pflanzenbestandteile (Korn, Stroh und Wurzel) feststellen. Im Mittel der drei Versuchsjahre wurden beim Gemengepartner Ackerbohne in Korn, Stroh und Wurzel 12,2, 14,9 und 3,6 dt TM ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die Werte des Gemengepartners Hafer lagen bei 14,8, 25,2 und 4,2 dt TM ha<sup>-1</sup>. Der TM-Harvest-Index des Gemengepartners Hafer erreichte in den Versuchsjahren 1999 und 2000 höhere Werte als der des Gemengepartners Ackerbohne. Im Mittel der Versuchsjahre wurden von der gesamt-pflanzlichen Biomasse der Ackerbohne mit 36,8 % und des Hafers im Gemenge 35,2 % zur KN abgefahren. In der einfaktoriellen Varianzanalyse zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Jahren in der Korn-TM des Gemengepartners Ackerbohne und in der Stroh-TM des Gemengepartners Hafer.

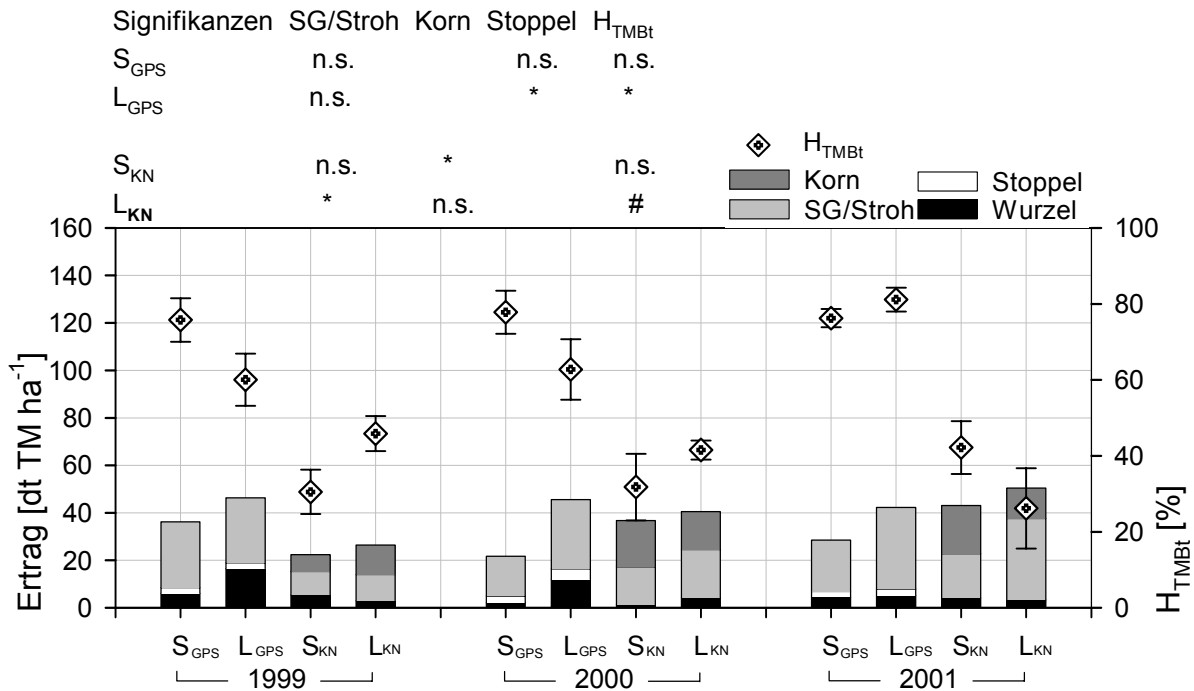


Abb. 79: Groß Malchau – Erträge und TM-Harvest-Index ( $H_{TMbt}$ ) der gesamten Biomasse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges mit den Gemeindepartnern Ackerbohne, Sorte Scirocco (S) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage ( $_{GPS}$ ) und Körnernutzung ( $_{KN}$ ); einfaktorielles Varianzanalyse: SG = Schnittgut der Ganzpflanzensilage, Stroh = Körnernutzung, \* =  $P < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

## 5.2 Stickstoff-Erträge des Ackerbohne/Hafer-Gemenges

### 5.2.1 Zweifaktorielle Varianzanalyse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS)

Die in Tab. 46 und Tab. 47 zusammengefassten Daten stammen aus der zweifaktoriellen Varianzanalyse der Stickstoff-Mengen des Ackerbohne/Hafer-Gemenges der Jahre 1999, 2000 und 2001 zur Nutzung als GPS. Die Daten der Ackerbohne befinden sich in der linken Hälfte der Tabellen, die des Hafers sind in der jeweils rechten Hälfte zusammengefasst. Unter Schnittgut-N sind die nach der Mahd bei BBCH 79 in Stroh und unreifem Korn befindlichen N-Menge zusammengefasst. Die statistische Überprüfung ergab, dass die Daten der Schnittgut-N-Menge des Gemeindepartners Ackerbohne zwischen den Orten und zwischen den Jahren hoch signifikant verschieden waren. Die N-Menge in den Ackerbohnen-Stoppeln wies eine Signifikanz in der Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort auf. Am Standort Föhrste lag die N-Menge in den Ackerbohnen-Stoppeln im Versuchsjahr 2001 um 124,8 % höher als im Vorjahr, während am Standort Göttingen in diesem Zeitraum eine um 31,0 % geringere N-Menge in den Ackerbohnen-Stoppeln ermittelt wurde. Die N-Menge der

Ackerbohnen-Wurzeln zeigte zwischen den Jahren signifikante Differenzen und eine sehr hoch signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. U.a. lag die Wurzel-N-Menge am Standort Föhrste im Jahr 2001 um 314,7 % über denen des Vorjahres, während in Göttingen in diesem Zeitraum die Wurzel-N-Menge des Gemeengepartners Ackerbohne im Vergleich der Jahre 2000 und 2001 zur Nutzung als GPS um 66,3 % geringer war. Die Daten des N-Harvest-Index ( $H_{NBt}$ ) der Ackerbohnen zur Nutzung als GPS konnten wegen fehlender Normalverteilung auch nach Transformation keiner Varianzanalyse unterzogen werden.

Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort der N-Menge im Schnittgut des Gemeengepartners Hafer wies signifikante Differenzen auf. Für den Standort Föhrste wurde von 2000 auf 2001 eine Verminderung der N-Menge im Schnittgut des Gemeengepartners Hafer um 31,4 % festgestellt, während in dieser Zeit am Standort Göttingen eine Steigerung in der N-Menge des Haferstrohs um 12,3 % ermittelt wurde. Ebenfalls signifikant war die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort bei der N-Menge in den Stoppeln des Gemeengepartners Hafer. Hierbei wurde am Standort Göttingen eine Steigerung der N-Menge von 2000 auf 2001 in den Haferstopeln um 8,0 % ermittelt, während diese Steigerung am Standort Groß Malchau mit 172,7 % deutlich höher lag. Signifikant verschieden waren die N-Mengen in den Haferwurzeln zwischen den Jahren und auch in der Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. So wurde am Standort Föhrste im Vergleich der Jahre 2000 und 2001 eine Reduktion der Wurzel-N-Menge um 35,7 % ermittelt, während in diesen zwei Jahren am Standort Göttingen die N-Menge in den Wurzeln zur Nutzung als GPS um 9,4 % zunahm. Der N-Harvest-Index ( $H_{NBt}$ ) des Gemeengepartners Hafer wies hoch signifikante Unterschiede in der Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort auf. Die Erhöhung des N-Harvest-Index am Standort Göttingen betrug von 2000 auf 2001 4,5 Prozentpunkte, während am Standort Groß Malchau eine etwas stärkere Zunahme des N-Harvest-Index um 5,4 Prozentpunkte zu verzeichnen war.

Der Mittelwert-Vergleichstest (Tukey) der N-Menge im Ackerbohnenchnittgut ergab signifikante Unterschiede zwischen den Orten Borwede und Groß Malchau ( $\alpha = 0,01$ ). Mit einem Fehler von 0,1 % ( $\alpha = 0,001$ ) waren die Versuchsjahre 1999 und 2000 voneinander signifikant verschieden. Die N-Menge der Ackerbohnenwurzeln wies zwischen den Jahren 2000 und 2001 signifikante Differenzen auf. Die N-Menge des Gemeengepartners Hafer wies in keinem der geprüften Parameter signifikante Differenzen auf.



Tab. 46: Ackerbohne/Hafer-Gemenge: Ganzpflanzensilage - Vergleich der N-Erträge der Standorte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001; zweifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Ackerbohne			Hafer		
	Ort	Jahr	Jahr x Ort	Ort	Jahr	Jahr x Ort
Schnittgut-N	**	***	n.s.	n.s.	n.s.	*
Stoppel-N	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*
H <sub>NBt</sub> <sup>1</sup>	#	#	#	#	#	#

n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0,05, \*\* = P < 0,01, \*\*\* = P < 0,001, <sup>1</sup>ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt

Tab. 47: Ackerbohne/Hafer-Gemenge: Ganzpflanzensilage - Tukey-Test der Mittelwerte der N-Erträge an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001

	Ackerbohne							Hafer						
	Ort				Jahr			Ort				Jahr		
Tukey	B	F	G	M	1999	2000	2001	B	F	G	M	1999	2000	2001
Schnittgut-N	a <sup>2</sup>	ab <sup>2</sup>	ab <sup>2</sup>	b <sup>2</sup>	a <sup>3</sup>	b <sup>3</sup>	ab <sup>3</sup>	a	a	a	a	a	a	a
Stoppel-N	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
H <sub>NBt</sub> <sup>1</sup>	#	#	#	#	#	#	#	a	a	a	a	a	a	a

Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, <sup>1</sup> ohne Blattfall, <sup>2</sup> α = 0,01, <sup>3</sup> α = 0,001, nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

### 5.2.2 Zweifaktorielle Varianzanalyse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Körnernutzung (KN)

Die in Tab. 48 und Tab. 49 zusammengefassten Daten stammen aus der zweifaktoriellen Varianzanalyse und dem Mittelwertvergleichstest der N-Mengen der Ackerbohnen- und Hafer-Bestandteile der Untersuchungsjahre 1999, 2000 und 2001. Die Stroh-N-Menge der Ackerbohne wies zwischen den Jahren signifikante Differenzen auf. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort war sehr hoch signifikant. So stieg die Stroh-N-Menge der Ackerbohne im Gemenge am Standort Föhrste von 2000 auf 2001 um 108,5 % an, während in diesen Jahren am Standort Göttingen die Stroh-N-Menge um 34,7 % abnahm. Die N-Mengen der Ackerbohnenkörner wiesen signifikante Differenzen zwischen den Orten und eine sehr hoch signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort auf. Während bei den Ackerbohnen für den Korn-N-Ertrag in den Versuchsjahren 2000 und 2001 ein Zuwachs um 63,7 % am Standort Föhrste ermittelt wurde, lagen die Korn-N-Erträge im dritten Versuchsjahr am Standort Göttingen um 24,4 % niedriger als im zweiten Versuchsjahr. Die N-Menge der Ackerbohnenwurzeln zeigte signifikante Unterschiede in der Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. So war am Standort Borwede von 2000 auf 2001 eine Zunahme der N-Menge in den Ackerbohnenwurzeln um 24,3 % zu verzeichnen, während in

diesem Zeitraum am Standort Föhrste eine Reduzierung um 17,9 % erfolgt war. Der N-Harvest-Index konnte wegen fehlender Normalverteilung auch nach Transformation keiner statistischen Analyse unterzogen werden. Im Mittelwertvergleichstest der Stroh-N-Mengen der Ackerbohnen zeigten sich signifikante Unterschiede vom Jahr 2001 zum den vorherigen Versuchsjahren. Ebenso waren die Korn-N-Mengen der Ackerbohnen an den Standorten Göttingen und Groß Malchau signifikant verschieden.

Beim Gemengepartner Hafer waren zur KN die Differenzen zwischen den Stroh-N-Mengen der Jahre signifikant und die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort sehr hoch signifikant verschieden. Hierbei konnte für den Standort Föhrste von 2000 auf 2001 eine Reduktion der N-Menge im Stroh des Gemengepartners Hafer zur KN von 51,7 % ermittelt werden, während in diesen Jahren am Standort Göttingen eine um 29,6 % höhere N-Menge im Haferstroh festgestellt wurde. Es zeigte sich auch eine sehr hoch signifikante Wechselwirkung in den Korn-N-Menge des Hafers zwischen Jahr und Ort. Der ermittelte N-Zuwachs in den Hafer-Körnern vom Untersuchungsjahr 2000 auf 2001 betrug 260,9 %. Am Standort Groß Malchau hingegen war in diesem Zeitraum eine leichte Reduktion im Korn-N-Ertrag des Hafers um 3,9 % zu verzeichnen. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort in der N-Menge in den Haferwurzeln war sehr hoch signifikant. So reduzierte sich die N-Menge in den Haferwurzeln zur KN am Standort Borwede von 2000 auf 2001 um 80,0 %, während am Standort Göttingen für diesen Zeitraum ein Zuwachs von 228,6 % zu verzeichnen war. Der N-Harvest-Index des Gemengepartners Hafer wies zur KN signifikante Unterschiede zwischen den Jahren und sehr hoch signifikante Differenzen in der Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort auf. Am Standort Borwede wies der TM-Harvest-Index von 1999 auf 2000 eine Reduktion um 2,5 Prozentpunkte auf, während am Standort Göttingen in diesem Zeitraum eine Zunahme um 20,7 Prozentpunkte zu verzeichnen war. Der Mittelwertvergleichstest ergab für die N-Mengen der geprüften Haferbestandteile signifikante Unterschiede im TM-Harvest-Index zwischen den Jahren 1999 und 2001.

Tab. 48: Ackerbohne/Hafer-Gemenge: Körnernutzung - Vergleich der N-Erträge der Standorte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001; zweifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Ackerbohne			Hafer		
	Ort	Jahr	Jahr x Ort	Ort	Jahr	Jahr x Ort
Stroh-N	n.s.	*	***	n.s.	*	***
Korn-N	*	n.s.	**	n.s.	n.s.	***
$H_{NBt}^1$	#	#	#	n.s.	***	***

n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , <sup>1</sup>ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt

Tab. 49: Ackerbohne/Hafer-Gemenge (Körnernutzung) - Tukey-Test der Mittelwerte der N-Erträge an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001

Tukey	Ackerbohne							Hafer						
	Ort				Jahr			Ort				Jahr		
	B	F	G	M	1999	2000	2001	B	F	G	M	1999	2000	2001
Stroh-N	a	a	a	a	b	b	a	a	a	a	a	a	a	a
Korn-N	ab	ab	a	b	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
H <sub>NBt</sub> <sup>1</sup>	#	#	#	#	#	#	#	a	a	a	a	b	ab	a

Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, <sup>1</sup>ohne Blattfall, <sup>2</sup> $\alpha = 0,01$ , nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

### 5.2.3 Standort Borwede

Abb. 80 fasst die Ergebnisse der N-Analysen der Gemengepartner Ackerbohne und Hafer zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN) aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 des Standortes Borwede zusammen. Der untere Teil der Abbildung zeigt die N<sub>min</sub>-Werte zur Aussaat und zu den jeweiligen Erntezeitpunkten (GPS und KN). Im Kopf der Abbildung befinden sich die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse der N-Daten. Die N-Menge der Schnittgut-TM des Gemengepartners Ackerbohne belief sich in den drei Versuchsjahren auf 151,6 kg N ha<sup>-1</sup>, die des Gemengepartners Hafer lag im Mittel der drei Versuchsjahre mit 53,9 kg N ha<sup>-1</sup> auf dem gleichen Niveau. Die N-Menge der Stoppeln des Gemengepartners Ackerbohne wurde im Mittel der drei Versuchsjahre mit 5,6 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt, die des Gemengepartners Hafer mit 3,5 kg N ha<sup>-1</sup>. Entsprechend der Wurzel-TM-Erträge lag auch die Wurzel-N-Menge des Gemengepartners Hafer im Versuchsjahr 2000 deutlich über der des Gemengepartners Ackerbohne. Im Mittel wurde für den Gemengepartner Ackerbohne eine Wurzel-N-Menge von 8,6 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt, die des Gemengepartners Hafer lag bei 12,1 kg N ha<sup>-1</sup>. Der N-Harvest-Index der Ackerbohne lag im Mittel mit 91,8 % deutlich über dem Wert des Hafers im Gemenge mit 77,5 %.

Die mit dem Ackerbohnen-Korn vom Feld abgefahrene N-Menge von 152,6 kg N ha<sup>-1</sup> lag deutlich über der des Gemengepartners Hafer von 21,5 kg N ha<sup>-1</sup>. Auch die Stroh-N-Menge des Gemengepartners Ackerbohne lag zur KN im Mittel der drei Versuchsjahre bei 51,1 kg N ha<sup>-1</sup>, wohingegen für den Gemengepartner Hafer lediglich 18,5 kg N ha<sup>-1</sup> im Stroh ermittelt werden konnten. Mit den Ackerbohnen-Wurzeln verblieben zur KN des Ackerbohne/Hafer-Gemenges 7,7 kg N ha<sup>-1</sup> auf der Fläche, die Hafer-Wurzeln hinterließen 6,5 kg N ha<sup>-1</sup>. Der N-Harvest-Index des Gemengepartners Ackerbohne erreichte in den Versuchsjahren 1999 und 2001 höhere Werte als der Gemengepartner Hafer. Im Mittel der drei Versuchsjahre wurden vom Gemengepartner Ackerbohne 62,3 % der gesamt-pflanzlichen N-Menge abtransportiert, vom Gemengepartner Hafer waren es 45,3 % der gesamt-pflanzlichen N-Menge. Die stati-

stische Überprüfung der N-Daten des Ackerbohne/Hafer-Gemenges am Standort Borwede ergab signifikante Differenzen der N-Mengen in Stroh, Stoppel, Wurzel und des N-Harvest-Indexes des Gemengepartners zur GPS. Zur KN waren die N-Menge im Stroh der Ackerbohne und in Korn und Wurzel des Hafers signifikant verschieden.

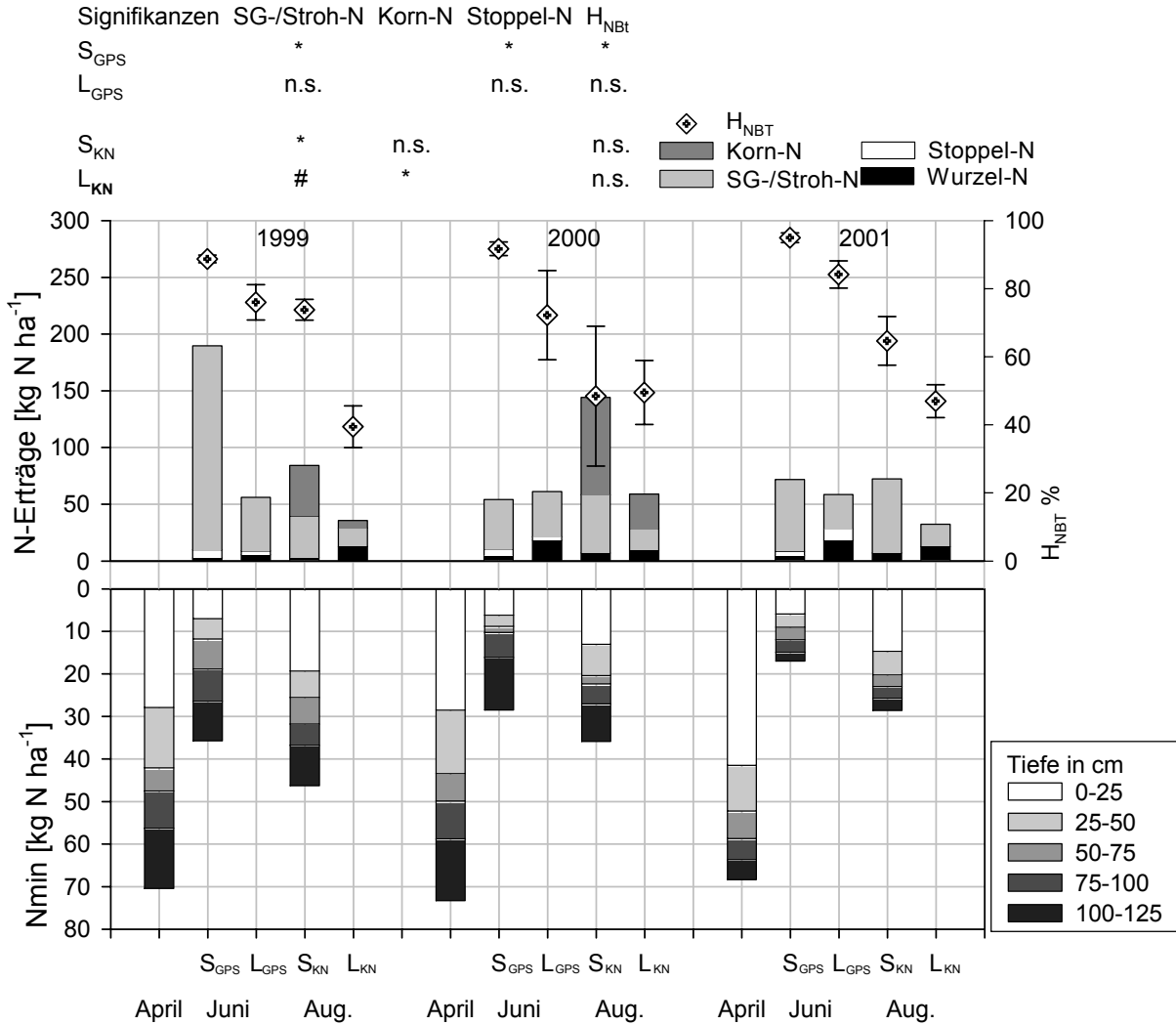


Abb. 80: Borwede – N-Erträge und N-Harvest-Index ( $H_{NBT}$ ) der gesamten Biomasse und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat (April) und zu den Ernten (Juni und August) des Ackerbohne/Hafer-Gemenges mit den Gemengepartnern Ackerbohne, Sorte Scirocco (S) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsva- rianten Ganzpflanzensilage ( $_{GPS}$ ) und Körnernutzung ( $_{KN}$ ); einfaktoruelle Va- rianzanalyse: SG-/Stroh-N = N im Schnittgut zur Ganzpflanzensilage und im Stroh zur Körnernutzung, \* =  $P < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

Das Angebot an mineralischem Stickstoff im Boden von 0 bis 125 cm zur Aussaat war in den drei Versuchsjahren annähernd gleich groß. Verschieden waren jedoch die N<sub>min</sub>-Mengen in den einzelnen Tiefenstufen. Besonders hoch war die N<sub>min</sub>-Menge im April 2001 in der Tiefenstufe 0 bis 25 cm mit mehr als 40 kg N<sub>min</sub>-N ha<sup>-1</sup>. In allen drei Versuchsjahren war das N<sub>min</sub>-Angebot zur Ernte der GPS deutlich geringer als zum Zeitpunkt der KN. Diese höheren N<sub>min</sub>-Werte lassen auf ein großes Mineralisationsvermögen des Bodens am Standort Borwede schließen. Die Tiefenstufe 0 bis 25 cm zum Zeitpunkt der KN enthielt verglichen mit dem Zeitpunkt der GPS in den drei Versuchsjahren wieder deutlich mehr mineralischen Stickstoff.

#### 5.2.4 Standort Föhrste

Abb. 81 stellt in der oberen Hälfte die N-Erträge des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) bzw. Körnernutzung (KN) und den N-Harvest-Index (H<sub>NBt</sub>) der Ackerbohne am Standort Föhrste in den Jahren 1999, 2000 und 2001 dar. Die untere Hälfte zeigt die N<sub>min</sub>-Werte dieses Prüfgliedes zum Zeitpunkt der Aussaat (April) und der Ernte (Juni und August). Im Kopf der Abbildung befinden sich die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse der Daten aus 2000 und 2001. Die Ergebnisse aus 1999 werden auch hier wegen des Flächenwechsels nach 1999 nicht mit den Ergebnissen der Folgejahre verglichen.

Die N-Erträge des Gemengepartners Ackerbohne waren im Versuchsjahr 1999 deutlich größer als die des Gemengepartners Hafer. Die N-Menge in Schnittgut, Stoppel und Wurzel erreichte bei der Ackerbohne 126,3, 2,6 und 11,5 kg N ha<sup>-1</sup>, bei Hafer waren es 52,6, 2,4 und 11,2 kg N ha<sup>-1</sup>. Der N-Harvest-Index der beiden Gemengepartner wurde mit 89,9 und 76,7 % ermittelt.

Zur KN wurden beim Gemengepartner Ackerbohne in Korn, Stroh und Wurzel im Versuchsjahr 1999 96,9, 66,7 und 8,4 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt, beim Gemengepartner Hafer waren es 27,8, 21,9 und 8,5 kg N ha<sup>-1</sup>. Der N-Harvest-Index der Ackerbohne lag zur KN im Jahr 1999 in Föhrste bei 55,4 %, beim Hafer wurden 46,0 % des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs von der Fläche transportiert.

Die N-Menge des Ackerbohne-Schnittguts lag in den Versuchsjahren 2000 und 2001 mit im Mittel 93,4 kg N ha<sup>-1</sup> deutlich über der des Gemengepartners Hafer mit 44,7 kg N ha<sup>-1</sup>. Die N-Menge der Stoppel- und Wurzel-Masse wurde im Mittel der Jahre 2000 und 2001 beim Gemengepartner Ackerbohne mit 4,8 und 9,7 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt, die des Gemengepartners Hafer mit 4,5 und 12,9 kg N ha<sup>-1</sup>. Dementsprechend war der mit dem Schnittgut von der Fläche transportierte N-Anteil an der gesamten Biomasse des Gemengepartners Ackerbohne mit 87,6 % größer als beim Gemengepartner Hafer mit im Mittel 73,2 %.

Die einfaktorielle Varianzanalyse der N-Daten zur GPS zeigte signifikante Unterschiede in der N-Menge in Stroh und Stoppeln und hoch signifikante Differenzen zwischen den Jahren in der N-Menge in den Wurzeln der Ackerbohne. Im Gegensatz zu den TM-Erträgen lassen sich bei den N-Erträgen eindeutige Tendenzen erkennen.

Zur KN der Versuchsjahre 2000 und 2001 wurden beim Gemengepartner Ackerbohne deutlich höhere N-Mengen in den Pflanzenbestandteilen ermittelt als beim Gemengepartner Hafer. Bei Ackerbohne waren es in Korn, Stroh und Wurzel im Mittel der zwei Versuchsjahre 2000 und 2001 151,8, 43,7 und 9,9 kg N ha<sup>-1</sup>, bei Hafer waren es in diesem Zeitraum 24,5, 16,4 und 3,1 kg N ha<sup>-1</sup>. Mit dem Korn wurden in 2000 und 2001 von den Gemengepartnern Ackerbohne bzw. Hafer im Mittel 67,9 bzw. 50,0 % des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs von der Fläche transportiert.

Die statistische Analyse der N-Daten des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur KN ergab signifikante Differenzen zwischen den N-Daten im Stroh und hoch signifikante Differenzen im Korn der Ackerbohne zwischen den Jahren. Für den Gemengepartner Hafer wurden für die N-Menge in Korn und Wurzel hoch signifikante Unterschiede zwischen den Jahren ermittelt, für den N-Harvest-Index signifikante Differenzen.

Das N<sub>min</sub>-Angebot im Boden zur Aussaat im Versuchsjahr 1999 lag aufgrund der Hochwassersituation deutlich unter dem der Jahre 2000 und 2001. Im Jahr 2000 war das Angebot um ca. 25 kg N ha<sup>-1</sup> größer als im Folgejahr. Besonders in den Horizonten bis 50 cm Tiefe wichen die N<sub>min</sub>-Angebote erheblich voneinander ab. Auch am Standort Föhrste kam es nach der Ernte der GPS unter dem Ackerbohne/Hafer-Gemenge zu einer Mineralisation von Bodenstickstoff, die von den Pflanzen nicht genutzt werden konnte. So ist das Bodenprofil in allen drei Untersuchungsjahren durch erhöhte N<sub>min</sub>-Werte in der Tiefenstufe von 0 bis 25 cm zur KN dominiert. Die N<sub>min</sub>-Werte zum Zeitpunkt der Nutzung als GPS wurden in den Jahren 1999, 2000 und 2001 mit 23,7, 14,0 und 36,9 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Zur Körnerernte lagen sie bei 28,6, 15,7, 54,3 kg N ha<sup>-1</sup>.

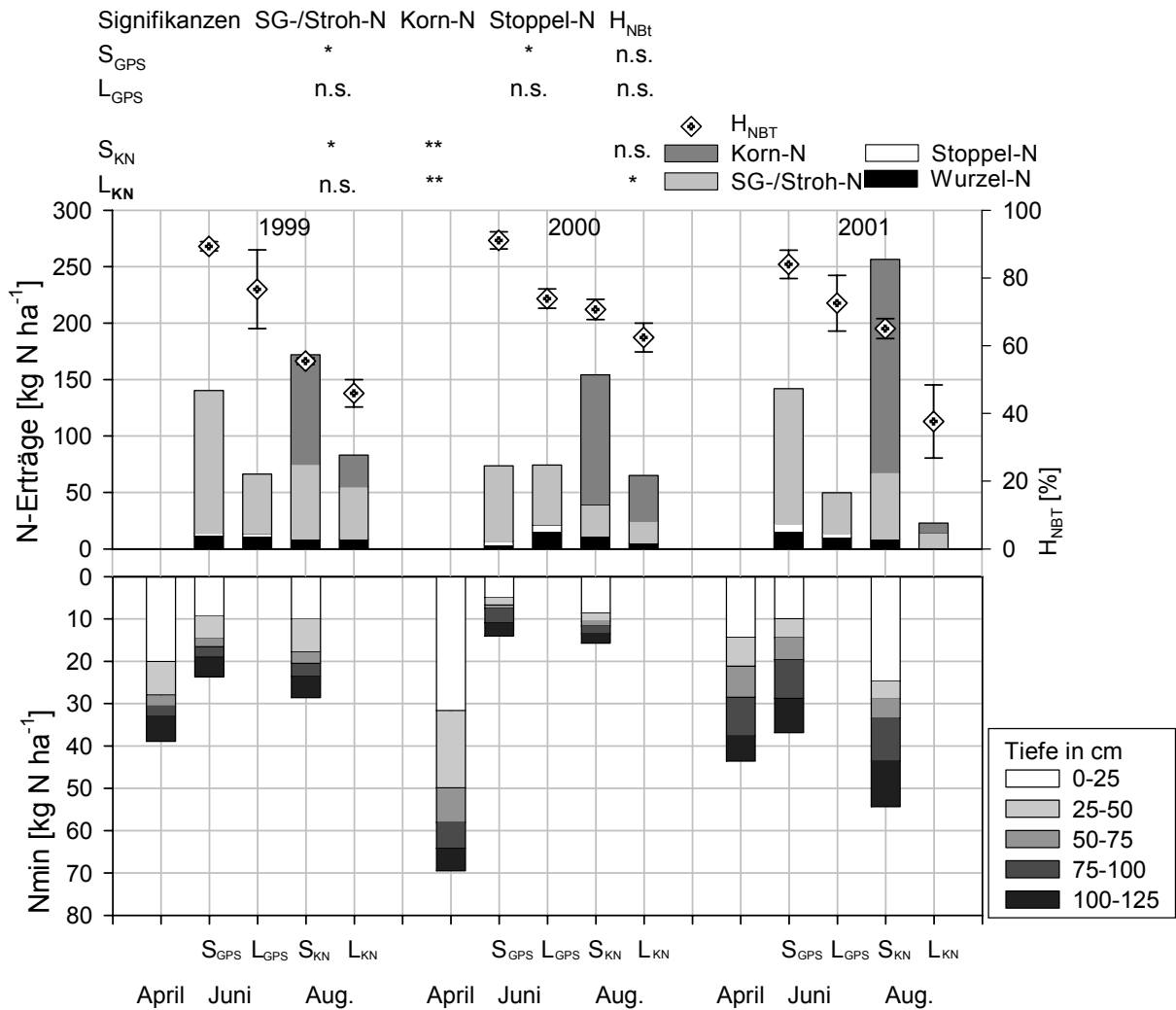


Abb. 81: Föhrste – N-Erträge und N-Harvest-Index (H<sub>NBT</sub>) der gesamten Biomasse und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat (April) und zu den Ernten (Juni und August) des Ackerbohne/Hafer-Gemenges mit den Gemegepartnern Ackerbohne, Sorte Scirocco (S) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN); einfaktorielles Varianzanalyse: SG-/Stroh-N = N im Schnittgut zur Nutzung als Ganzpflanzensilage und im Stroh zur Körnernutzung, \* = P < 0,05, n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

## 5.2.5 Standort Göttingen

Abb. 82 fasst in der oberen Hälfte die N-Erträge des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN) der Jahre 1999, 2000 und 2001 am Standort Göttingen zusammen. In der unteren Hälfte ist die Nmin-Menge des Bodens zur Aussaat (April) und den jeweiligen Ernteterminen (Juni bzw. August) dargestellt. Im Kopf der Abbildung befinden sich die Ergebnisse der einfaktorielles Varianzanalyse.

Wie schon bei den TM-Erträgen zeigten sich beim Gemengepartner Ackerbohne in der GPS auch in der gesamt-pflanzlichen N-Menge höhere Erträge als beim Gemengepartner Hafer. Einzig die N-Menge in den Hafer-Wurzeln übertraf die der Ackerbohnen-Wurzeln. Die N-Mengen in Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln der Ackerbohne wurden im Mittel der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 mit 114,8, 3,4 und 9,3 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die N-Mengen des Hafers lagen in diesen Pflanzenbestandteilen bei 37,3, 2,6 und 9,8 kg N ha<sup>-1</sup>. Im Mittel der drei Versuchsjahre übertraf der N-Harvest-Index zur Nutzung als GPS der Ackerbohne mit 90,5 % den des Hafers mit 75,2 %. Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab für keinen der geprüften Parameter zur GPS signifikante Unterschiede.

Zur KN wurden beim Gemengepartner Ackerbohne in Korn, Stroh, und Wurzel im Mittel der drei Versuchsjahre 198,8, 38,9 und 7,0 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die des Gemengepartners Hafer lagen bei diesen Pflanzenbestandteilen mit 29,3, 17,0 und 3,9 kg N ha<sup>-1</sup> im Mittel der drei Versuchsjahre deutlich darunter. Mit dem Korn des Gemengepartners Ackerbohne wurden im Mittel der drei Versuchsjahre 77,6 % der gesamt-pflanzlichen N-Menge von der Fläche abgefahren. Beim Gemengepartner Hafer waren es 56,1 %. Der Vergleich der N-Mittelwerte zur KN ergab signifikante Differenzen im Stroh-N und Korn-N, sehr hoch signifikante Differenzen im Wurzel-N und hoch signifikante Differenzen zwischen den Jahren im N-Harvest-Index des Gemengepartners Hafer.

Das Nmin-Angebot des Bodens in 0 bis 125 cm Tiefe zur Aussaat im April war in den drei Versuchsjahren sehr verschieden (68,0, 49,4 und 51,2 kg N ha<sup>-1</sup>). Im Gegensatz zu den Standorten Borwede, Föhrste und Groß Malchau wurde am Standort Göttingen nur im Versuchsjahr 2000 ein höherer Nmin-Wert zum Zeitpunkt der KN im Vergleich zum Zeitpunkt der GPS festgestellt. Die residualen Nmin-Mengen im Boden des Standortes Göttingen betragen in den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 zur GPS 32,7, 14,3 und 32,8 kg N ha<sup>-1</sup>. Zur KN wurden 23,4, 24,2 und 32,5 kg Nmin-N ha<sup>-1</sup> ermittelt.



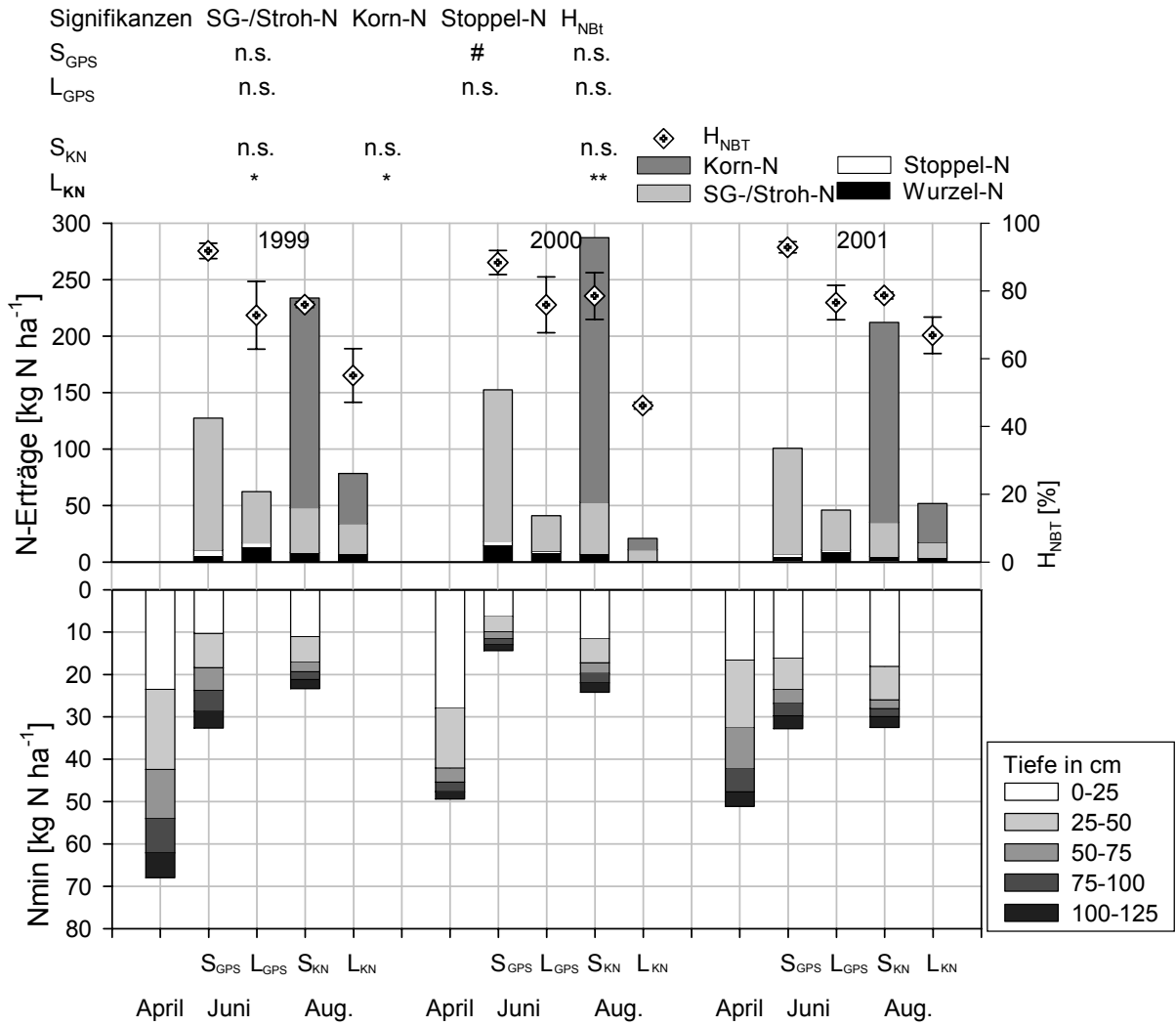


Abb. 82: Göttingen – N-Erträge und N-Harvest-Index ( $H_{NBT}$ ) der gesamten Biomasse und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat (April) und zu den Ernten (Juni und August) des Ackerbohne/Hafer-Gemenges mit den Gemengepartnern Ackerbohne, Sorte Scirocco (S) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage ( $_{GPS}$ ) und Körnernutzung ( $_{KN}$ ); einfaktorielles Varianzanalyse: SG-/Stroh-N = N im Schnittgut zur Nutzung als Ganzpflanzensilage und im Stroh zur Körnernutzung, \* =  $P < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

### 5.2.6 Standort Groß Malchau

Abb. 83 zeigt die N-Erträge der einzelnen Pflanzenbestandteile der Ackerbohne und des Hafers im Gemengeanbau zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN) der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 am Standort Groß Malchau.

Zum Zeitpunkt der GPS-Nutzung zeigten sich kaum einheitliche Tendenzen einzelner Pflanzenbestandteile; lediglich die Wurzel-N-Menge des Hafers lag mit  $13,8 \text{ kg N ha}^{-1}$  in den drei Versuchsjahren deutlich über der des Gemengepartners Ackerbohne mit  $5,2 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Auch war die gesamt-pflanzliche N-Menge der Ackerbohne in den Versuchsjahren 2000 und 2001 größer als die des Hafers. Die Mittelwerte über die drei Versuchsjahre des Schnittgut-N und Stoppel-N-Menge bzw. N-Harvest-Index der Ackerbohne wurden mit  $54,1$  und  $2,1 \text{ kg N ha}^{-1}$  bzw.  $87,0\%$  ermittelt; die des Hafers lagen bei  $14,7$  und  $23,6 \text{ kg N ha}^{-1}$  bzw.  $67,9\%$ . In der einfaktoriellen Varianzanalyse zeigten sich hoch signifikante Differenzen in der Stoppel-N-Menge und signifikante Unterschiede im N-Harvest-Index des Gemengepartners Hafer.

Die N-Menge der gesamt-pflanzlichen Biomasse des Gemengepartners Ackerbohne zur KN am Standort Groß Malchau lag besonders beim Stroh in den Versuchsjahren 2000 und 2001 deutlich über der des Gemengepartners Hafer. Die Stroh-N-Menge des Hafers übertraf die der Ackerbohne im Versuchsjahr 2001. Dementsprechend lag im Gegensatz zum Vorjahr der N-Harvest-Index des Hafers unter dem der Ackerbohne. Im Mittel der Versuchsjahre wurden beim Gemengepartner Ackerbohne in Korn, Stroh und Wurzelmasse eine N-Menge in Höhe von  $198,8$ ,  $38,9$  und  $7,0 \text{ kg N ha}^{-1}$  und ein N-Harvest-Index von  $64,2\%$  ermittelt. Für den Gemengepartner Hafer wurden in diesen Pflanzenbestandteilen zur KN  $23,6$ ,  $14,7$  und  $2,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  und ein N-Harvest-Index von  $62,8\%$  ermittelt. In der einfaktoriellen Varianzanalyse zeigten sich signifikante Differenzen in der Stroh- und Korn-N-Menge des Gemengepartners Ackerbohne. Sehr hoch signifikant waren die Unterschiede zwischen den Jahren in der Stroh-N-Menge des Gemengepartners Hafer.

Das Nmin-Angebot im Boden am Standort Groß Malchau in 0 bis 125 cm Tiefe bewegte sich zur Aussaat (April) der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 zwischen  $32,5$  und  $46,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ , mit größeren Differenzen in der Tiefenstufe 0 bis 25 cm. Auch an diesem Standort wurden zur KN deutlich höhere Nmin-Werte des Bodens im Vergleich zur GPS ermittelt. Die Nmin-Mengen im Boden zur GPS wurden in den drei Versuchsjahren mit  $11,2$ ,  $3,3$  und  $21,9 \text{ kg N ha}^{-1}$  ermittelt. Zur KN waren es  $13,6$ ,  $15,0$  und  $30,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

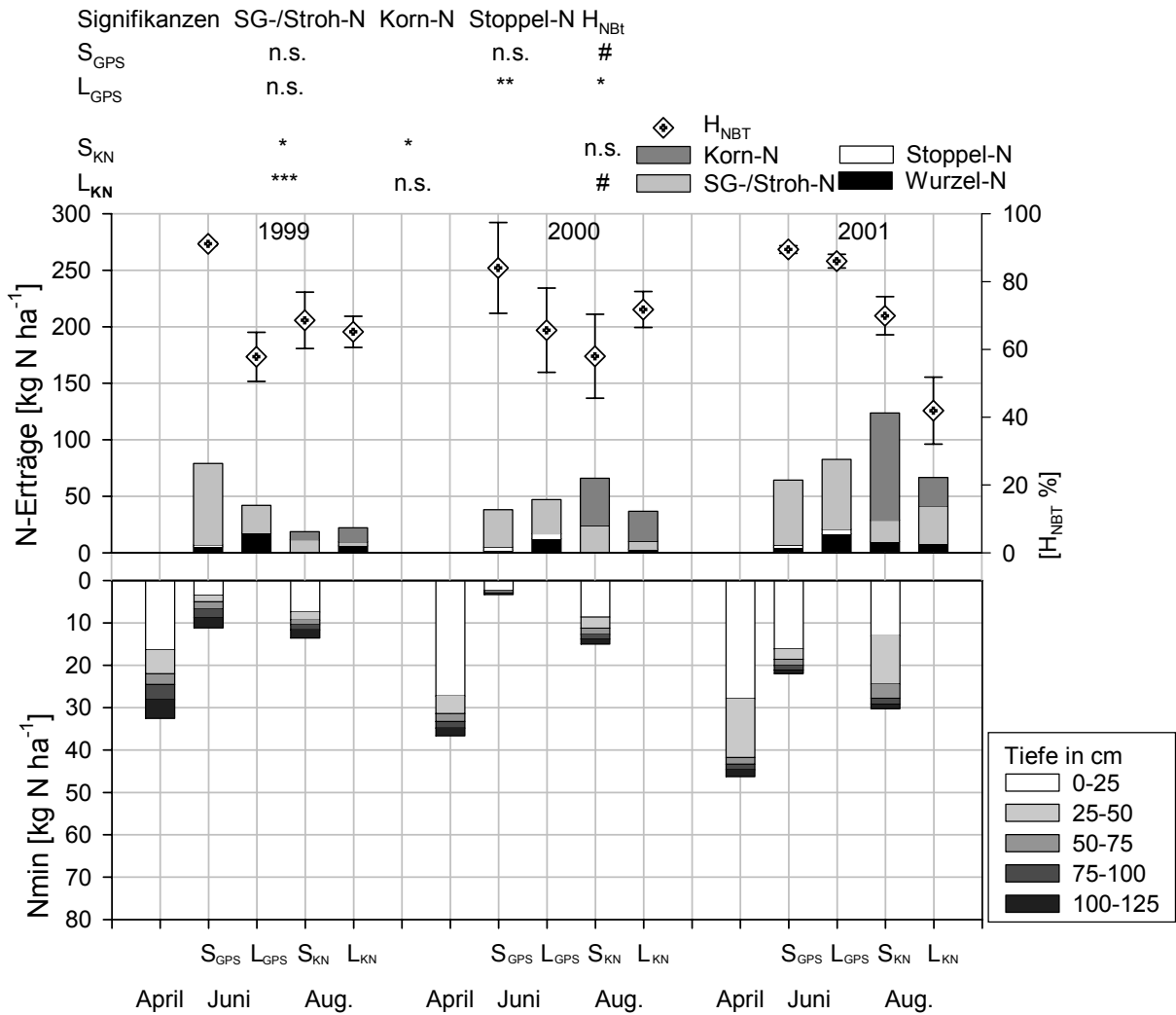


Abb. 83: Groß Malchau – N-Erträge und N-Harvest-Index ( $H_{NBT}$ ) der gesamten Biomasse und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat (April) und zu den Ernten (Juni und August) des Ackerbohne/Hafer-Gemenges mit den Gemengepartnern Ackerbohne, Sorte Scirocco (S) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage ( $_{GPS}$ ) und Körnernutzung ( $_{KN}$ ); ein-faktorielle Varianzanalyse: SG-/Stroh-N = N im Schnittgut zur Nutzung als Ganzpflanzensilage und im Stroh zur Körnernutzung, \* =  $P < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

### 5.3 Stickstoff-Quellen des Ackerbohne/Hafer-Gemenges

#### 5.3.1 Zweifaktorielle Varianzanalyse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN)

Tab. 50 und Tab. 51 zeigen die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse der Stickstoff-Quellen ( $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$ ) und des Faktor Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) des Ackerbohne/Hafer-Gemenges der Jahre 1999, 2000 und 2001 zur Nutzung als GPS in der jeweils linken Hälfte der Tabellen und zur KN in der jeweils rechten Hälfte der Tabellen. Die N-Quellen sind nicht wie in den vorherigen Kapiteln nach Gemengepartnern getrennt beschrieben, da die Wurzeln der Gemenge nicht getrennt analysiert wurden.

Die N-Menge des Ackerbohne/Hafer-Gemenges, die zur Nutzung als GPS aus der Fixierung stammte, war zwischen den Orten, Jahren hoch signifikant verschieden und wies eine hoch signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort auf. Während die N-Menge aus der  $N_2$ -Fixierung am Untersuchungsstandort Göttingen von 2000 auf 2001 um 20,8 % abnahm, war in diesem Zeitraum am Standort Groß Malchau eine Zunahme um 116,3 % zu verzeichnen. Auch die  $N_{\text{Boden}}$ -Menge des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als GPS reagierte signifikant in der Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. Während die  $N_{\text{Boden}}$ -Menge in der gesamt-pflanzlichen Biomasse beider Gemengepartner von 2000 auf 2001 um 137,5 % anstieg, wurde am Standort Föhrste in diesem Zeitraum eine um 42,3 % geringere bodenbürtige N-Menge ermittelt. Der Mittelwertvergleichstest ergab signifikante Unterschiede in der N-Menge aus der  $N_2$ -Fixierung im Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Nutzung als GPS zwischen den Untersuchungsstandorten Borwede und Groß Malchau und zwischen dem Jahr 1999 und zum Jahr 2000.

Tab. 50: Ackerbohne/Hafer-Gemenge: Vergleich der N-Quellen des Ackerbohne/Hafer-Gemenges an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001; zweifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Ganzpflanzensilage			Körnernutzung		
	Ort	Jahr	Jahr x Ort	Ort	Jahr	Jahr x Ort
$N_{\text{Atmosphäre}}$	n.s.	**	**	#	#	#
$N_{\text{Boden}}$	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	**
Ndfa	#	#	#	#	#	#

n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , <sup>1</sup> ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt

Tab. 51: Ackerbohne/Hafer-Gemenge: Tukey-Test der Mittelwerte der N-Quellen des Ackerbohne/Hafer-Gemenges an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001

Tukey	Ganzpflanzensilage							Körnernutzung						
	Ort				Jahr			Ort				Jahr		
	B	F	G	M	1999	2000	2001	B	F	G	M	1999	2000	2001
N <sub>Atmosphäre</sub>	a <sup>1</sup>	ab <sup>1</sup>	ab <sup>1</sup>	b <sup>1</sup>	a <sup>1</sup>	b <sup>1</sup>	ab <sup>1</sup>	#	#	#	#	#	#	#
N <sub>Boden</sub>	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
Ndfa	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#

Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, ohne Blattfall, <sup>1</sup>α = 0,01, nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

Zur KN bestand in der N<sub>Boden</sub>-Menge eine signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. Am Untersuchungsstandort Borwede wurde von 2000 auf 2001 eine Reduktion des bodenbürtigen Stickstoffs um 7,9 % festgestellt, wohingegen am Versuchsstandort Göttingen eine Steigerung um 63,9 % ermittelt wurde. Der Mittelwertvergleichstest der KN-Daten ergab in keinem der geprüften Parameter signifikante Unterschiede.

### 5.3.2 Standort Borwede

Abb. 84 zeigt die N-Quellen (N<sub>Atmosphäre</sub> und N<sub>Boden</sub>) und den Anteil Stickstoff aus der Luft (Ndfa - nitrogen derived from atmosphere) des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN) am Standort Borwede in den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001. Im Kopf der Abbildung befinden sich die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse. Der Vergleich der Nutzungsvarianten GPS und KN zeigt leicht bis deutlich erhöhte N-Mengen aus der Luft. Im Jahr 2001 ging rechnerisch zur KN die N-Menge im Boden im Vergleich zur GPS-Nutzung zurück. Eine Ursache für diesen nicht schlüssigen Befund konnte nicht ermittelt werden.

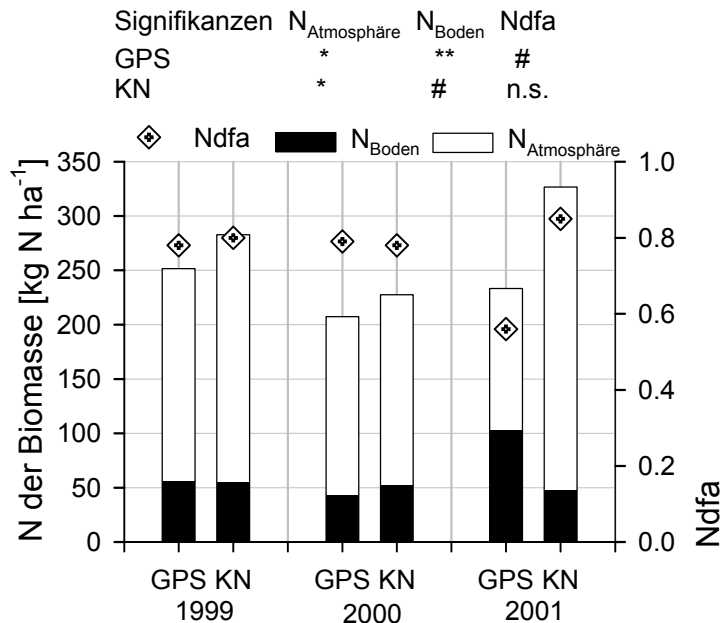


Abb. 84: Borwede – N-Quellen ( $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$ ), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges mit den Gemengepartnern Ackerbohne, Sorte Scirocco (S) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN); einfaktorielle Varianzanalyse: \* =  $P < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

Im Mittel der drei Versuchsjahre lag die aus der  $N_2$ -Fixierung stammende N-Menge im Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Nutzung als GPS bei  $166,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ , zur KN bei  $228,2 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die bodenbürtige N-Menge zur GPS-Nutzung beider Gemengepartner wurde mit  $68,9 \text{ kg N ha}^{-1}$  ermittelt. Dieser Wert lag im Mittel der Jahre zur KN bei  $52,9 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die Ndfa-Werte erreichten zur Nutzung als GPS 70,5 % und zur KN 81,0 % im Mittel der drei Versuchsjahre. Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab signifikante Differenzen im luftbürtigen Stickstoff beider Nutzungsvarianten und hoch signifikante Differenzen im bodenbürtigen Stickstoff zur Nutzung als GPS zwischen den Versuchsjahren.

### 5.3.3 Standort Föhrste

Abb. 85 fasst die mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{-N}$ -Methode geschätzten Daten der N-Quellen  $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$  und die daraus berechnete Verhältniszahl Ndfa (nitrogen derived from atmosphere) der Gemengepartner des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zusammen. Die Werte zeigen in den Versuchsjahren 2000 und 2001 eine erhöhte  $N_{\text{Boden}}$ -Menge im Ackerbohne/Hafer-Gemenge zum Zeitpunkt der KN. Die Ndfa-Werte lagen in den drei Versuchsjahren zur GPS bei 76,0, 74,6 bzw. 87,4 % und zur KN bei 80,4, 73,1 bzw. 88,4 %. Die  $N_{\text{Boden}}$ -Menge der Versuchsjahre 1999, 2000 bzw. 2001 wur-

den zur GPS mit 49,9, 38,7 bzw. 22,3 kg N ha<sup>-1</sup> und zur KN mit 45,8, 62,1 bzw. 37,3 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die N<sub>Atmosphäre</sub>-Menge zur GPS lag bei 156,6, 106,2 bzw. 169,4 kg N ha<sup>-1</sup> und zur KN bei 190,2, 166,4 bzw. 275,5 kg N ha<sup>-1</sup>. In der einfaktoriellen Varianzanalyse wurden sehr hoch signifikante Unterschiede in der luftbürtigen N-Menge beider Gemengepartner deutlich.

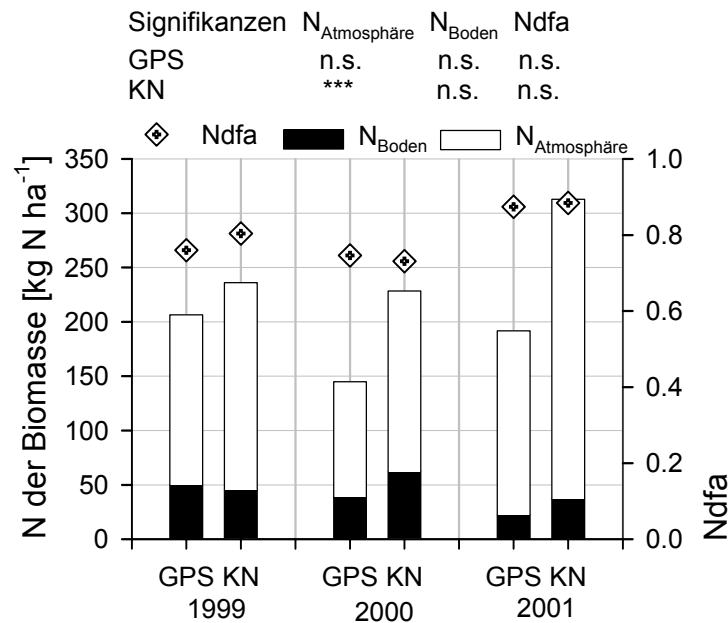


Abb. 85: Föhrste – N-Quellen (N<sub>Atmosphäre</sub> und N<sub>Boden</sub>), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges mit den Gemengepartnern Ackerbohne, Sorte Scirocco (S) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN); einfaktorielle Varianzanalyse: \* = P < 0,05, n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

### 5.3.4 Standort Göttingen

Abb. 86 fasst die mit Hilfe der δ<sup>15</sup>N-Methode ermittelten Schätzwerte der N-Quellen (N<sub>Atmosphäre</sub> und N<sub>Boden</sub>) und den daraus berechneten Anteil luftbürtigen Stickstoffs Ndfa (nitrogen derived from atmosphere) der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 am Standort Göttingen zusammen. Die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse befinden sich oberhalb der Abbildung.

In den drei Versuchsjahren wurde zum späteren Nutzungstermin (KN) eine deutlich höhere aus der N<sub>2</sub>-Fixierung stammende N-Menge an der gesamt-pflanzlichen N-Menge ermittelt. Die N<sub>Boden</sub>-Menge lag im Versuchsjahr 2000 unter dem Wert der GPS. In diesem Jahr war dementsprechend der Ndfa-Wert zu diesem späteren Termin deutlich gegenüber der GPS erhöht. Im Versuchsjahr 2001 lag der Ndfa-Wert zur

KN leicht unter dem zur GPS. Die  $N_{\text{Boden}}$ -Werte betragen zur GPS-Nutzung bzw. KN im Mittel 58,8 bzw. 64,8 kg N ha<sup>-1</sup>. Für die aus der N<sub>2</sub>-Fixierung stammende N-Menge der beiden Nutzungsvarianten wurden im Mittel der Versuchsjahre 118,4 bzw. 241,2 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die Ndfa-Werte lagen bei 67,5 bzw. 78,5 %.

Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab hoch signifikante Differenzen in der  $N_{\text{Boden}}$ -Menge zur GPS und KN zwischen den Jahren. Die Ndfa-Werte zeigten in den beiden Nutzungsvarianten signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsjahren.

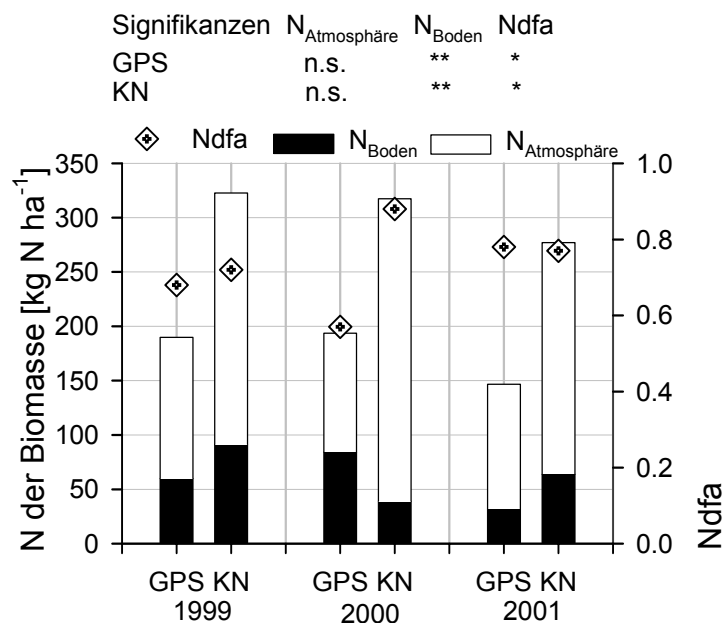


Abb. 86: Göttingen – N-Quellen ( $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$ ), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges mit den Gemengepartnern Ackerbohne, Sorte Scirocco (S) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN); einfaktorielle Varianzanalyse: \* =  $P < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

### 5.3.5 Standort Groß Malchau

Abb. 87 zeigt die N-Quellen ( $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$ ) ermittelt über die  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode und den Anteil luftbürtigen Stickstoffs (Ndfa - nitrogen derived from atmosphere) des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Ganzpflanzensilagenutzung (GPS) und Körnernutzung (KN) am Standort Groß Malchau der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001. Die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse befinden sich im Kopf der Abbildung. Die ermittelte gesamtpflanzliche N-Menge zur KN des Versuchjahres 1999 lag deutlich unter der zur Nutzung als GPS. Die Ursache dafür ist wahrscheinlich darin zu suchen, dass in diesem ersten Versuchjahr der Bestand durch den Blattrandkäfer



(*Sitona lineatis*) stark geschädigt wurde. Die  $N_{\text{Boden}}$ -Menge beider Gemengepartner zur KN lag in den drei Versuchsjahren nur leicht über der zur Nutzung als GPS und im Versuchsjahr 2000 sogar leicht unter der zur GPS. Die aus der  $N_2$ -Fixierung zur KN stammende N-Menge übertraf in den Versuchsjahren 2000 und 2001 die zur Nutzung als GPS. Im Jahr 2001 war die gesamt-pflanzliche N-Menge in beiden Nutzungsvarianten im Vergleich zu den beiden Vorjahren erhöht.

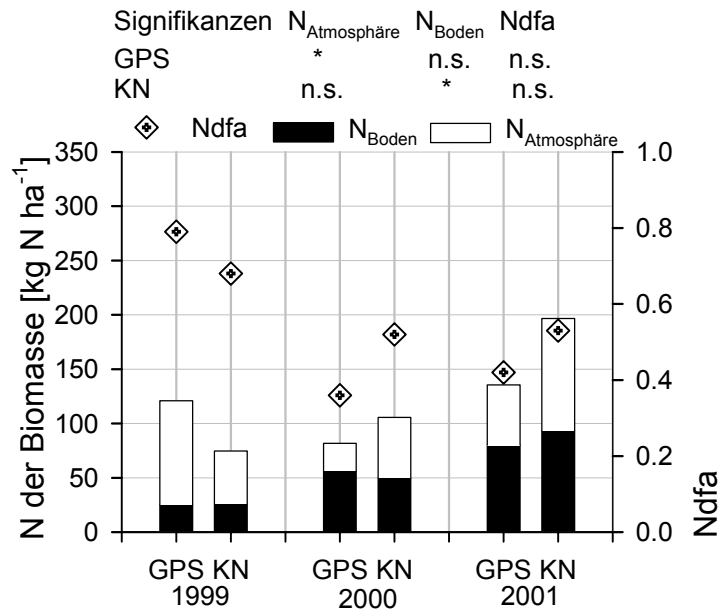


Abb. 87: Groß Malchau – N-Quellen ( $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$ ), Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse des Ackerbohne/Hafer-Gemenges mit den Gemengepartnern Ackerbohne, Sorte Scirocco (S) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN); einfaktorielle Varianzanalyse: \* =  $P < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

Die aus dem Boden stammende N-Menge der drei Versuchsjahre zur GPS wurde im Mittel der drei Versuchsjahre mit  $53,8 \text{ kg N ha}^{-1}$  ermittelt. Zur KN waren es  $56,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die aus der  $N_2$ -Fixierung stammende N-Menge des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur GPS lag in den drei Versuchsjahren bei  $62,2 \text{ kg N ha}^{-1}$  und zur KN bei  $68,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Der Anteil des luftbürtigen Stickstoffs (Ndfa) wurde zur GPS mit  $52,7 \%$  ermittelt. Zur KN waren es  $57,4 \%$  der gesamt-pflanzlichen N-Menge, die aus der  $N_2$ -Fixierung stammte. Die einfaktorielle Varianzanalyse zeigte signifikante Differenzen zwischen den Jahren in der  $N_{\text{Atmosphäre}}$ -Menge zur Nutzung als GPS und in der  $N_{\text{Boden}}$ -Menge zur KN.

#### **5.4 Vergleich der mit Hilfe von $\delta^{15}\text{N}$ - und erweiterter Differenzmethode ermittelten $\text{N}_2$ -Fixierung des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN)**

Die Zusammenstellung der  $\text{N}_2$ -Fixierleistung, ermittelt nach der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (Abszisse) und der erweiterten Differenzmethode (Ordinate), des Ackerbohne/Hafer-Gemenges in Abb. 88 zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) (links) und zur Körnernutzung (KN) (rechts) ergab zur Körnernutzung ( $r = 0,91$ ) höhere Korrelationen des Gemenges als zum Zeitpunkt der Nutzung als Ganzpflanzensilage ( $r = 0,65$ ). Mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode wurden im Mittel über die Jahre in Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau zur Nutzung als GPS  $N_{\text{Atmosphäre}}$ -Werte von 164,5, 140,4, 117,2 und 71,5  $\text{kg N ha}^{-1}$  ermittelt, denen Werte aus der erweiterten Differenzmethode von 149,7, 70,9, 99,1 und 67,1  $\text{kg N ha}^{-1}$  gegenüberstehen. Die Amplitude der Differenzen der Mittelwerte lag demnach 4,4 und 69,5  $\text{kg N ha}^{-1}$ , die der Einzelwerte war mit 0,7 bis 144,7  $\text{kg N ha}^{-1}$  größer. Mit der Differenzmethode wurde in einem Fall ein negativer Wert der  $\text{N}_2$ -Fixierleistung ermittelt. Anders als bei den Reinsaaten wurden beim Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Nutzung als GPS in nur zehn von fünfunddreißig Fällen mit der erweiterten Differenzmethode eine höhere  $\text{N}_2$ -Fixierleistung ermittelt als mit der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode. Zur Körnernutzung waren es sieben von sechsunddreißig Werten, in beiden Fällen ohne eine orts- oder jahrespezifische Verteilung. Im Mittel über die Jahre wurden mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode in Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau zur Körnernutzung  $N_{\text{Atmosphäre}}$ -Mengen von 227,6, 207,7, 240,3 und 67,3  $\text{kg N ha}^{-1}$  geschätzt. Dem stehen die Werte aus der erweiterten Differenzmethode von 199,4, 156,6, 218,3 und 66,5  $\text{kg N ha}^{-1}$  gegenüber. Die Unterschiede zwischen den Mittelwerten lagen demnach zwischen 0,8 und 51,1  $\text{kg N ha}^{-1}$ , die Differenzen der Einzelwerte lagen zwischen 0,9 und 89,0  $\text{kg N ha}^{-1}$ .

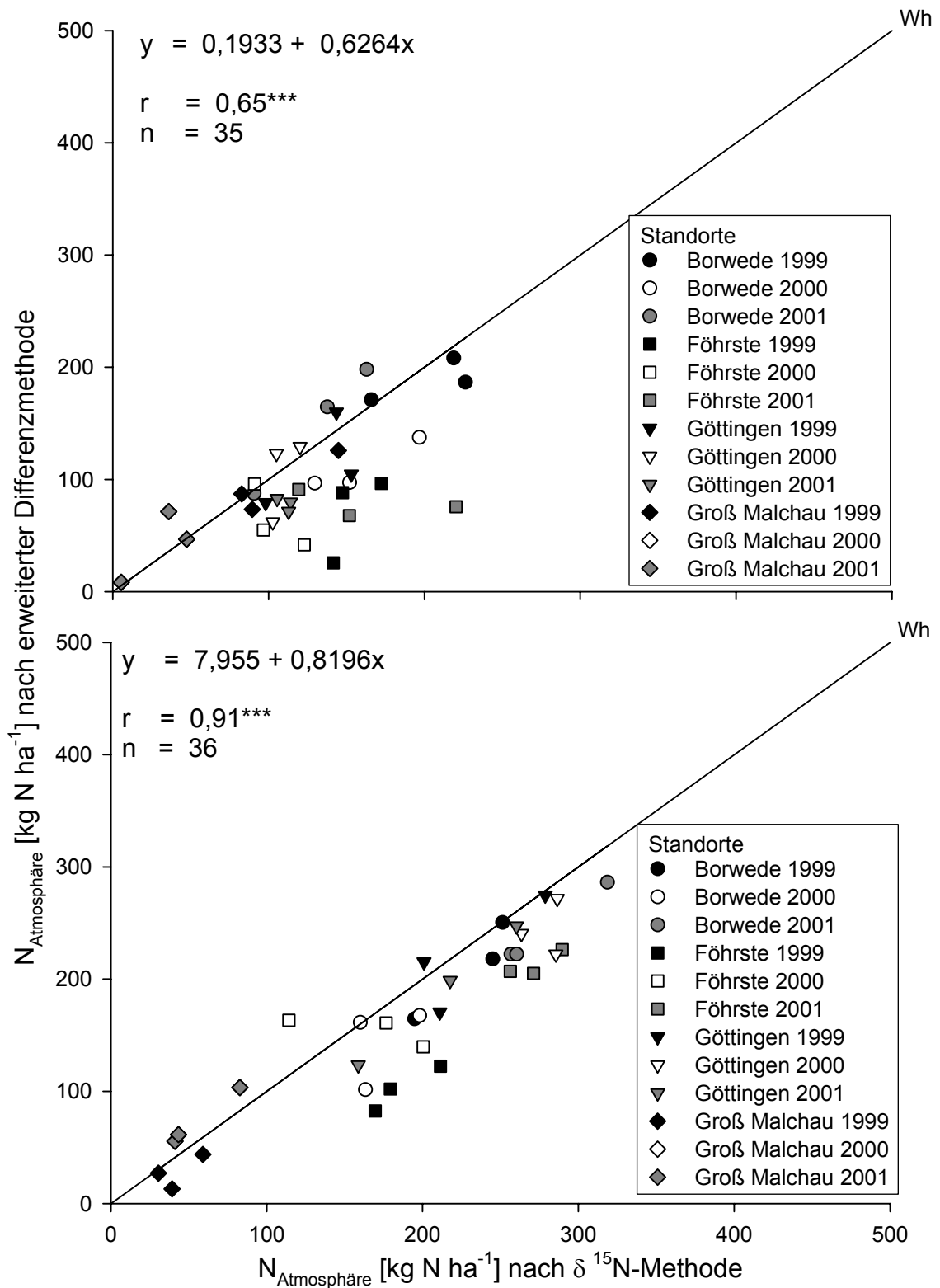


Abb. 88: Ackerbohne/Hafer-Gemenge - Korrelationen der Ergebnisse zur Schätzung der symbiotischen  $\text{N}_2$ -Fixierleistung zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (oben) und Körnernutzung (unten), ermittelt nach  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (x) und erweiterter Differenzmethode (y) aller Standorte der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001; Wh = Winkelhalbierende

## **5.5 Trockenmasse-Erträge des Erbse/Hafer-Gemenges**

Der Anbau des Erbse/Hafer-Gemenges wurde mit der gleichen Fragestellung praktiziert wie der Anbau des Ackerbohne/Hafer-Gemenges. In den folgenden Kapiteln werden die TM-Erträge des Erbse/Hafer-Gemenges bei Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und als Körnernutzung (KN) dargestellt.

### **5.5.1 Zweifaktorielle Varianzanalyse des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS)**

Die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und des Mittelwertvergleichstests des Erbse/Hafer-Gemenges aus der Nutzung als GPS der Untersuchungsjahre 1999, 2000 und 2001 sind Tab. 52 und Tab. 53 zusammengefasst. In der linken Hälfte der Tabelle befinden sich die Daten des Gemengepartners Erbse, auf der rechten Hälfte die des Gemengepartners Hafer. Das Erbse/Hafer-Gemenge wurde zur Gemengenutzung in Reifestadium BBCH 79 geerntet. Die Nutzung als GPS bedingt als residuale TM-Bestandteile die nach der Mahd auf dem Feld verbleibenden Stoppeln und die Wurzeln. Zum Pflanzenbestandteil Schnittgut zählen in der Gemengenutzung Spross, Blätter und die unreifen Körner. Der TM-Harvest-Index ( $H_{TMbt}$ ) ist nutzungsbedingt bei der Nutzung des Erbse/Hafer-Gemenges als Ganzpflanzensilage deutlich höher als zur KN. Die zweifaktorielle Varianzanalyse der TM-Daten des Erbsenschnittgutes ergab signifikante Differenzen zwischen den Orten und Jahren. Die Wechselwirkung zwischen Ort und Jahr war hoch signifikant. Am Standort Föhrste wurden vom Jahr 2000 zu 2001 eine um 82,4 % höhere Schnittgut-TM ermittelt, während die Schnittguterträge am Standort Göttingen in diesem Zeitraum um 25,6 % abnahmen. Für die Trockenmasse der Stoppeln ergab die statistische Überprüfung signifikante Unterschiede zwischen den Jahren und eine Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. Hierbei lag die Stoppel-TM im Jahr 2001 am Standort Föhrste um 38,4 % niedriger als im Untersuchungsjahr 2000. Der Rückgang der Stoppel-TM betrug zwischen diesen Jahren am Standort Göttingen lediglich 5,3 %. Die Erbsenwurzeln reagierten sehr hoch signifikant auf den Jahreseinfluss und es bestand eine Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. So wurde im Versuchsjahr 2001 am Standort Borwede im Erbse/Hafer-Gemenge zur GPS eine um 82,6 % geringere Wurzel-TM ermittelt als im Vorjahr, während am Standort Groß Malchau ein Zuwachs um 257,1 % festgestellt wurde. Auf Grund fehlender Normalverteilung der Daten des TM-Harvest-Index konnten die Daten auch nach Transformation keiner Varianzanalyse unterzogen werden.

Die Überprüfung der Daten mit Hilfe des Mittelwertvergleichstests ergab für die Schnittgut-TM der Erbsen signifikante Unterschiede zwischen den Orten Borwede und Groß Malchau und zwischen den Jahren 1999 und 2000. Für die Mittelwerte der

Stoppel-TM wurden signifikante Unterschiede zwischen den Jahren 1999 und 2001 ermittelt. Mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 0,1 % ( $\alpha = 0,001$ ) wurden signifikante Differenzen in der Wurzel-TM der Erbsen zur Ganzpflanzensilagenutzung zwischen den Jahren 2000 und 2001 festgestellt.

Die Schnittgut-TM des Gemengepartners Hafer reagierte hoch signifikant auf die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. Am Standort Föhrste war im Vergleich der Jahre 2000 und 2001 eine Abnahme der Schnittgut-TM des Hafers um 69,2 % zu verzeichnen. Die Schnittgut-TM des Hafers nahm in diesem Zeitraum um 85,6 % zu. Der Mittelwertvergleichstest ergab signifikante Unterschiede in der Schnittgut-TM des Hafers zwischen dem Jahr 1999 und den Jahren 2000 und 2001.

Tab. 52: Erbse/Hafer-Gemenge: Nutzung als Ganzpflanzensilage - Vergleich der Trockenmasse-Erträge der Standorte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001; zweifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Erbse			Hafer		
	Ort	Jahr	Jahr x Ort	Ort	Jahr	Jahr x Ort
TM Schnittgut	*	*	**	n.s.	n.s.	***
TM Stoppel	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.
$H_{TMBt}^1$	#	#	#	#	#	#

n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , <sup>1</sup>ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt

Tab. 53: Erbse/Hafer-Gemenge: Ganzpflanzensilage – Tukey-Test der Mittelwerte der Erträge an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001

Tukey	Erbse							Hafer						
	Ort				Jahr			Ort				Jahr		
	B	F	G	M	1999	2000	2001	B	F	G	M	1999	2000	2001
TM Schnittgut	a	ab	ab	b	a	b	ab	a	a	a	a	a	b	b
TM Stoppel	a	a	a	a	a	ab	b	a	a	a	a	a	a	a
$H_{TMBt}^1$	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#

Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, <sup>1</sup>ohne Blattfall, nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

### 5.5.2 Zweifaktorielle Varianzanalyse des Erbse/Hafer-Gemenges zur Körnernutzung (KN)

Die Ergebnisse der statistischen Überprüfung aus der Nutzung des Erbse/Hafer-Gemenges zur Kornreife sind in den Tab. 54 und Tab. 55 zusammengefasst. Die Erbsen-Daten befinden sich jeweils in der linken Hälfte und die des Hafers jeweils in der rechten Hälfte der Tabellen. Der Pflanzenbestandteil Stroh beinhaltet hierbei den gesamten oberirdischen Aufwuchs ohne Körner. In der zweifaktoriellen Varianzanalyse der Stroh-TM des Gemengepartners Erbse zeigten sich hoch signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsjahren und eine sehr hoch signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. So nahm die Stroh-TM der Erbsen im Gemenge zur KN von 2000 auf 2001 am Standort Borwede um 4,2 % zu, während in diesem Zeitraum am Standort Groß Malchau eine Reduktion um 45,1 % zu verzeichnen war. Die Korn-TM der Erbsen war zwischen den Orten signifikant verschieden. Auch hier war die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort sehr hoch signifikant. Die Korn-TM des Jahres 2001 am Standort Borwede lag um 4,5 % niedriger als im Vorjahr. Die des Standortes Groß Malchau lag im dritten Versuchsjahre um 30,5 % höher als im Jahr zuvor. Der TM-Harvest-Index war zwischen den Jahren und die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort waren hoch signifikant verschieden. Mit dem Korn wurde im Jahr 2001 am Standort Göttingen 15,2 mehr Prozentpunkte der Erbsen-Trockenmasse vom Feld gefahren als im Vorjahr. In diesem Zeitraum war beim TM-Harvest-Index am Standort Groß Malchau eine Steigerung um 19,6 Prozentpunkte zu verzeichnen. Der Vergleich der TM-Mittelwerte des Gemengepartners Erbse ergab signifikante Unterschiede der Stroh-Erträge zwischen den Jahren 1999 und 2000 mit einem Fehler von 1 % ( $\alpha = 0,01$ ). Die Korn-TM war zwischen den Orten Borwede und Groß Malchau signifikant verschieden. Beim TM-Harvest-Index zeigten sich signifikante Abweichungen vom Jahr 2001 zu den Jahren 1999 und 2000.

Für den Gemengepartner Hafer konnten zur KN in der Stroh-TM hoch signifikante Differenzen zwischen den Jahren und eine Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort ermittelt werden. Die Stroh-TM reduzierte sich von 2000 auf 2001 am Standort Föhrste um 73,3 %, während in Groß Malchau eine Steigerung der Stroh-TM von 74,2 % ermittelt wurde. Die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort der Korn-TM des Hafers war sehr hoch signifikant. Hierbei nahm die Korn-TM des Hafers im Vergleich der Jahre 2000 und 2001 am Standort Föhrste um 96,1 % ab. Hingegen war am Standort Groß Malchau eine Zunahme in der Korn-TM des Hafers von 32,3 % zu verzeichnen. Die Wurzel-TM war zwischen den Jahren signifikant verschieden und die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort war sehr hoch signifikant. Die Trockenmasse der Haferwurzeln zur KN nahmen im Vergleich der Jahre 2000 auf 2001 am Standort Borwede um 44,0 % ab, während sie in diesem Zeitraum am Standort Göttingen um 138,6 % zunahm. Hoch signifikant verschieden waren die Differenzen zwischen den Jahren und sehr hoch signifikant die Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort des TM-

Harvest-Index. So wurden am Standort Föhrste von 2000 auf 2001 um 76,1 Prozentpunkte geringere  $H_{TMBt}$ -Werte ermittelt. Am Standort Göttingen nahmen die  $H_{TMBt}$ -Werte in diesem Zeitraum um 114,6 Prozentpunkte zu. Im Tukey-Test ergaben sich signifikante Unterschiede in der Hafer-TM zwischen dem Jahr 2000 zu den Jahren 1999 und 2001. Im TM-Harvest-Index wich das Jahr 2001 signifikant von den beiden Vorjahren ab.

Tab. 54: Erbse/Hafer-Gemenge: Körnernutzung - Vergleich der Trockenmasse-Erträge der Standorte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001; zweifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Erbse			Hafer		
	Ort	Jahr	Jahr x Ort	Ort	Jahr	Jahr x Ort
TM Stroh	n.s.	**	***	n.s.	**	**
TM Korn	*	n.s.	***	n.s.	n.s.	***
$H_{TMBt}^1$	n.s.	**	**	n.s.	**	***

n.s. = nicht signifikant, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , <sup>1</sup>ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt

Tab. 55: Erbse/Hafer-Gemenge: Körnernutzung – Tukey-Test der Mittelwerte der Erträge an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001

Tukey	Erbse							Hafer						
	Ort				Jahr			Ort				Jahr		
	B	F	G	M	1999	2000	2001	B	F	G	M	1999	2000	2001
TM Stroh	a	a	a	a	b <sup>2</sup>	a <sup>2</sup>	ab <sup>2</sup>	a	a	a	a	a	b	a
TM Korn	a	ab	ab	b	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
$H_{TMBt}^1$	a	a	a	a	a <sup>2</sup>	a <sup>2</sup>	b <sup>2</sup>	a	a	a	a	b	b	a

Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, <sup>1</sup>ohne Blattfall, <sup>2</sup> $\alpha = 0,01$ , nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

### 5.5.3 Standort Borwede

Abb. 89 zeigt die TM-Daten, den TM-Harvest-Index und die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN) am Standort Borwede aus den Untersuchungsjahren 1999, 2000 und 2001. Der Vergleich der Säulenhöhe zeigt eine deutlich höhere Schnittgut-TM-Bildung des Gemengepartners Erbse zur GPS als des Hafers in den drei Versuchsjahren. Der Hafer wies hingegen konstant höhere Wurzel-TM-Erträge auf. Die Schnittgut-, Stoppel- und Wurzel-TM bzw. der TM-Harvest-Index der Erbse wurden im Mittel der drei Versuchsjahre mit 67,6, 1,6 und 1,7 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 95,4 % ermittelt. Die entsprechenden Werte des Hafers lagen bei 26,3, 2,7 und 4,5 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 78,1 %. In der einfaktoriellen Varianzanalyse zeigten sich signifikante Unterschiede in der Trockenmasse der Stoppeln und in der Wurzel-TM zwischen den Jahren. Hoch signifikante Unterschiede zeigten sich im TM-Harvest-Index zwischen den Jahren.

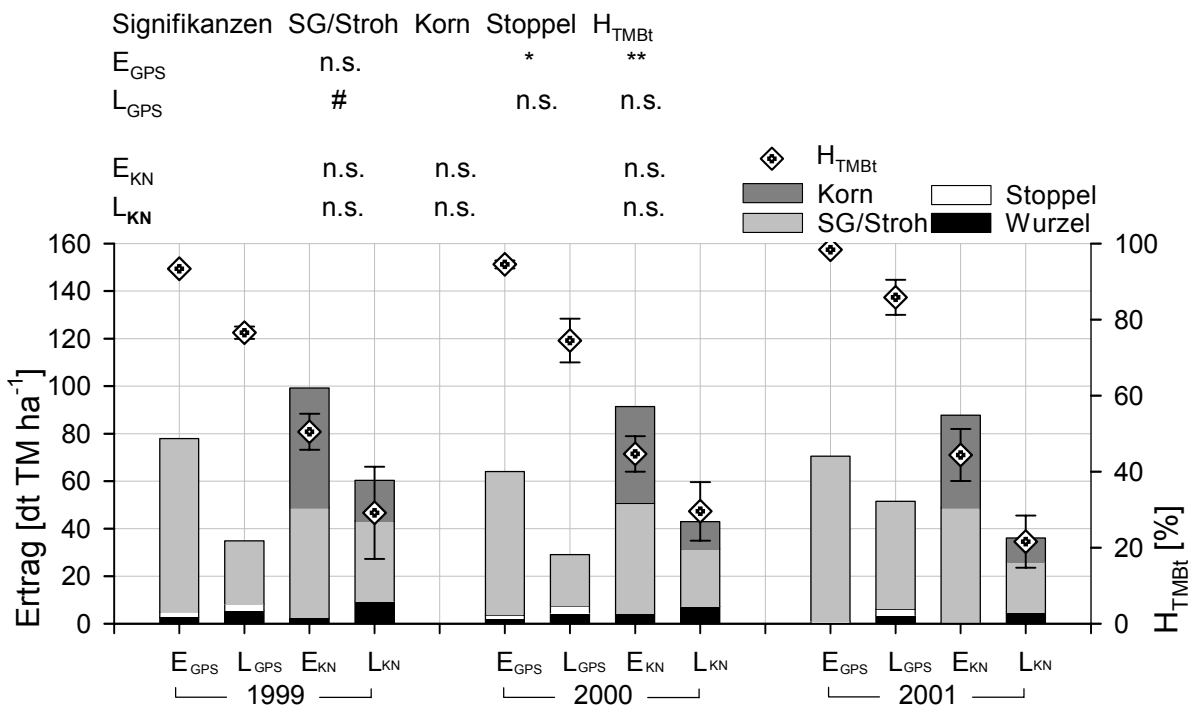


Abb. 89: Borwede – Erträge und TM-Harvest-Index (H<sub>TMbt</sub>) der gesamten Biomasse des Erbse/Hafer-Gemenges mit den Gemengepartnern Erbse, Sorte Eiffel (E) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN); einfaktorielle Varianzanalyse: SG = Schnittgut der Ganzpflanzensilage, Stroh = Körnernutzung, \* = P < 0,05, \*\* = P < 0,01, n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt



Zur KN des Erbse/Hafer-Gemenges war an diesem Standort eine höhere Leistungsfähigkeit des Gemengepartners Erbse gegenüber dem Hafer zu verzeichnen. Lediglich die ermittelte Wurzel-TM des Hafers übertraf die der Erbse in allen drei Versuchsjahren. Für Korn, Stroh und Wurzel bzw. TM-Harvest-Index des Gemengepartners Erbse konnten 43,3, 47,1 und 2,4 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 46,5 % ermittelt werden. Beim Hafer waren es zur KN 11,9, 26,5 und 6,9 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 26,8 %. In der einfaktoriellen Varianzanalyse zeigten sich lediglich in der Wurzel-TM des Gemengepartners Erbse signifikante Unterschiede.

#### 5.5.4 Standort Föhrste

In Abb. 90 sind die TM-Daten des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN) am Standort Föhrste der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 dargestellt. Die einfaktorielle Varianzanalyse erfolgte auf Grund des Flächenwechsels lediglich anhand der TM-Daten aus 2000 und 2001.

Die Schnittgutmenge des Gemengepartners Erbse übertraf auch am Standort Föhrste während der drei Versuchsjahre die des Gemengepartners Hafer. Trotz der erhöhten Wurzel-TM des Hafers im Versuchsjahr 2000 lag auch der TM-Harvest-Index der Erbse deutlich über dem des Hafers. Die Trockenmasse für Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln des Gemengepartners Erbse zur GPS wurde im Mittel der Versuchsjahre 2000 und 2001 mit 55,4, 1,1 und 1,7 dt TM ha<sup>-1</sup>, die des Gemengepartners Hafer mit 23,8, 2,88 und 6,3 dt TM ha<sup>-1</sup> ermittelt. Der TM-Harvest-Index der beiden Arten dieser Jahre wurde mit 94,9 bzw. 73,6 % ermittelt. Im Versuchsjahr 1999 lagen diese Werte beim Gemengepartner Erbse bei 52,1, 1,0 und 6,5 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 86,7 % und beim Gemengepartner Hafer bei 37,5, 3,2 und 4,2 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 83,1 %. Die statistische Überprüfung der Mittelwerte ergab zwischen den Versuchsjahren 2000 und 2001 hoch signifikante Differenzen im Schnittgut beider Gemengepartner und der Haferwurzeln und signifikante Unterschiede in der Wurzel-TM der Erbsen zwischen den Jahren.

Die in den drei Versuchsjahren im Vergleich der Gemengepartner deutlich größeren Korn-TM-Erträge der Erbse erklären den höheren TM-Harvest-Index der Legumino-se. Bis auf das Jahr 2001 wurde im Vergleich zur Erbse beim Hafer eine stärkere Wurzel-Masse-Bildung festgestellt. Die Trockenmasse von Korn, Stroh und Wurzel zur KN im Mittel der Versuchsjahre 2000 und 2001 (1999) lagen beim Gemengepartner Erbse bei 41,9 (24,0), 59,9 (25,9) und 2,2 (1,5) dt TM ha<sup>-1</sup>, während für den Gemengepartner Hafer 12,6 (11,9), 19,5 (32,7), 3,1 (2,0) dt TM ha<sup>-1</sup> ermittelt wurden. Der TM-Harvest-Index der beiden Gemengepartner lagen im Mittel der Versuchsjahre 2000 und 2001 bei 40,8 (46,7) bzw. 25,0 (24,8) %.

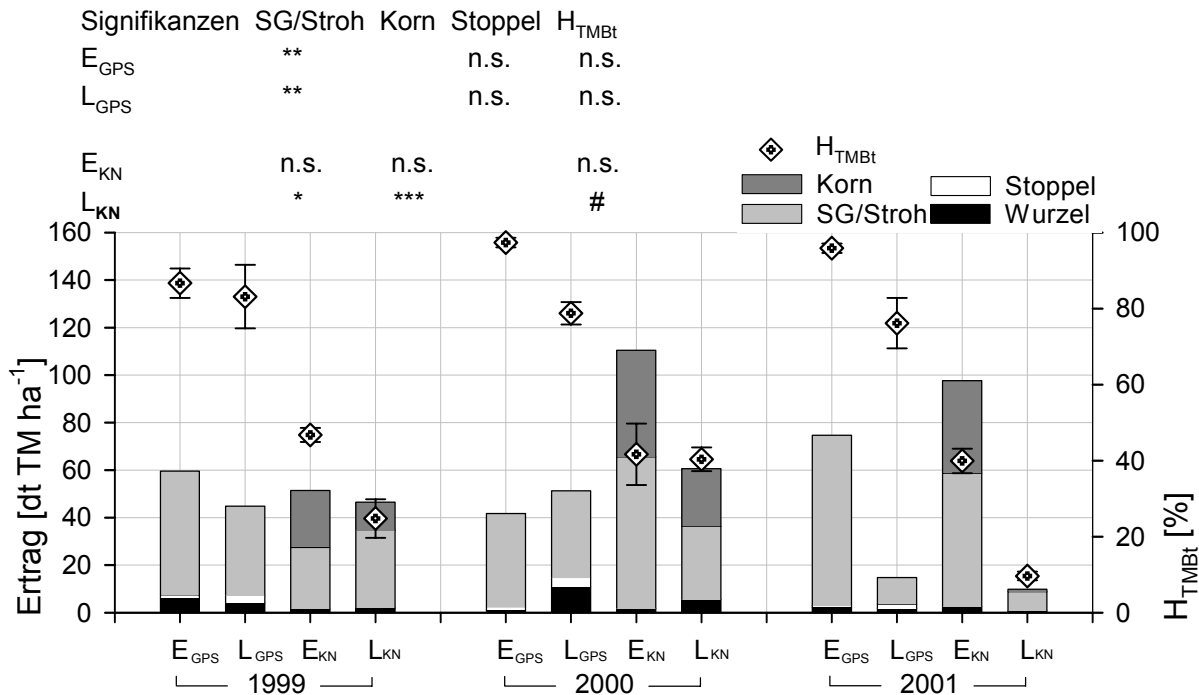


Abb. 90: Föhrste – Erträge und TM-Harvest-Index (H<sub>TMbt</sub>) der gesamten Biomasse des Erbse/Hafer-Gemenges mit den Gemengepartnern Erbse, Sorte Eiffel (E) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN); einfaktorielle Varianzanalyse: SG = Schnittgut der Ganzpflanzensilage, Stroh = Körnernutzung, \* = P < 0,05, \*\* = P < 0,01, \*\*\* = P < 0,001, n.s. = nicht signifikant, n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

### 5.5.5 Standort Göttingen

Abb. 91 zeigt die TM-Erträge der Gemengepartner des Erbse/Hafer-Gemenges am Standort Göttingen aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 aus der Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN). Im Kopf der Abbildung sind die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse zusammengefasst.

Während der Versuchsjahre 1999 und 2000 konnte der Gemengepartner Erbse eine deutlich höhere gesamt-pflanzliche Biomasse erzielen als der Gemengepartner Hafer. Von der nasskalten Witterung im Frühjahr 2001 zum Zeitpunkt des Auflaufens der Pflanzen konnte sich jedoch der Hafer deutlich besser erholen, weshalb er in diesem Versuchsjahr bessere Schnittgut und auch zur KN bessere Kornerträge erzielen konnte als die Erbse, was sich auch im TM-Harvest-Index widerspiegelt. Hierbei ist auch die hohe Wurzel-TM des Hafers auffällig. Für die Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln des Gemengepartners Erbse wurden im Mittel der drei Versuchsjahre zur GPS 41,3, 1,2 und 3,7 dt TM ha<sup>-1</sup> ermittelt. Beim Gemengepartner Hafer waren es 28,2, 2,6 und 6,9 dt TM ha<sup>-1</sup>. Der TM-Harvest-Index der Gemengepartner Erbse und Hafer lag im

Mittel der Versuchsjahre bei 70,4 % bzw. 68,7 %. Durch die einfaktorielle Varianzanalyse wurden signifikante Differenzen zwischen den Jahren in der Schnittgut- bzw. Stoppel-TM der Erbse und des Hafers deutlich.

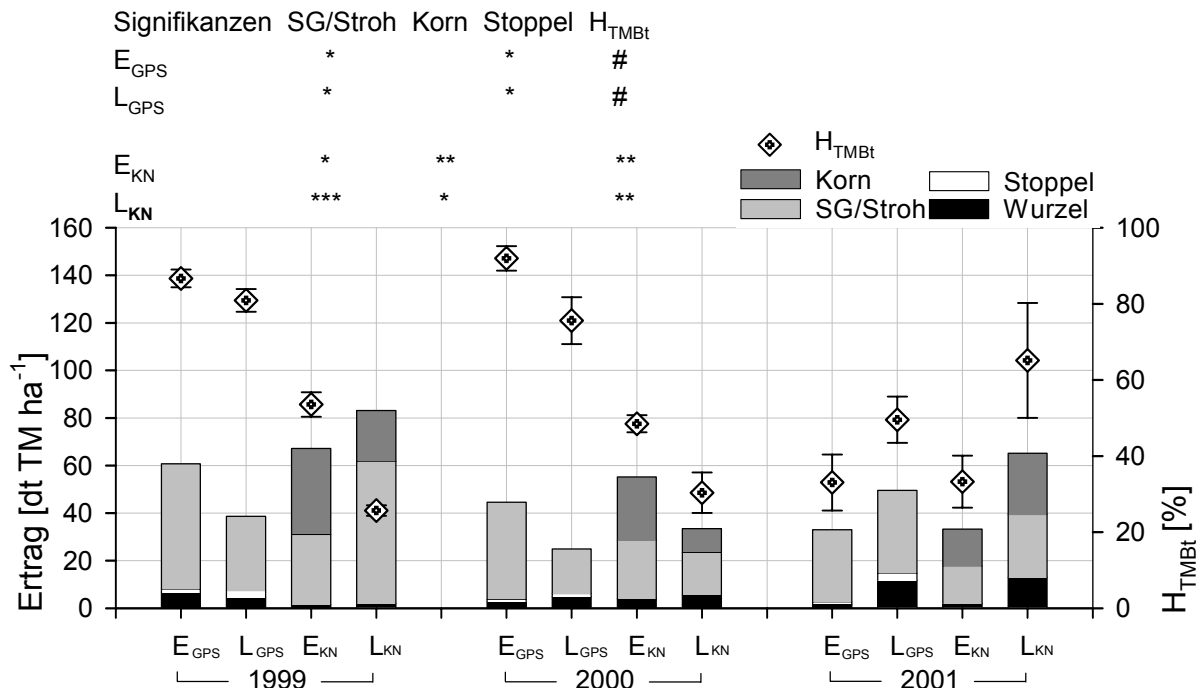


Abb. 91: Göttingen – Erträge und TM-Harvest-Index ( $H_{TMbt}$ ) der gesamten Biomasse des Erbse/Hafer-Gemenges mit den Gemegepartnern Erbse, Sorte Eiffel (E) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage ( $_{GPS}$ ) und Körnernutzung ( $_{KN}$ ); einfaktorielle Varianzanalyse: SG = Schnittgut der Ganzpflanzensilage, Stroh = Körnernutzung, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , \*\*\* =  $P < 0,001$ , n.s. = nicht signifikant, n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

Zur KN lagen die Korn-, Stroh- und Wurzelmenngen der Erbse bzw. des Hafers im Mittel der drei Versuchsjahre bei 26,1, 23,4 und 2,5 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 19,0, 34,8 und 6,8 dt TM ha<sup>-1</sup>. Von der gesamt-pflanzlichen Biomasse der beiden Gemegepartner wurden mit dem Korn 45,1 und 40,4 % von der Fläche transportiert. Die einfaktorielle Varianzanalyse der Daten zur KN ergab signifikante Unterschiede in der Trockenmasse des Erbsenstrohs und des Haferkorns, hoch signifikante Unterschiede im TM-Harvest-Index beider Gemegepartner und sehr hoch signifikante Differenzen in der Stroh-TM des Hafers.

### 5.5.6 Standort Groß Malchau

Abb. 92 fasst die TM-Erträge des Erbse/Hafer-Gemenges am Standort Groß Malchau zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN) der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 und den TM-Harvest-Index zusammen. Oberhalb der Graphik befinden sich die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse.

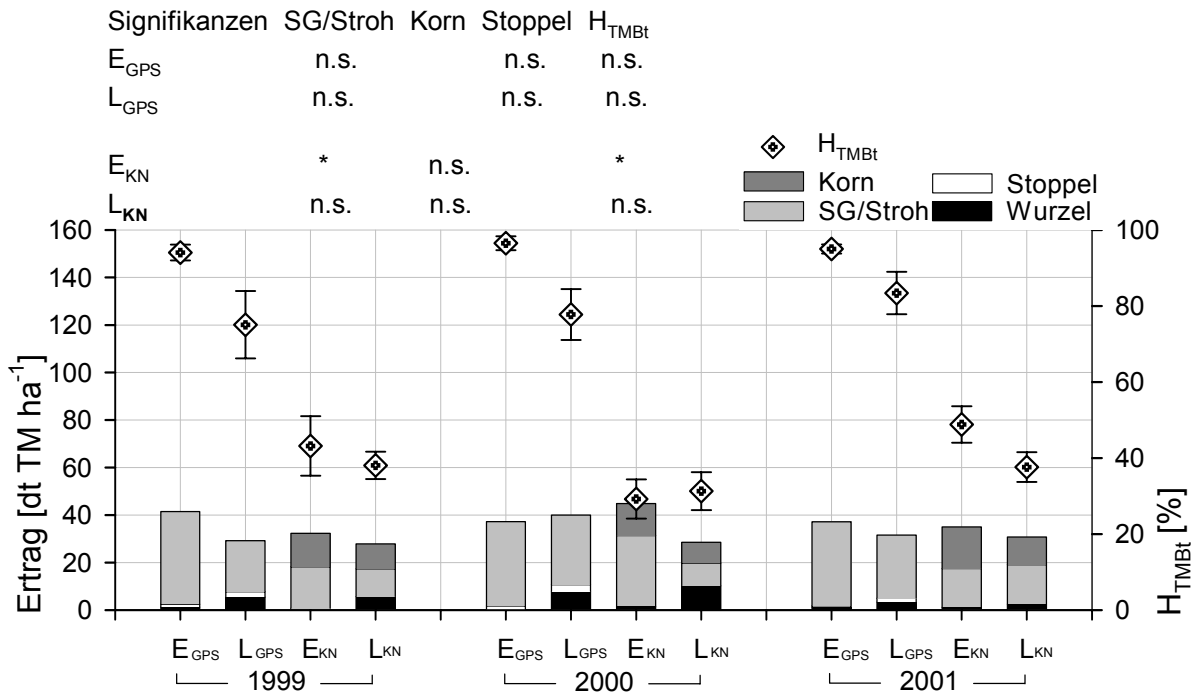


Abb. 92: Groß Malchau – Erträge und TM-Harvest-Index ( $H_{TMbt}$ ) der gesamten Bio-Masse des Erbse/Hafer-Gemenges mit den Gemengepartnern Erbse, Sorte Eiffel (E) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (<sub>GPS</sub>) und Körnernutzung (<sub>KN</sub>); einfaktorielle Varianzanalyse: SG = Schnittgut der Ganzpflanzensilage, Stroh = Körnernutzung, \* =  $P < 0,05$ , \*\* =  $P < 0,01$ , n.s. = nicht signifikant, n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

Am Standort Groß Malchau lagen die relevanten Ertragsparameter (Schnittgut- bzw. Kornertrag) des Gemengepartners Erbse zur GPS wie auch zur KN über denen des Gemengepartners Hafer. Wie auch bei den anderen Untersuchungsstandorten lag die Wurzel-TM des Hafers über der des Gemengepartners Erbse. Besonders hohe Werte der Wurzel-TM waren im Versuchsjahr 2000 zu verzeichnen. Zur GPS im Mittel der drei Versuchsjahre konnte in Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln des Gemengepartners Erbse bzw. Hafer eine Trockenmasse von 36,6, 1,1 und 0,9 bzw. 25,7, 2,3 und 5,5 dt TM ha<sup>-1</sup> ermittelt werden. Der TM-Harvest-Index der Gemengepartner Erbse bzw. Hafer lag bei 94,7 bzw. 76,7 %.

Zur KN wurden in Korn, Stroh und Wurzel der Gemengepartner 15,0, 21,2 und 1,2 bzw. 10,3, 12,6 und 6,2 dt TM ha<sup>-1</sup> ermittelt. Von der gesamt-pflanzlichen Biomasse wurden zur KN 40,4 % (Erbse) bzw. 35,7 % (Hafer) mit dem Korn von der Fläche transportiert. Der statistische Vergleich der TM-Daten ergab zur GPS signifikante Differenzen in der Wurzel-TM der Erbsen und ebenfalls signifikante Differenzen zwischen der Trockenmasse des Erbsenstrohs und der Wurzel-TM beider Gemengepartner zur KN.

## **5.6 Stickstoff-Erträge des Erbse/Hafer-Gemenges**

### **5.6.1 Zweifaktorielle Varianzanalyse des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS)**

Die Ergebnisse der statistischen Überprüfung der Stickstoff-Daten der Gemengepartner Erbse und Hafer zur Nutzung als GPS sind in den Tab. 56 und Tab. 57 zusammengefasst, wobei die Ergebnisse der Erbsen in der linken Hälfte der Tabellen zu finden sind und die des Hafers in der rechten Hälfte der Tabellen. Zum Bestandteil Schnittgut-N zählen auch hier die N-Mengen der oberirdischen Pflanzenbestandteile ohne die residualen N-Mengen der Stoppeln. Die Varianzanalyse ergab eine hoch signifikante Wechselwirkung der Stickstoff-Menge im Schnittgut zwischen Jahr und Ort. Es wurden für das Versuchsjahr 2001 am Standort Föhrste 136,4 % höhere N-Mengen festgestellt als im Vorjahr, wohingegen in diesem Zeitraum am Standort Göttingen eine Reduktion der Schnittgut-N-Menge um 39,7 % ermittelt wurde. Auch bei der Stoppel-N-Menge wurde eine signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort ermittelt. Die Stoppel-N-Menge der Erbse am Standort Borwede nahm von 2000 auf 2001 um 45,3 % ab, während für diesen Zeitraum am Standort Föhrste eine Zunahme der Stoppel-N-Menge im Erbsenstroh um 132,1 % zu verzeichnen war. Beim Vergleich der Mittelwerte der N-Daten des Gemengepartners Erbse zeigten sich signifikante Abweichungen der N-Menge der Stoppeln zwischen den Versuchsjahren 1999 und 2001.

Die statistische Analyse der N-Menge im Schnittgut des Gemengepartners Hafer zeigte eine sehr hoch signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. Hierbei steigerte sich die N-Menge im Schnittgut von 2000 auf 2001 am Standort Borwede um 39,1 %, während am Standort Föhrste in diesem Zeitraum eine Reduzierung um 45,22 % zu verzeichnen war. Die N-Menge in den Haferstoppeln war zwischen den Orten signifikant verschieden. Der Vergleich der Mittelwerte ergab signifikante Unterschiede in der N-Menge der Haferstoppeln zwischen den Standorten Borwede und

Föhrste und dem Standort Groß Malchau und im N-Harvest-Index zwischen den Jahren 2000 und 2001.

Tab. 56: Erbse/Hafer-Gemenge: Nutzung als Ganzpflanzensilage - Vergleich der N-Erträge der Standorte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001; zweifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Erbse			Hafer		
	Ort	Jahr	Jahr x Ort	Ort	Jahr	Jahr x Ort
Schnittgut-N	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	***
Stoppel-N	n.s.	n.s.	*	*	n.s.	n.s.
H <sub>NBt</sub> <sup>1</sup>	#	#	#	n.s.	n.s.	n.s.

n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0,05, \*\* = P < 0,01, \*\*\* = P < 0,001, <sup>1</sup>ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt

Tab. 57: Erbse/Hafer-Gemenge: Ganzpflanzensilage – Tukey-Test der Mittelwerte der N-Erträge an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001

Tukey	Erbse							Hafer						
	Ort				Jahr			Ort				Jahr		
	B	F	G	M	1999	2000	2001	B	F	G	M	1999	2000	2001
Schnittgut-N	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
Stoppel-N	a	a	a	a	a	ab	b	a	a	ab	b	a	a	a
H <sub>NBt</sub> <sup>1</sup>	#	#	#	#	#	#	#	a	a	a	a	ab	b	a

Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, <sup>1</sup>ohne Blattfall, nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

## 5.6.2 Zweifaktorielle Varianzanalyse des Erbse/Hafer-Gemenges zur Körnernutzung (KN)

In Tab. 58 und Tab. 59 sind die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse und des Mittelwertvergleichstests des Erbse/Hafer-Gemenges zur KN der Untersuchungsjahre 1999, 2000 und 2001 zusammengefasst. Die Ergebnisse der statistischen Überprüfung der Erbsendaten befinden sich jeweils in der linken Hälfte der Tabellen, die der Haferdaten stehen jeweils in der rechten Hälfte. Der geprüfte Parameter Stroh-N beinhaltet die N-Mengen in Spross, Blatt und Hülsen oder Spreu.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse ergab für die Stroh-N-Mengen des Gemengepartners Erbse eine sehr hoch signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. Die N-Menge im Stroh am Standort Föhrste nahm vom Versuchsjahr 2000 auf 2001 um 98,3 % zu, während diese am Standort Göttingen in diesem Zeitraum um 33,2 % sank. Korn-N-Menge und N-Harvest-Index des Gemengepartners Erbse konnten

wegen fehlender Normalverteilung auch nach Transformation keiner statistischen Prüfung unterzogen werden.

Die Überprüfung der Daten des Gemengepartners Hafer ergab eine sehr hoch signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort der N-Menge im Stroh und Korn. Die N-Menge im Stroh nahm am Standort Föhrste von 2000 auf 2001 um 40,4 % ab, während in diesem Zeitraum am Standort Göttingen eine Zunahme um 44,8 % festgestellt wurde. Die Korn-N-Menge reduzierte sich in dieser Zeit um 8,7 % am Versuchsstandort Borwede, während in Groß Malchau eine Zunahme der N-Menge im Korn um 42,9 % festgestellt wurde. Der Vergleich der Mittelwerte des Gemengepartners Hafer zur KN ergab keine signifikanten Differenzen.

Tab. 58: Erbse/Hafer-Gemenge: Körnernutzung - Vergleich der N-Erträge der Standorte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001; zweifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Erbse			Hafer		
	Ort	Jahr	Jahr x Ort	Ort	Jahr	Jahr x Ort
Stroh-N	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.	***
Korn-N	#	#	#	n.s.	n.s.	***
H <sub>NBt</sub> <sup>1</sup>	#	#	#	#	#	#

n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0,05, \*\* = P < 0,01, \*\*\* = P < 0,001, <sup>1</sup>ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt

Tab. 59: Erbse/Hafer-Gemenge: Körnernutzung – Tukey-Test der Mittelwerte der N-Erträge an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001

	Erbse							Hafer						
	Ort				Jahr			Ort				Jahr		
Tukey	B	F	G	M	1999	2000	2001	B	F	G	M	1999	2000	2001
Stroh-N	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
Korn-N	#	#	#	#	#	#	#	a	a	a	a	a	a	a
H <sub>NBt</sub> <sup>1</sup>	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#

Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, <sup>1</sup>ohne Blattfall, nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

### 5.6.3 Standort Borwede

Abb. 93 stellt in der oberen Hälfte der Graphik die N-Daten der beprobten Pflanzenbestandteile des Erbse/Hafer-Gemenges am Standort Borwede zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN) der Untersuchungsjahre 1999, 2000 und 2001 und die jeweiligen N-Harvest-Indizes ( $H_{NBT}$ ) dar. Die untere Hälfte zeigt die Nmin-Werte im Boden dieses Prüfgliedes zu Beginn der Vegetationsperiode (April) und den Ernten (Juni und Juli). Im Kopf der Abbildung sind die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse zusammengefasst.

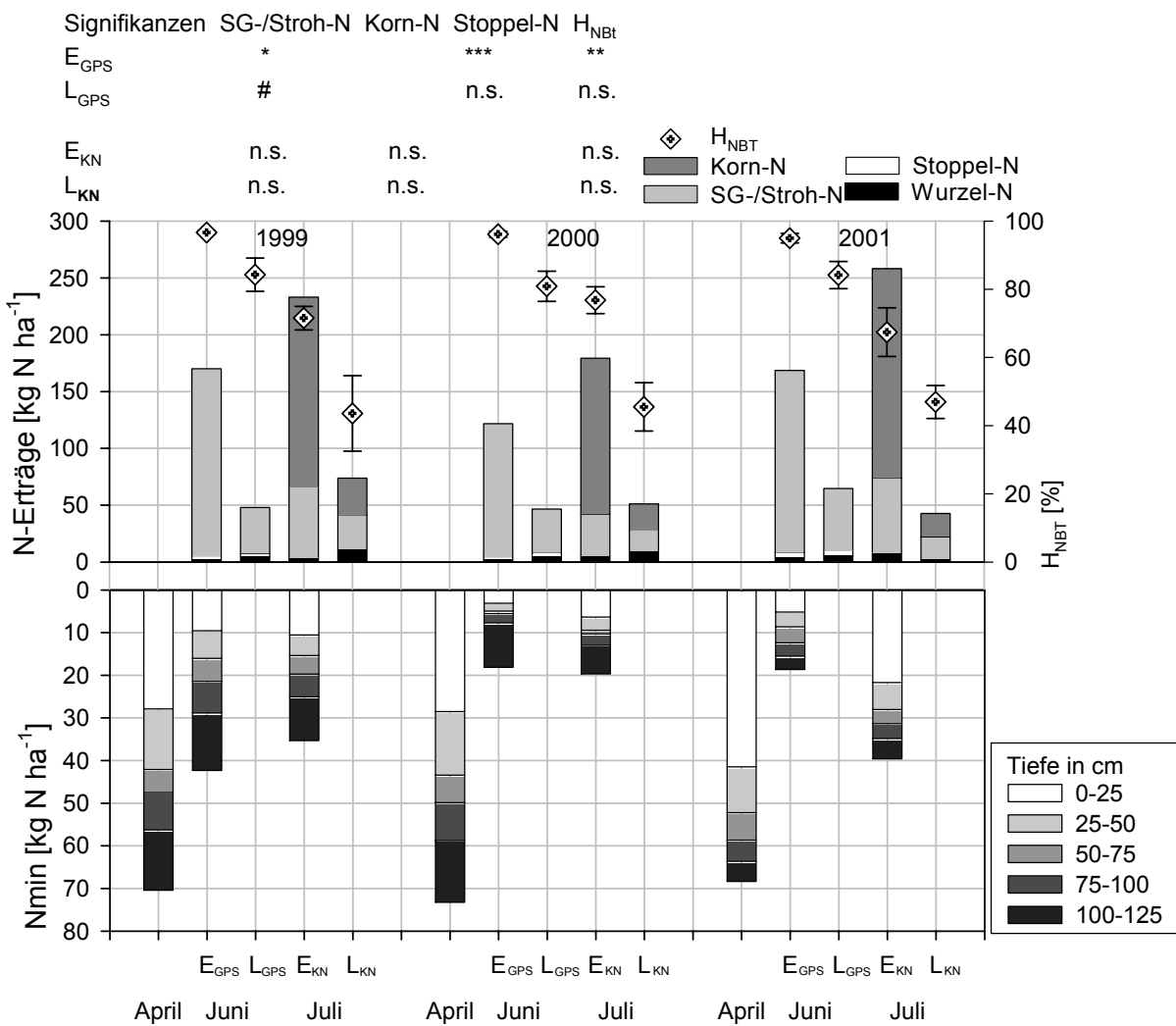


Abb. 93: Borwede – N-Erträge und N-Harvest-Index ( $H_{NBT}$ ) der gesamten Biomasse und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat (April) und zu den Ernten (Juni und Juli) des Erbse/Hafer-Gemenges mit den Gemengepartnern Erbse, Sorte Eiffel (E) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage ( $_{GPS}$ ) und Körnernutzung ( $_{KN}$ ); einfaktorielle Varianzanalyse: \* =  $P < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt



Zum Zeitpunkt der Nutzung als GPS war in den drei Versuchsjahren eine deutliche Dominanz des Gemengepartners Erbse gegenüber dem Gemengepartner Hafer und damit verbunden deutlich höhere N-Mengen im Schnittgut festzustellen. Die N-Menge in Schnittgut, Stoppel und Wurzel wurde beim Gemengepartner Erbse im Mittel der drei Versuchsjahre zur GPS mit 152,8, 2,0 und 1,9 kg N ha<sup>-1</sup> und beim Gemengepartner Hafer mit 43,7, 2,8 und 5,1 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Die von der Fläche transportierten N-Mengen der Gemengepartner Erbse und Hafer betrug 97,3 % bzw. 84,3 % der gesamt-pflanzlichen N-Menge.

In der einfaktoriellen Varianzanalyse der Gemengedaten zur GPS zeigten sich signifikante Unterschiede im Schnittgut-N, sehr hoch signifikante Unterschiede im Stoppel-N und hoch signifikante Unterschiede im N-Harvest-Index des Gemengepartners Erbse. Auch zum Zeitpunkt der KN lag die gesamt-pflanzliche N-Menge besonders durch die N<sub>Korn</sub>-Erträge des Gemengepartners Erbse deutlich über der des Gemengepartners Hafer. In Korn, Stroh und Wurzel der Erbsen wurden zur KN im Mittel der drei Versuchsjahre 147,7, 54,7 bzw. 3,1 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt, für Hafer waren es 25,1, 23,2 und 8,2 kg N ha<sup>-1</sup>. Der N-Harvest-Index beider Arten wurde mit 72,1 % bzw. 45,1 % ermittelt.

Der recht einheitliche N<sub>min</sub>-Wert im Boden zum Zeitpunkt der Aussaat von im Mittel 70,7 kg N<sub>min</sub>-N ha<sup>-1</sup> in 0 bis 125 cm Tiefe wurde durch das Erbse/Hafer-Gemenge in den drei Versuchsjahren nicht zu gleichen Teilen oder entsprechend der N-Erträge der Biomasse ausgeschöpft. Der Boden besaß zur GPS im Jahr 1999 auffallend höhere residuale Mengen an mineralischem Stickstoff als in den beiden Folgejahren. Die N<sub>min</sub>-Mengen zum Zeitpunkt der KN lagen in den Versuchsjahren 2000 und 2001 durch die fortschreitende Mineralisation organischer N-Mengen über der zum Zeitpunkt der GPS-Ernte. Vor allem in der Tiefe von 0 bis 25 cm waren deutlich höhere Werte festzustellen. Im ersten Versuchsjahr wurde die N-Mineralisation möglicherweise durch die anhaltende Trockenheit zwischen den beiden Ernteterminen blockiert. Im Mittel der drei Versuchsjahre lagen die N<sub>min</sub>-Werte zur GPS bei 28,6 kg N ha<sup>-1</sup>, zur KN waren es im Mittel 33,4 kg N ha<sup>-1</sup>.

### 5.6.4 Standort Föhrste

In Abb. 94 sind in der oberen Hälfte die N-Erträge und der N-Harvest-Index der Gemengepartner des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN) der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 des Standortes zusammengefasst. Die untere Hälfte zeigt die Ergebnisse der Nmin-Analysen der Boden-Beprobung zum Zeitpunkt der Aussaat (April) und der Ernten (Juni und Juli). Oberhalb der Abbildung befinden sich die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse beider Nutzungsvarianten der Versuchsjahre 2000 und 2001.

Die N-Erträge im Schnittgut des legumen Gemengepartners lag zur GPS der drei Versuchsjahre höher als die des Hafers. Entsprechend der TM-Erträge verblieb mit den Haferwurzeln zu diesem Zeitpunkten mehr Stickstoff auf der Fläche als mit den Erbsenwurzeln. Die N-Mengen im Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln der Erbse betragen im Mittel der Jahre 2000 und 2001 (1999) 100,1 (105,12), 0,9 (1,2) und 2,2 (6,3) kg N ha<sup>-1</sup> zur GPS. Die des Hafers wurden mit 36,3 (49,8), 2,7 (2,7) und 6,4 (4,0) kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Der N-Harvest-Index von Erbse und Hafer lag bei 97,0 (92,5) % und 79,9 (87,3) %. Durch die einfaktorielle Varianzanalyse wurden signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsjahren im Schnittgut-N der Erbse deutlich.

Zur KN wurde mit dem Korn des Gemengepartners Erbse eine zum Teil deutlich höhere N-Menge von der Fläche abgefahren als mit dem Korn des Hafers. Dementsprechend lag auch in den drei Versuchsjahren der N-Harvest-Index der Erbse über dem des Hafers. Die N-Menge in Korn, Stroh und Wurzel des Gemengepartners Erbse wurden im Mittel der Versuchsjahre 2000 und 2001 (1999) mit 140,0 (78,5), 68,3 (26,4) und 2,5 (1,8) kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt, die des Hafers mit 24,5 (27,9), 16,5 (34,4) und 2,6 (2,1) kg N ha<sup>-1</sup>. Mit dem Korn der Gemengepartner Erbse und Hafer wurde im Mittel 68,6 (74,12) bzw. 40,0 (41,8) % der gesamt-pflanzlichen N-Menge abgefahren. Die einfaktorielle Varianzanalyse der N-Daten der Gemengepartner zur KN ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Jahren.

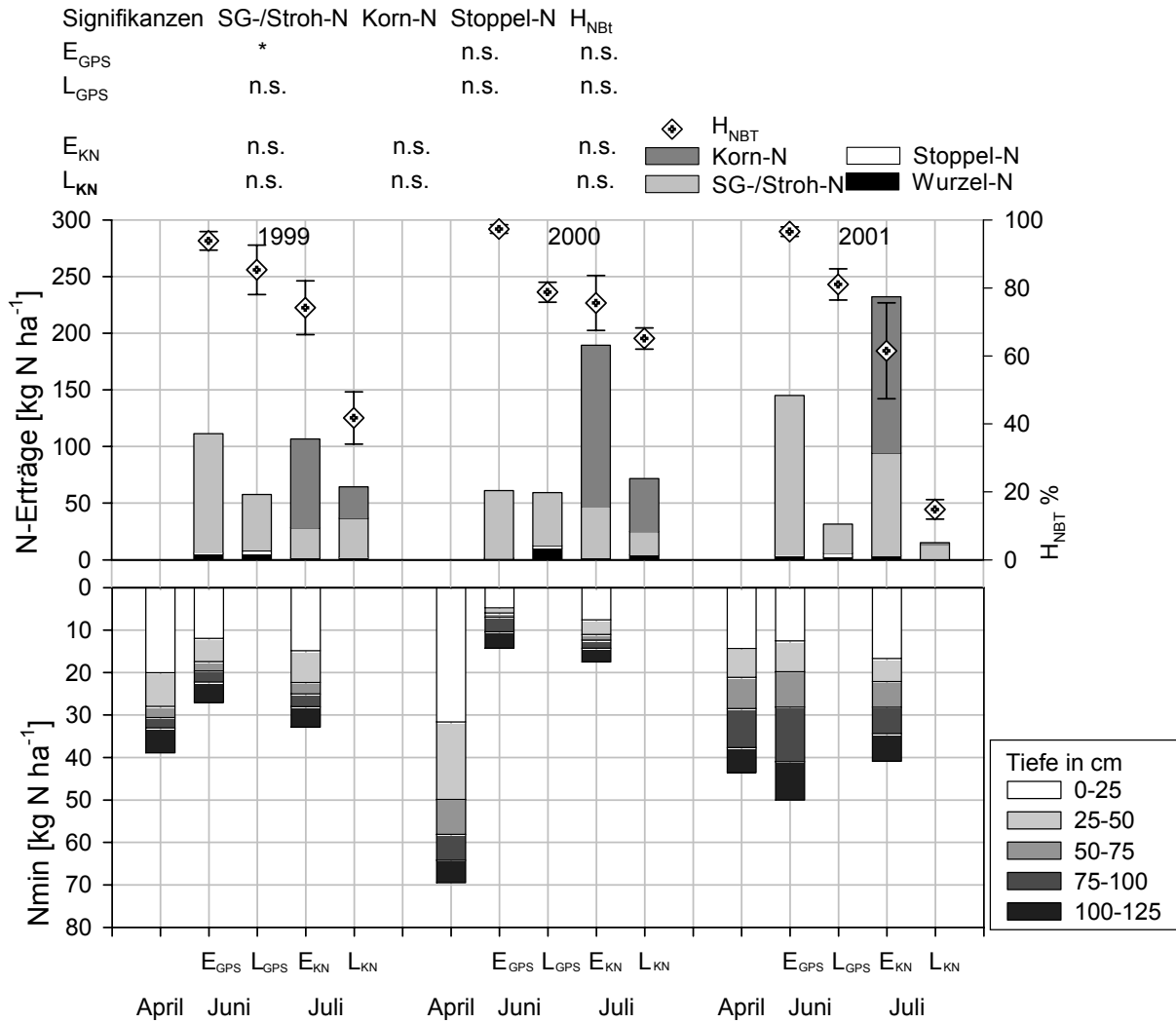


Abb. 94: Föhrste – N-Erträge und N-Harvest-Index (H<sub>NBT</sub>) der gesamten Biomasse und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat (April) und zu den Ernten (Juni und Juli) des Erbse/Hafer-Gemenges mit den Gemeengepartnern Erbse, Sorte Eiffel (E) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN); einfaktorische Varianzanalyse: \* = P < 0,05, n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

Das Nmin-Angebot des Bodens in 0 bis 125 cm Tiefe war zu Beginn der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 und besonders von 0 bis 25 cm Tiefe in 2000 und 2001 sehr unterschiedlich. Der Entzug des bodenbürtigen Stickstoffs verlief in den drei Versuchsjahren nicht einheitlich. Wie auch beim Ackerbohne/Hafer-Gemenge kam es nach der Ernte des Erbse/Hafer-Gemenges zur GPS zu einer fortgesetzten Mineralisation des organischen Boden-N, die von den Pflanzen und vor allem vom in der fortgeschrittenen Vegetationsperiode nur noch zu einem geringen Teil genutzt werden konnte, was eine erhöhte Nmin-Menge in der Tiefenstufe von 0 bis 25 cm zur Folge hatte. Die Werte waren dadurch im Jahr 1999 und 2001 nach der KN höher als zur GPS-Ernte. Hierbei wurden in den drei Versuchsjahren Werte in 0 bis 125 cm

Tiefe von 27,1, 14,3 und 50,0 kg N<sub>min</sub>-N ha<sup>-1</sup> ermittelt und zur KN von 32,8, 17,5 und 40,9 kg N<sub>min</sub>-N ha<sup>-1</sup>.

### 5.6.5 Standort Göttingen

In Abb. 95 sind in der oberen Hälfte die N-Erträge der geprüften Pflanzenbestandteile des Erbse/Hafer-Gemenges in der Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN) der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 des Standortes Göttingen und des N-Harvest-Indexes zusammengefasst. Die untere Hälfte zeigt die N<sub>min</sub>-Mengen im Boden zur Aussaat (April) und zu den Ernten im Juni (GPS) und Juli (KN). Die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse der N-Daten beider Erntetermine befinden sich im Kopf der Abbildung.

Die N-Erträge im Schnittgut des Gemengepartners Erbse waren mit den jeweiligen N-Harvest-Indizes zur GPS der Versuchsjahre 1999 und 2000 entsprechend den TM-Daten weit größer als die des Gemengepartners Hafer. Aber trotz der deutlich geringeren Schnittgut-TM der Erbse im Versuchsjahr 2001 war die N-Menge hier höher als die des Gemengepartners Hafer. Die gesamt-pflanzliche N-Menge beider Gemengepartner nahm zur KN noch leicht zu, ohne die Verhältnisse zu verschieben. Die Korn-N-Menge des Gemengepartners Erbse war in den Versuchsjahren 1999 und 2000 deutlich höher als die des Gemengepartners Hafer. Doch auch mit der viel geringeren TM der Erbse (15,4 dt TM ha<sup>-1</sup>) im Vergleich zum Hafer (25,7 dt TM ha<sup>-1</sup>) des Versuchsjahres 2001 wurde eine größere N-Menge von der Fläche transportiert. Jedoch verblieb mit den Haferwurzeln zur GPS und zur KN in den drei Versuchsjahren eine größere N-Menge auf den Flächen als mit den Erbsen-Wurzeln. Im Mittel der Versuchsjahre wurden in Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln zur GPS von Erbse bzw. Hafer 81,4, 1,1 und 3,8 kg N ha<sup>-1</sup> bzw. 40,3, 1,9 und 5,9 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Mit dem Schnittgut wurden 95,0 bzw. 84,0 % der gesamt-pflanzlichen N-Menge von der Fläche abgeführt.

Zur KN lag die N-Menge in Korn, Stroh und in den Wurzeln der Gemengepartner Erbse bzw. Hafer im Mittel bei 87,7, 17,8 und 2,1 bzw. 38,2, 17,7 und 5,1 kg N ha<sup>-1</sup>. Der N-Harvest-Index von Erbse und Hafer wurde mit 81,1 und 59,2 % ermittelt. Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab hoch signifikante Differenzen in der N-Menge des Hafer-Schnittguts zur GPS. Signifikante Unterschiede zeigten sich beim N-Harvest-Index des Gemengepartners Erbse zur GPS, in der N-Menge des Hafer-Strohs und der Hafer-Wurzeln und des Korns beider Gemengepartner zur KN.

Die im Boden verfügbaren N<sub>min</sub>-Mengen in 0 bis 125 cm Tiefe waren im Versuchsjahr 1999 deutlich höher als in den beiden Folgejahren. Das Erbse/Hafer-Gemenge reduzierte die Werte jedoch einheitlich auf einen Wert von  $\pm 20$  kg N ha<sup>-1</sup>. Auch wur-

de die nach der GPS-Nutzung mineralisierte N-Menge bis zur KN noch weitgehend genutzt. Die Nmin-Werte lagen im Mittel der drei Versuchsjahre zur GPS-Ernte bei 19,3 kg N ha<sup>-1</sup> und zur KN bei 20,8 kg N ha<sup>-1</sup>.

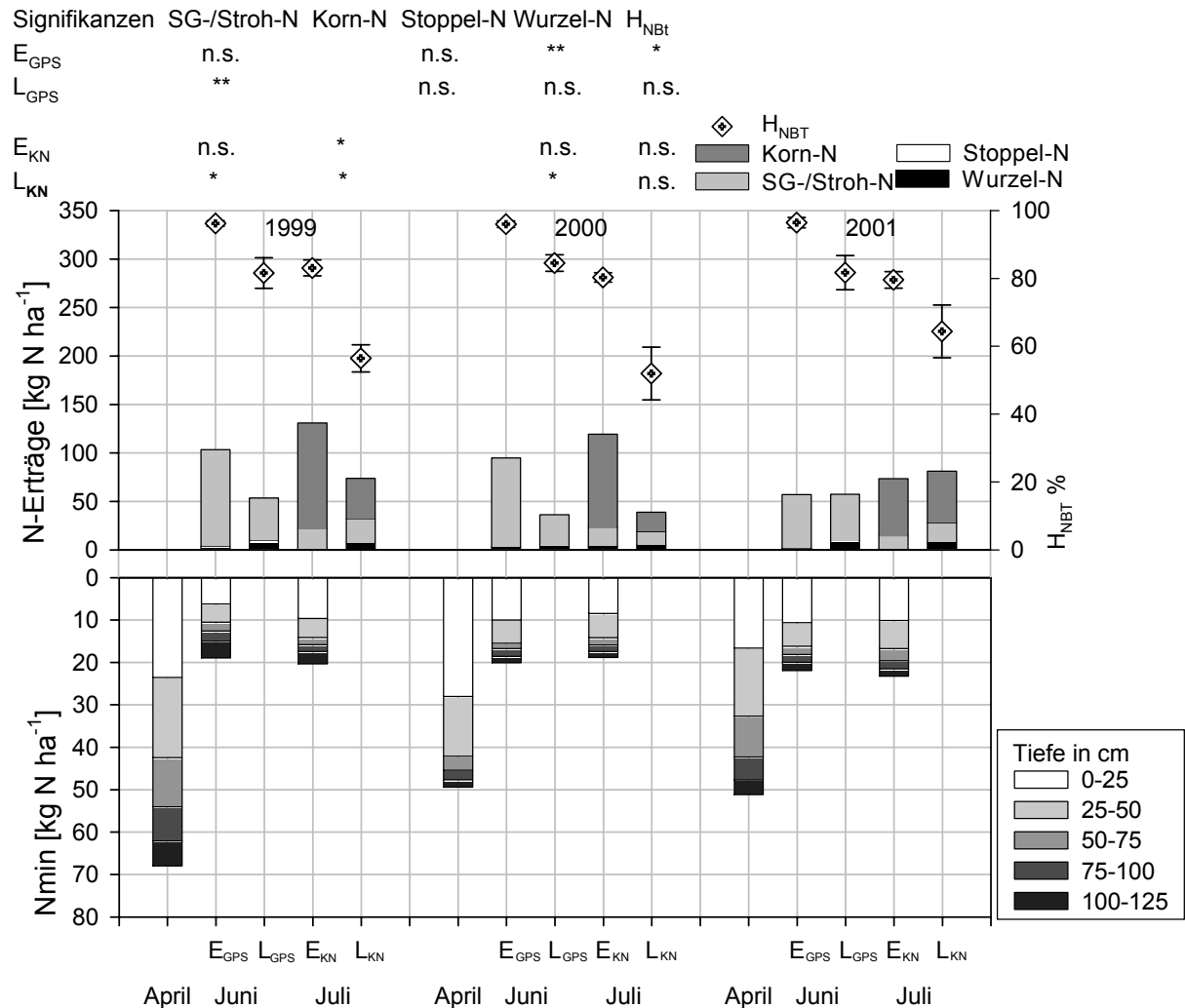


Abb. 95: Göttingen – N-Erträge und N-Harvest-Index (H<sub>NBT</sub>) der gesamten Biomasse und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat (April) und zu den Ernten (Juni und Juli) des Erbse/Hafer-Gemenges mit den Gemengepartnern Erbse, Sorte Eiffel (E) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN); einfaktorielle Varianzanalyse: \* = P < 0,05, n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

### 5.6.6 Standort Groß Malchau

Abb. 96 zeigt in der oberen Hälfte die N-Erträge des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN) der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 und den N-Harvest-Index der Gemengepartner Erbse und Hafer am Standort Groß Malchau. In der unteren Hälfte sind die Ergebnisse der Nmin-Analysen des Bodens zur Aussaat (April) und den Ernten (Juni und Juli) zusammengefasst. Oberhalb der Graphik befinden sich die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse.

Am Untersuchungsstandort Groß Malchau waren die N-Mengen der ertragsrelevanten Pflanzenbestandteile Schnittgut und Korn des Gemengepartners Erbse in den drei Versuchsjahren größer als die des Gemengepartners Hafer, was sich auch in den größeren N-Harvest-Indizes widerspiegelt. Entsprechend der Trockenmasse verblieb mit den Haferwurzeln deutlich mehr Stickstoff auf der Untersuchungsfläche als mit den Erbsenwurzeln. Die N-Erträge des Jahres 1999 fielen deutlich geringer aus als die der Folgejahre. Für Schnittgut, Stoppeln und Wurzeln der Erbse bzw. des Hafer wurden im Mittel der Versuchsjahre N-Mengen in Höhe von 67,2, 1,2 und 1,0 bzw. 31,6, 1,1 und 6,0 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Der N-Harvest-Index lag bei 96,6 % (Erbse) bzw. 80,4 % (Hafer).

Zur KN waren es in Korn, Stroh und Wurzeln 54,3, 17,8 und 1,1 bzw. 18,7, 6,8 und 5,8 kg N ha<sup>-1</sup>. Mit dem Korn der Erbsen wurden 74,4 %, mit dem des Hafers 59,5 % der gesamt-pflanzlichen N-Menge von der Fläche abgefahren. Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab signifikante Differenzen in der N-Menge der Erbsen-Stoppeln zur Nutzung als GPS bzw. des Haferstrohs und des N-Harvest-Index des Gemengepartners Erbse zur KN. Hochsignifikant waren die Differenzen der N-Menge der Haferwurzeln und sehr hoch signifikant im Erbsenstroh zur KN.

Die Nmin-Menge im Boden zur Aussaat war besonders in der Tiefenstufe von 0 bis 25 cm in den Jahren recht uneinheitlich. Das Erbse/Hafer-Gemenge konnte das Bodenprofil zur GPS entleeren. Bis zur KN wurden geringe N-Mengen nachmineralisiert, die das Bodenprofil im Vergleich zu den anderen Standorten auch in den Tiefen bis 100 cm mit Nmin anreicherten. Die residualen Nmin-Mengen zur Nutzung als GPS lagen im Mittel der drei Versuchsjahre bei 7,8 und zur KN bei 14,4 kg N ha<sup>-1</sup>.

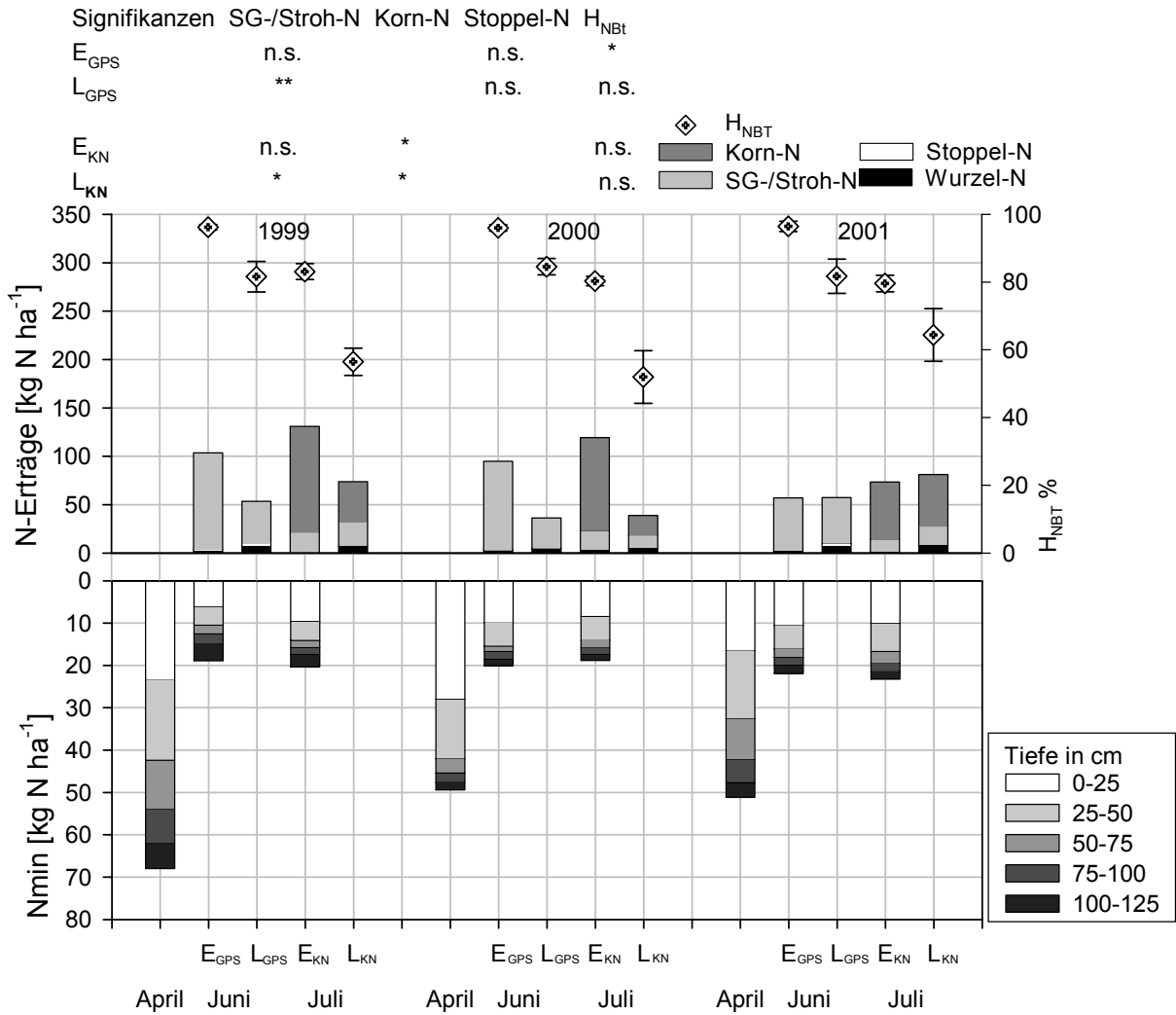


Abb. 96: Groß Malchau – N-Erträge und N-Harvest-Index ( $H_{NBT}$ ) der gesamten Biomasse und Nmin-Menge im Boden zur Aussaat (April) und zu den Ernten (Juni und Juli) des Erbse/Hafer-Gemenges mit den Gemeengepartnern Erbse, Sorte Eiffel (E) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage ( $_{GPS}$ ) und Körnernutzung ( $_{KN}$ ); einfaktorische Varianzanalyse: \* =  $P < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

## 5.7 Stickstoff-Quellen des Erbse/Hafer-Gemenges

### 5.7.1 Zweifaktorielle Varianzanalyse des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN)

Die Ergebnisse der zweifaktoriellen Varianzanalyse der Stickstoff-Quellen ( $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$ ) und des Faktor Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) des Ackerbohne/Hafer-Gemenges der Jahre 1999, 2000 und 2001 sind in Tab. 60 und Tab. 61 zusammengefasst. Jeweils in der linken Hälfte der Tabellen befinden sich die Ergebnisse zur Nutzung als GPS, in der jeweils rechten Hälfte der Tabellen die zur KN. Auch beim Erbse/Hafer-Gemenge werden die Daten der Gemengepartner zusammengefasst dargestellt, da auch hier die Wurzeln nicht separat analysiert werden konnten.

Die N-Menge aus der  $N_2$ -Fixierung in der Biomasse des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als GPS zeigte zwischen den Jahren sehr hoch signifikante Differenzen. Bei der  $N_{\text{Boden}}$ -Menge bestand eine signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. So steigerte sich die  $N_{\text{Boden}}$ -Menge von 2000 auf 2001 am Standort Föhrste um 69,1 %, wohingegen in dieser Zeit am Standort Groß Malchau eine Reduzierung um 16,7 % zu verzeichnen war. Der Ndfa-Wert wies zwischen den Jahren signifikante Unterschiede auf. Der Mittelwertvergleichstest ergab signifikante Unterschiede zwischen den luftbürtigen N-Mengen in der gesamt-pflanzlichen Biomasse des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als GPS und den Ndfa-Werten zwischen den Jahren 1999 und 2001. Im Verhältnis zwischen luft- und bodenbürtigem Stickstoff zeigten sich eine signifikante Differenz zwischen dem Jahr 2001 zu den beiden vorherigen Versuchsjahren.

Die Menge des luftbürtigen Stickstoffs im Erbse/Hafer-Gemenge zur KN zeigte zwischen den Jahren sehr hoch signifikante Differenzen und eine hoch signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. Am Standort Göttingen wurde vom Versuchsjahr 2000 auf 2001 ein Rückgang an luftbürtigem Stickstoff in der gesamt-pflanzlichen Biomasse des Erbse/Hafer-Gemenges um 15,5 % ermittelt, während am Standort Groß Malchau in diesem Zeitraum eine Steigerung um 17,3 % zu verzeichnen war. Die  $N_{\text{Boden}}$ -Werte waren zwischen den Jahren und in der Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort signifikant bzw. hoch signifikant. So wurde am Standort Borwede eine Zunahme der  $N_{\text{Boden}}$ -Menge von 2000 auf 2001 um 119,6 % festgestellt, während am Standort Groß Malchau eine Reduzierung um 25,6 % ermittelt wurde. Die Ndfa-Werte waren zwischen den Jahren signifikant verschieden. Der Tukey-Test ergab für die Mittelwerte des luftbürtigen Stickstoffs signifikante Differenzen zwischen dem Jahr 2000 zu den Vorjahren. Für die  $N_{\text{Boden}}$ -Menge wurden signifikante Unter-



schiede zwischen den Jahren 2000 und 2001 ermittelt. Der Anteil des luftbürtigen Stickstoffs an der gesamt-pflanzlichen Biomasse war zwischen den Jahren 1999 und 2001 signifikant verschieden.

Tab. 60: Erbse/Hafer-Gemenge: Ganzpflanzensilage - Vergleich der N-Quellen der Standorte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001; zweifaktorielle Varianzanalyse

Varianzanalyse	Ganzpflanzensilage			Körnernutzung		
	Ort	Jahr	Jahr x Ort	Ort	Jahr	Jahr x Ort
N <sub>Atmosphäre</sub>	n.s.	***	n.s.	n.s.	***	**
N <sub>Boden</sub>	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	**
Ndfa	n.s.	*	n.s.	n.s.	**	n.s.

n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0,05, \*\* = P < 0,01, \*\*\* = P < 0,001, <sup>1</sup>ohne Blattfall

Tab. 61: Erbse/Hafer-Gemenge: Ganzpflanzensilage – Tukey-Test der Mittelwerte der N-Quellen an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001

Tukey	Ganzpflanzensilage							Körnernutzung						
	Ort				Jahr			Ort				Jahr		
	B	F	G	M	1999	2000	2001	B	F	G	M	1999	2000	2001
N <sub>Atmosphäre</sub>	a	a	a	a	a	ab	b	a	a	a	a	a <sup>1</sup>	a <sup>1</sup>	b <sup>1</sup>
N <sub>Boden</sub>	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	ab	a	b
Ndfa	a	a	a	a	a	a	b	a	a	a	a	a <sup>2</sup>	ab <sup>2</sup>	b <sup>2</sup>

Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, <sup>1</sup>ohne Blattfall, <sup>2</sup>α = 0,01, nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede

### 5.7.2 Standort Borwede

In Abb. 97 sind die Ergebnisse zur Schätzung der N-Quellen (N<sub>Atmosphäre</sub> und N<sub>Boden</sub>) mit Hilfe der δ<sup>15</sup>N-Methode und der daraus berechnete Anteil Stickstoffs aus der Luft (Ndfa - Nitrogen derived from atmosphere) des Erbse/Hafer-Gemenges zum Zeitpunkt der Ernte der Ganzpflanzensilage (GPS) und der Körnernutzung (KN) der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 am Standort Borwede zusammengefasst. Im Kopf der Abbildung befinden sich die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse.

Die gesamt-pflanzliche N-Menge lag zum Zeitpunkt der KN in den Versuchsjahren 2000 und 2001 deutlich höher als zum Zeitpunkt der GPS. Anhand der Ndfa-Werte wird deutlich, dass sich in den Jahren 1999 und 2000 die Pflanzen nach der GPS-Ernte für den Reifungsprozess weiterhin beider N-Quellen bedienten, wodurch sich allerdings die Höhe des Ndfa-Wertes nicht wesentlich veränderte. Für das Jahr 1999

wurden zu beiden Ernteterminen etwa gleich hohe Werte für die gesamt-pflanzliche Biomasse ermittelt. Zur GPS-Nutzung wurden für die  $N_{\text{Atmosphäre}}$ - bzw.  $N_{\text{Boden}}$ -Mengen in der gesamten Biomasse beider Gemengepartner Werte im Mittel von  $149,9 \text{ kg N ha}^{-1}$  bzw.  $67,1 \text{ kg N ha}^{-1}$  ermittelt. Zur KN lagen diese Werte bei  $200,1 \text{ kg N ha}^{-1}$  bzw.  $69,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die Ndfa-Werte wurden zur GPS bzw. KN mit  $71,5 \%$  bzw.  $75,3 \%$  ermittelt.

In der einfaktoriellen Varianzanalyse zeigten sich zwischen den Jahren signifikante Differenzen in den  $N_{\text{Atmosphäre}}$ -Werten beider Nutzungsvarianten und sehr hoch signifikante Differenzen in den  $N_{\text{Atmosphäre}}$ -Werten zur Nutzung als GPS.

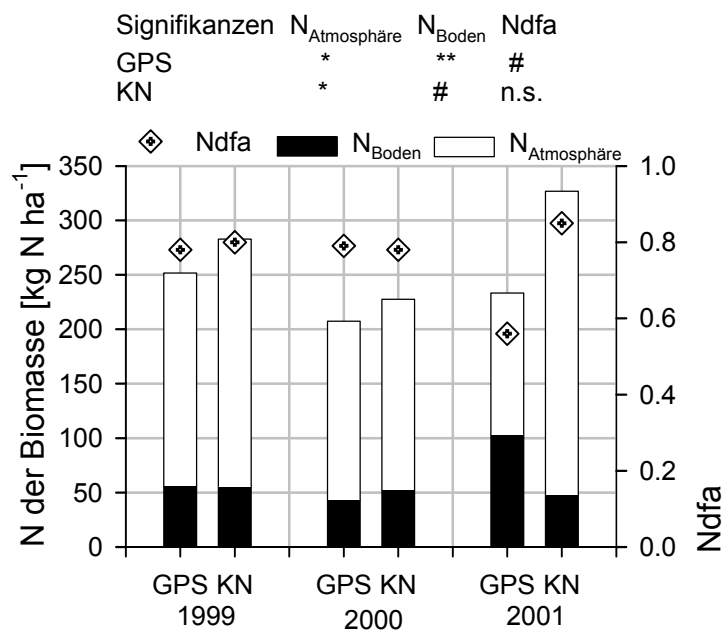


Abb. 97: Borwede – N-Quellen, Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse des Erbse/Hafer-Gemenges mit den Gemengepartnern Erbse, Sorte Eiffel (E) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN); einfaktorielle Varianzanalyse: \* =  $P < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

### 5.7.3 Standort Föhrste

Für den Standort Föhrste sind in Abb. 98 die Ergebnisse zur Schätzung der N-Menge ( $N_{\text{Boden}}$  und  $N_{\text{Atmosphäre}}$ ) an der gesamt-pflanzlichen N-Menge mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{-N}$ -Methode und der daraus abgeleitete Anteil luftbürtigen Stickstoffs (Ndfa - nitrogen derived from atmosphere) aus den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN) zusammengefasst. Im Kopf der Abbildung befinden sich die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse. Zur GPS wurden für die  $N_{\text{Atmosphäre}}$ - bzw.  $N_{\text{Boden}}$ -Mengen in der gesamten Biomasse beider Gemengepartner der drei

Versuchsjahre Werte in Höhe von 109,7, 91,5 und 127,8 kg N ha<sup>-1</sup> bzw. 59,3, 29,0 und 49,0 kg N ha<sup>-1</sup> festgestellt. Zur KN lagen diese Werte bei 110,9, 214,6 und 160,1 kg N ha<sup>-1</sup> bzw. 60,3, 46,5 und 87,4 kg N ha<sup>-1</sup>. Mit 65,0, 82,2 und 69,2 % zur KN waren die Anteile des luftbürtigen Stickstoffs in der gesamt-pflanzliche Biomasse beider Gemengepartner in zwei der drei Versuchsjahre auf einem Niveau mit denen zum Zeitpunkt der Nutzung als GPS mit 65,0, 76,0 und 69,2 %. In der einfaktoriellen Varianzanalyse zeigten sich signifikante Differenzen in den N<sub>Boden</sub>-Werten des Erbse/Hafer-Gemenges zur GPS und sehr hoch signifikante Unterschiede zwischen den N<sub>Atmosphäre</sub>-Werten zur KN.

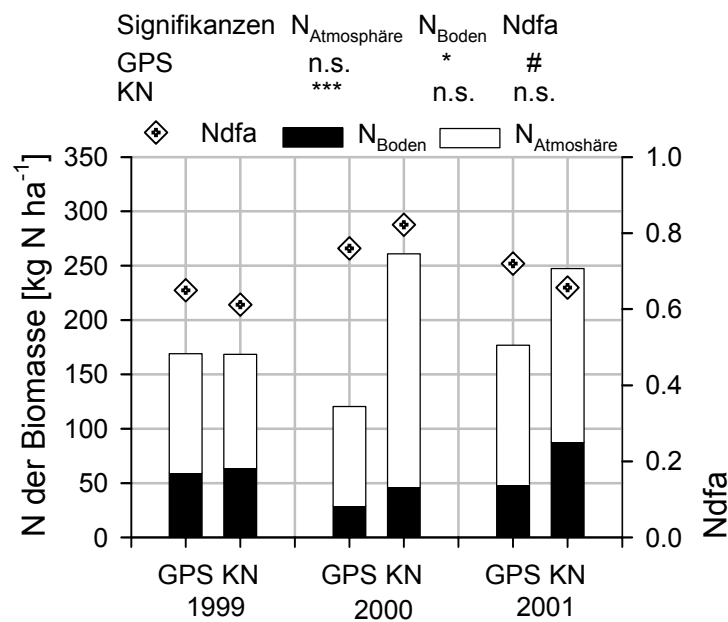


Abb. 98: Föhrste – N-Quellen, Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse des Erbse/Hafer-Gemenges mit den Gemengepartnern Erbse, Sorte Eiffel (E) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN); einfaktorielle Varianz-Analyse: \* = P < 0,05, n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

### 5.7.4 Standort Göttingen

Abb. 99 zeigt die Ergebnisse zur Schätzung der N-Quellen (N<sub>Atmosphäre</sub> und N<sub>Boden</sub>) mit Hilfe der δ<sup>15</sup>N-Methode und der Anteil luftbürtigen Stickstoffs (Ndfa - Nitrogen derived from atmosphere) des Erbse/Hafer-Gemenges zum Zeitpunkt der Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und der Körnernutzung (KN) der Untersuchungsjahre 1999, 2000 und 2001 am Standort Göttingen.

Am Standort Göttingen waren es in den drei Versuchsjahren nach der Ernte zur GPS hauptsächlich die N-Vorräte des Bodens, die das Gemenge in diesem fortgeschritte-

nen Entwicklungsstadium während des Reifungsprozesses in Anspruch nahm, wodurch der Ndfa-Wert zur KN unter den der GPS sank. Die  $N_{\text{Atmosphäre}}$ - bzw. die  $N_{\text{Boden}}$ -Werte des Erbse/Hafer-Gemenges wurden zur GPS-Nutzung im Mittel mit 85,4 bzw. 49,4 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt. Der daraus resultierende Ndfa-Wert lag bei 63,0 %. Zur KN waren es im Mittel 98,4 kg N ha<sup>-1</sup> aus der Luft bzw. 71,4 kg N ha<sup>-1</sup> aus dem Boden. Der Anteil des luftbürtigen Stickstoffs an der gesamt-pflanzlichen N-Menge lag zur KN im Mittel bei 58,1 %. Die statistische Auswertung ergab keinerlei signifikante Differenzen in den geprüften Parametern.

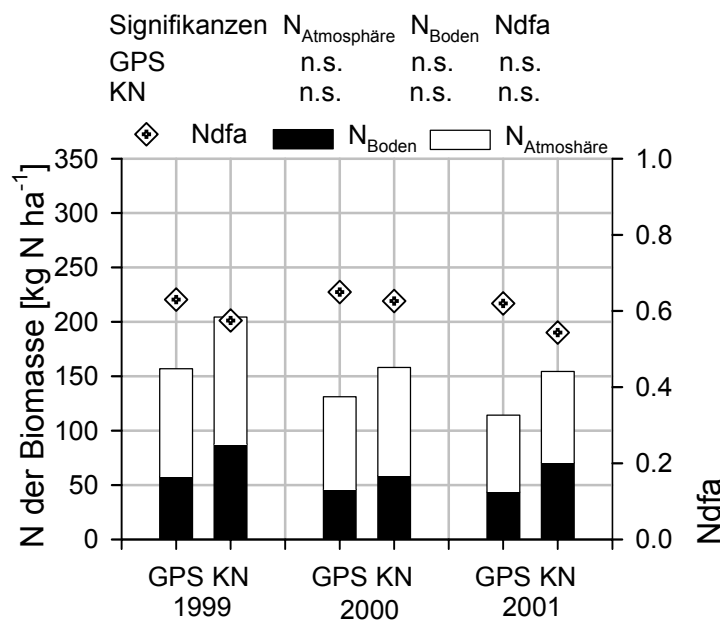


Abb. 99: Göttingen – N-Quellen, Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse des Erbse/Hafer-Gemenges mit den Gemeindepartnern Erbse, Sorte Eiffel (E) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN); einfaktorielle Varianzanalyse: \* =  $P < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

### 5.7.5 Standort Groß Malchau

Abb. 100 zeigt die Ergebnisse aus der Schätzung der N-Quellen ( $N_{\text{Atmosphäre}}$  und  $N_{\text{Boden}}$ ) mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode und den Anteil luftbürtigen Stickstoffs (Ndfa - Nitrogen derived from atmosphere) des Erbse/Hafer-Gemenges zum Zeitpunkt der Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und der Körnernutzung (KN) der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 am Standort Groß Malchau. Im Kopf der Abbildung sind die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse zusammengefasst.

Die gesamt-pflanzliche N-Menge veränderte sich vom Zeitpunkt der GPS-Ernte zur KN nur unwesentlich, im Versuchsjahr 1999 wurde sogar eine leichte Reduktion er-

mittelt. Die Menge an bodenbürtigem Stickstoff war in den Jahren 2000 und 2001 zur KN leicht reduziert. Der Anteil an luftbürtigem Stickstoff nahm in den Jahren 2000 und 2001 zur KN deutlich zu. Zur GPS wurden für die  $N_{\text{Atmosphäre}}$  - bzw.  $N_{\text{Boden}}$ -Mengen in der gesamten Biomasse beider Gemengepartner im Mittel  $58,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  bzw.  $49,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  ermittelt. Zur KN lagen diese Werte bei  $62,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  bzw.  $42,0 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die Ndfa-Werte lagen zur GPS bzw. KN bei  $57,0 \%$  bzw.  $60,0 \%$ . Zwischen den Versuchsjahren zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Ndfa-Werten zur Nutzung als GPS und zwischen den  $N_{\text{Boden}}$ -Werten zur KN.

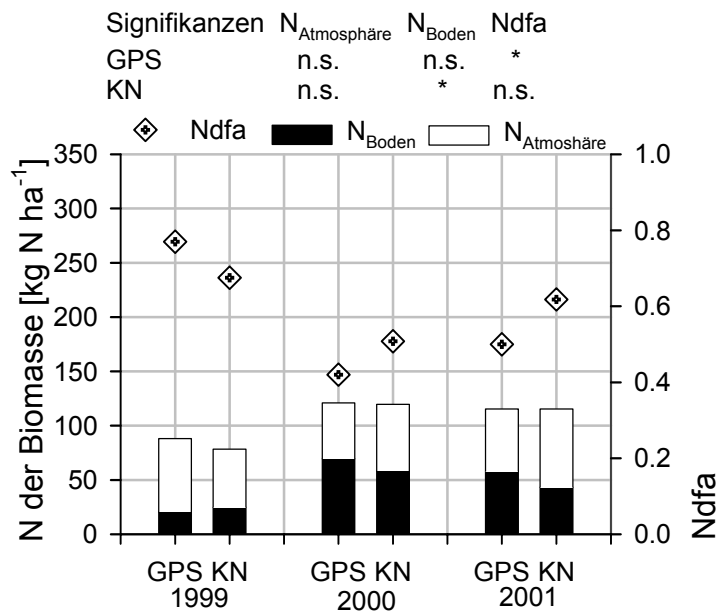


Abb. 100: Groß Malchau – N-Quellen, Ndfa (Nitrogen derived from atmosphere) der gesamten Biomasse des Erbse/Hafer-Gemenges mit den Gemengepartnern Erbse, Sorte Eiffel (E) und Hafer, Sorte Lutz (L) in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN); einfaktorische Varianzanalyse: \* =  $P < 0,05$ , n.s. = nicht signifikant, # = nicht normalverteilt

## 5.8 Vergleich der mit Hilfe von $\delta^{15}\text{N}$ - und erweiterter Differenzmethode ermittelten $\text{N}_2$ -Fixierung des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN)

Die nach der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (Abszisse) und der erweiterten Differenzmethode (Ordinate) ermittelte  $\text{N}_2$ -Fixierleistung des Erbse/Hafer-Gemenges ist in Abb. 101 zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) (links) und zur Körnernutzung (KN) (rechts) gegenübergestellt. Zur Körnernutzung lag mit  $r = 0,83$  eine höhere Korrelation zwischen den Schätzungsergebnissen als zum Zeitpunkt der Nutzung als Ganzpflanzensilage  $r = 0,69$  vor. Mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode wurden im Mittel über die Jahre in Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau zur Nutzung als GPS  $N_{\text{Atmosphäre}}$ -Werte von 150,5, 108,5, 85,0 und 60,5  $\text{kg N ha}^{-1}$  ermittelt, denen Werte aus der erweiterten Differenzmethode von 124,0, 58,2, 57,6 und 52,0  $\text{kg N ha}^{-1}$  gegenüberstehen. Die Differenzen der Mittelwerte schwankten zwischen 8,5 und 50,2  $\text{kg N ha}^{-1}$ , die Amplitude der Einzelwerte war mit 1,9 bis 118,0  $\text{kg N ha}^{-1}$  größer. Beim Erbse/Hafer-Gemenge zur Nutzung als GPS wurde in vier von sechsunddreißig Fällen mit der erweiterten Differenzmethode ohne eine orts- oder jahresspezifische Verteilung eine höhere  $\text{N}_2$ -Fixierleistung ermittelt als mit der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode. Zur Körnernutzung waren es neun von fünfunddreißig Werten. Im Mittel über die Jahre wurden mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode in Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau zur Körnernutzung  $N_{\text{Atmosphäre}}$ -Mengen von 197,6, 154,1, 98,8 und 65,7  $\text{kg N ha}^{-1}$  ermittelt. Demgegenüber stehen die Werte aus der erweiterten Differenzmethode von 188,0, 128,0, 81,6 und 16,8  $\text{kg N ha}^{-1}$ . Die Unterschiede der Mittelwerte lagen demnach zwischen 9,6 und 26,1  $\text{kg N ha}^{-1}$ , die Schwankungen der Einzelwerte lagen bei 0,6 und 96,3  $\text{kg N ha}^{-1}$ . Bei neun der 35 Werte wurde mit der erweiterten Differenzmethode höhere  $\text{N}_2$ -Fixierleistungen des Erbse/Hafer-Gemenges zur KN ermittelt als mit der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode.

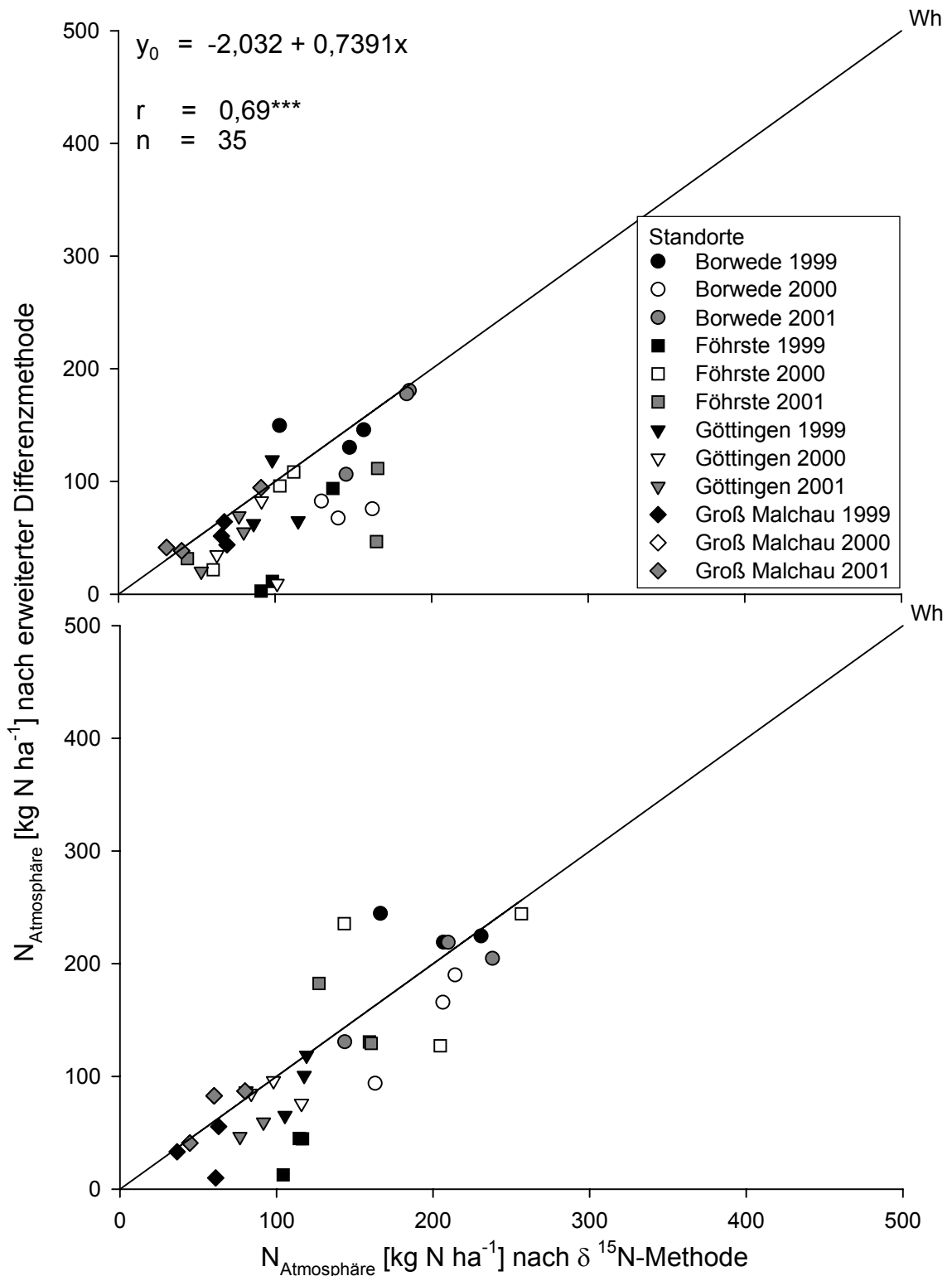


Abb. 101: Erbse/Hafer-Gemeinde - Korrelationen der Ergebnisse zur Schätzung der symbiotischen  $N_2$ -Fixierleistung zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (links) und Körnernutzung (rechts), ermittelt nach  $\delta^{15}N$ -Methode (x) und erweiterter Differenzmethode (y) aller Standorte der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001; Wh = Winkelhalbierende

## 6 Ergebnisse der Stickstoff-Flächenbilanzierung der Prüfglieder

Die Kalkulation des N-Flächenbilanzsaldos von Körnerleguminosen ist dann möglich, wenn die gesamt-pflanzlichen Anteile der N-Quellen Boden und Luft und der N-Export über das Erntegut einer angebauten Art bzw. Sorte bekannt sind. Die Beispielrechnung in Kap. 3 erläutert die einzelnen Schritte der Kalkulation unter Einbezug des luftbürtigen Anteils an der N-Rhizodeposition. Die Ergebnisse der Kalkulation der geprüften Körnerleguminosen sollen im Folgenden besprochen werden.

### 6.1 Stickstoff-Flächenbilanzsalden der geprüften Arten in Reinsaat

#### *Vicia faba*

Die in Abb. 102 zusammengefassten Daten zeigen die N-Flächenbilanzsalden von *Vicia faba* als Ableitung der gesamt-pflanzlichen luftbürtigen N-Menge und dem N-Export durch das Erntegut am Standort Borwede, zum einen als einfache Kalkulation ohne Einbezug der N-Rhizodeposition und zum anderen als erweiterte Kalkulation unter Einbezug der N-Rhizodeposition. Diese exemplarische Darstellung veranschaulicht die großen Differenzen im N-Flächenbilanzsaldo, die sich beim Anbau von *Vicia faba* zwischen den Anbaujahren und im geringeren Maße zwischen den Sorten ergaben. Des weiteren verdeutlicht die Abbildung die Diskrepanz zwischen der einfachen Kalkulation der N-Flächenbilanz und dem erweiterten Kalkulationsverfahren nach SCHMIDTKE (2001).

Tab. 62 fasst die Mittelwerte der N-Flächenbilanzsalden aus den jeweils drei Wiederholungen der Standorte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 und die Mittelwerte der Sorten (MW) und die jeweilige Standardabweichung (SD) zusammen. In der oberen Hälfte der Tabelle befinden sich die Werte der einfachen N-Flächenbilanz, in der unteren Hälfte die der erweiterten Kalkulation nach SCHMIDTKE (2001).

Beim Anbau von *Vicia faba* ergab die erweiterte Kalkulation mit einem geschätzten N-Rhizodepositionswert von 18,8 % der in Spross und Wurzel befindlichen N-Menge aus der Symbiose (vergl. Angaben in Tab. 19) im Versuchsjahr 1999 im Mittel (MW) N-Flächenbilanzsalden zwischen +26,5 und +111,8 kg N ha<sup>-1</sup>, während die einfache N-Flächenbilanz zum Teil noch negative und deutlich geringere Werte zwischen -7,9 und +75,6 kg N ha<sup>-1</sup> erbrachte (Tab. 62). Im Vergleich der Jahre schwankten die einfachen N-Flächenbilanzsalden im Mittel der Sorten zwischen -24,8 kg N ha<sup>-1</sup> (2001,



Groß Malchau) und  $+75,6 \text{ kg N ha}^{-1}$  (1999, Föhrste), während bei der erweiterten Kalkulation durch den Anbau von *Vicia faba* N-Gewinne zwischen  $-5,1 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2001, Groß Malchau) und  $+117,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2000, Borwede) zu verzeichnen waren. Die Amplitude der einfachen N-Flächenbilanzsalden im Vergleich der Sorten, Orte und Jahre von *Vicia faba* lag zwischen  $-45,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Alfred, 2001, Groß Malchau) und  $+84,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Scirocco, 2000, Borwede). Durch den Einbezug der N-Rhizodeposition stiegen diese Werte auf  $-33,7$  und  $+147,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ . In der dreifaktoriellen Varianzanalyse (Tab. 63) von *Vicia faba* zeigten sich signifikante Unterschiede der einfachen N-Flächenbilanzwerte zwischen den Sorten und den Jahren. Es wurde eine Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort mit sehr hoher Signifikanz ermittelt. So fiel die einfache N-Flächenbilanz am Standort Borwede im Versuchsjahr 1999 mit  $-7,9 \text{ kg N ha}^{-1}$  deutlich geringer aus als im Versuchsjahr 2001 mit  $+36,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ , wohingegen am Standort Groß Malchau in diesem Zeitraum Werte von  $+20,1$  und  $-24,8 \text{ kg N ha}^{-1}$  zu verzeichnen war. Der Vergleich der Mittelwerte der einfachen N-Flächenbilanzen zeigte ebenfalls signifikante Differenzen zwischen den Sorten und den Jahren. Die erweiterten N-Flächenbilanzen waren zwischen den Sorten signifikant und in der Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort hoch signifikant verschieden. So lagen die N-Flächenbilanzsalden am Standort Borwede im Versuchsjahr 2000 mit im Mittel  $117,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  deutlich über denen des Vorjahres mit  $26,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ , wohingegen die N-Salden in diesen beiden Jahren am Standort Groß Malchau mit im Mittel  $35,1$  und  $35,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  annähernd gleich ausfielen (Tab. 62). Der Vergleich der Mittelwerte zeigte signifikante Differenzen zwischen den Sorten Alfred (Sorte 1) und Scirocco (Sorte 3). Zwischen den Jahresmittelwerten wich das Jahr 2001 signifikant von den Vorjahren ab (Tab. 64).

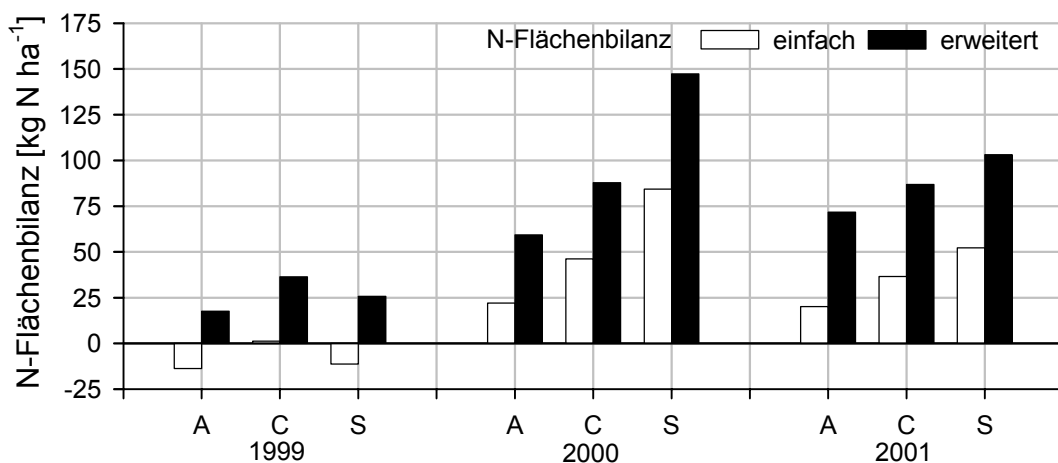


Abb. 102: Einfache und erweiterte N-Flächenbilanzen von *Vicia faba* der Sorten Alfred (A), Caspar (C) und Scirocco (S) am Standort Borwede der drei Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001

Tab. 62: *Vicia faba* – Einfache und erweiterte N-Flächenbilanzen (kg N ha<sup>-1</sup>) der Sorten aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 an den Standorten Borwede (B), Föhrste (F), Göttingen (G) und Groß Malchau (M) als Mittel aus drei Wiederholungen, im Mittel der Sorten (MW) und Standardabweichung der Mittelwerte (SD)

	1999				2000				2001			
einfach	B	F	G	M	B	F	G	M	B	F	G	M
Alfred	-13,7	+65,1	+1,4	+10,0	+22,0	+3,5	+10,5	+15,5	+20,1	+8,5	-2,6	-45,4
Caspar	+1,3	+83,9	+16,4	+23,9	+46,2	+22,7	+20,5	+15,4	+36,6	-6,1	-14,8	-23,4
Scirocco	-11,4	+77,7	+24,5	+26,3	+84,3	+32,4	+39,5	+18,9	+52,2	+22,4	+10,3	-5,5
MW	-7,9	+75,6	+14,1	+20,1	+50,8	+19,5	+23,5	+16,6	+36,3	+8,3	-2,3	-24,8
SD	8,1	9,6	11,7	8,8	27,0	6,9	13,4	2,5	16,0	14,3	12,6	20,0
erweitert	B	F	G	M	B	F	G	M	B	F	G	M
Alfred	+17,6	+103,1	+42,0	+24,3	+59,3	+39,5	+63,7	+33,3	+71,7	+56,8	+33,8	-33,7
Caspar	+36,6	+120,8	+56,9	+36,5	+87,7	+61,1	+57,8	+31,5	+86,9	+20,5	+10,7	-4,1
Scirocco	+25,7	+111,4	+73,9	+45,3	+147,3	+86,3	+94,7	+38,7	+110,8	+65,9	+52,5	+22,5
MW	+26,5	+111,8	+57,6	+35,4	+117,5	+73,7	+76,3	+35,1	+89,8	+47,7	+32,3	-5,1
SD	9,4	8,8	16,0	10,5	42,1	6,9	26,1	5,1	19,7	24,0	20,9	28,1

Tab. 63: Varianzanalyse der N-Flächenbilanzen (einfach/erweitert) der geprüften Körnerleguminosen *Vicia faba*, *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse (GE) und als Körnererbse (KE), *Lupinus albus* und *Lupinus luteus* in Reinsaat an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001

N-Flächenbilanzen einfach/erweitert	Sorte	Ort	Jahr	Sorte x Ort	Sorte x Jahr	Jahr x Ort	Ort x Sorte x Jahr
<i>Vicia faba</i>	*/*	n.s./n.s.	*/n.s.	n.s./n.s.	n.s./n.s.	***/**	n.s./n.s.
<i>P. sativum</i> (GE)	--	n.s./n.s.	**/n.s.	--	--	***/**	--
<i>P. sativum</i> (KE)	#	#	#	#	#	#	#
<i>Lupinus albus</i>	#	#	#	#	#	#	#

n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0,05, \*\* = P < 0,01, \*\*\* = P < 0,001, † ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt

Tab. 64: Tukey-Test ( $\alpha = 0,05$ ) der Mittelwerte der N-Flächenbilanzen der geprüften Körnerleguminosen (s. Tab. 63)

N-Flächenbilanzen einfach/erweitert	Sorte				Ort				Jahr		
	1	2	3	4	B	F	G	M	1999	2000	2001
<i>Vicia faba</i>	b/b	ab/ab	a/a	--	a/a	a/a	a/a	a/a	a/a	a/a	a/b
<i>P. sativum</i> (GE)	--	--	--	--	a/a	a/a	a/a	a/a	b/a	a/a	--
<i>P. sativum</i> (KE)	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
<i>Lupinus albus</i>	#	#	--	--	#	#	#	#	#	#	#

Sorten *Vicia faba*: 1 = Alfred, 2 = Caspar, 3 = Scirocco; *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse (KE): 1 = Bohatyr, 2 = Eiffel, 3 = Loto, 4 = Swing; *Lupinus albus*: 1 = Bardo, 2 = Nelly, Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

*Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse

Die Differenz zwischen den Beträgen der einfachen und erweiterten N-Flächenbilanz (Tab. 65) der Grünspeiseerbse, Sorte Nevado, fiel aufgrund des geringeren N-Rhizodepositionswertes von 8,7 % an der gesamt-pflanzlichen N-Menge nicht so deutlich aus wie bei *Vicia faba*. Zwischen den Orten und Jahren bewegten sich die Werte der einfachen N-Flächenbilanz von -12,6 kg N ha<sup>-1</sup> (Groß Malchau, 1999) bis +130,2 kg N ha<sup>-1</sup> (Borwede, 2000). Die erweiterte N-Flächenbilanz dieser Bestände lag zwischen -8,9 und +132,7 kg N ha<sup>-1</sup>. Diese Werte beschreiben auch die erheblichen Unterschiede der N-Flächenbilanz, die zwischen den Orten und Jahren bei dieser Nutzungsvariante ermittelt wurden. Die zweifaktorielle Varianzanalyse (Tab. 63) der einfachen N-Flächenbilanz von *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse zeigte Differenzen mit hoher Signifikanz zwischen den Jahren und eine sehr hoch signifikante Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort. Die einfache N-Flächenbilanz beim Anbau der Grünspeiseerbse am Standort Borwede erfuhr von 1999 auf 2000 einen Anstieg von +44,8 auf +130,2 kg N ha<sup>-1</sup>, wohingegen am Standort Göttingen in diesem Zeitraum eine Reduktion von +46,3 auf +29,5 kg N ha<sup>-1</sup> zu verzeichnen war. In der erweiterten N-Flächenbilanz (Tab. 63) zeigten sich hoch signifikante Differenzen in der Wechselwirkung zwischen Jahr und Ort, wobei vom Versuchsjahr 2000 auf 2001 am Standort Föhrste im N-Flächenbilanzsaldo ein Anstieg von +38,0 auf +62,8 kg N ha<sup>-1</sup> zu verzeichnen war, wohingegen in diesen Jahren die erweiterte N-Flächenbilanz am Standort Groß Malchau von +80,5 auf +7,2 kg N ha<sup>-1</sup> sank. Der statistische Vergleich der Mittelwerte ergab signifikante Differenzen in der einfachen N-Flächenbilanz zwischen den Versuchsjahren 1999 und 2000 (Tab. 64).

Tab. 65: *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse – Einfache und erweiterte N-Flächenbilanz (kg N ha<sup>-1</sup>) aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 an den Standorten Borwede (B), Föhrste (F), Göttingen (G) und Groß Malchau (M) als Mittel aus drei Wiederholungen

	1999				2000				2001			
einfach	B	F	G	M	B	F	G	M	B	F	G	M
Nevado	+44,8	+52,0	+46,3	-12,6	+130,2	+30,8	+29,5	+71,2	+83,6	+53,5	--	+1,7
erweitert	B	F	G	M	B	F	G	M	B	F	G	M
Nevado	+51,7	+63,3	+55,1	-8,9	+132,7	+38,0	+35,9	+80,5	+130,7	+62,8	--	+7,2

*Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse

Die Berechnung der N-Flächenbilanz unter Einbezug der N-Rhizodeposition von 11,2 % erbrachte bei *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse im Vergleich zur einfachen N-Flächenbilanz weniger deutliche Differenzen (Tab. 66) als bei *Vicia faba*. Die Mittelwerte über die Sorten lagen bei der einfachen Kalkulation in den drei Versuchsjahren zwischen -47,5 kg N ha<sup>-1</sup> (2001, Borwede) und +45,6 kg N ha<sup>-1</sup> (2001, Groß Malchau). Bei der erweiterten N-Flächenbilanz schwankten die Mittelwerte zwischen -39,0 und +69,8 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Werte verdeutlichen eindrucksvoll, dass der Einfluss des Anbaujahres auf die verschiedenen naturräumliche Ausstattungen stark abweichende N-Flächenbilanzen verursacht. Die Sorten erreichten bei der einfachen N-Flächenbilanz Werte zwischen -58,9 kg N ha<sup>-1</sup> (Eiffel, 2001, Groß Malchau) und +86,3 kg N ha<sup>-1</sup> (Eiffel, 2001, Borwede), die bei der erweiterten N-Flächenbilanz zwischen bei -50,2 und +116,3 kg N ha<sup>-1</sup> lagen. Wegen fehlender Normalverteilung konnten die Werte keiner statistischen Analyse unterzogen werden.

Tab. 66: *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse (Erläuterung s. Tab. 62)

	1999				2000				2001			
einfach	B	F	G	M	B	F	G	M	B	F	G	M
Bohatyr	+10,2	+19,6	-7,5	+3,2	+39,5	+13,5	+2,7	+14,0	+27,1	+45,6	+0,9	-50,3
Eiffel	+17,4	-0,4	-28,2	-4,0	+21,5	-4,5	-10,4	+9,0	+86,3	+12,1	-12,1	-58,9
Loto	-16,7	+3,4	-26,7	-13,8	+10,0	+1,8	+6,1	+5,3	+12,9	+3,1	-15,5	-43,6
Swing	+8,6	+17,9	-9,4	+4,8	+32,3	+18,9	+21,1	+7,4	+63,9	-18,6	-2,3	-29,5
MW	+4,9	+10,1	-17,9	-2,4	+25,8	+7,4	+4,9	+8,9	+47,5	+10,5	-7,3	-45,6
SD	14,9	10,1	11,0	8,5	12,9	10,7	13,0	3,7	33,6	26,7	7,8	12,4
erweitert	B	F	G	M	B	F	G	M	B	F	G	M
Bohatyr	+26,8	+35,1	+8,0	+11,4	+62,0	+29,8	+20,0	+27,4	+43,7	+69,9	+15,2	-44,7
Eiffel	+36,2	15,3	-14,8	+5,8	+40,7	+9,8	+4,9	+21,8	+116,3	+32,1	+1,6	-50,2
Loto	+0,6	+21,9	-11,3	-3,1	+39,7	+19,7	+23,1	+18,1	+30,6	+18,0	-2,3	-37,6
Swing	+26,1	+36,4	+5,6	+15,0	+51,2	+35,6	+40,2	+20,5	+88,6	-2,9	+10,4	-23,7
MW	+22,4	+27,2	-3,1	+7,3	+48,4	+23,7	+22,1	+21,9	+69,8	+29,3	+6,2	-39,0
SD	15,2	10,3	11,6	7,9	10,5	11,4	14,5	4,0	39,7	30,7	8,0	11,5

*Lupinus albus*

In der erweiterten Kalkulation wurden die in zahlreichen Fällen noch negativen N-Flächenbilanzen von *Lupinus albus* aus der einfachen Kalkulation durch den Einbezug der N-Rhizodeposition von 18,8 % der gesamt-pflanzlichen N-Menge zu positiven N-Flächenbilanzen. Die einfache N-Flächenbilanz lag im Mittel der zwei geprüften Sorten Bardo und Nelly in den drei Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 zwischen  $-36,0 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2001, Göttingen) und  $+68,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2001, Borwede). Diese Werte lagen bei der erweiterten Kalkulation nach SCHMIDTKE (2001) zwischen  $-26,3$  und  $+111,6 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Tab. 67). Die Amplitude der Sorten und Jahre schwankte zwischen  $-45,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Bardo, 2000, Föhrste) und  $+116,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Nelly, 2000, Borwede) in der einfachen N-Flächenbilanz. Diese Werte lagen in der erweiterten Kalkulation bei  $-19,6$  und  $+151,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Auch bei *Lupinus albus* konnte bei beiden Bilanzverfahren eine statistische Analyse auf Grund der fehlenden Normalverteilung nicht durchgeführt werden.

Tab. 67: *Lupinus albus* (Erläuterung s. Tab. 62)

einfach	1999				2000				2001			
	B	F	G	M	B	F	G	M	B	F	G	M
Bardo	-29,4	-17,7	-39,2	-8,9	-5,9	-45,4	--	+0,6	+24,2	-9,0	-38,7	+1,6
Nelly	+4,0	-7,6	-19,7	+39,7	+116,7	+21,1	--	+16,6	+112,5	+37,3	-33,3	+13,9
MW	-12,7	-12,6	-29,5	+15,4	+55,4	-12,2	--	+8,6	+68,3	+14,1	-36,0	+7,7
SD	23,7	7,1	13,8	10,0	86,7	47,1	--	11,3	62,5	32,8	3,8	12,4
erweitert	B	F	G	M	B	F	G	M	B	F	G	M
Bardo	-8,7	+6,2	-15,3	+7,4	+8,2	-19,6	--	+28,1	+60,7	+18,7	-33,4	+16,9
Nelly	+19,9	+23,5	+13,3	+60,3	+151,3	+59,7	--	+39,9	+145,0	+64,5	-19,2	+34,3
MW	+5,6	+14,9	-1,0	+33,8	+79,8	+20,1	--	+34,0	+111,6	+40,8	-26,3	+25,6
SD	20,2	12,2	20,2	15,3	101,1	56,1	--	8,4	59,7	32,3	10,0	11,5

*Lupinus luteus*

Die Daten der N-Flächenbilanzen konnten für *Lupinus luteus* wegen der Totalausfälle in den Jahren 2000 und 2001 der Fragestellung entsprechend statistisch nicht ausgewertet werden. Mit 13,3 % an der gesamt-pflanzlichen N-Menge ist die bisher ermittelte N-Rhizodeposition von *Lupinus luteus* verglichen zu *Lupinus albus* deutlich geringer (Tab. 68). Entsprechend geringer fallen auch die Differenzen zwischen den beiden Kalkulationsmodellen der N-Flächenbilanz aus. Auch bei *Lupinus luteus* bleibt anhand der eigenen N-Flächenbilanzen festzustellen, dass der Anbau von Körnerleguminosen nicht zwangsläufig auch positive N-Flächenbilanzen zur Folge hat. Die mit den Pflanzenbestandteilen auf der Fläche verbleibenden residualen N-Mengen sind sicherlich höher als nach dem Anbau nicht nodulierender Pflanzen. Im Mittel schwankte die einfache N-Flächenbilanz jedoch zwischen  $-61,8 \text{ kg N ha}^{-1}$  (1999, Borwede) und  $+28,1 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2001, Borwede). Diese Werte erhöhten sich unter Einbezug der N-Rhizodeposition auf  $-44,8$  und  $+56,9 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die gesamte Amplitude der Sorten bewegte sich während der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 bei der einfachen Kalkulation zwischen einem N-Saldo von  $-65,8 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Refusa Nova, 1999, Borwede) und  $+29,2 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Refusa Nova, 2001, Borwede). In der erweiterten Kalkulation verschoben sich diese Werte auf  $-49,7$  bzw.  $+58,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

Tab. 68: *Lupinus luteus* (Erläuterung s. Tab. 62)

	1999		2000		2001	
	B	M	B	M	B	M
einfach						
Juno	-57,7	-11,6	-11,3	+10,4	+27,0	--
Refusa Nova	-65,8	-4,2	+8,7	--	+29,2	-8,38
MW	-61,8	-7,9	-1,3	--	+28,1	--
SD	5,8	5,3	14,1	--	1,5	--
erweitert	B	M	B	M	B	M
Juno	-39,8	-0,1	+19,2	+25,9	+55,5	--
Refusa Nova	-49,7	+6,1	+35,6	--	+58,3	+7,4
MW	-44,8	+3,0	+27,4	--	+56,9	--
SD	7,0	4,4	11,6	--	2,0	--

## 6.2 Stickstoff-Flächenbilanzsalden des Ackerbohne/Hafer- bzw. des Erbse/Hafer-Gemenges

In den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage (GPS) und Körnernutzung (KN) der geprüften Gemenge liegen aufgrund unterschiedlich hoher N-Mengen in den residuellen Pflanzenbestandteilen (Stoppeln plus Wurzeln bzw. Stroh plus Wurzeln), der genutzten Pflanzenteile (Schnittgut bzw. Korn) und aufgrund der unterschiedlichen Nutzungstermine stark voneinander abweichende N-Flächenbilanzen vor. Ebenso ergaben die Jahres- und Standorteinflüsse z.T. erhebliche Differenzen im N-Flächenbilanzsaldo. Die Werte sind in Tab. 69 zusammengetragen. Zur Schätzung des erweiterten Teil-N-Flächenbilanzsaldos von *Vicia faba* zur Nutzung als GPS wurde der gleiche Wert für die N-Rhizodeposition wie zur KN in Höhe von 18,8 % der gesamt-pflanzlichen N-Menge in die erweiterte Teil-N-Flächenbilanz einberechnet, um die Tendenz der Veränderung zu beschreiben. Im Kalkulationsverfahren für die gesamte N-Flächenbilanz wurde die Berechnung jedoch als einfache Kalkulation durchgeführt, um der Unwissenheit um einen potentiellen N-Rhizodepositionswert dieser Nutzungsvariante Rechnung zu tragen. Die Kalkulation der Teil-N-Flächenbilanz von *Pisum sativum* zur Nutzung des Erbse/Hafer-Gemenges als GPS erfolgte mit dem Wert von 8,7 %, der auch für die Kalkulation der N-Flächenbilanz Grünspeiseerbse genutzt wurde. Zur KN des Erbse/Hafer-Gemenges wurde mit dem Wert von 11,2 % der Körnererbse kalkuliert. Die Addition der Teil-N-Flächenbilanzsalden der legumenen Gemengepartner mit den ebenfalls in Tab. 69 aufgeführten einfachen Teil-N-Flächenbilanzsalden des Gemengepartners *Avena sativa* in den Nutzungsvarianten GPS und KN ergibt die durch die Gemengenutzung entstandenen N-Flächenbilanzsalden.

### 6.2.1 Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN)

Die einfache Teil-N-Flächenbilanz des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als GPS erreichte eine Amplitude von  $-29,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2001, Borwede) bis  $+44,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2000, Borwede) und unterschied sich sowohl zwischen den Orten als auch zwischen den Versuchsjahren erheblich (Tab. 69). Die o.g. Werte veränderten sich unter Einbezug des N-Rhizodeposition auf  $-11,6$  und  $+63,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Durch den Gemengepartner *Avena sativa* wurden zur GPS den Flächen zwischen  $16,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  (1999, Borwede) und  $61,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2001, Groß Malchau) entzogen. Zur KN ergaben sich durch die einfache Kalkulation beim Gemengepartner *Vicia faba* N-Gewinne zwischen  $+8,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2001, Groß Malchau) und  $+94,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2001, Borwede), die in der erweiterten Teil-N-Flächenbilanz bei  $+21,6$  und  $+140,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  lagen. Durch den Gemengepartner *Avena sativa* wurden zur KN zwischen  $8,5 \text{ kg N}$



ha<sup>-1</sup> (2001, Föhrste) und 44,1 kg N ha<sup>-1</sup> (1999, Göttingen) des bodenbürtigen Stickstoffs mit dem Korn den Flächen entzogen.

Die zweifaktorielle Varianzanalyse (Tab. 70) und der Mittelwertvergleichstest ergaben sowohl in der einfachen als auch in der erweiterten Teil-N-Flächenbilanz des legumen Gemengepartners im Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur GPS keine signifikanten Differenzen. Zur Körnernutzung hingegen zeigten sich bei der erweiterten Teil-N-Flächenbilanz sehr hoch signifikante Differenzen zwischen den Jahren und in der Wechselwirkung der einfachen Teil-N-Flächenbilanz. Dabei stieg die einfache Teil-N-Flächenbilanz von *Vicia faba* zur KN am Standort Borwede von +42,3 auf +88,0 kg N ha<sup>-1</sup> (Tab. 69) in den Versuchsjahren 1999 und 2000, während in diesem Zeitraum am Standort Göttingen die Werte im Mittel der Wiederholungen konstant blieben. Signifikante Differenzen ergaben sich beim Vergleich der Mittelwerte von *Vicia faba* zur KN zwischen den Versuchsjahren, wobei das Versuchsjahr 2001 signifikant bei beiden Kalkulationsverfahren von den Jahren 1999 und 2000 abwich.

### 6.2.2 Erbse/Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN)

Zur Nutzung des Erbse/Hafer-Gemenges als Ganzpflanzensilage ergaben sich im Vergleich zum Ackerbohne/Hafer-Gemenge größtenteils niedrigere Teil-N-Flächenbilanzen des legumen Gemengepartners in der einfachen Kalkulation zwischen  $-28,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  (1999, Borwede) und  $+32,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2000, Föhrste) (Tab. 69). Durch den Einbezug der N-Rhizodeposition stiegen diese Werte auf  $-19,5$  und  $+36,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Der Schwankungsbereich der Werte zur KN war mit Werten zwischen  $+3,6 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2000, Göttingen) und  $+59,8 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2001, Borwede) in der einfachen Kalkulation im Vergleich zur GPS annähernd gleich. Die Grenzwerte von  $+10,2 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2000, Groß Malchau) und  $+76,6 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2001, Borwede) der erweiterten Teil-N-Flächenbilanz zur KN ergaben eine um ca.  $20 \text{ kg N ha}^{-1}$  stärkere Amplitude als bei der erweiterten Kalkulation zur Nutzung als GPS. Die Nutzung des Gemengepartners *Avena sativa* zur GPS ergab auf den Flächen eine Reduktion an mineralischem Bodenstickstoff zwischen  $18,6 \text{ kg N ha}^{-1}$  (1999, Groß Malchau) und  $52,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2001, Borwede). Zur Körnernutzung zeigte sich eine Amplitude der N-Flächenbilanzsalden an den Standorten zwischen  $2,1 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2001, Föhrste) und  $53,1 \text{ kg N ha}^{-1}$  (2001, Göttingen).

Zur KN des Erbse/Hafer-Gemenges zeigten sich hoch signifikante Differenzen der einfachen Teil-N-Flächenbilanzen des legumen Gemengepartners zwischen den Versuchsjahren, was sich auch beim statistischen Vergleich der Mittelwerte bestätigte (Tab. 70). Wie schon beim Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur KN wich auch hier das Jahr 2001 in der einfachen Teil-N-Flächenbilanz signifikant von den Vorjahren ab.

Tab. 69: Einfache und erweiterte Teil-N-Flächenbilanzen (kg N ha<sup>-1</sup>) von *Vicia faba* und *Pisum sativum* im Gemenge mit *Avena sativa* aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 an den Standorten Borwede (B), Föhrste (F), Göttingen (G) und Groß Malchau (M) als Mittel aus drei Wiederholungen

Gemenge	1999				2000				2001			
	B	F	G	M	B	F	G	M	B	F	G	M
<i>V. faba</i> <sup>1</sup>	+24,0	+27,4	+14,8	+33,7	+44,3	+36,8	-25,0	-3,3	-29,4	+43,8	+17,4	+14,4
<i>V. faba</i> <sup>2</sup>	+42,3	+90,0	+44,7	+11,8	+88,0	+48,7	+44,6	+13,8	+94,7	+83,9	+35,4	+8,4
<i>A. sativa</i> <sup>1</sup>	-16,4	-52,6	-45,2	-24,1	-60,4	-53,0	-31,4	-30,1	-54,3	-36,4	-35,3	-61,7
<i>A. sativa</i> <sup>2</sup>	-13,8	-27,8	-44,1	-19,0	-30,1	-40,5	-9,5	-26,4	-20,5	-8,5	-13,9	-25,4
<i>P. sativum</i> <sup>1</sup>	-28,7	+3,6	+0,3	+6,4	+26,9	+32,3	-5,9	-16,8	-5,1	-15,9	+15,0	-12,1
<i>P. sativum</i> <sup>2</sup>	+34,4	+33,3	+5,3	+9,0	+55,4	+59,3	+3,6	+5,1	+59,8	+11,1	+24,4	+9,7
<i>A. sativa</i> <sup>1</sup>	-40,5	-49,8	-43,4	-18,6	-37,9	-47,0	-30,7	-37,7	-52,7	-25,7	-46,9	-38,6
<i>A. sativa</i> <sup>2</sup>	-17,0	-34,4	-41,5	-15,8	-22,5	-46,8	-20,0	-4,8	-28,6	-2,1	-53,1	-23,8
erweitert	B	F	G	M	B	F	G	M	B	F	G	M
<i>V. faba</i> <sup>1,3</sup>	+53,3	+47,6	+31,6	+46,1	+63,1	+46,9	-8,9	+0,4	-11,6	+66,8	+32,1	+20,8
<i>V. faba</i> <sup>2</sup>	+80,4	+115,7	+77,8	+17,3	+111,6	+71,0	+93,5	+20,7	+140,3	+131,3	+68,2	+21,6
<i>P. sativum</i> <sup>1</sup>	-19,5	+10,0	+6,2	+10,6	+36,0	+36,4	-0,5	-14,0	+6,1	-7,0	+18,0	-9,0
<i>P. sativum</i> <sup>2</sup>	+51,5	+41,2	+13,7	+13,2	+72,4	+75,8	+12,0	+10,2	+76,6	+26,7	+29,0	+15,1

Gemengepartner der Varianten <sup>1</sup>zur Nutzung als Ganzpflanzensilage und <sup>2</sup>zur Körnernutzung, <sup>3</sup>unter Einbezug des N-Rhizodepositionswertes von 18,8 % der gesamt-pflanzlichen N-Menge zur GPS wie zur KN

Tab. 70: Zweifaktorielle Varianzanalyse und Tukey-Test ( $\alpha = 0,05$ ) der Teil-N-Flächenbilanzen (einfach/erweitert) der legumen Gemengepartner: *Vicia faba* und *Pisum sativum* im Gemenge mit *Avena sativa* zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN) an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre 1999 bis 2001

N-Flächenbilanz	Varianzanalyse			Tukey-Test							
	Ort	Jahr	Jahr x Ort	Ort				Jahr			
				B	F	G	M	1999	2000	2001	
<i>Vicia faba</i> (GPS)	n.s./n.s.	n.s./n.s.	n.s./n.s.	a/a	a/a	a/a	a/a	a/a	a/a	a/a	a/a
<i>Vicia faba</i> (KN)	n.s./n.s.	n.s./***	***/n.s.	a/a	a/a	a/a	a/a	a/a	ab/a	b/b	
<i>P. sativum</i> (GPS)	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
<i>P. sativum</i> (KN)	n.s./#	**/#	n.s./#	a/#	a/#	a/#	a/#	a/#	ab/#	b/#	

Varianzanalyse: n.s. = nicht signifikant, \* = P < 0,05, \*\* = P < 0,01, \*\*\* = P < 0,001, <sup>1</sup>ohne Blattfall, # = nicht normalverteilt.  
 Tukey-Test: ,Orte: B = Borwede, F = Föhrste, G = Göttingen, M = Groß Malchau, nicht gleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, # = nicht normalverteilt

## **7 Ergebnisse der Regressionsanalyse der Prüfglieder in Reinsaat**

Die regressionsanalytische Auswertung der Projektdaten ergab Bezüge, die eine Ableitung des erweiterten Kalkulationsverfahrens nach SCHMIDTKE (2002) ermöglichten (detaillierte Beispielrechnung s. Material und Methoden). Im Folgenden werden die entwickelten Modelle der Prüfglieder in Reinsaat *Vicia faba*, *Pisum sativum* (zur Nutzung als Grünspeiseerbse und als Körnererbse), *Lupinus albus* und *Lupinus luteus* und der Gemenge *Vicia faba* bzw. *Pisum sativum* mit *Avena sativa* (zur Nutzung als Ganzpflanzensilage und als Körnernutzung) erläutert.

### **7.1 Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der erweiterten Stickstoff-Flächenbilanz bei *Vicia faba***

Die Ackerbohrendaten der geprüften Orte und Sorten aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 ergaben eine enge Korrelation zwischen dem Korn-TM-Ertrag und der im Korn befindlichen N-Menge ( $r^2 = 0,95$ , Abb. 103). Die für die Ableitung der N-Flächenbilanz notwendige zweite Regression ergab sich aus den Daten des Korn-TM-Ertrages und der gesamtplanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) mit einem Bestimmtheitsmaß  $r^2 = 0,86$  (s. Abb. 104).

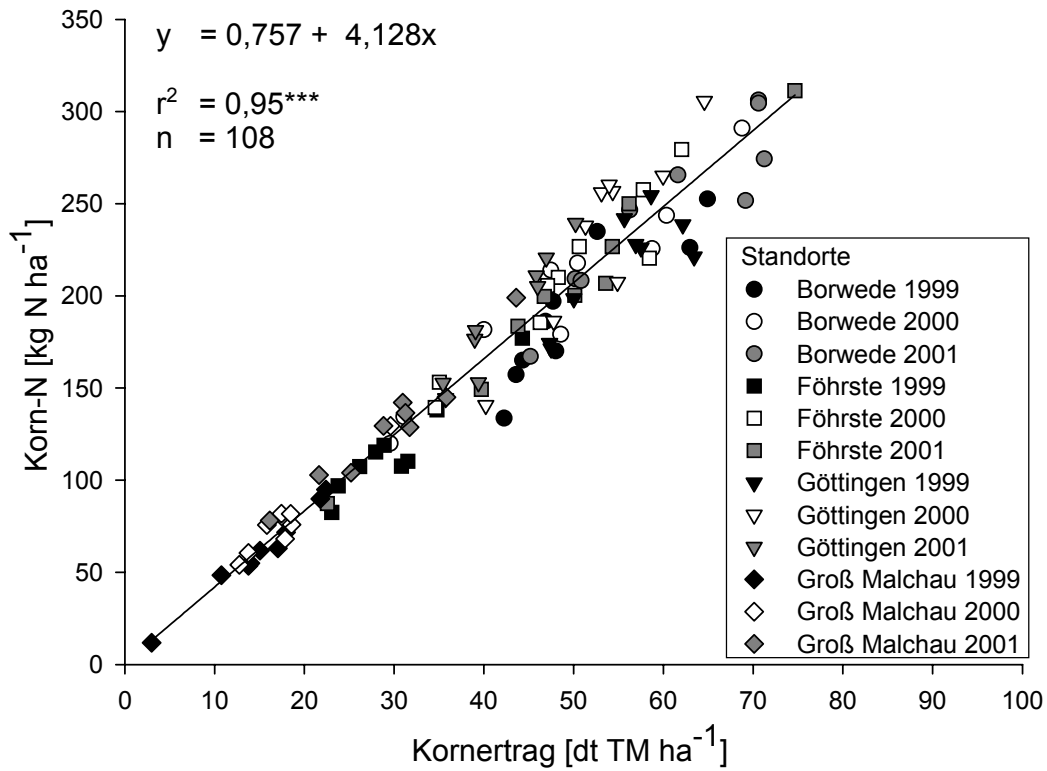


Abb. 103: Regression des Korn-N-Ertrages auf den Korn-TM-Ertrag von *Vicia faba* der Sorten Alfred, Caspar und Scirocco

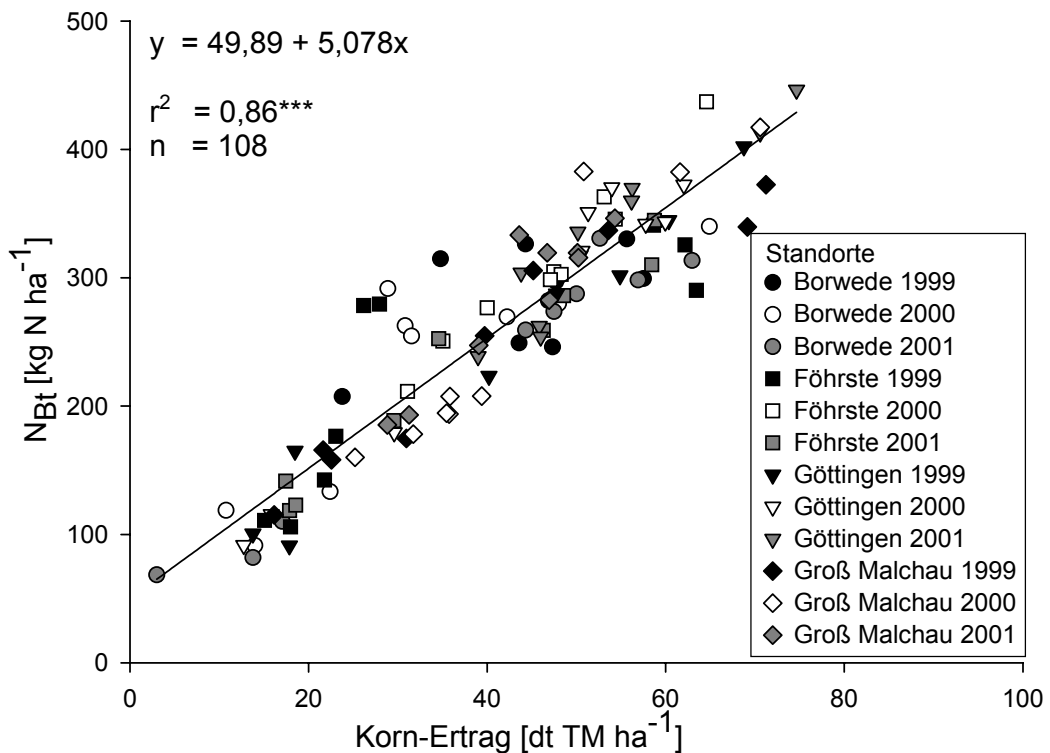


Abb. 104: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) auf den Korn-TM-Ertrag von *Vicia faba* der Sorten Alfred, Caspar und Scirocco

Aus diesen Ergebnissen ist eine Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und N-Flächenbilanz bei bekannter Korn-TM möglich. In Tab. 71 sind die Schätzwerte in Schritten von 10 dt Kornertrag zusammengefasst. Der für das Kalkulationsverfahren notwendige residuale N<sub>min</sub>-Mittel-Wert über die drei Untersuchungsjahre und Sorten bei Ackerbohne betrug 37,9 kg N ha<sup>-1</sup>. Die ausführlichen Schätztabelle befinden sich im Anhang. Für die Korn-TM bis 20 dt TM ha<sup>-1</sup> ergaben sich für hohe N<sub>min</sub>-Werte bei der Berechnung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung negative N<sub>dfa</sub>-Werte (Nitrogen derived from atmosphere). Es wurde deshalb für diese N<sub>min</sub>-Bereiche ein minimaler prozentualer N<sub>2</sub>-Fixierungsanteil von 10 % veranschlagt, ebenso wie für die N<sub>dfa</sub>-Werte, für die in den höheren N<sub>min</sub>-Bereichen N<sub>dfa</sub>-Werte unter 10 % ermittelt wurden. Das Kalkulationsverfahren ergab deshalb in den höheren N<sub>min</sub>-Bereichen gleiche Werte der N<sub>2</sub>-Fixierung bzw. der N-Flächenbilanzen. Die N<sub>2</sub>-Fixierleistung von Ackerbohnen läge demnach bei einem in der Praxis erwirtschafteten Korn-TM-Ertrag von 30 dt TM ha<sup>-1</sup> und einem N<sub>min</sub>-Angebot von 100 kg N ha<sup>-1</sup> bei 144,2 kg N ha<sup>-1</sup>. Die N-Flächenbilanz läge in diesem Fall bei 46,7 kg N ha<sup>-1</sup>. Bei einem N<sub>min</sub>-Angebot von 150 kg N ha<sup>-1</sup> würde die N<sub>2</sub>-Fixierleistung nur noch 84,2 kg N ha<sup>-1</sup> erreichen mit einer N-Flächenbilanz von -12,7 kg N ha<sup>-1</sup>.

Tab. 71: Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und der erweiterten N-Flächenbilanz beim Anbau von *Vicia faba* – Regressionsmodell aus Kornertrag zu Korn-N-Ertrag (Abb. 103) und Kornertrag zu gesamtplanzlicher N-Menge (Abb. 104)

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
<b>N<sub>2</sub>-Fixierleistung</b>															
10	100.6	90.6	80.6	70.6	60.6	50.6	40.6	30.6	20.6	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	100.6
20	152.4	142.4	132.4	122.4	112.4	102.4	92.4	82.4	72.4	52.4	42.4	32.4	15.4	15.4	152.4
30	204.2	194.2	184.2	174.2	164.2	154.2	144.2	134.2	124.2	104.2	94.2	84.2	74.2	64.2	204.2
40	256.0	246.0	236.0	226.0	216.0	206.0	196.0	186.0	176.0	156.0	146.0	136.0	126.0	116.0	256.0
50	307.8	297.8	287.8	277.8	267.8	257.8	247.8	237.8	227.8	207.8	197.8	187.8	177.8	167.8	307.8
60	359.6	349.6	339.6	329.6	319.6	309.6	299.6	289.6	279.6	259.6	249.6	239.6	229.6	219.6	359.6
<b>erweiterte N-Flächenbilanz</b>															
10	77.5	65.6	53.7	41.8	30.0	18.1	6.2	-5.7	-17.6	-29.8	-29.8	-29.8	-29.8	-29.8	-29.8
20	97.7	85.9	74.0	62.1	50.2	38.3	26.5	14.6	2.7	-9.2	-21.1	-32.9	-44.8	-64.9	-64.9
30	118.0	106.1	94.3	82.4	70.5	58.6	46.7	34.9	23.0	11.1	-0.8	-12.7	-24.5	-36.4	-48.3
40	138.3	126.4	114.5	102.6	90.8	78.9	67.0	55.1	43.2	31.4	19.5	7.6	-4.3	-16.2	-28.0
50	158.6	146.7	134.8	122.9	111.0	99.2	87.3	75.4	63.5	51.6	39.8	27.9	16.0	4.1	-7.8
60	178.8	166.9	155.1	143.2	131.3	119.4	107.5	95.7	83.8	71.9	60.0	48.1	36.3	24.4	12.5

## 7.2 Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der erweiterten Stickstoff-Flächenbilanz bei *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse

In der Regressionsanalyse der Daten der Grünspeiseerbse Sorte Nevado (Abb. 105) über die geprüften Standorte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau aus den drei Untersuchungsjahren wurde eine enge Beziehung zwischen dem Korn-Ertrag und der im Korn befindlichen N-Menge ermittelt ( $r^2 = 0,97$ ).

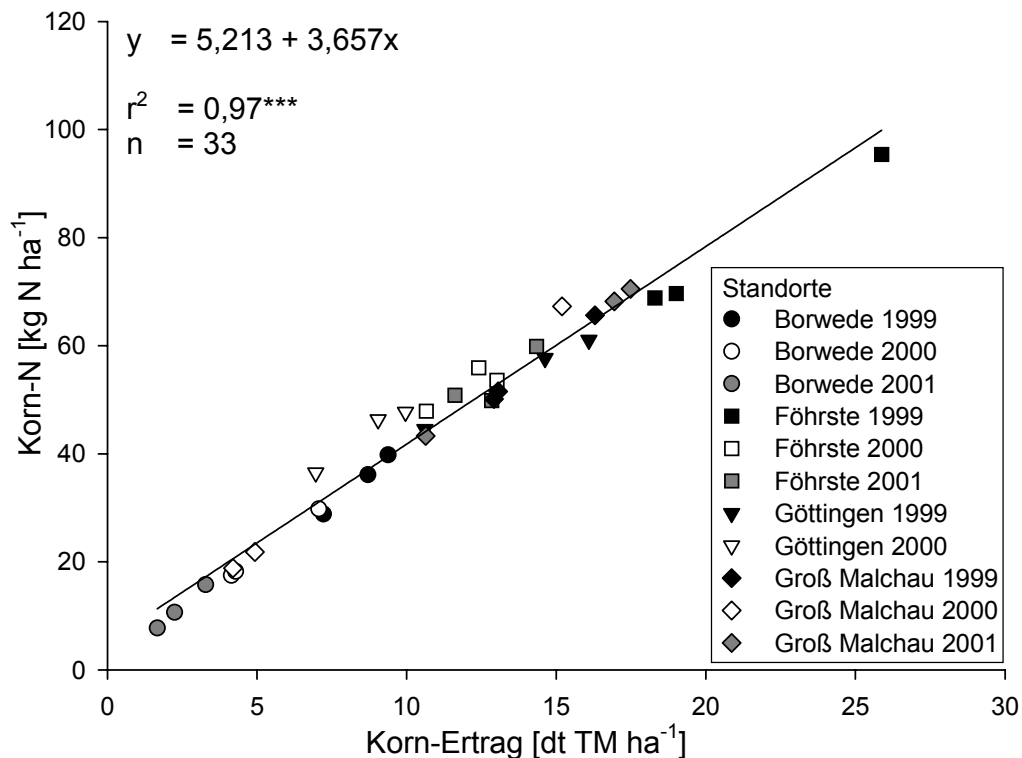


Abb. 105: Regression des Korn-N-Ertrages auf den Korn-TM-Ertrag der Grünspeiseerbse Nevado

Wie aus Abb. 106 ersichtlich wird, war es möglich aus Korn-N-Ertrag und dem N-Harvest-Index eine signifikante ( $r^2 = 0,67$ ) Beziehung diesen beiden Parametern der Grünspeiseerbse abzuleiten. Mit Hilfe der Division des Korn-N-Ertrages durch den N-Harvest-Index lässt sich auf die gesamt-pflanzliche N-Menge (Spross und Wurzel-N) schließen. Die Nmin-Menge im Boden zum Zeitpunkt der Ernte betrug im Mittel der Jahre  $31,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Somit war es möglich, eine Kalkulation der erweiterten  $\text{N}_2$ -Fixierleistung und einer erweiterten N-Flächenbilanzsaldo beim Anbau von Grünspeiseerbse vorzunehmen. Hierbei wurde ein N-Anteil aus der Rhizodeposition in Höhe von  $0,087$  zugrunde gelegt.

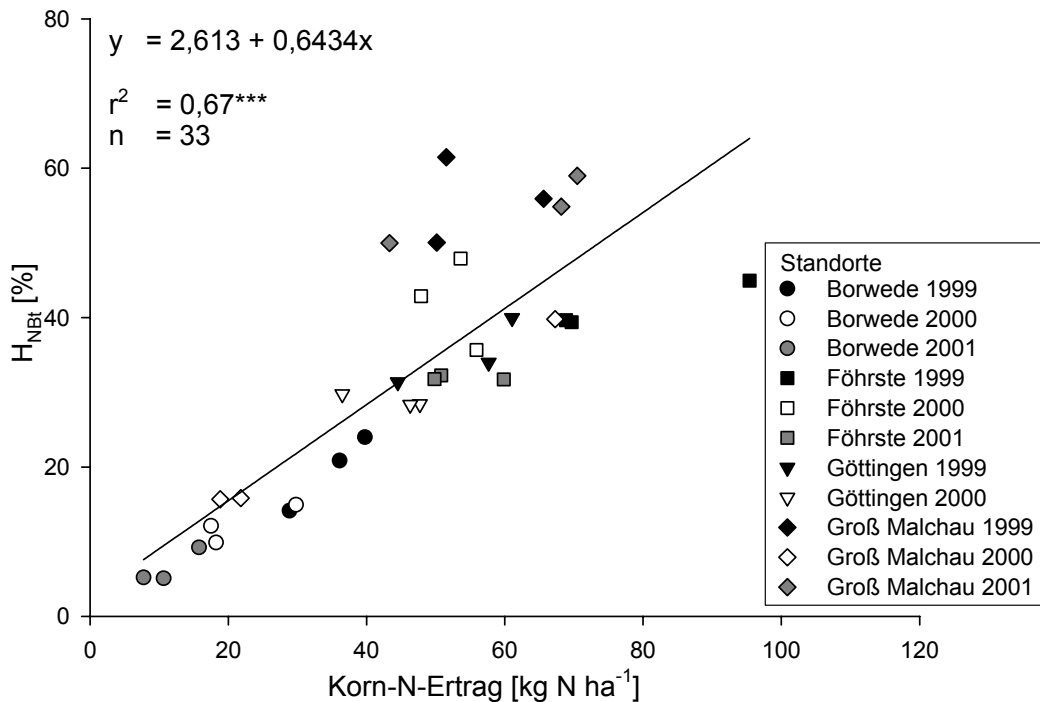


Abb. 106: Regression des N-Harvest-Index auf den Korn-N-Ertrag bei der Grünspeiseerbse Nevada

In Tab. 72 ist das Kalkulationsmodell zur N<sub>2</sub>-Fixierleistung und erweiterter N-Flächenbilanz in den generalisierten Korn-TM-Stufen 10 bzw. 20 dt TM ha<sup>-1</sup> zusammengefasst. Das ausführliche Kalkulationsmodell befindet sich im Anhang. Die N<sub>2</sub>-Fixierleistung wird in diesem Regressionsmodell bei einer Korn-TM von 20 dt TM ha<sup>-1</sup> und einem N<sub>min</sub>-Angebot des Bodens über die Vegetationsperiode von 80 kg N ha<sup>-1</sup> bei 99,3 kg N ha<sup>-1</sup> liegen mit einem N-Flächenbilanzsaldo von 43,6 kg N ha<sup>-1</sup>. Bei einem erhöhten N<sub>min</sub>-Angebot über die Vegetationsperiode von 150 kg N ha<sup>-1</sup> wird die N<sub>2</sub>-Fixierleistung auf 29,3 kg N ha<sup>-1</sup> geschätzt mit einer negativen N-Flächenbilanz von -42,3 kg N ha<sup>-1</sup>.

Tab. 72: Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und der erweiterter N-Flächenbilanz beim Anbau von *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse – Regressionsmodell aus Kornertrag zu Korn-N-Ertrag und Kornertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]											
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
<b>N<sub>2</sub>-Fixierleistung</b>												
10	133.3	123.3	113.3	103.3	93.3	83.3	73.3	63.3	53.3	43.3	33.3	23.3
20	139.3	129.3	119.3	109.3	99.3	89.3	79.3	69.3	59.3	49.3	39.3	29.3
<b>erweiterte N-Flächenbilanz</b>												
10	121.9	109.6	97.4	85.1	72.8	60.5	48.2	36.0	23.7	11.4	-0.9	-13.2
20	92.7	80.5	68.2	55.9	43.6	31.3	19.1	6.8	-5.5	-17.8	-30.1	-42.3



### 7.3 Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der erweiterten Stickstoff-Flächenbilanz bei *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse

Die Untersuchungsergebnisse der Jahre 1999, 2000 und 2001 über vier Untersuchungsstandorte und Sorten ergaben eine enge Korrelation der Korn-TM zur in den Körnern befindlichen N-Menge mit einem Bestimmtheitsmaß von  $r^2 = 0,88$  (Abb. 107).

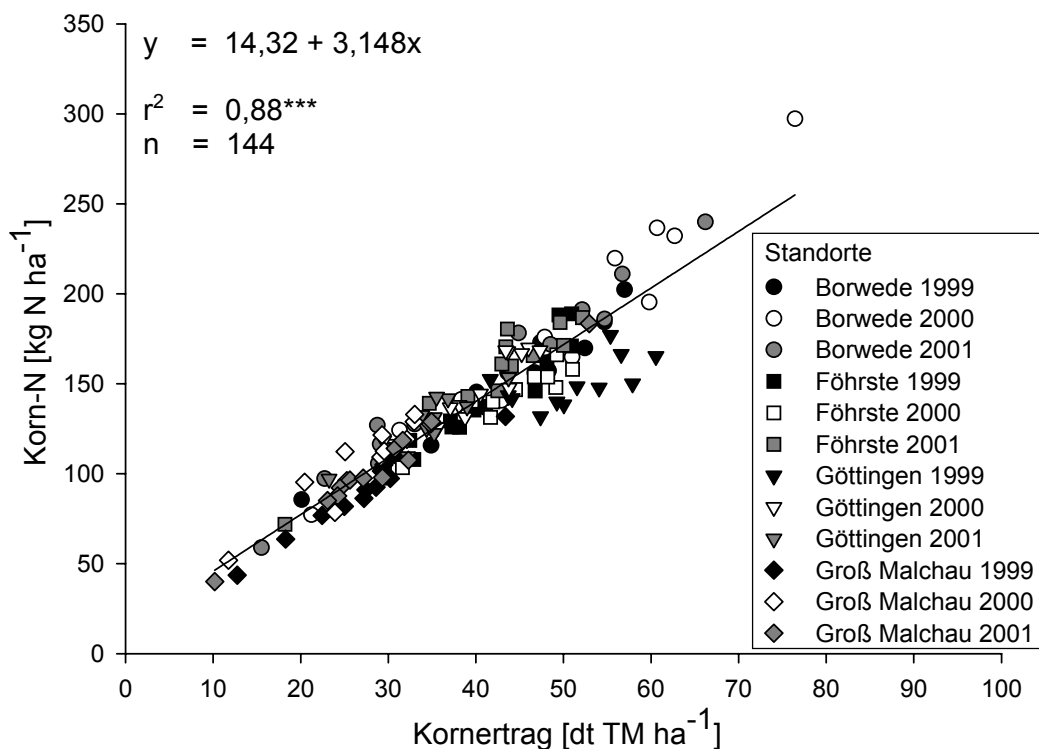


Abb. 107: Regression des Korn-Ertrages auf die Korn-N-Menge von *Pisum sativum* der Sorten Bohatyr, Eiffel, Loto und Swing, ermittelt über die  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungsjahre von 1999 bis 2001

Die für das Schätzverfahren zur  $\text{N}_2$ -Fixierleistung und N-Flächenbilanz notwendige zweite Regression ergab sich bei den Körnererbse aus der Korn-N-Menge und der gesamt-pflanzlichen N-Menge ( $\text{N}_{\text{Bt}}$ ) mit einem Bestimmtheitsmaß von  $r^2 = 0,82$  (Abb. 108).

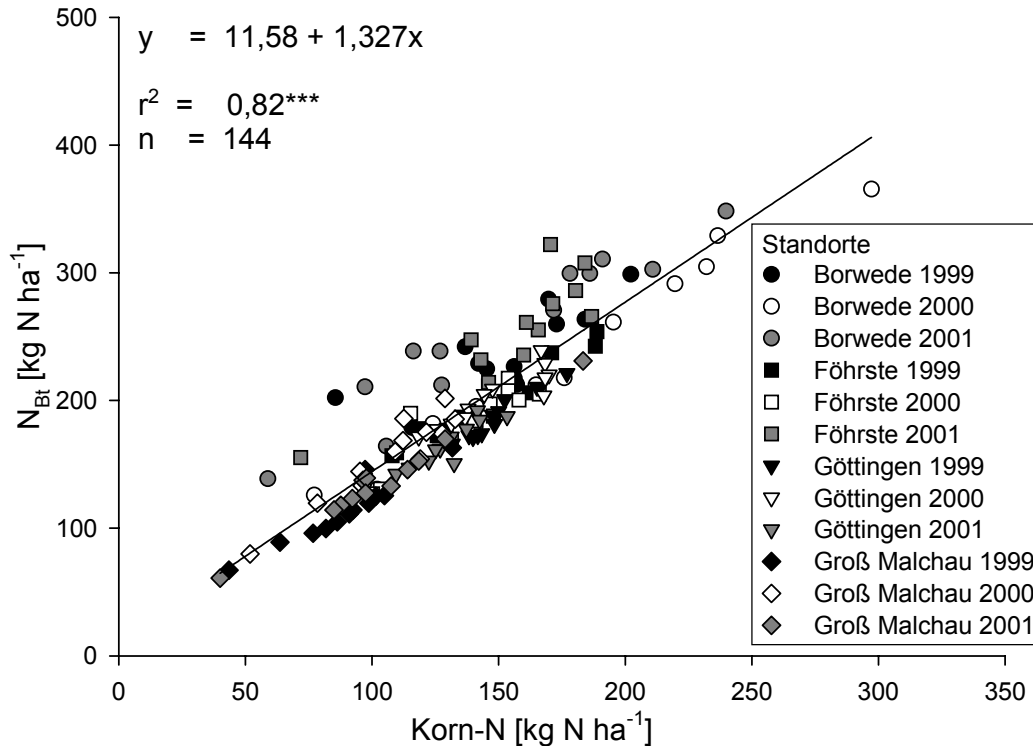


Abb. 108: Regression der gesamt-pflanzlichen Stickstoffmenge auf den Korn-N-Ertrag von *Pisum sativum* der Sorten Bohatyr, Eiffel, Loto und Swing, ermittelt über die  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode an den Standorten Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau der Untersuchungs-jahre von 1999 bis 2001

In das Kalkulationsverfahren (Tab. 73) ist der residuale Nmin-Wert im Boden der drei Versuchsjahre aller Sorten und Standorte von  $39,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  eingeflossen. Für das in Schritten von  $10 \text{ dt TM ha}^{-1}$  dargestellte Kalkulationsverfahren zeigt eine  $\text{N}_2$ -Fixierleistung von  $198,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  bei einer erwirtschafteten Korn-TM von  $50 \text{ dt TM ha}^{-1}$  und eine positive N-Flächenbilanz von  $49,0 \text{ kg N ha}^{-1}$ , wenn der Boden über die Vegetationsperiode  $90 \text{ kg Nmin-N ha}^{-1}$  zur Verfügung stellen kann. Läge das Nmin-Angebot mit  $60 \text{ kg N ha}^{-1}$  niedriger, läge die  $\text{N}_2$ -Fixierleistung bei gleichem Korn-TM-Ertrag bei  $228,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Der N-Gewinn durch den Anbau von Körnererbse betrüge  $82,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die ausführlichen Kalkulationstabellen der Körnererbse in Reinsaat befinden sich im Anhang.

Tab. 73: Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und der erweiterten N-Flächenbilanz beim Anbau von *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse – Regressionsmodell aus Kornertrag zu Korn-N-Ertrag und Korn-N-Ertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
<b>N<sub>2</sub>-Fixierleistung</b>															
10	74.5	64.5	54.5	44.5	34.5	24.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
20	118.0	108.0	98.0	88.0	78.0	68.0	58.0	48.0	38.0	28.0	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
30	161.5	151.5	141.5	131.5	121.5	111.5	101.5	91.5	81.5	71.5	61.5	51.5	41.5	31.5	16.2
40	204.9	194.9	184.9	174.9	164.9	154.9	144.9	134.9	124.9	114.9	104.9	94.9	84.9	74.9	64.9
50	248.4	238.4	228.4	218.4	208.4	198.4	188.4	178.4	168.4	158.4	148.4	138.4	128.4	118.4	108.4
60	291.9	281.9	271.9	261.9	251.9	241.9	231.9	221.9	211.9	201.9	191.9	181.9	171.9	161.9	151.9
<b>erweiterte N-Flächenbilanz</b>															
10	37.1	26.0	14.9	3.8	-7.4	-18.5	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4
20	54.0	42.9	31.7	20.6	9.5	-1.6	-12.7	-23.9	-35.0	-46.1	-64.1	-64.1	-64.1	-64.1	-64.1
30	70.8	59.7	48.6	37.5	26.4	15.2	4.1	-7.0	-18.1	-29.2	-40.4	-51.5	-62.6	-73.7	-90.7
40	87.7	76.6	65.5	54.3	43.2	32.1	21.0	9.9	-1.3	-12.4	-23.5	-34.6	-45.7	-56.9	-68.0
50	104.6	93.4	82.3	71.2	60.1	49.0	37.8	26.7	15.6	4.5	-6.6	-17.8	-28.9	-40.0	-51.1
60	121.4	110.3	99.2	88.1	76.9	65.8	54.7	43.6	32.5	21.3	10.2	-0.9	-12.0	-23.1	-34.3

#### 7.4 Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der erweiterten Stickstoff-Flächenbilanz bei *Lupinus albus*

Zwischen dem Korn-TM-Ertrag und der im Korn von Weißer Lupine der Sorten Bardo und Nelly befindlichen N-Menge war eine enge Beziehung gegeben Abb. 109. Allerdings bestand bei Berücksichtigung beider Lupinensorten nur eine schwache Beziehung zwischen der im Korn befindlichen N-Menge und der Summe der N-Menge in Spross und Wurzel ( $r^2 = 0,38$ , Abb. 111). Die Sorte Nelly wies an allen Standorten ein stärkeres vegetatives Wachstum auf, d.h. ihr Wachstum war stärker indeterminiert als das der Sorte Bardo. Die Sorte Bardo entspricht eher dem aktuellen Sortenspektrum der Weißen Lupine als die ältere Sorte Nelly. Deshalb wurden nur auf die Sorte Bardo bezogene Regressionsanalysen durchgeführt, die zwischen Kornertrag und Korn-N-Ertrag (Abb. 110,  $r^2 = 0,93$ ) und auch hinsichtlich der Beziehung zwischen Korn-N-Menge und gesamt-pflanzlicher N-Menge einen deutlich engeren Zusammenhang erbrachte (Abb. 112) als unter Einbeziehung beider Lupinensorten (Abb. 111). Zur Erstellung der Kalkulationstabellen der N-Flüsse beim Anbau von Weißer Lupine wurden deshalb nur die in Abb. 110 und Abb. 112 dargestellten Ergebnisse herangezogen. Bei Weißer Lupine (Sorte Bardo) betrug im Mittel der Standorte die zur Ernte im Boden zurückgebliebene Nmin-Menge über die drei Versuchsjahre 28,1 kg N ha<sup>-1</sup>. Dieser residuale Nmin-Wert ging in die Berechnung der N-Flächenbilanz ein.

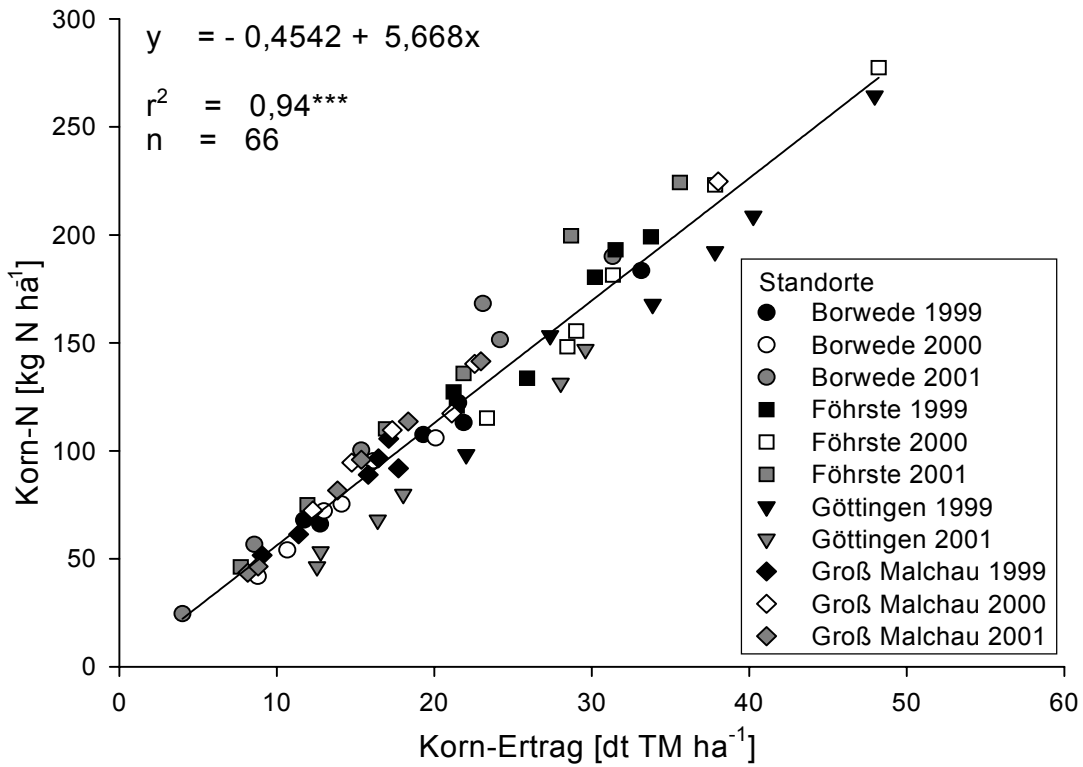


Abb. 109: Regression des Korn-N-Ertrages auf den Korn-TM-Ertrag von *Lupinus albus* der Sorten Bardo und Nelly

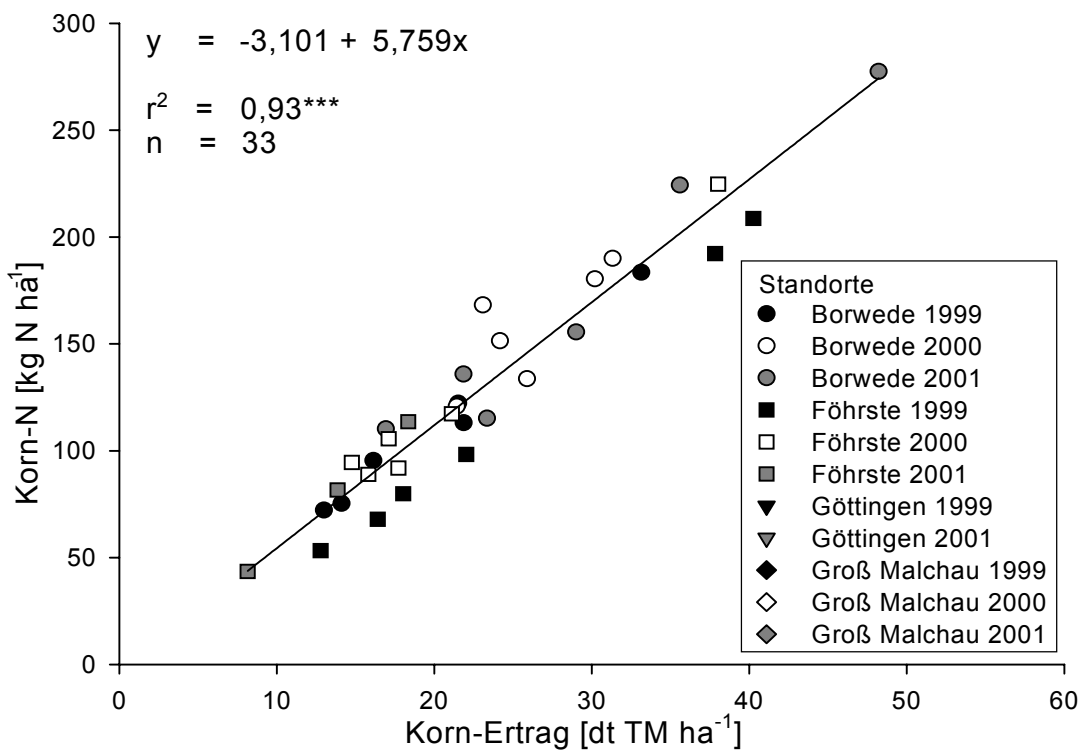


Abb. 110: Regression des Korn-N-Ertrages auf den Korn-TM-Ertrag von *Lupinus albus* der Sorte Bardo

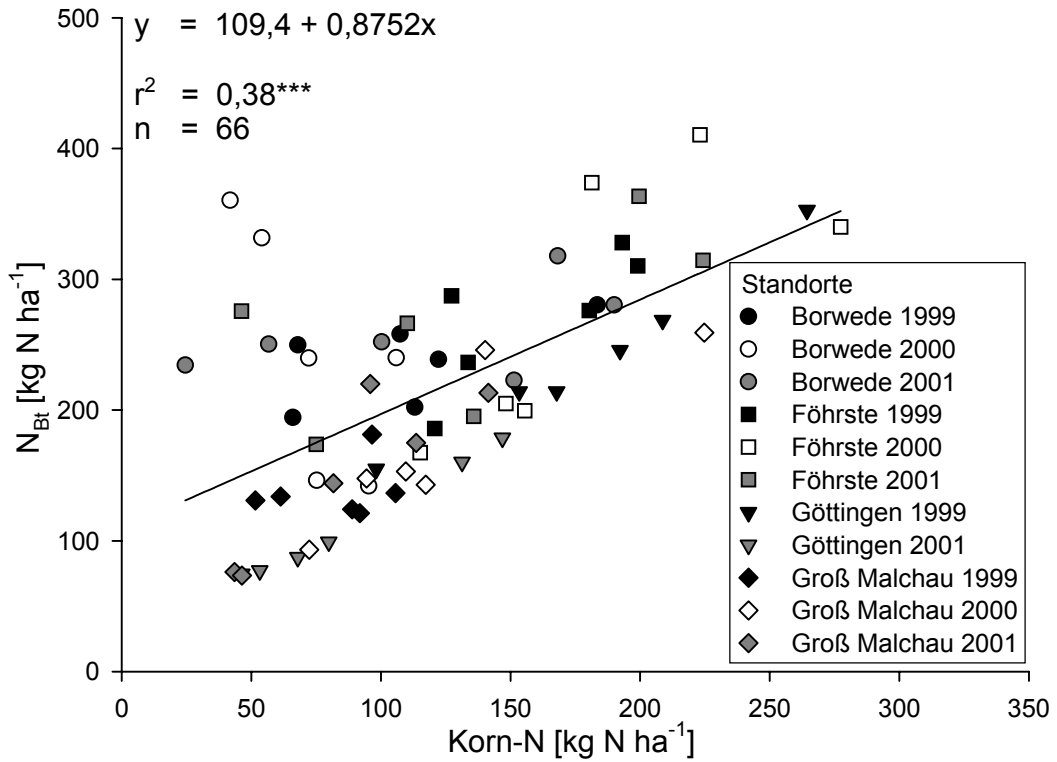


Abb. 111: Regression der gesamtpflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) auf den Korn-N-Ertrag von *Lupinus albus*, Sorten Bardo und Nelly

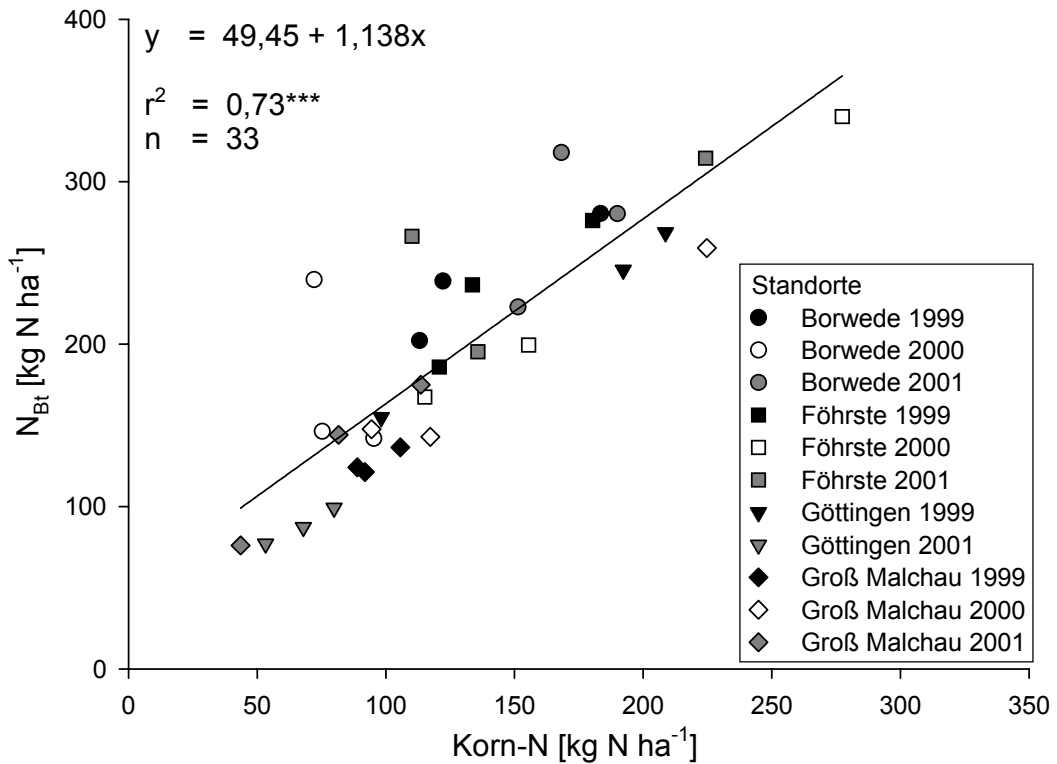


Abb. 112: Regression der gesamtpflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) auf den Korn-N-Ertrag von *Lupinus albus*, Sorte Bardo

Mit einem Korn-TM-Ertrag der Weißen Lupine in Höhe von 40 dt ha<sup>-1</sup> war somit bei einem Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden von 120 kg N ha<sup>-1</sup> eine erweiterte N<sub>2</sub>-Fixierleistung in Höhe von 220,2 kg N ha<sup>-1</sup> sowie ein erweiterter N-Flächenbilanzsaldo in Höhe von +44,2 kg N ha<sup>-1</sup> verbunden (Tab. 74). Die Kalkulationstabellen zur Quantifizierung der N-Flüsse beim Anbau von Weißer Lupine sind im Anhang zusammengestellt.

Tab. 74: Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und der erweiterten N-Flächenbilanz beim Anbau von *Lupinus albus* – Regressionsmodell aus Kornertrag zu Korn-N-Ertrag und Kornertrag zu gesamtplanzlicher N-Menge

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
N <sub>2</sub> -Fixierleistung															
10	102.8	92.8	82.8	72.8	62.8	52.8	42.8	32.8	22.8	12.8	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
20	168.6	158.6	148.6	138.6	128.6	118.6	108.6	98.6	88.6	78.6	68.6	58.6	48.6	38.6	28.6
30	234.4	224.4	214.4	204.4	194.4	184.4	174.4	164.4	154.4	144.4	134.4	124.4	114.4	104.4	94.4
40	300.2	290.2	280.2	270.2	260.2	250.2	240.2	230.2	220.2	210.2	200.2	190.2	180.2	170.2	160.2
50	366.0	356.0	346.0	336.0	326.0	316.0	306.0	296.0	286.0	276.0	266.0	256.0	246.0	236.0	226.0
erweiterte N-Flächenbilanz															
10	70.1	57.8	45.5	33.2	20.9	8.7	-3.6	-15.9	-28.2	-40.5	-42.1	-42.1	-42.1	-42.1	-42.1
20	94.2	81.9	69.6	57.3	45.1	32.8	20.5	8.2	-4.1	-16.3	-28.6	-40.9	-53.2	-65.5	-77.7
30	118.3	106.0	93.8	81.5	69.2	56.9	44.6	32.4	20.1	7.8	-4.5	-16.8	-29.0	-41.3	-53.6
40	142.5	130.2	117.9	105.6	93.3	81.1	68.8	56.5	44.2	31.9	19.7	7.4	-4.9	-17.2	-29.5
50	166.6	154.3	142.0	129.8	117.5	105.2	92.9	80.6	68.4	56.1	43.8	31.5	19.2	7.0	-5.3

## 7.5 Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der erweiterten Stickstoff-Flächenbilanz bei *Lupinus luteus*

Der Korn-TM-Ertrag und die im Korn von Gelber Lupine befindliche N-Menge standen in enger Beziehung (Abb. 113). Bei Berücksichtigung beider geprüften Lupinensorten stieg die in Spross und Wurzel enthaltene N-Menge linear und eng mit der N-Menge im Korn an (Abb. 114). Zur Erstellung der Kalkulationstabellen der N-Flüsse beim Anbau von Gelber Lupine wurden eine residuale Nmin-Menge im Boden zur Ernte in Höhe von  $28,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  berücksichtigt. Dieser Wert war im Mittel der Standorte und Sorten beim Anbau von Gelber Lupine zu verzeichnen.

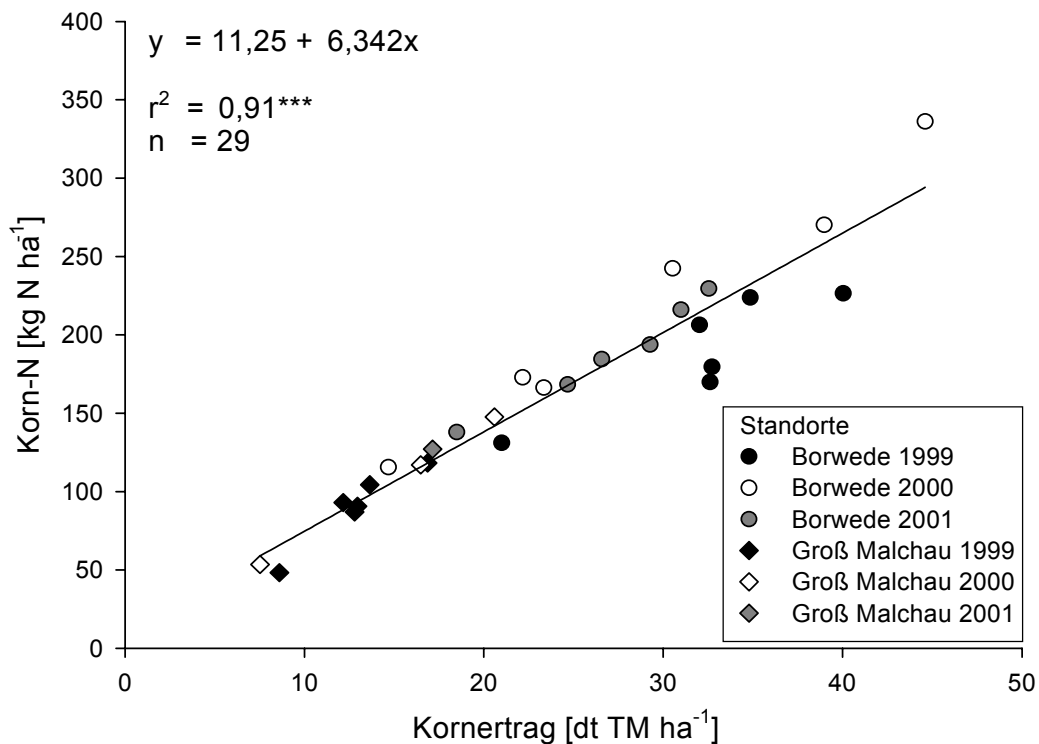


Abb. 113: Regression des Korn-N-Ertrages auf den Korn-TM-Ertrag von *Lupinus luteus* der Sorten Juno und Refusa Nova

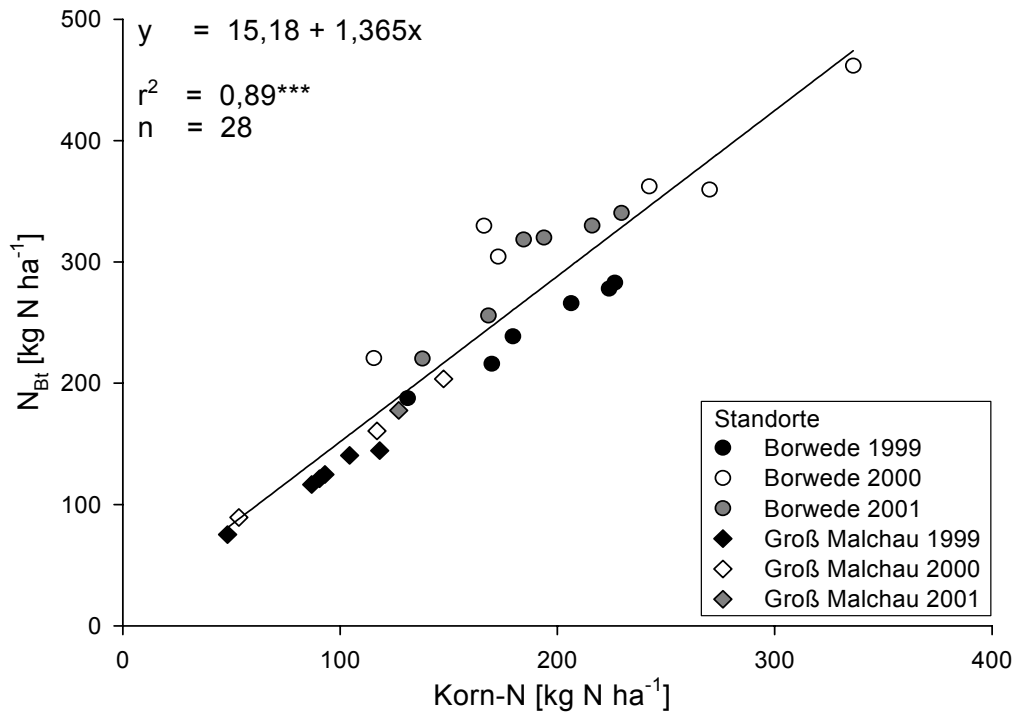


Abb. 114: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) auf den Korn-N-Ertrag von *Lupinus luteus* der Sorten Juno und Refusa Nova

Mit einem Korn-TM-Ertrag der Gelben Lupine in Höhe von  $30 \text{ dt ha}^{-1}$  war somit bei einem Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden von  $120 \text{ kg N ha}^{-1}$  eine  $N_2$ -Fixierleistung in Höhe von  $204,2 \text{ kg N ha}^{-1}$  verbunden. Der erweiterte N-Flächenbilanzsaldo betrug in diesem Fall  $+29,9 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Tab. 75). Die Kalkulationstabellen zur Quantifizierung der erweiterten  $N_2$ -Fixierleistung und des erweiterten N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Gelber Lupine sind im Anhang zusammengestellt.

Tab. 75: Schätzung der  $N_2$ -Fixierleistung und der erweiterten N-Flächenbilanz beim Anbau von *Lupinus luteus* – Regressionsmodell aus Kornertrag zu Korn-N-Ertrag und Korn-N-Ertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
<b>N<sub>2</sub>-Fixierleistung</b>															
10	107.6	97.6	87.6	77.6	67.6	57.6	47.6	37.6	27.6	17.6	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
20	195.9	185.9	175.9	165.9	155.9	145.9	135.9	125.9	115.9	105.9	95.9	85.9	75.9	65.9	55.9
30	284.2	274.2	264.2	254.2	244.2	234.2	224.2	214.2	204.2	194.2	184.2	174.2	164.2	154.2	144.2
40	372.5	362.5	352.5	342.5	332.5	322.5	312.5	302.5	292.5	282.5	272.5	262.5	252.5	242.5	232.5
50	460.8	450.8	440.8	430.8	420.8	410.8	400.8	390.8	380.8	370.8	360.8	350.8	340.8	330.8	320.8
<b>erweiterte N-Flächenbilanz</b>															
10	47.3	36.0	24.6	13.3	2.0	-9.4	-20.7	-32.0	-43.3	-54.7	-61.1	-61.1	-61.1	-61.1	-61.1
20	83.9	72.6	61.2	49.9	38.6	27.3	15.9	4.6	-6.7	-18.0	-29.4	-40.7	-52.0	-63.3	-74.7
30	120.5	109.2	97.9	86.5	75.2	63.9	52.6	41.2	29.9	18.6	7.3	-4.1	-15.4	-26.7	-38.1
40	157.1	145.8	134.5	123.2	111.8	100.5	89.2	77.9	66.5	55.2	43.9	32.5	21.2	9.9	-1.4
50	193.8	182.4	171.1	159.8	148.4	137.1	125.8	114.5	103.1	91.8	80.5	69.2	57.8	46.5	35.2



## 8 Ergebnisse der Regressionsanalyse des Ackerbohne/Hafer- und des Erbse/Hafer-Gemenges

### 8.1 Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der Teil-N-Flächenbilanzen des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS)

Die Daten des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als GPS der geprüften Orte aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 ergaben eine enge Korrelation zwischen der Schnittgut-TM und der im Schnittgut befindlichen N-Menge beider Gemengepartner (Ackerbohne:  $r^2 = 0,89$ , Abb. 115; Hafer =  $r^2 = 0,61$ , Abb. 116).

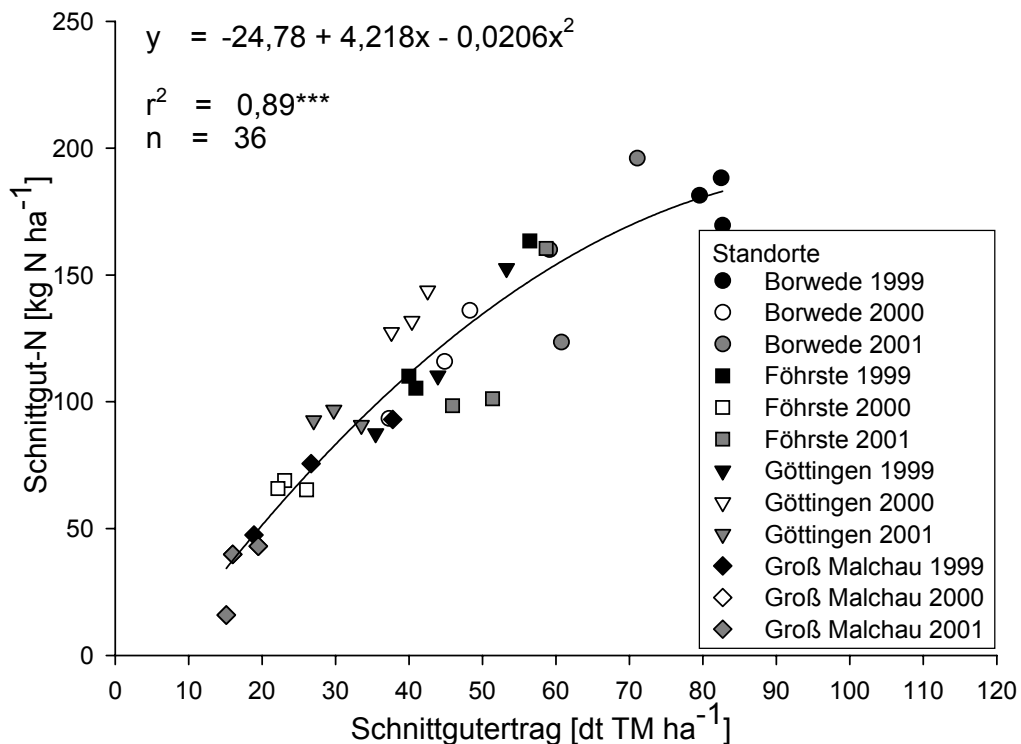


Abb. 115: Regression des Schnittgut-N-Ertrages auf den Schnittgut-TM-Ertrag des Gemengepartners Ackerbohne im Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage

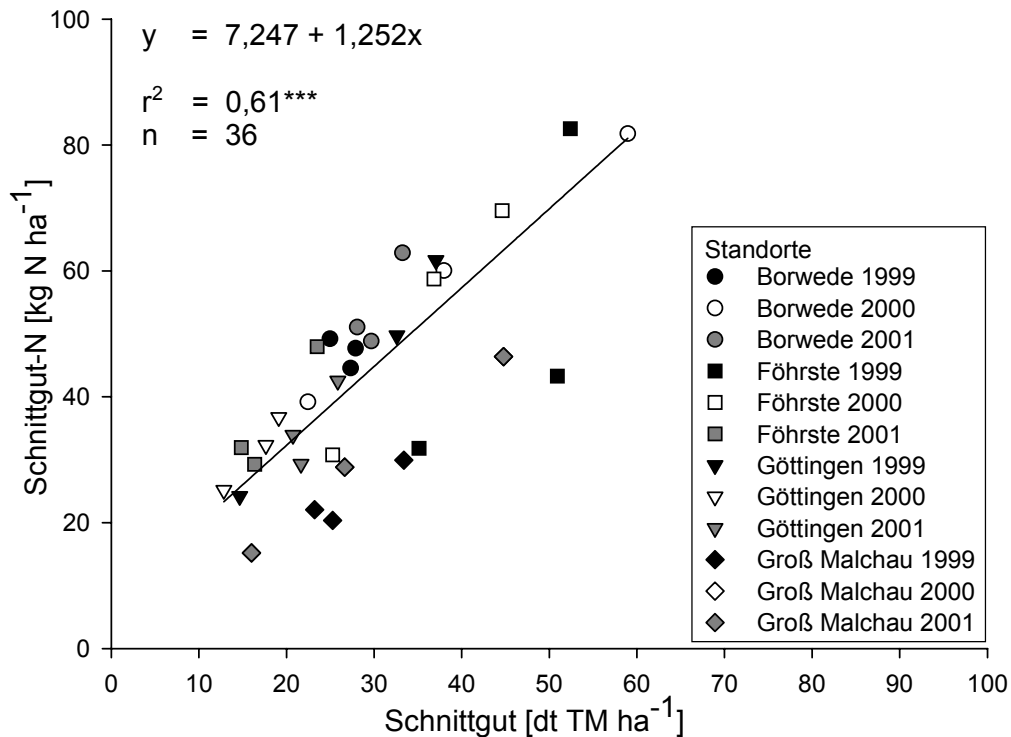


Abb. 116: Regression des Schnittgut-N-Ertrages auf den Schnittgut-TM-Ertrag des Gemengepartners Hafer im Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage

Für die Ableitung der Teil-N-Flächenbilanzen werden Regressionen benötigt, die eine Ermittlung der gesampflanzlichen N-Menge sowohl beim Gemengepartner Ackerbohne als auch beim Gemengepartner Hafer ermöglichen. Diese Regressionen ergaben sich zur Nutzung als GPS in beiden Fällen aus den Daten des Schnittgut-TM-Ertrages und der gesampflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) mit einem Bestimmtheitsmaß  $r^2 = 0,87$  bei der Ackerbohne (Abb. 117) und mit einem Bestimmtheitsmaß von  $r^2 = 0,63$  beim Hafer (Abb. 118).

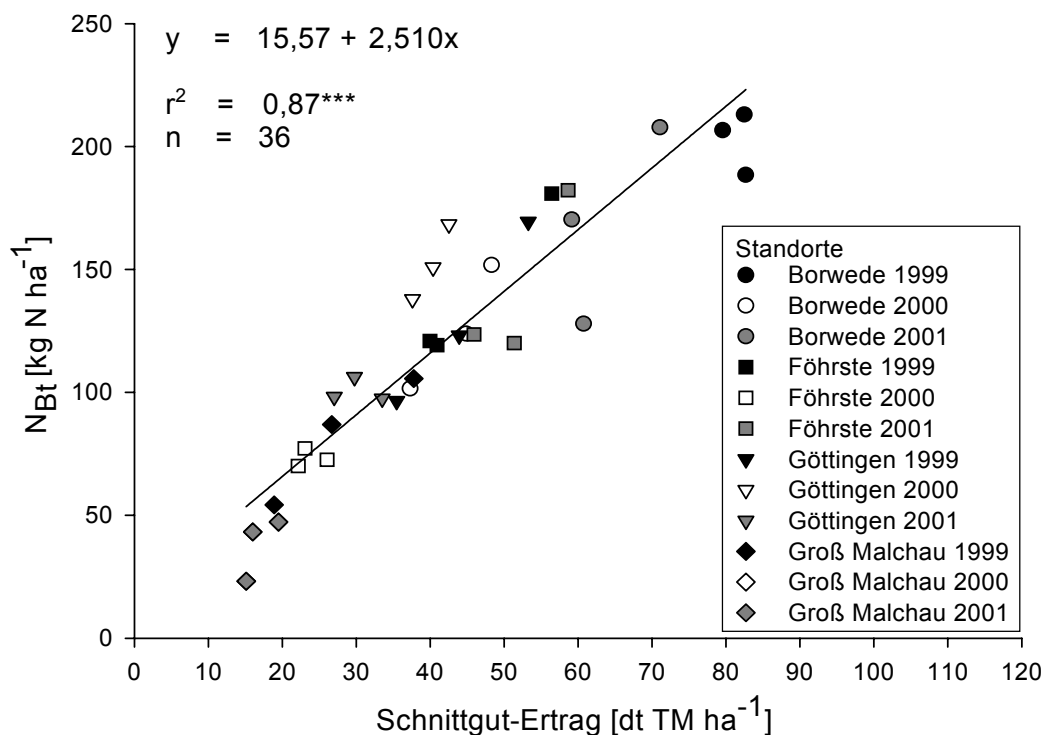


Abb. 117: Regression der gesamtpflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) auf den Schnittgut-TM-Ertrag des Gemengepartners Ackerbohne im Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage

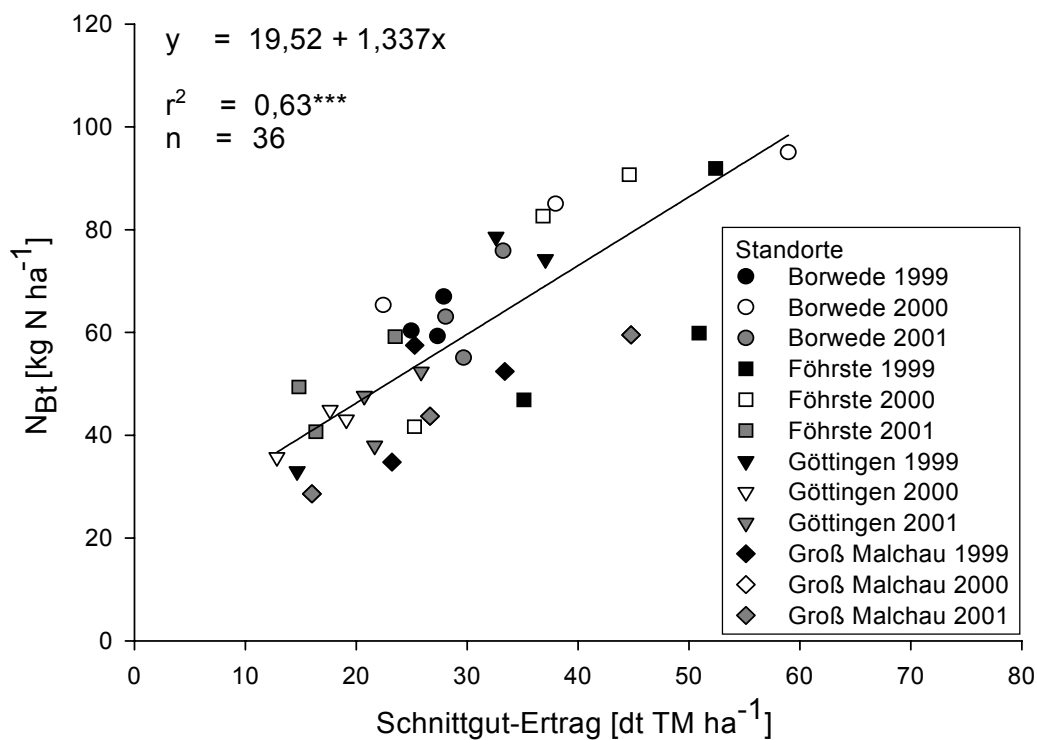


Abb. 118: Regression der gesamtpflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) auf den Schnittgut-TM-Ertrag des Gemengepartners Hafer im Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage

Tab. 76: Berechnung der Teil-N-Flächenbilanz des Gemengepartners Hafer beim Anbau eines Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage – Regressionsmodell aus Schnittgut-Ertrag zu Schnittgut-N-Ertrag (Abb. 116) und Schnittgut-Ertrag zu gesampflanzlicher N-Menge (Abb. 118)

Hafer Schnittgut-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Schnittgut-N kg N ha <sup>-1</sup>	N <sub>Bt</sub> kg N ha <sup>-1</sup>	Teil-N-Flächen-Bilanz kg N ha <sup>-1</sup>
10	20.0	33.2	-19.6
15	26.4	40.0	-25.9
20	32.8	46.8	-32.1
25	39.2	53.6	-38.4
30	45.6	60.4	-44.6
35	51.9	67.3	-50.9
40	58.3	74.1	-57.2

Tab. 77: Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und der einfachen Teil-N-Flächenbilanz des Gemengepartners Ackerbohne beim Anbau eines Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage – Regressionsmodell aus Schnittgut-Ertrag zu Schnittgut-N-Ertrag (Abb. 115 und Abb. 116) und Schnittgut-Ertrag zu gesampflanzlicher N-Menge (Abb. 117 und Abb. 118)

Schnittgut-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum nach Abzug der N-Menge im Hafer (N <sub>Bt</sub> ) [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
<b>N<sub>2</sub>-Fixierleistung des Gemengepartners Ackerbohne</b>															
15	36.8	26.8	16.8	6.8	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
20	49.6	39.6	29.6	19.6	9.6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
25	62.4	52.4	42.4	32.4	22.4	12.4	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
30	75.2	65.2	55.2	45.2	35.2	25.2	15.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2
35	88.0	78.0	68.0	58.0	48.0	38.0	28.0	18.0	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
40	100.8	90.8	80.8	70.8	60.8	50.8	40.8	30.8	20.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
<b>einfache Teil-N-Flächenbilanz des Gemengepartners Ackerbohne</b>															
15	2.9	-6.9	-16.7	-26.5	-27.8	-27.8	-27.8	-27.8	-27.8	-27.8	-27.8	-27.8	-27.8	-27.8	-27.8
20	-1.6	-11.4	-21.2	-31.0	-40.8	-43.6	-43.6	-43.6	-43.6	-43.6	-43.6	-43.6	-43.6	-43.6	-43.6
25	-5.1	-14.9	-24.7	-34.5	-44.3	-54.1	-58.4	-58.4	-58.4	-58.4	-58.4	-58.4	-58.4	-58.4	-58.4
30	-7.5	-17.3	-27.1	-36.9	-46.7	-56.5	-66.3	-72.1	-72.1	-72.1	-72.1	-72.1	-72.1	-72.1	-72.1
35	-8.9	-18.7	-28.5	-38.3	-48.1	-57.9	-67.7	-77.5	-84.8	-84.8	-84.8	-84.8	-84.8	-84.8	-84.8
40	-9.3	-19.1	-28.9	-38.7	-48.5	-58.3	-68.1	-77.9	-87.7	-96.5	-96.5	-96.5	-96.5	-96.5	-96.5

Im Kalkulationsverfahren des legumen Gemengepartners im Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Nutzung als GPS wurde wiederum der im Mittel über die Orte und Jahre festgestellte residuale N<sub>min</sub>-Wert in Höhe von 22,8 kg N ha<sup>-1</sup> einberechnet. Die ausführlichen Schätztabelle dazu befinden sich im Anhang. Für die Schnittgut-TM bis 70 dt TM ha<sup>-1</sup> hätten sich bei einem sehr hohen Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden bei der Berechnung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung negative N<sub>dfa</sub>-Werte (Nitrogen derived from atmosphere) ergeben (Tab. 77). Es wurde deshalb bei einem sehr hohen N<sub>min</sub>-Angebot ein minimaler N<sub>dfa</sub>-Wert von 10 % veranschlagt. Im Kalkulationsverfahren befinden sich deshalb bei höherem Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden gleiche Werte der N<sub>2</sub>-Fixierung und der N-Flächenbilanzen.

Die  $N_2$ -Fixierleistung des Gemengepartners Ackerbohne zur Nutzung als GPS läge bei einem erwirtschafteten Schnittgut-TM-Ertrag von 20 dt TM  $ha^{-1}$  und einem  $N_{min}$ -Angebot von 80 kg N  $ha^{-1}$  bei 9,6 kg N  $ha^{-1}$ . Mit dem Schnittgut des Gemengepartners Ackerbohne läge der N-Saldo bei -40,8 kg N  $ha^{-1}$ . Bei einem  $N_{min}$ -Angebot von 50 kg N  $ha^{-1}$  und einem Schnittgut-Ertrag von 40 dt  $ha^{-1}$  läge die  $N_2$ -Fixierleistung bei 90,8 kg N  $ha^{-1}$ , die Teil-N-Flächenbilanz betrüge -19,1 kg N  $ha^{-1}$ . Die Teil-N-Flächenbilanz des Gemengepartners Hafer zur Nutzung als GPS läge unabhängig vom  $N_{min}$ -Angebot und den residualen  $N_{min}$ -Mengen bei einem ermitteltem Schnittgut-TM-Ertrag von 15 dt TM  $ha^{-1}$  bei -25,9 kg N  $ha^{-1}$  und bei einem Schnittgut-TM-Ertrag von 40 dt TM  $ha^{-1}$  bei -57,2 kg N  $ha^{-1}$  (Tab. 77).

## 8.2 Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der Teil-N-Flächenbilanzen des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Körnernutzung (KN)

Besonders enge Korrelationen ergaben die Daten des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur KN der geprüften Orte aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001. Beim Gemengepartner Ackerbohne wurde zwischen der Korn-TM und der im Korn befindlichen N-Menge ein Bestimmtheitsmaß  $r^2 = 0,98$  (Abb. 119) ermittelt. Beim Gemengepartner Hafer lag diese Beziehung bei  $r^2 = 0,93$  (Abb. 120).

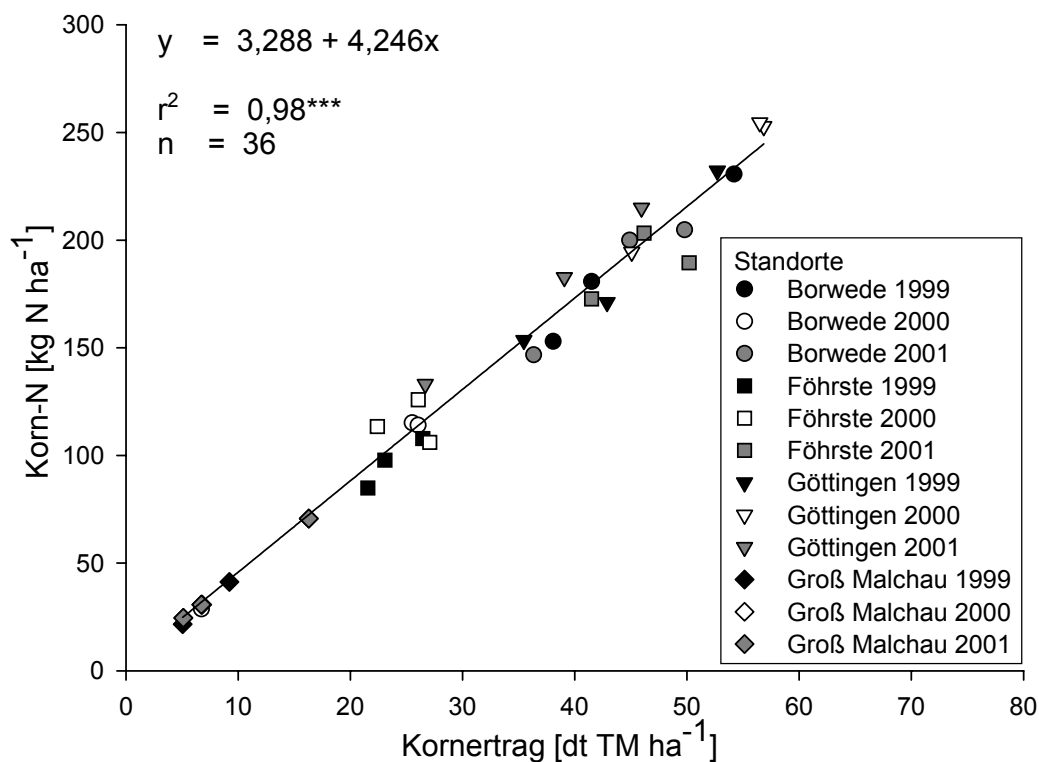


Abb. 119: Regression des Korn-N-Ertrages auf den Korn-TM-Ertrag des Gemengepartners Ackerbohne im Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Körnernutzung

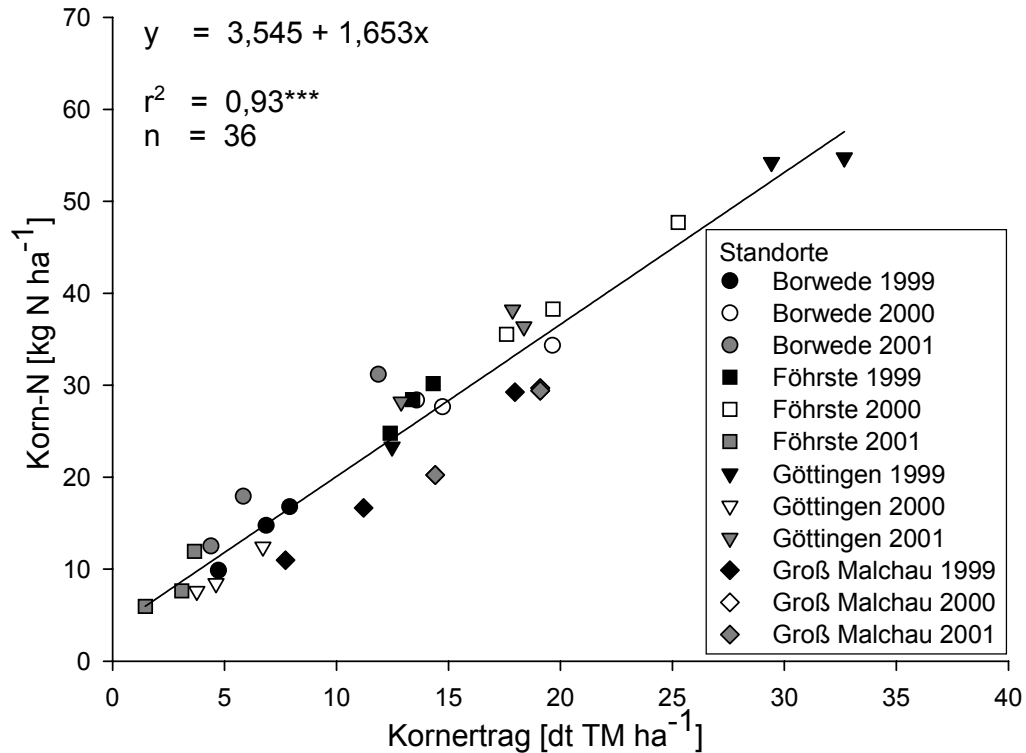


Abb. 120: Regression des Korn-N-Ertrages auf den Korn-TM-Ertrag des Gemengepartners Hafer im Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Körnernutzung

Die Ermittlung der gesampflanzlichen N-Menge beider Gemengepartner war auch zur KN durch die engen Korrelationen zwischen dem Korn-TM-Ertrag und der gesampflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) möglich. Das Bestimmtheitsmaß des Gemengepartners Ackerbohne wurde mit  $r^2 = 0,94$  ermittelt (s. Abb. 121), das des Gemengepartners Hafer lag bei  $r^2 = 0,64$  (s. Abb. 122).

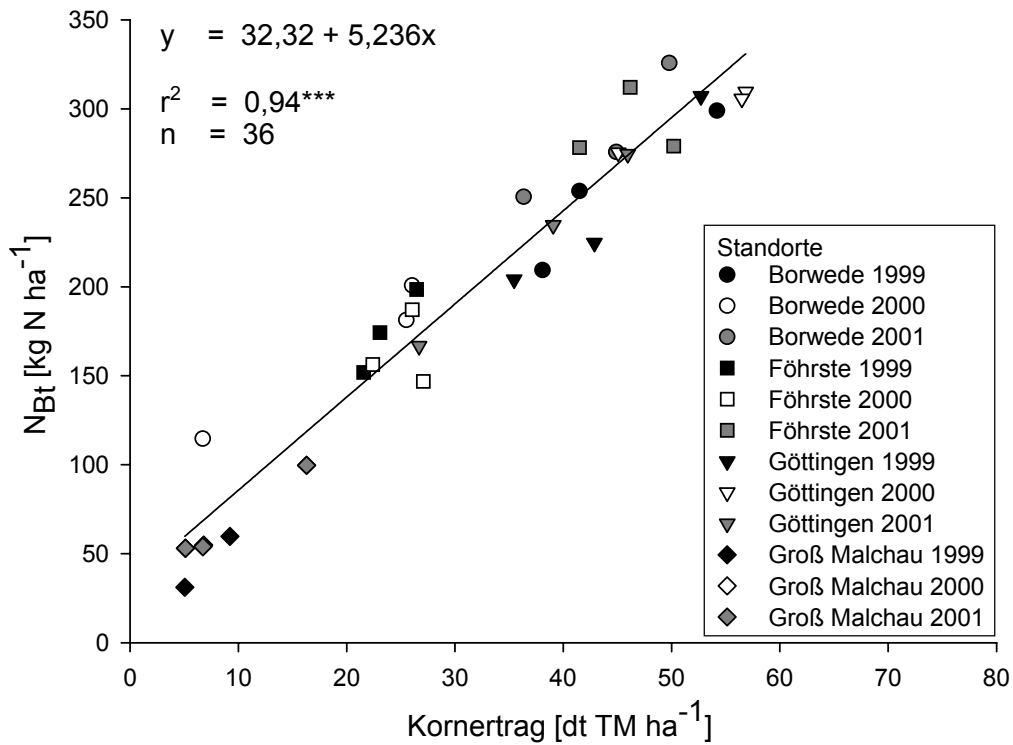


Abb. 121: Regression der gesamtpflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) auf den Korn-TM-Ertrag des Gemengepartners Ackerbohne im Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Körnernutzung

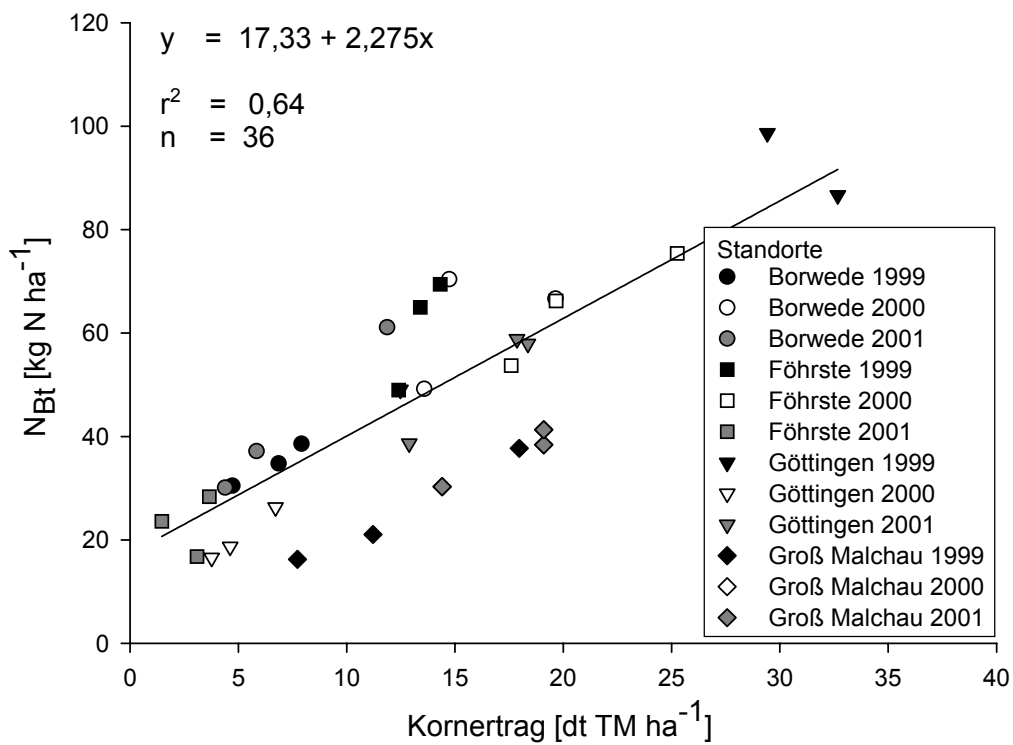


Abb. 122: Regression der gesamtpflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) auf den Korn-TM-Ertrag des Gemengepartners Hafer im Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Körnernutzung



Für die Korn-TM bis 29 dt TM ha<sup>-1</sup> ergaben sich in den höheren N<sub>min</sub>-Werten bei der Berechnung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung negative N<sub>dfa</sub>-Werte (Nitrogen derived from atmosphere). Aus diesem Grund wurde für diese N<sub>min</sub>-Bereiche eine minimale N<sub>2</sub>-Fixierrate von 10 % eingesetzt, ebenso wie für die N<sub>dfa</sub>-Werte, die in den höheren N<sub>min</sub>-Bereichen N<sub>dfa</sub>-Werte unter 10 % ergaben. Im Kalkulationsverfahren sind deshalb in den höheren N<sub>min</sub>-Bereichen die Werte der N<sub>2</sub>-Fixierung bzw. der Teil-N-Flächenbilanzen identisch.

Der über die Jahre und Orte gemittelte residuale N<sub>min</sub>-Wert des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur KN lag bei 29,0 kg N ha<sup>-1</sup>. Bei einem Korn-TM-Ertrag von 40 dt TM ha<sup>-1</sup> ergäbe sich bei einem N<sub>min</sub>-Angebot des Bodens von 70 kg N ha<sup>-1</sup> ergäbe sich eine N<sub>2</sub>-Fixierleistung von 205,0 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Teil-N-Flächenbilanz läge mit diesen Werten im positiven Bereich von 66,4 kg N ha<sup>-1</sup>. Bei einem N<sub>min</sub>-Angebot von 130 kg N ha<sup>-1</sup> käme es zu einer Fixierung des legumen Gemengepartners von nur noch 145,0 kg N ha<sup>-1</sup>. Der N-Flächenbilanzsaldo läge mit -3,7 kg N ha<sup>-1</sup> ebenfalls deutlich niedriger. Mit einem Korn-Ertrag von 30 dt TM ha<sup>-1</sup> des Gemengepartners Hafer läge die einfache Teil-N-Flächenbilanz bei -61,3 kg N ha<sup>-1</sup> (Tab. 78).

Tab. 78: Berechnung der Teil-N-Flächenbilanz des Gemengepartners Hafer beim Anbau eines Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Körnernutzung – Regressionsmodell aus Korn-Ertrag zu Korn-N-Ertrag (Abb. 120) und Korn-Ertrag zu gesamtplanzlicher N-Menge (Abb. 122)

Hafer Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Korn-N kg N ha <sup>-1</sup>	N <sub>Bt</sub> kg N ha <sup>-1</sup>	Teil- N-Flächen- Bilanz kg N ha <sup>-1</sup>
10	20.4	40.5	-20.0
15	28.8	52.1	-28.3
20	37.3	63.7	-36.5
25	45.7	75.3	-44.8
30	54.1	86.9	-53.0
35	62.6	98.5	-61.3
40	71.0	110.2	-69.6

Tab. 79: Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und der erweiterten Teil-N-Flächenbilanz des Gemengepartners Ackerbohne beim Anbau eines Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur KN – Regressionsmodell aus Korn-Ertrag zu Korn-N-Ertrag (Abb. 119) und Korn-Ertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge (Abb. 121)

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
<b>N<sub>2</sub>-Fixierleistung des Gemengepartners Ackerbohne zur KN</b>															
10	74.7	64.7	54.7	44.7	34.7	24.7	14.7	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6
20	128.2	118.2	108.2	98.2	88.2	78.2	68.2	58.2	48.2	38.2	28.2	18.2	13.9	13.9	13.9
30	181.6	171.6	161.6	151.6	141.6	131.6	121.6	111.6	101.6	91.6	81.6	71.6	61.6	51.6	41.6
40	235.0	225.0	215.0	205.0	195.0	185.0	175.0	165.0	155.0	145.0	135.0	125.0	115.0	105.0	95.0
50	288.4	278.4	268.4	258.4	248.4	238.4	228.4	218.4	208.4	198.4	188.4	178.4	168.4	158.4	148.4
60	341.8	331.8	321.8	311.8	301.8	291.8	281.8	271.8	261.8	251.8	241.8	231.8	221.8	211.8	201.8
<b>erweiterte Teil-N-Flächenbilanz des Gemengepartners Ackerbohne zur KN</b>															
10	41.6	30.0	18.3	6.6	-5.1	-16.8	-28.4	-35.7	-35.7	-35.7	-35.7	-35.7	-35.7	-35.7	-35.7
20	61.6	49.9	38.2	26.5	14.9	3.2	-8.5	-20.2	-31.9	-43.5	-55.2	-66.9	-71.9	-71.9	-71.9
30	81.5	69.8	58.2	46.5	34.8	23.1	11.4	-0.2	-11.9	-23.6	-35.3	-47.0	-58.6	-70.3	-82.0
40	101.4	89.8	78.1	66.4	54.7	43.0	31.4	19.7	8.0	-3.7	-15.4	-27.0	-38.7	-50.4	-62.1
50	121.4	109.7	98.0	86.3	74.7	63.0	51.3	39.6	27.9	16.3	4.6	-7.1	-18.8	-30.5	-42.1
60	141.3	129.6	118.0	106.3	94.6	82.9	71.2	59.6	47.9	36.2	24.5	12.8	1.2	-10.5	-22.2

### 8.3 Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der Teil-N-Flächenbilanzen des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS)

Der Anbau des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als GPS der geprüften Orte in den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 ergab zwischen der Schnittgut-TM und der im Schnittgut befindlichen N-Menge beider Gemengepartner eine enge Korrelation (Erbse:  $r^2 = 0,88$ , Abb. 123; Hafer =  $r^2 = 0,69$ , Abb. 124).

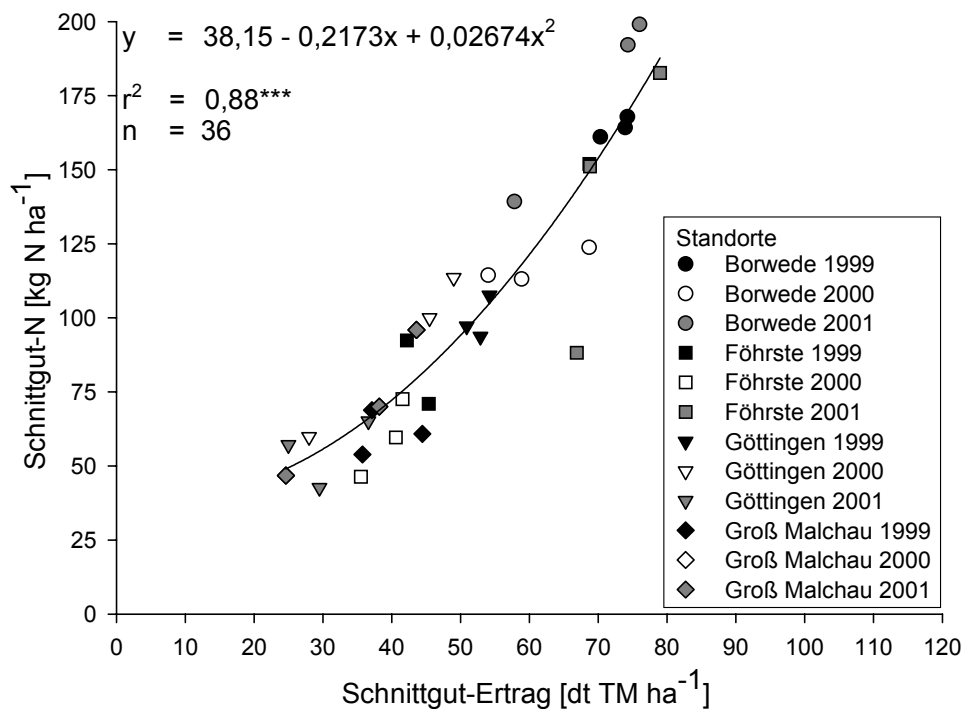


Abb. 123: Regression des Schnittgut-N-Ertrages auf den Schnittgut-TM-Ertrag des Gemengepartners Erbse im Erbse/Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage

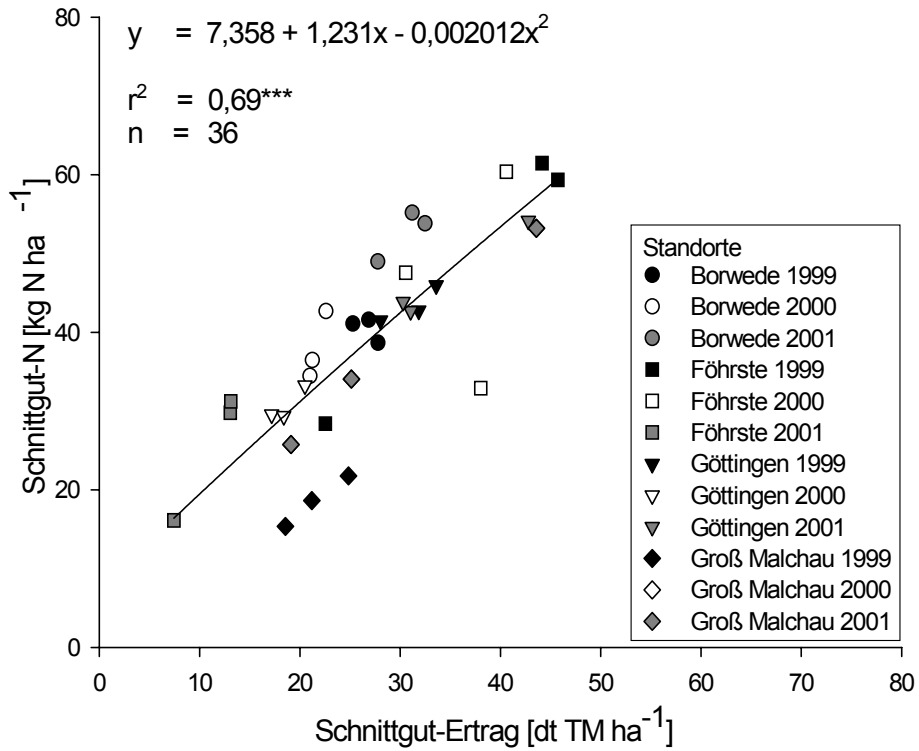


Abb. 124: Regression des Schnittgut-N-Ertrages auf den Schnittgut-TM-Ertrag des Gemengepartners Hafer im Erbse/Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage

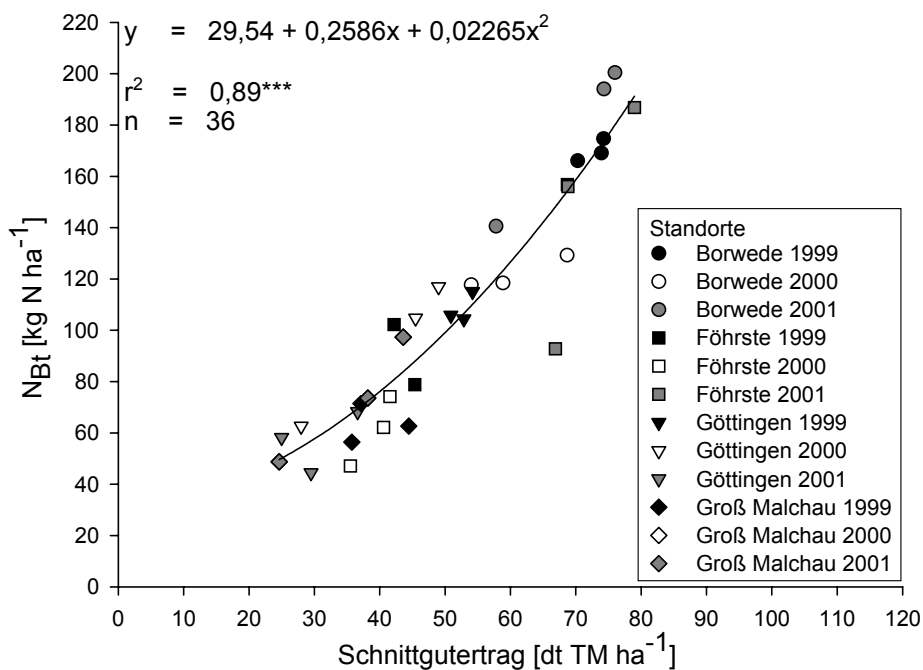


Abb. 125: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) auf den Schnittgut-TM-Ertrag des Gemengepartners Erbse im Erbse/Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage

Die Teil-N-Flächenbilanz des Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als GPS ergab sich wiederum aus den engen Beziehungen zwischen dem Schnittgut-TM-Ertrag und der gesampflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ). Diese Regression des Gemengepartners Erbse hatte ein Bestimmtheitsmaß  $r^2 = 0,89$  (s. Abb. 125) und  $r^2 = 0,70$  beim Gemengepartner Hafer (Abb. 126).

Für die Schnittgut-TM bis  $79 \text{ dt TM ha}^{-1}$  ergaben sich in den höheren  $N_{min}$ -Bereichen bei der Berechnung der  $N_2$ -Fixierleistung negative  $N_{dfa}$ -Werte (Nitrogen derived from atmosphere). Aus diesem Grund wurde bei diesen Werten wie auch für die  $N_{dfa}$ -Werte eine minimale  $N_2$ -Fixierleistung von 10 % eingesetzt, die in den höheren  $N_{min}$ -Bereichen  $N_{dfa}$ -Werte unter 10 % ergaben. Die Werte der  $N_2$ -Fixierung und der Teil-N-Flächenbilanzen sind deshalb in den höheren  $N_{min}$ -Bereichen des Kalkulationsverfahrens gleich.

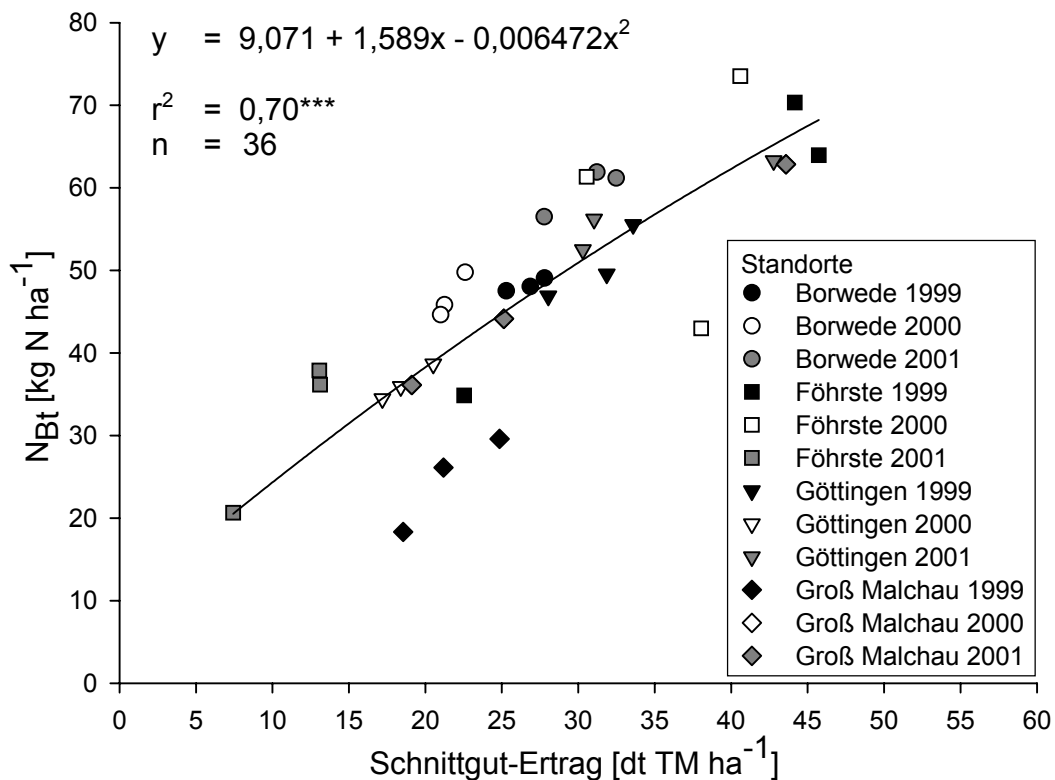


Abb. 126: Regression der gesampflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) auf den Schnittgut-TM-Ertrag des Gemengepartners Hafer im Erbse/Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage

Dem Kalkulationsverfahren des nodulierenden Gemengepartners im Erbse/Hafer-Gemenge zur Nutzung als GPS liegt ein über die Orte und Jahre gemittelter residualer N<sub>min</sub>-Wert von 22,1 kg N ha<sup>-1</sup> zugrunde. Die N<sub>2</sub>-Fixierleistung der Erbse läge bei einem erzielten Schnittgut-TM-Ertrag von 50 dt TM ha<sup>-1</sup> und einem N<sub>min</sub>-Angebot bis zur Nutzung als GPS von 60 kg N ha<sup>-1</sup> bei 62,3 kg N ha<sup>-1</sup>. Die erweiterte Teil-N-Flächenbilanz wäre durch die große Menge abgefahrenen Pflanzenmaterials mit 18,2 kg N ha<sup>-1</sup> im negativen Bereich. Bei erhöhten N<sub>min</sub>-Werten im Boden von 100 kg N ha<sup>-1</sup> und gleichem Schnittgut-TM-Ertrag würden nur noch 22,3 kg N ha<sup>-1</sup> fixiert. Die Teil-N-Flächenbilanz läge entsprechend niedriger bei 66,6 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Teil-N-Flächenbilanz des Gemengepartners Hafer zur Nutzung als GPS bei einem Schnittgut-TM-Ertrag von 40 dt TM ha<sup>-1</sup> unabhängig vom N<sub>min</sub>-Angebot und den residualen N<sub>min</sub>-Mengen bei -52,2 kg.

Die N<sub>2</sub>-Fixierleistung des Gemengepartners Erbse zur Nutzung als GPS läge bei einem erwirtschafteten Schnittgut-TM-Ertrag von 40 dt TM ha<sup>-1</sup> und einem N<sub>min</sub>-Angebot von 80 kg N ha<sup>-1</sup> bei 19,0 kg N ha<sup>-1</sup>. Durch die Schnittgutnutzung des Gemengepartners Erbse (Tab. 81) läge der N-Verlust bei -48,7 kg N ha<sup>-1</sup>. Bei einem N<sub>min</sub>-Angebot von 100 kg N ha<sup>-1</sup> und einem Schnittgut-Ertrag von 50 dt ha<sup>-1</sup> läge die N<sub>2</sub>-Fixierleistung bei 22,3 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Teil-N-Flächenbilanz betrüge -66,6 kg N ha<sup>-1</sup>. Die Teil-N-Flächenbilanz des Gemengepartners Hafer zur Nutzung als GPS läge unabhängig vom N<sub>min</sub>-Angebot bei einem ermitteltem Schnittgut-TM-Ertrag von 15 dt TM ha<sup>-1</sup> bei -24,9 kg N ha<sup>-1</sup> und bei einem Schnittgut-TM-Ertrag von 40 dt TM ha<sup>-1</sup> bei -52,2 kg N ha<sup>-1</sup> (Tab. 80).

Tab. 80: Berechnung der Teil-N-Flächenbilanz des Gemengepartners Hafer beim Anbau eines Erbse/Hafer-Gemenges zur Nutzung als Ganzpflanzensilage – Regressionsmodell aus Schnittgut-Ertrag zu Schnittgut-N-Ertrag (Abb. 124) und Schnittgut-Ertrag zu gesampflanzlicher N-Menge (Abb. 126)

Hafer Schnitt- gut-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Schnittgut-N kg N ha <sup>-1</sup>	N <sub>Bi</sub> kg N ha <sup>-1</sup>	Teil- N-Flächen- Bilanz kg N ha <sup>-1</sup>
10	19.5	24.3	-19.1
15	25.4	31.4	-24.9
20	31.2	38.2	-30.5
25	36.9	44.7	-36.1
30	42.4	50.8	-41.6
35	47.9	56.6	-47.0
40	53.3	62.1	-52.2



#### 8.4 Schätzung der Stickstoff-Fixierleistung und der Teil-N-Flächenbilanzen des Erbse/Hafer-Gemenges zur Körner-nutzung (KN)

Auch beim Erbse/Hafer-Gemenge zur KN der geprüften Orte aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 ergaben sich besonders enge Korrelationen zwischen dem Korn-TM-Ertrag und der im Korn befindlichen N-Menge. Das Bestimmtheitsmaß dieser Beziehung lag beim Gemengepartner Erbse bei  $r^2 = 0,96$  (Abb. 127) ermittelt und beim Gemengepartner Hafer bei  $r^2 = 0,96$  (Abb. 128).

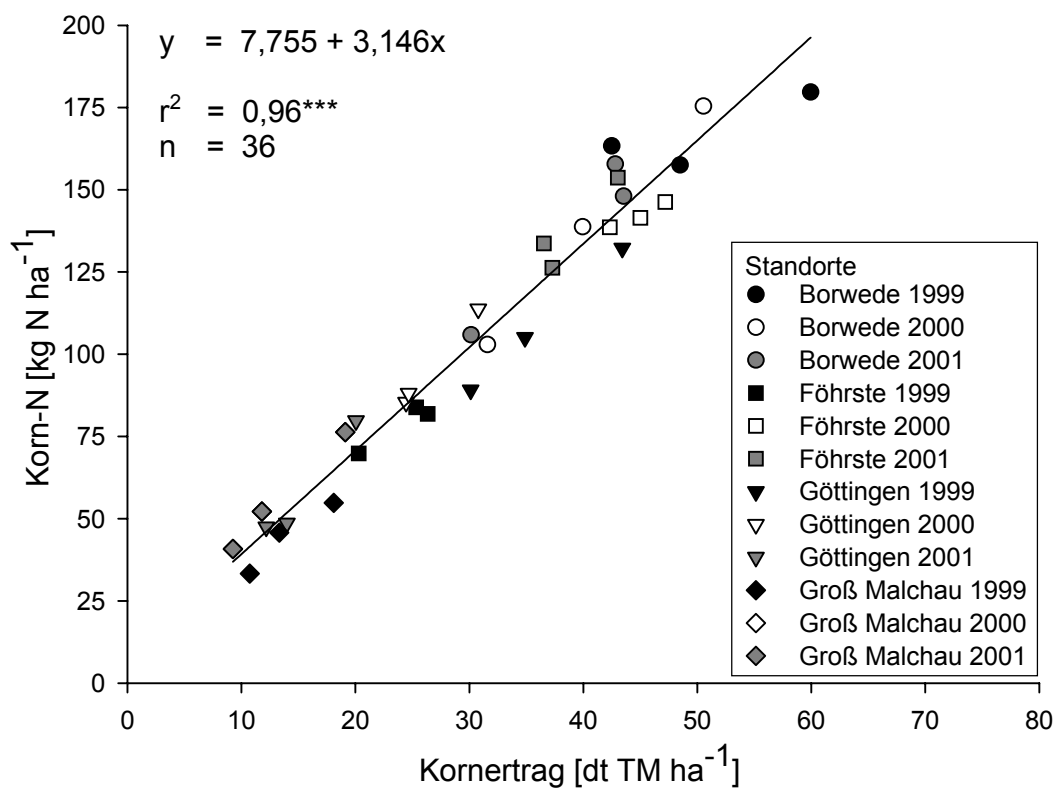


Abb. 127: Regression des Korn-N-Ertrages auf den Korn-TM-Ertrag des Gemengepartners Erbse im Erbse/Hafer-Gemenge zur Körnernutzung



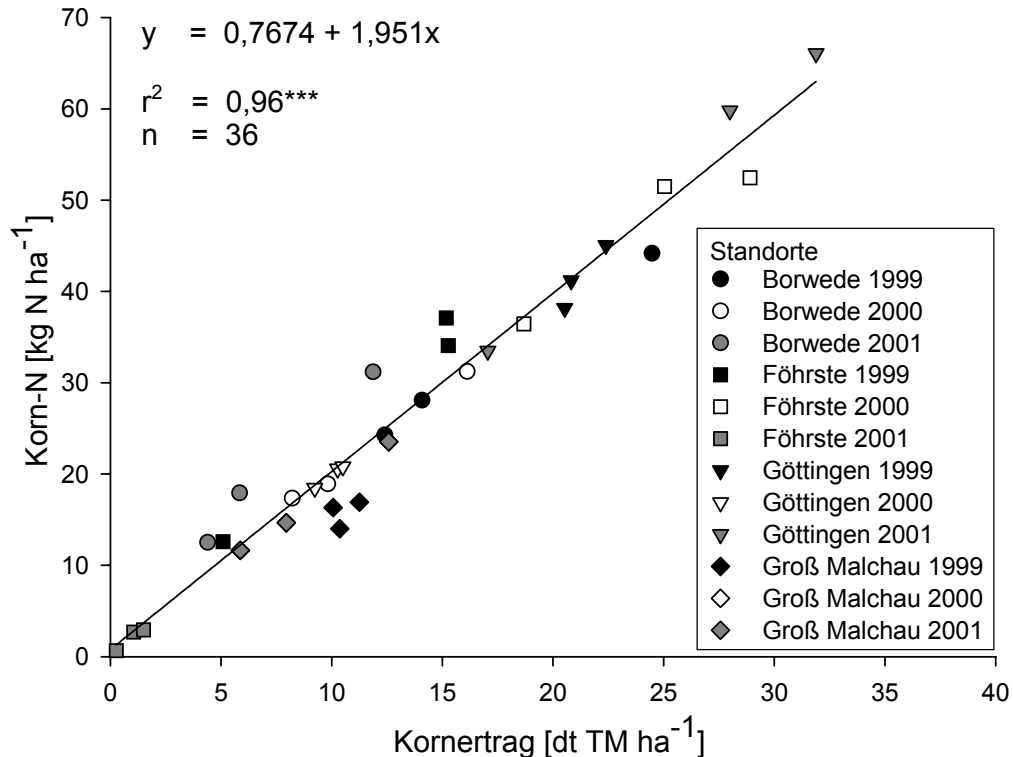


Abb. 128: Regression des Korn-N-Ertrages auf den Korn-TM-Ertrag des Gemengepartners Hafer im Erbse/Hafer-Gemenge zur Körnernutzung

Die gesampfpflanzliche ( $N_{Bt}$ ) N-Menge der Gemengepartner Erbse und Hafer zeigte auch zur KN enge Korrelationen zum Korn-TM-Ertrag. Das Bestimmtheitsmaß des Gemengepartners Erbse wurde mit  $r^2 = 0,88$  ermittelt (s. Abb. 129), das des Gemengepartners Hafer lag bei  $r^2 = 0,75$  (s. Abb. 130). Mit Hilfe der Regressionen zwischen Korn-TM-Ertrag und Korn-N-Menge bzw. gesampfpflanzlicher N-Menge ( $N_{Bt}$ ) konnte das Modell der Teil-N-Flächenbilanzen des Erbse/Hafer-Gemenges zur KN entwickelt werden.

Bei der Berechnung der  $N_2$ -Fixierleistung ergaben sich in den höheren  $N_{min}$ -Bereichen bei Korn-TM-Erträgen bis  $41 \text{ dt TM ha}^{-1}$  negative  $N_{dfa}$ -Werte (Nitrogen derived from atmosphere). Auch hier wurden bei diesen Werten wie auch für die  $N_{dfa}$ -Werte eine minimale  $N_2$ -Fixierleistung von 10 % eingesetzt, die in den höheren  $N_{min}$ -Bereichen  $N_{dfa}$ -Werte unter 10 % ergaben, wodurch die Werte der  $N_2$ -Fixierung und der Teil-N-Flächenbilanzen in den höheren  $N_{min}$ -Bereichen des Kalkulationsverfahrens gleich lauten.

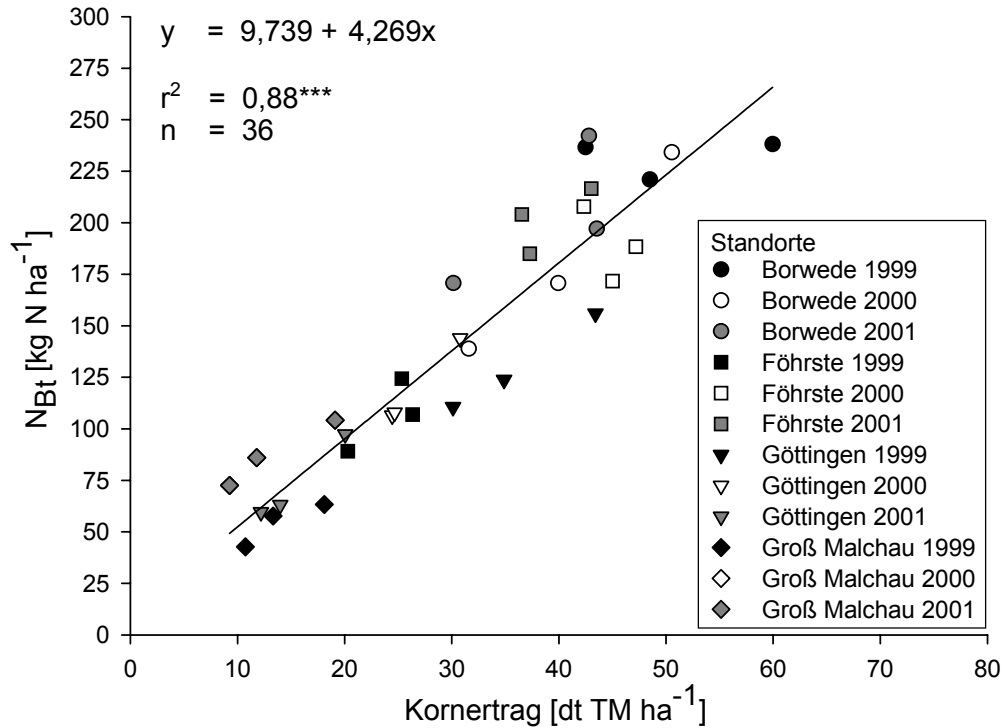


Abb. 129: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) auf den Korn-TM-Ertrag des Gemengepartners Erbse im Erbse/Hafer-Gemenge zur Körner-nutzung

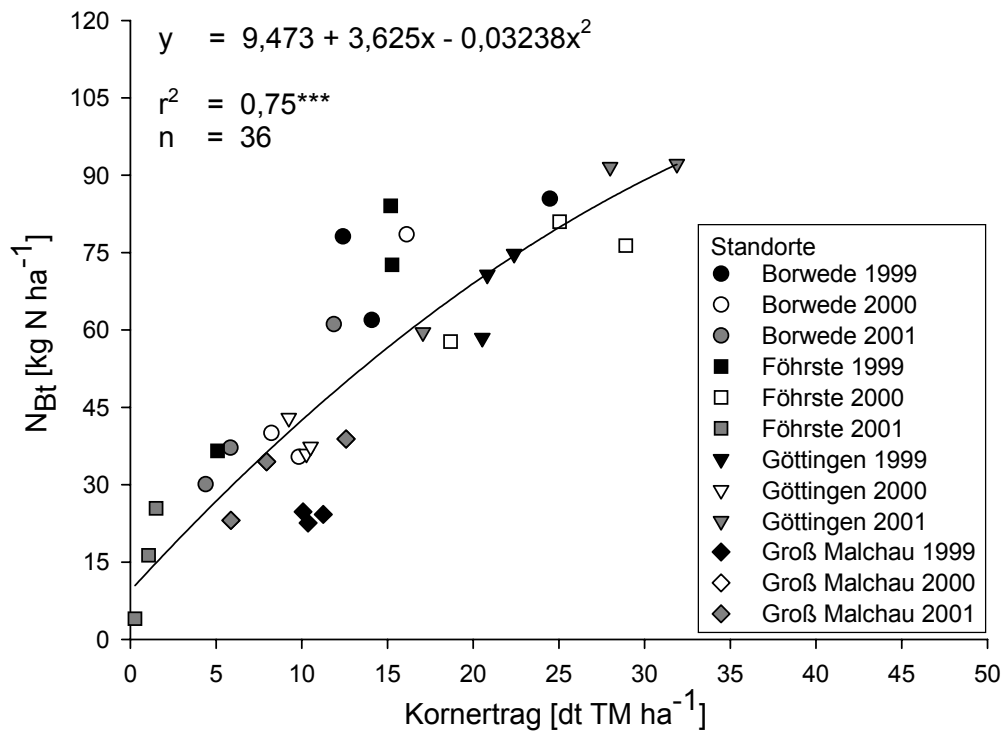


Abb. 130: Regression der gesamt-pflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) auf den Korn-TM-Ertrag des Gemengepartners Hafer im Erbse/Hafer-Gemenge zur Körner-nutzung

Wenn in der Praxis beim Anbau eines Erbse/Hafer-Gemenges zur KN der Boden bis zur Ernte 70 kg mineralischen Stickstoff zur Verfügung stellt und ein Kornertrag des legumen Gemengepartners von 30 dt TM ha<sup>-1</sup> erzielt würde, läge die N<sub>2</sub>-Fixierleistung bei 95,9 kg N ha<sup>-1</sup>, wodurch sich die Teil-N-Flächenbilanz in den positiven Bereich von 2,8 kg N ha<sup>-1</sup> bewegen würde. Bei einem Kornertrag der Erbse von 60 dt TM ha<sup>-1</sup> würden 226,6 kg N ha<sup>-1</sup> fixiert (Tab. 83). Die Teil-N-Flächenbilanz des legumen Gemengepartners läge trotz gesteigerter TM-Abfuhr mit 62,1 kg N ha<sup>-1</sup> deutlich höher. Bei einem ermittelten Korn-TM-Ertrag von 50 dt TM ha<sup>-1</sup> läge die Teil-N-Flächenbilanz des Gemengepartners Hafer bei -98,3 kg N ha<sup>-1</sup> (Tab. 82).

Im Kalkulationsverfahren des legumen Gemengepartners im Erbse/Hafer-Gemenge zur KN wurde der im Mittel über die Orte und Jahre festgestellte residuale N<sub>min</sub>-Wert in Höhe von 25,6 kg N ha<sup>-1</sup> einberechnet.

Tab. 82: Berechnung der Teil-N-Flächenbilanz des Gemengepartners Hafer beim Anbau eines Erbse/Hafer-Gemenges zur Körnernutzung – Regressionsmodell aus Korn-Ertrag zu Korn-N-Ertrag (Abb. 128) und Korn-Ertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge (Abb. 130)

Hafer Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Korn-N kg N ha <sup>-1</sup>	N <sub>bt</sub> kg N ha <sup>-1</sup>	Teil- N-Flächen- Bilanz kg N ha <sup>-1</sup>
10	20.7	42.4	-20.3
15	30.6	56.4	-30.0
20	40.6	68.8	-39.8
25	50.5	79.5	-49.5
30	60.5	88.5	-59.3
35	70.4	95.9	-69.0
40	80.4	101.6	-78.8

Tab. 83: Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und der erweiterten Teil-N-Flächenbilanz des Gemengepartners Erbse beim Anbau eines Erbse/Hafer-Gemenges zur KN – Regressionsmodell aus Kornertrag zu Korn-N-Ertrag (Abb. 127) und Kornertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge (Abb. 129)

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
N <sub>2</sub> -Fixierleistung des Gemengepartners Erbse															
10	38.9	28.9	18.9	8.9	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
20	82.4	72.4	62.4	52.4	42.4	32.4	22.4	12.4	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7
30	125.9	115.9	105.9	95.9	85.9	75.9	65.9	55.9	45.9	35.9	25.9	15.9	14.0	14.0	14.0
40	169.5	159.5	149.5	139.5	129.5	119.5	109.5	99.5	89.5	79.5	69.5	59.5	49.5	39.5	29.5
50	213.0	203.0	193.0	183.0	173.0	163.0	153.0	143.0	133.0	123.0	113.0	103.0	93.0	83.0	73.0
60	256.6	246.6	236.6	226.6	216.6	206.6	196.6	186.6	176.6	166.6	156.6	146.6	136.6	126.6	116.6
erweiterte Teil-N-Flächenbilanz des Gemengepartners Erbse															
10	3.4	-7.5	-18.5	-29.4	-33.2	-33.2	-33.2	-33.2	-33.2	-33.2	-33.2	-33.2	-33.2	-33.2	-33.2
20	19.5	8.6	-2.4	-13.3	-24.2	-35.1	-46.0	-57.0	-59.9	-59.9	-59.9	-59.9	-59.9	-59.9	-59.9
30	35.6	24.7	13.7	2.8	-8.1	-19.0	-29.9	-40.9	-51.8	-62.7	-73.6	-84.5	-86.6	-86.6	-86.6
40	51.7	40.8	29.8	18.9	8.0	-2.9	-13.8	-24.8	-35.7	-46.6	-57.5	-68.4	-79.4	-90.3	-101.2
50	67.8	56.9	45.9	35.0	24.1	13.2	2.3	-8.7	-19.6	-30.5	-41.4	-52.3	-63.3	-74.2	-85.1
60	83.9	73.0	62.1	51.1	40.2	29.3	18.4	7.5	-3.5	-14.4	-25.3	-36.2	-47.1	-58.1	-69.0

## 9 Diskussion

In der vorliegenden Arbeit zur  $N_2$ -Fixierleistung verschiedener Körnerleguminosen an vier Standorten Niedersachsens wurden anhand eigener Ergebnisse Kalkulationstabellen zur  $N_2$ -Fixierleistung und N-Flächenbilanzen für die Anwendung in der Stickstoffdüngberatung abgeleitet. Zum einen besteht die Arbeit aus einem praktischen Teil, in dem Feld- und Laborergebnisse aufbereitet und dargestellt sind und zum anderen aus einigen Bereichen, die in der Datenerhebung und der Ableitung der Kalkulationstabellen für die Reinsaat und Modellbildung und Ableitung von Kalkulationstabellen für die Gemenge einen theoretischen Schwerpunkt besitzen.

Die Daten wurden im Ergebnisteil nach Arten und Standorten sortiert beschrieben. Im folgenden Diskussionsteil wird zum Teil auf diese Daten zurückgegriffen. Hierzu erschien es sinnvoll, einzelne Aspekte in komprimierter Form darzustellen und hervorzuheben. Es werden in der Diskussion für die Methodik der Ermittlung der  $N_2$ -Fixierung und der Ableitung der Kalkulationstabellen relevante Ergebnisse ergänzend dargestellt genutzt, die bisher nicht beschrieben wurden. Schlaglichtartig fassen hierzu einzelne Tabellen und Graphiken Bereiche aus dem praktischen Teil der Arbeit und auch aus dem methodischen Teil zusammen. Dies geschieht auch vor dem Hintergrund, dass die Ergebnisse so in der Diskussion besser präsent sind. Der Vergleich zu anderen Arbeiten wird dadurch ermöglicht. Die methodische Diskussion beinhaltet Themen wie die Wahl der Referenzpflanze, die Isotopenfraktionierung und verschiedene Aspekte zur Qualität der Modellrechnungen. Die aus dem praktischen Teil dieser Arbeit stammenden Daten wie Trockenmasse- und Stickstofferträge werden zu denen anderer Autoren in Beziehung gesetzt. Aus theoretischen und praktischen Überlegungen heraus wird die Diskussion um die Wurzel-TM, Wurzel-N-Menge, die Rhizodeposition und die N-Problematik beim Anbau von Körnerleguminosen geführt. Das abschließende Kapitel widmet sich dem Vergleich bisher verwendeter Kalkulationsverfahren zur Schätzung des N-Flächenbilanzsaldos nach SCHUVO (1996) zu dem nach SCHMIDTKE (2001).

## 9.1 Wahl der Referenzpflanzen

Die  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode wie auch die  $^{15}\text{N}$ -Verdünnungsmethode wurde in den letzten Jahren weltweit sehr häufig genutzt, um Fragen zur  $\text{N}_2$ -Fixierleistung von Körnerleguminosen zu klären und um die pflanzeigenen Mechanismen der Nährstoffaufnahme und -bindung besser zu verstehen. In den zahlreichen Veröffentlichungen finden sich jedoch selten Angaben über Gründe zur Wahl einer bestimmten Referenzpflanze. Auch wird die Eignung von Referenzpflanzen und die Auswirkungen auf die Schätzergebnisse wenig diskutiert. SCHMIDTKE (1997a) beschrieb als Voraussetzung für die Nutzung der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode zur Quantifizierung der  $\text{N}_2$ -Fixierleistung von Leguminosen, dass die Zeit-Tiefen-Funktionen der N-Isotopenaufnahme aus dem pflanzenverfügbaren N-Vorrat des Bodens bei der zu prüfenden Leguminose und ihrer Referenzpflanze möglichst gleich sein sollten. Diese Voraussetzung sei nicht erfüllt, wenn zum einen die N-Isotopenzusammensetzung des spezifisch gebundenen Ammoniums signifikant von der N-Isotopenzusammensetzung des übrigen pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden abweicht und zusätzlich Leguminose und Referenzpflanze in unterschiedlichem Maße spezifisch gebundenes Ammonium aus dem Boden aufnehmen. Zum anderen dürfen Leguminose und Referenzfrucht keine abweichende vertikale Wurzelverteilung und Durchwurzelungsintensität im Boden aufweisen, die bei einer nicht homogenen vertikalen Verteilung des  $\delta^{15}\text{N}$ -Wertes im pflanzenverfügbaren Stickstoffvorrat des Bodens zu einer ungleichen N-Isotopenaufnahme von Leguminose und Referenzfrucht führen kann. KILIAN (1994) fand in der Untersuchung zur  $\text{N}_2$ -Fixierleistung von *Vicia faba* im Spross der monokotylen Referenzpflanze *Lolium perenne* und in der dikotylen Referenzpflanze *Brassica oleracea* var. *medullosa* gleiche  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte und leitete daraus ab, dass sich sowohl monokotyle als auch dikotyle Referenzpflanzen zur Anwendung der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode grundsätzlich eignen. In den eigenen dreijährigen Untersuchungen wurden wegen ihrer sehr verschiedenen Wurzelsysteme als monokotyle Referenzpflanze Hafer (Homorrhizie) und als dikotyle Referenzpflanze Raps (Allorrhizie) in die Versuchsanlagen integriert, um den legumen Prüfgliedern eine Referenzpflanze gegenüber stellen zu können, die in annähernd gleichen Bodentiefen wurzelt. Bei der Berechnung der Anteile Stickstoff aus der Luft in der Leguminose (Ndfa) zeigten sich jedoch bei den Prüfgliedern, denen Hafer als Referenzpflanze zugeordnet werden sollte (Grünspeiseerbse, Körnererbse und Gemenge in beiden Nutzungsvarianten), aufgrund eines sehr geringen  $^{15}\text{N}$ -Anreicherungsgrades im Hafer Schwierigkeiten bei der Ermittlung des Ndfa-Wertes. Da dieses Problem bei den Berechnungen mit der Referenzpflanze Raps nicht auftrat, wurde letztlich bei den Berechnungen allen Prüfgliedern die Referenzpflanze Raps zugeordnet.

Tab. 84: Gesamtpflanzliche  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der Referenzpflanzen *Avena sativa* und *Brassica napus* zum Zeitpunkt der artspezifischen Erntetermine der Prüfglieder *Vicia faba* (AB), *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse (GE) und zur Nutzung als Körnererbse (KE) und von *Lupinus albus* bzw. *Lupinus luteus* (L)

Ertragsparameter	Jahr	Hafer	Raps	Hafer	Raps	Hafer	Raps	Hafer	Raps
Erntezeitpunkt		GE		KE		AB		L	
Borwede	1999	3,02	6,65	3,17	3,75	--	3,11	--	3,11
	2000	1,07	3,22	0,87	2,40	--	2,48	--	2,53
	2001	1,88	3,30	2,85	3,26	--	3,14	--	3,26
Föhrste	1999	5,34	7,42	4,77	6,99	--	6,67	--	5,32
	2000	2,80	5,23	2,44	4,53	--	4,01	--	3,71
	2001	3,13	5,23	3,01	3,36	--	3,26	--	2,65
Göttingen	1999	4,34	7,39	4,80	6,48	--	6,17	--	5,89
	2000	3,73	4,52	3,44	4,51	--	3,89	--	--
	2001	4,23	8,27	4,48	6,37	--	5,39	--	5,48
Groß Malchau	1999	1,08	2,81	1,39	2,06	--	1,61	--	1,61
	2000	14,24	10,36	13,66	9,07	--	8,21	--	8,21
	2001	5,84	7,26	5,10	5,00	--	4,53	--	5,61

Die gesamtpflanzlichen  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der im Versuch integrierten Referenzpflanzen *Avena sativa* und *Brassica napus* zum jeweiligen Erntezeitpunkt der legumen Prüfglieder sind in Tab. 84 zusammengestellt. Durch den Vergleich der beiden angebauten Referenzpflanzen unter gleichen Bedingungen wird die Problematik verdeutlicht. Aufgrund der recht frühen Abreife von *Avena sativa* konnte für die späteren Prüfglieder *Vicia faba* (in Reinsaat und Gemenge) und *Lupinus albus* bzw. *Lupinus luteus* nur noch *Brassica napus* als Referenzpflanze geerntet werden. Bei der Zusammenstellung fällt besonders auf, dass *Avena sativa* in den meisten Fällen einen geringeren Anreicherungsgrad an  $^{15}\text{N}$  erreichen konnte als *Brassica napus*. Ausnahmen sind drei der vier Werte nach erfolgreicher  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte-Anreicherung der Versuchsjahre 2000 und 2001 am Standort Groß Malchau. Des Weiteren zeigen die späteren Erntetermine ab dem Zeitpunkt der Ernte von *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse bis zur Ernte der beiden Lupinenarten bei *Brassica napus* in den jeweiligen Jahren kontinuierlich eine Abnahme der  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte. Da die Blattverluste quantitativ und qualitativ in die Berechnungen der gesamtpflanzlichen Biomasse, N-Menge und  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte mit eingeflossen sind, ist dieses Phänomen an dieser Stelle nicht hinreichend erklärbar. Da die Verschiebung in der Anreicherung nicht standort- oder jahresabhängig ist, muss eine allgemeine Erklärung gefunden werden. Möglich ist, dass eine spätere Aufnahme des unspezifisch gebundenen Ammoniumstickstoffs im Verlauf der Vegetationsperiode eine geringere  $\delta^{15}\text{N}$ -Anreicherung des von den Pflanzen aufgenommenen Stickstoffs aus dem Boden bedingt und sich so der Anteil des Isotops  $^{15}\text{N}$  zu späteren Terminen der Referenzpflanze *Brassica napus* verringert. Bei der im Vergleich zu *Brassica napus* deutlich kürzeren Vegetationsperiode von *Avena*

*sativa* ist dieses Phänomen wohl deshalb nicht registrierbar, weil die Boden-N-Aufnahme auch zu einem deutlich früheren Zeitpunkt abgeschlossen war.

## 9.2 Isotopenfraktionierung

Das Isotopenverhältnis  $^{15}\text{N}$  zu  $^{14}\text{N}$  beträgt im molekularen Luftstickstoff 0,3663 atom%  $^{15}\text{N}$  (JUNK & SVEC 1958). Bei ausschließlich symbiotischer N-Ernährung kommt es häufig zu einer leichten Abreicherung des  $^{15}\text{N}$ -Anteils im Vergleich zum Wert der Atmosphäre, wobei die Abreicherung in Spross und Wurzeln uneinheitlich verläuft. Obwohl die Werte dieses Isotopeneffektes für die  $\text{N}_2$ -Fixierung sehr gering sind, ist jedoch ihr Einfluss auf die Schätzgenauigkeit gravierend (SHEARER & KOHL 1986). Der Isotopenfraktionierungsfaktor  $\beta$  berechnet sich aus dem gewogenen Delta-Wert der Leguminosen, die ohne Stickstoff in der Nährlösung auf stickstofffreiem Vermikulit angezogen worden waren, nach folgender Formel:

$$\beta = 1 - (\delta^{15}\text{N}_0 / 1000)$$

UNKOVICH & PATE (2000) beschreiben die Isotopenfraktionierung als ein wichtiges Problem der vom  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert abhängigen Methoden. Der Wert wird unter 100 %iger Abhängigkeit der Leguminose von der  $\text{N}_2$ -Fixierung ermittelt. Das bedeutet, dass vorausgesetzt wird, dass weitere Umweltbedingungen wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit bei diesen Gewächshausversuchen nur geringfügig Einfluss auf die Isotopenfraktionierung nehmen. Die Einflüsse unter Feldbedingungen sind ungleich größer und weniger kontrollierbar wie in einer künstlichen Umgebung. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese Umweltbedingungen im Feld auch auf die Isotopenfraktionierung wirken. Zur Behebung dieses Problems sind weitere Feldstudien dringend erforderlich.

Für einige Gattungen wie Lupine fanden UNKOVICH & PATE (2000) N-Isotopenfraktionierungsfaktoren  $\beta$ , die art- und umweltübergreifend unabhängig zu sein scheinen. Der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert in der Biomasse von stickstofffrei angezogener *Lupinus luteus* wird mit -0,88 ‰ für den Spross und 0,18 ‰ im gesamt-pflanzlichen Mittel angegeben.

Die  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte der geprüften Sorten von Weißer und Gelber Lupine sind innerhalb einer Art einheitlich (Tab. 20). Unterschiedlich war die Isotopenfraktionierung im Spross von Weißer und Gelber Lupine (-0,95 und -1,34 ‰). Der N-Isotopenfraktionierungsfaktor  $\beta$  betrug 1,0003 und 1,0005. MARIOTTI et al. (1980) ermittelten  $\beta$ -Werte bei *Vicia faba* von 1,0013, bei *Lupinus luteus* von 1,0008 und bei *Pisum sativum* von 1,0001. Die eigenen Untersuchungen ergaben für *Vicia faba*  $\beta$ -

Werte von 0,9996 bis 1,0004 und für *Pisum sativum* von 0,9999 bis 1,0006. Der Vergleich der in der Literatur genannten Werte zur Isotopenfraktionierung verschiedener Arten zu den Werten der hier geprüften Arten und Sorten zeigt, dass die Prüfung der eigenen Arten und Sorten unabdinglich ist. Es konnte gezeigt werden, dass es nicht nur unter den Arten, sondern auch unter den Sorten (z.B. *Vicia faba*, s. Tab. 20) zu erheblichen Differenzen in der Isotopenfraktionierung kommen kann. Es ist deshalb nicht zu empfehlen, Literaturwerte für eigene Untersuchungen zu nutzen. Die oben bereits gestellte Forderung nach weiteren Studien sollte ebenso ein breites Sortenspektrum abdecken, da zu erwarten ist, dass besonders neue Züchtungen in der Isotopenfraktionierung anders reagieren und in ihren  $^{15}\text{N}$ -Gehalten der Pflanzenteile Spross und Wurzel verschieden sind zu bisher bekannten Sorten.

### 9.3 Güte der Regressionskoeffizienten als Qualitätsmerkmal der Modellrechnungen

Zur Ableitung der  $\text{N}_2$ -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz mit dem Modell nach SCHMIDTKE (2001) war es möglich, aus den Daten des Projektes Beziehungen herzustellen, die letztlich vom Korn-TM-Ertrag zur gesamt-pflanzlichen N-Menge führen. In der Praxis ist es unter Berücksichtigung des  $\text{N}_{\text{min}}$ -Angebotes im Boden möglich, die N-Flächenbilanz (einfach oder erweitert) von der Korn-TM abzuleiten. In der praktischen Anwendung werden die Ergebnisse um so genauer ausfallen, je enger die Beziehungen der bekannten zu den zu schätzenden Parametern sind.

Tab. 85 fasst die Bestimmtheitsmaße ( $r^2$ ) der Regressionen der geprüften Arten zusammen. Die Beziehungen der Leguminosen in Reinsaat zwischen Korn-TM-Ertrag und Korn-N-Menge waren mit Werten des Bestimmtheitsmaßes ( $r^2$ ) zwischen 0,88 und 0,97 für die Modellrechnungen sehr gut geeignet. Es zeigten sich bei den Prüfgliedern nur geringe Differenzen zwischen den Sorten.

Die für die Modellrechnung benötigte zweite Regression ergab sich bei Ackerbohne und Gelber Lupine aus der Beziehung zwischen Korn-TM und gesamt-pflanzlicher N-Menge ( $\text{N}_{\text{Bt}}$ ). Bei Grünspeiseerbse war es die Beziehung zwischen Korn-N-Menge und dem N-Harvest-Index ( $\text{H}_{\text{NBt}}$ ), die eine Ableitung ermöglichte. Unter Einbeziehung der Datensätze beider Sorten der Weißen Lupine war es nicht möglich, sehr enge Beziehungen zu finden, die eine Ableitung erlaubt hätten (s. Kap. 7.4). Es muss darauf verwiesen werden, dass es sich bei den geprüften Genotypen um eine ältere, nicht wachstumsdeterminierte Sorte (Nelly) und um eine neuere Sorte (Bardo) gehandelt hat. Die Sorte Nelly wurde im Verlauf des Projektes aus der Bundessortenliste gestrichen und steht damit zum Anbau nicht mehr zur Verfügung, weshalb die Ergebnisse dieser Sorte für die Ableitung der Parameter des Modells nicht mehr genutzt wurden. Der Ausschluss der Sorte Nelly führte zu einer engen Regression zwi-



schen Korn-TM und gesamt-pflanzlicher N-Menge ( $N_{Bt}$ ). Auch für die Regression zwischen Korn-TM und Korn-N-Menge wurden lediglich die Daten der Sorte Bardo genutzt.

Im Gemengeanbau zeigten sich bei den legumen Gemengepartnern Ackerbohne und Erbse bei der Nutzung zur Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN) sehr enge Beziehungen sowohl zwischen Korn-TM und Korn-N-Menge als auch zwischen Korn-TM und gesamt-pflanzlicher N-Menge ( $N_{Bt}$ ) (s. Kap. 0). Das Bestimmtheitsmaß ( $r^2$ ) des nicht legumen Gemengepartners Hafer lag zur Ganzpflanzensilage beider Regressionen deutlich unter dem des legumen Gemengepartners. Das Verhältnis der Korn-TM zur Korn-N-Menge ergab in beiden Gemengen enge Beziehungen. Weniger deutlich ist das Verhältnis bei Hafer zwischen Korn-TM und gesamt-pflanzlicher N-Menge ( $N_{Bt}$ ).

Tab. 85: Bestimmtheitsmaße ( $r^2$ ) der Prüfglieder zur Ableitung der  $N_2$ -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz

	Ackerbohne	Grünspeise-erbse	Körner-erbse	Weißer Lupine	Gelber Lupine
Regression 1	0,95	0,97	0,88	0,94	0,91
Regression 2	0,86	0,67	--	0,93	0,89
Regression 3	--	--	0,82	--	--
Ackerbohne/Hafer-Gemenge					
	Ackerbohne (GPS)	Hafer (GPS)	Ackerbohne (KN)	Hafer (KN)	--
Regression 1	0,89	0,61	0,98	0,93	--
Regression 2	0,87	0,63	0,94	0,64	--
Erbse/Hafer-Gemenge					
	Erbse (GPS)	Hafer (GPS)	Erbse (KN)	Hafer (KN)	--
Regression 1	0,88	0,69	0,96	0,96	--
Regression 2	0,89	0,70	0,88	0,75	--

Regression 1: Korn-TM: Korn-N; Regression 2: Korn-TM/ $N_{Bt}$  Korn-N/ $H_{NBt}$ ; Regression 3: Korn-N/ $N_{Bt}$ ; GPS – Nutzung zur Ganzpflanzensilage; KN - Körnernutzung

#### 9.4 Vergleich von $\delta^{15}\text{N}$ - und erweiterter Differenzmethode zur Schätzung der $\text{N}_2$ -Fixierleistung

Die  $\text{N}_2$ -Fixierleistung der geprüften Arten *Vicia faba*, *Pisum sativum*, *Lupinus albus* und *Lupinus luteus* zur Reinsaat und der Gemenge (*V. faba* bzw. *P. sativum*/*Avena sativa*) wurde mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode geschätzt. Die vorgenommene Datenerhebung erlaubte jedoch auch den Vergleich der Ergebnisse zu den Resultaten, die mit der erweiterten Differenzmethode (STÜLPNAGEL 1982) geschätzt wurden. Unabhängig von der Zahl der Stichproben variierten die Korrelationskoeffizienten von  $0,52 \leq r \leq 0,91$ . Der Vergleich der Korrelationskoeffizienten verdeutlicht die Diskrepanz zwischen den Schätzergebnissen der beiden Methoden (Tab. 86). Offensichtlich spielt auch der Faktor Zeit bei der Schätzgenauigkeit eine Rolle. Auffällig schlecht korrelieren ließen sich die Daten der in der Vegetationsperiode früh geernteten Prüfglieder *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse ( $r = 0,52$ ) und die der beiden Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage ( $r = 0,65$  bzw.  $0,69$ ). Eine Begründung hierfür kann die stärkere Nutzung des Bodenstickstoffs für die Ernährung in der frühen Entwicklung der Leguminosen herangezogen werden (s.a. Kap. 9.5.3). Auch JENSEN (1986) fand bei *Pisum sativum* geerntet zum Zeitpunkt der Hülsenfüllung einen deutlich größeren  $\text{N}_{\text{Boden}}$ -Anteil als zum Zeitpunkt der Reife.

Nach STÜLPNAGEL (1982) werden nach der Berechnung mit Hilfe der 'erweiterten Differenzmethode' im Vergleich zur 'Differenzmethode' die Mengen an fixiertem Stickstoff von Ackerbohne um den Korrekturfaktor der Differenz an residualen  $\text{N}_{\text{min}}$ -Mengen im Boden der Leguminose und Referenzpflanze erhöht. Der  $\text{N}_{\text{dfa}}$ -Wert (proportion of nitrogen derived from atmosphere), der den Anteil des luftbürtigen Stickstoffs am gesamt-pflanzlichen Stickstoff  $\text{N}_{\text{Bt}}$  beschreibt, ist dann kleiner 1 ( $\text{N}_{\text{dfa}} < 1$ ), wenn:

$$(\text{N}_{\text{Bt}} + \text{N}_{\text{min}_{\text{residual}}})_{\text{Leguminose}} > (\text{N}_{\text{Bt}} + \text{N}_{\text{min}_{\text{residual}}})_{\text{Referenzpflanze}}$$

Bezogen auf die oben beschriebene Zeitabhängigkeit der Nutzung des Bodenstickstoffs verdeutlicht die obige Ungleichung, dass die erweiterte Differenzmethode nach STÜLPNAGEL (1982) zu frühen Nutzungsterminen und möglicher Weise auch bei einem hohen Angebot mineralischen Bodenstickstoffs nur eingeschränkt nutzbar ist.

Tab. 86: Korrelationskoeffizienten der Schätzungen zur symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistung der legumenen Prüfglieder in Reinsaat und Gemenge der vier Untersuchungsstandorte aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001, ermittelt nach  $\delta^{15}\text{N}$ - und erweiterter Differenzmethode

Art	r	P	n
<i>Vicia faba</i>	0,91	< 0,0001	108
<i>Pisum sativum</i> <sup>1</sup>	0,52	0,0029	30
<i>Pisum sativum</i> <sup>2</sup>	0,79	< 0,0001	143
<i>Lupinus albus</i> <sup>3</sup>	0,78	< 0,0001	33
<i>Lupinus luteus</i>	0,90	< 0,0001	30
<i>V. faba/Avena sativa</i> <sup>4</sup>	0,65	< 0,0001	35
<i>V. faba/Avena sativa</i> <sup>5</sup>	0,91	< 0,0001	36
<i>P. sativum/Avena sativa</i> <sup>4</sup>	0,69	< 0,0001	35
<i>P. sativum/Avena sativa</i> <sup>5</sup>	0,83	< 0,0001	35

<sup>1</sup>Nutzung als Grünspeiseerbse, <sup>2</sup>Nutzung als Körnererbse, <sup>3</sup>ohne Sorte Nelly, <sup>4</sup>Nutzung als Ganzpflanzensilage, <sup>5</sup>Körnernutzung

Die in Abb. 131 zusammengefassten Regressionsgeraden aus dem Vergleich der Schätzmethode im Ergebnisteil bestätigen die oben genannte Einschränkung. Des Weiteren veranschaulicht diese Zusammenstellung durch die Lage der einzelnen Regressionsgeraden zur Winkelhalbierenden (Wh) das Verhältnis der Schätzergebnisse beider Methoden zueinander. Auch zeigte VAN KESSEL (1994), dass die N<sub>Boden</sub>-Aufnahme der Referenzpflanze Weizen bis zu dreimal so schnell erfolgt wie bei der geprüften Linse (*Lens culinaris* Medik.), so dass der Anspruch an die Referenzpflanze an eine gegenüber der Leguminose identische Zeit-Tiefenfunktion der bodenbürtigen N-Aufnahme (SCHMIDTKE 1997a) zu diesem Zeitpunkt in Frage zu stellen ist.

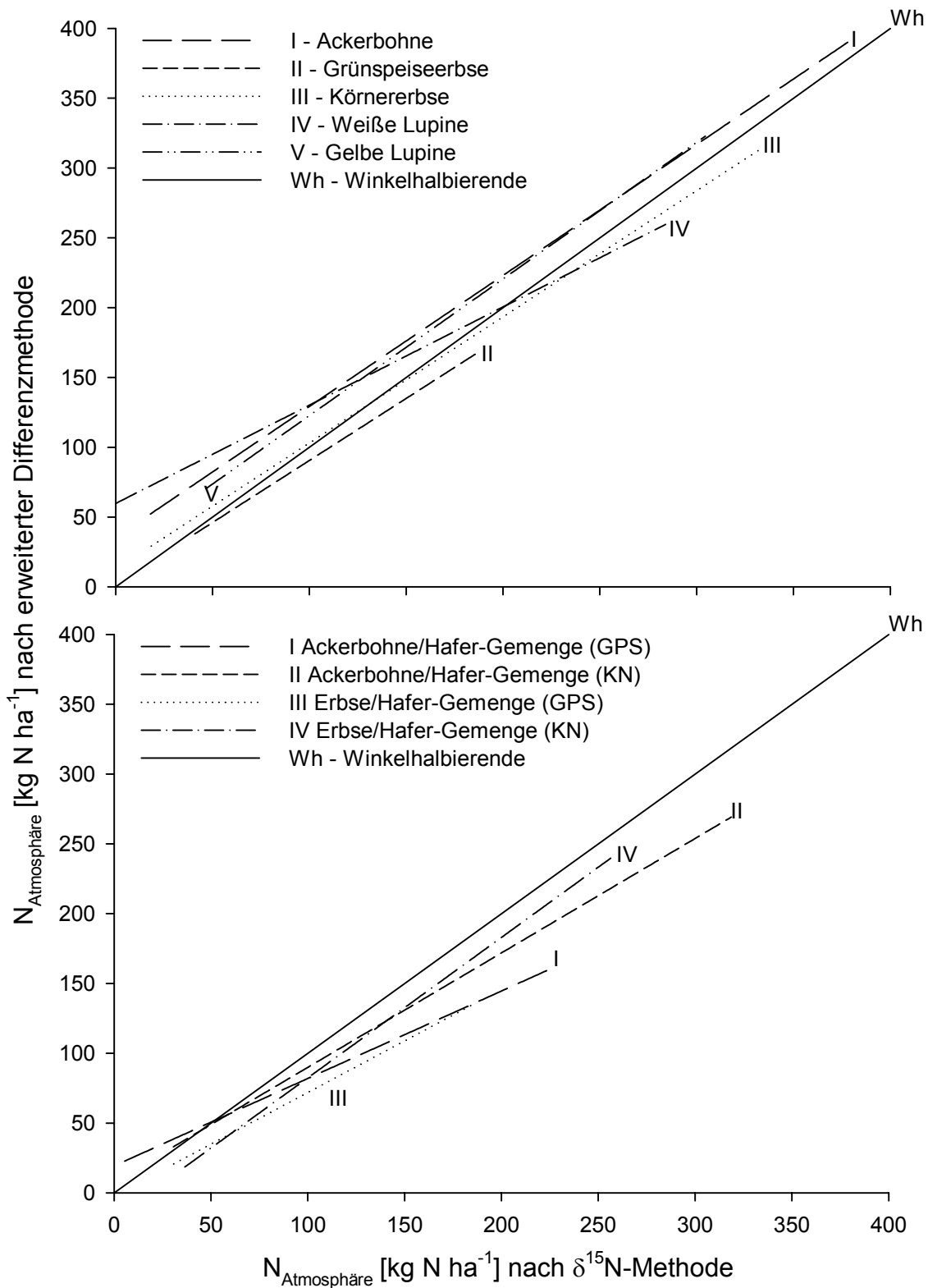


Abb. 131: Regressionsgeraden der vergleichenden Korrelation der Schätzergebnisse, ermittelt nach  $\delta^{15}\text{N}$ - und erweiterter Differenzmethode der Prüfglieder in Reinsaat (oben) und der Gemenge (unten) zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN)

Die Lage der Regressionsgeraden zur Winkelhalbierenden von *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse bestätigt, dass es bei der Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung mit Hilfe der erweiterten Differenzmethode zu einem frühen Nutzungstermin von Leguminosen zu einer Überschätzung der N<sub>Boden</sub>-Menge in der Leguminose kommt. Die Zusammenstellung der Regressionsgeraden der geprüften Gemenge im unteren Teil von Abb. 131 zeigt, dass mit der erweiterten Differenzmethode die N<sub>2</sub>-Fixierleistung der Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage und Körnernutzung fast durchgängig niedriger eingeschätzt wird als mit der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode. Die Geraden der Gemenge zur Ganzpflanzensilage (I + III) weisen ähnlich wie die Grünspeiseerbse auf eine Überschätzung der N<sub>Boden</sub>-Aufnahme bei Anwendung der erweiterten Differenzmethode hin.

Die Schätzergebnisse des aus der symbiotischen Fixierung stammenden Stickstoffs der gesamt-pflanzlichen N-Menge der Körnerleguminosen, die mit Hilfe der erweiterten Differenzmethode ermittelt wurden, lagen bei *Vicia faba* (AB), *Lupinus albus* (WL) und *Lupinus luteus* (GL) zur Reinsaat größten Teils deutlich über den Schätzergebnissen der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode. Dieses Verhältnis änderte sich bei Körnererbse und Weißer Lupine mit steigendem Ertragsniveau und dementsprechend hoher Fixierleistung.

Trotz der zum Teil sehr hohen Korrelationskoeffizienten der Arten (Tab. 86) veranschaulicht die Lage der Regressionsgeraden im Vergleich zur Winkelhalbierenden, dass zwischen den mit den verschiedenen Verfahren ermittelten N<sub>2</sub>-Fixiermengen eine recht geringe Übereinstimmung vorliegt. Die Wahrhaftigkeit der Schätzergebnisse beider Methoden kann nach bisherigem Kenntnisstand nicht überprüft werden, da die N<sub>2</sub>-Fixierung nur indirekt abgeleitet werden kann (SCHMIDTKE 1997a). Beide Methoden hängen direkt (erweiterte Differenzmethode) oder indirekt ( $\delta^{15}\text{N}$ -Methode) vom Mineralisationsgeschehen in den Böden während einer Vegetationsperiode ab. Diese Prozesse verlaufen unter Feldbedingungen mit unterschiedlicher Intensität und beeinflussen den für die erweiterte Differenzmethode benötigten residualen N<sub>min</sub>-Wert der Leguminose und der Referenzfrucht. Bei Nutzung von  $^{15}\text{N}$ -Methoden kann besonders auf mit  $^{15}\text{N}$  künstlich angereicherten Flächen bei starker Nachmineralisation eine unerwünschte Verdünnung des Anreicherungsgrades oder auch durch N-Auswaschungsprozesse auf leichten Böden eine nicht nachvollziehbare Veränderung in der Anreicherung das Ergebnis erheblich beeinflussen (REITER et al. 2001). HÖGBERG (1997) betont bezüglich der von  $\delta^{15}\text{N}$ -abhängigen Methoden, dass die  $^{15}\text{N}$ -Verdünnungsmethode theoretisch die präzisere ist und die N<sub>dfa</sub>-Schätzungen mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode unter komplexen Feldbedingungen exaktere Ergebnisse darstellen. Der offensichtliche Vorteil der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode sei jedoch, dass die Methode ohne Zugaben auskommt und das zu untersuchende System keine Störung erfährt. Auch ist die  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode gegenüber der  $^{15}\text{N}$ -Verdünnungsmethode bei tief wurzelnden Pflanzen im Vorteil, da die

Anreicherung mit z.B.  $^{15}\text{N}$ -angereichertem Harnstoff oberflächennahe Bodenschichten trifft und eine kurzfristige Anreicherung tieferer Regionen nicht möglich ist.

Die Anwendung des erweiterten Modells zur Kalkulation der N-Flächenbilanz nach SCHMIDTKE (2001) bleibt von der Wahl der Schätzmethode unabhängig. Sowohl bei der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode als auch bei der erweiterten Differenzmethode kann die Güte der N-Flächenbilanz durch das Einberechnen der N-Rhizodeposition beim Anbau von Körnerleguminosen - und auf Grund der größeren N-Rhizodepositionsmengen wahrscheinlich noch stärker beim Anbau von Futterleguminosen - deutlich verbessert werden.

## **9.5 Trockenmasse- und Stickstoff-Mengen**

Die Verfügbarkeit von Stickstoff ist für die Ertragsleistung im Ackerbau von großer Bedeutung. Der Anbau einer Körnerleguminosenart und die Nutzungsvariante (Rein-  
saat oder Gemenge, Ganzpflanzensilage oder Körnernutzung) hat ebenfalls einen großen Einfluss auf die N-Versorgung und damit auf die Fruchtfolge. Mit Hilfe der Untersuchungen zur  $\text{N}_2$ -Fixierleistung verschiedener Körnerleguminosen auf vier Standorten Niedersachsens wurden die Auswirkungen der Standortfaktoren Boden, Klima und Jahreseinfluss auf die Ertragsparameter getestet. Derzeit finden sich keine Arbeiten, die ähnlich wie in der vorliegenden sowohl die Mehrortigkeit über mehrere Versuchsjahre und Körnerleguminosenarten als auch die Erfassung der gesamt-pflanzlichen Biomasse (Spross und Wurzel) verbinden. Zahlreiche Arbeiten vor allem der Lupinen stammen von anderen Kontinenten. Ein Vergleich der Trockenmasse- und Stickstoffdaten zu Werten in der Literatur ist auch deshalb nur eingeschränkt möglich, weil Standortinformationen wie Boden und Witterungsdaten nur bedingt beschrieben sind.

*Vicia faba*

STÜLPNAGEL (1982) bezifferte für *Vicia faba*  $N_{\text{Korn}}$ -Mengen zwischen 172,3 und 283,0 kg N ha<sup>-1</sup> und Stickstoff in der oberirdischen Biomasse zwischen 316,4 und 414,7 kg N ha<sup>-1</sup> fest. KAUL et al. (1996) ermittelten für *Vicia faba* Korn-Erträge zwischen 40 und 60 dt TM ha<sup>-1</sup>. In der Veröffentlichung von KAUL et al. sind die Ergebnisse verschiedener Arbeiten tabellarisch zusammengestellt. Die Korn-N-Menge von *Vicia faba* wurde mit 67 bis 385 kg N ha<sup>-1</sup> ( $N_{\text{Bt}} = 139$  bis 495 kg N ha<sup>-1</sup>) angegeben. Bei RÄTZ et al. (1997) wird eine Korn-TM zwischen 43,0 und 54,8 dt TM ha<sup>-1</sup> (Mittelwert MW von 48,5 dt TM ha<sup>-1</sup>) beschrieben mit  $N_{\text{Korn}}$ -Mengen zwischen 197,0 und 250,7 kg N ha<sup>-1</sup> (MW 227,8 kg N ha<sup>-1</sup>) und einer gesamt-pflanzlichen N-Menge zwischen 258,5 und 332,5 kg N ha<sup>-1</sup> (MW 299 kg N ha<sup>-1</sup>).

Die eigenen Daten zeigten mit einer gesamt-pflanzlichen N-Menge zwischen 140,9 und 320 kg N ha<sup>-1</sup> einen größeren Schwankungsbereich als die in der von STÜLPNAGEL (1982) veröffentlichten Arbeit (s. Kap. 4.3). Die Korn-N-Menge fiel im Vergleich zu den Daten von STÜLPNAGEL geringer aus, was auf den breit angelegten Versuch zurückzuführen ist mit Bodenzahlen der Standorte zwischen 16 und 85. In der Arbeit von RÄTZ et al. und in der von KAUL et al. (1996) zusammengestellten Daten (s.o.) zeigte sich eine ähnlich hohe Amplitude in der Korn-N-Menge wie bei den eigenen Daten, die zwischen 89,7 und 294,3 kg N ha<sup>-1</sup> lagen.

*Pisum sativum*

JENSEN (1985) ermittelte zum Zeitpunkt der Totreife eine oberirdische N-Menge bei *Pisum sativum* zwischen 224 und 337 kg N ha<sup>-1</sup>. Zur Vollblüte hatten die Sorten eine oberirdische N-Menge von 91 bis 206 kg N ha<sup>-1</sup> gebildet. Bei dieser Untersuchung fiel auf, dass die Düngungsvarianten (50 kg N ha<sup>-1</sup>) nicht automatisch auch einen erhöhten N-Ertrag erbrachten. RÄTZ (1998) bezifferte die gesamt-pflanzliche Biomasse von *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse von 53,7 und 66,2 dt TM ha<sup>-1</sup> (MW 61,1 dt TM ha<sup>-1</sup>) bei einem Kornertrag zwischen 8,8 und 14,1 dt TM ha<sup>-1</sup> (MW 11,9 dt TM ha<sup>-1</sup>). Aus der gleichen Versuchsreihe stammen Ergebnisse zu N-Erträgen bei RÄTZ et al. (1997), die eine gesamt-pflanzliche N-Menge zwischen 129,8 und 170,8 kg N ha<sup>-1</sup> beschrieben (MW 151,3 kg N ha<sup>-1</sup>) bei  $N_{\text{Korn}}$ -Erträgen zwischen 42,4 und 67,3 kg N ha<sup>-1</sup> (MW 57,4 kg N ha<sup>-1</sup>). Die Korn-TM von *Pisum sativum* zur Reife wird von KUMAR et al. (2000) mit 30 dt TM ha<sup>-1</sup> angegeben mit einem Korn-N-Ertrag von 114,4 kg N ha<sup>-1</sup>. Die gesamt-pflanzliche TM betrug bei dieser Untersuchung 153 dt TM ha<sup>-1</sup>, die gesamt-pflanzliche N-Menge wird mit 412,9 kg N ha<sup>-1</sup> angegeben. EVANS et al. (1989) benennen die Korn-TM bzw.  $N_{\text{Korn}}$ -Erträge von *Pisum sativum* zur Reife mit 6,8 bis 24,1 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 27 bis 153 kg N ha<sup>-1</sup> (MW 52,5 kg N ha<sup>-1</sup>) bei einer gesamt-pflanzlichen Trockenmasse bzw. N-Menge zwischen 25,8 und 82,6 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. zwischen 61 und 191 kg N ha<sup>-1</sup> (MW 128,1 kg N ha<sup>-1</sup>).

Aus der eigenen Versuchsreihe wurde für eine *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspiseerbse eine gesamt-pflanzliche Trockenmasse der Standorte mit einer Amplitude zwischen 31,4 und 90,6 dt TM ha<sup>-1</sup> (MW 58,4 dt TM ha<sup>-1</sup>) und einen Kornertrag von 1,7 und 25,9 dt TM ha<sup>-1</sup> (MW 11,1 dt TM ha<sup>-1</sup>) ermittelt (s. Kap. 4.6). Die gesamt-pflanzliche N-Menge lag zwischen 83,8 und 212,3 kg N ha<sup>-1</sup> (MW 152,2 kg N ha<sup>-1</sup>) bei einem Korn-N-Ertrag zwischen 7,7 und 95,4 kg N ha<sup>-1</sup> (MW 45,7 kg N ha<sup>-1</sup>). Zur Nutzung als Körnererbse ergab sich mit eigenen Werte zwischen 60,9 und 365,4 kg N ha<sup>-1</sup> (MW 193,4 kg N ha<sup>-1</sup>) eine geringere gesamt-pflanzliche N-Menge als bei JENSEN (1985) und höhere Werte als bei EVANS et al. (1989). Die Korn-TM im Mittel der Sorten, Jahre und Standorte war mit 38,9 dt TM ha<sup>-1</sup> bei einer Amplitude von 10,2 bis 76,4 dt TM ha<sup>-1</sup> größer als die von KUMAR et al. (2000) bezifferten Werte. Die eigenen gesamt-pflanzliche Trockenmassedaten jedoch ergaben mit einem Mittel von 88,0 dt TM ha<sup>-1</sup> und einer Schwankung zwischen 25,7 und 165,6 dt TM ha<sup>-1</sup> im Vergleich zu KUMAR et al. (2000) ca. um die Hälfte geringer, ebenso wie die gesamt-pflanzliche N-Menge von im Mittel 193,2 bei einer Streuung zwischen 60,9 und 365,4 kg N ha<sup>-1</sup>. Die in Tab. 89 aufgeführten N-Mengen in den Wurzeln haben sowohl zur Nutzung als Grünspiseerbse als auch zur Körnererbse auf das gesamt-pflanzliche N-Niveau nur einen geringen Einfluss.

In einem Versuch mit reduzierter und konventioneller Bodenbearbeitung auf dem Versuchsgut Reinshof bei Göttingen lag die gesamt-pflanzliche N-Menge von *Pisum sativum* zum Zeitpunkt der Ernte zwischen 110 und 137 kg N ha<sup>-1</sup> bei einer gesamt-pflanzlichen Trockenmasse zwischen 68,6 und 77,8 dt TM ha<sup>-1</sup>, mit einem nicht signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitung auf diesen Parameter (REITER 2001). Die Daten dieses Standortes aus dem eigenen Versuch erbrachten eine gesamt-pflanzliche Biomasse von im Mittel über die Jahre und Sorten 85,0 dt TM ha<sup>-1</sup> und einer gesamt-pflanzlichen N-Menge von 153,1 kg N ha<sup>-1</sup>.

#### *Lupinus albus* und *Lupinus luteus*

KAUL et al. (1996) gaben für *Lupinus spec.* im Korn in der o.g. Zusammenstellung 70 bis 141 kg N ha<sup>-1</sup> (N<sub>Bt</sub> = 88 bis 306 kg N ha<sup>-1</sup>) an. EVANS et al. (1989) erzielten Korn-TM- bzw. N-Erträge bei *Lupinus angustifolius* von 5,0 bis 30,8 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 8 bis 153 kg N ha<sup>-1</sup>. PLARRE (1999) beziffert das Ertragsniveau von *L. albus* zwischen 16 und 34 dt TM ha<sup>-1</sup> bei einem Korn-N-Gehalt zwischen 5,8 und 7,2 %. Die Korn-TM-Erträge von *L. luteus* werden mit einer Amplitude zwischen 10 und 24 dt TM ha<sup>-1</sup> mit Korn-N-Gehalten zwischen 5,8 und 7,8 % beziffert.

Aus den eigenen Untersuchungen ergaben sich Korn-TM-Erträge zwischen 4,0 und 44,2 dt TM ha<sup>-1</sup> (MW 21,6 dt TM ha<sup>-1</sup>) bei *L. albus* und zwischen 7,5 und 44,6 dt TM ha<sup>-1</sup> bei *L. luteus* (23,9 dt TM ha<sup>-1</sup>) (s. Kap. 4.14). Die Korn-N-Erträge beider Arten schwankten zwischen 24,6 und 277,4 kg N ha<sup>-1</sup> (MW 121,7 kg N ha<sup>-1</sup>) bzw. zwischen 48,2 und 336,1 kg N ha<sup>-1</sup> (MW 162,7 kg N ha<sup>-1</sup>). Der mittlere Korn-N-Gehalt von *L. albus* erreichte 5,6 % mit einer Amplituden zwischen 3,7 und 7,3 %. Bei *L. luteus* lag



das Mittel über Sorten, Standorte und Jahre bei 6,9 mit einem Schwankungsbereich zwischen 5,2 und 7,9 %.

### Gemenge

MARTIN & SNAYDON (1982) verglichen in einem gedüngten Versuch Gemenge aus *Vicia faba* und *Hordeum vulgare* im Anbau gemischter Reihen mit *Hordeum vulgare* in Reinsaat. Hierbei wurde trotz der Reduzierung der absoluten N-Menge des nicht legumen Gemengepartners ein Anstieg des N-Gehalts festgestellt. Nach zehn Wochen, was wahrscheinlich dem Zeitpunkt der Ganzpflanzensilage entspricht, fanden sich in Reinsaat 66 kg N ha<sup>-1</sup> in der oberirdischen Biomasse, was einem N-Gehalt von 3,3 % entsprach. Hingegen wurden die N-Mengen im Gemenge mit 60 kg N ha<sup>-1</sup> (3,6 %) in der oberirdischen Biomasse beziffert. Nach vierzehn Wochen fanden sich in Reinsaat 154 kg N ha<sup>-1</sup> (1,6 %) und im Gemenge 106 kg N ha<sup>-1</sup> (1,9 %). Angaben zur Auswirkung auf den legumen Gemengepartners wurden in dieser Arbeit nicht besprochen. In BULSON et al. (1997) wird ein Anstieg des N-Gehaltes des Gemengepartners *Triticum aestivum* mit zunehmender Dichte des legumen Gemengepartners *Vicia faba* beschrieben. Umgekehrt nahm in diesem Versuch der N-Gehalt in *Triticum aestivum* nahm mit zunehmender Dichte des Weizens ab.

Der Aspekt eines Einflusses des Gemengeanbaus auf den N-Gehalt im Erntegut lässt sich anhand der eigenen Daten ebenfalls untersuchen. In Tab. 87 sind einzelne N-Ertragsdaten der legumen Gemengepartner (*Vicia faba* bzw. *Pisum sativum*) und des nicht legumen Gemengepartners (*Avena sativa*) in Reinsaat zusammengestellt. Die Zusammenstellung soll eine der zahlreichen positiven Auswirkungen des Anbaus von Gemengen aus legumen und nicht legumen Prüfgliedern verdeutlichen, der anhand der Versuchsreihe abgeleitet werden kann. Abgesehen von einer Ertragssteigerung beim Gemengeanbau, dem Relative Yield Total (RYT), das die quantitative Veränderung beschreibt, werden hier auch qualitative Veränderungen des Erntegutes durch den Gemengeanbau erkennbar. Beim nicht legumen Gemengepartner *Avena sativa* ist im Vergleich zur Reinsaat sowohl beim frühen Erntetermin zur Nutzung als Ganzpflanzensilage als auch zur späteren Körnernutzung fast durchgängig ein gesteigerter N-Gehalt des Erntegutes Schnittgut oder Korn an den Standorten zu verzeichnen. So lag z.B. der N-Gehalt des Hafers in Reinsaat zur Körnernutzung am Standort Borwede im Mittel der Untersuchungsjahre 1999, 2000 und 2001 bei 1,5 %. Sowohl im Ackerbohne/Hafer-Gemenge als auch im Erbse/Hafer-Gemenge stieg der N-Gehalt im Mittel der Jahre auf 2,3 %. Ebenso lag der N-Gehalt von *Vicia faba* in Reinsaat z.B. am Versuchsstandort Göttingen im Mittel der Jahre bei 4,3 % und im Gemenge zur Körnernutzung bei 4,6 %. Bei *Pisum sativum* enthielten die Körner am Standort Groß Malchau in Reinsaat im Mittel 3,6 % und im Gemenge zur Körnernutzung 3,7 %.

Tab. 87: Gesamtpflanzliche Biomasse (Bt), gesamtpflanzliche Stickstoffmenge ( $N_{Bt}$ ) und Stickstoffmenge im Korn (Korn-N) als Mittel aus Wiederholungen, Sorten und Jahren der Prüfglieder zum Zeitpunkt der Ernte aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 an den Standorten Borwede (B), Föhrste (F), Göttingen (G) und Groß Malchau (M)

Art	$N_{Bt}$ (kg N ha <sup>-1</sup> )				Erntegut-N (%)				Erntegut-N (kg N ha <sup>-1</sup> )			
	B	F	G	M	B	F	G	M	B	F	G	M
Reinsaat												
AB <sup>1**</sup>	352,6	306,1	318,4	162,0	4,1	4,2	4,4	4,3	239,7	239,7	188,4	105,3
KE <sup>2**</sup>	246,9	208,1	185,7	148,9	3,5	3,4	3,3	3,6	160,3	146,6	143,7	110,8
HA <sup>3*</sup>	83,2	85,4	64,3	67,4	0,8	1,2	0,9	1,0	71,5	75,9	57,8	61,8
HA <sup>3**</sup>	92,2	91,3	73,9	64,5	1,5	2,0	1,6	1,5	72,2	60,2	59,3	44,6
Ackerbohne/Hafer-Gemenge												
AB <sup>1*</sup>	165,7	118,5	127,5	61,5	2,5	2,6	3,0	2,4	151,6	104,4	114,8	54,1
HA <sup>3*</sup>	68,3	59,2	50,3	54,8	1,7	1,5	1,7	1,2	53,9	45,2	37,9	39,7
AB <sup>1**</sup>	234,6	209,4	255,8	84,3	4,3	4,3	4,5	4,6	152,6	133,5	305,1	56,0
HA <sup>3**</sup>	46,0	50,9	49,3	41,0	2,3	2,4	1,9	1,7	21,5	25,6	29,3	23,6
Erbse/Hafer-Gemenge												
KE <sup>2*</sup>	156,7	106,3	134,1	69,5	2,3	1,8	2,0	1,8	152,8	101,8	81,8	67,2
HA <sup>3*</sup>	51,6	49,1	47,4	38,3	1,7	1,6	1,5	1,2	43,7	40,8	40,3	31,6
KE <sup>2**</sup>	205,5	176,1	107,6	73,2	3,4	3,3	3,5	3,7	147,7	119,5	87,7	54,3
HA <sup>3**</sup>	63,8	50,5	60,9	31,0	2,3	2,2	2,0	1,8	27,7	25,6	38,2	18,7

<sup>1</sup>*Vicia faba*, Sorte Scirocco, <sup>2</sup>*Pisum sativum*, Sorte Eiffel und <sup>3</sup>*Avena sativa*, Sorte Lutz; \*Nutzung als Ganzpflanzensilage, \*\*Körnernutzung

SCHMIDTKE (1997c) ermittelte am Versuchsstandort Göttingen/Reinshof in zwei Versuchsjahren mit einer vergleichbaren Versuchsstruktur in Erbse/Hafer-Gemengen mit halbblattlosen Erbsen Korn-erträge zwischen 10,6 und 14,0 dt TM ha<sup>-1</sup> (MW 10,9 dt TM ha<sup>-1</sup>) bei *Pisum sativum* und zwischen 38,2 und 45,7 dt TM ha<sup>-1</sup> (MW 41,6 dt TM ha<sup>-1</sup>) bei *Avena sativa*. Aus den eigenen Untersuchungen ergaben sich am Standort Göttingen höhere Korn-TM-Erträge von *Pisum sativum* zwischen 12,2 und 43,4 dt TM ha<sup>-1</sup> (MW 26,1 dt TM ha<sup>-1</sup>), aber auch deutlich geringere Korn-TM-Erträge von *Avena sativa* zwischen 9,2 und 31,9 dt TM ha<sup>-1</sup> (MW 19,0 dt TM ha<sup>-1</sup>).

### 9.5.1 Einfluss des Niederschlags auf verschiedene Ertragsparameter

Die Verfügbarkeit von Wasser ist einer der wichtigsten Standortfaktoren mit einem erheblichen Einfluss auf die Ertragsbildung von Kulturpflanzen. Dabei ist die Verfügbarkeit des Wassers nicht allein abhängig von den Niederschlagsmengen, sondern auch wesentlich vom Speicherungsvermögen des Bodens, der Feldkapazität und der Fähigkeit des Bodens, das gespeicherte Wasser der Vegetation zur Verfügung zu stellen (nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums - nFKWE). EVANS et al. (1989) untersuchte in Südost-Australien die Wirkung von zusätzlichen Wassergaben zu den Niederschlägen auf verschiedene Ertragsparameter von *Lupinus angustifolius* und *Pisum sativum* an Standorten mit einem Niederschlagsregime zwischen 200 und 600 mm. Die Bewässerungsmengen betragen 25, 100 und 150 mm. Die höchste Wasserzugabe erbrachte sowohl bei *Lupinus angustifolius* als auch bei *Pisum sativum* die höchsten Erträge. So lag die gesamt-pflanzliche N-Menge beider Arten um das Dreifache über der niedrigsten Wassergabe. Die Korn-N-Menge wurde mehr als verdoppelt.

In Tab. 88 sind die Korrelationskoeffizienten der jeweiligen Vegetationsperioden aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 der einzelnen Untersuchungsstandorte gegen verschiedene Ertragsparameter zusammengefasst. Die eigenen Daten ergaben einen vornehmlich positiven Effekt der höheren Niederschlagsmengen. So wurde bei *Vicia faba* bei Niederschlägen von 282 mm von der Aussaat bis zur Ernte eine Korn-TM bzw.  $N_{\text{Korn}}$ -Menge von 15,1 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 61,1 kg N ha<sup>-1</sup> am Standort Groß Malchau ermittelt, die bei einer Niederschlagssumme von 404 mm auf 60,6 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 248,2 kg N ha<sup>-1</sup> am Standort Borwede anstieg ( $N_{\text{Bt}}$  von 107,0 bis 371,4 kg N ha<sup>-1</sup>). *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse erzielte bei geringen Niederschlagsmengen von 121 mm am Standort Groß Malchau eine Korn-TM bzw. eine  $N_{\text{Korn}}$ -Menge von 8,1 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 11,4 kg N ha<sup>-1</sup>, die bei 173 mm am Standort Föhrste mit 21,1 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 78,0 kg N ha<sup>-1</sup> deutlich höher lag ( $N_{\text{Bt}}$  von 142,2 bis 187,6 kg N ha<sup>-1</sup>). Die Sorten von *Pisum sativum*, die als Körnererbsen in die Versuchsreihe integriert waren, zeigten ebenfalls eine starke Abhängigkeit von den verfügbaren Niederschlagsmengen. Bei einer Niederschlagssumme zwischen Aussaat und Ernte von 194 mm wurde eine Korn-TM bzw. eine  $N_{\text{Korn}}$ -Menge von 28,9 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 104,4 kg N ha<sup>-1</sup> am Standort Groß Malchau akkumuliert, die am Standort Borwede mit 328 mm bei 48,2 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 175,6 kg N ha<sup>-1</sup> lag ( $N_{\text{Bt}}$  von 137,7 bis 232,9 kg N ha<sup>-1</sup>). Die Korrelationen bei *Lupinus albus* zeigten keine eindeutige Abhängigkeit. Bei *Lupinus luteus* hingegen bildete sich bei Niederschlägen zwischen Aussaat und Ernte von 282 mm am Standort Groß Malchau eine Korn-TM bzw.  $N_{\text{Korn}}$ -Menge von 12,8 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 90,2 kg N ha<sup>-1</sup>, die bei einer Niederschlagssumme von 399 mm mit 32,2 dt TM ha<sup>-1</sup> bzw. 297,5 kg N ha<sup>-1</sup> am Standort Borwede annähernd um das Dreifache höher lag ( $N_{\text{Bt}}$  von 120,5 bis 297,5 kg N ha<sup>-1</sup>).

Die engen Korrelationen zwischen den Niederschlagsergebnissen beim Gemengeanbau zeigte sich beim Ackerbohne/Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage. Hier wurde am Standort Groß Malchau bei Niederschlägen von 121 mm zwischen Aussaat und Ernte eine Korn-TM bzw.  $N_{\text{Korn}}$ -Menge beider Gemengepartner von 46,0 dt TM  $\text{ha}^{-1}$  bzw. 63,1 kg N  $\text{ha}^{-1}$  gebildet wurde, wohingegen Niederschläge von 228 mm am Standort Borwede eine Korn-TM bzw.  $N_{\text{Korn}}$ -Menge von 108,3 dt TM  $\text{ha}^{-1}$  bzw. 226,9 kg N  $\text{ha}^{-1}$  nach sich zogen ( $N_{\text{Bt}}$  von 81,8 bis 264,9 kg N  $\text{ha}^{-1}$ ). Dieses Gemenge zur Körnernutzung reagierte auf geringe Niederschlagsmengen von der Aussaat bis zur Ernte am Standort Borwede von 282 mm mit einer Korn-TM bzw.  $N_{\text{Korn}}$ -Menge von 19,3 dt TM  $\text{ha}^{-1}$  bzw. 50,2 dt TM  $\text{ha}^{-1}$ , die sich bei Niederschlägen von 341 mm am Standort Göttingen auf 68,5 dt TM  $\text{ha}^{-1}$  bzw. 229,6 kg N  $\text{ha}^{-1}$  steigerten ( $N_{\text{Bt}}$  von 73,6 bis 323,4 kg N  $\text{ha}^{-1}$ ).

Das Erbse/Hafer-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage zeigte ebenfalls starke Abhängigkeiten von der Niederschlagssumme zwischen Aussaat und Ernte. Hierbei wurde mit Niederschlägen von 121 mm am Standort Groß Malchau eine Korn-TM bzw.  $N_{\text{Korn}}$ -Menge von 59,7 dt TM  $\text{ha}^{-1}$  bzw. 104,6 kg N  $\text{ha}^{-1}$  akkumuliert, die bei 306 mm auf 104,2 dt TM  $\text{ha}^{-1}$  bzw. 231,6 kg N  $\text{ha}^{-1}$  am Standort Borwede anstieg ( $N_{\text{Bt}}$  von 121,0 bis 238,2 kg N  $\text{ha}^{-1}$ ). Zur Körnernutzung ergab sich durch eine Niederschlagssumme von 194 mm am Standort Groß Malchau eine Korn-TM bzw.  $N_{\text{Korn}}$ -Menge von 29,1 dt TM  $\text{ha}^{-1}$  bzw. 85,6 kg N  $\text{ha}^{-1}$ , die sich durch 292 mm am Standort Föhrste auf 69,1 dt TM  $\text{ha}^{-1}$  bzw. 188,9 kg N  $\text{ha}^{-1}$  steigerte ( $N_{\text{Bt}}$  von 114,4 bis 261,0 kg N  $\text{ha}^{-1}$ ).

Tab. 88: Korrelationskoeffizienten der Niederschlagssummen der Prüfglieder in Reinsaat und Gemenge auf die Trockenmasse- und Stickstoffträge relevant für die unterschiedliche Dauer der Vegetationsperiode der geprüften Arten

	Erntegut-TM	Erntegut-N	$N_{\text{Bt}}$
<i>Vicia faba</i>	0,74*	0,72*	0,74*
<i>Pisum sativum</i> <sup>1</sup>	0,74*	0,78*	0,58 <sup>ns</sup>
<i>Pisum sativum</i> <sup>2</sup>	0,68 <sup>ns</sup>	0,81*	0,70*
<i>Lupinus albus</i>	0,10 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>
<i>Lupinus luteus</i>	0,79 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>
Gem. <i>V. faba</i> <sup>3</sup>	0,57 <sup>ns</sup>	0,76*	0,73*
Gem. <i>V. faba</i> <sup>4</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	0,61 <sup>ns</sup>
Gem. <i>P. sativum</i> <sup>3</sup>	0,62 <sup>ns</sup>	0,72*	0,69 <sup>ns</sup>
Gem. <i>P. sativum</i> <sup>4</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	0,73*	0,70*

<sup>1</sup>*Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse und <sup>2</sup>Körnererbse. <sup>3</sup>*Vicia faba* und *Pisum sativum* im Gemenge mit *Avena sativa* zur Nutzung als Ganzpflanzensilage und <sup>4</sup>zur Körnernutzung, \* =  $P < 0,05$ , <sup>ns</sup> = nicht signifikant

## 9.5.2 Stickstoff-Mengen der Wurzeln

Die Schätzung der unterirdischen Pflanzenmasse stellt bei der Ermittlung der gesamt-pflanzlichen Trockenmasse und N-Menge in Ackerkulturen die größte Hürde dar. Eine Annäherung über Gewächshausversuche führt zu einer Verschiebung des Spross/Wurzel-Verhältnisses. Feldstudien erreichen beschränkt durch den enormen materiellen und arbeitstechnischen Aufwand jeweils nur einen Ausschnitt aus der belebten Bodenwelt. RUSSEL & FILLARY (1996) geben zu bedenken, dass in den meisten Studien die leicht aus dem Boden auslesbaren gröberen Wurzelteile für die Wurzelmassebestimmung genutzt werden, wodurch das einer schnellen Umsetzung ausgesetzte feine Wurzelmaterial unterschätzt wird. Auch in dieser Arbeit wurden durch die angewandte Technik die Feinwurzeln nicht in Gänze berücksichtigt (Nasses Sieben mit einer Maschenweite von 1,25 mm des mit einer Rammkernsonde gewonnenen Bodenmaterials, s. Material und Methoden). Es wurde jedoch der Hinweis von VAN NOORDWIJK (1985) berücksichtigt, die gewonnenen Wurzel-daten mit den Bodendaten aus der gleichen Beprobungsreihe zu kombinieren (s. Material und Methoden). Um die Schätzgenauigkeit zu erhöhen wurden des Weiteren die unterschiedlichen Reihenweiten und Wuchsformen (einzelpflanzebezogene Beprobung wie bei *Vicia faba* und *Brassica napus* oder zufällige Beprobung dichter Pflanzenbestände wie *Pisum sativum* und *Avena sativa*) in die Berechnung der Wurzel-TM integriert.

Auch das Verständnis der Mechanismen der Pflanzenwurzeln in Agrarökosystemen (z.B. zur Rhizodeposition) stand in jüngster Zeit zunehmend im Fokus wissenschaftlicher Arbeiten. VAN NOORDWIJK (1985) empfiehlt, die veröffentlichten Wurzelgewichte wegen möglicherweise ungenauer Probennahme mit Vorsicht zu betrachten. Diese Problematik sei besonders bezüglich der Zufuhr organischer Masse in den Boden relevant. Erweitert auf die Wurzel-N-Menge von Leguminosen und die N-Flächenbilanzen zeigt diese Meinungsäußerung, dass es wichtig ist, sich bei Untersuchungen wie in diesem Projekt dieser Problematik zu stellen.

ROCHESTER et al. (1998) fanden unabhängig von der Nutzungsform (Sommer- und Winterkulturen) in *Vicia faba* ähnliche Wurzel-N-Mengen von 41 % ( $\pm 6,3$ ) der gesamt-pflanzlichen N-Menge zum Zeitpunkt der größten akkumulierten Biomasse während der Hülsenfüllung. In der Arbeit von SCHWENKE et al. (1998) wurde die Wurzel-N-Menge von *Vicia faba* auf 25 % der gesamt-pflanzlichen N-Menge geschätzt. Aus den Angaben in der Arbeit von KUMAR (2000) (Freilandversuch) errechnet sich ein N-Anteil von 11,8 % an der gesamt-pflanzlichen N-Menge in den Wurzeln von *Pisum sativum*. RUSSEL & FILLARY (1996) ermittelten für *Lupinus* 28 % der gesamt-pflanzlichen N-Menge in der unterirdischen Biomasse. UNKOVICH et al. (2000) stellten in Gewächshausversuchen bei *Lupinus angustifolius* 28 % des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs in den Wurzeln fest, bei *Vicia faba* waren es sogar zwischen 30 und 45 %. Diese Werte konnten durch die eigenen Daten nicht bestätigt werden.

Tab. 89 fasst die Anteile der Wurzel N-Menge in % der Prüfglieder an der gesamt-pflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) der einzelnen Standorte aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 zusammen. In den Untersuchungen war die Beprobung und die Analyse der gewonnenen Wurzelmasse zur Kalkulation der  $N_2$ -Fixierleistung ein wesentlicher Bestandteil. Für *Vicia faba* (drei Sorten) wurden N-Anteile in den Wurzeln von 2,5 bis 7,4 % an der gesamt-pflanzlichen N-Menge ermittelt (Tab. 89). Der Wurzel-N-Anteil des Versuchsjahres 1999 am Standort Föhrste betrug 17,0 %. Die Ursache für diesen hohen Wert liegt in einer deutlich höheren Wurzelmasse und einem erhöhten N-Gehalt als in den übrigen Versuchsjahren (s. Anhang). Verantwortlich dafür könnte der vergleichsweise späte Aussattermin (30. April) in einem recht milden Frühjahr sein. Dieser Wert konnte jedoch durch die Daten von *Vicia faba* im Gemenge mit *Avena sativa* nicht bestätigt werden (s.u.). Der Anteil Stickstoffs in den Wurzeln von *Pisum sativum* (eine Sorte) zur Nutzung als Grünspeiseerbse ergab Wurzel-N-Anteile von 1,6 bis 5,3 %. Die Wurzel-N-Anteile von *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse (vier Sorten) von 0,8 bis 3,2 % der gesamt-pflanzlichen N-Menge waren zu allen Versuchsjahren und an allen Standorten niedriger als die N-Menge in den Wurzeln zum frühen Nutzungstermin. Die Wurzel-N-Anteile von *Lupinus albus* lagen zwischen 1,3 und 5,2 %, die Wurzeln von *Lupinus luteus* erreichten N-Anteile zwischen 2,1 und 7,0 %.

Die Anteile Stickstoff an  $N_{Bt}$  von *Vicia faba* im Gemenge mit *Avena sativa* zur Nutzung als Ganzpflanzensilage lagen mit 2,9 bis 10,5 % größtenteils über den Werten der Reinsaat zur Totreife. Die N-Anteile der Wurzeln an  $N_{Bt}$  zur Körnernutzung zwischen 1,7 und 8,0 % waren in der Mehrzahl gegenüber dem frühen Nutzungstermin und der Reinsaat wesentlich geringer. Anders als bei *Vicia faba* verhielten sich die Wurzel-N-Mengen von *Pisum sativum* im Gemenge mit *Avena sativa*. Die Anteile Stickstoff an  $N_{Bt}$  von 0,2 bis 7,1 % der gesamt-pflanzlichen N-Menge lagen zur Nutzung als Ganzpflanzensilage nicht einheitlich über oder unter dem Wurzel-N-Anteil der Reinsaat. Die ermittelten Wurzel-N-Anteile des legumen Gemengepartners zur Körnernutzung mit Werten zwischen 0,2 und 3,4 % waren größtenteils geringer als die zur frühen Ernte.

Tab. 89: Anteil der Wurzel N-Menge in % an der gesamt-pflanzlichen N-Menge ( $N_{Bt}$ ) als Mittel aus Wiederholungen und Sorten der Prüfglieder zum Zeitpunkt der Ernte aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 an den Standorten Borwede (B), Föhrste (F), Göttingen (G) und Groß Malchau (M)

Prüfglieder	1999				2000				2001			
	B	F	G	M	B	F	G	M	B	F	G	M
<i>Vicia faba</i>	5,4	17,0	6,0	6,7	2,5	7,4	3,5	3,5	3,9	4,6	3,5	3,5
<i>Pisum sativum</i> <sup>1</sup>	2,9	5,1	2,6	4,2	4,5	4,3	4,3	5,3	1,6	2,3	--	2,5
<i>Pisum sativum</i> <sup>2</sup>	2,9	2,1	2,1	3,2	2,7	2,3	2,4	1,5	0,8	2,1	2,7	2,0
<i>Lupinus albus</i>	5,2	3,8	4,3	3,6	2,2	1,3	--	1,9	2,6	2,7	1,9	3,4
<i>Lupinus luteus</i>	4,0	--	--	7,0	3,8	--	--	4,7	2,1	--	--	3,9
Gem. <i>V. faba</i> <sup>3</sup>	7,8	3,6	2,9	8,1	5,1	11,2	6,6	9,5	4,9	10,5	7,5	7,3
Gem. <i>V. faba</i> <sup>4</sup>	3,0	5,1	3,0	4,7	6,5	3,1	3,4	2,3	2,2	8,0	1,7	2,4
Gem. <i>P. sativum</i> <sup>3</sup>	1,6	2,1	0,2	6,3	1,8	2,5	7,1	2,9	2,1	2,0	0,6	2,0
Gem. <i>P. sativum</i> <sup>4</sup>	1,3	3,1	0,2	1,7	0,7	1,5	1,0	3,4	1,9	1,1	2,0	1,6

<sup>1</sup>*Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse und <sup>2</sup>Körnererbse. <sup>3</sup>*Vicia faba* und *Pisum sativum* im Gemenge mit *Avena sativa* zur Nutzung als Ganzpflanzensilage und <sup>4</sup>zur Körnernutzung

Die recht große Diskrepanz zwischen den oben zitierten Arbeiten und den eigenen Ergebnissen erklärt sich möglicherweise aus der Versuchsstruktur, auf deren Grundlage die Daten der einzelnen Arbeiten gewonnen wurden. Wenn Pflanzen in Töpfen oder Netzen in einem begrenzten Rahmen wachsen, wird in der Regel der verfügbare Raum intensiver durchwurzelt als der Raum einjähriger Pflanzen unter quasi natürlichen Bedingungen im Feld. Es ist vielleicht möglich, den oberirdischen TM-Ertrag wie bei RUSSEL & FILLARY (1996) aus Gewächshausversuchen auf einen Flächenertrag ( $dt\ TM\ ha^{-1}$ ) zu berechnen. Möglicher Weise verschiebt sich jedoch das Spross/Wurzelverhältnis bei Gewächshauskulturen oder vergleichbaren Versuchsanordnungen zu Gunsten der Wurzelmasse derart, dass diese im Vergleich zu den eigenen Felddaten überhöht wirkt. Die in Tab. 90 zusammengestellten Berechnungen des Spross/Wurzelverhältnis können dabei als Bestätigung dieser Hypothese betrachtet werden: Aus den Biomassedaten ergab sich u.a. ein Spross/Wurzelverhältnis bei *Lupinus albus* im Mittel über die Jahre und Orte von 11,0 mit einem Schwankungsbereich der Verhältniszahl zwischen 2,9 und 46,0. Aus den Angaben von RUSSEL & FILLARY (1996) errechnete sich lediglich ein Spross/Wurzelverhältnis von 2,6. Aus den von RÄTZ in ihrer Diplomarbeit (1998) aufgeführten Daten lässt sich für *Pisum sativum* ein Spross/Wurzelverhältnis von im Mittel 23,0 mit einer Amplitude zwischen 15,7 und 24,4 berechnen. Das Spross/Wurzelverhältnis dieser Nutzungsvariante aus der eigenen Versuchsreihe wurde mit 40, ermittelt.

In einem Freilandversuch in Canterbury/Neuseeland wurde die Wurzelmasse mit Hilfe einer Rammkernsonde mit einem Einstich auf der Pflanzenreihe und einem Einstich zwischen den Pflanzenreihen beprobt. Auf welche Weise die Berechnung vom ausgewaschenen Wurzelmaterial auf den Wurzelertrag je Hektar vorgenommen wurde, ist aus den Angaben der Arbeit nicht ersichtlich. Das aus den angegebenen Daten berechnete Spross/Wurzelverhältnis von 4,3 war zumindest schon deutlich höher als das in den oben zitierten Gewächshausversuchen vorgefundene Spross/Wurzelverhältnis. Das hohe Spross/Wurzelverhältnis von *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse ist mit großer Wahrscheinlichkeit damit zu erklären, dass das vergleichsweise feine Wurzelsystem bis zur Abreife schnelleren Abbauprozessen unterliegt als das Wurzelsystem von Leguminosen mit ausgeprägter Pfahlwurzel wie z.B. *Vicia faba*. Das engere Spross/Wurzelverhältnis von *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse kann hierzu als Bestätigung herangezogen werden. Das aus den Daten von RÄTZ (1998) berechnete Spross/Wurzelverhältnis von *Vicia faba* lag hierbei mit im Mittel von 14,9 und einem Schwankungsbereich zwischen 13,8 und 16 noch über den eigenen Werten des Spross/Wurzelverhältnisses von 8,6.

Tab. 90: Spross/Wurzelverhältnis der Prüfglieder in Reinsaat und im Gemenge zum Zeitpunkt der Ernte im Mittel der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 und der Versuchsstandorte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau

Art	Spross/Wurzelverhältnis		
	Minimum	Maximum	Mittelwert
<i>Vicia faba</i>	1,6	34,4	8,6
<i>Pisum sativum</i> <sup>1</sup>	6,8	48,6	21,9
<i>Pisum sativum</i> <sup>2</sup>	7,0	203,3	40,0
<i>Lupinus albus</i>	2,9	46,0	11,0
<i>Lupinus luteus</i>	2,2	33,4	12,1
Gem. <i>V. faba</i> <sup>3</sup>	3,0	22,9	8,1
Gem. <i>V. faba</i> <sup>4</sup>	3,2	28,3	10,5
Gem. <i>P. sativum</i> <sup>3</sup>	5,2	818,6	62,8
Gem. <i>P. sativum</i> <sup>4</sup>	5,6	396,6	50,1

<sup>1</sup>*Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse und <sup>2</sup>Körnererbse. <sup>3</sup>*Vicia faba* und *Pisum sativum* im Gemenge mit *Avena sativa* zur Nutzung als Ganzpflanzensilage und <sup>4</sup>zur Körnernutzung



### 9.5.3 Stickstoff-Anteile aus Fixierung und Boden

SCHMIDTKE (1997a) betonte den starken Einfluss, den die Wahl des Standortes auf die Ertragsbildung und die Höhe der  $N_2$ -Fixierleistung hat. Zu den Einflussgrößen zählen hierbei das pflanzenverfügbare Wasserangebot (nFKWE, Niederschläge), Temperatur, pH-Wert des Bodens und die allgemeine Nährstoffsituation und besonders das N-Angebot im Boden. Soweit ersichtlich wurde in der vorliegenden Arbeit erstmals eine sehr breit angelegte Untersuchung zur Wirkung der Standortfaktoren auf die Ertragsbildung und  $N_2$ -Fixierleistung der verschiedenen Körnerleguminosenarten vorgenommen. Ziel war hierbei, grundlegende Zusammenhänge über die Standorte in Form von Beziehungen zwischen dem Kornertrag und der  $N_2$ -Fixierleistung der Körnerleguminosen herauszuarbeiten. Der direkte Vergleich der eigenen Daten mit denen anderer Autoren ist nur bedingt möglich, da bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse methodisch bedingte Differenzen in der Höhe der Schätzergebnisse der symbiotisch fixierten N-Menge von faktorbedingten Unterschieden nicht immer zu trennen sind (SCHMIDTKE 1997a).

#### *Vicia faba*

UNKOVICH & PATE (2000) berechneten aus Daten von SCHWENKE et al. (1998) aus der  $N_2$ -Fixierung stammende N-Mengen in *Vicia faba* von 33 bzw. 96 kg N ha<sup>-1</sup> aus zwei Versuchsjahren, denen  $N_{\text{Boden}}$ -Mengen von 57 bzw. 67 kg N ha<sup>-1</sup> gegenüber standen. ROCHESTER et al. (1998) fanden mit Daten aus drei Untersuchungsjahren (n = 35) einer Versuchsanlage in New South Wales (Australien) eine sehr enge Beziehung mit einem Bestimmtheitsmaß  $r^2 = 0,75$  zwischen dem Korn-TM-Ertrag und der gesamt-pflanzlichen  $N_{\text{Atmosphäre}}$ -Menge mit  $N_2$ -Fixiermengen zwischen 8 und 352 kg N ha<sup>-1</sup> mit einem Mittelwert von 177 kg N ha<sup>-1</sup>. Die enge Beziehung ließ sich anhand der eigenen Daten nicht bestätigen (nicht dargestellt). UNKOVICH & PATE (2000) berechneten aus Daten von BRUNNER & ZAPATA (1984) und RENNIE & DEBUTZ (1986) eine  $N_2$ -Fixierleistung von 252 kg N ha<sup>-1</sup> für die oberirdischen Pflanzenmasse. Die von RÄTZ et al. (1997) ermittelte  $N_2$ -Fixierleistung von *Vicia faba* lag in einem Schwankungsbereich zwischen 208,4 und 248,4 kg N ha<sup>-1</sup> mit einem Mittelwert von 232,2 kg N ha<sup>-1</sup>. Die eigenen Untersuchungsergebnisse lagen durch die Bandbreite der Versuchsstandorte mit leistungsstarken Böden wie in Göttingen und leistungsschwachen Böden wie in Groß Malchau mit im Mittel 192,8 niedriger als in der Arbeit von RÄTZ et al. (1997, Parabraunerde, Ut3, 638 mm Niederschlag im Versuchsjahr 1996) beschrieben und errechnet sich aus der Amplitude der  $N_2$ -Fixierleistung von 17,9 bis 379,7 kg N ha<sup>-1</sup>. Die  $N_{\text{Boden}}$ -Aufnahme von *Vicia faba* betrug im Mittel 69,0 kg N ha<sup>-1</sup> mit einer Amplitude zwischen 10,6 und 153,5 kg N ha<sup>-1</sup> (Tab. 91). Die Ergebnisse der Untersuchungen von RÄTZ et al. (1997) sind auf Grund der Standortverhältnisse vergleichbar mit denen vom Standort Göttingen (Ut4, 560,7 mm Niederschlag im Mittel der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001) bei einer mittleren  $N_2$ -Fixierleistung von 224,8 kg N ha<sup>-1</sup>.

*Pisum sativum*

Bei ROCHESTER et al. 1998 wird die  $N_{\text{Atmosphäre}}$ -Menge von *Pisum sativum* zur Nutzung als Gründüngung mit im Mittel  $161 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Amplitude zwischen  $123$  und  $205 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) angegeben. In einem N-gedüngten Versuch ( $^{15}\text{N}$ -Verdünnungsmethode) ermittelte JENSEN (1986) zum Zeitpunkt der Vollblüte von *Pisum sativum* luftbürtige N-Mengen zwischen  $32$  und  $112 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Ndffa:  $31,3$  und  $54,0 \%$ ). Der Mittelwert der eigenen Daten von *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse lag mit  $100,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Amplitude zwischen  $40,8$  und  $188,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) vom Niveau zwischen diesen beiden Versuchen. Die  $N_{\text{Boden}}$ -Menge dieser Nutzungsvariante lag zwischen  $11,2$  und  $103,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  bei einem Mittel von  $51,8 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Tab. 91). Bei RÄTZ et al. (1997) wurden ähnlich hohe luftbürtige N-Mengen dieser Nutzungsvariante von im Mittel  $94,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  bei einer Streuung zwischen  $71,9$  und  $105,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  genannt.

EVANS et al. (1989) beschrieben die  $\text{N}_2$ -Fixierleistung von *Pisum sativum* zur Körnernutzung mit im Mittel  $80,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  mit einer Amplitude zwischen  $16$  und  $177 \text{ kg N ha}^{-1}$ . In Abhängigkeit von den über die Jahre schwankenden klimatischen Standortfaktoren und den Düngungsstufen fand JENSEN (1986) über drei Versuchsjahre stark variierende  $\text{N}_2$ -Fixiermengen im oberirdischen Pflanzenmaterial bei *Pisum sativum* zwischen  $102 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Ndffa:  $43,8 \%$ ) und  $215 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Ndffa:  $63,7 \%$ ) zum Zeitpunkt der Totreife. Diese Werte wurden nach einem zusätzlichen Jahr dieser Versuchsreihen von JENSEN (1996c) mit einer durchschnittlichen  $N_{\text{Atmosphäre}}$ -Menge im Spross von *Pisum sativum* von annähernd  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  bestätigt. Einen ähnlichen Wert (ein Versuchsjahr) ermittelten DREYMAN et al. (2002) mit einer  $\text{N}_2$ -Fixierleistung von  $148 \text{ kg N ha}^{-1}$  ohne Wurzeln bei einem gesamt-pflanzlichen TM-Ertrag von  $108 \text{ dt TM ha}^{-1}$ . Auch die eigenen Versuche reihen sich bei diesem Niveau ein (Tab. 91). So wurde bei *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse im Mittel über die Sorten, Jahre und Standorte eine  $\text{N}_2$ -Fixierleistung von  $141,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  ermittelt mit einem Schwankungsbereich zwischen  $18,3$  und  $334,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die Bestände nahmen im Mittel  $69,0 \text{ kg N ha}^{-1}$  aus dem Boden auf mit Minimal- und Maximalwerten von  $10,6$  und  $153,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

*Lupinus albus* und *Lupinus luteus*

EVANS et al. (1989) berechneten eine  $\text{N}_2$ -Fixierleistung bei *Lupinus angustifolius* zwischen  $26$  und  $288 \text{ kg N ha}^{-1}$  mit einem Mittelwert von  $98,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ . HOWIESON et al. (1998) schätzten eine Fixiermenge für *Lupinus albus* von  $147$  bis  $400 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die Zusammenstellung der minimalen und maximalen gesamt-pflanzlichen  $\text{N}_2$ -Fixierleistung und der  $N_{\text{Boden}}$ -Menge zeigt eine ähnlich hohe Amplitude beider Parameter (Tab. 91). Bei ROCHESTER et al. 1998 finden sich Angaben zur  $\text{N}_2$ -Fixierleistung von *Lupinus angustifolius* zur Nutzung als Gründüngung mit im Mittel von  $161 \text{ kg N ha}^{-1}$  und einer Amplitude von  $123$  bis  $205 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die eigenen Daten ergaben für *Lupinus albus* zur Körnernutzung eine mittlere  $\text{N}_2$ -Fixierleistung von  $125,1 \text{ kg N ha}^{-1}$  mit einem Schwankungsbereich zwischen  $5,8$  und  $284 \text{ kg N ha}^{-1}$  und

für *Lupinus luteus* eine mittlere N<sub>2</sub>-Fixierleistung von 153,5 kg N ha<sup>-1</sup> mit einem Schwankungsbereich zwischen 53,7 und 291,8 kg N ha<sup>-1</sup>. Die N<sub>Boden</sub>-Menge für *Lupinus albus* lag im Mittel bei 90,8 kg N ha<sup>-1</sup> mit einem Schwankungsbereich zwischen 25,8 und 178,0 kg N ha<sup>-1</sup>. Bei *Lupinus luteus* wurden im Mittel 83,8 kg N ha<sup>-1</sup> bodenbürtiger Stickstoff festgestellt mit Werten zwischen 21,5 und 169,9 kg N ha<sup>-1</sup> (Tab. 91).

#### Gemenge

DREYMAN et al. (2002) ermittelten bei einem dreijährigen Düngungsversuch in der Nähe von Kiel bei einem Erbse/Sommergerste-Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage eine N<sub>2</sub>-Fixierleistung von 148 kg N ha<sup>-1</sup> (ohne Wurzeln). Bei SCHMIDTKE (1997c) wird die N<sub>2</sub>-Fixierleistung von Erbse/Hafer-Gemengen zur Körnernutzung aus einem vergleichbaren Versuch im Mittel mit 41,8 kg N ha<sup>-1</sup> am Standort Göttingen beziffert. Aus den eigenen Untersuchungen ergab sich eine wesentlich höhere absolute N<sub>2</sub>-Fixierleistung des Erbse/Hafer-Gemenges am Standort Göttingen in den drei Versuchsjahren zwischen 76,7 und 119,2 kg N ha<sup>-1</sup> (MW 98,8 kg N ha<sup>-1</sup>), die sich durch die höheren Ertragsanteile von *Pisum sativum* erklärt (s. Kap. 9.5).

Für eine geringere Stressanfälligkeit sprechen die Minimalwerte der N<sub>Atmosphäre</sub>-Menge des Ackerbohne/Hafer-Gemenges zur Körnernutzung von 30,6 kg N ha<sup>-1</sup> und des Erbse/Hafer-Gemenges zur Körnernutzung von 34,5 kg N ha<sup>-1</sup>. Das bestätigen auch die hohen Mittelwerte der N<sub>2</sub>-Fixierleistung zur Körnernutzung von 185,7 kg N ha<sup>-1</sup> beim Ackerbohne/Hafer-Gemenge und 128,2 kg N ha<sup>-1</sup> beim Erbse/Hafer-Gemenge (Tab. 91), die in den Gemengen nur geringfügig von den Reinsaaten abweichen.

Tab. 91: Amplitude der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und der N<sub>Boden</sub>-Aufnahme in kg N ha<sup>-1</sup> der Prüfglieder zum Zeitpunkt der Ernte aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 der Versuchsstandorte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau

Art	N <sub>Atmosphäre</sub>			N <sub>Boden</sub>		
	Minimum	Maximum	Mittelwert	Minimum	Maximum	Mittelwert
<i>Vicia faba</i>	17,9	379,7	192,8	10,6	153,5	69,0
<i>Pisum sativum</i> <sup>1</sup>	40,8	188,3	100,4	11,2	103,5	51,8
<i>Pisum sativum</i> <sup>2</sup>	18,3	334,5	141,3	1,1	138,4	52,0
<i>Lupinus albus</i>	5,8	284,0	125,1	25,8	178,0	90,8
<i>Lupinus luteus</i>	53,7	291,8	153,5	21,5	169,9	83,8
Gem. <i>V. faba</i> <sup>3</sup>	5,5	226,3	122,8	2,6	108,5	53,6
Gem. <i>V. faba</i> <sup>4</sup>	30,6	318,7	185,7	8,1	134,8	57,1
Gem. <i>P. sativum</i> <sup>3</sup>	30,8	165,6	98,6	11,7	78,9	50,3
Gem. <i>P. sativum</i> <sup>4</sup>	34,5	256,4	128,2	11,2	184,2	63,9

<sup>1</sup>*Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse und <sup>2</sup>Körnererbse. <sup>3</sup>*Vicia faba* und *Pisum sativum* im Gemenge mit *Avena sativa* zur Nutzung als Ganzpflanzensilage und <sup>4</sup>zur Körnernutzung

Bei DANSO et al. (1987) ergaben sich in einem Gemengeversuch aus *Vicia faba* und *Hordeum vulgare* im Vergleich zur Reinsaat signifikant höhere N<sub>2</sub>-Fixierraten im Vergleich zur Reinsaat von *Vicia faba*. ROCHESTER et al. (1988) berechneten aus der N<sub>2</sub>-Fixiermenge und der oberirdischen Trockenmasse Fixierraten bei *Vicia faba* von durchschnittlich 3,7 kg N pro Dezitonne Trockenmasse. Im Vergleich zu den eigenen Daten mit durchschnittlich 1,8 kg N<sub>Atmosphäre</sub> pro Dezitonne Trockenmasse liegt dieser Wert außergewöhnlich hoch. Die Fixierrate der eigenen Daten wurde anhand der gesamt-pflanzlichen Biomasse (B<sub>t</sub>) berechnet (Tab. 92). Die Mittelwerte der übrigen Prüfglieder in Reinsaat befanden sich mit Werten zwischen 1,7 und 2,0 kg N<sub>Atmosphäre</sub> pro dt Biomasse ebenfalls auf diesem Niveau. JENSEN (1996c) stellten in einem Versuch zur N<sub>2</sub>-Fixierung und zur Konkurrenzsituation um mineralischen Stickstoff eines Erbse/Gerste-Gemenges (<sup>15</sup>N-Verdünnungsmethode) trotz gegenteiliger Erwartungen eine reduzierte N<sub>2</sub>-Fixierleistung des legumens Gemengepartners fest, was er der Beschattung der Erbse durch die Gerste zuschreibt. In den Gemengen der eigenen Versuchsreihe erfuhr die Fixierrate durch den Anbau von *Vicia faba* und *Pisum sativum* im Gemenge mit *Avena sativa* einen deutlichen Anstieg (Tab. 92). Im Ackerbohne/Hafer-Gemenge lagen sie zur Nutzung als Ganzpflanzensilage und zur Körnernutzung bei 2,4 und 4,0 kg N<sub>Atmosphäre</sub> pro dt Biomasse. Beim Erbse/Hafer-Gemenge waren es bei den beiden Nutzungsvarianten im Mittel 1,9 und 3,6 kg N<sub>Atmosphäre</sub> pro dt Biomasse.

Tab. 92: N<sub>2</sub>-Fixierrate (N<sub>Atmosphäre</sub> / gesamtplanzlicher Biomasse B<sub>t</sub>) der Prüfglieder zum Zeitpunkt der Ernte aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 und der Versuchsstandorte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau

Art	N <sub>2</sub> -Fixierrate		
	Minimum	Maximum	Mittelwert
<i>Vicia faba</i>	0,3	2,7	1,8
<i>Pisum sativum</i> <sup>1</sup>	1,0	2,2	1,7
<i>Pisum sativum</i> <sup>2</sup>	0,6	2,3	2,0
<i>Lupinus albus</i>	0,1	2,7	1,8
<i>Lupinus luteus</i>	1,0	2,2	1,7
Gem. <i>V. faba</i> <sup>3</sup>	0,3	4,0	2,4
Gem. <i>V. faba</i> <sup>4</sup>	1,6	5,7	4,0
Gem. <i>P. sativum</i> <sup>3</sup>	0,6	2,9	1,9
Gem. <i>P. sativum</i> <sup>4</sup>	1,6	6,2	3,6

<sup>1</sup>*Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse und <sup>2</sup>Körnererbse. <sup>3</sup>*Vicia faba* und *Pisum sativum* im Gemenge mit *Avena sativa* zur Nutzung als Ganzpflanzensilage und <sup>4</sup>zur Körnernutzung

## 9.6 Stickstoff-Angebot und residuale N<sub>min</sub>-Mengen im Boden sowie Stickstoff-Rhizodeposition

Der Anteil an luftbürtigem Stickstoff (N<sub>dfa</sub>) im Verhältnis zum bodenbürtigen Stickstoff (N<sub>dfa</sub>) ist keine Eigenschaft, die durch die Leguminosenart oder die Rhizobien allein bestimmt wird. Vielmehr ist es die Interaktion zwischen dem bodenbürtigen Stickstoff und allgemeinen Wachstumsbedingungen. Es besteht die Annahme, dass Leguminosen auf Böden mit konstant niedrigem N<sub>min</sub>-Gehalt zu einem sehr hohen N<sub>dfa</sub>-Wert gezwungen werden (UNKOVICH & PATE 2000). Auf einem tiefgründigen sandigen und nährstoffarmen Boden in Südwestaustralien wurden N<sub>dfa</sub>-Werte bei der Schmalblättrigen Lupine (*Lupinus angustifolius*) von 86 % ( $\pm 5$  %) ermittelt (UNKOVICH et al. 1994). JENSEN (1986) fand in einem N-Düngungsversuch (<sup>15</sup>N-Verdünnungsmethode), dass eine N-Düngegabe von 50 kg N ha<sup>-1</sup> zur Aussaat die absolute N<sub>Atmosphäre</sub>-Menge um 15 bis 20 % reduzierte. EVANS et al. (1989) fanden signifikant unterschiedliche N<sub>2</sub>-Fixierraten in einem N-Düngungsversuch von *Pisum sativum* der Variante 0 und 90 kg N ha<sup>-1</sup> zur Variante, die mit 150 kg N ha<sup>-1</sup> gedüngt wurde. Bei FAN et al. (2002) finden sich Angaben zu Untersuchungen bezüglich der Wirkung gesteigerter mineralischer N-Mengen u.a. auf die N-Aufnahme verschiedener Körnerleguminosen, ernährt in einem künstlichen Nährmedium (wässrige Lösung) unter natürlichen Lichtverhältnissen. Es konnte gezeigt werden, dass *Pisum sativum* die spezifisch höchste Absorptionsrate besaß, gefolgt von *Cicer arietinum*, *Lupinus luteus*, *L. angustifolius* und *L. albus*. Die Folge der hohen Nitrat-Absorption von *Pisum sativum* und *Cicer arietinum* war eine stark reduzierte N<sub>2</sub>-Fixierung.

Der Vergleich der eigenen N<sub>dfa</sub>-Werte, ermittelt mit  $\delta^{15}\text{N}$ - und erweiterter Differenzmethode, von *Lupinus albus* und *Lupinus luteus* der Standorte Borwede (Bodenzahl 55) und Groß Malchau (Bodenzahl 16) bestätigt die Annahme reduzierter N<sub>2</sub>-Fixierleistung bei hohen N<sub>min</sub>-Gehalten des Bodens (Tab. 93). Die Fixierraten der Lupinenarten und -sorten, die mit dem geringen N<sub>min</sub>-Angebot des Bodens in Groß Malchau zurecht kommen mussten, lagen größtenteils deutlich über denen des Standortes Borwede mit wesentlich höherem N<sub>min</sub>-Angebot. An beiden Standorten fiel der Unterschied zwischen den mit den diskutierten Methoden ermittelten Werten besonders deutlich auf. Unrealistisch sind die N<sub>dfa</sub>-Werte  $\geq 1$  am Standort Groß Malchau des Versuchsjahres 2000, die mit der erweiterten Differenzmethode ermittelt wurden. Es handelt sich bei den Werten um Mittelwerten aus drei Wiederholungen. Trotz der Problematik von geringen Anreicherungsgraden mit <sup>15</sup>N-Isotopen des Bodens in Groß Malchau des Versuchsjahres 1999 erscheinen die Schätzungen mit der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode realistischer (s.a. Kap. 9.4).

Tab. 93: Zusammenstellung der Ndfa-Werte von *Lupinus albus* und *Lupinus luteus* der Untersuchungsjahre 1999, 2000 und 2001 der Untersuchungsstandorte Borwede und Groß Malchau, ermittelt mit  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode (A) und erweiterter Differenzmethode (B)

Jahr	Art	Ndfa			
		Borwede		Groß Malchau	
		A	B	A	B
1999	<i>Lupinus albus</i>	0,41	0,77	0,50	0,89
	<i>Lupinus luteus</i>	0,52	0,79	0,68	0,83
2000	<i>Lupinus albus</i>	0,51	0,75	0,78	1,09*
	<i>Lupinus luteus</i>	0,63	0,84	0,77	1,12*
2001	<i>Lupinus albus</i>	0,71	0,65	0,63	0,86
	<i>Lupinus luteus</i>	0,73	0,77	0,67	0,79

\*Werte außerhalb der zulässigen Schwankungsbreite

MAYER et al. (2003) definierten die N-Rhizodeposition als die wurzelbürtige N-Menge, die zum Zeitpunkt der Reife nach dem Entfernen aller sichtbaren Wurzelbestandteile im Boden verbleiben. In derselben Arbeit wird beziffert, dass 20 bis 50 % der sichtbaren Wurzelmasse (Nasssiebung) im Zeitraum zwischen der Blüte und Abreife abgebaut wird.

STÜLPNAGEL (1982) fand stets höhere  $\text{NO}_3^-$ -N-Mengen unter Ackerbohne als unter der Referenzpflanze Sommerweizen. UNKOVICH et al. (1997) nehmen an, dass die schnelle Umsetzung des Wurzelmaterials von Leguminosen und die Rhizodeposition die treibende Kraft hinter der hohen Verfügbarkeit von mineralischem Stickstoff zum Zeitpunkt der Ernte ist und der N-Sparsamkeits-Effekt (N-sparing) bisher überbewertet wurde. In einem Inkubationsversuch stellte auch JENSEN (1996c) fest, dass die aus der Rhizodeposition stammende N-Menge unter *Pisum sativum* und *Hordeum vulgare* leicht mineralisierbar waren. So wurden in diesem Versuch sieben Wochen nach Aussaat bei *Pisum sativum* 79 % des in dem Boden aus der Rhizodeposition stammenden Stickstoffs umgesetzt, bei *Hordeum vulgare* waren es 48 %.

Bei MAYER et al. (2003) wurden in dem mineralischen Stickstoff aus Gefäßversuchen (Dochtmethode) bei *Vicia faba*, *Pisum sativum* und *Lupinus albus* zum Zeitpunkt der Ernte im Mittel 43, 25, bzw. 41 % aus der Rhizodeposition stammend ermittelt. Allerdings war die absolute Menge an mineralisiertem Stickstoff im Boden zur Zeit der Ernte der Körnerleguminosen in diesem Gefäßversuch sehr gering. Die in Tab. 89 zusammengestellten Wurzel-N-Anteile der geprüften Körnerleguminosen und N-Rhizodepositionswerte zwischen 8,7 und 18,8 % der aus der  $\text{N}_2$ -Fixierung stammenden gesamt-pflanzlichen N-Menge könnten diese Annahme stützen. Die Zusammenfassung der residualen Nmin-Menge in Tab. 94 der Prüfglieder in Reinsaat im Mittel der Sorten, Jahre und Standorte könnte ebenfalls implizieren, dass ein Großteil des

Nitrat- und Ammonium-Stickstoffs aus der N-Rhizodeposition stammt. Der Hauptanteil des aus der Rhizodeposition und den Wurzeln stammenden N-Anteils hätte in für diese Untersuchungen beprobten obersten Tiefenstufen 0 bis 25 cm und 25 bis 50 cm zu finden sein müssen. Für *Vicia faba* mit einem von KHAN et al. (2002), MAYER et al. (2003) und SCHMIDTKE (2003) festgestellten N-Rhizodepositionsanteil der gesamt-pflanzlichen Biomasse von im Mittel 18,8 % müssten durch den Aufwuchs der eigenen Versuchsreihe in den Boden zum Zeitpunkt der Ernte in den am stärksten durchwurzelteten Horizonten (0 bis 50 cm) ca. 40 kg N ha<sup>-1</sup> als Mittel über Jahre und Sorten gelangt sein. Für das nach SCHMIDTKE (2001) angewandte Kalkulationsverfahren wurde bei *Vicia faba* ein Mittelwert der bis dahin bekannten Untersuchungen von 11,8 % N-Rhizodeposition verwendet, wodurch ca. 30 kg N ha<sup>-1</sup> in den Oberboden gelangt wären. Durch *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse und als Körnererbse gelangten im Mittel über die Sorten und Jahre ca. 20 kg N ha<sup>-1</sup> in die obere Bodenschicht. Für *Lupinus albus* und *Lupinus luteus* wären es 20 bzw. 40 kg N ha<sup>-1</sup> gewesen. Es fällt allerdings auf, dass die Nmin-Mengen unter den beiden Lupinenarten trotz höherer N-Rhizodepositionswerte (s.o.) niedriger sind als die der übrigen Arten. Wenn die oben genannten Vermutungen zuträfen, müssten die residualen Nmin-Mengen unter den Lupinen auch wegen des in der Regel späteren Erntetermins über denen der anderen Prüfglieder liegen.

Tab. 94: Residuale Mengen an mineralischem Stickstoff zum Zeitpunkt der Ernte in 0 bis 50 cm Tiefe der Prüfglieder in Reinsaat im Mittel der Sorten, Untersuchungsjahren 1999, 2000 und 2001 und der Orte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau (kg N ha<sup>-1</sup>)

<i>Vicia faba</i>	<i>Pisum sativum</i> <sup>1</sup>	<i>Pisum sativum</i> <sup>2</sup>	<i>Lupinus albus</i>	<i>Lupinus luteus</i>
22,0	15,9	23,7	16,7	17,2

zur Nutzung als <sup>1</sup>Grünspeiseerbse, <sup>2</sup>Körnererbse

MAYER et al. (2003) führten jüngst Untersuchungen zu dieser Fragestellung durch. Hierbei wurde die N-Rhizodeposition unter *Vicia faba*, *Pisum sativum* und *Lupinus albus* hinsichtlich ihres Mineralisationsverhaltens durch eine <sup>15</sup>N-Markierung der Einzelpflanzen mit Hilfe einer Docht-Technik untersucht. Die zur Reife im Boden unter diesen Pflanzen aus der N-Rhizodeposition stammenden residualen Nmin-Mengen sind jedoch vergleichsweise gering. So wurden in dieser Untersuchung die unter den Prüfgliedern wiedergefundenen Mengen aus der <sup>15</sup>N-Markierung mit Werten von 5 % (*Vicia faba*) 3% (*Pisum sativum*) und 7 % (*Lupinus albus*) angegeben.

Mit diesen Werten hätten von *Vicia faba*, *Pisum sativum* zur Nutzung als Körnererbse und *Lupinus albus* lediglich 1,1, 0,5 und, 1,2 kg N ha<sup>-1</sup> der N-Rhizodepositionsmenge zum Zeitpunkt der Ernte als mineralischer Stickstoff vorliegen müssen. Die übrigen N-Rhizodepositionsbestandteile befänden sich nach MAYER (2003) in Feinstwurzeln



(7 bis 31 %), mikrobiellem Material (14 bis 18 %) und weiterer organischer Bodensubstanz (44 bis 72 %). In Tab. 95 sind Mengen an mineralischem Stickstoff zusammengefasst, die aus der Differenz der residualen Nmin-Mengen des legumen Prüfglieds und der Referenzpflanze *Brassica napus* zum jeweiligen Erntetermin berechnet wurden. Es zeigt sich, dass die legumen Prüfglieder fast durchgängig höhere Nmin-Mengen im Boden hinterließen. Der Anteil der aus der Rhizodeposition stammenden Nmin-Menge wurde im Rahmen der Untersuchungen dieses Projektes nicht bestimmt. Die Daten von MAYER (2003) lassen jedoch vermuten, dass ein Großteil des Stickstoffs aus der Rhizodeposition zur Ernte der Körnerleguminosen noch nicht als mineralischer Stickstoff im Boden vorlag, sondern zum größten Teil organisch gebunden war. Beim Vergleich der Gemengewerte der Nutzungsformen Ganzpflanzensilage und Körnernutzung und der von *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeise- bzw. Körnererbse bestätigt sich auch die Annahme, dass die Leguminosen in den ersten Phasen des Wachstums den Großteil ihres N-Bedarfs noch aus dem N-Vorrat des Bodens abdecken wie nicht nodulierende Pflanzen.

Tab. 95: Differenz im residualen mineralischen Stickstoff zum Zeitpunkt der Ernte in 0 bis 50 cm Tiefe zwischen legumen Prüfgliedern und der Referenzpflanze *Brassica napus* aus den Versuchsjahren 1999, 2000 und 2001 an den Standorten Borwede (B), Föhrste (F), Göttingen (G) und Groß Malchau (M)

Prüfglieder	1999				2000				2001			
	B	F	G	M	B	F	G	M	B	F	G	M
<i>Vicia faba</i>	13,4	16,0	14,4	11,9	19,0	5,6	9,4	2,8	8,2	20,4	18,7	5,6
<i>Pisum sativum</i> <sup>1</sup>	2,9	15,2	11,5	3,0	4,1	9,8	9,4	1,6	10,9	11,6	--	5,5
<i>Pisum sativum</i> <sup>2</sup>	14,5	26,5	8,8	13,4	12,4	14,2	10,2	3,6	45,3	19,8	11,5	4,2
<i>Lupinus albus</i>	6,8	-1,5	7,4	8,7	10,4	-6,6	--	0,5	7,0	14,4	12,0	5,5
<i>Lupinus luteus</i>	8,4	--	--	3,0	11,1	--	--	1,9	29,3	--	--	-3,1
Gem. <i>V. faba</i> <sup>3</sup>	1,5	0,2	8,0	-0,6	2,4	0,1	1,7	1,6	1,3	2,4	4,1	12,6
Gem. <i>V. faba</i> <sup>4</sup>	17,3	-0,2	6,7	4,7	10,4	2,6	4,9	2,2	12,2	22,5	1,8	17,3
Gem. <i>P. sativum</i> <sup>3</sup>	5,7	2,9	0,1	-1,6	1,7	-0,7	2,3	2,3	0,9	7,7	-3,4	0,7
Gem. <i>P. sativum</i> <sup>4</sup>	7,9	3,1	2,6	4,3	10,0	-0,4	2,2	1,8	20,8	12,7	0,4	2,2

<sup>1</sup>*Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse und <sup>2</sup>Körnererbse. <sup>3</sup>*Vicia faba* und *Pisum sativum* im Gemenge mit *Avena sativa* zur Nutzung als Ganzpflanzensilage und <sup>4</sup>zur Körnernutzung

## 9.7 Stickstoff-Verluste beim Anbau von Körnerleguminosen

Die Nitrat-Auswaschungsgefährdung der Untersuchungsstandorte wurde anhand der nutzbaren Feldkapazität nach FREDE & DABBERT (1999) ermittelt und in dem Kapitel 'Material und Methoden' dargestellt. Die Standorte Borwede und Göttingen wurden als gering auswaschungsgefährdet eingestuft, wohingegen an den Standorten Förste und Groß Malchau eine erhöhte Gefährdung besteht. Der Aspekt erhöhter residualer Nmin-Werte nach dem Anbau von Körnerleguminosen und der Verbleib der Ernteresiduen der Leguminosen ist bezüglich der Fruchtfolge als deutlich positiv einzuschätzen. Nicht von der Hand zu weisen sind jedoch Probleme besonders in Grundwasserschutzgebieten oder auf besonders gefährdeten Standorten, die eine vernünftige Kreislaufwirtschaft erfordern. Eigene Untersuchungsdaten zur Nitrat-Auswaschung in den Prüfgliedern wurden nicht erhoben. In der Literatur finden sich jedoch zahlreiche Hinweise zur Nitratauswaschung nach dem Anbau von Leguminosen. An dieser Stelle sollen nur einige beispielhaft genannt werden.

AVELINE et al. (1998) untersuchten die Auswaschung unter einem langjährigen Fruchtwechselfersuch (1992 bis 1997) mit *Pisum sativum* (ungedüngt) und *Triticum sativum* (gedüngt). Die residualen Nmin-Mengen waren nach der Leguminosenernte stets höher als nach der Nichtleguminose. Die ausgewaschenen NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Mengen nach Weizen werden mit 27, 48, 59, 17 und 29 kg N ha<sup>-1</sup> beziffert. Erstaunlich ist, dass die ausgewaschenen Nitrat-Mengen nach Erbse mit 29, 44, 72, 22 und 12,2 kg N ha<sup>-1</sup> in zwei Fällen nur leicht, im dritten Versuchsjahr etwas deutlicher über der Weizenvariante, aber auch in zwei Jahren unter dem Niveau vom Weizen lagen.

SCHMIDTKE (mündliche Mitteilung) untersuchte ältere und neuere Erbsen- und Ackerbohnenarten bezüglich ihres Stroh-N-Gehaltes, des C/N-Verhältnisses, des Mineralisationsverhaltens und der Fähigkeit der Ernteresiduen, mineralischen Bodenstickstoff zu binden. Es bestätigte sich die These, dass nach dem Anbau neuerer Sorten mit geringeren Stroh-N-Gehalten und einem weiten C/N-Verhältnis die N-Mineralisation geringer und die N-Immobilisation von Stickstoff im Boden höher waren als nach dem Anbau alter Sorten.

FLESSA (2002) untersuchte von 1994 bis 1998 die Treibhausgas-Emissionen auf ökologisch (N-Düngung durch Leguminosen und Rindergülle) und integriert bewirtschafteten (Mineral-Dünger und Rindergülle) Flächen. So verursachte das Unterpflügen von Leguminosen einen Anstieg der N<sub>2</sub>O-Emissionen auf das Niveau der mit mineralischem Stickstoff gedüngten Flächen (im Mittel 2,53 % bzw. 9,51 kg N ha<sup>-1</sup>). Der Anstieg resultierte laut FLESSA (2002) wahrscheinlich aus einer Kombination gesteigerter Mineralisation der aus der Fixierung stammenden N-Mengen und einer erhöhten mikrobiellen Aktivität während des Zerfalls des pflanzlichen Materials.

Die Züchtung neuer Sorten mit einem weiten C/N-Verhältnis im Stroh ist sicherlich ein wichtiger Schritt zur Umweltsicherung beim Körnerleguminosenanbau. Der nicht vorhersehbare Verlauf der Witterung verlangt unabhängig vom Gefährdungspotential eines ackerbaulich genutzten Standortes besonders nach dem Anbau von Körnerleguminosen auswaschungs- und emissionsreduzierende Maßnahmen. Durch eine zeitige Aussaat von Nach- oder Zwischenfrüchten lässt sich das schwer kalkulierbare Risiko der Nitrat auswaschung minimieren.

### 9.8 Stickstoff-Transfer beim Anbau von *Vicia faba* bzw. *Pisum sativum* im Gemenge mit *Avena sativa*

Beim Anbau von Gemengen konkurrieren die Arten nicht um die exakt gleichen ökologischen Nischen. Vielmehr ist die Konkurrenz gemischter Arten unter den Pflanzen weniger ausgeprägt im Vergleich zum Anbau von Reinsaat (HAUGGAARD-NIELSEN 2000). Verglichen zu Körnerleguminosen in Reinsaat kann beobachtet werden, dass Leguminose/Nichtleguminose-Gemenge besser in der Lage sind, den Nmin-Vorrat eines Bodens auszuschöpfen (Tab. 94 und Tab. 96, JUSTUS 1996).

Aminosäurehaltige Wurzelexsudate beeinflussen die Größe und Aktivität der mikrobiellen Biomasse in der Rhizosphäre, die wiederum auf die Verfügbarkeit anderer Nährstoffe einwirken. Ein nicht legumer Gemengepartner steht ebenso in Konkurrenz um ausgeschiedene Nährstoffe wie Stickstoff und erhöht so die N-Rhizodeposition. Auch ist die N-Mineralisation der Wurzeln eines nicht nodulierenden Gemengepartners wie *Hordeum vulgare* aufgrund des weiteren C:N-Verhältnisses langsamer als das von *Pisum sativum* (JENSEN 1996a).

Tab. 96: Residuale Mengen an mineralischem Stickstoff zum Zeitpunkt der Ernte in 0 bis 125 cm Tiefe von *Vicia faba* (Sorte Scirocco) und *Pisum sativum* (Sorte Eiffel) in Reinsaat und Gemengeanbau mit *Avena sativa* (Sorte Lutz) zur Körnernutzung ( $\text{kg N ha}^{-1}$ ) im Mittel der Versuchsjahre 1999, 2000 und 2001 und der Orte Borwede, Föhrste, Göttingen und Groß Malchau

<i>Vicia faba</i> , Sorte Scirocco		<i>Pisum sativum</i> , Sorte Eiffel	
Reinsaat	Gemenge	Reinsaat	Gemenge
36,7	29,0	37,2	26,6

JENSEN (1996b) stellte bei einem Erbse/Gerste-Gemenge keinen signifikanten Unterschied in der  $^{15}\text{N}$ -Anreicherung des nicht legumen Gemengepartners im Vergleich zur als Reinsaat angebauten Gerste fest, obwohl dreizehn von fünfzehn Proben einen geringeren N-Anreicherungsgrad hatten, wohingegen in einem root-split-Versuch (JENSEN 1996d) 19 % des gesamt-pflanzlichen Stickstoffs der Gerste von dem Gemengepartner Erbse stammten. DANSO et al. (1987) konnten keinen auffälligen N-Transfer in einem mit  $^{15}\text{N}$  markierten Gemengeversuch aus *Vicia faba* und *Hordeum vulgare* (getrennte Reihen) bei unterschiedlichster Bestandesdichte ermitteln.

Um einen wesentlichen N-Transfer aus den eigenen Felddaten ableiten zu können, müsste der  $^{15}\text{N}$ -Gehalt von *Avena sativa* im Gemenge verglichen mit dem in Reinsaat durch den geringeren  $\delta^{15}\text{N}$ -Gehalt des Rhizodepositionsstickstoffs der Leguminose abgesenkt sein. Anhand der Zusammenstellung der  $^{15}\text{N}$ -Gehalte (Tab. 97) kann ein wesentlicher Transfer von Stickstoff aus der Rhizodeposition des legumen Gemengepartners nicht abgeleitet, jedoch auch nicht ausgeschlossen werden. Der  $\delta^{15}\text{N}$ -Gehalt von *Avena sativa* zur Körnernutzung in Reinsaat lag in fünf Fällen über denen von Hafer im Gemenge mit *Vicia faba*. Im Vergleich zu *Avena sativa* im Gemenge mit *Pisum sativum* waren es sechs Werte. Die Mittelwerte von *Avena sativa* in Reinsaat waren nicht deutlich verschieden von denen des Hafers im Gemenge mit *Vicia faba* bzw. *Pisum sativum*.

Tab. 97: Mittelwerte aus drei Wiederholungen der gesamt-pflanzlichen  $\delta^{15}\text{N}$ -Werte im Hafer zum Zeitpunkt der Tотреife in Reinsaat und im Gemenge mit *Vicia faba* bzw. *Pisum sativum*

	Jahr	Reinsaat	Gemenge mit <i>Vicia faba</i>	Gemenge mit <i>Pisum sativum</i>
Borwede	1999	3,2	3,4	2,9
	2000	0,9	1,1	1,3
	2001	2,8	1,6	2,1
Föhrste	1999	4,8	4,4	4,9
	2000	2,4	2,2	2,5
	2001	3,0	3,0	2,7
Göttingen	1999	4,8	5,2	5,2
	2000	3,4	4,0	3,7
	2001	4,5	5,2	4,5
Groß Malchau	1999	1,4	1,5	1,2
	2000	13,7	10,9	8,8
	2001	5,1	3,9	4,9

## 9.9 Möglichkeiten und Grenzen des Kalkulationsmodells

In der landwirtschaftlichen Fachberatung werden die N-Flächenbilanzsalden beim Anbau von Körnerleguminosen seit langem geschätzt (SCHUVO 1996). Durch die Nutzung der verschiedenen N-Quellen Boden und Luft ist es jedoch beim Anbau von Leguminosen deutlich schwerer, sich der Realität anzunähern, da der Vorgang der N<sub>2</sub>-Fixierung in der Praxis von den Landwirt/innen nicht messbar ist.

Die Schätzung der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistung mittels der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode bietet bei dieser Problematik eine deutlich verbesserte Annäherung an die wahren N-Flüsse. Die Erfassung der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistung nutzt als Grundlage den annähernd stabilen Anteil des schwereren Stickstoff-Isotops <sup>15</sup>N im molekularen Luftstickstoff von 0,3663 atom% (MARIOTTI 1983), wobei der  $\delta^{15}\text{N}$ -Wert der Abweichung in ‰ von dieser Konstanten entspricht. Die durch natürliche Diskriminierungsprozesse bei der N-Mineralisation und N-Immobilisierung häufig vorhandene leichte <sup>15</sup>N-Anreicherung im pflanzenverfügbaren Stickstoff des Bodens sollte einen Unterschied zum molekularen Luftstickstoff von mindestens 5 ‰ ausmachen, um eine zufriedenstellende Messgenauigkeit zur Schätzung der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierung anhand der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode gewährleisten zu können (LEDGARD & PEOPLES 1988). Trotz eingehender Voruntersuchungen erzielten die für die Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung angebauten Referenzpflanzen nicht in jedem Fall eine Differenz von 5 ‰ zum N<sub>2</sub> der Luft, um eine hohe Messgenauigkeit zu erreichen. Welche biotischen oder abiotischen Prozesse dazu geführt haben, dass sich die natürliche Anreicherung an <sup>15</sup>N kleinräumig und/oder innerhalb kurzer Zeiträume änderte, konnte in diesem Projekt nicht untersucht werden.

An Standorten mit nicht ausreichender natürlicher <sup>15</sup>N-Anreicherung (z.B. Groß Malchau) kann auf eine künstliche Anreicherung (<sup>15</sup>N-Verdünnungsmethode) zur Schätzung der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistung von Leguminosen in der Regel nicht verzichtet werden. Bei der <sup>15</sup>N-Verdünnungsmethode werden mit <sup>15</sup>N-angereicherte N-Dünger appliziert (MCAULIFFE et al. 1958). Hierbei ist zu beachten, dass sich jedoch der angereicherte Dünger häufig räumlich und zeitlich ungleichmäßig verteilt. So nimmt er mit zunehmender Bodentiefe ab (SMITH et al. 1996). Der <sup>15</sup>N-Gehalt des nachmineralisierenden Bodenstickstoffs ist deutlich geringer, so dass die applizierte <sup>15</sup>N-Menge eine nachträgliche Verdünnung erfährt (HAUSER 1987, WITTY 1983). Zudem werden die Schätzungen der N<sub>2</sub>-Fixierleistung ungenauer, wenn Leguminosen und Referenzpflanzen ihren N-Bedarf aus unterschiedlichen Bodentiefen decken (RENNIE & RENNI 1983; DOUGHTON et al. 1995). Hierbei hat nicht nur die Art der Durchwurzelung einen entscheidenden Einfluss. Auch die Frage, ob Leguminose und Referenzpflanze in gleicher Weise in der Lage sind, stärker verdichtete Bereiche zu durchwachsen, kann die Ergebnisse des Versuchs verzerren.

Zur größeren Genauigkeit der Schätzung der  $N_2$ -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz trägt bei, dass in dem Modell nach SCHMIDTKE (2001) die N-Rhizodeposition einfließt, d.h. die Abgabe von Stickstoff in den Boden über die Wurzeln von Leguminosen während der Vegetationsperiode. Die Methodik zur Erfassung der Rhizodeposition zählt zu den neueren Bereichen der Grundlagenforschung, weshalb auch bisher nur wenige Arbeiten zu diesem Thema veröffentlicht wurden (JENSEN 1996c, SAWATZKY & SOPER 1991, RUSSEL & FILLARY 1996, KHAN et al. 2002, SCHMIDTKE 2002, MAYER et al. 2003, SCHMIDTKE 2003). Wenig erforscht sind die Einflussfaktoren auf die Rhizodeposition der Arten und Anbauverfahren. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Rhizodeposition durch feldtypische abiotische Faktoren wie Feuchte- oder Trockenstress, Temperatur und Bodenverhältnisse, aber auch biotische Faktoren wie Bodenlebewelt, Schädlinge und Konkurrenzsituationen mit anderen Pflanzen der gleichen oder anderer Arten beeinflusst wird. Da es sich bei den bisher vorliegenden Werten fast ausschließlich um im Gewächshaus bzw. in einer Klimakammer ermittelte Werte handelt, besteht diesbezüglich noch Klärungsbedarf. Das Modell nach SCHMIDTKE (2001) ist so ausgelegt, dass der Faktor der N-Rhizodeposition dem aktuellen Kenntnisstand angepasst werden kann. Die erweiterte N-Flächenbilanz konnte noch nicht für jedes der Prüfglieder dieser Versuchsreihe ausgewiesen werden. So lagen z.B. zur N-Rhizodeposition von Ackerbohne und Hafer zur Nutzung als Ganzpflanzensilage keine Werte vor.

Nicht nur die N-Rhizodeposition sondern auch die Wurzel-TM und die N-Mengen in den Wurzeln der geprüften Gemenge in den Nutzungsvarianten Ganzpflanzensilage und Körnernutzung stellen eine Hürde bei der genauen Schätzung der  $N_2$ -Fixierleistung und der N-Flächenbilanz dar. Die Aufteilung der Wurzel-TM der Gemengepartner wurde rechnerisch durchgeführt, indem das Spross/Wurzel-Verhältnis der Reinsaat auf die Gemengepartner übertragen wurde (s. Kap. 2.4.5). Eine vollständige Trennung der Wurzeln zur separaten Analyse hingegen war nicht möglich. Zur Wurzel-N-Menge und zum  $\delta^{15}N$ -Wert existiert deshalb nur ein Wert, der annähernd mit dem des legumen Gemengepartners in Reinsaat übereinstimmt, jedoch sehr verschieden war zum dem Wert des nicht legumen Gemengepartners in Reinsaat. Deshalb kann es möglicherweise bei der Berechnung der N-Menge in den Wurzeln zu einer leichten Unterbewertung der Leguminose kommen, da der höhere N-Gehalt der Leguminosenwurzeln durch die Haferwurzeln eine Verdünnung erfährt und zu einer leichten Überbewertung der  $^{15}N$ -Menge der Leguminose, da die Haferwurzeln durch die rein bodenbürtige N-Ernährung höhere  $^{15}N$ -Anreicherungen aufweisen. Umgekehrt verhält es sich beim nicht legumen Gemengepartner.

Ebenso haben gasförmige N-Verluste und struktur- oder nutzungsbedingte N-Auswaschungen größeren Einfluss auf die pflanzenverfügbare N-Menge. Ziel des Projektes war die Erfassung des pflanzenbedingten N-Eintrages und N-Austrages,

nicht aber die Erfassung aller N-Flüsse, die beim Anbau von Körnerleguminosen zu verzeichnen sind.

## 9.10 Kalkulationsverfahren zur Schätzung des N-Flächenbilanzsaldos

In der landwirtschaftlichen Fachberatung werden derzeit noch vereinfachte Schätzverfahren zur Ermittlung des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Körnerleguminosen verwendet, die eine artspezifische  $N_2$ -Fixierleistung voraussetzen. Die fixierte N-Menge wird hierbei ausschließlich in Abhängigkeit vom Kornertrag ermittelt. Hierbei werden die  $N_2$ -Fixierleistung und die N-Menge im Kornertrag zum Teil deutlich unter- oder überschätzt, was sich dann auch im N-Flächenbilanzsaldo widerspiegelt.

SCHMIDTKE stellte (1997b) mittels  $^{15}N$ -Isotopentechnik gemessenen Daten zur  $N_2$ -Fixierleistung von Erbsen zur Körnernutzung Ergebnissen gegenüber, die nach SchuVO (1996) kalkuliert wurden. Die Berechnungen verdeutlichen, dass die mit Hilfe der SchuVO kalkulierten  $N_2$ -Fixierleistungen der Erbsen um bis zu  $122,1 \text{ kg N ha}^{-1}$  (1996) und der N-Flächenbilanzsaldo um bis zu  $92,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  (1995) überschätzt wurden (Tab. 98).

Tab. 98:  $N_2$ -Fixierungsleistung und N-Flächenbilanz von *Pisum sativum* in Reinsaat gemessen (nach SCHMIDTKE 1997b) und geschätzt (nach SchuVO 1996)

Ertragsparameter	1995		1996	
	gemessen <sup>1</sup>	geschätzt <sup>2</sup>	gemessen <sup>1</sup>	geschätzt <sup>2</sup>
<i>Pisum sativum</i> (Sorte Messire)				
Kornertrag [dt ha <sup>-1</sup> ] 14 % Feuchte	43,4	--	64,6	--
$N_2$ -Fixierleistung [kg N ha <sup>-1</sup> ]	113,7	191,0	162,1	284,2
N-Entzug (Körner) [kg N ha <sup>-1</sup> ]	123,8	156,2	202,9	232,6
N-Flächenbilanzsaldo [kg N ha <sup>-1</sup> ]	-10,1	+34,8	-40,8	+51,6

<sup>1</sup>Schmidtke 1997b, <sup>2</sup>nach SchuVO 1996, mit  $4,4 \text{ kg N}_2$ -Fixierungsleistung und  $3,6 \text{ kg N}$ -Entzug je dt Kornertrag

Die eigenen Untersuchungen bestätigen die obigen Ergebnisse. In Tab. 99 und Tab. 100 wird deutlich, dass die Amplitude der  $N_2$ -Fixierleistung im Mittel der Sorten eines Standortes zwischen den mit der  $\delta^{15}N$ -Methode gemessenen Werten deutlich größer ist als zwischen den nach SchuVO geschätzten Werten, was auf die starke Abhängigkeit der Höhe der  $N_2$ -Fixierleistung von der Jahreswitterung bzw. dem N-Angebot im Boden hinweist.

Tab. 99: N<sub>2</sub>-Fixierleistung und N-Flächenbilanzsaldo von *Vicia faba* in Reinsaat (Sortenmittel) gemessen mit der δ<sup>15</sup>N-Methode und geschätzt nach SCHUVO

Ertragsparameter	Jahr	Borwede		Föhrste	
		gemessen <sup>1</sup>	geschätzt <sup>2</sup>	gemessen <sup>1</sup>	geschätzt <sup>2</sup>
Kornertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]	1999	50,4	--	30,1	--
	2000	48,3	--	48,9	--
	2001	60,6	--	49,1	--
N <sub>2</sub> - Fixierleistung [kg N ha <sup>-1</sup> ]	1999	183,5	252,8	192,7	151,0
	2000	278,1	242,3	245,7	245,3
	2001	284,6	304,0	209,9	246,3
N-Entzug (Körner) [kg N ha <sup>-1</sup> ]	1999	191,4	206,8	117,1	123,5
	2000	212,8	198,2	218,2	200,7
	2001	248,2	248,7	201,7	201,5
erweiterter N-Flächenbilanz- saldo [kg N ha <sup>-1</sup> ]	1999	26,5	46,0	111,8	27,5
	2000	117,5	44,1	73,7	44,6
	2001	89,8	55,3	47,7	44,8
		Göttingen		Groß Malchau	
Kornertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]	1999	55,5	--	15,1	--
	2000	51,3	--	18,0	--
	2001	42,0	--	29,5	--
N <sub>2</sub> - Fixierleistung [kg N ha <sup>-1</sup> ]	1999	231,3	278,4	81,2	75,7
	2000	246,2	267,4	95,5	90,3
	2001	184,3	210,7	104,8	148,0
N-Entzug (Körner) [kg N ha <sup>-1</sup> ]	1999	217,2	227,8	61,1	62,0
	2000	216,2	218,7	78,3	74,0
	2001	186,7	172,4	129,5	121,1
erweiterter N-Flächenbilanz- saldo [kg N ha <sup>-1</sup> ]	1999	57,6	50,6	35,4	13,8
	2000	76,3	48,6	35,1	16,4
	2001	32,3	38,3	-5,1	26,9

<sup>1</sup>eigene Messung, <sup>2</sup>nach SchuVO 1996, mit 5,0 kg N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung und 4,1 kg N-Entzug je dt Kornertrag

Zwischen den gemessenen und nach SCHUVO (1996) geschätzten symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistungen der Leguminosen waren ähnlich hohe Abweichungen zu verzeichnen (bei Körnererbsen bis zu 123,5 kg N ha<sup>-1</sup>, bei Ackerbohne bis zu 69,3 kg N ha<sup>-1</sup>) wie zwischen den geschätzten und gemessenen erweiterten N-Flächenbilanzsalden (bei Körnererbsen bis zu 65,4 kg N ha<sup>-1</sup>, bei Ackerbohne bis zu 73,4 kg N ha<sup>-1</sup>). So wurden für die Körnererbsen am Standort Göttingen in den Jahren 1999, 2000 und 2001 mit der δ<sup>15</sup>N-Methode erweiterte N-Flächenbilanzsalden von -3,1, 22,1 und 6,2 kg N ha<sup>-1</sup> ermittelt, der nach SCHUVO (1996) bei 46,5, 37,2 und 33,4 kg N ha<sup>-1</sup> gelegen hätte.



Tab. 100: N<sub>2</sub>-Fixierleistung und N-Flächenbilanzsaldo von *Pisum sativum* in Reinsaat (Sortenmittel) gemessen mit der δ<sup>15</sup>N-Methode und geschätzt nach SchuVO

Ertragsparameter	Jahr	Borwede		Föhrste	
		gemessen <sup>1</sup>	geschätzt <sup>2</sup>	gemessen <sup>1</sup>	geschätzt <sup>2</sup>
Kornertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]	1999	44,1	--	41,2	--
	2000	48,2	--	41,9	--
	2001	40,1	--	42,2	--
N <sub>2</sub> - Fixierleistung [kg N ha <sup>-1</sup> ]	1999	156,9	221,2	152,5	206,7
	2000	201,4	241,8	145,5	210,2
	2001	184,7	201,1	167,2	211,7
N-Entzug (Körner) [kg N ha <sup>-1</sup> ]	1999	152,0	181,0	142,4	169,1
	2000	175,6	197,8	138,1	172,0
	2001	150,9	164,6	156,6	173,2
erweiterter N-Flächenbilanz- saldo [kg N ha <sup>-1</sup> ]	1999	22,4	40,2	27,2	37,6
	2000	48,4	44,0	23,7	38,2
	2001	54,5	36,6	29,3	38,5
		Göttingen		Groß Malchau	
Kornertrag [dt ha <sup>-1</sup> ]	1999	51,0	--	27,0	--
	2000	40,8	--	27,3	--
	2001	34,6	--	28,9	--
N <sub>2</sub> - Fixierleistung [kg N ha <sup>-1</sup> ]	1999	132,3	255,8	86,8	135,4
	2000	153,5	204,7	116,1	136,9
	2001	120,6	183,6	58,5	145,0
N-Entzug (Körner) [kg N ha <sup>-1</sup> ]	1999	150,2	209,3	89,2	110,8
	2000	148,6	167,4	107,2	112,0
	2001	127,9	37,2	104,1	118,6
erweiterter N-Flächenbilanz- saldo [kg N ha <sup>-1</sup> ]	1999	-3,1	46,5	7,3	24,6
	2000	22,1	37,2	21,9	24,9
	2001	6,2	33,4	-39,0	26,4

<sup>1</sup>eigene Messung, <sup>2</sup>nach SchuVO 1996, mit 4,4 kg N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung und 3,6 kg N-Entzug je dt Kornertrag

Die Abweichungen zwischen gemessenen und geschätzten Werten der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos vergrößern sich zudem um den Anteil Stickstoff, der über Rhizodeposition in den Boden abgegeben wird und aus der Symbiose stammt. Die über Rhizodeposition in den Boden abgegebene N-Menge wurde bisher in den vereinfachten Verfahren nach SchuVO offenbar nicht berücksichtigt.

Zu den Arten in Reinsaat *Vicia faba*, *Pisum sativum*, *Lupinus albus*, *Lupinus luteus* und den Gemengen aus *Vicia faba* und *Avena sativa* bzw. *Pisum sativum* und *Avena sativa* konnten Kalkulationsverfahren zur Schätzung der N-Flächenbilanz (nach SCHMIDTKE 2001) entwickelt werden. Diese stellen deshalb eine deutliche Verbesserung der gängigen Praxis dar, weil zum ersten Mal systematisch in einem Projekt über verschiedenen Orte und Jahre die Trockenmasse und Stickstoffmengen ge-

samtpflanzlich, d.h. alle pflanzenbezogenen oberirdischen und unterirdischen Größen erhoben und in der Kalkulation berücksichtigt wurden. Auch die Einbeziehung der Rhizodeposition stellt eine Verbesserung zu den bisher in der Beratung genutzten Verfahren dar.

Dadurch, dass gängige Parameter wie der Korn-TM-Ertrag und das Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden genutzt werden, um die N<sub>2</sub>-Fixierleistung und die N-Flächenbilanz nach dem Anbau von Körnerleguminosen zu schätzen, bietet das Modell nach SCHMIDTKE (2001) eine gute Möglichkeit, auf die Praxis übertragen und angewendet zu werden. Die Korn-TM der Arten bildet hierbei den Ansatz zur Ableitung der Kalkulationsverfahren der jeweiligen Art. Es konnte auch gezeigt werden, dass eine starke Abhängigkeit der N<sub>2</sub>-Fixierleistung von den Standortfaktoren besteht. Besonders stark sind die Auswirkungen des Angebotes an mineralischem Stickstoff auf die Tätigkeit der N<sub>2</sub>-fixierenden Symbiosepartner. So findet auch die Tatsache Berücksichtigung, dass sich die N<sub>2</sub>-Fixierleistung und der N-Flächenbilanzsaldo in Abhängigkeit vom Angebot des Bodens an mineralischem Stickstoff (Nitrat und Ammonium) ändern. Bei der Umsetzung des Modells müssen deshalb die Beratungsstellen ein Monitoring durchführen, indem der Praxis Informationen zum standortabhängigen N<sub>min</sub>-Angebot in der Vegetationsperiode der einzelnen Arten zur Verfügung gestellt werden. So wäre z.B. möglich, dass Beratungsstellen auf Flächen mit regional typischen Böden nicht nodulierende Referenzpflanzen anbauen, um das Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden regionalspezifisch im aktuellen Witterungsverlauf der verschiedenen Erntezeitpunkte feststellen zu können. Hierzu müssten entsprechende Beerntungen der Sprossmasse der Referenzpflanzen und deren Stickstoffaufnahme ermittelt werden.

Die dreijährigen Untersuchungen auf vier Untersuchungsstandorten mit typischen klimatischen und pedologischen Gegebenheiten in Niedersachsen bieten eine breite Datengrundlage zur Stützung des angewandten Kalkulationsverfahrens. Die landwirtschaftliche Nutzung einer Fläche verursacht jedoch nicht nur durch Düngungsmaßnahmen, Abfuhr des Erntegutes und Anbau von Leguminosen Veränderungen des N-Haushaltes. Durch Niederschläge gelangen zum Teil N-Mengen von 5 bis 30 kg N ha<sup>-1</sup> und Jahr, in der Nähe von Industrieanlagen bis zu 100 kg N ha<sup>-1</sup> in die Böden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989). N-Flächenbilanzen der landwirtschaftlichen Praxis klammern in der Regel Bewirtschaftungs- und naturabhängige N-Verluste in Form von Auswaschungen (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) und gasförmigen Verlusten (N<sub>2</sub>O) oder N-Einträge durch Niederschläge aus. Im Rahmen dieses Projektes konnten diese relevanten Aspekte nicht untersucht werden. Dennoch sollten diese Größen trotz der Vorteile beim Anbau von Leguminosen nicht vernachlässigt werden. Besonders wichtig ist, die durch die N<sub>2</sub>-Fixierung gewonnen N-Mengen nicht durch fahrlässige Maßnahmen der Auswaschung oder gesteigertem gasförmigem Austrag preiszugeben. Die gute landwirtschaftliche Praxis erwartet eine bewusste Kreislaufwirtschaft dieses wichtigen Nährstoffes, der bei falscher Handhabung leicht zum Schadstoff degradiert

wird. Die im Rahmen des hier dargestellten Projektes gewonnenen Ergebnisse und erarbeiteten Kalkulationstabellen zur Schätzung der symbiotischen Stickstoff-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Körnerleguminosen sollten deshalb einen Beitrag leisten, Stickstoff im Landbau effizienter zu nutzen und Körnerleguminosen umweltschonender in Fruchtfolgen integrieren zu können.

## 10 Ausblick

Die Schätzungen zur  $N_2$ -Fixierleistung verschiedener Körnerleguminosen über drei Jahre an vier Standorten in Niedersachsen erlaubten die Herleitung von Stickstoffkalkulationstabellen nach SCHMIDTKE (2001). Dadurch wird in nächster Zukunft in der Stickstoffberatung das Ableiten von N-Flächenbilanzen nach der Ernte der untersuchten Körnerleguminosen ermöglicht. Das erweiterte Modell stellt zum bisherigen Verfahren (SCHUVO 1996) eine deutliche Verbesserung dar. Die für dieses Projekt hergestellte Kooperation mit der Landwirtschaftskammer in Hannover zeigt das große Interesse und den Bedarf, die Stickstoff- und Düngeberatung in den Beratungsstellen auszubauen und zu verbessern. Die Untersuchungsreihe erfolgte mit einem erheblichen zeitlichen und materiellen Aufwand, der ohne die enge Verknüpfung der Institutionen nicht zu bewältigen gewesen wäre. Diese positive Erfahrung kann als Empfehlung verstanden werden, die landwirtschaftliche Forschung in enger Zusammenarbeit mit der Praxis aufzunehmen und auszubauen.

Die größten Hürden bestanden nach dem Entwurf und den zeitaufwendigen rechtlichen Verfahren vor Projektbeginn sicherlich in Bergung und dem Transport der Wurzelproben, aber auch der Pflanzenproben zu den jeweiligen Ernteterminen. Häufig erfolgte die Abreife der Körnerleguminosen auf den weit entlegenen Standorten in kurzer Abfolge, so dass auch die Logistik einen erheblichen Teil dieser Arbeit ausmachte, von witterungsbedingten Unbilden einmal abgesehen. Rein mathematische Modelle zu dieser Fragestellung sind materiell sicher leichter zu bewältigen. Der Witterungsverlauf innerhalb einer Vegetationsperiode und der erhebliche Einfluss von Temperatur und Niederschlägen auf den Stickstoffhaushalt ist dabei wahrscheinlich die am wenigsten kalkulierbare Größe. Das Modell nach SCHMIDTKE (2001) birgt nach dem großen Arbeitsaufwand den Vorteil, sich auf tatsächliche Felddaten beziehen zu können.

Mit diesem Projekt sollte letztlich ein Beitrag zum Umweltschutz in der Landwirtschaft geleistet werden. Eine Umsetzung der Ergebnisse in die land- und wasserwirtschaftliche Beratung ist gewünscht. Die Aufbereitung der Kalkulationsverfahren in überschaubare Tabellen wird eine einfache Handhabung gewährleisten

Im Verlauf der praktischen Arbeit und theoretischen Ausarbeitung sind erwartungsgemäß Punkte zu Tage getreten, die auch in nächster Zukunft größere Forschungsreihen nach sich ziehen werden. Zum einen sind in dieser Reihe Standorte in Niedersachsen untersucht worden. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse z.B. auf Regionen in Süddeutschland oder entferntere Klimate sollte durch weitere Untersuchungen geklärt werden. Aber auch weitere Grundlagenforschung zur Rhizodeposition in Reinsaat und im Gemengeanbau, Isotopenfraktionierung unter wechselnden Um-

weltbedingungen und zur Wahl der Referenzpflanze sind erforderlich. Auch die Schätzung der unterirdischen Biomasse und der darin enthaltenen Stickstoffmengen bedarf weiterer Arbeiten und einer breiten Diskussion. Mit den eigenen Untersuchungen ist sicherlich eine große Bandbreite von Körnerleguminosen der gemäßigten Breiten abgedeckt. Es ist jedoch zu wünschen, dass in nächster Zeit Untersuchungen zu weiteren Arten wie z.B. *Lens culinaris* Medik. diese Bandbreite erweitern.

Das Modell zur N<sub>2</sub>-Fixierleistung von Körnerleguminosen nach SCHMIDTKE (2001) ist bezüglich neuer Ergebnisse nicht statisch. Es bietet durchaus die Möglichkeit, erweiterter Erkenntnisse einzuarbeiten. Auch bedarf es weiterer Forschung zur Vorfruchtwirkung von Körnerleguminosen unter wechselnden Standortfaktoren. Steigende Ansprüche des Umweltschutzes an die Landwirtschaft machen weitere Untersuchungen dringend erforderlich. Es bleibt jedoch auch die Forderung an die Politik, die regionale Produktion stickstofffixierender Futter- und Nahrungsmittel zu stützen, um Körnerleguminosen den Stellenwert zukommen zu lassen, der ihnen aufgrund der ackerbaulichen Vorteile und der positiven Eigenschaften in der Ernährung von Tier und Mensch zukommen sollte.

## 11 Zusammenfassung

In dreijährigen Feldversuchen auf vier Standorten Niedersachsens wurden verschiedene Körnerleguminosenarten und Sorten einer Art in Reinsaat geprüft (*Vicia faba*, *Pisum sativum* zur Nutzung als Grünspeiseerbse und zur Körnernutzung, *Lupinus albus* sowie *Lupinus luteus* nur an zwei Standorten) und im Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage und zur Körnernutzung (*Vicia faba* mit *Avena sativa* bzw. *Pisum sativum* mit *Avena sativa* - jeweils mit einer Sorte) untersucht. Die Standorte (Borwede, Groß Malchau, Föhrste und Göttingen) unterschieden sich sowohl hinsichtlich ihrer pedologischen als auch ihrer klimatologischen Gegebenheiten deutlich. Der Schwerpunkt der Versuchsreihe lag auf der Erfassung der in Spross und Wurzel der Bestände enthaltenen N-Menge aus dem Boden und der Luft, um verbesserte Kalkulationsverfahren für die Schätzung der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistung und des N-Flächenbilanzsaldos beim Anbau von Körnerleguminosen ableiten zu können. Hierzu wurden auch die CaCl<sub>2</sub>-extrahierbaren N<sub>min</sub>-Mengen im Boden erfasst. Die Schätzung der luft- und bodenbürtigen N-Mengen in den Pflanzen erfolgte mit Hilfe der δ<sup>15</sup>N-Methode.

Die Untersuchungen ergaben, dass die Wahl der für die Schätzung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung mit Hilfe der δ<sup>15</sup>N-Methode notwendigen Referenzpflanze einen entscheidenden Einfluss auf die Schätzergebnisse hat. In der Versuchreihe konnte gezeigt werden, dass die dikotyle Referenzpflanze *Brassica napus* auf Grund einer höheren <sup>15</sup>N-Anreicherung für die Schätzung der symbiotischen N<sub>2</sub>-Fixierleistung besser geeignet war als die monokotylen Referenzpflanze *Avena sativa*.

Es konnte bei Körnernutzung eine symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierleistung der Ackerbohne im Mittel von 193,0 kg N ha<sup>-1</sup> (von 17,9 bis 379,7 kg N ha<sup>-1</sup>), der Erbsen von 141,3 kg N ha<sup>-1</sup> (von 18,3 bis 334,5 kg N ha<sup>-1</sup>), bei Weißer Lupine 125,1 kg N ha<sup>-1</sup> (von 5,8 bis 284,0 kg N ha<sup>-1</sup>) und Gelber Lupine 153,5 kg N ha<sup>-1</sup> (von 53,7 bis 291,8 kg N ha<sup>-1</sup>) ermittelt werden. Im Gemenge von Ackerbohne und Hafer sowie Erbse und Hafer lag die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung zur Körnernutzung im Mittel bei 185,7 kg N ha<sup>-1</sup> bzw. 128,8 kg N ha<sup>-1</sup> (von 30,5 bis 318,7 kg N ha<sup>-1</sup> bzw. 34,5 bis 256,4 kg N ha<sup>-1</sup>).

Die N-Aufnahme aus dem Boden bis zur Körnernutzung betrug bei der Ackerbohne im Mittel 69,0 kg N ha<sup>-1</sup> (von 10,6 bis 153,5 kg N ha<sup>-1</sup>). Bei den Erbsen wurden im Mittel 52,0 kg N ha<sup>-1</sup> (von 1,1 bis 138,4 kg N ha<sup>-1</sup>) des Bodens genutzt. Bei Weißer und Gelber Lupine waren es im Mittel 90,8 kg N ha<sup>-1</sup> (von 25,8 bis 178,0 kg N ha<sup>-1</sup>) bzw. 83,8 kg N ha<sup>-1</sup> (von 21,5 bis 169,9 kg N ha<sup>-1</sup>). Die Gemenge aus Ackerbohne und Hafer sowie Erbse und Hafer nahmen bis zur Körnernutzung im Mittel 57,1 kg N ha<sup>-1</sup> (von 30,6 bis 318,7 kg N ha<sup>-1</sup>) bzw. 63,9 kg N ha<sup>-1</sup> (von 11,2 bis 184,2 kg N ha<sup>-1</sup>) aus dem Boden auf. Zum Nutzungstermin der Grünspeiseerbse befanden sich im

Mittel  $100,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  (von  $40,8$  bis  $188,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) in Spross und Wurzel, die aus luftbürtiger Quelle aufgenommen waren und  $51,8 \text{ kg N ha}^{-1}$  (von  $11,2$  bis  $89,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), die aus bodenbürtigen Quelle stammten.

Im Gemenge mit *Avena sativa* entnahm der legume Gemengepartner *Vicia faba* zur GPS durchschnittlich  $53,6 \text{ kg N ha}^{-1}$  (von  $2,6$  bis  $108,6 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) des pflanzenverfügbaren Bodenstickstoffs, bei *Pisum sativum* waren es im Mittel  $50,5 \text{ kg N ha}^{-1}$  (von  $11,7$  bis  $110,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Der luftbürtige Stickstoff von *Vicia faba* lag in dieser Nutzungsvariante im Mittel bei  $122,8 \text{ kg N ha}^{-1}$  (von  $5,5$  bis  $226,3 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), bei *Pisum sativum* wurden im Mittel  $100,9 \text{ kg N ha}^{-1}$  (von  $30,8$  bis  $185,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) ermittelt. Die geprüften Sorten einer Art unterschieden sich nur gering in der Aufnahme an Stickstoff aus dem Boden und der Luft.

Die Daten der Versuchsreihe zeigten, dass trotz der unterschiedlichen Einflussfaktoren der Standorte wie die Korngrößenverteilung im Boden, Nährstoffangebot, insbesondere der Nitratgehalt des Bodens und der unterschiedlichen Witterung an den Versuchsstandorten enge Zusammenhänge zwischen dem Kornertrag und der von den Pflanzen in Spross und Wurzel akkumulierten N-Menge bestanden, die für das Kalkulationsmodell zur Schätzung der symbiotischen  $\text{N}_2$ -Fixierleistung und der Ableitung der N-Flächenbilanz der verschiedenen Körnerleguminosenarten herangezogen wurden.

Die einfachen N-Flächenbilanzsalden von *Vicia faba* bewegten sich im Mittel zwischen  $-24,8$  und  $+75,6 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Unter Einbezug der N-Rhizodeposition erhöhten sich die Werte auf  $-5,1$  und  $+111,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die einfachen N-Flächenbilanzsalden von *Pisum sativum* lagen zwischen  $-12,6$  und  $+130,2 \text{ kg N ha}^{-1}$  zur Nutzung als Grünspeiseerbse bzw. zur Nutzung als Körnererbse zwischen  $-45,6$  und  $+47,5 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die erweiterten N-Flächenbilanzsalden lagen zwischen  $-8,9$  und  $+132,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  bzw.  $-39,0$  und  $+69,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die einfachen N-Flächenbilanzsalden von *Lupinus albus* bzw. *Lupinus luteus* bewegten sich im Mittel zwischen  $-36,0$  und  $+68,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  bzw.  $-61,8$  und  $+28,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die N-Rhizodeposition verlagerte diese Werte zwischen  $-26,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  und  $+111,6 \text{ kg N ha}^{-1}$  bzw.  $-44,8$  und  $+56,9 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

Zum früheren Nutzungstermin der Ganzpflanzensilage lagen die einfachen N-Flächenbilanzsalden des legumen Gemengepartners *Vicia faba* zwischen  $-29,4$  und  $+44,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  bzw. zwischen  $-28,7$  und  $+32,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  bei *Pisum sativum*. Unter Einbezug der N-Rhizodeposition wurden Werte zwischen  $-11,6$  und  $+66,8 \text{ kg N ha}^{-1}$  bzw.  $-19,5$  und  $+36,4 \text{ kg N ha}^{-1}$  ermittelt. Die einfachen N-Flächenbilanzsalden der legumen Gemengepartner betragen zur Körnernutzung zwischen  $+8,4$  und  $+94,7 \text{ kg N ha}^{-1}$  bzw. zwischen  $+3,6$  und  $+59,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Die Erweiterung um die N-Rhizodeposition verlagerte diese Werte in Bereiche zwischen  $+17,3$  und  $+140,3 \text{ kg N ha}^{-1}$  bzw.  $+10,2$  und  $+76,6 \text{ kg N ha}^{-1}$ .

Unter Hinzuziehung der geschätzten N-Mengen, die über Rhizodeposition von den Körnerleguminosen in den Boden abgegeben werden, wurde ein bestehendes Kalkulationsmodell genutzt, um aus den hier ermittelten Ergebnissen für die land- und wasserwirtschaftliche Fachberatung Kalkulationsdaten zur Verfügung zu stellen. Diese Kalkulationsdaten ermöglichen es, anhand des erzielten Kornertrages der Bestände und dem Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierleistung und den N-Flächenbilanzsaldo der hier geprüften Körnerleguminosenarten und Nutzungssysteme zu berechnen.

Die vorgestellte Arbeit mit dem nach SCHMIDTKE (2001) entwickelten Kalkulationsmodell zur Ableitung der N<sub>2</sub>-Fixierleistung und N-Flächenbilanz verschiedener Körnerleguminosen ist mit Daten unterschiedlichster Standorte in Niedersachsen erstellt worden. Der Einsatz der Kalkulationstabellen in die land- und wasserwirtschaftliche Fachberatung in der nächsten Zukunft ist gewünscht. Die engen Korrelationen der Ertragsdaten lassen erwarten, dass dieses Modell sich auch auf weiterreichende Regionen übertragen lässt. Sich ausweitende Umweltauforderungen und strukturelle Gegebenheiten wie weiter steigende Rohölpreise lassen erwarten, dass in der nahen Zukunft ein Umdenken in der landwirtschaftlichen Praxis hinsichtlich einer regenerativen Stickstoffernährung der Feldfrüchte erforderlich sein wird. Es war ein Anliegen, mit dieser Arbeit hierfür einen Beitrag zu leisten.



## 12 Summary

In 1999 a three year lasting field experiment with different crop legumes from one to four species on four varying field sides in Lower Saxony was started. In detail *Vicia faba*, *Pisum sativum* as green pea and as grain crop, *Lupinus albus* and *Lupinus luteus* (only on two of the four sides) were integrated as sole crops (open sowing). *Vicia faba* and *Pisum sativum* were grown in mixture with *Avena sativa*, harvested as total plant silage (BBCH 79) and as a grain crop (BBCH 89 to 99). The four locations (Borwede near Diepholz, Föhrste near Hildesheim, Groß Malchau near Uelzen and Göttingen) differed essentially in their natural state regarding the soil as well as the climatic conditions. The chief purpose was to develop an improved calculation model to estimate the symbiotic nitrogen fixation rate in legume cultivations. In order to reach this aim the nitrogen contents in root and shoot were detected and the extractable mineral N contents in soils were determined using a  $\text{CaCl}_2$  method. The amount of the nitrogen derived from soil and atmosphere in the different plant organs was detected by using  $^{15}\text{N}$  isotope technique.

The obtained data showed that different results in the  $\text{N}_2$  fixation rate are achieved when calculating with different reference plants. The studies integrated *Brassica napus* as well as *Avena sativa* and the  $^{15}\text{N}$  enrichment of the plant organs of the dicotyledon *Brassica napus* showed constantly higher  $^{15}\text{N}$  values than the monocotyledon plant *Avena sativa* so that *Brassica napus* was more suitable as a reference plant.

At maturity the average amount of the  $\text{N}_2$  fixation of the monocrop *Vicia faba* was  $193.0 \text{ kg N ha}^{-1}$  (from  $17.9$  to  $379.7 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). *Pisum sativum* fixed  $141.3 \text{ kg N ha}^{-1}$  (from  $18.3$  to  $334.5 \text{ kg N ha}^{-1}$ ), *Lupinus albus*  $125.1 \text{ kg N ha}^{-1}$  (from  $5.8$  to  $284.0 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) and *Lupinus luteus*  $153.5 \text{ kg N ha}^{-1}$  (from  $53.7$  to  $291.8 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) respectively. In the mixed crop systems with *Avena sativa* the nodulating partner *Vicia faba* and *Pisum sativum* fixed an average amount of  $185.7 \text{ kg N ha}^{-1}$  (from  $30.5$  to  $318.7 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) and  $128.8 \text{ kg N ha}^{-1}$  (from  $34.5$  to  $256.4 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) respectively.

The absorption of inorganic soil N at full ripeness of *Vicia faba* was averaged out to  $69.0 \text{ kg N ha}^{-1}$  (from  $10.6$  to  $153.5 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). *Pisum sativum* as a grain crop used  $52.0 \text{ kg N ha}^{-1}$  (from  $1.1$  to  $138.4 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) of the mineral N, *Lupinus albus* took up  $90.8 \text{ kg N ha}^{-1}$  (from  $25.8$  to  $178.0 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) while it was  $83.8 \text{ kg N ha}^{-1}$  (from  $21.5$  to  $169.9 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) at *Lupinus luteus*. *Vicia faba* as mixed crop with *Avena sativa* took up  $57.1 \text{ kg N ha}^{-1}$  (from  $30.6$  to  $318.7 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) and *Pisum sativum* as mixed crop absorbed  $63.9 \text{ kg N ha}^{-1}$  (from  $11.2$  to  $184.2 \text{ kg N ha}^{-1}$ ).

The atmospherically derived N in shoots and roots of *Pisum sativum* at milky ripeness was about  $100.4 \text{ kg N ha}^{-1}$  (from  $40.8$  to  $188.3 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) on average and the

mean amount of the soil derived N came to 51.8 kg N ha<sup>-1</sup> (from 11.2 to 89.4 kg N ha<sup>-1</sup>).

In mixed stands with *Avena sativa* harvested as total plant silage the nodulating partner *Vicia faba* on average used 53.6 kg N ha<sup>-1</sup> (from 2.6 to 108.6 kg N ha<sup>-1</sup>) of the plant available N in soil and *Pisum sativum* 50.5 kg N ha<sup>-1</sup> (from 11.7 to 110.8 kg N ha<sup>-1</sup>). In this utilization of *Vicia faba* the contents of nitrogen derived from atmosphere was 122.8 kg N ha<sup>-1</sup> on average (from 5.5 to 226.3 kg N ha<sup>-1</sup>), at *Pisum sativum* 100.9 kg N ha<sup>-1</sup> (from 30.8 to 185.8 kg N ha<sup>-1</sup>) were found. Only small differences between soil N and N derived from atmosphere could be determined between the tested varieties of one species.

The N<sub>2</sub> fixation is inter alia affected by numerous environmental factors like the particle size distribution of the soil, nutrients (especially nitrate), and further climatic influences. With help of the great amount of data obtained of this field trial close correlations between corn yield and the total plant N (shoot and root) accumulated and the N derived from atmosphere were found and these data were used to deduce the N balance of the tested grain legumes.

Calculating the simple N balance *Vicia faba* came up to mean values from -24.8 to +75.8 kg N ha<sup>-1</sup>. These data rose up to mean values between -5.1 and +111.8 kg N ha<sup>-1</sup> including the N rhizodeposition. The simple N balances from *Pisum sativum* at milky ripeness achieved between -12.6 and +130.2 kg N ha<sup>-1</sup> and at maturity between -45.6 and +47.5 kg N ha<sup>-1</sup>. Using the extended N balance these varieties were calculated from -8.9 to +132.7 kg N ha<sup>-1</sup> and from -39.0 to +69.8 kg N ha<sup>-1</sup> respectively. Calculating the simple N balance *Lupinus albus* and *Lupinus luteus* ranged from -36.0 to +68.3 kg N ha<sup>-1</sup> and from -61.8 to +28.1 kg N ha<sup>-1</sup> respectively. These values were shifted in the extended N balance from -26.3 to +111.6 kg N ha<sup>-1</sup> and from -44.8 to +56.9 kg N ha<sup>-1</sup> respectively.

As total plant silage the simple N balance of the nodulating partner *Vicia faba* achieved an amplitude between -29.4 and +44.3 kg N ha<sup>-1</sup> and between -28.7 and +32.3 kg N ha<sup>-1</sup> for *Pisum sativum*. Including the N rhizodeposition the calculation for *Vicia faba* came up to values between -11.6 and +66.8 kg N ha<sup>-1</sup> and for *Pisum sativum* between -19.5 and +36.4 kg N ha<sup>-1</sup> respectively. In the mixed crops the nodulating partner *Vicia faba* showed simple N balances between +8.4 and +94.7 kg N ha<sup>-1</sup> when harvested at maturity, *Pisum sativum* ranged between +3.6 and +59.8 kg N ha<sup>-1</sup>. Harvested as grain crops the extended N calculation came up to values between +17.3 and +140.3 kg N ha<sup>-1</sup> for *Vicia faba* and to +10.2 and +76.6 kg N ha<sup>-1</sup> for *Pisum sativum* respectively.

By consulting the determined data and assessed amounts of N released by rhizodeposition of the leguminous plants to the soil an already existing method for calculat-

ing the N balance (SCHMIDTKE 2001) was used to hand over a model to the agricultural and water engineering advisory service. The calculation model is relatively easy because the grain yield is the factor needed to deduce the N<sub>2</sub> fixation rate and the N balance of the grain legumes integrated in the field trial.

The data used in this discourse was obtained from a three year lasting field trial on four varying locations spread over Lower Saxony and is used for the calculation of the N<sub>2</sub> fixation rate and N balance of different grain legumes (SCHMIDTKE 2001). The transfer of the calculating charts to agricultural and water engineering advisory service is desirable because the project was as well carried out in cooperation with the Agricultural Chamber in Hanover (Lower Saxony). The close correlations of the yield data might enable a transcription on further regions with temperate climate. Because of advanced demands on environmental and structural conditions such as increasing prices of raw oil one can expect a change in agricultural practices in favour of regenerative N nutrition of the field crops. One main aspect of this discourse was to make a contribution to the protection of natural resources.

## 13 Literatur

- AG BODENKUNDE, 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.), 4. Aufl. Hannover.
- ANTHES, J.G. & REITER, K., 2001: Wurzel-Biomasse-Bestimmung. Unveröffentlichtes Manuskript. Abteilung Pflanzenbau des Institutes für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Göttingen.
- AVELINE, A., DOMENACH, A.M., CARROUEE, B. & CROZAT, Y., 1998: Compared effects of pea and wheat cultivation on the soil nitrogen balance: Results of the follow-up of a long term trial. 3<sup>rd</sup> european conference on Grain Legumes. Valladolid.
- BENDA, L., 1995: Das Quartär Deutschlands. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover (Hrsg.). Berlin, Stuttgart.
- BENGOUGH, A.G., CASTRIGNANO, A., PAGÈS L. & VAN NOORDWIJK, M., 2000: Sampling strategies, scaling, and statistics. In: SMIT, S.L., BENGOUGH, A.G., ENGELS, C., VAN NOORDWIJK, M., PELLERIN, S., VAN DE GEIJN, S.C. (Hrsg.). Root Methods. A handbook. Springer, Berlin, Heidelberg, New York. 147-173.
- BÖHM, W., MADUAKOR, H. & TAYLOR, H.M., 1977: Comparison of five methods for characterizing soybean rooting density and development. *Agronomy Journal* 69, 415-419.
- BRUNNER, H. & ZAPATA, F., 1984: Quantitative assessment of symbiotic nitrogen fixation in diverse mutant lines of field bean (*Vicia faba minor*). *Plant and Soil* 82, 407-413.
- BULSON, H.A., SNAYDON, R.W. & STOPES, C.E., 1997: Effects of plant density on intercropped wheat and field beans in an organic farming system. *Journal of agricultural science* 128, 59-71.
- DANSO, S.K.A., ZAPATA, F. & HARDARSON, G., 1987: Nitrogen fixation in fababeans as affected by plant population density in sole or intercropped systems with barley.
- DIN 19683, 1973: Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung nach Vorbehandlung mit Natriumpyrophosphat. Deutscher Normenausschuß, Blatt 2.
- DOUGHTON, J.A., SAFFIGNA, P.G., VALLIS, I. & MAYER, R.J., 1995: Nitrogen fixation in chickpea. II Comparison of <sup>15</sup>N enrichment and <sup>15</sup>N natural abundance methods for estimating nitrogen fixation. *Australian Journal of Agricultural Research* 46, 225-236.

- DREYMANN, S., LOGES, R. & TAUBE, F., 2002: Ertrag und N<sub>2</sub>-Fixierungsleistung unterschiedlicher Leguminosen-Bestände und deren Wirkung auf die Ertragsleistung der Folgefrucht Winterweizen bei variiertes organischer Düngung. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 14, 125-126.
- DUFNER, J., JENSEN, U. & SCHUMACHER, E., 1992: Statistik mit SAS. Verlag B.G. Teubner, Stuttgart.
- Evans, J., O'Connor, G.E., Turner, G.L., Coventry, D.R., Fettell, N. Mahoney, J., Armstrong, E.L. & Walsgott, D.N., 1989: N<sub>2</sub> fixation and its value to soil N increase in lupin, field pea and other legumes in south eastern australia. Australian Journal of Agricultural Research 40, 791-805.
- FAN, X.H., TANG, C. & RENGEL, Z., 2002: Nitrate uptake, nitrate reductase distribution and their relation to proton release in five nodulated grain legumes. Annals of botany 90, 315-323.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION), 2003: FAOSTAT Database, Internetrecherche Juni 2003.
- FLESSA, H., RUSER, R., DÖRSCH, P., KAMP, T., JIMENEZ, M.A., MUNCH, J.C. & BEESE, F., 2002: Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) from two farming systems in southern Germany. Agriculture, Ecosystems and Environment 91, 175-189.
- FREDE, H.G. & DABBERT, S., 1999 (Hrsg.): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft, (Hrsg.), 2. Aufl., Bobingen.
- GUTSCHICK, V.P., 1980: Energy flows in the nitrogen cycle, especially in fixation. In: NEWTON, W.E. & ORME-JOHNSON, W.H. (Hrsg.): Nitrogen fixation. Baltimore, University Park Press, 17-27.
- HAAS, G., GEIER, U., SCHULZ, D.G. & KÖPKE, U., 1995: Vergleich Konventioneller und Organischer Landbau – Teil I: Klimarelevante Kohlendioxid-Emission durch den Verbrauch fossiler Energie. Berichte über Landwirtschaft. 73, 401-415.
- HAUGGAARD-NIELSEN, H. & KLINDT, A., 2000: Intercropping grain legumes and cereals in organic cropping systems. Grain Legumes 30, 18-19.
- HAUSER, S., 1987: Schätzung der symbiotisch fixierten Stickstoffmenge von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) mit erweiterten Differenzmethoden. Diss. (agr.) Universität Göttingen.
- HÖGBERG, P., 1997: Tansley review no. 95. 15N natural abundance in soil-plant systems. New Phytology 137, 179-203.
- HOWIESON, J., FILLARY, I., LEGOCKI, A., SIKORSKI, M., STEPKOWSKI, T., MINCHIN, F. & DILWORTH, M., 1998: Nodulation, nitrogen fixation and nitrogen balance. In: Gladstones, J., Atkins, C., Hamblin, J. (eds.): Lupins as Crop Plants. CAB International, Wallingford, 149-180.

- JENSEN, E.S., 1986: Symbiotic N<sub>2</sub> Fixation in pea and field bean estimated by <sup>15</sup>N fertilizer dilution in field experiments with barley as a reference crop. *Plant and Soil* 92(1), 1-158.
- JENSEN, E.S., 1996a: Barley uptake of N Deposited in the rhizosphere of associated field pea. *Soil Biology and Biochemistry* 28, 159-168.
- JENSEN, E.S., 1996b: grain yield, symbiotic N<sub>2</sub> fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant and Soil* 182, 13-23.
- JENSEN, E.S., 1996c: grain yield, symbiotic N<sub>2</sub> fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops. *Plant and Soil* 182, 25-38.
- JENSEN, E.S., 1996d: Rhizodeposition of N by pea and barley and its effect on soil N dynamics. *Soil Biology and Biochemistry* 28, 65-71.
- JUNK, G. & SVEC, H.V, 1958: The absolute abundance of the nitrogen isotopes in the atmosphere and compressed gas from various sources. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 14, 234-243.
- JUSTUS, M., 1996: Optimierung des Anbaues von Ackerbohnen: Reduzierung von Nitratverlusten und Steigerung der Vorfruchtwirkung zu Sommergetreide. Dissertation. Universität Bonn.
- KAUL, H.-P., AUFHAMMER, W. & WÄGNER, W., 1996: Dry matter and nitrogen accumulation and residues of oil and protein crops. *European Journal of Agronomy* 5, 137-147.
- KHAN, D.F., PEOPLES, M.B., CHALK, P.M. & HERRIDGE, D.F., 2002: Quantifying below-ground nitrogen of legumes. 1. Optimizing for <sup>15</sup>N shoot-labelling. *Plant and Soil* 245, 327-334.
- KHAN, D.F., PEOPLES, M.B., CHALK, P.M. & HERRIDGE, D.F., 2002: Quantifying below-ground nitrogen of legumes. 2. A comparison of <sup>15</sup>N and non isotopic methods. *Plant and Soil* 239, 277-289.
- KILIAN, S., 1994: Stickstoffkreislauf in einem *Vicia faba* Feld. Diss. Universität Marburg.
- KÖNIG, N. & H. FORTMANN, 1996: Probenvorbereitung, Untersuchungs- und Elementbestimmungsmethoden des Umweltanalytiklabors der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt und des Zentrallabors des Forschungszentrums Waldökosysteme, Teil 1 und 2, Bericht des Forschungszentrum Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 47.
- KUMAR, K. & GOH, K., 2000: Biological nitrogen fixation, accumulation of soil nitrogen and nitrogen balance for white clover (*Trifolium repens* L.) and field pea (*Pisum sativum* L.) grown for seed. *Field Crops Research* 68, 49-59.
- LA RUE, T.A. & PATTERSON, T.G., 1981: How much nitrogen do legumes fix? *Advances in Agronomy* 34, 15-38.

- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER, 1998: Düngungsrichtlinien. Referat Boden, Düngung, Beregnung (Hrsg.). Hannover.
- LAYZELL, D.B. & MOLONEY, A.H.M., 1994: Dinitrogen fixation. In: Physiology and determination of crop yield. Ed. by Boote, K.J., Bennett, J.M., Sinclair, T.R. & Paulsen, G.M.. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 311-335.
- LEDGARD, S.F. & PEOPLES, M.B., 1988: Measurement of nitrogen fixation in the field. In: Wilson, J.R. (Ed.), Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Ecosystems. CAB International, Wallington, U.K., 351-367.
- LÜER, B. & BÖHMER, A., 2000: Vergleich zwischen Perkolat und Extraktion mit 1 M  $\text{NH}_4\text{Cl}$ -Lösung zur Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität ( $\text{KAK}_{\text{eff}}$ ) von Böden. Journal of Plant Nutrition 163, 555-557.
- MARGGRAF, R. & WILHELM, J., 1996 in: Potentiale und Perspektiven des Körnerleguminosenabbaus in Deutschland. UFOP-Schriften 3, 1-16.
- MARIOTTI, A., 1983: Atmospheric nitrogen is a reliable standard for natural  $^{15}\text{N}$  abundance measurements. Nature 303, 685-687.
- MARIOTTI, A., MARIOTTI, F., AMARGER, N., PIZELLE, G., NGAMBI, J.M., CHAMPIGHNY, M.L. & MOYSE, A., 1980: Fractionnement isotopique de l'azote minéral des nitrates et de fixation de l'azote atmosphérique par les plants. Physiologie Vegetale 18, 163-181.
- MARTIN, M.P.L.D. & SNAYDON, R.W. 1982: Intercropping barley and beans. I. Effects of planting patterns. Experimental Agriculture 18, 139-148.
- MAYER, J., BUEGGER, F., JENSEN, E.S., SCHLOTTER, M. & HESS, J., 2003: Estimating N rhizodeposition of grain legumes using a  $^{15}\text{N}$  in situ stem labelling method. Soil Biology and Biochemistry 35, 21-28.
- MCAULIFFE, C., CHAMBLEE, D.S., URIBE-ARANGO, H. & WOOSHOUSE, W.W., JR., 1958: Influence of inorganic nitrogen on nitrogen fixation by legumes as revealed by N. Agronomy Journal 50, 334-337.
- MCINTOSH, M.S., 1983: Analysis of combines experiments. Agronomy Journal 75, 153-155.
- MOSCHREFI, N., 1983: Ein neues Verfahren der Schlämmanalyse für die Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung. Mitteilungen der Bodenkundlichen Gesellschaft 38, 115-118.
- MUNZERT, M., 1992: Einführung in das pflanzenbauliche Versuchswesen: Grundlagen und Praxis des Versuchswesens im landwirtschaftlichen, gärtnerischen und forstwirtschaftlichen, gärtnerischen und forstwirtschaftlichen Pflanzenbau. Berlin, Hamburg.
- PATYK, A. & REINHARDT, G.A., 1997: Düngemittel – Energie- und Stoffstrombilanzen. Verlag Vieweg, Braunschweig.

- PEOPLES, M.B., FAIZAH, A.W., RERKASEM, B. & HERRIDGE, B. (Eds.), 1989: Methods for Evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field monograph no. 11 ACIAR (Australian Centre for International Agricultural Research), Canberra, 1-69.
- PLARRE, W. 1999: Lupinen. In: KELLER, E.R. (Hrsg.): Handbuch des Pflanzenbaues, Bd. 3: Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. Ulmer, Stuttgart.
- RÄTZ, D., 1998: Räumliche Variabilität pflanzlicher Kenngrößen der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen. Untersuchung mit Hilfe der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode in Ackerschlägen. Dipl. (agr.) Universität Göttingen.
- RÄTZ, D., SCHMIDTKE, K. & RAUBER, R., 1997: Räumliche Variabilität der luft- und bodenbürtigen N-Aufnahme von Leguminosen innerhalb von Ackerflächen. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 10, 289-290.
- REITER, K., 2001: Einfluß langjährig differenzierter Bodenbearbeitung auf die  $\text{N}_2$ -Fixierleistung von Erbse und Rotklee, ermittelt mit Hilfe einer großflächigen  $^{15}\text{N}$ -Spurenanreicherung. Diss. (agr.) Universität Göttingen.
- REITER, K., SCHMIDTKE, K. & RAUBER, R., 2002: Estimation of symbiotic  $\text{N}_2$  fixation by a low-level, large-scale  $^{15}\text{N}$ -application technique. Soil Biology and Biochemistry 34, 303-314.
- RENNIE, R. & DEBUTZ, S., 1986: Nitrogen-15 determined dinitrogen fixation in field-grown chickpea, lentil, faba bean and field pea. Agronomy Journal 78, 654-660.
- RENNIE, R.J. & RENNIE, D.A., 1983: Techniques for quantifying  $\text{N}_2$  fixation in association with nonlegumes under field and greenhouse conditions. Canadian Journal of Microbiology 29, 1022-1035.
- RICHARDS, L.A. & FIREMAN, M., 1943: Pressure plate apparatus for measuring sorption and transmission by soils. Soil Science 56, 395-404.
- ROCHESTER, I.J., PEOPLES, M.B., CONSTABLE, G.A. & GAULT, R.R., 1998: Faba beans and other legumes add nitrogen to irrigated cotton cropping systems. Australian Journal of Experimental Agriculture 38, 253-260.
- RUSCHEL, A.P., VOSE, P.B., VICTORIA, R.L. & SALATI, E., 1979: Comparisons of isotope techniques and non-nodulating isolines to study the effect of ammonium fertilization.
- RUSSELL, C.A. & FILLERY, I.R.P., 1996: Estimates of lupin below-ground biomass nitrogen, dry matter, and nitrogen turnover to wheat. Australian Journal of Agricultural Research 47, 1047-1059.
- SACHS, L., 1992: Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden. 7. neu bearbeitete Aufl., Springer Verlag, Berlin.



- SAS-INSTITUTE INC., 1999: Statistical analysis system, Release 8.01. Cary, NC USA.
- SAWATSKY, N. & SOPER, R.J., 1991: A quantitative measurement of the nitrogen loss from the root system of field peas (*Pisum arvense* L.) grown in the soil. *Soil Biology and Biochemistry* 23, 255-259.
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P., 1989: Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart.
- SCHMIDTKE, K., 1996: Methodik zur Ermittlung der N-Flächenbilanz beim Anbau von Leguminosen. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 9, 43-44.
- SCHMIDTKE, K., 1997a: Einfluß von Rotklee (*Trifolium pratense* L.) in Reinsaat und Gemenge mit Poaceen auf symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung, bodenbürtige N-Aufnahme und CaCl<sub>2</sub>-extrahierbare N-Fractionen im Boden. Diss. (agr.) Universität Gießen.
- SCHMIDTKE, K., 1997b: Schätzverfahren zur Ermittlung der N-Flächenbilanz bei Leguminosen. *VDLUFA-Schriftenreihe* 46, Kongressband 1997, 659-662.
- SCHMIDTKE, K., 1997c: Stickstoff-Fixierleistung und N-Flächenbilanz beim Anbau von Erbsen (*Pisum sativum* L.) unterschiedlichen Wuchstyps in Reinsaat und Gemengesaat mit Hafer (*Avena sativa* L.). *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, 10, 63-64.
- SCHMIDTKE, K., 2001: Umweltgerechter Anbau von Leguminosen – Entwicklung und Anwendung eines Verfahrens zur Quantifizierung der N-Flächenbilanz (Az. 07312). Abschlußbericht des Forschungsvorhabens, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück (Dezember 2001), 1-234.
- SCHMIDTKE, K., 2002: Nitrogen rhizodeposition of the pea and grasspea. Submitted to *Soil Biology and Biochemistry*.
- SCHMIDTKE, K., 2003: Methods for estimating legume N balance. Habilitationsschrift. Universität Göttingen (in Vorbereitung).
- SCHÜLLER, H., 1969: Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 122, 48-63.
- SCHUVO, 1996: Verordnung über Schutzbestimmungen in Wasserschutzgebieten des Landes Niedersachsen (SchuVO).
- SCHWENKE, G., PEOPLES, G., TURNER, G. & HERRIDGE, D., 1998: Does nitrogen fixation of commercial dryland chickpea and faba bean crops in north-west New South Wales maintain or enhance soil nitrogen? *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38, 61-70. (zitiert in UNKOVICH et al. 2000)
- SHAPIRO, S.S. & WILK, M.B., 1965: An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52, 591-611.

- SHEARER, G. & KOHL, D., 1986: N<sub>2</sub>-fixation in field settings: Estimations based on natural <sup>15</sup>N abundance. *Australian Journal of Plant Physiology* 13, 699-756.
- SMITH, C.J., BOND, W.J. & POLGLASE, P.J., 1996: Estimating gaseous and leaching losses of nitrogen under effluent-irrigated plantations. In: Bond, W.J (ed.) *Measurement and management of nitrogen losses for groundwater protection in agricultural production systems*. Land and water resources research and development corporation, Canberra, 78-86, Occasional Paper 08/96.
- STÖCKMANN-BECKER, E., 1998 in: *Situation des Körnerleguminosenanbaus in Deutschland*. UFOP-Schriften 8.
- STÜLPNAGEL, R., 1982: Schätzung der von Ackerbohnen symbiontisch fixierten Stickstoffmenge im Feldversuch mit der erweiterten Differenzmethode. *Zeitschrift für Acker- u. Pflanzenbau* 151, 446-458.
- TUKEY, J.W., 1953: *The problem of multiple comparisons*. Princeton University. unpublished report. Zit. In: Sachs, L., 1999: *Statistische Methoden 2 – Planung und Auswertung*. Springer Verlag, Berlin.
- UNKOVICH, J.M. & PATE, J.S., 2000: An appraisal of recent field measurements of symbiotic N<sub>2</sub> fixation by annual legumes. *Field Crops Research* 65, 211-228.
- UNKOVICH, M.J., PATE, J.S. & HAMBLIN, M.J., 1994: The nitrogen economy of broadacre lupin in south-west Australia. *Australian Journal for Agricultural Research* 45, 149-164.
- UNKOVICH, M.J., PATE, J.S. & SANFORD, P., 1997: Nitrogen fixation by annual legumes in Australian Mediterranean agriculture. *Australian Journal for Agricultural Research* 48, 267-293.
- VAN KESSEL, C., 1994: Seasonal accumulation and partitioning of nitrogen by lentil. *Plant and Soil* 164, 69-76.
- VAN NOORDWIJK, M., FLORIS, J. & DE JAGER, A., 1985: Sampling schemes for estimating root density distribution in cropped fields. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 33, 241-262.
- VDLUFA, 1991: *VDLUFA Methodenhandbuch Band I. Die Untersuchung von Böden* (Hrsg.). 4. Auflage. VDLUFA-Verlag Darmstadt.
- WEHRMANN, HJ., SCHARPF, H.-C. & KUHLMANN H., 1988: The Nmin-method, an aid to improve nitrogen efficiency in plant production. *Nitrogen efficiency in agricultural soils* (eds. Jenkinson and Smith), Elsevier Applied Science London and New York, 38-45.
- WITTY, J.F., 1983: Estimating N<sub>2</sub>-fixation in the field using <sup>15</sup>N-labelled fertilizer: Some problems and solutions. *Soil Biology and Biochemistry* 27, 571-574.





## **14 Anhang**



## 11.1 Versuchspläne

Abb. A 1: Versuchsanlage des Projektteiles Körnerleguminosen der Untersuchungsstandorte Borwede und Groß Malchau

1	Scirocco	25	Juno	Block I
2	Caspar	26	Lutz	
3	Alfred	27	Bardo	
4	Bohatyr	28	Scirocco/Lutz	
5	Eiffel	29	Petranova	
6	Loto	30	Nelly	
7	Swing	31	Refusa Nova	
8	Nevado	32	Eiffel/Lutz	
9	Bardo	33	Loto	Block II
10	Nelly	34	Bohatyr	
11	Juno	35	Caspar	
12	Refusa Nova	36	Nevado	
13	Scirocco/Lutz	37	Eiffel	
14	Eiffel/Lutz	38	Scirocco	
15	Lutz	39	Swing	
16	Petranova	40	Alfred	
17	Nelly	41	Petranova	Block III
18	Eiffel	42	Scirocco/Lutz	
19	Eiffel/Lutz	43	Swing	
20	Nevado	44	Bohatyr	
21	Caspar	45	Lutz	
22	Bardo	46	Refusa Nova	
23	Alfred	47	Juno	
24	Scirocco	48	Loto	

### Versuchsaufbau:

Blockanlage: 16 Varianten à 2 Beete, 3 Blöcke

Abb. A 2: Versuchsanlage des Projektteiles Körnerleguminosen der Untersuchungsstandorte Föhrste und Göttingen

1	Scirocco		22	Nelly	Block I
2	Caspar		23	Petranova	
3	Alfred		24	Nevado	
4	Bohatyr		25	Eiffel/Lutz	
5	Eiffel		26	Bardo	
6	Loto		27	Lutz	
7	Swing		28	Scirocco/Lutz	
8	Nevado		29	Eiffel	Block II
9	Bardo		30	Alfred	
10	Nelly		31	Swing	
11	Scirocco/Lutz		32	Scirocco	
12	Eiffel/Lutz		33	Bohatyr	
13	Lutz		34	Loto	
14	Petranova		35	Caspar	
15	Swing		36	Bohatyr	Block III
16	Lutz		37	Scirocco	
17	Eiffel		38	Eiffel/Lutz	
18	Petranova		39	Nelly	
19	Caspar		40	Loto	
20	Nevado		41	Bardo	
21	Alfred		42	Scirocco/Lutz	

Versuchsaufbau:

Blockanlage: 14 Varianten à 2 Beete, 3 Blöcke



## 11.2 Daten der Arten und Sorten

Tab. A 1: Prüfglieder der Untersuchungsstandorte

Arten	Sorten
Ackerbohne ( <i>Vicia faba</i> L.) in Reinsaat	Scirocco
Ackerbohne ( <i>Vicia faba</i> L.) in Reinsaat	Caspar
Ackerbohne ( <i>Vicia faba</i> L.) in Reinsaat	Alfred
Erbse ( <i>Pisum sativum</i> L.) in Reinsaat	Bohatyr
Erbse ( <i>Pisum sativum</i> L.) in Reinsaat	Eiffel
Erbse ( <i>Pisum sativum</i> L.) in Reinsaat	Loto
Erbse ( <i>Pisum sativum</i> L.) in Reinsaat	Swing
Erbse ( <i>Pisum sativum</i> L.) in Reinsaat	Nevado
Weißer Lupine ( <i>Lupinus albus</i> L.) in Reinsaat	Bardo
Weißer Lupine ( <i>Lupinus albus</i> L.) in Reinsaat	Nelly
Gelber Lupine ( <i>Lupinus luteus</i> L.) in Reinsaat	Juno
Gelber Lupine ( <i>Lupinus luteus</i> L.) in Reinsaat	Refusa Nova
Gemenge: Ackerbohne/Hafer	Scirocco/Lutz (Ganzpflanzensilage und Körnernutzung)
Gemenge: Erbse/Hafer	Eiffel/Lutz (Ganzpflanzensilage und Körnernutzung)
Hafer in Reinsaat	Lutz
Sommerraps in Reinsaat	Petranova

Tab. A 2: Erntetermine der Arten an den Standorten

Prüfglieder	Art	B	F	G	M
Reinsaat	<i>Vicia faba</i>	10.08.99	26.08.99	30.07.99	29.07.99
		21.08.00	17.08.00	23.08.00	22.08.00
		15.08.01	30.08.01	17.08.01	16.08.01
	<i>Pisum sativum</i> <sup>1</sup>	28.06.99	27.07.99	21.06.99	29.06.99
		28.06.00	27.06.00	26.06.00	29.06.00
		12.07.01	16.07.01	08.07.01	09.07.01
	<i>Pisum sativum</i> <sup>2</sup>	22.07.99	19.08.99	17.07.99	23.07.99
		01.08.00	08.08.00	07.08.00	02.08.00
		07.08.01	13.08.01	31.07.01	06.08.01
	<i>Lupinus albus</i>	10.08.99	27.09.99	12.08.99	29.07.99
		05.09.00	13.09.00	29.08.01	06.09.00
		06.09.01	06.09.01	--	27.08.01
	<i>Lupinus luteus</i>	10.08.99	--	--	29.07.99
		05.09.00	--	--	27.08.01
		06.09.01	--	--	--
Referenzpflanzen	<i>Avena sativa</i>	28.06.99	27.07.99	21.06.99	29.06.99
		22.07.99	19.08.99	17.07.99	23.07.99
		28.06.00	27.06.00	26.06.00	29.06.00
		01.08.00	08.08.00	07.08.00	02.08.00
		12.07.01	16.07.01	08.07.01	09.07.01
	<i>Brassica napus</i>	07.08.01	13.08.01	31.07.01	06.08.01
		28.06.99	27.07.99	21.06.99	29.06.99
		22.07.99	19.08.99	17.07.99	23.07.99
		10.08.99	26.08.99	30.07.99	29.07.99
		28.06.00	27.09.99	12.08.99	29.06.00
		01.08.00	27.06.00	26.06.00	02.08.00
		21.08.00	08.08.00	07.08.00	22.08.00
		05.09.00	17.08.00	23.08.00	06.09.00
		12.07.01	13.09.00	08.07.01	09.07.01
		07.08.01	16.07.01	31.07.01	06.08.01
15.08.01	13.08.01	17.08.01	16.08.01		
06.09.01	30.08.01	29.08.01	27.08.01		
--	06.09.01	--	--		
Gemenge	<i>Vicia faba/Avena sativa</i> <sup>2</sup>	28.06.99	27.07.99	21.06.99	29.06.99
		28.06.00	27.06.00	26.06.00	29.06.00
		12.07.01	16.07.01	08.07.01	09.07.01
	<i>Vicia faba/Avena sativa</i> <sup>3</sup>	10.08.99	26.08.99	30.07.99	29.07.99
		21.08.00	17.08.00	23.08.00	22.08.00
		15.08.01	30.08.01	17.08.01	16.08.01
	<i>Pisum sativum/Avena sativa</i> <sup>2</sup>	28.06.99	27.07.99	21.06.99	29.06.99
		28.06.00	27.06.00	26.06.00	29.06.00
		12.07.01	16.07.01	08.07.01	09.07.01
	<i>Pisum sativum/Avena sativa</i> <sup>3</sup>	22.07.99	19.08.99	17.07.99	23.07.99
		01.08.00	08.08.00	07.08.00	02.08.00
		07.08.01	13.08.01	31.07.01	06.08.01

<sup>1</sup>Grünpfeiseerbse, <sup>2</sup>Ganzpflanzensilage, <sup>3</sup>Körnernutzung, B - Borwede, F - Föhrste, G - Göttingen, M - Groß Malchau

Tab. A 3:  $\delta^{15}\text{N}_0$ -Werte der auf N-freiem Substrat angezogenen legumen Prüfglieder in ‰

Pflanzenart und	-sorte	Spross	Wurzel	gesamtpflanzliches gewogenes Mittel
Ackerbohne cv.	Alfred	-0,365	-0,631	-0,446
	Caspar	-0,178	-0,239	-0,199
	Scirocco	0,093	0,243	0,084
Grünpfeisererbse cv.	Nevado	-0,694	-0,610	-0,630
Körnererbse cv.	Bohatyr	-0,326	0,285	-0,192
	Eiffel	-0,278	0,062	-0,224
	Loto	-0,587	0,032	-0,467
	Swing	0,007	0,864	0,144
Weiße Lupine cv.	Bardo	-0,907	2,232	-0,202
	Nelly	-0,993	2,242	-0,375
Gelbe Lupine cv.	Juno	-1,353	2,929	-0,510
	Refusa Nova	-1,323	2,912	-0,499

### 11.3 Trockenmassedaten der Prüfglieder

Tab. A 4: Ackerbohne - Trockenmasseerträge und  $H_{\text{TMBt}}$  (Trockenmasse-Harvest-Index der gesamten Biomasse ohne Blattfall) als Mittelwerte aus drei Wiederholungen

Jahr	Standort und Sorte	Stroh dt ha <sup>-1</sup>	SD	Korn dt ha <sup>-1</sup>	SD	Wurzel dt ha <sup>-1</sup>	SD	Blattfall dt ha <sup>-1</sup>	SD	$H_{\text{TMBt}}$ %	SD
1999	Alfred	72,5	3,3	46,1	2,2	15,7	4,9	11,0	3,1	34,3	1,0
	Caspar	64,1	14,3	51,7	11,8	19,9	5,8	11,1	1,1	38,3	6,1
	Scirocco	71,8	3,5	53,3	9,3	18,3	2,6	8,9	1,2	37,1	4,7
2000	Alfred	54,7	3,7	39,5	8,2	8,5	1,6	3,5	2,0	38,2	3,8
	Caspar	43,7	7,3	45,6	14,8	7,4	1,1	7,3	4,5	46,4	5,2
	Scirocco	57,1	3,7	59,8	9,2	11,3	3,4	6,3	1,8	46,5	3,5
2001	Alfred	80,9	18,6	59,0	10,5	13,3	1,9	11,9	6,5	38,6	0,8
	Caspar	53,3	4,7	61,8	14,5	16,6	2,8	13,5	3,3	46,5	5,8
	Scirocco	73,6	8,1	61,0	9,9	14,4	1,7	17,8	5,9	40,8	2,7
	<b>Föhrste</b>	<b>Stroh</b>	<b>SD</b>	<b>Korn</b>	<b>SD</b>	<b>Wurzel</b>	<b>SD</b>	<b>Blattfall</b>	<b>SD</b>	<b><math>H_{\text{TMBt}}</math></b>	<b>SD</b>
1999	Alfred	70,6	22,7	34,3	10,3	26,3	10,9	1,6	0,7	25,9	1,8
	Caspar	52,7	3,2	30,4	1,4	46,1	8,8	2,1	0,2	23,6	1,7
	Scirocco	50,0	10,2	25,7	2,5	32,2	18,7	1,9	0,8	24,9	5,9
2000	Alfred	48,2	8,1	43,5	7,3	18,8	5,8	5,3	2,3	39,1	3,4
	Caspar	39,6	7,7	46,4	11,9	12,7	4,5	7,8	1,8	46,7	6,0
	Scirocco	50,2	6,0	56,8	5,8	16,3	3,8	6,0	2,7	46,0	1,5
2001	Alfred	80,8	9,8	58,2	15,5	12,6	7,4	n.e.	n.e.	38,0	5,9
	Caspar	51,2	16,6	38,6	15,5	11,3	4,1	n.e.	n.e.	37,4	3,8
	Scirocco	72,0	5,4	50,4	3,8	19,3	12,8	n.e.	n.e.	35,6	2,1
	<b>Göttingen</b>	<b>Stroh</b>	<b>SD</b>	<b>Korn</b>	<b>SD</b>	<b>Wurzel</b>	<b>SD</b>	<b>Blattfall</b>	<b>SD</b>	<b><math>H_{\text{TMBt}}</math></b>	<b>SD</b>
1999	Alfred	50,2	5,7	53,5	5,4	20,2	3,5	5,1	1,4	43,2	2,6
	Caspar	42,5	13,5	51,5	4,9	24,6	18,0	6,0	0,7	43,9	8,6
	Scirocco	48,3	1,5	61,4	2,5	10,8	1,4	8,9	2,5	50,9	1,2
2000	Alfred	62,1	11,8	57,3	6,3	15,8	1,3	3,7	4,1	42,5	1,6
	Caspar	35,8	6,6	47,6	7,3	17,1	2,3	8,9	2,6	47,4	0,7
	Scirocco	43,2	4,2	55,1	4,4	16,2	2,7	8,9	2,4	48,2	3,8
2001	Alfred	41,1	4,1	43,6	4,0	8,7	1,3	5,1	0,5	46,7	4,3
	Caspar	27,7	4,6	36,9	2,2	7,6	4,3	2,2	1,5	51,2	3,0
	Scirocco	42,9	5,7	45,4	5,7	11,2	3,4	6,7	0,7	45,6	2,9
	<b>Groß Malchau</b>	<b>Stroh</b>	<b>SD</b>	<b>Korn</b>	<b>SD</b>	<b>Wurzel</b>	<b>SD</b>	<b>Blattfall</b>	<b>SD</b>	<b><math>H_{\text{TMBt}}</math></b>	<b>SD</b>
1999	Alfred	25,6	5,6	15,7	6,0	6,3	2,2	4,5	0,5	32,9	11,8
	Caspar	26,0	7,9	11,3	7,4	4,8	1,7	4,4	1,5	27,0	17,4
	Scirocco	26,2	4,8	18,3	3,4	6,9	3,1	5,1	0,9	35,8	4,8
2000	Alfred	30,6	1,7	18,0	0,6	3,7	0,4	2,3	1,2	34,4	1,8
	Caspar	19,3	11,0	16,7	2,6	6,3	2,4	3,0	1,0	42,1	14,4
	Scirocco	24,4	7,5	19,4	9,0	6,1	2,3	4,6	1,8	37,8	5,5
2001	Alfred	25,4	4,7	22,9	7,5	5,8	0,9	5,6	2,7	41,7	3,7
	Caspar	21,9	3,7	30,9	5,4	8,8	2,7	7,7	3,0	50,3	1,5
	Scirocco	31,8	7,6	34,6	7,9	7,3	0,2	8,1	3,9	46,9	4,4

SD = Standardabweichung, n.e. = nicht erhoben

Tab. A 5: Grünspeiseerbse - Trockenmasseerträge und  $H_{\text{TMBt}}$  (Trockenmasse-Harvest-Index der gesamten Biomasse ohne Blattfall) als Mittelwerte aus drei Wiederholungen

	Standort und Sorte	Stroh	SD	Korn	SD	Wurzel	SD	Blattfall	SD	$H_{\text{TMBt}}$	SD
	Borwede	dt ha <sup>-1</sup>		dt ha <sup>-1</sup>		dt ha <sup>-1</sup>		dt ha <sup>-1</sup>		%	
1999	Nevado	56,1	10,1	8,4	1,1	2,6	0,9	n.e.	n.e.	12,9	3,2
2000	Nevado	63,8	11,3	5,2	1,6	5,1	1,7	n.e.	n.e.	6,9	0,8
2001	Nevado	66,5	14,3	2,4	0,8	1,9	0,5	n.e.	n.e.	3,4	1,0
	Föhrste	Stroh	SD	Korn	SD	Wurzel	SD	Blattfall	SD	$H_{\text{TMBt}}$	SD
1999	Nevado	43,1	4,7	21,1	4,2	4,3	1,7	n.e.	n.e.	30,6	2,7
2000	Nevado	35,8	6,4	12,0	1,2	3,1	1,1	n.e.	n.e.	23,8	2,4
2001	Nevado	45,8	4,9	12,9	1,4	3,2	0,7	n.e.	n.e.	20,8	0,2
	Göttingen	Stroh	SD	Korn	SD	Wurzel	SD	Blattfall	SD	$H_{\text{TMBt}}$	SD
1999	Nevado	45,8	5,6	13,8	2,8	1,8	0,4	n.e.	n.e.	22,3	3,2
2000	Nevado	39,3	5,5	8,7	1,5	3,2	0,5	n.e.	n.e.	16,9	0,8
2001	Nevado	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	Groß Malchau	Stroh	SD	Korn	SD	Wurzel	SD	Blattfall	SD	$H_{\text{TMBt}}$	SD
1999	Nevado	26,1	5,8	14,1	1,9	2,2	0,3	n.e.	n.e.	33,5	4,3
2000	Nevado	41,6	7,5	8,1	6,2	3,4	2,0	n.e.	n.e.	14,3	8,1
2001	Nevado	24,3	4,5	15,0	3,8	1,8	0,2	n.e.	n.e.	36,3	2,2

SD = Standardabweichung, n.e. = nicht erhoben

Tab. A 6: Körnererbse - Trockenmasseerträge und  $H_{\text{TMBt}}$  (Trockenmasse-Harvest-Index der gesamten Biomasse ohne Blattfall) als Mittelwerte aus drei Wiederholungen

	Standort und Sorte Borwede	Stroh dt ha <sup>-1</sup>	SD	Korn dt ha <sup>-1</sup>	SD	Wurzel dt ha <sup>-1</sup>	SD	Blattfall dt ha <sup>-1</sup>	SD	$H_{\text{TMBt}}$ %	SD
1999	Bohatyr	61,3	5,9	38,3	17,4	7,2	2,0	n.e.	n.e.	34,8	10,7
	Eiffel	62,4	5,8	44,0	3,2	4,1	0,9	n.e.	n.e.	39,8	3,3
	Loto	50,3	13,2	49,1	7,0	4,1	n.e.	n.e.	n.e.	47,7	2,4
	Swing	55,4	16,3	45,2	9,2	3,2	1,1	n.e.	n.e.	43,8	4,6
2000	Bohatyr	54,9	17,9	41,8	12,7	3,4	2,1	n.e.	n.e.	41,7	2,8
	Eiffel	53,6	9,7	43,0	19,7	2,9	0,6	n.e.	n.e.	41,6	11,1
	Loto	51,8	1,5	66,6	8,6	4,9	1,0	n.e.	n.e.	53,9	3,0
	Swing	39,3	10,0	41,4	10,4	3,4	0,5	n.e.	n.e.	49,1	1,4
2001	Bohatyr	63,9	15,4	29,7	14,7	1,4	0,7	n.e.	n.e.	30,0	5,8
	Eiffel	92,3	13,7	50,0	19,0	1,8	0,6	n.e.	n.e.	33,9	8,2
	Loto	53,0	12,2	37,5	17,4	1,3	0,3	n.e.	n.e.	39,7	7,4
	Swing	58,5	21,2	43,2	12,5	1,0	0,3	n.e.	n.e.	42,3	4,6
	<b>Föhrste</b>	<b>Stroh</b>	<b>SD</b>	<b>Korn</b>	<b>SD</b>	<b>Wurzel</b>	<b>SD</b>	<b>Blattfall</b>	<b>SD</b>	<b><math>H_{\text{TMBt}}</math></b>	<b>SD</b>
1999	Bohatyr	45,1	2,6	34,1	2,6	2,6	1,1	n.e.	n.e.	41,7	2,7
	Eiffel	42,3	2,8	42,0	5,3	2,6	0,1	n.e.	n.e.	48,2	2,6
	Loto	37,8	5,3	43,7	11,2	3,4	1,7	n.e.	n.e.	51,1	3,0
	Swing	50,5	10,3	45,0	7,0	1,9	0,5	n.e.	n.e.	46,3	1,3
2000	Bohatyr	48,4	10,8	37,1	6,4	4,0	0,9	n.e.	n.e.	41,7	8,5
	Eiffel	46,5	8,2	41,8	9,1	2,5	1,2	n.e.	n.e.	45,9	2,1
	Loto	40,5	6,0	48,0	1,3	4,1	1,2	n.e.	n.e.	52,0	3,4
	Swing	41,9	8,4	40,8	10,8	1,7	0,6	n.e.	n.e.	48,1	2,0
2001	Bohatyr	85,4	34,0	45,7	3,4	4,1	1,6	n.e.	n.e.	35,4	9,4
	Eiffel	69,9	11,1	46,5	3,5	3,8	1,9	n.e.	n.e.	38,8	3,7
	Loto	51,2	13,1	32,2	12,9	4,1	0,8	n.e.	n.e.	35,9	5,2
	Swing	58,8	9,5	44,6	6,8	2,5	1,5	n.e.	n.e.	42,2	5,9
	<b>Göttingen</b>	<b>Stroh</b>	<b>SD</b>	<b>Korn</b>	<b>SD</b>	<b>Wurzel</b>	<b>SD</b>	<b>Blattfall</b>	<b>SD</b>	<b><math>H_{\text{TMBt}}</math></b>	<b>SD</b>
1999	Bohatyr	46,2	8,3	43,2	1,3	2,6	0,5	n.e.	n.e.	47,2	4,6
	Eiffel	44,2	9,4	52,0	4,0	2,5	0,8	n.e.	n.e.	52,9	2,8
	Loto	43,3	3,3	57,9	2,6	3,2	1,3	n.e.	n.e.	55,5	1,3
	Swing	45,1	3,6	51,0	3,4	2,5	1,0	n.e.	n.e.	51,8	1,3
2000	Bohatyr	35,9	8,1	38,8	8,1	4,0	1,6	n.e.	n.e.	49,4	8,0
	Eiffel	45,2	8,5	41,8	5,5	2,9	0,1	n.e.	n.e.	46,6	2,2
	Loto	32,8	1,7	40,7	3,9	3,4	0,8	n.e.	n.e.	52,9	1,0
	Swing	43,2	5,4	41,6	5,2	2,9	0,5	n.e.	n.e.	47,5	4,7
2001	Bohatyr	40,5	6,6	31,9	7,5	3,0	1,4	n.e.	n.e.	41,9	3,0
	Eiffel	39,4	0,5	37,5	5,4	2,3	0,2	n.e.	n.e.	47,3	3,4
	Loto	31,2	1,9	36,0	2,7	3,3	1,5	n.e.	n.e.	51,1	1,1
	Swing	31,9	2,2	32,8	2,2	3,1	1,3	n.e.	n.e.	48,4	3,1
	<b>Groß Malchau</b>	<b>Stroh</b>	<b>SD</b>	<b>Korn</b>	<b>SD</b>	<b>Wurzel</b>	<b>SD</b>	<b>Blattfall</b>	<b>SD</b>	<b><math>H_{\text{TMBt}}</math></b>	<b>SD</b>
1999	Bohatyr	32,6	10,1	20,1	8,4	3,3	2,0	n.e.	n.e.	35,0	4,6
	Eiffel	34,4	3,2	27,8	2,5	1,1	0,4	n.e.	n.e.	44,0	1,0
	Loto	31,0	6,5	33,4	8,7	1,9	0,7	n.e.	n.e.	50,3	1,2
	Swing	30,2	2,4	26,6	3,9	2,7	2,1	n.e.	n.e.	44,6	3,5
2000	Bohatyr	48,1	6,5	24,9	4,3	3,5	0,6	n.e.	n.e.	32,4	2,5
	Eiffel	47,5	17,6	25,9	12,3	1,4	1,5	n.e.	n.e.	33,6	4,7
	Loto	37,7	4,6	29,3	5,5	1,5	0,8	n.e.	n.e.	42,6	2,4
	Swing	57,5	18,7	29,0	3,5	1,8	1,8	n.e.	n.e.	33,8	6,9
2001	Bohatyr	27,3	2,5	27,0	3,3	1,7	0,8	n.e.	n.e.	48,1	3,0
	Eiffel	37,6	5,2	39,1	12,3	2,1	0,5	n.e.	n.e.	48,9	4,4
	Loto	20,9	1,4	26,3	4,7	1,5	0,5	n.e.	n.e.	53,9	2,7
	Swing	21,3	6,8	23,2	11,6	2,0	0,3	n.e.	n.e.	48,0	7,9

SD = Standardabweichung, n.e. = nicht erhoben

Tab. A 7: Weiße Lupine – Trockenmasseerträge und  $H_{TMBt}$  (Trockenmasse-Harvest-Index der gesamten Biomasse ohne Blattfall) als Mittelwerte aus drei Wiederholungen

	Standort und Sorte Borwede	Stroh dt ha <sup>-1</sup>	SD	Korn dt ha <sup>-1</sup>	SD	Wurzel dt ha <sup>-1</sup>	SD	Blattfall dt ha <sup>-1</sup>	SD	$H_{TMBt}$ %	SD
1999	Bardo	49,5	6,8	25,5	6,6	20,1	7,8	8,3	0,7	26,8	3,7
	Nelly	81,6	5,4	14,6	4,1	13,6	1,9	7,7	1,7	13,1	2,5
2000	Bardo	49,7	38,3	14,4	1,6	6,8	3,9	1,9	1,0	25,3	13,4
	Nelly	92,4	40,4	13,2	6,0	13,2	10,0	8,6	2,6	14,4	13,3
2001	Bardo	68,0	26,2	26,2	4,5	10,9	8,3	8,3	2,9	26,5	8,8
	Nelly	125,7	13,4	9,3	5,7	13,9	7,9	9,5	4,8	6,0	2,9
	Föhrste	Stroh	SD	Korn	SD	Wurzel	SD	Blattfall	SD	$H_{TMBt}$	SD
1999	Bardo	55,9	7,5	25,8	4,4	15,6	5,8	3,3	0,7	26,6	1,9
	Nelly	79,8	5,0	28,8	6,7	14,8	1,1	6,2	1,8	23,2	4,3
2000	Bardo	50,2	5,9	33,5	13,0	4,9	0,8	6,0	2,4	37,1	9,5
	Nelly	79,0	29,4	32,5	4,8	7,8	4,7	6,9	1,0	28,5	7,6
2001	Bardo	71,5	21,0	24,8	9,7	11,3	2,3	n.e.	n.e.	23,2	7,0
	Nelly	102,7	10,7	16,1	11,1	11,4	6,0	n.e.	n.e.	12,0	6,8
	Göttingen	Stroh	SD	Korn	SD	Wurzel	SD	Blattfall	SD	$H_{TMBt}$	SD
1999	Bardo	83,9	11,6	33,4	9,9	22,6	18,4	4,0	3,4	23,6	3,3
	Nelly	49,4	13,7	36,4	10,5	11,1	6,1	4,7	2,2	37,7	1,2
2000	Bardo	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	0,0	0,0
	Nelly	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	0,0	0,0
2001	Bardo	25,3	1,8	15,7	2,7	3,4	1,5	3,4	0,6	35,3	4,2
	Nelly	44,1	6,7	23,4	9,4	7,9	2,5	4,2	1,5	30,1	6,0
	Groß Malchau	Stroh	SD	Korn	SD	Wurzel	SD	Blattfall	SD	$H_{TMBt}$	SD
1999	Bardo	23,7	2,8	16,9	1,0	7,7	2,9	n.e.	n.e.	35,0	1,3
	Nelly	34,7	6,7	12,3	3,8	7,0	1,7	n.e.	n.e.	22,5	2,3
2000	Bardo	32,5	5,6	24,6	12,0	4,6	0,7	1,7	0,6	38,5	9,6
	Nelly	36,7	21,1	17,4	5,1	7,4	4,7	1,6	0,6	29,6	4,7
2001	Bardo	26,3	14,2	13,4	5,1	5,5	2,5	5,3	2,8	31,5	6,0
	Nelly	33,5	18,7	15,7	7,1	8,5	3,8	5,0	2,4	28,8	6,6

SD = Standardabweichung, n.e. = nicht erhoben

Tab. A 8: Gelbe Lupine - Trockenmasseerträge und  $H_{\text{TMBt}}$  (Trockenmasse-Harvest-Index der gesamten Biomasse ohne Blattfall) als Mittelwerte aus drei Wiederholungen

	Standort und Sorte Borwede	Stroh dt ha <sup>-1</sup>	SD	Korn dt ha <sup>-1</sup>	SD	Wurzel dt ha <sup>-1</sup>	SD	Blattfall dt ha <sup>-1</sup>	SD	$H_{\text{TMBt}}$ %	SD
1999	Juno	42,3	2,4	35,1	4,3	9,2	1,6	5,9	0,6	40,5	2,5
	Refusa Nova	46,5	0,8	29,3	7,3	9,1	2,6	2,2	2,0	34,1	4,9
2000	Juno	69,5	8,1	32,8	15,9	9,8	1,3	3,6	1,1	28,3	11,1
	Refusa Nova	75,7	12,9	25,3	4,5	8,5	1,8	5,2	1,6	23,4	5,4
2001	Juno	79,3	14,2	26,8	7,4	6,2	1,1	6,7	1,3	23,5	2,8
	Refusa Nova	77,8	9,9	27,4	3,2	5,6	2,2	4,5	2,3	24,8	1,0
	Groß Malchau	Stroh	SD	Korn	SD	Wurzel	SD	Blattfall	SD	$H_{\text{TMBt}}$	SD
1999	Juno	32,1	3,3	14,2	2,3	6,5	1,6	n.e.	n.e.	26,8	2,6
	Refusa Nova	28,2	10,4	11,5	2,6	7,4	4,4	n.e.	n.e.	24,2	2,1
2000	Juno	39,6	15,2	14,9	6,7	4,2	0,8	1,5	0,7	24,8	2,8
	Refusa Nova	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
2001	Juno	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	Refusa Nova	28,5	n.e.	17,1	n.e.	7,2	n.e.	8,3	n.e.	n.e.	n.e.

SD = Standardabweichung, n.e. = nicht erhoben



Tab. A 9: Ackerbohne/Hafer-Gemenge - Trockenmasseerträge und  $H_{\text{TMBt}}$  (Trockenmasse-Harvest-Index der gesamten Biomasse ohne Blattfall) als Mittelwerte aus drei Wiederholungen

	Standort und Sorte	Erntegut	SD	<sup>3</sup> Ernterest	SD	Wurzel	SD	Blattfall	SD	$H_{\text{TMBt}}$	SD
	Borwede	dt ha <sup>-1</sup>		dt ha <sup>-1</sup>		dt ha <sup>-1</sup>		dt ha <sup>-1</sup>		%	
1999	<sup>1</sup> Scirocco	81,6	1,8	8,9	2,9	11,7	1,8	0,0	1,1	79,9	3,2
	<sup>1</sup> Lutz	26,7	1,6	3,5	1,7	8,6	2,3	0,0	1,0	69,2	5,4
	<sup>2</sup> Scirocco	44,6	8,5	45,7	3,3	10,0	2,1	6,7	1,4	41,5	3,8
	<sup>2</sup> Lutz	6,5	1,6	17,5	0,7	5,8	1,7	0,0	0,0	21,6	2,7
2000	<sup>1</sup> Scirocco	43,5	5,6	5,8	1,4	4,3	2,6	0,0	0,0	81,6	4,2
	<sup>1</sup> Lutz	39,8	18,3	3,5	2,0	14,0	5,1	0,0	0,0	67,0	16,2
	<sup>2</sup> Scirocco	19,4	11,0	33,8	9,6	7,2	2,3	5,8	1,0	28,0	13,6
	<sup>2</sup> Lutz	16,0	3,2	16,6	2,3	11,3	3,5	0,0	0,0	36,4	4,1
2001	<sup>1</sup> Scirocco	63,7	6,5	4,8	0,0	4,6	0,8	0,0	0,8	87,2	0,7
	<sup>1</sup> Lutz	30,3	2,6	3,1	0,0	5,7	0,4	0,0	0,4	77,5	2,6
	<sup>2</sup> Scirocco	43,7	6,8	54,5	1,2	14,0	5,1	7,6	6,2	36,6	5,0
	<sup>2</sup> Lutz	7,4	4,0	21,4	0,9	4,0	3,5	0,0	0,0	21,6	3,7
	Föhrste	Erntegut	SD	<sup>3</sup> Ernterest	SD	Wurzel	SD	Blattfall	SD	$H_{\text{TMBt}}$	SD
1999	<sup>1</sup> Scirocco	45,8	9,2	3,1	0,6	10,2	3,0	0,0	0,0	77,2	4,9
	<sup>1</sup> Lutz	46,1	9,6	3,8	1,8	9,5	0,4	0,0	0,0	77,4	2,3
	<sup>2</sup> Scirocco	23,7	2,5	39,6	1,3	7,6	3,2	1,0	0,3	33,0	0,4
	<sup>2</sup> Lutz	13,4	1,0	24,9	5,3	7,7	3,6	1,0	0,3	29,1	4,3
2000	<sup>1</sup> Scirocco	23,8	2,0	3,2	0,9	2,8	0,6	0,0	0,6	80,2	3,9
	<sup>1</sup> Lutz	35,6	9,7	5,7	1,8	11,5	3,0	0,0	3,0	66,7	6,7
	<sup>2</sup> Scirocco	25,2	2,5	26,0	3,3	7,8	2,5	2,9	0,6	40,8	2,9
	<sup>2</sup> Lutz	20,8	4,0	19,8	5,5	3,6	0,6	0,0	0,0	47,3	2,0
2001	<sup>1</sup> Scirocco	52,0	6,4	6,8	1,7	13,0	1,5	0,0	0,0	72,4	3,0
	<sup>1</sup> Lutz	18,2	4,6	2,1	0,6	8,3	1,3	0,0	0,0	63,1	8,5
	<sup>2</sup> Scirocco	46,0	4,4	55,4	7,3	9,8	0,7	0,0	0,0	41,4	3,0
	<sup>2</sup> Lutz	2,7	1,1	9,6	3,1	1,3	0,2	0,0	0,0	19,9	5,6
	Göttingen	Erntegut	SD	<sup>3</sup> Ernterest	SD	Wurzel	SD	Blattfall	SD	$H_{\text{TMBt}}$	SD
1999	<sup>1</sup> Scirocco	44,2	8,9	4,3	0,4	7,4	1,4	0,0	0,0	78,7	4,7
	<sup>1</sup> Lutz	28,1	11,9	4,0	1,7	10,8	8,0	0,0	0,0	66,4	8,4
	<sup>2</sup> Scirocco	43,7	8,7	36,0	1,1	10,2	8,3	4,3	0,4	46,6	1,9
	<sup>2</sup> Lutz	24,9	10,8	56,9	0,5	8,1	1,0	0,0	0,0	27,1	2,4
2000	<sup>1</sup> Scirocco	40,2	2,5	3,3	0,5	10,4	4,7	0,0	4,7	75,1	6,2
	<sup>1</sup> Lutz	16,5	3,3	1,5	0,2	5,7	2,9	0,0	2,9	69,6	9,2
	<sup>2</sup> Scirocco	52,8	6,7	39,4	1,8	9,5	0,4	2,8	3,2	50,3	3,8
	<sup>2</sup> Lutz	5,0	1,5	12,3	4,7	1,5	0,4	0,0	0,0	26,9	1,2
2001	<sup>1</sup> Scirocco	30,1	3,2	3,0	0,3	4,7	1,3	0,0	0,0	79,7	2,9
	<sup>1</sup> Lutz	22,8	2,7	1,9	0,6	8,4	1,9	0,0	0,0	68,6	5,1
	<sup>2</sup> Scirocco	37,2	9,8	29,3	8,8	6,6	0,9	4,6	1,5	47,9	1,0
	<sup>2</sup> Lutz	16,4	3,0	16,0	2,0	5,2	2,2	0,0	0,0	43,6	2,1
	Groß Malchau	Erntegut	SD	<sup>3</sup> Ernterest	SD	Wurzel	SD	Blattfall	SD	$H_{\text{TMBt}}$	SD
1999	<sup>1</sup> Scirocco	27,8	9,5	2,3	1,3	6,1	1,3	0,0	0,0	75,8	5,7
	<sup>1</sup> Lutz	27,3	5,4	2,4	0,4	16,5	7,6	0,0	0,0	60,0	6,9
	<sup>2</sup> Scirocco	7,0	2,1	9,9	4,2	5,4	2,2	1,4	0,0	30,5	5,9
	<sup>2</sup> Lutz	12,3	5,2	11,1	3,9	3,0	1,3	0,0	0,0	45,9	4,6
2000	<sup>1</sup> Scirocco	16,9	2,3	2,8	1,1	2,1	0,7	0,0	0,0	77,8	5,6
	<sup>1</sup> Lutz	29,1	14,5	4,6	0,5	11,8	5,6	0,0	0,0	62,7	7,9
	<sup>2</sup> Scirocco	9,4	6,0	16,0	3,2	1,3	0,3	1,1	0,9	31,8	8,8
	<sup>2</sup> Lutz	17,5	2,7	20,4	1,8	4,1	3,3	0,0	0,0	41,5	2,5
2001	<sup>1</sup> Scirocco	21,7	0,9	2,4	0,1	4,4	1,2	0,0	0,0	76,3	2,4
	<sup>1</sup> Lutz	34,4	10,3	2,7	0,9	5,2	1,3	0,0	0,0	81,1	3,1
	<sup>2</sup> Scirocco	20,2	3,7	18,6	4,1	4,2	2,2	5,1	0,7	42,2	6,9
	<sup>2</sup> Lutz	12,8	3,6	34,4	10,3	3,2	1,9	0,0	0,0	26,2	10,6

<sup>1</sup>Ganzpflanzensilage, <sup>2</sup>Körnernutzung, <sup>3</sup>Stoppel zur Ganzpflanzensilage, Stroh zur Körnernutzung, SD = Standardabweichung, n.e. = nicht erhoben

Tab. A 10: Erbse/Hafer-Gemenge - Trockenmasseerträge und  $H_{TMBt}$  (Trockenmasse-Harvest-Index der gesamten Biomasse ohne Blattfall) als Mittelwerte aus drei Wiederholungen

	Standort und Sorte	Erntegut	SD	<sup>3</sup> Ernterest	SD	Wurzel	SD	Blattfall	SD	$H_{TMBt}$	SD
	Borwede	dt ha <sup>-1</sup>		dt ha <sup>-1</sup>		dt ha <sup>-1</sup>		dt ha <sup>-1</sup>		%	
1999	<sup>1</sup> Eiffel	72,8	2,2	2,4	0,4	2,7	0,6	n.e.	n.e.	93,4	0,2
	<sup>1</sup> Lutz	26,6	1,3	2,7	0,5	5,5	1,2	n.e.	n.e.	76,5	1,6
	<sup>2</sup> Eiffel	50,3	8,9	46,5	1,5	2,3	1,0	n.e.	n.e.	50,5	4,8
	<sup>2</sup> Lutz	17,0	6,5	33,9	13,6	9,4	3,0	n.e.	n.e.	29,2	12,1
2000	<sup>1</sup> Eiffel	60,5	7,5	1,6	0,2	2,0	1,0	n.e.	n.e.	94,5	1,0
	<sup>1</sup> Lutz	21,6	0,9	2,9	1,2	4,5	1,9	n.e.	n.e.	74,5	5,7
	<sup>2</sup> Eiffel	40,7	9,5	46,3	11,0	4,3	2,3	n.e.	n.e.	44,7	4,7
	<sup>2</sup> Lutz	11,4	4,2	24,3	21,9	7,2	1,9	n.e.	n.e.	29,6	7,7
2001	<sup>1</sup> Eiffel	69,4	10,0	0,8	0,0	0,3	0,3	n.e.	n.e.	98,4	0,4
	<sup>1</sup> Lutz	30,5	2,4	2,5	0,5	3,6	1,5	n.e.	n.e.	83,3	3,2
	<sup>2</sup> Eiffel	38,8	7,5	48,3	11,0	0,6	0,3	n.e.	n.e.	44,4	5,7
	<sup>2</sup> Lutz	10,3	7,5	30,5	16,6	4,4	3,8	n.e.	n.e.	21,7	5,7
	Föhrste	Erntegut	SD	<sup>3</sup> Ernterest	SD	Wurzel	SD	Blattfall	SD	$H_{TMBt}$	SD
1999	<sup>1</sup> Eiffel	52,1	14,5	1,0	1,0	6,5	1,9	n.e.	n.e.	86,7	5,5
	<sup>1</sup> Lutz	37,5	13,0	3,2	1,9	4,2	1,6	n.e.	n.e.	83,1	6,0
	<sup>2</sup> Eiffel	24,0	3,2	25,9	4,5	1,5	0,4	n.e.	n.e.	46,7	2,1
	<sup>2</sup> Lutz	11,8	5,9	32,7	13,3	2,0	1,1	n.e.	n.e.	24,8	4,8
2000	<sup>1</sup> Eiffel	39,2	3,2	1,4	0,2	1,2	0,4	n.e.	n.e.	93,9	0,8
	<sup>1</sup> Lutz	36,4	5,2	3,9	1,4	10,9	3,2	n.e.	n.e.	71,0	2,8
	<sup>2</sup> Eiffel	44,8	2,4	63,8	20,9	1,8	0,5	n.e.	n.e.	41,6	8,6
	<sup>2</sup> Lutz	24,2	5,2	30,8	9,3	5,5	1,9	n.e.	n.e.	40,3	2,5
2001	<sup>1</sup> Eiffel	71,5	6,5	0,0	0,0	2,2	0,4	n.e.	n.e.	95,9	1,3
	<sup>1</sup> Lutz	11,2	3,3	0,0	0,0	1,7	0,6	n.e.	n.e.	76,1	6,6
	<sup>2</sup> Eiffel	38,9	3,5	56,1	4,8	2,6	0,8	n.e.	n.e.	39,9	3,2
	<sup>2</sup> Lutz	0,9	0,6	8,2	5,9	0,6	0,4	n.e.	n.e.	9,6	1,1
	Göttingen	Erntegut	SD	<sup>3</sup> Ernterest	SD	Wurzel	SD	Blattfall	SD	$H_{TMBt}$	SD
1999	<sup>1</sup> Eiffel	52,6	1,7	1,7	0,4	6,5	1,9	n.e.	n.e.	86,7	2,3
	<sup>1</sup> Lutz	31,2	2,8	3,3	0,5	4,2	1,6	n.e.	n.e.	80,9	3,0
	<sup>2</sup> Eiffel	36,1	6,7	29,5	2,8	1,5	0,4	n.e.	n.e.	53,5	3,2
	<sup>2</sup> Lutz	21,2	1,0	59,8	8,1	2,0	1,1	n.e.	n.e.	25,7	1,4
2000	<sup>1</sup> Eiffel	40,8	11,3	1,0	0,1	2,8	1,4	n.e.	n.e.	91,3	3,2
	<sup>1</sup> Lutz	18,7	1,7	1,3	0,3	4,9	2,4	n.e.	n.e.	75,6	6,1
	<sup>2</sup> Eiffel	26,6	3,6	24,7	7,9	3,9	3,2	n.e.	n.e.	48,5	2,2
	<sup>2</sup> Lutz	10,0	0,7	18,0	0,4	5,4	5,0	n.e.	n.e.	30,3	5,3
2001	<sup>1</sup> Eiffel	30,4	5,9	0,9	0,2	1,8	1,3	n.e.	n.e.	33,0	7,3
	<sup>1</sup> Lutz	34,7	7,0	3,1	0,9	11,7	5,6	n.e.	n.e.	49,5	6,1
	<sup>2</sup> Eiffel	15,4	4,1	15,9	2,7	1,9	0,1	n.e.	n.e.	33,3	6,8
	<sup>2</sup> Lutz	25,6	7,7	26,5	2,8	13,0	4,8	n.e.	n.e.	65,1	15,1
	Groß Malchau	Erntegut	SD	<sup>3</sup> Ernterest	SD	Wurzel	SD	Blattfall	SD	$H_{TMBt}$	SD
1999	<sup>1</sup> Eiffel	39,1	4,7	1,2	0,2	1,2	0,5	n.e.	n.e.	94,0	2,1
	<sup>1</sup> Lutz	21,5	3,2	2,3	1,0	5,4	3,3	n.e.	n.e.	75,0	8,9
	<sup>2</sup> Eiffel	14,1	3,7	17,4	2,1	0,8	0,0	n.e.	n.e.	43,2	7,8
	<sup>2</sup> Lutz	10,6	0,6	11,6	2,0	5,7	0,6	n.e.	n.e.	38,0	3,6
2000	<sup>1</sup> Eiffel	35,5	9,8	1,4	0,7	0,4	0,1	n.e.	n.e.	95,1	2,1
	<sup>1</sup> Lutz	29,3	12,7	2,9	0,6	7,8	1,8	n.e.	n.e.	71,6	7,8
	<sup>2</sup> Eiffel	13,4	5,1	29,9	4,0	1,5	0,3	n.e.	n.e.	29,2	5,1
	<sup>2</sup> Lutz	8,8	3,4	9,5	4,9	10,2	3,6	n.e.	n.e.	31,3	5,0
2001	<sup>1</sup> Eiffel	35,3	5,8	0,6	0,1	1,2	0,3	n.e.	n.e.	95,0	1,2
	<sup>1</sup> Lutz	26,2	6,5	1,6	1,0	3,4	1,7	n.e.	n.e.	83,4	5,6
	<sup>2</sup> Eiffel	17,5	8,7	16,4	5,5	1,1	0,2	n.e.	n.e.	48,8	4,8
	<sup>2</sup> Lutz	11,6	5,2	16,6	7,0	2,5	1,3	n.e.	n.e.	37,6	3,9

<sup>1</sup>Ganzpflanzensilage, <sup>2</sup>Körnernutzung, <sup>3</sup>Stoppel zur Ganzpflanzensilage, Stroh zur Körnernutzung, SD = Standardabweichung, n.e. = nicht erhoben

## 11.4 Stickstoffdaten der Prüfglieder

Tab. A 11: Ackerbohne – Stickstoff-Erträge und  $H_{NBt}$  (N-Harvest-Index der gesamten Biomasse) als Mittelwerte aus drei Wiederholungen

Jahr	Standort und Sorte	Stroh-N kg ha <sup>-1</sup>	SD	Korn-N kg ha <sup>-1</sup>	SD	Wurzel-N kg ha <sup>-1</sup>	SD	<sup>1</sup> Blattfall-N kg ha <sup>-1</sup>	SD	$H_{NBt}$ %	SD
1999	Alfred	50,3	9,0	180,2	20,6	15,1	7,5	30,4	7,5	65,2	1,8
	Caspar	46,5	7,4	185,4	60,9	18,2	8,0	46,3	8,0	61,5	12,4
	Scirocco	52,7	2,0	208,7	38,1	13,2	2,9	26,5	2,9	69,0	4,6
2000	Alfred	68,4	17,3	176,6	40,0	5,4	1,2	13,9	1,2	66,4	3,4
	Caspar	63,5	10,4	174,9	53,0	7,2	2,7	27,7	2,7	63,8	1,5
	Scirocco	70,7	8,5	250,8	37,1	8,9	2,8	24,4	2,8	70,5	1,9
2001	Alfred	76,5	6,7	254,0	48,9	12,1	3,4	30,2	3,4	67,7	6,0
	Caspar	54,8	18,7	231,0	56,5	13,7	3,2	39,7	3,2	67,5	11,1
	Scirocco	75,0	8,7	259,5	48,4	16,7	7,9	50,9	7,9	64,3	8,6
	<b>Föhrste</b>	<b>Stroh-N</b>	<b>SD</b>	<b>Korn-N</b>	<b>SD</b>	<b>Wurzel-N</b>	<b>SD</b>	<b><sup>1</sup>Blattfall-N</b>	<b>SD</b>	<b><math>H_{NBt}</math></b>	<b>SD</b>
1999	Alfred	103,7	24,3	137,4	40,1	36,0	23,7	5,7	24,3	48,3	5,4
	Caspar	90,1	16,4	112,3	5,9	60,3	13,3	6,8	16,4	41,7	1,4
	Scirocco	94,8	21,1	101,8	17,1	41,7	26,7	6,5	21,1	42,2	4,2
2000	Alfred	48,0	4,3	189,6	31,6	29,6	11,9	16,8	11,9	66,5	4,7
	Caspar	50,3	7,5	181,8	40,6	16,4	6,7	25,4	6,7	66,0	9,3
	Scirocco	55,0	4,6	254,6	26,5	17,9	1,8	17,5	1,8	73,7	2,6
2001	Alfred	67,4	10,6	248,3	63,8	10,7	6,0	43,6	6,0	66,6	5,3
	Caspar	63,7	20,5	147,8	59,7	12,6	4,3	25,8	4,3	58,4	3,0
	Scirocco	66,5	9,0	208,9	15,5	16,5	8,9	36,6	8,9	63,6	1,6
	<b>Göttingen</b>	<b>Stroh-N</b>	<b>SD</b>	<b>Korn-N</b>	<b>SD</b>	<b>Wurzel-N</b>	<b>SD</b>	<b><sup>1</sup>Blattfall-N</b>	<b>SD</b>	<b><math>H_{NBt}</math></b>	<b>SD</b>
1999	Alfred	46,5	3,4	214,1	35,4	19,1	4,3	12,2	4,3	73,2	2,4
	Caspar	47,1	14,5	199,3	28,3	24,3	15,5	15,7	15,5	69,4	6,9
	Scirocco	49,9	6,5	238,1	16,6	9,1	2,2	21,8	2,2	74,7	1,5
2000	Alfred	85,7	8,7	272,8	28,4	11,4	0,5	12,1	0,5	71,6	2,4
	Caspar	50,4	4,9	178,1	34,1	11,5	2,9	30,8	2,9	65,5	3,0
	Scirocco	59,2	10,7	254,4	14,5	11,9	2,3	29,5	2,3	71,7	4,8
2001	Alfred	32,9	5,5	196,3	20,6	6,8	1,6	14,1	1,6	78,3	4,1
	Caspar	32,7	9,4	150,0	4,9	8,6	6,5	7,1	6,5	75,7	2,9
	Scirocco	41,4	7,5	213,8	29,7	8,9	2,9	17,3	2,9	75,9	2,4
	<b>Groß Malchau</b>	<b>Stroh-N</b>	<b>SD</b>	<b>Korn-N</b>	<b>SD</b>	<b>Wurzel-N</b>	<b>SD</b>	<b><sup>1</sup>Blattfall-N</b>	<b>SD</b>	<b><math>H_{NBt}</math></b>	<b>SD</b>
1999	Alfred	30,1	16,6	66,1	25,1	8,2	2,2	10,0	2,2	57,4	15,4
	Caspar	29,0	14,2	42,8	27,3	6,0	2,3	9,1	2,3	46,6	25,8
	Scirocco	26,6	6,0	74,5	14,2	6,8	1,0	11,9	1,0	62,2	6,1
2000	Alfred	40,3	6,4	78,8	3,0	2,2	0,5	6,4	0,5	61,9	4,2
	Caspar	34,5	31,1	70,2	10,8	5,8	2,9	8,5	2,9	61,5	12,6
	Scirocco	27,8	5,4	86,4	38,8	4,7	1,8	9,9	1,8	65,6	6,6
2001	Alfred	24,1	9,0	107,7	32,3	3,5	0,6	16,7	0,6	70,4	9,9
	Caspar	24,5	4,9	125,9	20,6	9,0	4,6	22,5	4,6	69,0	3,7
	Scirocco	52,6	40,1	155,0	38,3	6,6	2,3	23,0	2,3	66,7	6,1

n.e. = nicht erhoben, SD = Standardabweichung, <sup>1</sup> fehlende Werte regressionsanalytisch kalkuliert

Tab. A 12: Grünspeiseerbse - Stickstoff-Erträge und  $H_{NBt}$  (N-Harvest-Index der gesamten Biomasse ohne Blattfall) als Mittelwerte aus drei Wiederholungen

	Standort und Sorte	Stroh-N	SD	Korn-N	SD	Wurzel-N	SD	Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
	Borwede	kg ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>		%	
1999	Nevado	140,7	23,6	34,9	5,6	5,4	2,4	n.e.	2,4	19,7	5,0
2000	Nevado	146,5	23,4	21,8	6,9	7,8	3,1	n.e.	3,1	12,3	2,5
2001	Nevado	162,0	29,5	11,4	4,1	2,9	0,9	n.e.	0,9	6,5	2,4
	Föhrste	Stroh-N	SD	Korn-N	SD	Wurzel-N	SD	Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
1999	Nevado	100,3	9,2	78,0	15,1	9,3	2,8	n.e.	9,2	41,3	3,1
2000	Nevado	69,0	23,2	52,5	4,1	5,3	1,5	n.e.	1,5	42,1	6,1
2001	Nevado	110,2	12,4	53,5	5,5	3,9	1,8	n.e.	1,8	31,9	0,3
	Göttingen	Stroh-N	SD	Korn-N	SD	Wurzel-N	SD	Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
1999	Nevado	96,5	11,4	54,4	8,7	3,9	1,0	n.e.	1,0	35,1	4,4
2000	Nevado	101,5	18,6	43,5	6,1	6,3	0,5	n.e.	0,5	28,8	0,8
2001	Nevado	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	Groß Malchau	Stroh-N	SD	Korn-N	SD	Wurzel-N	SD	Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
1999	Nevado	40,6	11,2	55,8	8,6	4,1	0,6	n.e.	0,6	55,8	5,7
2000	Nevado	99,3	10,6	36,0	27,2	6,9	4,7	n.e.	4,7	23,8	13,9
2001	Nevado	46,8	6,2	60,7	15,1	2,7	0,3	n.e.	0,3	54,6	4,5

n.e. = nicht erhoben, SD = Standardabweichung

Tab. A 13: Körnererbse - Stickstoff-Erträge und  $H_{NBT}$  (N-Harvest-Index der gesamten Biomasse ohne Blattfall) als Mittelwerte aus drei Wiederholungen

	Standort und Sorte Borwede	Stroh-N kg ha <sup>-1</sup>	SD	Korn-N kg ha <sup>-1</sup>	SD	Wurzel-N kg ha <sup>-1</sup>	SD	Blattfall-N kg ha <sup>-1</sup>	SD	$H_{NBT}$ %	SD
1999	Bohatyr	79,7	23,6	138,4	49,6	12,0	2,3	n.e.	2,3	59,0	14,6
	Eiffel	86,5	11,2	150,6	19,5	6,5	0,9	n.e.	0,9	61,7	5,0
	Loto	71,9	16,2	171,5	26,6	4,1	2,5	n.e.	2,5	69,5	2,2
	Swing	71,7	29,8	147,6	28,2	4,2	1,4	n.e.	1,4	66,5	6,7
2000	Bohatyr	55,1	11,7	161,7	51,0	6,1	3,2	n.e.	3,2	72,0	3,6
	Eiffel	47,7	13,6	149,5	63,4	4,5	1,5	n.e.	1,5	72,3	9,9
	Loto	69,1	14,5	255,3	36,4	8,6	1,6	n.e.	1,6	76,5	4,7
	Swing	33,4	8,6	135,9	31,6	4,8	1,0	n.e.	1,0	78,1	0,3
2001	Bohatyr	102,1	20,9	121,4	59,8	2,1	1,4	n.e.	1,4	51,7	8,6
	Eiffel	111,9	7,9	180,7	61,9	2,8	0,8	n.e.	0,8	59,9	10,2
	Loto	94,5	15,0	145,2	58,9	2,1	0,4	n.e.	0,4	58,7	11,8
	Swing	90,9	30,6	156,2	44,8	1,4	0,5	n.e.	0,5	63,1	1,4
	Föhrste	Stroh-N	SD	Korn-N	SD	Wurzel-N	SD	Blattfall-N	SD	$H_{NBT}$	SD
1999	Bohatyr	47,6	8,5	118,6	10,7	4,2	1,9	n.e.	8,5	69,6	3,3
	Eiffel	43,5	4,0	141,1	18,9	3,9	0,2	n.e.	4,0	74,7	3,5
	Loto	50,8	5,3	162,3	45,5	5,4	2,8	n.e.	5,3	73,7	4,4
	Swing	57,6	8,8	147,6	22,5	2,7	0,9	n.e.	8,8	71,0	1,7
2000	Bohatyr	45,9	21,2	131,8	14,4	6,0	1,3	n.e.	1,3	72,0	9,8
	Eiffel	35,8	10,0	132,7	25,4	3,4	1,7	n.e.	1,7	77,4	2,7
	Loto	46,4	14,0	157,9	7,1	5,7	1,8	n.e.	1,8	75,3	5,2
	Swing	32,8	7,2	129,9	28,9	2,4	1,0	n.e.	1,0	78,7	0,4
2001	Bohatyr	111,4	38,2	171,5	12,1	5,6	2,2	n.e.	2,2	60,2	7,5
	Eiffel	92,7	10,1	166,0	5,2	5,3	2,8	n.e.	2,8	62,9	1,8
	Loto	92,8	14,0	130,5	54,8	6,4	1,7	n.e.	1,7	55,2	8,4
	Swing	75,4	9,6	158,6	24,4	3,2	1,8	n.e.	1,8	66,7	4,5
	Göttingen	Stroh-N	SD	Korn-N	SD	Wurzel-N	SD	Blattfall-N	SD	$H_{NBT}$	SD
1999	Bohatyr	33,3	10,7	145,9	5,8	3,4	0,6	n.e.	0,6	80,1	3,6
	Eiffel	32,7	7,5	148,2	15,7	3,7	1,5	n.e.	1,5	80,4	1,3
	Loto	38,2	2,0	164,1	13,5	5,5	2,0	n.e.	2,0	78,9	0,9
	Swing	32,3	2,4	142,6	9,4	3,6	1,8	n.e.	1,8	79,9	1,7
2000	Bohatyr	43,7	9,9	151,6	28,7	6,2	3,0	n.e.	3,0	75,0	6,8
	Eiffel	50,3	6,5	147,8	22,1	4,0	0,5	n.e.	0,5	72,9	3,7
	Loto	54,5	10,3	145,4	18,9	3,7	3,3	n.e.	3,3	71,6	1,9
	Swing	49,0	5,8	149,8	16,5	4,3	0,7	n.e.	0,7	73,7	3,5
2001	Bohatyr	40,8	6,5	127,1	26,0	4,0	1,7	n.e.	1,7	73,6	3,7
	Eiffel	31,9	0,9	135,2	15,8	3,3	0,1	n.e.	0,1	79,2	2,2
	Loto	27,3	10,4	133,7	3,2	5,6	2,7	n.e.	2,7	80,6	6,4
	Swing	27,4	1,9	115,6	6,5	4,4	1,5	n.e.	1,5	78,4	1,7
	Groß Malchau	Stroh-N	SD	Korn-N	SD	Wurzel-N	SD	Blattfall-N	SD	$H_{NBT}$	SD
1999	Bohatyr	19,2	2,9	69,6	29,4	4,9	2,9	n.e.	2,9	72,6	8,1
	Eiffel	18,6	2,0	91,0	8,5	1,5	0,6	n.e.	0,6	81,9	0,8
	Loto	21,0	5,3	109,3	20,7	3,0	1,1	n.e.	1,1	82,1	1,4
	Swing	25,9	17,5	86,8	10,3	3,0	0,8	n.e.	0,8	76,3	8,4
2000	Bohatyr	48,8	2,6	105,6	9,0	3,3	1,8	n.e.	1,8	66,9	1,2
	Eiffel	49,3	22,4	104,5	45,6	1,8	2,0	n.e.	2,0	66,9	4,2
	Loto	45,2	6,5	109,2	26,8	1,9	1,0	n.e.	1,0	69,4	3,9
	Swing	45,8	18,6	109,3	11,9	2,7	2,9	n.e.	2,9	70,0	8,5
2001	Bohatyr	32,1	4,2	100,9	11,6	2,5	1,4	n.e.	1,4	74,4	4,0
	Eiffel	40,5	3,1	136,7	43,3	2,8	0,5	n.e.	0,5	75,2	4,6
	Loto	29,2	1,8	97,1	18,6	1,9	0,8	n.e.	0,8	75,5	1,9
	Swing	22,5	3,9	81,7	36,4	2,9	0,9	n.e.	0,9	74,4	7,8

n.e. = nicht erhoben, SD = Standardabweichung

Tab. A 14: Weiße Lupine – Stickstoff-Erträge und  $H_{NBt}$  (N-Harvest-Index der gesamten Biomasse) als Mittelwerte aus drei Wiederholungen

	Standort und Sorte	Stroh-N	SD	Korn-N	SD	Wurzel-N	SD	<sup>1</sup> Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
	Barwede	kg ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>		%	
1999	Bardo	63,5	12,4	139,6	38,3	14,9	1,8	22,4	1,8	57,5	7,2
	Nelly	122,7	28,1	80,5	23,4	9,2	1,4	21,7	1,4	34,3	7,2
2000	Bardo	84,3	59,0	81,0	12,6	3,8	2,3	6,8	2,3	49,6	18,6
	Nelly	205,4	97,5	67,3	34,1	8,1	6,5	29,9	6,5	24,0	17,6
2001	Bardo	75,7	41,7	169,9	19,3	6,0	4,8	22,0	4,8	62,9	8,6
	Nelly	153,8	20,5	60,5	38,0	7,6	2,9	23,6	2,9	24,3	14,7
	Föhrste	Stroh-N	SD	Korn-N	SD	Wurzel-N	SD	<sup>1</sup> Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
1999	Bardo	67,6	15,7	144,9	31,4	11,3	7,1	9,0	15,7	62,3	5,0
	Nelly	110,4	18,8	173,2	39,8	8,9	1,1	16,1	18,8	55,8	10,3
2000	Bardo	38,4	3,3	182,7	84,5	2,4	0,3	12,2	0,3	76,1	6,6
	Nelly	127,9	73,1	184,3	37,5	4,6	2,8	13,0	2,8	58,4	12,4
2001	Bardo	77,8	39,9	156,8	59,8	5,6	4,0	18,5	4,0	60,8	16,8
	Nelly	128,0	52,2	107,0	81,5	8,6	4,2	27,4	4,2	38,3	19,5
	Göttingen	Stroh-N	SD	Korn-N	SD	Wurzel-N	SD	<sup>1</sup> Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
1999	Bardo	38,8	4,2	166,4	59,6	10,7	6,6	7,1	6,6	73,2	8,4
	Nelly	47,9	16,3	195,2	60,4	10,5	11,9	6,7	11,9	75,0	3,4
2000	Bardo	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	Nelly	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
2001	Bardo	14,1	2,3	67,1	13,3	1,2	0,3	5,5	0,3	75,9	0,0
	Nelly	20,5	1,9	108,2	54,1	3,4	1,6	5,7	1,6	75,5	0,0
	Groß Malchau	Stroh-N	SD	Korn-N	SD	Wurzel-N	SD	<sup>1</sup> Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
1999	Bardo	19,4	3,1	95,5	8,9	4,2	1,4	8,2	1,4	75,0	3,0
	Nelly	58,3	6,6	69,8	23,7	5,5	2,3	15,1	2,3	46,2	7,0
2000	Bardo	30,0	13,8	145,5	69,6	2,3	0,7	5,5	0,7	77,6	12,0
	Nelly	47,9	39,5	107,4	34,0	4,0	3,3	4,8	3,3	68,8	10,6
2001	Bardo	33,8	20,9	79,6	35,1	3,7	1,0	14,6	1,0	59,6	4,6
	Nelly	53,3	39,3	94,6	47,5	6,5	3,5	14,5	3,5	57,7	12,3

n.e. = nicht erhoben, SD = Standardabweichung, <sup>1</sup> fehlende Werte regressionsanalytisch kalkuliert

Tab. A 15: Gelbe Lupine - Stickstoff-Erträge und  $H_{NBt}$  (N-Harvest-Index der gesamten Biomasse ohne Blattfall) als Mittelwerte aus drei Wiederholungen

	Standort und Sorte Borwede	Stroh-N kg ha <sup>-1</sup>	SD	Korn-N kg ha <sup>-1</sup>	SD	Wurzel-N kg ha <sup>-1</sup>	SD	Blattfall-N kg ha <sup>-1</sup>	SD	$H_{NBt}$ %	SD
1999	Juno	31,6	5,2	191,9	30,3	9,4	2,3	12,9	2,3	82,3	2,1
	Refusa Nova	41,6	3,6	187,1	49,3	10,1	2,8	5,1	2,8	77,7	4,5
2000	Juno	83,2	14,6	240,6	113,2	13,0	2,4	10,6	2,4	68,9	12,1
	Refusa Nova	120,0	28,0	193,7	42,2	10,9	3,0	7,5	3,0	59,4	9,4
2001	Juno	87,7	24,8	187,1	46,2	5,5	0,9	13,3	0,9	66,8	3,4
	Refusa Nova	95,5	20,7	189,6	24,3	6,5	3,5	9,8	3,5	65,1	3,8
	Groß Malchau	Stroh-N	SD	Korn-N	SD	Wurzel-N	SD	Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
1999	Juno	22,0	1,1	98,6	17,1	6,8	2,0	n.e.	2,0	77,1	4,1
	Refusa Nova	23,9	9,8	81,9	29,7	7,7	5,4	n.e.	5,4	71,0	6,0
2000	Juno	35,0	7,1	106,0	48,0	6,7	1,3	3,5	1,3	69,9	7,9
	Refusa Nova	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
2001	Juno	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	Refusa Nova	7,9	n.e.	42,3	n.e.	2,3	n.e.	25,8	n.e.	n.e.	n.e.

n.e. = nicht erhoben, SD = Standardabweichung

Tab. A 16: Ackerbohne/Hafer-Gemenge - Stickstoff-Erträge und  $H_{NBt}$  (N-Harvest-Index der gesamten Biomasse ohne Blattfall) als Mittelwerte aus drei Wiederholungen

	Standort und Sorte	Erntegut-N	SD	<sup>3</sup> Ernterest-N	SD	Wurzel-N	SD	Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
	Borwede	kg ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>		%	
1999	<sup>1</sup> Scirocco	179,8	9,4	7,1	1,5	15,8	2,3	0,0	0,0	88,7	1,1
	<sup>1</sup> Lutz	47,2	2,4	3,4	1,3	11,6	3,1	0,0	0,0	76,0	5,2
	<sup>2</sup> Scirocco	188,1	39,4	36,7	5,4	7,5	2,2	21,8	2,7	73,8	3,0
	<sup>2</sup> Lutz	13,8	3,6	16,4	1,4	4,4	1,8	0,0	0,0	39,4	6,1
2000	<sup>1</sup> Scirocco	115,1	21,3	5,8	0,4	4,9	4,2	0,0	0,0	91,7	2,0
	<sup>1</sup> Lutz	60,4	21,3	3,2	1,1	14,4	5,3	0,0	0,0	76,4	8,4
	<sup>2</sup> Scirocco	85,9	49,6	51,3	11,8	7,0	4,3	5,8	1,0	48,4	20,5
	<sup>2</sup> Lutz	30,1	3,7	19,4	7,0	11,1	6,7	0,0	0,0	51,4	12,1
2001	<sup>1</sup> Scirocco	159,9	36,3	3,7	1,0	5,1	2,9	0,0	0,0	95,0	1,4
	<sup>1</sup> Lutz	54,3	7,5	4,0	0,1	6,4	3,7	0,0	0,0	84,2	4,0
	<sup>2</sup> Scirocco	183,8	32,2	65,4	10,7	8,7	3,5	3,5	20,4	64,7	7,1
	<sup>2</sup> Lutz	20,5	9,6	19,7	4,5	2,5	2,2	0,0	0,0	47,0	4,8
	Föhrste	Erntegut-N	SD	<sup>3</sup> Ernterest-N	SD	Wurzel-N	SD	Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
1999	<sup>1</sup> Scirocco	126,3	32,2	2,6	0,9	11,5	3,3	0,0	0,0	89,9	1,4
	<sup>1</sup> Lutz	52,6	26,6	2,4	0,6	7,7	0,7	0,0	0,0	81,9	6,9
	<sup>2</sup> Scirocco	96,8	11,5	96,8	11,5	8,4	4,0	2,9	1,0	55,4	1,0
	<sup>2</sup> Lutz	27,8	2,8	27,8	2,8	5,0	2,0	2,9	1,0	48,6	3,6
2000	<sup>1</sup> Scirocco	66,7	2,0	2,8	0,7	3,7	1,7	0,0	0,0	91,1	2,5
	<sup>1</sup> Lutz	53,0	20,0	3,0	0,4	15,6	7,3	0,0	0,0	73,9	2,9
	<sup>2</sup> Scirocco	115,1	10,0	28,3	7,1	10,8	3,6	9,1	1,1	70,7	3,0
	<sup>2</sup> Lutz	40,5	6,4	19,7	5,8	4,9	0,7	0,0	0,0	62,4	4,3
2001	<sup>1</sup> Scirocco	120,1	35,0	6,3	1,8	15,5	1,9	0,0	0,0	84,0	4,2
	<sup>1</sup> Lutz	36,4	10,1	3,3	1,2	10,1	2,8	0,0	0,0	72,5	8,2
	<sup>2</sup> Scirocco	188,5	15,3	59,1	13,2	8,9	2,8	<sup>4</sup> 33,4	2,7	65,0	2,9
	<sup>2</sup> Lutz	8,5	3,1	13,2	4,5	1,2	0,6	0,0	0,0	37,6	10,8
	Göttingen	Erntegut-N	SD	<sup>3</sup> Ernterest-N	SD	Wurzel-N	SD	Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
1999	<sup>1</sup> Scirocco	116,8	33,0	4,7	3,9	8,2	2,1	0,0	0,0	90,1	0,6
	<sup>1</sup> Lutz	45,2	19,2	4,2	2,0	12,5	10,8	0,0	0,0	73,2	9,9
	<sup>2</sup> Scirocco	185,5	41,3	40,0	3,4	9,2	8,5	2,4	1,5	75,6	0,5
	<sup>2</sup> Lutz	44,1	18,0	27,2	9,5	6,8	0,3	0,0	0,0	55,2	7,8
2000	<sup>1</sup> Scirocco	134,3	8,5	3,2	0,8	14,8	6,6	0,0	0,0	88,4	3,6
	<sup>1</sup> Lutz	31,4	5,8	1,8	0,5	8,1	3,4	0,0	0,0	75,9	8,2
	<sup>2</sup> Scirocco	233,9	34,2	46,4	6,4	6,9	1,5	9,6	11,3	78,5	6,9
	<sup>2</sup> Lutz	9,5	2,6	9,9	2,1	1,1	0,4	0,0	0,0	46,2	1,0
2001	<sup>1</sup> Scirocco	93,4	3,1	2,2	0,1	5,0	2,1	0,0	0,0	92,9	1,6
	<sup>1</sup> Lutz	35,3	6,7	1,9	0,9	4,1	0,4	0,0	0,0	85,4	1,1
	<sup>2</sup> Scirocco	176,9	41,3	30,3	8,6	5,0	1,7	13,2	4,6	78,6	1,0
	<sup>2</sup> Lutz	34,3	5,3	13,9	5,6	1,9	1,8	0,0	0,0	69,8	8,0
	Groß Malchau	Erntegut-N	SD	<sup>3</sup> Ernterest-N	SD	Wurzel-N	SD	Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
1999	<sup>1</sup> Scirocco	72,0	23,0	1,7	0,9	8,5	2,1	0,0	0,0	87,5	0,6
	<sup>1</sup> Lutz	24,1	5,1	0,6	0,2	23,5	12,1	0,0	0,0	52,0	14,7
	<sup>2</sup> Scirocco	31,2	9,8	10,5	6,0	4,0	1,9	2,9	0,4	64,8	7,7
	<sup>2</sup> Lutz	19,0	9,4	3,7	1,5	2,3	1,2	0,0	0,0	74,8	6,3
2000	<sup>1</sup> Scirocco	33,0	14,9	2,6	1,2	2,3	0,9	0,0	0,0	84,0	13,4
	<sup>1</sup> Lutz	30,1	15,6	1,5	0,4	12,3	0,7	0,0	0,0	65,7	12,4
	<sup>2</sup> Scirocco	9,4	6,0	22,9	2,7	1,1	0,1	3,0	2,4	58,0	12,4
	<sup>2</sup> Lutz	17,5	2,7	6,9	1,8	3,3	2,5	0,0	0,0	71,8	5,3
2001	<sup>1</sup> Scirocco	57,4	1,3	2,1	0,1	4,7	1,0	0,0	0,0	89,4	1,2
	<sup>1</sup> Lutz	61,7	26,8	4,1	2,2	5,5	1,0	0,0	0,0	86,0	2,0
	<sup>2</sup> Scirocco	94,8	16,6	18,9	2,9	3,2	2,3	18,3	2,9	69,9	5,6
	<sup>2</sup> Lutz	25,4	5,1	33,3	11,4	2,6	2,2	0,0	0,0	41,9	9,9

<sup>1</sup>Ganzpflanzensilage, <sup>2</sup>Körnernutzung, <sup>3</sup>Stoppel zur Ganzpflanzensilage, Stroh zur Körnernutzung, N-Menge regressionsanalytisch ermittelt, n.e. = nicht erhoben, SD = Standardabweichung



Tab. A 17: Erbse/Hafer-Gemenge - Stickstoff-Erträge und  $H_{NBt}$  (N-Harvest-Index der gesamten Biomasse ohne Blattfall) als Mittelwerte aus drei Wiederholungen

	Standort und Sorte	Erntegut-N	SD	<sup>3</sup> Ernterest-N	SD	Wurzel-N	SD	Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
	Borwede	kg ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>		%	
1999	<sup>1</sup> Eiffel	164,4	3,4	2,8	0,2	2,7	1,2	n.e.	n.e.	96,7	0,5
	<sup>1</sup> Lutz	40,5	1,6	2,3	0,5	5,5	2,5	n.e.	n.e.	84,0	4,4
	<sup>2</sup> Eiffel	166,8	11,5	46,5	1,5	3,0	1,5	n.e.	n.e.	71,9	3,3
	<sup>2</sup> Lutz	32,2	10,6	33,9	13,6	12,7	6,5	n.e.	n.e.	42,7	10,6
2000	<sup>1</sup> Eiffel	117,1	5,8	2,1	0,4	2,6	1,1	n.e.	n.e.	96,1	0,9
	<sup>1</sup> Lutz	37,9	4,3	2,8	0,9	6,0	1,9	n.e.	n.e.	80,9	4,4
	<sup>2</sup> Eiffel	139,0	36,3	36,5	11,4	5,7	3,2	n.e.	n.e.	76,8	3,9
	<sup>2</sup> Lutz	22,5	7,6	19,5	14,2	9,3	2,3	n.e.	n.e.	45,5	7,1
2001	<sup>1</sup> Eiffel	176,8	32,7	0,0	0,0	0,4	0,2	n.e.	n.e.	98,4	0,4
	<sup>1</sup> Lutz	52,7	3,2	0,0	0,0	3,8	1,1	n.e.	n.e.	83,3	3,2
	<sup>2</sup> Eiffel	65,5	17,5	48,3	11,0	0,5	0,3	n.e.	n.e.	44,4	5,7
	<sup>2</sup> Lutz	32,7	18,2	30,5	16,6	3,5	2,1	n.e.	n.e.	21,7	5,7
	Föhrste	Erntegut-N	SD	<sup>3</sup> Ernterest-N	SD	Wurzel-N	SD	Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
1999	<sup>1</sup> Eiffel	105,1	42,0	1,1	1,0	6,3	2,8	n.e.	n.e.	92,5	3,9
	<sup>1</sup> Lutz	49,7	18,5	2,7	1,1	4,0	1,3	n.e.	n.e.	87,2	5,6
	<sup>2</sup> Eiffel	78,5	7,6	26,4	10,0	1,8	1,2	n.e.	n.e.	74,1	5,9
	<sup>2</sup> Lutz	27,9	13,4	34,4	11,2	2,1	0,9	n.e.	n.e.	41,8	6,5
2000	<sup>1</sup> Eiffel	59,5	13,1	0,5	0,8	1,1	0,5	n.e.	n.e.	97,3	1,3
	<sup>1</sup> Lutz	47,0	13,7	2,0	0,7	10,3	2,6	n.e.	n.e.	78,8	3,0
	<sup>2</sup> Eiffel	142,1	19,9	45,8	19,9	1,4	0,2	n.e.	n.e.	75,6	8,1
	<sup>2</sup> Lutz	46,8	4,5	20,6	4,5	4,3	0,8	n.e.	n.e.	65,1	3,1
2001	<sup>1</sup> Eiffel	140,7	48,1	1,2	0,4	3,3	0,3	n.e.	n.e.	96,6	1,4
	<sup>1</sup> Lutz	25,7	8,3	3,3	1,6	2,5	0,5	n.e.	n.e.	81,1	4,6
	<sup>2</sup> Eiffel	137,9	14,2	90,8	57,0	3,5	1,1	n.e.	n.e.	61,5	14,1
	<sup>2</sup> Lutz	2,1	1,3	12,3	9,0	0,9	0,6	n.e.	n.e.	14,8	2,8
	Göttingen	Erntegut-N	SD	<sup>3</sup> Ernterest-N	SD	Wurzel-N	SD	Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
1999	<sup>1</sup> Eiffel	99,5	7,2	1,4	0,4	7,6	1,9	n.e.	n.e.	91,7	1,9
	<sup>1</sup> Lutz	43,4	2,3	2,4	0,5	4,9	1,6	n.e.	n.e.	85,8	2,9
	<sup>2</sup> Eiffel	108,8	21,8	20,0	2,4	1,2	0,1	n.e.	n.e.	83,5	2,4
	<sup>2</sup> Lutz	41,5	3,4	24,9	6,0	1,6	0,7	n.e.	n.e.	61,3	3,6
2000	<sup>1</sup> Eiffel	91,1	28,0	1,0	0,2	2,7	1,0	n.e.	n.e.	96,0	1,0
	<sup>1</sup> Lutz	30,7	2,2	1,1	0,4	4,5	1,1	n.e.	n.e.	84,6	2,4
	<sup>2</sup> Eiffel	95,7	15,6	19,9	7,7	3,7	3,4	n.e.	n.e.	80,3	1,4
	<sup>2</sup> Lutz	19,9	1,3	13,5	0,4	5,3	5,3	n.e.	n.e.	52,0	7,8
2001	<sup>1</sup> Eiffel	54,9	11,4	0,8	0,3	1,2	0,8	n.e.	n.e.	96,4	1,5
	<sup>1</sup> Lutz	46,9	6,3	2,3	0,8	5,6	2,2	n.e.	n.e.	85,4	3,6
	<sup>2</sup> Eiffel	58,6	18,4	13,3	2,1	1,4	0,6	n.e.	n.e.	79,6	2,4
	<sup>2</sup> Lutz	53,1	17,3	19,6	3,0	3,9	4,2	n.e.	n.e.	68,3	6,1
	Groß Malchau	Erntegut-N	SD	<sup>3</sup> Ernterest-N	SD	Wurzel-N	SD	Blattfall-N	SD	$H_{NBt}$	SD
1999	<sup>1</sup> Eiffel	61,2	7,5	1,0	0,1	1,3	0,4	n.e.	n.e.	96,3	0,8
	<sup>1</sup> Lutz	18,6	3,2	0,5	0,2	5,6	2,5	n.e.	n.e.	76,2	6,7
	<sup>2</sup> Eiffel	44,6	10,8	9,4	1,9	0,6	0,1	n.e.	n.e.	81,2	4,6
	<sup>2</sup> Lutz	15,8	1,5	3,9	1,0	4,2	0,6	n.e.	n.e.	65,9	3,9
2000	<sup>1</sup> Eiffel	70,9	24,6	1,9	1,0	0,4	0,2	n.e.	n.e.	96,5	1,8
	<sup>1</sup> Lutz	37,7	14,1	1,3	0,3	9,1	0,1	n.e.	n.e.	77,7	6,7
	<sup>2</sup> Eiffel	56,4	18,1	29,5	2,4	1,7	0,6	n.e.	n.e.	63,4	8,8
	<sup>2</sup> Lutz	16,6	6,2	4,8	2,0	10,7	3,7	n.e.	n.e.	51,2	9,0
2001	<sup>1</sup> Eiffel	69,6	13,3	0,7	0,1	1,4	0,3	n.e.	n.e.	97,0	0,9
	<sup>1</sup> Lutz	38,5	12,0	1,6	1,2	2,3	1,2	n.e.	n.e.	90,4	3,0
	<sup>2</sup> Eiffel	61,8	31,2	14,5	4,1	1,2	0,4	n.e.	n.e.	78,6	5,4
	<sup>2</sup> Lutz	23,8	10,1	11,8	3,1	1,3	0,6	n.e.	n.e.	63,2	5,2

<sup>1</sup>Ganzpflanzensilage, <sup>2</sup>Körnernutzung, <sup>3</sup>Stoppel zur Ganzpflanzensilage, Stroh zur Körnernutzung, n.e. = nicht erhoben, SD = Standardabweichung

## 11.5 Schätzparameter der Prüfglieder nach der $\delta^{15}\text{N}$ -Methode

Tab. A 18: Ackerbohne – Schätzparameter nach der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode. Vergleich der Referenzpflanzen Hafer und Raps

Jahr	Standort und Sorte Borwede	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		N <sub>Atm.</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		N <sub>Boden</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
			Hafer	Raps	Hafer	Raps	Hafer	Raps	Hafer	Raps
1999	Alfred	0.90	0.625	0.603	172.7	166.4	103.4	109.6	25.0	17.6
	Caspar	0.95	0.661	0.630	195.8	186.7	100.6	109.8	47.2	36.3
	Scirocco	1.09	0.680	0.655	204.6	197.3	96.4	103.7	34.4	25.7
2000	Alfred	0.24	0.441	0.751	116.7	198.6	147.7	65.7	-38.0	59.3
	Caspar	0.28	0.517	0.809	141.1	221.0	132.1	52.2	-7.2	87.7
	Scirocco	0.21	0.793	0.945	281.2	335.1	73.5	19.6	83.3	147.3
2001	Alfred	0.44	0.681	0.735	254.0	274.2	118.8	98.6	47.7	71.7
	Caspar	0.46	0.740	0.789	250.9	267.6	88.3	71.7	67.1	86.9
	Scirocco	0.72	0.695	0.775	279.6	311.7	122.5	90.4	72.7	110.8
	<b>Föhrste</b>	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		N <sub>Atm.</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		N <sub>Boden</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
1999	Alfred	1.40	0.650	0.716	183.9	202.5	99.0	80.3	81.0	103.1
	Caspar	1.49	0.661	0.728	178.2	196.2	91.3	73.3	99.4	120.8
	Scirocco	1.66	0.660	0.733	161.5	179.4	83.4	65.4	90.1	111.4
2000	Alfred	0.52	0.641	0.680	181.9	193.1	102.1	90.9	26.2	39.5
	Caspar	0.45	0.717	0.747	196.4	204.5	77.5	69.4	51.5	61.1
	Scirocco	0.48	0.809	0.832	279.0	287.0	66.1	58.1	76.8	86.3
2001	Alfred	0.49	0.724	0.694	267.7	256.8	102.3	113.1	69.7	56.8
	Caspar	1.07	0.608	0.567	152.0	141.7	97.9	108.2	32.8	20.5
	Scirocco	0.82	0.733	0.704	240.7	231.3	87.7	97.1	77.1	65.9
	<b>Göttingen</b>	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		N <sub>Atm.</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		N <sub>Boden</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
1999	Alfred	1.12	0.704	0.739	205.5	215.6	86.3	76.3	38.3	50.6
	Caspar	1.20	0.717	0.753	205.4	215.6	81.0	70.7	53.0	65.5
	Scirocco	1.04	0.796	0.823	254.0	262.6	65.0	56.3	73.8	84.4
2000	Alfred	0.55	0.735	0.742	280.7	283.2	101.2	98.7	71.9	75.0
	Caspar	0.75	0.729	0.733	197.4	198.6	73.4	72.2	64.3	65.8
	Scirocco	0.66	0.821	0.828	291.2	293.9	63.7	61.0	103.2	106.5
2001	Alfred	0.66	0.763	0.774	191.0	193.7	59.2	56.5	16.4	41.5
	Caspar	1.29	0.669	0.682	132.7	135.2	65.7	63.1	-2.2	16.1
	Scirocco	0.99	0.789	0.796	222.0	224.1	59.4	57.3	33.6	61.4
	<b>Groß Malchau</b>	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		N <sub>Atm.</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		N <sub>Boden</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
1999	Alfred	0.21	0.631	0.665	72.2	76.1	42.2	38.3	15.3	24.3
	Caspar	0.13	0.707	0.768	61.5	66.8	25.4	20.1	42.7	36.5
	Scirocco	0.32	0.815	0.842	97.6	100.8	22.2	19.0	49.7	45.3
2000	Alfred	1.78	0.814	0.738	103.9	94.3	23.8	33.4	190.0	33.3
	Caspar	1.92	0.799	0.720	95.0	85.6	23.9	33.3	229.7	31.5
	Scirocco	1.69	0.873	0.818	112.5	105.4	16.4	23.5	163.6	38.7
2001	Alfred	1.83	0.482	0.410	73.3	62.3	78.7	89.7	180.8	-33.7
	Caspar	1.45	0.647	0.564	117.7	102.6	64.2	79.4	190.2	-4.1
	Scirocco	1.44	0.696	0.630	165.2	149.4	72.0	87.8	233.1	22.5

<sup>1</sup>erweiterte Flächenbilanz, n.e. = nicht erhoben

Tab. A 19: Grünspeiseerbse – Schätzparameter nach der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode. Vergleich der Referenzpflanzen Hafer und Raps

Jahr	Standort und Sorte	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		$N_{\text{Atm.}} \text{ kg N ha}^{-1}$		$N_{\text{Boden}} \text{ kg N ha}^{-1}$		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
			Hafer	Raps	Hafer	Raps	Hafer	Raps	Hafer	Raps
1999	Nevado	1.83	0.323	0.440	58.4	79.7	122.5	101.3	28.6	51.7
2000	Nevado	-0.14	0.802	0.863	141.3	152.0	34.9	24.1	131.7	132.7
2001	Nevado	0.96	0.744	0.539	131.2	95.0	45.0	81.3	131.3	130.7
	Föhrste	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		$N_{\text{Atm.}} \text{ kg N ha}^{-1}$		$N_{\text{Boden}} \text{ kg N ha}^{-1}$		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
1999	Nevado	1.66	0.616	0.693	115.5	130.0	72.1	57.5	48.9	63.3
2000	Nevado	1.15	0.386	0.657	48.9	83.3	77.9	43.5	0.7	38.0
2001	Nevado	1.22	0.351	0.638	58.9	107.0	108.7	60.7	10.5	62.8
	Göttingen	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		$N_{\text{Atm.}} \text{ kg N ha}^{-1}$		$N_{\text{Boden}} \text{ kg N ha}^{-1}$		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
1999	Nevado	1.94	0.471	0.650	73.0	100.7	81.9	54.1	25.7	55.1
2000	Nevado	2.52	0.220	0.482	33.2	73.0	118.1	78.3	-7.4	35.9
2001	Nevado	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	Groß Malchau	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		$N_{\text{Atm.}} \text{ kg N ha}^{-1}$		$N_{\text{Boden}} \text{ kg N ha}^{-1}$		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
1999	Nevado	0.35	0.429	0.728	43.1	73.2	57.3	27.3	-8.9	23.8
2000	Nevado	2.09	0.818	0.753	116.3	107.1	25.9	35.1	90.4	80.5
2001	Nevado	2.47	0.509	0.566	56.1	62.4	54.1	47.8	0.3	7.2

<sup>1</sup>erweiterte Flächenbilanz, n.e. = nicht erhoben

Tab. A 20: Körnererbse – Schätzparameter nach der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode. Vergleich der Referenzpflanzen Hafer und Raps

Jahr	Standort und Sorte Borwede	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		N <sub>Atm.</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		N <sub>Boden</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
			Hafer	Raps	Hafer	Raps	Hafer	Raps	Hafer	Raps
1999	Bohatyr	1.11	0.629	0.646	144.8	148.6	85.3	81.6	22.6	26.8
	Eiffel	0.94	0.660	0.690	160.8	168.0	82.7	75.6	28.2	36.2
	Loto	1.03	0.592	0.626	146.6	154.8	100.9	92.7	-8.5	0.6
	Swing	1.06	0.664	0.699	148.4	156.1	75.1	67.3	17.4	26.1
2000	Bohatyr	0.02	0.767	0.903	171.0	201.2	51.9	21.7	28.4	62.0
	Eiffel	-0.07	0.714	0.848	143.9	171.0	57.7	30.6	10.6	40.7
	Loto	0.05	0.581	0.796	193.5	265.2	139.5	67.8	-40.1	39.7
	Swing	0.06	0.905	0.966	157.6	168.2	16.5	5.9	39.4	51.2
2001	Bohatyr	1.00	0.579	0.658	130.5	148.4	95.0	77.1	23.8	43.7
	Eiffel	0.15	0.838	0.904	247.5	267.1	47.9	28.3	94.4	116.3
	Loto	0.69	0.598	0.654	144.6	158.1	97.2	83.7	15.6	30.6
	Swing	0.37	0.870	0.886	216.3	220.1	32.2	28.4	84.3	88.6
	Föhrste	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		N <sub>Atm.</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		N <sub>Boden</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
1999	Bohatyr	1.08	0.743	0.811	126.5	138.2	43.9	32.2	22.1	35.1
	Eiffel	1.48	0.656	0.747	123.6	140.7	64.8	47.8	-3.7	15.3
	Loto	1.25	0.675	0.758	147.4	165.6	71.1	52.9	1.7	21.9
	Swing	1.44	0.703	0.796	146.2	165.5	61.8	42.4	14.9	36.4
2000	Bohatyr	0.58	0.668	0.791	122.8	145.4	60.9	38.3	4.7	29.8
	Eiffel	0.76	0.586	0.746	100.7	128.2	71.2	43.7	-20.7	9.8
	Loto	0.53	0.628	0.761	131.9	159.7	78.1	50.3	-11.2	19.7
	Swing	0.46	0.793	0.901	130.8	148.8	34.3	16.3	15.6	35.6
2001	Bohatyr	0.64	0.739	0.753	213.3	217.1	75.2	71.4	65.7	69.9
	Eiffel	0.85	0.658	0.675	173.9	178.1	90.2	85.9	27.3	32.1
	Loto	1.04	0.561	0.581	128.8	133.5	100.9	96.1	12.7	18.0
	Swing	1.31	0.544	0.590	129.2	140.0	108.1	97.2	-15.0	-2.9
	Göttingen	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		N <sub>Atm.</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		N <sub>Boden</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
1999	Bohatyr	1.32	0.702	0.758	128.1	138.4	54.4	44.1	-3.4	8.0
	Eiffel	1.91	0.568	0.650	104.9	120.0	79.7	64.6	-31.6	-14.8
	Loto	1.70	0.586	0.661	121.7	137.4	86.0	70.3	-28.8	-11.3
	Swing	1.60	0.669	0.746	119.5	133.3	59.1	45.3	-9.8	5.6
2000	Bohatyr	0.77	0.721	0.766	145.2	154.3	56.3	47.2	9.9	20.0
	Eiffel	1.13	0.618	0.680	124.9	137.3	77.1	64.7	-8.8	4.9
	Loto	0.68	0.694	0.740	142.1	151.5	62.6	53.2	12.6	23.1
	Swing	0.71	0.785	0.842	159.4	170.9	43.7	32.2	27.5	40.2
2001	Bohatyr	1.34	0.649	0.744	111.6	128.0	60.3	43.9	-3.0	15.2
	Eiffel	1.51	0.625	0.722	106.5	123.0	63.9	47.3	-16.8	1.6
	Loto	1.39	0.611	0.709	101.7	118.1	64.8	48.4	-20.5	-2.3
	Swing	1.41	0.663	0.768	97.7	113.3	49.7	34.1	-6.9	10.4
	Groß Malchau	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		N <sub>Atm.</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		N <sub>Boden</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
1999	Bohatyr	0.29	0.689	0.777	64.6	72.8	29.1	20.9	2.2	11.4
	Eiffel	0.32	0.663	0.783	73.7	87.1	37.4	24.1	-9.1	5.8
	Loto	0.26	0.611	0.716	81.4	95.5	51.9	37.8	-18.8	-3.1
	Swing	0.42	0.659	0.792	76.2	91.6	39.4	24.0	-2.1	15.0
2000	Bohatyr	2.11	0.810	0.759	127.7	119.6	30.0	38.0	36.4	27.4
	Eiffel	2.51	0.788	0.730	122.6	113.6	33.0	42.0	31.8	21.8
	Loto	2.15	0.789	0.732	123.4	114.5	32.9	41.9	28.0	18.1
	Swing	2.41	0.795	0.740	125.4	116.7	32.4	41.1	30.1	20.5
2001	Bohatyr	2.58	0.424	0.373	57.5	50.6	78.0	84.9	-37.0	-44.7
	Eiffel <sup>2</sup>	2.58	0.560	0.432	100.8	77.8	79.2	102.2	-24.6	-50.2
	Loto <sup>2</sup>	4.01	0.479	0.417	61.4	53.5	66.9	74.7	-28.9	-37.6
	Swing	2.29	0.541	0.487	58.0	52.2	49.2	55.0	-17.2	-23.7

<sup>1</sup>erweiterte Flächenbilanz, n.e. = nicht erhoben, <sup>2</sup>Werte einer Wiederholung aus erweiterter Differenzmethode

Tab. A 21: Weiße Lupine – Schätzparameter nach der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode. Vergleich der Referenzpflanzen Hafer und Raps

Jahr	Standort und Sorte	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		$N_{\text{Atm.}} \text{ kg N ha}^{-1}$		$N_{\text{Boden}} \text{ kg N ha}^{-1}$		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
			Hafer	Raps	Hafer	Raps	Hafer	Raps	Hafer	Raps
1999	Bardo	1.50	0.497	0.458	119.4	110.2	121.0	130.3	2.3	-8.7
	Nelly	1.74	0.397	0.361	92.9	84.5	141.1	149.5	29.9	19.9
2000	Bardo	1.24	-0.457	0.427	-80.4	75.1	256.3	100.8	-176.5	8.2
	Nelly	1.69	-0.668	0.592	-207.4	184.0	518.1	126.7	-313.7	151.3
2001	Bardo	0.75	0.605	0.709	165.6	194.1	108.0	79.6	26.9	60.7
	Nelly	0.65	0.621	0.705	152.5	173.0	93.1	72.6	120.6	145.0
	<b>Föhrste</b>	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		$N_{\text{Atm.}} \text{ kg N ha}^{-1}$		$N_{\text{Boden}} \text{ kg N ha}^{-1}$		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
1999	Bardo	2.05	0.551	0.547	128.3	127.3	104.5	105.6	7.5	6.2
	Nelly	1.98	0.543	0.537	167.7	165.6	140.9	142.9	26.0	23.5
2000	Bardo	1.04	0.467	0.582	110.1	137.3	125.5	98.4	-51.9	-19.6
	Nelly	0.90	0.524	0.623	172.7	205.4	157.1	124.4	20.9	59.7
2001	Bardo	0.97	0.639	0.571	165.3	147.7	93.5	111.0	39.5	18.7
	Nelly	0.88	0.625	0.533	169.5	144.3	101.5	126.7	94.3	64.5
	<b>Göttingen</b>	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		$N_{\text{Atm.}} \text{ kg N ha}^{-1}$		$N_{\text{Boden}} \text{ kg N ha}^{-1}$		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
1999	Bardo	2.16	0.559	0.570	124.6	127.2	98.4	95.8	-18.4	-15.3
	Nelly	1.48	0.648	0.674	168.7	175.5	91.6	84.8	5.2	13.3
2000	Bardo	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	Nelly	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
2001	Bardo	4.12	0.030	0.323	2.6	28.4	85.2	59.4	-64.0	-33.4
	Nelly	2.49	0.464	0.544	63.9	74.9	73.8	62.8	-32.2	-19.2
	<b>Groß Malchau</b>	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		$N_{\text{Atm.}} \text{ kg N ha}^{-1}$		$N_{\text{Boden}} \text{ kg N ha}^{-1}$		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
1999	Bardo	0.38	0.632	0.678	80.4	86.4	46.9	40.9	0.0	7.1
	Nelly	0.97	0.235	0.313	35.0	46.5	113.7	102.2	-28.3	-14.6
2000	Bardo	1.56	0.858	0.798	157.2	146.1	26.1	37.1	41.2	28.1
	Nelly	2.00	0.828	0.756	135.9	124.0	28.2	40.0	54.0	39.9
2001	Bardo	1.95	0.575	0.617	75.7	81.2	56.0	50.5	10.3	16.9
	Nelly	1.57	0.660	0.642	111.5	108.5	57.4	60.4	37.8	34.3

<sup>1</sup>erweiterte Flächenbilanz, n.e. = nicht erhoben, <sup>2</sup>Werte aus erweiterter Differenzmethode

Tab. A 22: Gelbe Lupine – Schätzparameter nach der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode. Vergleich der Referenzpflanzen Hafer und Raps

Jahr	Standort und Sorte	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		N <sub>Atm.</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		N <sub>Boden</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
			Hafer	Raps	Hafer	Raps	Hafer	Raps	Hafer	Raps
1999	Juno	1.05	0.574	0.546	141.2	134.3	104.6	111.5	-50.7	-39.8
	Refusa Nova	1.26	0.528	0.497	128.7	121.2	115.1	122.6	-58.4	-49.7
2000	Juno	0.40	0.311	0.660	108.1	229.3	239.2	118.1	-132.4	19.2
	Refusa Nova	0.56	0.157	0.609	52.2	202.4	279.9	129.7	-141.5	35.6
2001	Juno	0.50	0.658	0.729	193.2	214.1	100.3	79.4	6.2	55.5
	Refusa Nova	0.49	0.652	0.726	196.5	218.8	104.9	82.6	7.0	58.3
	Groß Malchau	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa		N <sub>Atm.</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		N <sub>Boden</sub> kg N ha <sup>-1</sup>		<sup>1</sup> Flächenbilanz	
1999	Juno	0.16	0.642	0.683	81.8	87.0	45.6	40.4	-16.8	-0.1
	Refusa Nova	0.19	0.635	0.684	72.1	77.7	41.4	35.8	-9.8	6.1
2000	Juno	1.59	0.836	0.770	126.4	116.5	24.8	34.8	20.4	25.9
	Refusa Nova	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
2001	Juno	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
	Refusa Nova <sup>2</sup>	1,21	0,743	0,668	132,0	118,7	45,6	59,0	5,0	7,4

<sup>1</sup>erweiterte Flächenbilanz, n.e. = nicht erhoben, <sup>2</sup>Einzelwert einer Wiederholung

Tab. A 23: Ackerbohne/Hafer-Gemenge – Schätzparameter nach der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode mit der Referenzpflanze Raps

Jahr	Standort und Sorte	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa	$N_{\text{Atm.}} \text{ kg N ha}^{-1}$	$N_{\text{Boden}} \text{ kg N ha}^{-1}$	<sup>3</sup> Flächenbilanz
	Borwede		Raps	Raps	Raps	Raps
1999	<sup>1</sup> Scirocco/Lutz	0,88	0,769	203,7	61,2	20,0
	<sup>2</sup> Scirocco/Lutz	0,65	0,798	230,4	58,2	80,4
2000	<sup>1</sup> Scirocco/Lutz	0,66	0,782	159,4	44,3	63,1
	<sup>2</sup> Scirocco/Lutz	0,19	0,769	173,9	52,3	111,6
2001	<sup>1</sup> Scirocco/Lutz	1,14	0,559	130,4	102,9	-11,6
	<sup>2</sup> Scirocco/Lutz	0,24	0,852	278,58	48,2	140,3
	Föhrste	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa	$N_{\text{Atm.}} \text{ kg N ha}^{-1}$	$N_{\text{Boden}} \text{ kg N ha}^{-1}$	<sup>1</sup> Flächenbilanz
1999	<sup>1</sup> Scirocco/Lutz	1,72	0,757	153,8	49,4	47,6
	<sup>2</sup> Scirocco/Lutz	1,34	0,780	186,8	52,7	115,7
2000	<sup>1</sup> Scirocco/Lutz	1,26	0,714	103,5	41,4	46,9
	<sup>2</sup> Scirocco/Lutz	0,78	0,717	163,8	64,7	71,0
2001	<sup>1</sup> Scirocco/Lutz	0,73	0,847	163,9	27,9	66,8
	<sup>2</sup> Scirocco/Lutz	0,38	0,871	272,4	40,4	131,3
	Göttingen	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa	$N_{\text{Atm.}} \text{ kg N ha}^{-1}$	$N_{\text{Boden}} \text{ kg N ha}^{-1}$	<sup>1</sup> Flächenbilanz
1999	<sup>1</sup> Scirocco/Lutz	2,18	0,687	131,6	60,2	31,6
	<sup>2</sup> Scirocco/Lutz	1,63	0,712	230,4	93,1	77,8
2000	<sup>1</sup> Scirocco/Lutz	2,42	0,565	109,3	84,3	-8,9
	<sup>2</sup> Scirocco/Lutz	0,49	0,878	278,5	38,9	93,5
2001	<sup>1</sup> Scirocco/Lutz	1,74	0,780	110,8	31,2	32,1
	<sup>2</sup> Scirocco/Lutz	1,11	0,778	212,2	62,4	68,2
	Groß Malchau	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa	$N_{\text{Atm.}} \text{ kg N ha}^{-1}$	$N_{\text{Boden}} \text{ kg N ha}^{-1}$	<sup>1</sup> Flächenbilanz
1999	<sup>1</sup> Scirocco/Lutz	0,65	0,810	105,72	24,7	46,1
	<sup>2</sup> Scirocco/Lutz	0,58	0,584	43,0	30,6	17,3
2000	<sup>1</sup> Scirocco/Lutz	6,41	0,362	29,6	52,2	-0,4
	<sup>2</sup> Scirocco/Lutz	4,54	0,528	55,8	49,9	20,7
2001	<sup>1</sup> Scirocco/Lutz	3,74	0,530	71,8	63,8	20,8
	<sup>2</sup> Scirocco/Lutz	2,18	0,525	103,23	93,4	21,6

<sup>1</sup>Ganzpflanzensilage, <sup>2</sup>Körnernutzung, <sup>3</sup>erweiterte Flächenbilanz

Tab. A 24: Erbse/Hafer-Gemenge – Schätzparameter nach der  $\delta^{15}\text{N}$ -Methode mit der Referenzpflanze Raps

Jahr	Standort und Sorte	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa	$\text{N}_{\text{Atm.}} \text{ kg N ha}^{-1}$	$\text{N}_{\text{Boden}} \text{ kg N ha}^{-1}$	$^1\text{Flächenbilanz}$
	Borwede		Raps	Raps	Raps	Raps
1999	<sup>1</sup> Eiffel/Lutz	1,25	0,622	135,7	82,5	-19,5
	<sup>2</sup> Eiffel/Lutz	1,00	0,655	201,3	105,8	51,5
2000	<sup>1</sup> Eiffel/Lutz	0,21	0,854	144,0	24,5	-36,0
	<sup>2</sup> Eiffel/Lutz	0,11	0,836	194,5	38,1	72,4
2001	<sup>1</sup> Eiffel/Lutz	0,62	0,721	171,7	66,5	6,1
	<sup>2</sup> Eiffel/Lutz	0,59	0,735	197,0	71,0	76,6
	Föhrste	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa	$\text{N}_{\text{Atm.}} \text{ kg N ha}^{-1}$	$\text{N}_{\text{Boden}} \text{ kg N ha}^{-1}$	$^1\text{Flächenbilanz}$
1999	<sup>1</sup> Eiffel/Lutz	2,25	0,644	108,8	60,2	10,0
	<sup>2</sup> Eiffel/Lutz	2,12	0,653	111,8	59,4	41,2
2000	<sup>1</sup> Eiffel/Lutz	1,16	0,762	91,8	28,6	36,4
	<sup>2</sup> Eiffel/Lutz	0,84	0,772	201,5	59,5	75,8
2001	<sup>1</sup> Eiffel/Lutz	1,35	0,706	124,8	52,0	-7,0
	<sup>2</sup> Eiffel/Lutz	0,95	0,602	149,0	98,5	26,7
	Göttingen	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa	$\text{N}_{\text{Atm.}} \text{ kg N ha}^{-1}$	$\text{N}_{\text{Boden}} \text{ kg N ha}^{-1}$	$^1\text{Flächenbilanz}$
1999	<sup>1</sup> Eiffel/Lutz	2,36	0,627	99,8	59,4	-59,4
	<sup>2</sup> Eiffel/Lutz	2,38	0,576	114,1	83,9	13,7
2000	<sup>1</sup> Eiffel/Lutz	1,79	0,650	85,2	45,9	-0,5
	<sup>2</sup> Eiffel/Lutz	1,35	0,628	99,3	58,8	12,0
2001	<sup>1</sup> Eiffel/Lutz	2,77	0,623	69,9	42,2	18,1
	<sup>2</sup> Eiffel/Lutz	2,55	0,556	83,0	66,2	29,0
	Groß Malchau	$\delta^{15}\text{N}$	Ndfa	$\text{N}_{\text{Atm.}} \text{ kg N ha}^{-1}$	$\text{N}_{\text{Boden}} \text{ kg N ha}^{-1}$	$^1\text{Flächenbilanz}$
1999	<sup>1</sup> Eiffel/Lutz	0,50	0,766	67,59	20,62	10,6
	<sup>2</sup> Eiffel/Lutz	0,53	0,683	53,6	24,8	13,2
2000	<sup>1</sup> Eiffel/Lutz	5,80	0,447	54,1	66,9	-14,0
	<sup>2</sup> Eiffel/Lutz	3,92	0,514	61,6	58,1	10,2
2001	<sup>1</sup> Eiffel/Lutz	3,09	0,504	57,5	56,6	-9,0
	<sup>2</sup> Eiffel/Lutz	2,87	0,625	71,5	42,9	15,1

<sup>1</sup>Ganzpflanzensilage, <sup>2</sup>Körnernutzung, <sup>3</sup>erweiterte Flächenbilanz



### 11.6 Modelle zur Schätzung der Wurzelmasse

Tab. A 25: Individuenbezogenes Modell zur Schätzung der Wurzelmasse in Reinsaaten großwüchsiger Stauden mit ausgeprägter Pfahlwurzel (Ackerbohne, Weiße und Gelbe Lupine, Raps)

(I)

	Tiefe	dB	TM (g) 60°C		TM absolut (g) <sup>2</sup>		Vol. (cm <sup>3</sup> )	Fläche (cm <sup>2</sup> )	Σ	Wurzel-TM kg ha <sup>-1</sup>
			Boden inkl.	Wurzel	Boden	Wurzel				
a <sup>1</sup>	0 - 25	1,45	1915,7	6,905	1858,2	6,698	1281,5	51,3	115,5	5797,4 <sup>3</sup>
a		1,45	2401,9		2329,8		1606,8	64,3		
a	25 - 50	1,45	2108,8	0,190	2045,5	0,184	1410,7	56,4	117,9	156,4
a		1,45	2296,1		2227,2		1536,0	61,4		
z	0 - 25	1,45	1884,6	0,112	1828,1	0,109	1260,7	50,4	95,0	114,4
z		1,45	1664,5		1614,6		1113,5	44,5		
z	25 - 50	1,45	2211,9	0,064	2145,5	0,062	1479,7	59,2	116,9	53,1
z		1,45	2158,3		2093,6		1443,8	57,8		

(II)

Tiefe	TM kg ha <sup>-1</sup>	Wurzel- Anzahl	Pflanzen (m <sup>2</sup> )	Faktor <sup>4</sup> a bzw. z	TM <sup>5</sup> dt ha <sup>-1</sup>	
						Σ
a	0 - 50	5953,8	3	47,9	0,285	12,1
z	0 - 50	167,5			0,715	

<sup>1</sup> a = Beprobung auf der Pflanzenreihe, z = Beprobung des Reihenzwischenraum

<sup>2</sup> Boden bzw. Wurzelmasse(60°) – 3 % angenommener Restfeuchte

<sup>3</sup> Wurzelmasse (105°) \* 10000 / Σ Fläche cm<sup>2</sup>,

<sup>4</sup> Aufteilung des Standraums in Abhängigkeit der Pflanzenzahl m<sup>2</sup>,

<sup>5</sup> = (Σ [a]) x Faktor [a] + (Σ [z]) x Faktor [z]

Wurzelanzahl pro Zylinder / 100

Tab. A 26: Standraumbezogene Schätzung der Wurzel-TM von Pflanzen mit homorrhizem Wurzelsystem (Hafer) und/oder in dichtreihigen Pflanzenbeständen (Erbse)

(I) (s. Tab. A 25)

(II)

Tiefe	TM kg ha <sup>-1</sup>	Faktor <sup>4</sup> a bzw. z	TM <sup>5</sup> dt ha <sup>-1</sup>	
				Σ
a	0 - 50	5953,7	0,363	22,7
z	0 - 50	167,5	0,638	

<sup>4</sup> Aufteilung des Standraums in Abhängigkeit der Pflanzenzahl m<sup>2</sup>,

<sup>5</sup> = (Σ TM [a]) x Faktor [a] + (Σ TM [z]) x Faktor [z]

Tab. A 27: Standraumbezogene Schätzung der Wurzeltrockenmasse bei Gemengeanbau (Ackerbohne/Hafer- und Erbse/Hafer-Gemenge)

(I) (s. Tab. A 25)

(II)

Tiefe		TM	S/W-Faktor <sup>4</sup>	Wurzel aus S/W-Faktor <sup>5</sup>	Faktor <sup>6</sup> a bzw. z	TM <sup>7</sup> dt ha <sup>-1</sup>
		kg ha <sup>-1</sup>				
		Σ				
a	0 - 50	5953,7	Erbse 2,86 <sup>3</sup> Hafer 5,69	Erbse 1994,7 Hafer 3959,1	0,363	Erbse 7,6 Hafer 15,1
z	0 - 50	167,5		Erbse 56,1 Hafer 111,4	0,638	Σ 22,7

<sup>4</sup> S/W-Faktor: ermitteltes Spross/Wurzel-Verhältnis der Gemengepartner in Reinsaat (Hafer) des Anbaujahres

$$^5 = \frac{\Sigma \text{TM} \times \text{S/W Erbse}}{(\text{S/W Erbse} + \text{S/W Hafer})}$$

<sup>6</sup> Aufteilung des Standraums in Abhängigkeit vom Reihenabstand

$$^7 = \frac{(\Sigma \text{TM [a]} \times \text{Faktor [a]}) + (\Sigma \text{TM [z]} \times \text{Faktor [z]})}{100}$$

100

## **11.7 Kalkulationstabellen zu N<sub>2</sub>-Fixierung und N-Flächenbilanz**

Tab. A 28: N<sub>2</sub>-Fixierleistung beim Anbau von Ackerbohne – Regressionsmo-  
aus Kornertrag zu Korn-N-Ertrag und Kornertrag zu gesamtplanz-  
licher N-Menge

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
	<b>N<sub>2</sub>-Fixierleistung</b>														
3	64.3	54.3	44.3	34.3	24.3	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.1
4	69.5	59.5	49.5	39.5	29.5	19.5	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	6.6
5	74.7	64.7	54.7	44.7	34.7	24.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.2
6	79.9	69.9	59.9	49.9	39.9	29.9	19.9	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	7.7
7	85.0	75.0	65.0	55.0	45.0	35.0	25.0	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.2
8	90.2	80.2	70.2	60.2	50.2	40.2	30.2	20.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	8.7
9	95.4	85.4	75.4	65.4	55.4	45.4	35.4	25.4	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.2
10	100.6	90.6	80.6	70.6	60.6	50.6	40.6	30.6	20.6	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	9.8
11	105.8	95.8	85.8	75.8	65.8	55.8	45.8	35.8	25.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.3
12	110.9	100.9	90.9	80.9	70.9	60.9	50.9	40.9	30.9	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	10.8
13	116.1	106.1	96.1	86.1	76.1	66.1	56.1	46.1	36.1	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.3
14	121.3	111.3	101.3	91.3	81.3	71.3	61.3	51.3	41.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	11.8
15	126.5	116.5	106.5	96.5	86.5	76.5	66.5	56.5	46.5	26.5	12.9	12.9	12.9	12.9	12.3
16	131.7	121.7	111.7	101.7	91.7	81.7	71.7	61.7	51.7	31.7	13.4	13.4	13.4	13.4	12.9
17	136.8	126.8	116.8	106.8	96.8	86.8	76.8	66.8	56.8	36.8	26.8	13.9	13.9	13.9	13.4
18	142.0	132.0	122.0	112.0	102.0	92.0	82.0	72.0	62.0	42.0	32.0	14.4	14.4	14.4	13.9
19	147.2	137.2	127.2	117.2	107.2	97.2	87.2	77.2	67.2	47.2	37.2	27.2	14.9	14.9	14.4
20	152.4	142.4	132.4	122.4	112.4	102.4	92.4	82.4	72.4	52.4	42.4	32.4	15.4	15.4	14.9
21	157.6	147.6	137.6	127.6	117.6	107.6	97.6	87.6	77.6	57.6	47.6	37.6	27.6	16.0	15.4
22	162.7	152.7	142.7	132.7	122.7	112.7	102.7	92.7	82.7	62.7	52.7	42.7	32.7	16.5	16.0
23	167.9	157.9	147.9	137.9	127.9	117.9	107.9	97.9	87.9	67.9	57.9	47.9	37.9	27.9	16.5
24	173.1	163.1	153.1	143.1	133.1	123.1	113.1	103.1	93.1	73.1	63.1	53.1	43.1	33.1	27.9
25	178.3	168.3	158.3	148.3	138.3	128.3	118.3	108.3	98.3	78.3	68.3	58.3	48.3	38.3	33.1
26	183.5	173.5	163.5	153.5	143.5	133.5	123.5	113.5	103.5	83.5	73.5	63.5	53.5	43.5	38.3
27	188.6	178.6	168.6	158.6	148.6	138.6	128.6	118.6	108.6	88.6	78.6	68.6	58.6	48.6	43.5
28	193.8	183.8	173.8	163.8	153.8	143.8	133.8	123.8	113.8	93.8	83.8	73.8	63.8	53.8	48.6
29	199.0	189.0	179.0	169.0	159.0	149.0	139.0	129.0	119.0	99.0	89.0	79.0	69.0	59.0	53.8
30	204.2	194.2	184.2	174.2	164.2	154.2	144.2	134.2	124.2	104.2	94.2	84.2	74.2	64.2	59.0
31	209.4	199.4	189.4	179.4	169.4	159.4	149.4	139.4	129.4	109.4	99.4	89.4	79.4	69.4	64.2
32	214.5	204.5	194.5	184.5	174.5	164.5	154.5	144.5	134.5	114.5	104.5	94.5	84.5	74.5	69.4
33	219.7	209.7	199.7	189.7	179.7	169.7	159.7	149.7	139.7	119.7	109.7	99.7	89.7	79.7	74.5
34	224.9	214.9	204.9	194.9	184.9	174.9	164.9	154.9	144.9	124.9	114.9	104.9	94.9	84.9	79.7
35	230.1	220.1	210.1	200.1	190.1	180.1	170.1	160.1	150.1	130.1	120.1	110.1	100.1	90.1	84.9
36	235.3	225.3	215.3	205.3	195.3	185.3	175.3	165.3	155.3	135.3	125.3	115.3	105.3	95.3	90.1
37	240.4	230.4	220.4	210.4	200.4	190.4	180.4	170.4	160.4	140.4	130.4	120.4	110.4	100.4	95.3
38	245.6	235.6	225.6	215.6	205.6	195.6	185.6	175.6	165.6	145.6	135.6	125.6	115.6	105.6	100.4
39	250.8	240.8	230.8	220.8	210.8	200.8	190.8	180.8	170.8	150.8	140.8	130.8	120.8	110.8	105.6
40	256.0	246.0	236.0	226.0	216.0	206.0	196.0	186.0	176.0	156.0	146.0	136.0	126.0	116.0	110.8
41	261.1	251.1	241.1	231.1	221.1	211.1	201.1	191.1	181.1	161.1	151.1	141.1	131.1	121.1	116.0
42	266.3	256.3	246.3	236.3	226.3	216.3	206.3	196.3	186.3	166.3	156.3	146.3	136.3	126.3	121.1
43	271.5	261.5	251.5	241.5	231.5	221.5	211.5	201.5	191.5	171.5	161.5	151.5	141.5	131.5	126.3
44	276.7	266.7	256.7	246.7	236.7	226.7	216.7	206.7	196.7	176.7	166.7	156.7	146.7	136.7	131.5
45	281.9	271.9	261.9	251.9	241.9	231.9	221.9	211.9	201.9	181.9	171.9	161.9	151.9	141.9	136.7
46	287.0	277.0	267.0	257.0	247.0	237.0	227.0	217.0	207.0	187.0	177.0	167.0	157.0	147.0	141.9
47	292.2	282.2	272.2	262.2	252.2	242.2	232.2	222.2	212.2	192.2	182.2	172.2	162.2	152.2	147.0
48	297.4	287.4	277.4	267.4	257.4	247.4	237.4	227.4	217.4	197.4	187.4	177.4	167.4	157.4	152.2
49	302.6	292.6	282.6	272.6	262.6	252.6	242.6	232.6	222.6	202.6	192.6	182.6	172.6	162.6	157.4
50	307.8	297.8	287.8	277.8	267.8	257.8	247.8	237.8	227.8	207.8	197.8	187.8	177.8	167.8	162.6
51	312.9	302.9	292.9	282.9	272.9	262.9	252.9	242.9	232.9	212.9	202.9	192.9	182.9	172.9	167.8
52	318.1	308.1	298.1	288.1	278.1	268.1	258.1	248.1	238.1	218.1	208.1	198.1	188.1	178.1	172.9
53	323.3	313.3	303.3	293.3	283.3	273.3	263.3	253.3	243.3	223.3	213.3	203.3	193.3	183.3	178.1
54	328.5	318.5	308.5	298.5	288.5	278.5	268.5	258.5	248.5	228.5	218.5	208.5	198.5	188.5	183.3
55	333.7	323.7	313.7	303.7	293.7	283.7	273.7	263.7	253.7	233.7	223.7	213.7	203.7	193.7	188.5
56	338.8	328.8	318.8	308.8	298.8	288.8	278.8	268.8	258.8	238.8	228.8	218.8	208.8	198.8	193.7
57	344.0	334.0	324.0	314.0	304.0	294.0	284.0	274.0	264.0	244.0	234.0	224.0	214.0	204.0	198.8
58	349.2	339.2	329.2	319.2	309.2	299.2	289.2	279.2	269.2	249.2	239.2	229.2	219.2	209.2	204.0
59	354.4	344.4	334.4	324.4	314.4	304.4	294.4	284.4	274.4	254.4	244.4	234.4	224.4	214.4	209.2
60	359.6	349.6	339.6	329.6	319.6	309.6	299.6	289.6	279.6	259.6	249.6	239.6	229.6	219.6	214.4
61	364.7	354.7	344.7	334.7	324.7	314.7	304.7	294.7	284.7	264.7	254.7	244.7	234.7	224.7	219.6
62	369.9	359.9	349.9	339.9	329.9	319.9	309.9	299.9	289.9	269.9	259.9	249.9	239.9	229.9	224.7
63	375.1	365.1	355.1	345.1	335.1	325.1	315.1	305.1	295.1	275.1	265.1	255.1	245.1	235.1	229.9
64	380.3	370.3	360.3	350.3	340.3	330.3	320.3	310.3	300.3	280.3	270.3	260.3	250.3	240.3	235.1
65	385.5	375.5	365.5	355.5	345.5	335.5	325.5	315.5	305.5	285.5	275.5	265.5	255.5	245.5	240.3
66	390.6	380.6	370.6	360.6	350.6	340.6	330.6	320.6	310.6	290.6	280.6	270.6	260.6	250.6	245.5
67	395.8	385.8	375.8	365.8	355.8	345.8	335.8	325.8	315.8	295.8	285.8	275.8	265.8	255.8	250.6
68	401.0	391.0	381.0	371.0	361.0	351.0	341.0	331.0	321.0	301.0	291.0	281.0	271.0	261.0	255.8
69	406.2	396.2	386.2	376.2	366.2	356.2	346.2	336.2	326.2	306.2	296.2	286.2	276.2	266.2	261.0
70	411.4	401.4	391.4	381.4	371.4	361.4	351.4	341.4	331.4	311.4	301.4	291.4	281.4	271.4	266.2
71	416.5	406.5	396.5	386.5	376.5	366.5	356.5	346.5	336.5	316.5	306.5	296.5	286.5	276.5	271.4
72	421.7	411.7	401.7	391.7	381.7	371.7	361.7	351.7	341.7	321.7	311.7	301.7	291.7	281.7	276.5
73	426.9	416.9	406.9	396.9	386.9	376.9	366.9	356.9	346.9	326.9	316.9	306.9	296.9	286.9	281.7
74	432.1	422.1	412.1	402.1	392.1	382.1	372.1	362.1	352.1	332.1	322.1	312.1	302.1	292.1	286.9
75	437.3	427.3	417.3	407.3	397.3	387.3	377.3	367.3	357.3	337.3	327.3	317.3	307.3	297.3	292.1

Tab. A 29: Erweiterte N-Flächenbilanz beim Anbau von Ackerbohne – Regressionsmodell aus Kornenertrag zu Korn-N-Ertrag und Kornenertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
<b>erweiterte N-Flächenbilanz</b>															
3	63.3	51.4	39.5	27.6	15.8	-5.2	-5.2	-5.2	-5.2	-5.2	-5.2	-5.2	-5.2	-5.2	-5.2
4	65.3	53.4	41.6	29.7	17.8	5.9	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8	-8.8
5	67.3	55.5	43.6	31.7	19.8	7.9	-12.3	-12.3	-12.3	-12.3	-12.3	-12.3	-12.3	-12.3	-12.3
6	69.4	57.5	45.6	33.7	21.8	10.0	-1.9	-15.8	-15.8	-15.8	-15.8	-15.8	-15.8	-15.8	-15.8
7	71.4	59.5	47.6	35.8	23.9	12.0	0.1	-19.3	-19.3	-19.3	-19.3	-19.3	-19.3	-19.3	-19.3
8	73.4	61.5	49.7	37.8	25.9	14.0	2.1	-9.7	-22.8	-22.8	-22.8	-22.8	-22.8	-22.8	-22.8
9	75.4	63.6	51.7	39.8	27.9	16.0	4.2	-7.7	-26.3	-26.3	-26.3	-26.3	-26.3	-26.3	-26.3
10	77.5	65.6	53.7	41.8	30.0	18.1	6.2	-5.7	-17.6	-17.6	-17.6	-17.6	-17.6	-17.6	-17.6
11	79.5	67.6	55.7	43.9	32.0	20.1	8.2	-3.7	-15.5	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3	-33.3
12	81.5	69.6	57.8	45.9	34.0	22.1	10.2	-1.6	-13.5	-36.8	-36.8	-36.8	-36.8	-36.8	-36.8
13	83.6	71.7	59.8	47.9	36.0	24.2	12.3	0.4	-11.5	-23.4	-40.4	-40.4	-40.4	-40.4	-40.4
14	85.6	73.7	61.8	49.9	38.1	26.2	14.3	2.4	-9.5	-21.3	-43.9	-43.9	-43.9	-43.9	-43.9
15	87.6	75.7	63.8	52.0	40.1	28.2	16.3	4.4	-7.4	-19.3	-31.2	-47.4	-47.4	-47.4	-47.4
16	89.6	77.8	65.9	54.0	42.1	30.2	18.4	6.5	-5.4	-17.3	-29.2	-50.9	-50.9	-50.9	-50.9
17	91.7	79.8	67.9	56.0	44.1	32.3	20.4	8.5	-3.4	-15.3	-27.1	-39.0	-54.4	-54.4	-54.4
18	93.7	81.8	69.9	58.0	46.2	34.3	22.4	10.5	-1.4	-13.2	-25.1	-37.0	-57.9	-57.9	-57.9
19	95.7	83.8	72.0	60.1	48.2	36.3	24.4	12.6	0.7	-11.2	-23.1	-35.0	-46.8	-61.4	-61.4
20	97.7	85.9	74.0	62.1	50.2	38.3	26.5	14.6	2.7	-9.2	-21.1	-32.9	-44.8	-64.9	-64.9
21	99.8	87.9	76.0	64.1	52.2	40.4	28.5	16.6	4.7	-7.2	-19.0	-30.9	-42.8	-54.7	-68.4
22	101.8	89.9	78.0	66.2	54.3	42.4	30.5	18.6	6.8	-5.1	-17.0	-28.9	-40.8	-52.6	-72.0
23	103.8	91.9	80.1	68.2	56.3	44.4	32.5	20.7	8.8	-3.1	-15.0	-26.9	-38.7	-50.6	-62.5
24	105.9	94.0	82.1	70.2	58.3	46.5	34.6	22.7	10.8	-1.1	-12.9	-24.8	-36.7	-48.6	-60.5
25	107.9	96.0	84.1	72.2	60.4	48.5	36.6	24.7	12.8	1.0	-10.9	-22.8	-34.7	-46.6	-58.4
26	109.9	98.0	86.1	74.3	62.4	50.5	38.6	26.7	14.9	3.0	-8.9	-20.8	-32.7	-44.5	-56.4
27	111.9	100.1	88.2	76.3	64.4	52.5	40.7	28.8	16.9	5.0	-6.9	-18.7	-30.6	-42.5	-54.4
28	114.0	102.1	90.2	78.3	66.4	54.6	42.7	30.8	18.9	7.0	-4.8	-16.7	-28.6	-40.5	-52.4
29	116.0	104.1	92.2	80.3	68.5	56.6	44.7	32.8	20.9	9.1	-2.8	-14.7	-26.6	-38.5	-50.3
30	118.0	106.1	94.3	82.4	70.5	58.6	46.7	34.9	23.0	11.1	-0.8	-12.7	-24.5	-36.4	-48.3
31	120.0	108.2	96.3	84.4	72.5	60.6	48.8	36.9	25.0	13.1	1.2	-10.6	-22.5	-34.4	-46.3
32	122.1	110.2	98.3	86.4	74.5	62.7	50.8	38.9	27.0	15.1	3.3	-8.6	-20.5	-32.4	-44.3
33	124.1	112.2	100.3	88.5	76.6	64.7	52.8	40.9	29.1	17.2	5.3	-6.6	-18.5	-30.3	-42.2
34	126.1	114.2	102.4	90.5	78.6	66.7	54.8	43.0	31.1	19.2	7.3	-4.6	-16.4	-28.3	-40.2
35	128.1	116.3	104.4	92.5	80.6	68.7	56.9	45.0	33.1	21.2	9.3	-2.5	-14.4	-26.3	-38.2
36	130.2	118.3	106.4	94.5	82.7	70.8	58.9	47.0	35.1	23.3	11.4	-0.5	-12.4	-24.3	-36.1
37	132.2	120.3	108.4	96.6	84.7	72.8	60.9	49.0	37.2	25.3	13.4	1.5	-10.4	-22.2	-34.1
38	134.2	122.3	110.5	98.6	86.7	74.8	62.9	51.1	39.2	27.3	15.4	3.5	-8.3	-20.2	-32.1
39	136.3	124.4	112.5	100.6	88.7	76.9	65.0	53.1	41.2	29.3	17.5	5.6	-6.3	-18.2	-30.1
40	138.3	126.4	114.5	102.6	90.8	78.9	67.0	55.1	43.2	31.4	19.5	7.6	-4.3	-16.2	-28.0
41	140.3	128.4	116.5	104.7	92.8	80.9	69.0	57.1	45.3	33.4	21.5	9.6	-2.3	-14.1	-26.0
42	142.3	130.5	118.6	106.7	94.8	82.9	71.1	59.2	47.3	35.4	23.5	11.7	-0.2	-12.1	-24.0
43	144.4	132.5	120.6	108.7	96.8	85.0	73.1	61.2	49.3	37.4	25.6	13.7	1.8	-10.1	-22.0
44	146.4	134.5	122.6	110.7	98.9	87.0	75.1	63.2	51.3	39.5	27.6	15.7	3.8	-8.1	-19.9
45	148.4	136.5	124.7	112.8	100.9	89.0	77.1	65.3	53.4	41.5	29.6	17.7	5.9	-6.0	-17.9
46	150.4	138.6	126.7	114.8	102.9	91.0	79.2	67.3	55.4	43.5	31.6	19.8	7.9	-4.0	-15.9
47	152.5	140.6	128.7	116.8	105.0	93.1	81.2	69.3	57.4	45.6	33.7	21.8	9.9	-2.0	-13.8
48	154.5	142.6	130.7	118.9	107.0	95.1	83.2	71.3	59.5	47.6	35.7	23.8	11.9	0.1	-11.8
49	156.5	144.6	132.8	120.9	109.0	97.1	85.2	73.4	61.5	49.6	37.7	25.8	14.0	2.1	-9.8
50	158.6	146.7	134.8	122.9	111.0	99.2	87.3	75.4	63.5	51.6	39.8	27.9	16.0	4.1	-7.8
51	160.6	148.7	136.8	124.9	113.1	101.2	89.3	77.4	65.5	53.7	41.8	29.9	18.0	6.1	-5.7
52	162.6	150.7	138.8	127.0	115.1	103.2	91.3	79.4	67.6	55.7	43.8	31.9	20.0	8.2	-3.7
53	164.6	152.8	140.9	129.0	117.1	105.2	93.4	81.5	69.6	57.7	45.8	34.0	22.1	10.2	-1.7
54	166.7	154.8	142.9	131.0	119.1	107.3	95.4	83.5	71.6	59.7	47.9	36.0	24.1	12.2	0.3
55	168.7	156.8	144.9	133.0	121.2	109.3	97.4	85.5	73.6	61.8	49.9	38.0	26.1	14.2	2.4
56	170.7	158.8	147.0	135.1	123.2	111.3	99.4	87.6	75.7	63.8	51.9	40.0	28.2	16.3	4.4
57	172.7	160.9	149.0	137.1	125.2	113.3	101.5	89.6	77.7	65.8	53.9	42.1	30.2	18.3	6.4
58	174.8	162.9	151.0	139.1	127.2	115.4	103.5	91.6	79.7	67.8	56.0	44.1	32.2	20.3	8.4
59	176.8	164.9	153.0	141.2	129.3	117.4	105.5	93.6	81.8	69.9	58.0	46.1	34.2	22.4	10.5
60	178.8	166.9	155.1	143.2	131.3	119.4	107.5	95.7	83.8	71.9	60.0	48.1	36.3	24.4	12.5
61	180.8	169.0	157.1	145.2	133.3	121.4	109.6	97.7	85.8	73.9	62.0	50.2	38.3	26.4	14.5
62	182.9	171.0	159.1	147.2	135.4	123.5	111.6	99.7	87.8	76.0	64.1	52.2	40.3	28.4	16.6
63	184.9	173.0	161.1	149.3	137.4	125.5	113.6	101.7	89.9	78.0	66.1	54.2	42.3	30.5	18.6
64	186.9	175.0	163.2	151.3	139.4	127.5	115.6	103.8	91.9	80.0	68.1	56.2	44.4	32.5	20.6
65	189.0	177.1	165.2	153.3	141.4	129.6	117.7	105.8	93.9	82.0	70.2	58.3	46.4	34.5	22.6
66	191.0	179.1	167.2	155.3	143.5	131.6	119.7	107.8	95.9	84.1	72.2	60.3	48.4	36.5	24.7
67	193.0	181.1	169.3	157.4	145.5	133.6	121.7	109.9	98.0	86.1	74.2	62.3	50.5	38.6	26.7
68	195.0	183.2	171.3	159.4	147.5	135.6	123.8	111.9	100.0	88.1	76.2	64.4	52.5	40.6	28.7
69	197.1	185.2	173.3	161.4	149.5	137.7	125.8	113.9	102.0	90.1	78.3	66.4	54.5	42.6	30.7
70	199.1	187.2	175.3	163.5	151.6	139.7	127.8	115.9	104.1	92.2	80.3	68.4	56.5	44.7	32.8
71	201.1	189.2	177.4	165.5	153.6	141.7	129.8	118.0	106.1	94.2	82.3	70.4	58.6	46.7	34.8
72	203.1	191.3	179.4	167.5	155.6	143.7	131.9	120.0	108.1	96.2	84.3	72.5	60.6	48.7	36.8
73	205.2	193.3	181.4	169.5	157.7	145.8	133.9	122.0	110.1	98.3	86.4	74.5	62.6	50.7	38.9
74	207.2	195.3	183.4	171.6	159.7	147.8	135.9	124.0	112.2	100.3	88.4	76.5	64.6	52.8	40.9
75	209.2	197.3	185.5	173.6	161.7	149.8	137.9	126.1	114.2	102.3	90.4	78.5	66.7	54.8	42.9

Tab. A 30: N<sub>2</sub>-Fixierleistung beim Anbau von Grünspeise – Regressionsmodell aus Kornenertrag zu Korn-N-Ertrag und Kornenertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]											
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
<b>N<sub>2</sub>-Fixierleistung</b>												
2	109.3	99.3	89.3	79.3	69.3	59.3	49.3	39.3	29.3	19.3	9.3	11.8
3	116.1	106.1	96.1	86.1	76.1	66.1	56.1	46.1	36.1	26.1	16.1	12.5
4	120.8	110.8	100.8	90.8	80.8	70.8	60.8	50.8	40.8	30.8	20.8	12.9
5	124.3	114.3	104.3	94.3	84.3	74.3	64.3	54.3	44.3	34.3	24.3	13.3
6	126.9	116.9	106.9	96.9	86.9	76.9	66.9	56.9	46.9	36.9	26.9	16.9
7	129.0	119.0	109.0	99.0	89.0	79.0	69.0	59.0	49.0	39.0	29.0	19.0
8	130.7	120.7	110.7	100.7	90.7	80.7	70.7	60.7	50.7	40.7	30.7	20.7
9	132.1	122.1	112.1	102.1	92.1	82.1	72.1	62.1	52.1	42.1	32.1	22.1
10	133.3	123.3	113.3	103.3	93.3	83.3	73.3	63.3	53.3	43.3	33.3	23.3
11	134.3	124.3	114.3	104.3	94.3	84.3	74.3	64.3	54.3	44.3	34.3	24.3
12	135.2	125.2	115.2	105.2	95.2	85.2	75.2	65.2	55.2	45.2	35.2	25.2
13	135.9	125.9	115.9	105.9	95.9	85.9	75.9	65.9	55.9	45.9	35.9	25.9
14	136.6	126.6	116.6	106.6	96.6	86.6	76.6	66.6	56.6	46.6	36.6	26.6
15	137.2	127.2	117.2	107.2	97.2	87.2	77.2	67.2	57.2	47.2	37.2	27.2
16	137.7	127.7	117.7	107.7	97.7	87.7	77.7	67.7	57.7	47.7	37.7	27.7
17	138.2	128.2	118.2	108.2	98.2	88.2	78.2	68.2	58.2	48.2	38.2	28.2
18	138.6	128.6	118.6	108.6	98.6	88.6	78.6	68.6	58.6	48.6	38.6	28.6
19	139.0	129.0	119.0	109.0	99.0	89.0	79.0	69.0	59.0	49.0	39.0	29.0
20	139.3	129.3	119.3	109.3	99.3	89.3	79.3	69.3	59.3	49.3	39.3	29.3
21	139.6	129.6	119.6	109.6	99.6	89.6	79.6	69.6	59.6	49.6	39.6	29.6
22	139.9	129.9	119.9	109.9	99.9	89.9	79.9	69.9	59.9	49.9	39.9	29.9
23	140.2	130.2	120.2	110.2	100.2	90.2	80.2	70.2	60.2	50.2	40.2	30.2
24	140.4	130.4	120.4	110.4	100.4	90.4	80.4	70.4	60.4	50.4	40.4	30.4
25	140.7	130.7	120.7	110.7	100.7	90.7	80.7	70.7	60.7	50.7	40.7	30.7

Tab. A 31: Erweiterte N-Flächenbilanz beim Anbau von Ackerbohne – Regressionsmodell aus Kornenertrag zu Korn-N-Ertrag und Kornenertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]											
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
<b>erweiterte Flächenbilanz</b>												
2	121.7	109.5	97.2	84.9	72.6	60.3	48.1	35.8	23.5	11.2	-1.1	2.0
3	126.4	114.2	101.9	89.6	77.3	65.0	52.8	40.5	28.2	15.9	3.6	-0.9
4	128.6	116.3	104.0	91.7	79.4	67.2	54.9	42.6	30.3	18.0	5.8	-3.9
5	129.2	116.9	104.6	92.3	80.0	67.8	55.5	43.2	30.9	18.6	6.4	-7.2
6	128.7	116.5	104.2	91.9	79.6	67.3	55.1	42.8	30.5	18.2	5.9	-6.3
7	127.7	115.4	103.1	90.8	78.5	66.3	54.0	41.7	29.4	17.1	4.9	-7.4
8	126.1	113.8	101.5	89.2	77.0	64.7	52.4	40.1	27.8	15.6	3.3	-9.0
9	124.1	111.9	99.6	87.3	75.0	62.7	50.5	38.2	25.9	13.6	1.3	-10.9
10	121.9	109.6	97.4	85.1	72.8	60.5	48.2	36.0	23.7	11.4	-0.9	-13.2
11	119.5	107.2	94.9	82.7	70.4	58.1	45.8	33.5	21.3	9.0	-3.3	-15.6
12	116.9	104.6	92.3	80.1	67.8	55.5	43.2	30.9	18.7	6.4	-5.9	-18.2
13	114.2	101.9	89.6	77.3	65.1	52.8	40.5	28.2	15.9	3.7	-8.6	-20.9
14	111.3	99.0	86.8	74.5	62.2	49.9	37.6	25.4	13.1	0.8	-11.5	-23.8
15	108.4	96.1	83.8	71.6	59.3	47.0	34.7	22.4	10.2	-2.1	-14.4	-26.7
16	105.4	93.1	80.8	68.5	56.3	44.0	31.7	19.4	7.1	-5.1	-17.4	-29.7
17	102.3	90.0	77.7	65.5	53.2	40.9	28.6	16.3	4.1	-8.2	-20.5	-32.8
18	99.2	86.9	74.6	62.3	50.0	37.8	25.5	13.2	0.9	-11.4	-23.6	-35.9
19	96.0	83.7	71.4	59.1	46.9	34.6	22.3	10.0	-2.3	-14.5	-26.8	-39.1
20	92.7	80.5	68.2	55.9	43.6	31.3	19.1	6.8	-5.5	-17.8	-30.1	-42.3
21	89.5	77.2	64.9	52.6	40.4	28.1	15.8	3.5	-8.8	-21.0	-33.3	-45.6
22	86.2	73.9	61.6	49.4	37.1	24.8	12.5	0.2	-12.0	-24.3	-36.6	-48.9
23	82.9	70.6	58.3	46.0	33.7	21.5	9.2	-3.1	-15.4	-27.7	-39.9	-52.2
24	79.5	67.2	55.0	42.7	30.4	18.1	5.8	-6.4	-18.7	-31.0	-43.3	-55.6
25	76.1	63.9	51.6	39.3	27.0	14.7	2.5	-9.8	-22.1	-34.4	-46.7	-58.9

Tab. A 32: N<sub>2</sub>-Fixierleistung beim Anbau von Körnererbse – Regressionsmodell aus Kornertrag zu Korn-N-Ertrag und Korn-N-Ertrag zu gesamtplanzlicher N-Menge

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
	<b>N<sub>2</sub>-Fixierleistung</b>														
5	52.8	42.8	32.8	22.8	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
6	57.2	47.2	37.2	27.2	17.2	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
7	61.5	51.5	41.5	31.5	21.5	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
8	65.9	55.9	45.9	35.9	25.9	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
9	70.2	60.2	50.2	40.2	30.2	20.2	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
10	74.5	64.5	54.5	44.5	34.5	24.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
11	78.9	68.9	58.9	48.9	38.9	28.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
12	83.2	73.2	63.2	53.2	43.2	33.2	23.2	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4
13	87.6	77.6	67.6	57.6	47.6	37.6	27.6	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
14	91.9	81.9	71.9	61.9	51.9	41.9	31.9	21.9	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2
15	96.3	86.3	76.3	66.3	56.3	46.3	36.3	26.3	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7
16	100.6	90.6	80.6	70.6	60.6	50.6	40.6	30.6	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
17	105.0	95.0	85.0	75.0	65.0	55.0	45.0	35.0	25.0	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
18	109.3	99.3	89.3	79.3	69.3	59.3	49.3	39.3	29.3	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
19	113.7	103.7	93.7	83.7	73.7	63.7	53.7	43.7	33.7	23.7	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4
20	118.0	108.0	98.0	88.0	78.0	68.0	58.0	48.0	38.0	28.0	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
21	122.4	112.4	102.4	92.4	82.4	72.4	62.4	52.4	42.4	32.4	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
22	126.7	116.7	106.7	96.7	86.7	76.7	66.7	56.7	46.7	36.7	26.7	12.7	12.7	12.7	12.7
23	131.0	121.0	111.0	101.0	91.0	81.0	71.0	61.0	51.0	41.0	31.0	13.2	13.2	13.2	13.2
24	135.4	125.4	115.4	105.4	95.4	85.4	75.4	65.4	55.4	45.4	35.4	25.4	13.6	13.6	13.6
25	139.7	129.7	119.7	109.7	99.7	89.7	79.7	69.7	59.7	49.7	39.7	29.7	14.0	14.0	14.0
26	144.1	134.1	124.1	114.1	104.1	94.1	84.1	74.1	64.1	54.1	44.1	34.1	14.5	14.5	14.5
27	148.4	138.4	128.4	118.4	108.4	98.4	88.4	78.4	68.4	58.4	48.4	38.4	28.4	14.9	14.9
28	152.8	142.8	132.8	122.8	112.8	102.8	92.8	82.8	72.8	62.8	52.8	42.8	32.8	15.3	15.3
29	157.1	147.1	137.1	127.1	117.1	107.1	97.1	87.1	77.1	67.1	57.1	47.1	37.1	27.1	15.8
30	161.5	151.5	141.5	131.5	121.5	111.5	101.5	91.5	81.5	71.5	61.5	51.5	41.5	31.5	16.2
31	165.8	155.8	145.8	135.8	125.8	115.8	105.8	95.8	85.8	75.8	65.8	55.8	45.8	35.8	16.6
32	170.2	160.2	150.2	140.2	130.2	120.2	110.2	100.2	90.2	80.2	70.2	60.2	50.2	40.2	30.2
33	174.5	164.5	154.5	144.5	134.5	124.5	114.5	104.5	94.5	84.5	74.5	64.5	54.5	44.5	34.5
34	178.9	168.9	158.9	148.9	138.9	128.9	118.9	108.9	98.9	88.9	78.9	68.9	58.9	48.9	38.9
35	183.2	173.2	163.2	153.2	143.2	133.2	123.2	113.2	103.2	93.2	83.2	73.2	63.2	53.2	43.2
36	187.5	177.5	167.5	157.5	147.5	137.5	127.5	117.5	107.5	97.5	87.5	77.5	67.5	57.5	47.5
37	191.9	181.9	171.9	161.9	151.9	141.9	131.9	121.9	111.9	101.9	91.9	81.9	71.9	61.9	51.9
38	196.2	186.2	176.2	166.2	156.2	146.2	136.2	126.2	116.2	106.2	96.2	86.2	76.2	66.2	56.2
39	200.6	190.6	180.6	170.6	160.6	150.6	140.6	130.6	120.6	110.6	100.6	90.6	80.6	70.6	60.6
40	204.9	194.9	184.9	174.9	164.9	154.9	144.9	134.9	124.9	114.9	104.9	94.9	84.9	74.9	64.9
41	209.3	199.3	189.3	179.3	169.3	159.3	149.3	139.3	129.3	119.3	109.3	99.3	89.3	79.3	69.3
42	213.6	203.6	193.6	183.6	173.6	163.6	153.6	143.6	133.6	123.6	113.6	103.6	93.6	83.6	73.6
43	218.0	208.0	198.0	188.0	178.0	168.0	158.0	148.0	138.0	128.0	118.0	108.0	98.0	88.0	78.0
44	222.3	212.3	202.3	192.3	182.3	172.3	162.3	152.3	142.3	132.3	122.3	112.3	102.3	92.3	82.3
45	226.7	216.7	206.7	196.7	186.7	176.7	166.7	156.7	146.7	136.7	126.7	116.7	106.7	96.7	86.7
46	231.0	221.0	211.0	201.0	191.0	181.0	171.0	161.0	151.0	141.0	131.0	121.0	111.0	101.0	91.0
47	235.4	225.4	215.4	205.4	195.4	185.4	175.4	165.4	155.4	145.4	135.4	125.4	115.4	105.4	95.4
48	239.7	229.7	219.7	209.7	199.7	189.7	179.7	169.7	159.7	149.7	139.7	129.7	119.7	109.7	99.7
49	244.0	234.0	224.0	214.0	204.0	194.0	184.0	174.0	164.0	154.0	144.0	134.0	124.0	114.0	104.0
50	248.4	238.4	228.4	218.4	208.4	198.4	188.4	178.4	168.4	158.4	148.4	138.4	128.4	118.4	108.4
51	252.7	242.7	232.7	222.7	212.7	202.7	192.7	182.7	172.7	162.7	152.7	142.7	132.7	122.7	112.7
52	257.1	247.1	237.1	227.1	217.1	207.1	197.1	187.1	177.1	167.1	157.1	147.1	137.1	127.1	117.1
53	261.4	251.4	241.4	231.4	221.4	211.4	201.4	191.4	181.4	171.4	161.4	151.4	141.4	131.4	121.4
54	265.8	255.8	245.8	235.8	225.8	215.8	205.8	195.8	185.8	175.8	165.8	155.8	145.8	135.8	125.8
55	270.1	260.1	250.1	240.1	230.1	220.1	210.1	200.1	190.1	180.1	170.1	160.1	150.1	140.1	130.1
56	274.5	264.5	254.5	244.5	234.5	224.5	214.5	204.5	194.5	184.5	174.5	164.5	154.5	144.5	134.5
57	278.8	268.8	258.8	248.8	238.8	228.8	218.8	208.8	198.8	188.8	178.8	168.8	158.8	148.8	138.8
58	283.2	273.2	263.2	253.2	243.2	233.2	223.2	213.2	203.2	193.2	183.2	173.2	163.2	153.2	143.2
59	287.5	277.5	267.5	257.5	247.5	237.5	227.5	217.5	207.5	197.5	187.5	177.5	167.5	157.5	147.5
60	291.9	281.9	271.9	261.9	251.9	241.9	231.9	221.9	211.9	201.9	191.9	181.9	171.9	161.9	151.9
61	296.2	286.2	276.2	266.2	256.2	246.2	236.2	226.2	216.2	206.2	196.2	186.2	176.2	166.2	156.2
62	300.5	290.5	280.5	270.5	260.5	250.5	240.5	230.5	220.5	210.5	200.5	190.5	180.5	170.5	160.5
63	304.9	294.9	284.9	274.9	264.9	254.9	244.9	234.9	224.9	214.9	204.9	194.9	184.9	174.9	164.9
64	309.2	299.2	289.2	279.2	269.2	259.2	249.2	239.2	229.2	219.2	209.2	199.2	189.2	179.2	169.2
65	313.6	303.6	293.6	283.6	273.6	263.6	253.6	243.6	233.6	223.6	213.6	203.6	193.6	183.6	173.6
66	317.9	307.9	297.9	287.9	277.9	267.9	257.9	247.9	237.9	227.9	217.9	207.9	197.9	187.9	177.9
67	322.3	312.3	302.3	292.3	282.3	272.3	262.3	252.3	242.3	232.3	222.3	212.3	202.3	192.3	182.3
68	326.6	316.6	306.6	296.6	286.6	276.6	266.6	256.6	246.6	236.6	226.6	216.6	206.6	196.6	186.6
69	331.0	321.0	311.0	301.0	291.0	281.0	271.0	261.0	251.0	241.0	231.0	221.0	211.0	201.0	191.0
70	335.3	325.3	315.3	305.3	295.3	285.3	275.3	265.3	255.3	245.3	235.3	225.3	215.3	205.3	195.3
71	339.7	329.7	319.7	309.7	299.7	289.7	279.7	269.7	259.7	249.7	239.7	229.7	219.7	209.7	199.7
72	344.0	334.0	324.0	314.0	304.0	294.0	284.0	274.0	264.0	254.0	244.0	234.0	224.0	214.0	204.0
73	348.4	338.4	328.4	318.4	308.4	298.4	288.4	278.4	268.4	258.4	248.4	238.4	228.4	218.4	208.4
74	352.7	342.7	332.7	322.7	312.7	302.7	292.7	282.7	272.7	262.7	252.7	242.7	232.7	222.7	212.7
75	357.0	347.0	337.0	327.0	317.0	307.0	297.0	287.0	277.0	267.0	257.0	247.0	237.0	227.0	217.0

Tab. A 33: Erweiterte N-Flächenbilanz beim Anbau von Körnererbse – Regressionsmodell aus Kornertrag zu Korn-N-Ertrag und Korn-N-Ertrag zu gesamtplanzlicher N-Menge

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
	<b>N<sub>2</sub>-Fixierleistung</b>														
5	28.7	17.6	6.4	-4.7	-24.1	-24.1	-24.1	-24.1	-24.1	-24.1	-24.1	-24.1	-24.1	-24.1	-24.1
6	30.4	19.2	8.1	-3.0	-14.1	-26.8	-26.8	-26.8	-26.8	-26.8	-26.8	-26.8	-26.8	-26.8	-26.8
7	32.1	20.9	9.8	-1.3	-12.4	-29.4	-29.4	-29.4	-29.4	-29.4	-29.4	-29.4	-29.4	-29.4	-29.4
8	33.7	22.6	11.5	0.4	-10.7	-32.1	-32.1	-32.1	-32.1	-32.1	-32.1	-32.1	-32.1	-32.1	-32.1
9	35.4	24.3	13.2	2.1	-9.1	-20.2	-34.8	-34.8	-34.8	-34.8	-34.8	-34.8	-34.8	-34.8	-34.8
10	37.1	26.0	14.9	3.8	-7.4	-18.5	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4
11	38.8	27.7	16.6	5.4	-5.7	-16.8	-40.1	-40.1	-40.1	-40.1	-40.1	-40.1	-40.1	-40.1	-40.1
12	40.5	29.4	18.2	7.1	-4.0	-15.1	-26.2	-42.8	-42.8	-42.8	-42.8	-42.8	-42.8	-42.8	-42.8
13	42.2	31.0	19.9	8.8	-2.3	-13.4	-24.6	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4	-45.4
14	43.9	32.7	21.6	10.5	-0.6	-11.7	-22.9	-34.0	-48.1	-48.1	-48.1	-48.1	-48.1	-48.1	-48.1
15	45.5	34.4	23.3	12.2	1.1	-10.1	-21.2	-32.3	-50.8	-50.8	-50.8	-50.8	-50.8	-50.8	-50.8
16	47.2	36.1	25.0	13.9	2.7	-8.4	-19.5	-30.6	-53.4	-53.4	-53.4	-53.4	-53.4	-53.4	-53.4
17	48.9	37.8	26.7	15.6	4.4	-6.7	-17.8	-28.9	-40.0	-56.1	-56.1	-56.1	-56.1	-56.1	-56.1
18	50.6	39.5	28.4	17.2	6.1	-5.0	-16.1	-27.2	-38.4	-58.7	-58.7	-58.7	-58.7	-58.7	-58.7
19	52.3	41.2	30.0	18.9	7.8	-3.3	-14.4	-25.6	-36.7	-47.8	-61.4	-61.4	-61.4	-61.4	-61.4
20	54.0	42.9	31.7	20.6	9.5	-1.6	-12.7	-23.9	-35.0	-46.1	-64.1	-64.1	-64.1	-64.1	-64.1
21	55.7	44.5	33.4	22.3	11.2	0.1	-11.1	-22.2	-33.3	-44.4	-66.7	-66.7	-66.7	-66.7	-66.7
22	57.3	46.2	35.1	24.0	12.9	1.7	-9.4	-20.5	-31.6	-42.7	-53.9	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4
23	59.0	47.9	36.8	25.7	14.6	3.4	-7.7	-18.8	-29.9	-41.0	-52.2	-72.1	-72.1	-72.1	-72.1
24	60.7	49.6	38.5	27.4	16.2	5.1	-6.0	-17.1	-28.2	-39.4	-50.5	-61.6	-74.7	-74.7	-74.7
25	62.4	51.3	40.2	29.0	17.9	6.8	-4.3	-15.4	-26.6	-37.7	-48.8	-59.9	-77.4	-77.4	-77.4
26	64.1	53.0	41.8	30.7	19.6	8.5	-2.6	-13.8	-24.9	-36.0	-47.1	-58.2	-80.1	-80.1	-80.1
27	65.8	54.7	43.5	32.4	21.3	10.2	-0.9	-12.1	-23.2	-34.3	-45.4	-56.5	-67.7	-82.7	-82.7
28	67.5	56.3	45.2	34.1	23.0	11.9	0.7	-10.4	-21.5	-32.6	-43.7	-54.9	-66.0	-85.4	-85.4
29	69.1	58.0	46.9	35.8	24.7	13.5	2.4	-8.7	-19.8	-30.9	-42.1	-53.2	-64.3	-75.4	-88.0
30	70.8	59.7	48.6	37.5	26.4	15.2	4.1	-7.0	-18.1	-29.2	-40.4	-51.5	-62.6	-73.7	-90.7
31	72.5	61.4	50.3	39.2	28.0	16.9	5.8	-5.3	-16.4	-27.6	-38.7	-49.8	-60.9	-72.0	-93.4
32	74.2	63.1	52.0	40.8	29.7	18.6	7.5	-3.6	-14.8	-25.9	-37.0	-48.1	-59.2	-70.4	-81.5
33	75.9	64.8	53.7	42.5	31.4	20.3	9.2	-1.9	-13.1	-24.2	-35.3	-46.4	-57.5	-68.7	-79.8
34	77.6	66.5	55.3	44.2	33.1	22.0	10.9	-0.3	-11.4	-22.5	-33.6	-44.7	-55.9	-67.0	-78.1
35	79.3	68.1	57.0	45.9	34.8	23.7	12.5	1.4	-9.7	-20.8	-31.9	-43.1	-54.2	-65.3	-76.4
36	81.0	69.8	58.7	47.6	36.5	25.4	14.2	3.1	-8.0	-19.1	-30.2	-41.4	-52.5	-63.6	-74.7
37	82.6	71.5	60.4	49.3	38.2	27.0	15.9	4.8	-6.3	-17.4	-28.6	-39.7	-50.8	-61.9	-73.0
38	84.3	73.2	62.1	51.0	39.8	28.7	17.6	6.5	-4.6	-15.8	-26.9	-38.0	-49.1	-60.2	-71.4
39	86.0	74.9	63.8	52.7	41.5	30.4	19.3	8.2	-2.9	-14.1	-25.2	-36.3	-47.4	-58.5	-69.7
40	87.7	76.6	65.5	54.3	43.2	32.1	21.0	9.9	-1.3	-12.4	-23.5	-34.6	-45.7	-56.9	-68.0
41	89.4	78.3	67.1	56.0	44.9	33.8	22.7	11.5	0.4	-10.7	-21.8	-32.9	-44.1	-55.2	-66.3
42	91.1	79.9	68.8	57.7	46.6	35.5	24.3	13.2	2.1	-9.0	-20.1	-31.3	-42.4	-53.5	-64.6
43	92.8	81.6	70.5	59.4	48.3	37.2	26.0	14.9	3.8	-7.3	-18.4	-29.6	-40.7	-51.8	-62.9
44	94.4	83.3	72.2	61.1	50.0	38.8	27.7	16.6	5.5	-5.6	-16.8	-27.9	-39.0	-50.1	-61.2
45	96.1	85.0	73.9	62.8	51.6	40.5	29.4	18.3	7.2	-4.0	-15.1	-26.2	-37.3	-48.4	-59.6
46	97.8	86.7	75.6	64.5	53.3	42.2	31.1	20.0	8.9	-2.3	-13.4	-24.5	-35.6	-46.7	-57.9
47	99.5	88.4	77.3	66.1	55.0	43.9	32.8	21.7	10.5	-0.6	-11.7	-22.8	-33.9	-45.1	-56.2
48	101.2	90.1	78.9	67.8	56.7	45.6	34.5	23.3	12.2	1.1	-10.0	-21.1	-32.3	-43.4	-54.5
49	102.9	91.8	80.6	69.5	58.4	47.3	36.2	25.0	13.9	2.8	-8.3	-19.4	-30.6	-41.7	-52.8
50	104.6	93.4	82.3	71.2	60.1	49.0	37.8	26.7	15.6	4.5	-6.6	-17.8	-28.9	-40.0	-51.1
51	106.2	95.1	84.0	72.9	61.8	50.6	39.5	28.4	17.3	6.2	-5.0	-16.1	-27.2	-38.3	-49.4
52	107.9	96.8	85.7	74.6	63.5	52.3	41.2	30.1	19.0	7.9	-3.3	-14.4	-25.5	-36.6	-47.7
53	109.6	98.5	87.4	76.3	65.1	54.0	42.9	31.8	20.7	9.5	-1.6	-12.7	-23.8	-34.9	-46.1
54	111.3	100.2	89.1	77.9	66.8	55.7	44.6	33.5	22.3	11.2	0.1	-11.0	-22.1	-33.3	-44.4
55	113.0	101.9	90.7	79.6	68.5	57.4	46.3	35.1	24.0	12.9	1.8	-9.3	-20.5	-31.6	-42.7
56	114.7	103.6	92.4	81.3	70.2	59.1	48.0	36.8	25.7	14.6	3.5	-7.6	-18.8	-29.9	-41.0
57	116.4	105.2	94.1	83.0	71.9	60.8	49.6	38.5	27.4	16.3	5.2	-6.0	-17.1	-28.2	-39.3
58	118.0	106.9	95.8	84.7	73.6	62.4	51.3	40.2	29.1	18.0	6.8	-4.3	-15.4	-26.5	-37.6
59	119.7	108.6	97.5	86.4	75.3	64.1	53.0	41.9	30.8	19.7	8.5	-2.6	-13.7	-24.8	-35.9
60	121.4	110.3	99.2	88.1	76.9	65.8	54.7	43.6	32.5	21.3	10.2	-0.9	-12.0	-23.1	-34.3
61	123.1	112.0	100.9	89.7	78.6	67.5	56.4	45.3	34.1	23.0	11.9	0.8	-10.3	-21.5	-32.6
62	124.8	113.7	102.6	91.4	80.3	69.2	58.1	47.0	35.8	24.7	13.6	2.5	-8.6	-19.8	-30.9
63	126.5	115.4	104.2	93.1	82.0	70.9	59.8	48.6	37.5	26.4	15.3	4.2	-7.0	-18.1	-29.2
64	128.2	117.0	105.9	94.8	83.7	72.6	61.4	50.3	39.2	28.1	17.0	5.8	-5.3	-16.4	-27.5
65	129.9	118.7	107.6	96.5	85.4	74.3	63.1	52.0	40.9	29.8	18.7	7.5	-3.6	-14.7	-25.8
66	131.5	120.4	109.3	98.2	87.1	75.9	64.8	53.7	42.6	31.5	20.3	9.2	-1.9	-13.0	-24.1
67	133.2	122.1	111.0	99.9	88.7	77.6	66.5	55.4	44.3	33.1	22.0	10.9	-0.2	-11.3	-22.5
68	134.9	123.8	112.7	101.5	90.4	79.3	68.2	57.1	45.9	34.8	23.7	12.6	1.5	-9.7	-20.8
69	136.6	125.5	114.4	103.2	92.1	81.0	69.9	58.8	47.6	36.5	25.4	14.3	3.2	-8.0	-19.1
70	138.3	127.2	116.0	104.9	93.8	82.7	71.6	60.4	49.3	38.2	27.1	16.0	4.8	-6.3	-17.4
71	140.0	128.8	117.7	106.6	95.5	84.4	73.2	62.1	51.0	39.9	28.8	17.6	6.5	-4.6	-15.7
72	141.7	130.5	119.4	108.3	97.2	86.1	74.9	63.8	52.7	41.6	30.5	19.3	8.2	-2.9	-14.0
73	143.3	132.2	121.1	110.0	98.9	87.7	76.6	65.5	54.4	43.3	32.1	21.0	9.9	-1.2	-12.3
74	145.0	133.9	122.8	111.7	100.5	89.4	78.3	67.2	56.1	44.9	33.8	22.7	11.6	0.5	-10.7
75	146.7	135.6	124.5	113.4	102.2	91.1	80.0	68.9	57.8	46.6	35.5	24.4	13.3	2.2	-9.0



Tab. A 34: N<sub>2</sub>-Fixierleistung beim Anbau von Weißer Lupine – Regressionsmodell aus Kornertrag zu Korn-N-Ertrag und Kornertrag zu gesamtplanztlicher N-Menge

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
	<b>N<sub>2</sub>-Fixierleistung</b>														
2	50.2	40.2	30.2	20.2	10.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
3	56.8	46.8	36.8	26.8	16.8	6.8	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
4	63.3	53.3	43.3	33.3	23.3	13.3	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
5	69.9	59.9	49.9	39.9	29.9	19.9	9.9	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
6	76.5	66.5	56.5	46.5	36.5	26.5	16.5	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
7	83.1	73.1	63.1	53.1	43.1	33.1	23.1	13.1	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
8	89.7	79.7	69.7	59.7	49.7	39.7	29.7	19.7	9.7	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
9	96.2	86.2	76.2	66.2	56.2	46.2	36.2	26.2	16.2	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
10	102.8	92.8	82.8	72.8	62.8	52.8	42.8	32.8	22.8	12.8	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
11	109.4	99.4	89.4	79.4	69.4	59.4	49.4	39.4	29.4	19.4	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
12	116.0	106.0	96.0	86.0	76.0	66.0	56.0	46.0	36.0	26.0	16.0	12.8	12.8	12.8	12.8
13	122.6	112.6	102.6	92.6	82.6	72.6	62.6	52.6	42.6	32.6	22.6	13.4	13.4	13.4	13.4
14	129.1	119.1	109.1	99.1	89.1	79.1	69.1	59.1	49.1	39.1	29.1	19.1	14.1	14.1	14.1
15	135.7	125.7	115.7	105.7	95.7	85.7	75.7	65.7	55.7	45.7	35.7	25.7	15.7	14.8	14.8
16	142.3	132.3	122.3	112.3	102.3	92.3	82.3	72.3	62.3	52.3	42.3	32.3	22.3	15.4	15.4
17	148.9	138.9	128.9	118.9	108.9	98.9	88.9	78.9	68.9	58.9	48.9	38.9	28.9	18.9	16.1
18	155.4	145.4	135.4	125.4	115.4	105.4	95.4	85.4	75.4	65.4	55.4	45.4	35.4	25.4	16.7
19	162.0	152.0	142.0	132.0	122.0	112.0	102.0	92.0	82.0	72.0	62.0	52.0	42.0	32.0	22.0
20	168.6	158.6	148.6	138.6	128.6	118.6	108.6	98.6	88.6	78.6	68.6	58.6	48.6	38.6	28.6
21	175.2	165.2	155.2	145.2	135.2	125.2	115.2	105.2	95.2	85.2	75.2	65.2	55.2	45.2	35.2
22	181.8	171.8	161.8	151.8	141.8	131.8	121.8	111.8	101.8	91.8	81.8	71.8	61.8	51.8	41.8
23	188.3	178.3	168.3	158.3	148.3	138.3	128.3	118.3	108.3	98.3	88.3	78.3	68.3	58.3	48.3
24	194.9	184.9	174.9	164.9	154.9	144.9	134.9	124.9	114.9	104.9	94.9	84.9	74.9	64.9	54.9
25	201.5	191.5	181.5	171.5	161.5	151.5	141.5	131.5	121.5	111.5	101.5	91.5	81.5	71.5	61.5
26	208.1	198.1	188.1	178.1	168.1	158.1	148.1	138.1	128.1	118.1	108.1	98.1	88.1	78.1	68.1
27	214.7	204.7	194.7	184.7	174.7	164.7	154.7	144.7	134.7	124.7	114.7	104.7	94.7	84.7	74.7
28	221.2	211.2	201.2	191.2	181.2	171.2	161.2	151.2	141.2	131.2	121.2	111.2	101.2	91.2	81.2
29	227.8	217.8	207.8	197.8	187.8	177.8	167.8	157.8	147.8	137.8	127.8	117.8	107.8	97.8	87.8
30	234.4	224.4	214.4	204.4	194.4	184.4	174.4	164.4	154.4	144.4	134.4	124.4	114.4	104.4	94.4
31	241.0	231.0	221.0	211.0	201.0	191.0	181.0	171.0	161.0	151.0	141.0	131.0	121.0	111.0	101.0
32	247.6	237.6	227.6	217.6	207.6	197.6	187.6	177.6	167.6	157.6	147.6	137.6	127.6	117.6	107.6
33	254.1	244.1	234.1	224.1	214.1	204.1	194.1	184.1	174.1	164.1	154.1	144.1	134.1	124.1	114.1
34	260.7	250.7	240.7	230.7	220.7	210.7	200.7	190.7	180.7	170.7	160.7	150.7	140.7	130.7	120.7
35	267.3	257.3	247.3	237.3	227.3	217.3	207.3	197.3	187.3	177.3	167.3	157.3	147.3	137.3	127.3
36	273.9	263.9	253.9	243.9	233.9	223.9	213.9	203.9	193.9	183.9	173.9	163.9	153.9	143.9	133.9
37	280.5	270.5	260.5	250.5	240.5	230.5	220.5	210.5	200.5	190.5	180.5	170.5	160.5	150.5	140.5
38	287.0	277.0	267.0	257.0	247.0	237.0	227.0	217.0	207.0	197.0	187.0	177.0	167.0	157.0	147.0
39	293.6	283.6	273.6	263.6	253.6	243.6	233.6	223.6	213.6	203.6	193.6	183.6	173.6	163.6	153.6
40	300.2	290.2	280.2	270.2	260.2	250.2	240.2	230.2	220.2	210.2	200.2	190.2	180.2	170.2	160.2
41	306.8	296.8	286.8	276.8	266.8	256.8	246.8	236.8	226.8	216.8	206.8	196.8	186.8	176.8	166.8
42	313.3	303.3	293.3	283.3	273.3	263.3	253.3	243.3	233.3	223.3	213.3	203.3	193.3	183.3	173.3
43	319.9	309.9	299.9	289.9	279.9	269.9	259.9	249.9	239.9	229.9	219.9	209.9	199.9	189.9	179.9
44	326.5	316.5	306.5	296.5	286.5	276.5	266.5	256.5	246.5	236.5	226.5	216.5	206.5	196.5	186.5
45	333.1	323.1	313.1	303.1	293.1	283.1	273.1	263.1	253.1	243.1	233.1	223.1	213.1	203.1	193.1
46	339.7	329.7	319.7	309.7	299.7	289.7	279.7	269.7	259.7	249.7	239.7	229.7	219.7	209.7	199.7
47	346.2	336.2	326.2	316.2	306.2	296.2	286.2	276.2	266.2	256.2	246.2	236.2	226.2	216.2	206.2
48	352.8	342.8	332.8	322.8	312.8	302.8	292.8	282.8	272.8	262.8	252.8	242.8	232.8	222.8	212.8
49	359.4	349.4	339.4	329.4	319.4	309.4	299.4	289.4	279.4	269.4	259.4	249.4	239.4	229.4	219.4
50	366.0	356.0	346.0	336.0	326.0	316.0	306.0	296.0	286.0	276.0	266.0	256.0	246.0	236.0	226.0
51	372.6	362.6	352.6	342.6	332.6	322.6	312.6	302.6	292.6	282.6	272.6	262.6	252.6	242.6	232.6
52	379.1	369.1	359.1	349.1	339.1	329.1	319.1	309.1	299.1	289.1	279.1	269.1	259.1	249.1	239.1
53	385.7	375.7	365.7	355.7	345.7	335.7	325.7	315.7	305.7	295.7	285.7	275.7	265.7	255.7	245.7
54	392.3	382.3	372.3	362.3	352.3	342.3	332.3	322.3	312.3	302.3	292.3	282.3	272.3	262.3	252.3
55	398.9	388.9	378.9	368.9	358.9	348.9	338.9	328.9	318.9	308.9	298.9	288.9	278.9	268.9	258.9
56	405.5	395.5	385.5	375.5	365.5	355.5	345.5	335.5	325.5	315.5	305.5	295.5	285.5	275.5	265.5
57	412.0	402.0	392.0	382.0	372.0	362.0	352.0	342.0	332.0	322.0	312.0	302.0	292.0	282.0	272.0
58	418.6	408.6	398.6	388.6	378.6	368.6	358.6	348.6	338.6	328.6	318.6	308.6	298.6	288.6	278.6
59	425.2	415.2	405.2	395.2	385.2	375.2	365.2	355.2	345.2	335.2	325.2	315.2	305.2	295.2	285.2
60	431.8	421.8	411.8	401.8	391.8	381.8	371.8	361.8	351.8	341.8	331.8	321.8	311.8	301.8	291.8
61	438.4	428.4	418.4	408.4	398.4	388.4	378.4	368.4	358.4	348.4	338.4	328.4	318.4	308.4	298.4
62	444.9	434.9	424.9	414.9	404.9	394.9	384.9	374.9	364.9	354.9	344.9	334.9	324.9	314.9	304.9
63	451.5	441.5	431.5	421.5	411.5	401.5	391.5	381.5	371.5	361.5	351.5	341.5	331.5	321.5	311.5
64	458.1	448.1	438.1	428.1	418.1	408.1	398.1	388.1	378.1	368.1	358.1	348.1	338.1	328.1	318.1
65	464.7	454.7	444.7	434.7	424.7	414.7	404.7	394.7	384.7	374.7	364.7	354.7	344.7	334.7	324.7
66	471.2	461.2	451.2	441.2	431.2	421.2	411.2	401.2	391.2	381.2	371.2	361.2	351.2	341.2	331.2
67	477.8	467.8	457.8	447.8	437.8	427.8	417.8	407.8	397.8	387.8	377.8	367.8	357.8	347.8	337.8
68	484.4	474.4	464.4	454.4	444.4	434.4	424.4	414.4	404.4	394.4	384.4	374.4	364.4	354.4	344.4
69	491.0	481.0	471.0	461.0	451.0	441.0	431.0	421.0	411.0	401.0	391.0	381.0	371.0	361.0	351.0
70	497.6	487.6	477.6	467.6	457.6	447.6	437.6	427.6	417.6	407.6	397.6	387.6	377.6	367.6	357.6
71	504.1	494.1	484.1	474.1	464.1	454.1	444.1	434.1	424.1	414.1	404.1	394.1	384.1	374.1	364.1
72	510.7	500.7	490.7	480.7	470.7	460.7	450.7	440.7	430.7	420.7	410.7	400.7	390.7	380.7	370.7
73	517.3	507.3	497.3	487.3	477.3	467.3	457.3	447.3	437.3	427.3	417.3	407.3	397.3	387.3	377.3
74	523.9	513.9	503.9	493.9	483.9	473.9	463.9	453.9	443.9	433.9	423.9	413.9	403.9	393.9	383.9
75	530.5	520.5	510.5	500.5	490.5	480.5	470.5	460.5	450.5	440.5	430.5	420.5	410.5	400.5	390.5

Tab. A 35: Erweiterte N-Flächenbilanz beim Anbau von Weißer Lupine –  
Regressionsmodell aus Kornenertrag zu Korn-N-Ertrag und Kornenertrag  
zu gesamtplanzlicher N-Menge

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
	erweiterte N-Flächenbilanz														
2	50.7	38.5	26.2	13.9	1.6	-3.3	-3.3	-3.3	-3.3	-3.3	-3.3	-3.3	-3.3	-3.3	-3.3
3	53.2	40.9	28.6	16.3	4.0	-8.2	-8.1	-8.1	-8.1	-8.1	-8.1	-8.1	-8.1	-8.1	-8.1
4	55.6	43.3	31.0	18.7	6.5	-5.8	-13.0	-13.0	-13.0	-13.0	-13.0	-13.0	-13.0	-13.0	-13.0
5	58.0	45.7	33.4	21.1	8.9	-3.4	-15.7	-17.8	-17.8	-17.8	-17.8	-17.8	-17.8	-17.8	-17.8
6	60.4	48.1	35.8	23.6	11.3	-1.0	-13.3	-22.7	-22.7	-22.7	-22.7	-22.7	-22.7	-22.7	-22.7
7	62.8	50.5	38.3	26.0	13.7	1.4	-10.9	-23.1	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5	-27.5
8	65.2	52.9	40.7	28.4	16.1	3.8	-8.5	-20.7	-33.0	-32.4	-32.4	-32.4	-32.4	-32.4	-32.4
9	67.6	55.4	43.1	30.8	18.5	6.2	-6.0	-18.3	-30.6	-37.3	-37.3	-37.3	-37.3	-37.3	-37.3
10	70.1	57.8	45.5	33.2	20.9	8.7	-3.6	-15.9	-28.2	-40.5	-42.1	-42.1	-42.1	-42.1	-42.1
11	72.5	60.2	47.9	35.6	23.3	11.1	-1.2	-13.5	-25.8	-38.1	-47.0	-47.0	-47.0	-47.0	-47.0
12	74.9	62.6	50.3	38.0	25.8	13.5	1.2	-11.1	-23.4	-35.6	-47.9	-51.8	-51.8	-51.8	-51.8
13	77.3	65.0	52.7	40.5	28.2	15.9	3.6	-8.7	-20.9	-33.2	-45.5	-56.7	-56.7	-56.7	-56.7
14	79.7	67.4	55.1	42.9	30.6	18.3	6.0	-6.3	-18.5	-30.8	-43.1	-55.4	-61.5	-61.5	-61.5
15	82.1	69.8	57.6	45.3	33.0	20.7	8.4	-3.8	-16.1	-28.4	-40.7	-53.0	-65.2	-66.4	-66.4
16	84.5	72.3	60.0	47.7	35.4	23.1	10.9	-1.4	-13.7	-26.0	-38.3	-50.5	-62.8	-71.3	-71.3
17	86.9	74.7	62.4	50.1	37.8	25.5	13.3	1.0	-11.3	-23.6	-35.9	-48.1	-60.4	-72.7	-76.1
18	89.4	77.1	64.8	52.5	40.2	28.0	15.7	3.4	-8.9	-21.2	-33.4	-45.7	-58.0	-70.3	-81.0
19	91.8	79.5	67.2	54.9	42.7	30.4	18.1	5.8	-6.5	-18.7	-31.0	-43.3	-55.6	-67.9	-80.1
20	94.2	81.9	69.6	57.3	45.1	32.8	20.5	8.2	-4.1	-16.3	-28.6	-40.9	-53.2	-65.5	-77.7
21	96.6	84.3	72.0	59.8	47.5	35.2	22.9	10.6	-1.6	-13.9	-26.2	-38.5	-50.8	-63.0	-75.3
22	99.0	86.7	74.5	62.2	49.9	37.6	25.3	13.1	0.8	-11.5	-23.8	-36.1	-48.3	-60.6	-72.9
23	101.4	89.1	76.9	64.6	52.3	40.0	27.7	15.5	3.2	-9.1	-21.4	-33.7	-45.9	-58.2	-70.5
24	103.8	91.6	79.3	67.0	54.7	42.4	30.2	17.9	5.6	-6.7	-19.0	-31.2	-43.5	-55.8	-68.1
25	106.3	94.0	81.7	69.4	57.1	44.9	32.6	20.3	8.0	-4.3	-16.5	-28.8	-41.1	-53.4	-65.7
26	108.7	96.4	84.1	71.8	59.5	47.3	35.0	22.7	10.4	-1.9	-14.1	-26.4	-38.7	-51.0	-63.3
27	111.1	98.8	86.5	74.2	62.0	49.7	37.4	25.1	12.8	0.6	-11.7	-24.0	-36.3	-48.6	-60.8
28	113.5	101.2	88.9	76.7	64.4	52.1	39.8	27.5	15.3	3.0	-9.3	-21.6	-33.9	-46.1	-58.4
29	115.9	103.6	91.3	79.1	66.8	54.5	42.2	29.9	17.7	5.4	-6.9	-19.2	-31.5	-43.7	-56.0
30	118.3	106.0	93.8	81.5	69.2	56.9	44.6	32.4	20.1	7.8	-4.5	-16.8	-29.0	-41.3	-53.6
31	120.7	108.5	96.2	83.9	71.6	59.3	47.1	34.8	22.5	10.2	-2.1	-14.3	-26.6	-38.9	-51.2
32	123.2	110.9	98.6	86.3	74.0	61.8	49.5	37.2	24.9	12.6	0.4	-11.9	-24.2	-36.5	-48.8
33	125.6	113.3	101.0	88.7	76.4	64.2	51.9	39.6	27.3	15.0	2.8	-9.5	-21.8	-34.1	-46.4
34	128.0	115.7	103.4	91.1	78.9	66.6	54.3	42.0	29.7	17.5	5.2	-7.1	-19.4	-31.7	-43.9
35	130.4	118.1	105.8	93.6	81.3	69.0	56.7	44.4	32.2	19.9	7.6	-4.7	-17.0	-29.2	-41.5
36	132.8	120.5	108.2	96.0	83.7	71.4	59.1	46.8	34.6	22.3	10.0	-2.3	-14.6	-26.8	-39.1
37	135.2	122.9	110.7	98.4	86.1	73.8	61.5	49.3	37.0	24.7	12.4	0.1	-12.1	-24.4	-36.7
38	137.6	125.4	113.1	100.8	88.5	76.2	64.0	51.7	39.4	27.1	14.8	2.6	-9.7	-22.0	-34.3
39	140.0	127.8	115.5	103.2	90.9	78.6	66.4	54.1	41.8	29.5	17.2	5.0	-7.3	-19.6	-31.9
40	142.5	130.2	117.9	105.6	93.3	81.1	68.8	56.5	44.2	31.9	19.7	7.4	-4.9	-17.2	-29.5
41	144.9	132.6	120.3	108.0	95.8	83.5	71.2	58.9	46.6	34.4	22.1	9.8	-2.5	-14.8	-27.0
42	147.3	135.0	122.7	110.4	98.2	85.9	73.6	61.3	49.0	36.8	24.5	12.2	-0.1	-12.4	-24.6
43	149.7	137.4	125.1	112.9	100.6	88.3	76.0	63.7	51.5	39.2	26.9	14.6	2.3	-9.9	-22.2
44	152.1	139.8	127.6	115.3	103.0	90.7	78.4	66.2	53.9	41.6	29.3	17.0	4.8	-7.5	-19.8
45	154.5	142.2	130.0	117.7	105.4	93.1	80.8	68.6	56.3	44.0	31.7	19.4	7.2	-5.1	-17.4
46	156.9	144.7	132.4	120.1	107.8	95.5	83.3	71.0	58.7	46.4	34.1	21.9	9.6	-2.7	-15.0
47	159.4	147.1	134.8	122.5	110.2	98.0	85.7	73.4	61.1	48.8	36.6	24.3	12.0	-0.3	-12.6
48	161.8	149.5	137.2	124.9	112.6	100.4	88.1	75.8	63.5	51.2	39.0	26.7	14.4	2.1	-10.2
49	164.2	151.9	139.6	127.3	115.1	102.8	90.5	78.2	65.9	53.7	41.4	29.1	16.8	4.5	-7.7
50	166.6	154.3	142.0	129.8	117.5	105.2	92.9	80.6	68.4	56.1	43.8	31.5	19.2	7.0	-5.3
51	169.0	156.7	144.4	132.2	119.9	107.6	95.3	83.0	70.8	58.5	46.2	33.9	21.6	9.4	-2.9
52	171.4	159.1	146.9	134.6	122.3	110.0	97.7	85.5	73.2	60.9	48.6	36.3	24.1	11.8	-0.5
53	173.8	161.6	149.3	137.0	124.7	112.4	100.2	87.9	75.6	63.3	51.0	38.8	26.5	14.2	1.9
54	176.2	164.0	151.7	139.4	127.1	114.8	102.6	90.3	78.0	65.7	53.4	41.2	28.9	16.6	4.3
55	178.7	166.4	154.1	141.8	129.5	117.3	105.0	92.7	80.4	68.1	55.9	43.6	31.3	19.0	6.7
56	181.1	168.8	156.5	144.2	132.0	119.7	107.4	95.1	82.8	70.6	58.3	46.0	33.7	21.4	9.2
57	183.5	171.2	158.9	146.6	134.4	122.1	109.8	97.5	85.2	73.0	60.7	48.4	36.1	23.8	11.6
58	185.9	173.6	161.3	149.1	136.8	124.5	112.2	99.9	87.7	75.4	63.1	50.8	38.5	26.3	14.0
59	188.3	176.0	163.8	151.5	139.2	126.9	114.6	102.4	90.1	77.8	65.5	53.2	41.0	28.7	16.4
60	190.7	178.4	166.2	153.9	141.6	129.3	117.0	104.8	92.5	80.2	67.9	55.6	43.4	31.1	18.8
61	193.1	180.9	168.6	156.3	144.0	131.7	119.5	107.2	94.9	82.6	70.3	58.1	45.8	33.5	21.2
62	195.6	183.3	171.0	158.7	146.4	134.2	121.9	109.6	97.3	85.0	72.8	60.5	48.2	35.9	23.6
63	198.0	185.7	173.4	161.1	148.8	136.6	124.3	112.0	99.7	87.4	75.2	62.9	50.6	38.3	26.0
64	200.4	188.1	175.8	163.5	151.3	139.0	126.7	114.4	102.1	89.9	77.6	65.3	53.0	40.7	28.5
65	202.8	190.5	178.2	166.0	153.7	141.4	129.1	116.8	104.6	92.3	80.0	67.7	55.4	43.2	30.9
66	205.2	192.9	180.6	168.4	156.1	143.8	131.5	119.2	107.0	94.7	82.4	70.1	57.8	45.6	33.3
67	207.6	195.3	183.1	170.8	158.5	146.2	133.9	121.7	109.4	97.1	84.8	72.5	60.3	48.0	35.7
68	210.0	197.8	185.5	173.2	160.9	148.6	136.4	124.1	111.8	99.5	87.2	75.0	62.7	50.4	38.1
69	212.5	200.2	187.9	175.6	163.3	151.1	138.8	126.5	114.2	101.9	89.7	77.4	65.1	52.8	40.5
70	214.9	202.6	190.3	178.0	165.7	153.5	141.2	128.9	116.6	104.3	92.1	79.8	67.5	55.2	42.9
71	217.3	205.0	192.7	180.4	168.2	155.9	143.6	131.3	119.0	106.8	94.5	82.2	69.9	57.6	45.4
72	219.7	207.4	195.1	182.9	170.6	158.3	146.0	133.7	121.5	109.2	96.9	84.6	72.3	60.1	47.8
73	222.1	209.8	197.5	185.3	173.0	160.7	148.4	136.1	123.9	111.6	99.3	87.0	74.7	62.5	50.2
74	224.5	212.2	200.0	187.7	175.4	163.1	150.8	138.6	126.3	114.0	101.7	89.4	77.2	64.9	52.6
75	226.9	214.7	202.4	190.1	177.8	165.5	153.3	141.0	128.7	116.4	104.1	91.9	79.6	67.3	55.0

Tab. A 36: N<sub>2</sub>-Fixierleistung beim Anbau von Gelber Lupine – Regressionsmodell aus Kornertrag zu Korn-N-Ertrag und Korn-N-Ertrag zu gesamtplanzlicher N-Menge

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
	<b>N<sub>2</sub>-Fixierleistung</b>														
2	37.0	27.0	17.0	7.0	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
3	45.8	35.8	25.8	15.8	5.8	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
4	54.7	44.7	34.7	24.7	14.7	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
5	63.5	53.5	43.5	33.5	23.5	13.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
6	72.3	62.3	52.3	42.3	32.3	22.3	12.3	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4
7	81.2	71.2	61.2	51.2	41.2	31.2	21.2	11.2	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3
8	90.0	80.0	70.0	60.0	50.0	40.0	30.0	20.0	10.0	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
9	98.8	88.8	78.8	68.8	58.8	48.8	38.8	28.8	18.8	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
10	107.6	97.6	87.6	77.6	67.6	57.6	47.6	37.6	27.6	17.6	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
11	116.5	106.5	96.5	86.5	76.5	66.5	56.5	46.5	36.5	26.5	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
12	125.3	115.3	105.3	95.3	85.3	75.3	65.3	55.3	45.3	35.3	25.3	13.7	13.7	13.7	13.7
13	134.1	124.1	114.1	104.1	94.1	84.1	74.1	64.1	54.1	44.1	34.1	14.6	14.6	14.6	14.6
14	143.0	133.0	123.0	113.0	103.0	93.0	83.0	73.0	63.0	53.0	43.0	33.0	15.4	15.4	15.4
15	151.8	141.8	131.8	121.8	111.8	101.8	91.8	81.8	71.8	61.8	51.8	41.8	31.8	16.3	16.3
16	160.6	150.6	140.6	130.6	120.6	110.6	100.6	90.6	80.6	70.6	60.6	50.6	40.6	17.2	17.2
17	169.5	159.5	149.5	139.5	129.5	119.5	109.5	99.5	89.5	79.5	69.5	59.5	49.5	39.5	18.1
18	178.3	168.3	158.3	148.3	138.3	128.3	118.3	108.3	98.3	88.3	78.3	68.3	58.3	48.3	19.0
19	187.1	177.1	167.1	157.1	147.1	137.1	127.1	117.1	107.1	97.1	87.1	77.1	67.1	57.1	47.1
20	195.9	185.9	175.9	165.9	155.9	145.9	135.9	125.9	115.9	105.9	95.9	85.9	75.9	65.9	55.9
21	204.8	194.8	184.8	174.8	164.8	154.8	144.8	134.8	124.8	114.8	104.8	94.8	84.8	74.8	64.8
22	213.6	203.6	193.6	183.6	173.6	163.6	153.6	143.6	133.6	123.6	113.6	103.6	93.6	83.6	73.6
23	222.4	212.4	202.4	192.4	182.4	172.4	162.4	152.4	142.4	132.4	122.4	112.4	102.4	92.4	82.4
24	231.3	221.3	211.3	201.3	191.3	181.3	171.3	161.3	151.3	141.3	131.3	121.3	111.3	101.3	91.3
25	240.1	230.1	220.1	210.1	200.1	190.1	180.1	170.1	160.1	150.1	140.1	130.1	120.1	110.1	100.1
26	248.9	238.9	228.9	218.9	208.9	198.9	188.9	178.9	168.9	158.9	148.9	138.9	128.9	118.9	108.9
27	257.8	247.8	237.8	227.8	217.8	207.8	197.8	187.8	177.8	167.8	157.8	147.8	137.8	127.8	117.8
28	266.6	256.6	246.6	236.6	226.6	216.6	206.6	196.6	186.6	176.6	166.6	156.6	146.6	136.6	126.6
29	275.4	265.4	255.4	245.4	235.4	225.4	215.4	205.4	195.4	185.4	175.4	165.4	155.4	145.4	135.4
30	284.2	274.2	264.2	254.2	244.2	234.2	224.2	214.2	204.2	194.2	184.2	174.2	164.2	154.2	144.2
31	293.1	283.1	273.1	263.1	253.1	243.1	233.1	223.1	213.1	203.1	193.1	183.1	173.1	163.1	153.1
32	301.9	291.9	281.9	271.9	261.9	251.9	241.9	231.9	221.9	211.9	201.9	191.9	181.9	171.9	161.9
33	310.7	300.7	290.7	280.7	270.7	260.7	250.7	240.7	230.7	220.7	210.7	200.7	190.7	180.7	170.7
34	319.6	309.6	299.6	289.6	279.6	269.6	259.6	249.6	239.6	229.6	219.6	209.6	199.6	189.6	179.6
35	328.4	318.4	308.4	298.4	288.4	278.4	268.4	258.4	248.4	238.4	228.4	218.4	208.4	198.4	188.4
36	337.2	327.2	317.2	307.2	297.2	287.2	277.2	267.2	257.2	247.2	237.2	227.2	217.2	207.2	197.2
37	346.1	336.1	326.1	316.1	306.1	296.1	286.1	276.1	266.1	256.1	246.1	236.1	226.1	216.1	206.1
38	354.9	344.9	334.9	324.9	314.9	304.9	294.9	284.9	274.9	264.9	254.9	244.9	234.9	224.9	214.9
39	363.7	353.7	343.7	333.7	323.7	313.7	303.7	293.7	283.7	273.7	263.7	253.7	243.7	233.7	223.7
40	372.5	362.5	352.5	342.5	332.5	322.5	312.5	302.5	292.5	282.5	272.5	262.5	252.5	242.5	232.5
41	381.4	371.4	361.4	351.4	341.4	331.4	321.4	311.4	301.4	291.4	281.4	271.4	261.4	251.4	241.4
42	390.2	380.2	370.2	360.2	350.2	340.2	330.2	320.2	310.2	300.2	290.2	280.2	270.2	260.2	250.2
43	399.0	389.0	379.0	369.0	359.0	349.0	339.0	329.0	319.0	309.0	299.0	289.0	279.0	269.0	259.0
44	407.9	397.9	387.9	377.9	367.9	357.9	347.9	337.9	327.9	317.9	307.9	297.9	287.9	277.9	267.9
45	416.7	406.7	396.7	386.7	376.7	366.7	356.7	346.7	336.7	326.7	316.7	306.7	296.7	286.7	276.7
46	425.5	415.5	405.5	395.5	385.5	375.5	365.5	355.5	345.5	335.5	325.5	315.5	305.5	295.5	285.5
47	434.4	424.4	414.4	404.4	394.4	384.4	374.4	364.4	354.4	344.4	334.4	324.4	314.4	304.4	294.4
48	443.2	433.2	423.2	413.2	403.2	393.2	383.2	373.2	363.2	353.2	343.2	333.2	323.2	313.2	303.2
49	452.0	442.0	432.0	422.0	412.0	402.0	392.0	382.0	372.0	362.0	352.0	342.0	332.0	322.0	312.0
50	460.8	450.8	440.8	430.8	420.8	410.8	400.8	390.8	380.8	370.8	360.8	350.8	340.8	330.8	320.8
51	469.7	459.7	449.7	439.7	429.7	419.7	409.7	399.7	389.7	379.7	369.7	359.7	349.7	339.7	329.7
52	478.5	468.5	458.5	448.5	438.5	428.5	418.5	408.5	398.5	388.5	378.5	368.5	358.5	348.5	338.5
53	487.3	477.3	467.3	457.3	447.3	437.3	427.3	417.3	407.3	397.3	387.3	377.3	367.3	357.3	347.3
54	496.2	486.2	476.2	466.2	456.2	446.2	436.2	426.2	416.2	406.2	396.2	386.2	376.2	366.2	356.2
55	505.0	495.0	485.0	475.0	465.0	455.0	445.0	435.0	425.0	415.0	405.0	395.0	385.0	375.0	365.0
56	513.8	503.8	493.8	483.8	473.8	463.8	453.8	443.8	433.8	423.8	413.8	403.8	393.8	383.8	373.8
57	522.7	512.7	502.7	492.7	482.7	472.7	462.7	452.7	442.7	432.7	422.7	412.7	402.7	392.7	382.7
58	531.5	521.5	511.5	501.5	491.5	481.5	471.5	461.5	451.5	441.5	431.5	421.5	411.5	401.5	391.5
59	540.3	530.3	520.3	510.3	500.3	490.3	480.3	470.3	460.3	450.3	440.3	430.3	420.3	410.3	400.3
60	549.1	539.1	529.1	519.1	509.1	499.1	489.1	479.1	469.1	459.1	449.1	439.1	429.1	419.1	409.1
61	558.0	548.0	538.0	528.0	518.0	508.0	498.0	488.0	478.0	468.0	458.0	448.0	438.0	428.0	418.0
62	566.8	556.8	546.8	536.8	526.8	516.8	506.8	496.8	486.8	476.8	466.8	456.8	446.8	436.8	426.8
63	575.6	565.6	555.6	545.6	535.6	525.6	515.6	505.6	495.6	485.6	475.6	465.6	455.6	445.6	435.6
64	584.5	574.5	564.5	554.5	544.5	534.5	524.5	514.5	504.5	494.5	484.5	474.5	464.5	454.5	444.5
65	593.3	583.3	573.3	563.3	553.3	543.3	533.3	523.3	513.3	503.3	493.3	483.3	473.3	463.3	453.3
66	602.1	592.1	582.1	572.1	562.1	552.1	542.1	532.1	522.1	512.1	502.1	492.1	482.1	472.1	462.1
67	611.0	601.0	591.0	581.0	571.0	561.0	551.0	541.0	531.0	521.0	511.0	501.0	491.0	481.0	471.0
68	619.8	609.8	599.8	589.8	579.8	569.8	559.8	549.8	539.8	529.8	519.8	509.8	499.8	489.8	479.8
69	628.6	618.6	608.6	598.6	588.6	578.6	568.6	558.6	548.6	538.6	528.6	518.6	508.6	498.6	488.6
70	637.4	627.4	617.4	607.4	597.4	587.4	577.4	567.4	557.4	547.4	537.4	527.4	517.4	507.4	497.4
71	646.3	636.3	626.3	616.3	606.3	596.3	586.3	576.3	566.3	556.3	546.3	536.3	526.3	516.3	506.3
72	655.1	645.1	635.1	625.1	615.1	605.1	595.1	585.1	575.1	565.1	555.1	545.1	535.1	525.1	515.1
73	663.9	653.9	643.9	633.9	623.9	613.9	603.9	593.9	583.9	573.9	563.9	553.9	543.9	533.9	523.9
74	672.8	662.8	652.8	642.8	632.8	622.8	612.8	602.8	592.8	582.8	572.8	562.8	552.8	542.8	532.8
75	681.6	671.6	661.6	651.6	641.6	631.6	621.6	611.6	601.6	591.6	581.6	571.6	561.6	551.6	541.6

Tab. A 37: Erweiterte N-Flächenbilanz beim Anbau von Gelber Lupine –  
Regressionsmodell aus Kornertrag zu Korn-N-Ertrag und Korn-N-  
Ertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
<b>erweiterte N-Flächenbilanz</b>															
2	18.0	6.7	-4.7	-16.0	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4	-18.4
3	21.6	10.3	-1.0	-12.3	-23.7	-23.8	-23.8	-23.8	-23.8	-23.8	-23.8	-23.8	-23.8	-23.8	-23.8
4	25.3	14.0	2.7	-8.7	-20.0	-29.1	-29.1	-29.1	-29.1	-29.1	-29.1	-29.1	-29.1	-29.1	-29.1
5	29.0	17.6	6.3	-5.0	-16.3	-27.7	-34.4	-34.4	-34.4	-34.4	-34.4	-34.4	-34.4	-34.4	-34.4
6	32.6	21.3	10.0	-1.3	-12.7	-24.0	-35.3	-39.8	-39.8	-39.8	-39.8	-39.8	-39.8	-39.8	-39.8
7	36.3	25.0	13.6	2.3	-9.0	-20.3	-31.7	-43.0	-45.1	-45.1	-45.1	-45.1	-45.1	-45.1	-45.1
8	40.0	28.6	17.3	6.0	-5.3	-16.7	-28.0	-39.3	-50.7	-50.5	-50.5	-50.5	-50.5	-50.5	-50.5
9	43.6	32.3	21.0	9.6	-1.7	-13.0	-24.3	-35.7	-47.0	-55.8	-55.8	-55.8	-55.8	-55.8	-55.8
10	47.3	36.0	24.6	13.3	2.0	-9.4	-20.7	-32.0	-43.3	-54.7	-61.1	-61.1	-61.1	-61.1	-61.1
11	50.9	39.6	28.3	17.0	5.6	-5.7	-17.0	-28.3	-39.7	-51.0	-66.5	-66.5	-66.5	-66.5	-66.5
12	54.6	43.3	32.0	20.6	9.3	-2.0	-13.4	-24.7	-36.0	-47.3	-58.7	-71.8	-71.8	-71.8	-71.8
13	58.3	46.9	35.6	24.3	13.0	1.6	-9.7	-21.0	-32.3	-43.7	-55.0	-77.2	-77.2	-77.2	-77.2
14	61.9	50.6	39.3	27.9	16.6	5.3	-6.0	-17.4	-28.7	-40.0	-51.3	-62.7	-82.5	-82.5	-82.5
15	65.6	54.3	42.9	31.6	20.3	9.0	-2.4	-13.7	-25.0	-36.3	-47.7	-59.0	-70.3	-87.8	-87.8
16	69.3	57.9	46.6	35.3	23.9	12.6	1.3	-10.0	-21.4	-32.7	-44.0	-55.3	-66.7	-93.2	-93.2
17	72.9	61.6	50.3	38.9	27.6	16.3	5.0	-6.4	-17.7	-29.0	-40.4	-51.7	-63.0	-74.3	-98.5
18	76.6	65.2	53.9	42.6	31.3	19.9	8.6	-2.7	-14.0	-25.4	-36.7	-48.0	-59.3	-70.7	-103.9
19	80.2	68.9	57.6	46.3	34.9	23.6	12.3	1.0	-10.4	-21.7	-33.0	-44.4	-55.7	-67.0	-78.3
20	83.9	72.6	61.2	49.9	38.6	27.3	15.9	4.6	-6.7	-18.0	-29.4	-40.7	-52.0	-63.3	-74.7
21	87.6	76.2	64.9	53.6	42.3	30.9	19.6	8.3	-3.1	-14.4	-25.7	-37.0	-48.4	-59.7	-71.0
22	91.2	79.9	68.6	57.2	45.9	34.6	23.3	11.9	0.6	-10.7	-22.0	-33.4	-44.7	-56.0	-67.3
23	94.9	83.6	72.2	60.9	49.6	38.3	26.9	15.6	4.3	-7.1	-18.4	-29.7	-41.0	-52.4	-63.7
24	98.5	87.2	75.9	64.6	53.2	41.9	30.6	19.3	7.9	-3.4	-14.7	-26.0	-37.4	-48.7	-60.0
25	102.2	90.9	79.6	68.2	56.9	45.6	34.2	22.9	11.6	0.3	-11.1	-22.4	-33.7	-45.0	-56.4
26	105.9	94.5	83.2	71.9	60.6	49.2	37.9	26.6	15.3	3.9	-7.4	-18.7	-30.0	-41.4	-52.7
27	109.5	98.2	86.9	75.6	64.2	52.9	41.6	30.2	18.9	7.6	-3.7	-15.1	-26.4	-37.7	-49.0
28	113.2	101.9	90.5	79.2	67.9	56.6	45.2	33.9	22.6	11.3	-0.1	-11.4	-22.7	-34.1	-45.4
29	116.9	105.5	94.2	82.9	71.5	60.2	48.9	37.6	26.2	14.9	3.6	-7.7	-19.1	-30.4	-41.7
30	120.5	109.2	97.9	86.5	75.2	63.9	52.6	41.2	29.9	18.6	7.3	-4.1	-15.4	-26.7	-38.1
31	124.2	112.9	101.5	90.2	78.9	67.5	56.2	44.9	33.6	22.2	10.9	-0.4	-11.7	-23.1	-34.4
32	127.8	116.5	105.2	93.9	82.5	71.2	59.9	48.6	37.2	25.9	14.6	3.2	-8.1	-19.4	-30.7
33	131.5	120.2	108.9	97.5	86.2	74.9	63.5	52.2	40.9	29.6	18.2	6.9	-4.4	-15.7	-27.1
34	135.2	123.8	112.5	101.2	89.9	78.5	67.2	55.9	44.6	33.2	21.9	10.6	-0.8	-12.1	-23.4
35	138.8	127.5	116.2	104.8	93.5	82.2	70.9	59.5	48.2	36.9	25.6	14.2	2.9	-8.4	-19.7
36	142.5	131.2	119.8	108.5	97.2	85.9	74.5	63.2	51.9	40.6	29.2	17.9	6.6	-4.8	-16.1
37	146.2	134.8	123.5	112.2	100.8	89.5	78.2	66.9	55.5	44.2	32.9	21.6	10.2	-1.1	-12.4
38	149.8	138.5	127.2	115.8	104.5	93.2	81.9	70.5	59.2	47.9	36.5	25.2	13.9	2.6	-8.8
39	153.5	142.1	130.8	119.5	108.2	96.8	85.5	74.2	62.9	51.5	40.2	28.9	17.6	6.2	-5.1
40	157.1	145.8	134.5	123.2	111.8	100.5	89.2	77.9	66.5	55.2	43.9	32.5	21.2	9.9	-1.4
41	160.8	149.5	138.1	126.8	115.5	104.2	92.8	81.5	70.2	58.9	47.5	36.2	24.9	13.6	2.2
42	164.5	153.1	141.8	130.5	119.2	107.8	96.5	85.2	73.8	62.5	51.2	39.9	28.5	17.2	5.9
43	168.1	156.8	145.5	134.1	122.8	111.5	100.2	88.8	77.5	66.2	54.9	43.5	32.2	20.9	9.6
44	171.8	160.5	149.1	137.8	126.5	115.2	103.8	92.5	81.2	69.8	58.5	47.2	35.9	24.5	13.2
45	175.4	164.1	152.8	141.5	130.1	118.8	107.5	96.2	84.8	73.5	62.2	50.9	39.5	28.2	16.9
46	179.1	167.8	156.5	145.1	133.8	122.5	111.1	99.8	88.5	77.2	65.8	54.5	43.2	31.9	20.5
47	182.8	171.4	160.1	148.8	137.5	126.1	114.8	103.5	92.2	80.8	69.5	58.2	46.9	35.5	24.2
48	186.4	175.1	163.8	152.5	141.1	129.8	118.5	107.1	95.8	84.5	73.2	61.8	50.5	39.2	27.9
49	190.1	178.8	167.4	156.1	144.8	133.5	122.1	110.8	99.5	88.2	76.8	65.5	54.2	42.8	31.5
50	193.8	182.4	171.1	159.8	148.4	137.1	125.8	114.5	103.1	91.8	80.5	69.2	57.8	46.5	35.2
51	197.4	186.1	174.8	163.4	152.1	140.8	129.5	118.1	106.8	95.5	84.2	72.8	61.5	50.2	38.8
52	201.1	189.8	178.4	167.1	155.8	144.4	133.1	121.8	110.5	99.1	87.8	76.5	65.2	53.8	42.5
53	204.7	193.4	182.1	170.8	159.4	148.1	136.8	125.5	114.1	102.8	91.5	80.1	68.8	57.5	46.2
54	208.4	197.1	185.7	174.4	163.1	151.8	140.4	129.1	117.8	106.5	95.1	83.8	72.5	61.2	49.8
55	212.1	200.7	189.4	178.1	166.8	155.4	144.1	132.8	121.5	110.1	98.8	87.5	76.1	64.8	53.5
56	215.7	204.4	193.1	181.7	170.4	159.1	147.8	136.4	125.1	113.8	102.5	91.1	79.8	68.5	57.2
57	219.4	208.1	196.7	185.4	174.1	162.8	151.4	140.1	128.8	117.4	106.1	94.8	83.5	72.1	60.8
58	223.0	211.7	200.4	189.1	177.7	166.4	155.1	143.8	132.4	121.1	109.8	98.5	87.1	75.8	64.5
59	226.7	215.4	204.1	192.7	181.4	170.1	158.8	147.4	136.1	124.8	113.4	102.1	90.8	79.5	68.1
60	230.4	219.0	207.7	196.4	185.1	173.7	162.4	151.1	139.8	128.4	117.1	105.8	94.5	83.1	71.8
61	234.0	222.7	211.4	200.1	188.7	177.4	166.1	154.7	143.4	132.1	120.8	109.4	98.1	86.8	75.5
62	237.7	226.4	215.0	203.7	192.4	181.1	169.7	158.4	147.1	135.8	124.4	113.1	101.8	90.5	79.1
63	241.4	230.0	218.7	207.4	196.1	184.7	173.4	162.1	150.7	139.4	128.1	116.8	105.4	94.1	82.8
64	245.0	233.7	222.4	211.0	199.7	188.4	177.1	165.7	154.4	143.1	131.8	120.4	109.1	97.8	86.4
65	248.7	237.4	226.0	214.7	203.4	192.0	180.7	169.4	158.1	146.7	135.4	124.1	112.8	101.4	90.1
66	252.3	241.0	229.7	218.4	207.0	195.7	184.4	173.1	161.7	150.4	139.1	127.8	116.4	105.1	93.8
67	256.0	244.7	233.4	222.0	210.7	199.4	188.0	176.7	165.4	154.1	142.7	131.4	120.1	108.8	97.4
68	259.7	248.3	237.0	225.7	214.4	203.0	191.7	180.4	169.1	157.7	146.4	135.1	123.7	112.4	101.1
69	263.3	252.0	240.7	229.3	218.0	206.7	195.4	184.0	172.7	161.4	150.1	138.7	127.4	116.1	104.8
70	267.0	255.7	244.3	233.0	221.7	210.4	199.0	187.7	176.4	165.1	153.7	142.4	131.1	119.7	108.4
71	270.7	259.3	248.0	236.7	225.3	214.0	202.7	191.4	180.0	168.7	157.4	146.1	134.7	123.4	112.1
72	274.3	263.0	251.7	240.3	229.0	217.7	206.4	195.0	183.7	172.4	161.0	149.7	138.4	127.1	115.7
73	278.0	266.6	255.3	244.0	232.7	221.3	210.0	198.7	187.4	176.0	164.7	153.4	142.1	130.7	119.4
74	281.6	270.3	258.9	247.7	236.3	225.0	213.7	202.4	191.0	179.7	168.4	157.0	145.7	134.4	123.1
75	285.3	274.0	262.6	251.3	240.0	228.7	217.3	206.0	194.7	183.4	172.0	160.7	149.4	138.1	126.7

Tab. A 38: N<sub>2</sub>-Fixierleistung beim Anbau von Ackerbohne und Hafer im Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage – Regressionsmodell aus Schnittgutertrag (SG) zu Schnittgut-N-Ertrag und Schnittgutertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge des Gemengepartners Ackerbohne

SG-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
<b>N-Flächenbilanz</b>															
15	36.8	26.8	16.8	6.8	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
16	39.3	29.3	19.3	9.3	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
17	41.9	31.9	21.9	11.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
18	44.4	34.4	24.4	14.4	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
19	47.0	37.0	27.0	17.0	7.0	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
20	49.6	39.6	29.6	19.6	9.6	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
21	52.1	42.1	32.1	22.1	12.1	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
22	54.7	44.7	34.7	24.7	14.7	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
23	57.2	47.2	37.2	27.2	17.2	7.2	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
24	59.8	49.8	39.8	29.8	19.8	9.8	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
25	62.4	52.4	42.4	32.4	22.4	12.4	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
26	64.9	54.9	44.9	34.9	24.9	14.9	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
27	67.5	57.5	47.5	37.5	27.5	17.5	7.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
28	70.0	60.0	50.0	40.0	30.0	20.0	10.0	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7	8.7
29	72.6	62.6	52.6	42.6	32.6	22.6	12.6	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
30	75.2	65.2	55.2	45.2	35.2	25.2	15.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2
31	77.7	67.7	57.7	47.7	37.7	27.7	17.7	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
32	80.3	70.3	60.3	50.3	40.3	30.3	20.3	10.3	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7
33	82.8	72.8	62.8	52.8	42.8	32.8	22.8	12.8	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
34	85.4	75.4	65.4	55.4	45.4	35.4	25.4	15.4	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
35	88.0	78.0	68.0	58.0	48.0	38.0	28.0	18.0	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
36	90.5	80.5	70.5	60.5	50.5	40.5	30.5	20.5	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
37	93.1	83.1	73.1	63.1	53.1	43.1	33.1	23.1	13.1	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
38	95.6	85.6	75.6	65.6	55.6	45.6	35.6	25.6	15.6	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
39	98.2	88.2	78.2	68.2	58.2	48.2	38.2	28.2	18.2	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
40	100.8	90.8	80.8	70.8	60.8	50.8	40.8	30.8	20.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
41	103.3	93.3	83.3	73.3	63.3	53.3	43.3	33.3	23.3	13.3	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1
42	105.9	95.9	85.9	75.9	65.9	55.9	45.9	35.9	25.9	15.9	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
43	108.4	98.4	88.4	78.4	68.4	58.4	48.4	38.4	28.4	18.4	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6
44	111.0	101.0	91.0	81.0	71.0	61.0	51.0	41.0	31.0	21.0	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
45	113.6	103.6	93.6	83.6	73.6	63.6	53.6	43.6	33.6	23.6	13.6	13.1	13.1	13.1	13.1
46	116.1	106.1	96.1	86.1	76.1	66.1	56.1	46.1	36.1	26.1	16.1	13.3	13.3	13.3	13.3
47	118.7	108.7	98.7	88.7	78.7	68.7	58.7	48.7	38.7	28.7	18.7	13.6	13.6	13.6	13.6
48	121.2	111.2	101.2	91.2	81.2	71.2	61.2	51.2	41.2	31.2	21.2	13.8	13.8	13.8	13.8
49	123.8	113.8	103.8	93.8	83.8	73.8	63.8	53.8	43.8	33.8	23.8	14.1	14.1	14.1	14.1
50	126.4	116.4	106.4	96.4	86.4	76.4	66.4	56.4	46.4	36.4	26.4	16.4	14.4	14.4	14.4
51	128.9	118.9	108.9	98.9	88.9	78.9	68.9	58.9	48.9	38.9	28.9	18.9	14.6	14.6	14.6
52	131.5	121.5	111.5	101.5	91.5	81.5	71.5	61.5	51.5	41.5	31.5	21.5	14.9	14.9	14.9
53	134.1	124.1	114.1	104.1	94.1	84.1	74.1	64.1	54.1	44.1	34.1	24.1	15.1	15.1	15.1
54	136.6	126.6	116.6	106.6	96.6	86.6	76.6	66.6	56.6	46.6	36.6	26.6	16.6	16.6	16.6
55	139.2	129.2	119.2	109.2	99.2	89.2	79.2	69.2	59.2	49.2	39.2	29.2	19.2	15.6	15.6
56	141.7	131.7	121.7	111.7	101.7	91.7	81.7	71.7	61.7	51.7	41.7	31.7	21.7	15.9	15.9
57	144.3	134.3	124.3	114.3	104.3	94.3	84.3	74.3	64.3	54.3	44.3	34.3	24.3	16.2	16.2
58	146.9	136.9	126.9	116.9	106.9	96.9	86.9	76.9	66.9	56.9	46.9	36.9	26.9	16.9	16.4
59	149.4	139.4	129.4	119.4	109.4	99.4	89.4	79.4	69.4	59.4	49.4	39.4	29.4	19.4	16.7
60	152.0	142.0	132.0	122.0	112.0	102.0	92.0	82.0	72.0	62.0	52.0	42.0	32.0	22.0	16.9
61	154.5	144.5	134.5	124.5	114.5	104.5	94.5	84.5	74.5	64.5	54.5	44.5	34.5	24.5	17.2
62	157.1	147.1	137.1	127.1	117.1	107.1	97.1	87.1	77.1	67.1	57.1	47.1	37.1	27.1	17.4
63	159.7	149.7	139.7	129.7	119.7	109.7	99.7	89.7	79.7	69.7	59.7	49.7	39.7	29.7	19.7
64	162.2	152.2	142.2	132.2	122.2	112.2	102.2	92.2	82.2	72.2	62.2	52.2	42.2	32.2	22.2
65	164.8	154.8	144.8	134.8	124.8	114.8	104.8	94.8	84.8	74.8	64.8	54.8	44.8	34.8	24.8
66	167.3	157.3	147.3	137.3	127.3	117.3	107.3	97.3	87.3	77.3	67.3	57.3	47.3	37.3	27.3
67	169.9	159.9	149.9	139.9	129.9	119.9	109.9	99.9	89.9	79.9	69.9	59.9	49.9	39.9	29.9
68	172.5	162.5	152.5	142.5	132.5	122.5	112.5	102.5	92.5	82.5	72.5	62.5	52.5	42.5	32.5
69	175.0	165.0	155.0	145.0	135.0	125.0	115.0	105.0	95.0	85.0	75.0	65.0	55.0	45.0	35.0
70	177.6	167.6	157.6	147.6	137.6	127.6	117.6	107.6	97.6	87.6	77.6	67.6	57.6	47.6	37.6
71	180.1	170.1	160.1	150.1	140.1	130.1	120.1	110.1	100.1	90.1	80.1	70.1	60.1	50.1	40.1
72	182.7	172.7	162.7	152.7	142.7	132.7	122.7	112.7	102.7	92.7	82.7	72.7	62.7	52.7	42.7
73	185.3	175.3	165.3	155.3	145.3	135.3	125.3	115.3	105.3	95.3	85.3	75.3	65.3	55.3	45.3
74	187.8	177.8	167.8	157.8	147.8	137.8	127.8	117.8	107.8	97.8	87.8	77.8	67.8	57.8	47.8
75	190.4	180.4	170.4	160.4	150.4	140.4	130.4	120.4	110.4	100.4	90.4	80.4	70.4	60.4	50.4
76	192.9	182.9	172.9	162.9	152.9	142.9	132.9	122.9	112.9	102.9	92.9	82.9	72.9	62.9	52.9
77	195.5	185.5	175.5	165.5	155.5	145.5	135.5	125.5	115.5	105.5	95.5	85.5	75.5	65.5	55.5
78	198.1	188.1	178.1	168.1	158.1	148.1	138.1	128.1	118.1	108.1	98.1	88.1	78.1	68.1	58.1
79	200.6	190.6	180.6	170.6	160.6	150.6	140.6	130.6	120.6	110.6	100.6	90.6	80.6	70.6	60.6
80	203.2	193.2	183.2	173.2	163.2	153.2	143.2	133.2	123.2	113.2	103.2	93.2	83.2	73.2	63.2
81	205.7	195.7	185.7	175.7	165.7	155.7	145.7	135.7	125.7	115.7	105.7	95.7	85.7	75.7	65.7
82	208.3	198.3	188.3	178.3	168.3	158.3	148.3	138.3	128.3	118.3	108.3	98.3	88.3	78.3	68.3
83	210.9	200.9	190.9	180.9	170.9	160.9	150.9	140.9	130.9	120.9	110.9	100.9	90.9	80.9	70.9
84	213.4	203.4	193.4	183.4	173.4	163.4	153.4	143.4	133.4	123.4	113.4	103.4	93.4	83.4	73.4
85	216.0	206.0	196.0	186.0	176.0	166.0	156.0	146.0	136.0	126.0	116.0	106.0	96.0	86.0	76.0
86	218.5	208.5	198.5	188.5	178.5	168.5	158.5	148.5	138.5	128.5	118.5	108.5	98.5	88.5	78.5
87	221.1	211.1	201.1	191.1	181.1	171.1	161.1	151.1	141.1	131.1	121.1	111.1	101.1	91.1	81.1
88	223.7	213.7	203.7	193.7	183.7	173.7	163.7	153.7	143.7	133.7	123.7	113.7	103.7	93.7	83.7
89	226.2	216.2	206.2	196.2	186.2	176.2	166.2	156.2	146.2	136.2	126.2	116.2	106.2	96.2	86.2
90	228.8	218.8	208.8	198.8	188.8	178.8	168.8	158.8	148.8	138.8	128.8	118.8	108.8	98.8	88.8

Tab. A 39: Einfache Teil-N-Flächenbilanz beim Anbau von Ackerbohne und Hafer im Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage – Regressionsmodell aus Schnittgutertrag (SG) zu Schnittgut-N-Ertrag und Schnittgutertrag zu gesamtplanzlicher N-Menge des Gemengepartners Ackerbohne

SG-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
	<b>einfache Teil-N-Flächenbilanz</b>														
15	2.9	-6.9	-16.7	-26.5	-27.8	-27.8	-27.8	-27.8	-27.8	-27.8	-27.8	-27.8	-27.8	-27.8	-27.8
16	2.0	-7.8	-17.6	-27.4	-31.0	-31.0	-31.0	-31.0	-31.0	-31.0	-31.0	-31.0	-31.0	-31.0	-31.0
17	1.0	-8.8	-18.6	-28.4	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2	-34.2
18	0.1	-9.7	-19.5	-29.3	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4	-37.4
19	-0.7	-10.5	-20.3	-30.1	-39.9	-40.5	-40.5	-40.5	-40.5	-40.5	-40.5	-40.5	-40.5	-40.5	-40.5
20	-1.6	-11.4	-21.2	-31.0	-40.8	-43.6	-43.6	-43.6	-43.6	-43.6	-43.6	-43.6	-43.6	-43.6	-43.6
21	-2.3	-12.1	-21.9	-31.7	-41.5	-46.6	-46.6	-46.6	-46.6	-46.6	-46.6	-46.6	-46.6	-46.6	-46.6
22	-3.1	-12.9	-22.7	-32.5	-42.3	-49.6	-49.6	-49.6	-49.6	-49.6	-49.6	-49.6	-49.6	-49.6	-49.6
23	-3.8	-13.6	-23.4	-33.2	-43.0	-52.8	-52.8	-52.8	-52.8	-52.8	-52.8	-52.8	-52.8	-52.8	-52.8
24	-4.4	-14.2	-24.0	-33.8	-43.6	-53.4	-55.5	-55.5	-55.5	-55.5	-55.5	-55.5	-55.5	-55.5	-55.5
25	-5.1	-14.9	-24.7	-34.5	-44.3	-54.1	-58.4	-58.4	-58.4	-58.4	-58.4	-58.4	-58.4	-58.4	-58.4
26	-5.6	-15.4	-25.2	-35.0	-44.8	-54.6	-61.2	-61.2	-61.2	-61.2	-61.2	-61.2	-61.2	-61.2	-61.2
27	-6.2	-16.0	-25.8	-35.6	-45.4	-55.2	-65.0	-64.0	-64.0	-64.0	-64.0	-64.0	-64.0	-64.0	-64.0
28	-6.6	-16.4	-26.2	-36.0	-45.8	-55.6	-65.4	-66.7	-66.7	-66.7	-66.7	-66.7	-66.7	-66.7	-66.7
29	-7.1	-16.9	-26.7	-36.5	-46.3	-56.1	-65.9	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4
30	-7.5	-17.3	-27.1	-36.9	-46.7	-56.5	-66.3	-72.1	-72.1	-72.1	-72.1	-72.1	-72.1	-72.1	-72.1
31	-7.9	-17.7	-27.5	-37.3	-47.1	-56.9	-66.7	-74.7	-74.7	-74.7	-74.7	-74.7	-74.7	-74.7	-74.7
32	-8.2	-18.0	-27.8	-37.6	-47.4	-57.2	-67.0	-76.8	-76.8	-77.3	-77.3	-77.3	-77.3	-77.3	-77.3
33	-8.5	-18.3	-28.1	-37.9	-47.7	-57.5	-67.3	-77.1	-77.1	-79.9	-79.9	-79.9	-79.9	-79.9	-79.9
34	-8.7	-18.5	-28.3	-38.1	-47.9	-57.7	-67.5	-77.3	-77.3	-82.4	-82.4	-82.4	-82.4	-82.4	-82.4
35	-8.9	-18.7	-28.5	-38.3	-48.1	-57.9	-67.7	-77.5	-77.5	-84.8	-84.8	-84.8	-84.8	-84.8	-84.8
36	-9.1	-18.9	-28.7	-38.5	-48.3	-58.1	-67.9	-77.7	-77.7	-87.2	-87.2	-87.2	-87.2	-87.2	-87.2
37	-9.2	-19.0	-28.8	-38.6	-48.4	-58.2	-68.0	-77.8	-77.8	-89.6	-89.6	-89.6	-89.6	-89.6	-89.6
38	-9.3	-19.1	-28.9	-38.7	-48.5	-58.3	-68.1	-77.9	-77.9	-92.0	-92.0	-92.0	-92.0	-92.0	-92.0
39	-9.3	-19.1	-28.9	-38.7	-48.5	-58.3	-68.1	-77.9	-77.9	-94.3	-94.3	-94.3	-94.3	-94.3	-94.3
40	-9.3	-19.1	-28.9	-38.7	-48.5	-58.3	-68.1	-77.9	-77.9	-96.5	-96.5	-96.5	-96.5	-96.5	-96.5
41	-9.3	-19.1	-28.9	-38.7	-48.5	-58.3	-68.1	-77.9	-77.9	-97.5	-98.7	-98.7	-98.7	-98.7	-98.7
42	-9.2	-19.0	-28.8	-38.6	-48.4	-58.2	-68.0	-77.8	-77.8	-97.4	-100.9	-100.9	-100.9	-100.9	-100.9
43	-9.1	-18.9	-28.7	-38.5	-48.3	-58.1	-67.9	-77.7	-77.7	-97.3	-103.0	-103.0	-103.0	-103.0	-103.0
44	-8.9	-18.7	-28.5	-38.3	-48.1	-57.9	-67.7	-77.5	-77.5	-97.1	-105.1	-105.1	-105.1	-105.1	-105.1
45	-8.7	-18.5	-28.3	-38.1	-47.9	-57.7	-67.5	-77.3	-77.3	-96.9	-106.7	-106.7	-106.7	-106.7	-106.7
46	-8.4	-18.2	-28.0	-37.8	-47.6	-57.4	-67.2	-77.0	-77.0	-96.6	-106.4	-106.4	-106.4	-106.4	-106.4
47	-8.1	-17.9	-27.7	-37.5	-47.3	-57.1	-66.9	-76.7	-76.7	-96.3	-106.1	-111.1	-111.1	-111.1	-111.1
48	-7.8	-17.6	-27.4	-37.2	-47.0	-56.8	-66.6	-76.4	-76.4	-96.0	-105.8	-113.0	-113.0	-113.0	-113.0
49	-7.4	-17.2	-27.0	-36.8	-46.6	-56.4	-66.2	-76.0	-76.0	-95.6	-105.4	-114.9	-114.9	-114.9	-114.9
50	-7.0	-16.8	-26.6	-36.4	-46.2	-56.0	-65.8	-75.6	-75.6	-95.2	-105.0	-114.8	-116.8	-116.8	-116.8
51	-6.5	-16.3	-26.1	-35.9	-45.7	-55.5	-65.3	-75.1	-75.1	-94.7	-104.5	-114.3	-118.6	-118.6	-118.6
52	-6.0	-15.8	-25.6	-35.4	-45.2	-55.0	-64.8	-74.6	-74.6	-94.2	-104.0	-113.8	-120.3	-120.3	-120.3
53	-5.5	-15.3	-25.1	-34.9	-44.7	-54.5	-64.3	-74.1	-74.1	-93.7	-103.5	-113.3	-122.0	-122.0	-122.0
54	-4.9	-14.7	-24.5	-34.3	-44.1	-53.9	-63.7	-73.5	-73.5	-93.1	-102.9	-112.7	-122.5	-123.7	-123.7
55	-4.3	-14.1	-23.9	-33.7	-43.5	-53.3	-63.1	-72.9	-72.9	-92.5	-102.3	-112.1	-121.9	-125.4	-125.4
56	-3.6	-13.4	-23.2	-33.0	-42.8	-52.6	-62.4	-72.2	-72.2	-91.8	-101.6	-111.4	-121.2	-127.0	-127.0
57	-2.9	-12.7	-22.5	-32.3	-42.1	-51.9	-61.7	-71.5	-71.5	-91.1	-100.9	-110.7	-120.5	-128.5	-128.5
58	-2.2	-12.0	-21.8	-31.6	-41.4	-51.2	-61.0	-70.8	-70.8	-90.4	-100.2	-110.0	-119.8	-129.6	-130.0
59	-1.4	-11.2	-21.0	-30.8	-40.6	-50.4	-60.2	-70.0	-70.0	-89.6	-99.4	-109.2	-119.0	-128.8	-131.5
60	-0.6	-10.4	-20.2	-30.0	-39.8	-49.6	-59.4	-69.2	-69.2	-88.8	-98.6	-108.4	-118.2	-128.0	-132.9
61	0.3	-9.5	-19.3	-29.1	-38.9	-48.7	-58.5	-68.3	-68.3	-87.9	-97.7	-107.5	-117.3	-127.1	-134.3
62	1.2	-8.6	-18.4	-28.2	-38.0	-47.8	-57.6	-67.4	-67.4	-87.0	-96.8	-106.6	-116.4	-126.2	-135.6
63	2.2	-7.6	-17.4	-27.2	-37.0	-46.8	-56.6	-66.4	-66.4	-86.0	-95.8	-105.6	-115.4	-125.2	-135.0
64	3.2	-6.6	-16.4	-26.2	-36.0	-45.8	-55.6	-65.4	-65.4	-85.0	-94.8	-104.6	-114.4	-124.2	-134.0
65	4.2	-5.6	-15.4	-25.2	-35.0	-44.8	-54.6	-64.4	-64.4	-84.0	-93.8	-103.6	-113.4	-123.2	-133.0
66	5.3	-4.5	-14.3	-24.1	-33.9	-43.7	-53.5	-63.3	-63.3	-82.9	-92.7	-102.5	-112.3	-122.1	-131.9
67	6.4	-3.4	-13.2	-23.0	-32.8	-42.6	-52.4	-62.2	-62.2	-81.8	-91.6	-101.4	-111.2	-121.0	-130.8
68	7.6	-2.2	-12.0	-21.8	-31.6	-41.4	-51.2	-61.0	-61.0	-80.6	-90.4	-100.2	-110.0	-119.8	-129.6
69	8.8	-1.0	-10.8	-20.6	-30.4	-40.2	-50.0	-59.8	-59.8	-79.4	-89.2	-99.0	-108.8	-118.6	-128.4
70	10.0	0.2	-9.6	-19.4	-29.2	-39.0	-48.8	-58.6	-58.6	-78.2	-88.0	-97.8	-107.6	-117.4	-127.2
71	11.3	1.5	-8.3	-18.1	-27.9	-37.7	-47.5	-57.3	-57.3	-76.9	-86.7	-96.5	-106.3	-116.1	-125.9
72	12.6	2.8	-7.0	-16.8	-26.6	-36.4	-46.2	-56.0	-56.0	-75.6	-85.4	-95.2	-105.0	-114.8	-124.6
73	14.0	4.2	-5.6	-15.4	-25.2	-35.0	-44.8	-54.6	-54.6	-74.2	-84.0	-93.8	-103.6	-113.4	-123.2
74	15.4	5.6	-4.2	-14.0	-23.8	-33.6	-43.4	-53.2	-53.2	-72.8	-82.6	-92.4	-102.2	-112.0	-121.8
75	16.8	7.0	-2.8	-12.6	-22.4	-32.2	-42.0	-51.8	-51.8	-71.4	-81.2	-91.0	-100.8	-110.6	-120.4
76	18.3	8.5	-1.3	-11.1	-20.9	-30.7	-40.5	-50.3	-50.3	-69.9	-79.7	-89.5	-99.3	-109.1	-118.9
77	19.8	10.0	0.2	-9.6	-19.4	-29.2	-39.0	-48.8	-48.8	-68.4	-78.2	-88.0	-97.8	-107.6	-117.4
78	21.4	11.6	1.8	-8.0	-17.8	-27.6	-37.4	-47.2	-47.2	-66.8	-76.6	-86.4	-96.2	-106.0	-115.8
79	23.0	13.2	3.4	-6.4	-16.2	-26.0	-35.8	-45.6	-45.6	-65.2	-75.0	-84.8	-94.6	-104.4	-114.2
80	24.7	14.9	5.1	-4.7	-14.5	-24.3	-34.1	-43.9	-43.9	-63.5	-73.3	-83.1	-92.9	-102.7	-112.5
81	26.4	16.6	6.8	-3.0	-12.8	-22.6	-32.4	-42.2	-42.2	-61.8	-71.6	-81.4	-91.2	-101.0	-110.8
82	28.1	18.3	8.5	-1.3	-11.1	-20.9	-30.7	-40.5	-40.5	-60.1	-69.9	-79.7	-89.5	-99.3	-109.1
83	29.9	20.1	10.3	0.5	-9.3	-19.1	-28.9	-38.7	-38.7	-58.3	-68.1	-77.9	-87.7	-97.5	-107.3
84	31.7	21.9	12.1	2.3	-7.5	-17.3	-27.1	-36.9	-36.9	-56.5	-66.3	-76.1	-85.9	-95.7	-105.5
85	33.6	23.8	14.0	4.2	-5.6	-15.4	-25.2	-35.0	-35.0	-54.6	-64.4	-74.2	-84.0	-93.8	-103.6
86	35.5	25.7	15.9	6.1	-3.7	-13.5	-23.3	-33.1	-33.1	-52.7	-62.5	-72.3	-82.1	-91.9	-101.7
87	37.4	27.6	17.8	8.0	-1.8	-11.6	-21.4	-31.2	-31.2	-50.8	-60.6	-70.4	-80.2	-90.0	-99.8
88	39.4	29.6	19.8	10.0	0.2	-9.6	-19.4	-29.2	-29.2	-48.8	-58.6	-68.4	-78.2	-88.0	-97.8
89	41.4	31.6	21.8	12.0	2.2	-7.6	-17.4	-27.2	-27.2	-46.8	-56.6	-66.4	-76.2	-86.0	-95.8
90	43.5	33.7	23.9	14.1	4.3	-5.5	-15.3	-25.1	-25.1	-44.7	-54.5	-64.3	-74.1	-83.9	-93.7

Tab. A 40: N<sub>2</sub>-Fixierleistung beim Anbau von Ackerbohne und Hafer im Gemenge zur Körnernutzung – Regressionsmodell aus Kornertrag zu Korn-N-Ertrag und Kornertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge des Gemengepartners Ackerbohne

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
<b>N<sub>2</sub>-Fixierleistung</b>															
5	48.0	38.0	28.0	18.0	8.0	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
6	53.4	43.4	33.4	23.4	13.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
7	58.7	48.7	38.7	28.7	18.7	8.7	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
8	64.1	54.1	44.1	34.1	24.1	14.1	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
9	69.4	59.4	49.4	39.4	29.4	19.4	9.4	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
10	74.7	64.7	54.7	44.7	34.7	24.7	14.7	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6
11	80.1	70.1	60.1	50.1	40.1	30.1	20.1	10.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
12	85.4	75.4	65.4	55.4	45.4	35.4	25.4	15.4	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6
13	90.8	80.8	70.8	60.8	50.8	40.8	30.8	20.8	10.8	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2	10.2
14	96.1	86.1	76.1	66.1	56.1	46.1	36.1	26.1	16.1	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
15	101.5	91.5	81.5	71.5	61.5	51.5	41.5	31.5	21.5	11.5	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2
16	106.8	96.8	86.8	76.8	66.8	56.8	46.8	36.8	26.8	16.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8
17	112.1	102.1	92.1	82.1	72.1	62.1	52.1	42.1	32.1	22.1	12.1	12.3	12.3	12.3	12.3
18	117.5	107.5	97.5	87.5	77.5	67.5	57.5	47.5	37.5	27.5	17.5	12.8	12.8	12.8	12.8
19	122.8	112.8	102.8	92.8	82.8	72.8	62.8	52.8	42.8	32.8	22.8	13.4	13.4	13.4	13.4
20	128.2	118.2	108.2	98.2	88.2	78.2	68.2	58.2	48.2	38.2	28.2	18.2	13.9	13.9	13.9
21	133.5	123.5	113.5	103.5	93.5	83.5	73.5	63.5	53.5	43.5	33.5	23.5	14.4	14.4	14.4
22	138.8	128.8	118.8	108.8	98.8	88.8	78.8	68.8	58.8	48.8	38.8	28.8	18.8	15.0	15.0
23	144.2	134.2	124.2	114.2	104.2	94.2	84.2	74.2	64.2	54.2	44.2	34.2	24.2	15.5	15.5
24	149.5	139.5	129.5	119.5	109.5	99.5	89.5	79.5	69.5	59.5	49.5	39.5	29.5	19.5	16.0
25	154.9	144.9	134.9	124.9	114.9	104.9	94.9	84.9	74.9	64.9	54.9	44.9	34.9	24.9	16.6
26	160.2	150.2	140.2	130.2	120.2	110.2	100.2	90.2	80.2	70.2	60.2	50.2	40.2	30.2	20.2
27	165.5	155.5	145.5	135.5	125.5	115.5	105.5	95.5	85.5	75.5	65.5	55.5	45.5	35.5	25.5
28	170.9	160.9	150.9	140.9	130.9	120.9	110.9	100.9	90.9	80.9	70.9	60.9	50.9	40.9	30.9
29	176.2	166.2	156.2	146.2	136.2	126.2	116.2	106.2	96.2	86.2	76.2	66.2	56.2	46.2	36.2
30	181.6	171.6	161.6	151.6	141.6	131.6	121.6	111.6	101.6	91.6	81.6	71.6	61.6	51.6	41.6
31	186.9	176.9	166.9	156.9	146.9	136.9	126.9	116.9	106.9	96.9	86.9	76.9	66.9	56.9	46.9
32	192.2	182.2	172.2	162.2	152.2	142.2	132.2	122.2	112.2	102.2	92.2	82.2	72.2	62.2	52.2
33	197.6	187.6	177.6	167.6	157.6	147.6	137.6	127.6	117.6	107.6	97.6	87.6	77.6	67.6	57.6
34	202.9	192.9	182.9	172.9	162.9	152.9	142.9	132.9	122.9	112.9	102.9	92.9	82.9	72.9	62.9
35	208.3	198.3	188.3	178.3	168.3	158.3	148.3	138.3	128.3	118.3	108.3	98.3	88.3	78.3	68.3
36	213.6	203.6	193.6	183.6	173.6	163.6	153.6	143.6	133.6	123.6	113.6	103.6	93.6	83.6	73.6
37	218.9	208.9	198.9	188.9	178.9	168.9	158.9	148.9	138.9	128.9	118.9	108.9	98.9	88.9	78.9
38	224.3	214.3	204.3	194.3	184.3	174.3	164.3	154.3	144.3	134.3	124.3	114.3	104.3	94.3	84.3
39	229.6	219.6	209.6	199.6	189.6	179.6	169.6	159.6	149.6	139.6	129.6	119.6	109.6	99.6	89.6
40	235.0	225.0	215.0	205.0	195.0	185.0	175.0	165.0	155.0	145.0	135.0	125.0	115.0	105.0	95.0
41	240.3	230.3	220.3	210.3	200.3	190.3	180.3	170.3	160.3	150.3	140.3	130.3	120.3	110.3	100.3
42	245.7	235.7	225.7	215.7	205.7	195.7	185.7	175.7	165.7	155.7	145.7	135.7	125.7	115.7	105.7
43	251.0	241.0	231.0	221.0	211.0	201.0	191.0	181.0	171.0	161.0	151.0	141.0	131.0	121.0	111.0
44	256.3	246.3	236.3	226.3	216.3	206.3	196.3	186.3	176.3	166.3	156.3	146.3	136.3	126.3	116.3
45	261.7	251.7	241.7	231.7	221.7	211.7	201.7	191.7	181.7	171.7	161.7	151.7	141.7	131.7	121.7
46	267.0	257.0	247.0	237.0	227.0	217.0	207.0	197.0	187.0	177.0	167.0	157.0	147.0	137.0	127.0
47	272.4	262.4	252.4	242.4	232.4	222.4	212.4	202.4	192.4	182.4	172.4	162.4	152.4	142.4	132.4
48	277.7	267.7	257.7	247.7	237.7	227.7	217.7	207.7	197.7	187.7	177.7	167.7	157.7	147.7	137.7
49	283.0	273.0	263.0	253.0	243.0	233.0	223.0	213.0	203.0	193.0	183.0	173.0	163.0	153.0	143.0
50	288.4	278.4	268.4	258.4	248.4	238.4	228.4	218.4	208.4	198.4	188.4	178.4	168.4	158.4	148.4
51	293.7	283.7	273.7	263.7	253.7	243.7	233.7	223.7	213.7	203.7	193.7	183.7	173.7	163.7	153.7
52	299.1	289.1	279.1	269.1	259.1	249.1	239.1	229.1	219.1	209.1	199.1	189.1	179.1	169.1	159.1
53	304.4	294.4	284.4	274.4	264.4	254.4	244.4	234.4	224.4	214.4	204.4	194.4	184.4	174.4	164.4
54	309.7	299.7	289.7	279.7	269.7	259.7	249.7	239.7	229.7	219.7	209.7	199.7	189.7	179.7	169.7
55	315.1	305.1	295.1	285.1	275.1	265.1	255.1	245.1	235.1	225.1	215.1	205.1	195.1	185.1	175.1
56	320.4	310.4	300.4	290.4	280.4	270.4	260.4	250.4	240.4	230.4	220.4	210.4	200.4	190.4	180.4
57	325.8	315.8	305.8	295.8	285.8	275.8	265.8	255.8	245.8	235.8	225.8	215.8	205.8	195.8	185.8
58	331.1	321.1	311.1	301.1	291.1	281.1	271.1	261.1	251.1	241.1	231.1	221.1	211.1	201.1	191.1
59	336.4	326.4	316.4	306.4	296.4	286.4	276.4	266.4	256.4	246.4	236.4	226.4	216.4	206.4	196.4
60	341.8	331.8	321.8	311.8	301.8	291.8	281.8	271.8	261.8	251.8	241.8	231.8	221.8	211.8	201.8
61	347.1	337.1	327.1	317.1	307.1	297.1	287.1	277.1	267.1	257.1	247.1	237.1	227.1	217.1	207.1
62	352.5	342.5	332.5	322.5	312.5	302.5	292.5	282.5	272.5	262.5	252.5	242.5	232.5	222.5	212.5
63	357.8	347.8	337.8	327.8	317.8	307.8	297.8	287.8	277.8	267.8	257.8	247.8	237.8	227.8	217.8
64	363.1	353.1	343.1	333.1	323.1	313.1	303.1	293.1	283.1	273.1	263.1	253.1	243.1	233.1	223.1
65	368.5	358.5	348.5	338.5	328.5	318.5	308.5	298.5	288.5	278.5	268.5	258.5	248.5	238.5	228.5

Tab. A 41: Erweiterte Teil-N-Flächenbilanz beim Anbau von Ackerbohne und Hafer im Gemenge zur Körnernutzung – Regressionsmodell aus Kornertrag zu Korn-N-Ertrag und Kornertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge des Gemengepartners Ackerbohne

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
<b>erweiterte Teil-N-Flächenbilanz</b>															
5	31.7	20.0	8.3	-3.4	-15.0	-17.5	-17.5	-17.5	-17.5	-17.5	-17.5	-17.5	-17.5	-17.5	-17.5
6	33.7	22.0	10.3	-1.4	-13.1	-21.2	-21.2	-21.2	-21.2	-21.2	-21.2	-21.2	-21.2	-21.2	-21.2
7	35.7	24.0	12.3	0.6	-11.1	-22.7	-24.8	-24.8	-24.8	-24.8	-24.8	-24.8	-24.8	-24.8	-24.8
8	37.7	26.0	14.3	2.6	-9.1	-20.7	-28.4	-28.4	-28.4	-28.4	-28.4	-28.4	-28.4	-28.4	-28.4
9	39.6	28.0	16.3	4.6	-7.1	-18.8	-30.4	-32.0	-32.0	-32.0	-32.0	-32.0	-32.0	-32.0	-32.0
10	41.6	30.0	18.3	6.6	-5.1	-16.8	-28.4	-35.7	-35.7	-35.7	-35.7	-35.7	-35.7	-35.7	-35.7
11	43.6	32.0	20.3	8.6	-3.1	-14.8	-26.4	-38.1	-39.3	-39.3	-39.3	-39.3	-39.3	-39.3	-39.3
12	45.6	33.9	22.3	10.6	-1.1	-12.8	-24.5	-36.1	-42.9	-42.9	-42.9	-42.9	-42.9	-42.9	-42.9
13	47.6	35.9	24.3	12.6	0.9	-10.8	-22.5	-34.1	-45.8	-46.5	-46.5	-46.5	-46.5	-46.5	-46.5
14	49.6	37.9	26.3	14.6	2.9	-8.8	-20.5	-32.1	-43.8	-50.1	-50.1	-50.1	-50.1	-50.1	-50.1
15	51.6	39.9	28.2	16.6	4.9	-6.8	-18.5	-30.2	-41.8	-53.5	-53.8	-53.8	-53.8	-53.8	-53.8
16	53.6	41.9	30.2	18.6	6.9	-4.8	-16.5	-28.2	-39.8	-51.5	-57.4	-57.4	-57.4	-57.4	-57.4
17	55.6	43.9	32.2	20.6	8.9	-2.8	-14.5	-26.2	-37.8	-49.5	-61.2	-61.0	-61.0	-61.0	-61.0
18	57.6	45.9	34.2	22.5	10.9	-0.8	-12.5	-24.2	-35.9	-47.5	-59.2	-64.6	-64.6	-64.6	-64.6
19	59.6	47.9	36.2	24.5	12.9	1.2	-10.5	-22.2	-33.9	-45.5	-57.2	-68.2	-68.2	-68.2	-68.2
20	61.6	49.9	38.2	26.5	14.9	3.2	-8.5	-20.2	-31.9	-43.5	-55.2	-66.9	-71.9	-71.9	-71.9
21	63.6	51.9	40.2	28.5	16.8	5.2	-6.5	-18.2	-29.9	-41.6	-53.2	-64.9	-75.5	-75.5	-75.5
22	65.6	53.9	42.2	30.5	18.8	7.2	-4.5	-16.2	-27.9	-39.6	-51.2	-62.9	-74.6	-79.1	-79.1
23	67.6	55.9	44.2	32.5	20.8	9.2	-2.5	-14.2	-25.9	-37.6	-49.2	-60.9	-72.6	-82.7	-82.7
24	69.6	57.9	46.2	34.5	22.8	11.2	-0.5	-12.2	-23.9	-35.6	-47.2	-58.9	-70.6	-82.3	-86.3
25	71.6	59.9	48.2	36.5	24.8	13.1	1.5	-10.2	-21.9	-33.6	-45.3	-56.9	-68.6	-80.3	-90.0
26	73.6	61.9	50.2	38.5	26.8	15.1	3.5	-8.2	-19.9	-31.6	-43.3	-54.9	-66.6	-78.3	-90.0
27	75.6	63.9	52.2	40.5	28.8	17.1	5.5	-6.2	-17.9	-29.6	-41.3	-52.9	-64.6	-76.3	-88.0
28	77.6	65.9	54.2	42.5	30.8	19.1	7.4	-4.2	-15.9	-27.6	-39.3	-51.0	-62.6	-74.3	-86.0
29	79.6	67.9	56.2	44.5	32.8	21.1	9.4	-2.2	-13.9	-25.6	-37.3	-49.0	-60.6	-72.3	-84.0
30	81.6	69.9	58.2	46.5	34.8	23.1	11.4	-0.2	-11.9	-23.6	-35.3	-47.0	-58.6	-70.3	-82.0
31	83.6	71.9	60.2	48.5	36.8	25.1	13.4	1.7	-9.9	-21.6	-33.3	-45.0	-56.7	-68.3	-80.0
32	85.6	73.9	62.2	50.5	38.8	27.1	15.4	3.7	-7.9	-19.6	-31.3	-43.0	-54.7	-66.3	-78.0
33	87.6	75.9	64.2	52.5	40.8	29.1	17.4	5.7	-5.9	-17.6	-29.3	-41.0	-52.7	-64.3	-76.0
34	89.6	77.9	66.2	54.4	42.8	31.1	19.4	7.7	-4.0	-15.6	-27.3	-39.0	-50.7	-62.4	-74.0
35	91.6	79.9	68.2	56.4	44.8	33.1	21.4	9.7	-2.0	-13.6	-25.3	-37.0	-48.7	-60.4	-72.0
36	93.6	81.9	70.2	58.4	46.8	35.1	23.4	11.7	0.0	-11.6	-23.3	-35.0	-46.7	-58.4	-70.0
37	95.6	83.9	72.2	60.4	48.7	37.1	25.4	13.7	2.0	-9.7	-21.3	-33.0	-44.7	-56.4	-68.1
38	97.6	85.9	74.2	62.4	50.7	39.1	27.4	15.7	4.0	-7.7	-19.3	-31.0	-42.7	-54.4	-66.1
39	99.6	87.9	76.2	64.4	52.7	41.1	29.4	17.7	6.0	-5.7	-17.3	-29.0	-40.7	-52.4	-64.1
40	101.6	89.9	78.2	66.4	54.7	43.0	31.4	19.7	8.0	-3.7	-15.4	-27.0	-38.7	-50.4	-62.1
41	103.6	91.9	80.2	68.4	56.7	45.0	33.4	21.7	10.0	-1.7	-13.4	-25.0	-36.7	-48.4	-60.1
42	105.6	93.9	82.2	70.4	58.7	47.0	35.4	23.7	12.0	0.3	-11.4	-23.0	-34.7	-46.4	-58.1
43	107.6	95.9	84.2	72.4	60.7	49.0	37.4	25.7	14.0	2.3	-9.4	-21.0	-32.7	-44.4	-56.1
44	109.6	97.9	86.2	74.4	62.7	51.0	39.3	27.7	16.0	4.3	-7.4	-19.1	-30.7	-42.4	-54.1
45	111.6	99.9	88.2	76.4	64.7	53.0	41.3	29.7	18.0	6.3	-5.4	-17.1	-28.7	-40.4	-52.1
46	113.6	101.9	90.2	78.4	66.7	55.0	43.3	31.7	20.0	8.3	-3.4	-15.1	-26.7	-38.4	-50.1
47	115.6	103.9	92.2	80.4	68.7	57.0	45.3	33.6	22.0	10.3	-1.4	-13.1	-24.8	-36.4	-48.1
48	117.6	105.9	94.2	82.4	70.7	59.0	47.3	35.6	24.0	12.3	0.6	-11.1	-22.8	-34.4	-46.1
49	119.6	107.9	96.2	84.4	72.7	61.0	49.3	37.6	26.0	14.3	2.6	-9.1	-20.8	-32.4	-44.1
50	121.6	109.9	98.2	86.3	74.7	63.0	51.3	39.6	27.9	16.3	4.6	-7.1	-18.8	-30.5	-42.1
51	123.6	111.9	100.2	88.3	76.7	65.0	53.3	41.6	29.9	18.3	6.6	-5.1	-16.8	-28.5	-40.1
52	125.6	113.9	102.2	90.3	78.7	67.0	55.3	43.6	31.9	20.3	8.6	-3.1	-14.8	-26.5	-38.1
53	127.6	115.9	104.2	92.3	80.6	69.0	57.3	45.6	33.9	22.2	10.6	-1.1	-12.8	-24.5	-36.2
54	129.6	117.9	106.2	94.3	82.6	71.0	59.3	47.6	35.9	24.2	12.6	0.9	-10.8	-22.5	-34.2
55	131.6	119.9	108.2	96.3	84.6	73.0	61.3	49.6	37.9	26.2	14.6	2.9	-8.8	-20.5	-32.2
56	133.6	121.9	110.2	98.3	86.6	74.9	63.3	51.6	39.9	28.2	16.5	4.9	-6.8	-18.5	-30.2
57	135.6	123.9	112.2	100.3	88.6	76.9	65.3	53.6	41.9	30.2	18.5	6.9	-4.8	-16.5	-28.2
58	137.6	125.9	114.2	102.3	90.6	78.9	67.3	55.6	43.9	32.2	20.5	8.9	-2.8	-14.5	-26.2
59	139.6	127.9	116.2	104.3	92.6	80.9	69.2	57.6	45.9	34.2	22.5	10.8	-0.8	-12.5	-24.2
60	141.6	129.9	118.2	106.3	94.6	82.9	71.2	59.6	47.9	36.2	24.5	12.8	1.2	-10.5	-22.2
61	143.6	131.9	120.2	108.3	96.6	84.9	73.2	61.6	49.9	38.2	26.5	14.8	3.2	-8.5	-20.2
62	145.6	133.9	121.9	110.3	98.6	86.9	75.2	63.5	51.9	40.2	28.5	16.8	5.1	-6.5	-18.2
63	147.6	135.9	123.9	112.3	100.6	88.9	77.2	65.5	53.9	42.2	30.5	18.8	7.1	-4.5	-16.2
64	149.6	137.9	125.9	114.3	102.6	90.9	79.2	67.5	55.9	44.2	32.5	20.8	9.1	-2.5	-14.2
65	151.6	139.9	127.9	116.3	104.6	92.9	81.2	69.5	57.9	46.2	34.5	22.8	11.1	-0.5	-12.2



Tab. A 42: N<sub>2</sub>-Fixierleistung beim Anbau von Erbse und Hafer im Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage – Regressionsmodell aus Schnittgutertrag (SG) zu Schnittgut-N-Ertrag und Schnittgutertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge des Gemengepartners Erbse

SG-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
<b>N<sub>2</sub>-Fixierleistung</b>															
24	31.2	21.2	11.2	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
25	32.6	22.6	12.6	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
26	34.0	24.0	14.0	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
27	35.5	25.5	15.5	5.5	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
28	37.0	27.0	17.0	7.0	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5
29	38.6	28.6	18.6	8.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6
30	40.2	30.2	20.2	10.2	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
31	41.9	31.9	21.9	11.9	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
32	43.6	33.6	23.6	13.6	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
33	45.4	35.4	25.4	15.4	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3
34	47.2	37.2	27.2	17.2	7.2	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
35	49.0	39.0	29.0	19.0	9.0	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7
36	50.9	40.9	30.9	20.9	10.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
37	52.9	42.9	32.9	22.9	12.9	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
38	54.8	44.8	34.8	24.8	14.8	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3	7.3
39	56.9	46.9	36.9	26.9	16.9	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
40	59.0	49.0	39.0	29.0	19.0	9.0	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
41	61.1	51.1	41.1	31.1	21.1	11.1	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
42	63.3	53.3	43.3	33.3	23.3	13.3	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1	8.1
43	65.5	55.5	45.5	35.5	25.5	15.5	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3
44	67.8	57.8	47.8	37.8	27.8	17.8	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6	8.6
45	70.1	60.1	50.1	40.1	30.1	20.1	10.1	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
46	72.4	62.4	52.4	42.4	32.4	22.4	12.4	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
47	74.8	64.8	54.8	44.8	34.8	24.8	14.8	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3	9.3
48	77.3	67.3	57.3	47.3	37.3	27.3	17.3	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5
49	79.8	69.8	59.8	49.8	39.8	29.8	19.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
50	82.3	72.3	62.3	52.3	42.3	32.3	22.3	12.3	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
51	84.9	74.9	64.9	54.9	44.9	34.9	24.9	14.9	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
52	87.6	77.6	67.6	57.6	47.6	37.6	27.6	17.6	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
53	90.3	80.3	70.3	60.3	50.3	40.3	30.3	20.3	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
54	93.0	83.0	73.0	63.0	53.0	43.0	33.0	23.0	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1	11.1
55	95.8	85.8	75.8	65.8	55.8	45.8	35.8	25.8	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4
56	98.6	88.6	78.6	68.6	58.6	48.6	38.6	28.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6	11.6
57	101.5	91.5	81.5	71.5	61.5	51.5	41.5	31.5	21.5	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
58	104.4	94.4	84.4	74.4	64.4	54.4	44.4	34.4	24.4	14.4	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2
59	107.3	97.3	87.3	77.3	67.3	57.3	47.3	37.3	27.3	17.3	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
60	110.3	100.3	90.3	80.3	70.3	60.3	50.3	40.3	30.3	20.3	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
61	113.4	103.4	93.4	83.4	73.4	63.4	53.4	43.4	33.4	23.4	13.4	13.1	13.1	13.1	13.1
62	116.5	106.5	96.5	86.5	76.5	66.5	56.5	46.5	36.5	26.5	16.5	13.4	13.4	13.4	13.4
63	119.6	109.6	99.6	89.6	79.6	69.6	59.6	49.6	39.6	29.6	19.6	13.8	13.8	13.8	13.8
64	122.8	112.8	102.8	92.8	82.8	72.8	62.8	52.8	42.8	32.8	22.8	14.1	14.1	14.1	14.1
65	126.1	116.1	106.1	96.1	86.1	76.1	66.1	56.1	46.1	36.1	26.1	16.1	14.4	14.4	14.4
66	129.4	119.4	109.4	99.4	89.4	79.4	69.4	59.4	49.4	39.4	29.4	19.4	14.7	14.7	14.7
67	132.7	122.7	112.7	102.7	92.7	82.7	72.7	62.7	52.7	42.7	32.7	22.7	15.1	15.1	15.1
68	136.1	126.1	116.1	106.1	96.1	86.1	76.1	66.1	56.1	46.1	36.1	26.1	16.1	15.4	15.4
69	139.5	129.5	119.5	109.5	99.5	89.5	79.5	69.5	59.5	49.5	39.5	29.5	19.5	15.7	15.7
70	143.0	133.0	123.0	113.0	103.0	93.0	83.0	73.0	63.0	53.0	43.0	33.0	23.0	16.1	16.1
71	146.5	136.5	126.5	116.5	106.5	96.5	86.5	76.5	66.5	56.5	46.5	36.5	26.5	16.5	16.4
72	150.0	140.0	130.0	120.0	110.0	100.0	90.0	80.0	70.0	60.0	50.0	40.0	30.0	20.0	16.8
73	153.7	143.7	133.7	123.7	113.7	103.7	93.7	83.7	73.7	63.7	53.7	43.7	33.7	23.7	17.2
74	157.3	147.3	137.3	127.3	117.3	107.3	97.3	87.3	77.3	67.3	57.3	47.3	37.3	27.3	17.5
75	161.0	151.0	141.0	131.0	121.0	111.0	101.0	91.0	81.0	71.0	61.0	51.0	41.0	31.0	21.0
76	164.8	154.8	144.8	134.8	124.8	114.8	104.8	94.8	84.8	74.8	64.8	54.8	44.8	34.8	24.8
77	168.5	158.5	148.5	138.5	128.5	118.5	108.5	98.5	88.5	78.5	68.5	58.5	48.5	38.5	28.5
78	172.4	162.4	152.4	142.4	132.4	122.4	112.4	102.4	92.4	82.4	72.4	62.4	52.4	42.4	32.4
79	176.3	166.3	156.3	146.3	136.3	126.3	116.3	106.3	96.3	86.3	76.3	66.3	56.3	46.3	36.3
80	180.2	170.2	160.2	150.2	140.2	130.2	120.2	110.2	100.2	90.2	80.2	70.2	60.2	50.2	40.2
81	184.2	174.2	164.2	154.2	144.2	134.2	124.2	114.2	104.2	94.2	84.2	74.2	64.2	54.2	44.2
82	188.2	178.2	168.2	158.2	148.2	138.2	128.2	118.2	108.2	98.2	88.2	78.2	68.2	58.2	48.2
83	192.3	182.3	172.3	162.3	152.3	142.3	132.3	122.3	112.3	102.3	92.3	82.3	72.3	62.3	52.3
84	196.4	186.4	176.4	166.4	156.4	146.4	136.4	126.4	116.4	106.4	96.4	86.4	76.4	66.4	56.4
85	200.6	190.6	180.6	170.6	160.6	150.6	140.6	130.6	120.6	110.6	100.6	90.6	80.6	70.6	60.6

Tab. A 43: Erweiterte Teil-N-Flächenbilanz beim Anbau von Erbse und Hafer im Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage – Regressionsmodell aus Schnittgutertrag (SG) zu Schnittgut-N-Ertrag und Schnittgutertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge des Gemengepartners Erbse

SG-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
<b>erweiterte Teil-N-Flächenbilanz</b>															
24	-10.0	-22.1	-34.2	-41.7	-41.7	-41.7	-41.7	-41.7	-41.7	-41.7	-41.7	-41.7	-41.7	-41.7	-41.7
25	-9.4	-21.5	-33.6	-42.7	-42.7	-42.7	-42.7	-42.7	-42.7	-42.7	-42.7	-42.7	-42.7	-42.7	-42.7
26	-8.8	-20.9	-33.0	-43.7	-43.7	-43.7	-43.7	-43.7	-43.7	-43.7	-43.7	-43.7	-43.7	-43.7	-43.7
27	-8.3	-20.3	-32.4	-44.5	-44.7	-44.7	-44.7	-44.7	-44.7	-44.7	-44.7	-44.7	-44.7	-44.7	-44.7
28	-7.7	-19.7	-31.8	-43.9	-45.7	-45.7	-45.7	-45.7	-45.7	-45.7	-45.7	-45.7	-45.7	-45.7	-45.7
29	-7.1	-19.2	-31.2	-43.3	-46.9	-46.9	-46.9	-46.9	-46.9	-46.9	-46.9	-46.9	-46.9	-46.9	-46.9
30	-6.5	-18.6	-30.6	-42.7	-48.0	-48.0	-48.0	-48.0	-48.0	-48.0	-48.0	-48.0	-48.0	-48.0	-48.0
31	-5.9	-18.0	-30.0	-42.1	-49.3	-49.3	-49.3	-49.3	-49.3	-49.3	-49.3	-49.3	-49.3	-49.3	-49.3
32	-5.3	-17.4	-29.4	-41.5	-50.5	-50.5	-50.5	-50.5	-50.5	-50.5	-50.5	-50.5	-50.5	-50.5	-50.5
33	-4.7	-16.8	-28.8	-40.9	-51.8	-51.8	-51.8	-51.8	-51.8	-51.8	-51.8	-51.8	-51.8	-51.8	-51.8
34	-4.1	-16.2	-28.2	-40.3	-52.4	-53.2	-53.2	-53.2	-53.2	-53.2	-53.2	-53.2	-53.2	-53.2	-53.2
35	-3.5	-15.6	-27.6	-39.7	-51.8	-54.6	-54.6	-54.6	-54.6	-54.6	-54.6	-54.6	-54.6	-54.6	-54.6
36	-2.9	-14.9	-27.0	-39.1	-51.2	-56.1	-56.1	-56.1	-56.1	-56.1	-56.1	-56.1	-56.1	-56.1	-56.1
37	-2.2	-14.3	-26.4	-38.5	-50.6	-57.6	-57.6	-57.6	-57.6	-57.6	-57.6	-57.6	-57.6	-57.6	-57.6
38	-1.6	-13.7	-25.8	-37.9	-50.0	-59.1	-59.1	-59.1	-59.1	-59.1	-59.1	-59.1	-59.1	-59.1	-59.1
39	-1.0	-13.1	-25.2	-37.3	-49.3	-60.7	-60.7	-60.7	-60.7	-60.7	-60.7	-60.7	-60.7	-60.7	-60.7
40	-0.4	-12.5	-24.6	-36.6	-48.7	-60.8	-62.4	-62.4	-62.4	-62.4	-62.4	-62.4	-62.4	-62.4	-62.4
41	0.2	-11.9	-23.9	-36.0	-48.1	-60.2	-64.0	-64.0	-64.0	-64.0	-64.0	-64.0	-64.0	-64.0	-64.0
42	0.8	-11.2	-23.3	-35.4	-47.5	-59.6	-65.8	-65.8	-65.8	-65.8	-65.8	-65.8	-65.8	-65.8	-65.8
43	1.5	-10.6	-22.7	-34.8	-46.9	-58.9	-67.6	-67.6	-67.6	-67.6	-67.6	-67.6	-67.6	-67.6	-67.6
44	2.1	-10.0	-22.1	-34.1	-46.2	-58.3	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4	-69.4
45	2.7	-9.4	-21.4	-33.5	-45.6	-57.7	-69.8	-71.3	-71.3	-71.3	-71.3	-71.3	-71.3	-71.3	-71.3
46	3.4	-8.7	-20.8	-32.9	-45.0	-57.0	-69.1	-73.2	-73.2	-73.2	-73.2	-73.2	-73.2	-73.2	-73.2
47	4.0	-8.1	-20.2	-32.2	-44.3	-56.4	-68.5	-75.2	-75.2	-75.2	-75.2	-75.2	-75.2	-75.2	-75.2
48	4.6	-7.4	-19.5	-31.6	-43.7	-55.8	-67.8	-77.3	-77.3	-77.3	-77.3	-77.3	-77.3	-77.3	-77.3
49	5.3	-6.8	-18.9	-31.0	-43.0	-55.1	-67.2	-79.3	-79.3	-79.3	-79.3	-79.3	-79.3	-79.3	-79.3
50	5.9	-6.2	-18.2	-30.3	-42.4	-54.5	-66.6	-78.6	-81.5	-81.5	-81.5	-81.5	-81.5	-81.5	-81.5
51	6.6	-5.5	-17.6	-29.7	-41.8	-53.8	-65.9	-78.0	-83.6	-83.6	-83.6	-83.6	-83.6	-83.6	-83.6
52	7.2	-4.9	-17.0	-29.0	-41.1	-53.2	-65.3	-77.4	-85.9	-85.9	-85.9	-85.9	-85.9	-85.9	-85.9
53	7.9	-4.2	-16.3	-28.4	-40.5	-52.5	-64.6	-76.7	-88.1	-88.1	-88.1	-88.1	-88.1	-88.1	-88.1
54	8.5	-3.6	-15.7	-27.7	-39.8	-51.9	-64.0	-76.1	-88.1	-90.4	-90.4	-90.4	-90.4	-90.4	-90.4
55	9.2	-2.9	-15.0	-27.1	-39.2	-51.2	-63.3	-75.4	-87.5	-92.8	-92.8	-92.8	-92.8	-92.8	-92.8
56	9.8	-2.3	-14.3	-26.4	-38.5	-50.6	-62.7	-74.7	-86.8	-95.2	-95.2	-95.2	-95.2	-95.2	-95.2
57	10.5	-1.6	-13.7	-25.8	-37.8	-49.9	-62.0	-74.1	-86.2	-97.7	-97.7	-97.7	-97.7	-97.7	-97.7
58	11.1	-0.9	-13.0	-25.1	-37.2	-49.3	-61.3	-73.4	-85.5	-97.6	-100.2	-100.2	-100.2	-100.2	-100.2
59	11.8	-0.3	-12.4	-24.4	-36.5	-48.6	-60.7	-72.8	-84.8	-96.9	-102.7	-102.7	-102.7	-102.7	-102.7
60	12.5	0.4	-11.7	-23.8	-35.9	-47.9	-60.0	-72.1	-84.2	-96.3	-105.3	-105.3	-105.3	-105.3	-105.3
61	13.1	1.1	-11.0	-23.1	-35.2	-47.3	-59.3	-71.4	-83.5	-95.6	-107.7	-108.0	-108.0	-108.0	-108.0
62	13.8	1.7	-10.4	-22.4	-34.5	-46.6	-58.7	-70.8	-82.8	-94.9	-107.0	-110.7	-110.7	-110.7	-110.7
63	14.5	2.4	-9.7	-21.8	-33.8	-45.9	-58.0	-70.1	-82.2	-94.2	-106.3	-113.4	-113.4	-113.4	-113.4
64	15.1	3.1	-9.0	-21.1	-33.2	-45.3	-57.3	-69.4	-81.5	-93.6	-105.7	-116.2	-116.2	-116.2	-116.2
65	15.8	3.7	-8.3	-20.4	-32.5	-44.6	-56.7	-68.7	-80.8	-92.9	-105.0	-117.1	-119.1	-119.1	-119.1
66	16.5	4.4	-7.7	-19.7	-31.8	-43.9	-56.0	-68.1	-80.1	-92.2	-104.3	-116.4	-122.0	-122.0	-122.0
67	17.2	5.1	-7.0	-19.1	-31.1	-43.2	-55.3	-67.4	-79.5	-91.5	-103.6	-115.7	-124.9	-124.9	-124.9
68	17.9	5.8	-6.3	-18.4	-30.4	-42.5	-54.6	-66.7	-78.8	-90.8	-102.9	-115.0	-127.1	-127.9	-127.9
69	18.6	6.5	-5.6	-17.7	-29.8	-41.8	-53.9	-66.0	-78.1	-90.2	-102.2	-114.3	-126.4	-130.9	-130.9
70	19.2	7.2	-4.9	-17.0	-29.1	-41.2	-53.2	-65.3	-77.4	-89.5	-101.6	-113.6	-125.7	-134.0	-134.0
71	19.9	7.9	-4.2	-16.3	-28.4	-40.5	-52.5	-64.6	-76.7	-88.8	-100.9	-112.9	-125.0	-137.1	-137.2
72	20.6	8.6	-3.5	-15.6	-27.7	-39.8	-51.8	-63.9	-76.0	-88.1	-100.2	-112.2	-124.3	-136.4	-140.3
73	21.3	9.3	-2.8	-14.9	-27.0	-39.1	-51.1	-63.2	-75.3	-87.4	-99.5	-111.5	-123.6	-135.7	-143.6
74	22.0	10.0	-2.1	-14.2	-26.3	-38.4	-50.4	-62.5	-74.6	-86.7	-98.8	-110.8	-122.9	-135.0	-146.8
75	22.7	10.7	-1.4	-13.5	-25.6	-37.7	-49.7	-61.8	-73.9	-86.0	-98.1	-110.1	-122.2	-134.3	-146.4
76	23.4	11.4	-0.7	-12.8	-24.9	-37.0	-49.0	-61.1	-73.2	-85.3	-97.4	-109.4	-121.5	-133.6	-145.7
77	24.1	12.1	0.0	-12.1	-24.2	-36.3	-48.3	-60.4	-72.5	-84.6	-96.7	-108.7	-120.8	-132.9	-145.0
78	24.8	12.8	0.7	-11.4	-23.5	-35.6	-47.6	-59.7	-71.8	-83.9	-96.0	-108.0	-120.1	-132.2	-144.3
79	25.6	13.5	1.4	-10.7	-22.8	-34.8	-46.9	-59.0	-71.1	-83.2	-95.2	-107.3	-119.4	-131.5	-143.6
80	26.3	14.2	2.1	-10.0	-22.0	-34.1	-46.2	-58.3	-70.4	-82.4	-94.5	-106.6	-118.7	-130.8	-142.8
81	27.0	14.9	2.8	-9.3	-21.3	-33.4	-45.5	-57.6	-69.7	-81.7	-93.8	-105.9	-118.0	-130.1	-142.1
82	27.7	15.6	3.5	-8.5	-20.6	-32.7	-44.8	-56.9	-68.9	-81.0	-93.1	-105.2	-117.3	-129.3	-141.4
83	28.4	16.3	4.3	-7.8	-19.9	-32.0	-44.1	-56.1	-68.2	-80.3	-92.4	-104.5	-116.5	-128.6	-140.7
84	29.1	17.1	5.0	-7.1	-19.2	-31.3	-43.3	-55.4	-67.5	-79.6	-91.7	-103.7	-115.8	-127.9	-140.0
85	29.9	17.8	5.7	-6.4	-18.4	-30.5	-42.6	-54.7	-66.8	-78.8	-90.9	-103.0	-115.1	-127.2	-139.2

Tab. A 44: N<sub>2</sub>-Fixierleistung beim Anbau von Erbse und Hafer im Gemenge zur Körnernutzung – Regressionsmodell aus Kornertrag zu Korn-N-Ertrag und Kornertrag zu gesamtplanzlicher N-Menge des Gemengepartners Erbse

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
<b>N<sub>2</sub>-Fixierleistung</b>															
6	21.4	11.4	1.4	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
7	25.8	15.8	5.8	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
8	30.1	20.1	10.1	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
9	34.5	24.5	14.5	4.5	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
10	38.9	28.9	18.9	8.9	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
11	43.2	33.2	23.2	13.2	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8
12	47.6	37.6	27.6	17.6	7.6	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
13	51.9	41.9	31.9	21.9	11.9	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
14	56.3	46.3	36.3	26.3	16.3	6.3	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
15	60.6	50.6	40.6	30.6	20.6	10.6	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
16	65.0	55.0	45.0	35.0	25.0	15.0	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9	7.9
17	69.3	59.3	49.3	39.3	29.3	19.3	9.3	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4
18	73.7	63.7	53.7	43.7	33.7	23.7	13.7	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8	8.8
19	78.0	68.0	58.0	48.0	38.0	28.0	18.0	8.0	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2
20	82.4	72.4	62.4	52.4	42.4	32.4	22.4	12.4	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7	9.7
21	86.8	76.8	66.8	56.8	46.8	36.8	26.8	16.8	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
22	91.1	81.1	71.1	61.1	51.1	41.1	31.1	21.1	11.1	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6	10.6
23	95.5	85.5	75.5	65.5	55.5	45.5	35.5	25.5	15.5	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
24	99.8	89.8	79.8	69.8	59.8	49.8	39.8	29.8	19.8	9.8	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4
25	104.2	94.2	84.2	74.2	64.2	54.2	44.2	34.2	24.2	14.2	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
26	108.5	98.5	88.5	78.5	68.5	58.5	48.5	38.5	28.5	18.5	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3
27	112.9	102.9	92.9	82.9	72.9	62.9	52.9	42.9	32.9	22.9	12.9	12.7	12.7	12.7	12.7
28	117.2	107.2	97.2	87.2	77.2	67.2	57.2	47.2	37.2	27.2	17.2	13.2	13.2	13.2	13.2
29	121.6	111.6	101.6	91.6	81.6	71.6	61.6	51.6	41.6	31.6	21.6	11.6	13.6	13.6	13.6
30	125.9	115.9	105.9	95.9	85.9	75.9	65.9	55.9	45.9	35.9	25.9	15.9	14.0	14.0	14.0
31	130.3	120.3	110.3	100.3	90.3	80.3	70.3	60.3	50.3	40.3	30.3	20.3	14.5	14.5	14.5
32	134.6	124.6	114.6	104.6	94.6	84.6	74.6	64.6	54.6	44.6	34.6	24.6	14.6	14.9	14.9
33	139.0	129.0	119.0	109.0	99.0	89.0	79.0	69.0	59.0	49.0	39.0	29.0	19.0	15.3	15.3
34	143.4	133.4	123.4	113.4	103.4	93.4	83.4	73.4	63.4	53.4	43.4	33.4	23.4	13.4	15.8
35	147.7	137.7	127.7	117.7	107.7	97.7	87.7	77.7	67.7	57.7	47.7	37.7	27.7	17.7	7.7
36	152.1	142.1	132.1	122.1	112.1	102.1	92.1	82.1	72.1	62.1	52.1	42.1	32.1	22.1	12.1
37	156.4	146.4	136.4	126.4	116.4	106.4	96.4	86.4	76.4	66.4	56.4	46.4	36.4	26.4	16.4
38	160.8	150.8	140.8	130.8	120.8	110.8	100.8	90.8	80.8	70.8	60.8	50.8	40.8	30.8	20.8
39	165.1	155.1	145.1	135.1	125.1	115.1	105.1	95.1	85.1	75.1	65.1	55.1	45.1	35.1	25.1
40	169.5	159.5	149.5	139.5	129.5	119.5	109.5	99.5	89.5	79.5	69.5	59.5	49.5	39.5	29.5
41	173.8	163.8	153.8	143.8	133.8	123.8	113.8	103.8	93.8	83.8	73.8	63.8	53.8	43.8	33.8
42	178.2	168.2	158.2	148.2	138.2	128.2	118.2	108.2	98.2	88.2	78.2	68.2	58.2	48.2	38.2
43	182.5	172.5	162.5	152.5	142.5	132.5	122.5	112.5	102.5	92.5	82.5	72.5	62.5	52.5	42.5
44	186.9	176.9	166.9	156.9	146.9	136.9	126.9	116.9	106.9	96.9	86.9	76.9	66.9	56.9	46.9
45	191.3	181.3	171.3	161.3	151.3	141.3	131.3	121.3	111.3	101.3	91.3	81.3	71.3	61.3	51.3
46	195.6	185.6	175.6	165.6	155.6	145.6	135.6	125.6	115.6	105.6	95.6	85.6	75.6	65.6	55.6
47	200.0	190.0	180.0	170.0	160.0	150.0	140.0	130.0	120.0	110.0	100.0	90.0	80.0	70.0	60.0
48	204.3	194.3	184.3	174.3	164.3	154.3	144.3	134.3	124.3	114.3	104.3	94.3	84.3	74.3	64.3
49	208.7	198.7	188.7	178.7	168.7	158.7	148.7	138.7	128.7	118.7	108.7	98.7	88.7	78.7	68.7
50	213.0	203.0	193.0	183.0	173.0	163.0	153.0	143.0	133.0	123.0	113.0	103.0	93.0	83.0	73.0
51	217.4	207.4	197.4	187.4	177.4	167.4	157.4	147.4	137.4	127.4	117.4	107.4	97.4	87.4	77.4
52	221.7	211.7	201.7	191.7	181.7	171.7	161.7	151.7	141.7	131.7	121.7	111.7	101.7	91.7	81.7
53	226.1	216.1	206.1	196.1	186.1	176.1	166.1	156.1	146.1	136.1	126.1	116.1	106.1	96.1	86.1
54	230.4	220.4	210.4	200.4	190.4	180.4	170.4	160.4	150.4	140.4	130.4	120.4	110.4	100.4	90.4
55	234.8	224.8	214.8	204.8	194.8	184.8	174.8	164.8	154.8	144.8	134.8	124.8	114.8	104.8	94.8
56	239.2	229.2	219.2	209.2	199.2	189.2	179.2	169.2	159.2	149.2	139.2	129.2	119.2	109.2	99.2
57	243.5	233.5	223.5	213.5	203.5	193.5	183.5	173.5	163.5	153.5	143.5	133.5	123.5	113.5	103.5
58	247.9	237.9	227.9	217.9	207.9	197.9	187.9	177.9	167.9	157.9	147.9	137.9	127.9	117.9	107.9
59	252.2	242.2	232.2	222.2	212.2	202.2	192.2	182.2	172.2	162.2	152.2	142.2	132.2	122.2	112.2
60	256.6	246.6	236.6	226.6	216.6	206.6	196.6	186.6	176.6	166.6	156.6	146.6	136.6	126.6	116.6

Tab. A 45: Erweiterte Teil-N-Flächenbilanz beim Anbau von Erbse und Hafer im Gemenge zur Körnernutzung – Regressionsmodell aus Kornertrag zu Korn-N-Ertrag und Kornertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge des Gemengepartners Erbse

Korn-TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Angebot an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Wurzelraum [kg N ha <sup>-1</sup> ]														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
<b>erweiterte Teil-N-Flächenbilanz</b>															
6	-3.1	-14.0	-24.9	-22.6	-22.6	-22.6	-22.6	-22.6	-22.6	-22.6	-22.6	-22.6	-22.6	-22.6	-22.6
7	-1.5	-12.4	-23.3	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2	-25.2
8	0.2	-10.8	-21.7	-27.9	-27.9	-27.9	-27.9	-27.9	-27.9	-27.9	-27.9	-27.9	-27.9	-27.9	-27.9
9	1.8	-9.2	-20.1	-31.0	-30.6	-30.6	-30.6	-30.6	-30.6	-30.6	-30.6	-30.6	-30.6	-30.6	-30.6
10	3.4	-7.5	-18.5	-29.4	-33.2	-33.2	-33.2	-33.2	-33.2	-33.2	-33.2	-33.2	-33.2	-33.2	-33.2
11	5.0	-5.9	-16.8	-27.8	-35.9	-35.9	-35.9	-35.9	-35.9	-35.9	-35.9	-35.9	-35.9	-35.9	-35.9
12	6.6	-4.3	-15.2	-26.2	-37.1	-38.6	-38.6	-38.6	-38.6	-38.6	-38.6	-38.6	-38.6	-38.6	-38.6
13	8.2	-2.7	-13.6	-24.5	-35.5	-41.2	-41.2	-41.2	-41.2	-41.2	-41.2	-41.2	-41.2	-41.2	-41.2
14	9.8	-1.1	-12.0	-22.9	-33.9	-44.8	-43.9	-43.9	-43.9	-43.9	-43.9	-43.9	-43.9	-43.9	-43.9
15	11.4	0.5	-10.4	-21.3	-32.2	-43.2	-46.6	-46.6	-46.6	-46.6	-46.6	-46.6	-46.6	-46.6	-46.6
16	13.0	2.1	-8.8	-19.7	-30.6	-41.6	-49.2	-49.2	-49.2	-49.2	-49.2	-49.2	-49.2	-49.2	-49.2
17	14.7	3.7	-7.2	-18.1	-29.0	-39.9	-50.9	-51.9	-51.9	-51.9	-51.9	-51.9	-51.9	-51.9	-51.9
18	16.3	5.3	-5.6	-16.5	-27.4	-38.3	-49.3	-54.6	-54.6	-54.6	-54.6	-54.6	-54.6	-54.6	-54.6
19	17.9	7.0	-4.0	-14.9	-25.8	-36.7	-47.6	-58.6	-57.3	-57.3	-57.3	-57.3	-57.3	-57.3	-57.3
20	19.5	8.6	-2.4	-13.3	-24.2	-35.1	-46.0	-57.0	-59.9	-59.9	-59.9	-59.9	-59.9	-59.9	-59.9
21	21.1	10.2	-0.7	-11.7	-22.6	-33.5	-44.4	-55.3	-62.6	-62.6	-62.6	-62.6	-62.6	-62.6	-62.6
22	22.7	11.8	0.9	-10.1	-21.0	-31.9	-42.8	-53.7	-64.7	-65.3	-65.3	-65.3	-65.3	-65.3	-65.3
23	24.3	13.4	2.5	-8.4	-19.4	-30.3	-41.2	-52.1	-63.0	-67.9	-67.9	-67.9	-67.9	-67.9	-67.9
24	25.9	15.0	4.1	-6.8	-17.8	-28.7	-39.6	-50.5	-61.4	-72.4	-70.6	-70.6	-70.6	-70.6	-70.6
25	27.5	16.6	5.7	-5.2	-16.1	-27.1	-38.0	-48.9	-59.8	-70.7	-73.3	-73.3	-73.3	-73.3	-73.3
26	29.1	18.2	7.3	-3.6	-14.5	-25.5	-36.4	-47.3	-58.2	-69.1	-75.9	-75.9	-75.9	-75.9	-75.9
27	30.8	19.8	8.9	-2.0	-12.9	-23.8	-34.8	-45.7	-56.6	-67.5	-78.4	-78.6	-78.6	-78.6	-78.6
28	32.4	21.4	10.5	-0.4	-11.3	-22.2	-33.2	-44.1	-55.0	-65.9	-76.8	-81.3	-81.3	-81.3	-81.3
29	34.0	23.1	12.1	1.2	-9.7	-20.6	-31.5	-42.5	-53.4	-64.3	-75.2	-86.1	-83.9	-83.9	-83.9
30	35.6	24.7	13.7	2.8	-8.1	-19.0	-29.9	-40.9	-51.8	-62.7	-73.6	-84.5	-86.6	-86.6	-86.6
31	37.2	26.3	15.4	4.4	-6.5	-17.4	-28.3	-39.2	-50.2	-61.1	-72.0	-82.9	-89.3	-89.3	-89.3
32	38.8	27.9	17.0	6.0	-4.9	-15.8	-26.7	-37.6	-48.6	-59.5	-70.4	-81.3	-92.2	-92.0	-92.0
33	40.4	29.5	18.6	7.7	-3.3	-14.2	-25.1	-36.0	-46.9	-57.9	-68.8	-79.7	-90.6	-94.6	-94.6
34	42.0	31.1	20.2	9.3	-1.7	-12.6	-23.5	-34.4	-45.3	-56.3	-67.2	-78.1	-89.0	-99.9	-97.3
35	43.6	32.7	21.8	10.9	0.0	-11.0	-21.9	-32.8	-43.7	-54.6	-65.6	-76.5	-87.4	-98.3	-109.2
36	45.2	34.3	23.4	12.5	1.6	-9.4	-20.3	-31.2	-42.1	-53.0	-64.0	-74.9	-85.8	-96.7	-107.6
37	46.9	35.9	25.0	14.1	3.2	-7.7	-18.7	-29.6	-40.5	-51.4	-62.3	-73.3	-84.2	-95.1	-106.0
38	48.5	37.5	26.6	15.7	4.8	-6.1	-17.1	-28.0	-38.9	-49.8	-60.7	-71.7	-82.6	-93.5	-104.4
39	50.1	39.2	28.2	17.3	6.4	-4.5	-15.4	-26.4	-37.3	-48.2	-59.1	-70.0	-81.0	-91.9	-102.8
40	51.7	40.8	29.8	18.9	8.0	-2.9	-13.8	-24.8	-35.7	-46.6	-57.5	-68.4	-79.4	-90.3	-101.2
41	53.3	42.4	31.5	20.5	9.6	-1.3	-12.2	-23.1	-34.1	-45.0	-55.9	-66.8	-77.7	-88.7	-99.6
42	54.9	44.0	33.1	22.1	11.2	0.3	-10.6	-21.5	-32.5	-43.4	-54.3	-65.2	-76.1	-87.1	-98.0
43	56.5	45.6	34.7	23.8	12.8	1.9	-9.0	-19.9	-30.8	-41.8	-52.7	-63.6	-74.5	-85.4	-96.4
44	58.1	47.2	36.3	25.4	14.4	3.5	-7.4	-18.3	-29.2	-40.2	-51.1	-62.0	-72.9	-83.8	-94.8
45	59.7	48.8	37.9	27.0	16.1	5.1	-5.8	-16.7	-27.6	-38.5	-49.5	-60.4	-71.3	-82.2	-93.1
46	61.3	50.4	39.5	28.6	17.7	6.7	-4.2	-15.1	-26.0	-36.9	-47.9	-58.8	-69.7	-80.6	-91.5
47	63.0	52.0	41.1	30.2	19.3	8.4	-2.6	-13.5	-24.4	-35.3	-46.2	-57.2	-68.1	-79.0	-89.9
48	64.6	53.6	42.7	31.8	20.9	10.0	-1.0	-11.9	-22.8	-33.7	-44.6	-55.6	-66.5	-77.4	-88.3
49	66.2	55.3	44.3	33.4	22.5	11.6	0.7	-10.3	-21.2	-32.1	-43.0	-53.9	-64.9	-75.8	-86.7
50	67.8	56.9	45.9	35.0	24.1	13.2	2.3	-8.7	-19.6	-30.5	-41.4	-52.3	-63.3	-74.2	-85.1
51	69.4	58.5	47.6	36.6	25.7	14.8	3.9	-7.0	-18.0	-28.9	-39.8	-50.7	-61.6	-72.6	-83.5
52	71.0	60.1	49.2	38.3	27.3	16.4	5.5	-5.4	-16.3	-27.3	-38.2	-49.1	-60.0	-70.9	-81.9
53	72.6	61.7	50.8	39.9	28.9	18.0	7.1	-3.8	-14.7	-25.7	-36.6	-47.5	-58.4	-69.3	-80.3
54	74.2	63.3	52.4	41.5	30.6	19.6	8.7	-2.2	-13.1	-24.0	-35.0	-45.9	-56.8	-67.7	-78.6
55	75.8	64.9	54.0	43.1	32.2	21.2	10.3	-0.6	-11.5	-22.4	-33.4	-44.3	-55.2	-66.1	-77.0
56	77.5	66.5	55.6	44.7	33.8	22.9	11.9	1.0	-9.9	-20.8	-31.7	-42.7	-53.6	-64.5	-75.4
57	79.1	68.1	57.2	46.3	35.4	24.5	13.5	2.6	-8.3	-19.2	-30.1	-41.1	-52.0	-62.9	-73.8
58	80.7	69.8	58.8	47.9	37.0	26.1	15.2	4.2	-6.7	-17.6	-28.5	-39.4	-50.4	-61.3	-72.2
59	82.3	71.4	60.4	49.5	38.6	27.7	16.8	5.8	-5.1	-16.0	-26.9	-37.8	-48.8	-59.7	-70.6
60	83.9	73.0	62.1	51.1	40.2	29.3	18.4	7.5	-3.5	-14.4	-25.3	-36.2	-47.1	-58.1	-69.0

Tab. A 46: Einfache Teil-N-Flächenbilanz des Hafers im Gemenge mit Ackerbohne bzw. Erbse und Hafer im Gemenge zur Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) und zur Körnernutzung (KN) – Regressionsmodell aus Erntegutertrag zu Erntegut-N-Ertrag und Erntegutertrag zu gesamt-pflanzlicher N-Menge des Hafers

Schnittgut- bzw. Korn- TM [dt ha <sup>-1</sup> ]	Gemenge Ackerbohne/Hafer		Gemenge Erbse/Hafer	
	N-Flächenbilanz			
	GPS	KN		KN
1	-	-	-	-2.7
2	-	-	-	-4.7
3	-	-	-	-6.6
4	-	-	-	-8.6
5	-	-	-	-10.5
6	-	-13.4	-	-12.5
7	-	-15.0	-15.6	-14.4
8	-	-16.7	-16.7	-16.4
9	-	-18.3	-17.9	-18.3
10	-19.6	-20.0	-19.1	-20.3
11	-20.9	-21.6	-20.2	-22.2
12	-22.1	-23.3	-21.4	-24.2
13	-23.4	-25.0	-22.6	-26.1
14	-24.6	-26.6	-23.7	-28.1
15	-25.9	-28.3	-24.9	-30.0
16	-27.1	-29.9	-26.0	-32.0
17	-28.4	-31.6	-27.1	-33.9
18	-29.6	-33.2	-28.3	-35.9
19	-30.9	-34.9	-29.4	-37.8
20	-32.1	-36.5	-30.5	-39.8
21	-33.4	-38.2	-31.7	-41.7
22	-34.6	-39.8	-32.8	-43.7
23	-35.9	-41.5	-33.9	-45.6
24	-37.1	-43.1	-35.0	-47.6
25	-38.4	-44.8	-36.1	-49.5
26	-39.6	-46.4	-37.2	-51.5
27	-40.9	-48.1	-38.3	-53.4
28	-42.1	-49.7	-39.4	-55.4
29	-43.4	-51.4	-40.5	-57.3
30	-44.6	-53.0	-41.6	-59.3
31	-45.9	-54.7	-42.7	-61.2
32	-47.2	-56.3	-43.8	-63.2
33	-48.4	-58.0	-44.8	-65.1
34	-49.7	-59.7	-45.9	-
35	-50.9	-61.3	-47.0	-
36	-52.2	-63.0	-48.0	-
37	-53.4	-64.6	-49.1	-
38	-54.7	-66.3	-50.1	-
39	-55.9	-67.9	-51.2	-
40	-57.2	-69.6	-52.2	-
41	-58.4	-	-53.3	-
42	-59.7	-	-54.3	-
43	-60.9	-	-55.4	-
44	-62.2	-	-56.4	-
45	-63.4	-	-57.4	-
46	-64.7	-	-58.4	-
47	-65.9	-	-59.5	-
48	-67.2	-	-	-
49	-68.4	-	-	-
50	-69.7	-	-	-
51	-70.9	-	-	-
52	-72.2	-	-	-
53	-73.4	-	-	-
54	-74.7	-	-	-
55	-75.9	-	-	-
56	-77.2	-	-	-
57	-78.4	-	-	-
58	-79.7	-	-	-
59	-80.9	-	-	-
60	-82.2	-	-	-
61	-83.4	-	-	-
62	-84.7	-	-	-
63	-85.9	-	-	-
64	-87.2	-	-	-
65	-88.4	-	-	-
66	-89.7	-	-	-
67	-91.0	-	-	-
68	-92.2	-	-	-
69	-93.5	-	-	-
70	-94.7	-	-	-

- Bereich außerhalb der Regressionsanalyse



# · DANKSAGUNG ·

Diese Arbeit wurde am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Georg-August-Universität Göttingen in der Arbeitsgruppe Ökologischer Landbau unter Anleitung von Dr. Knut Schmidtke durchgeführt. Ihm gilt an erster Stelle mein Dank für die Themenstellung. Seine große Betreuungsbereitschaft und Geduld auch in zeitlich sehr angespannten Situationen trug maßgeblich zum Erfolg dieser Arbeit bei.

Mein herzlicher Dank gilt Prof. Dr. Rolf Rauber für die Übernahme des Referates und seine wertvollen Hinweise besonders zum Ende der schriftlichen Ausarbeitung. Für die Übernahme des Korreferates bedanke ich mich nicht weniger herzlich bei Prof. Dr. Heiko Becker.

Des Weiteren möchte ich mich bei der gesamten Arbeitsgruppe für die engagierten Hilfestellungen im Feld und im Labor bedanken, sowie für die gute Arbeitsatmosphäre. Hervorzuheben sei an dieser Stelle Dr. Karin Reiter, die mir in tiefer Verbundenheit bei vielen technischen und persönlichen Dingen, mit ihrem Organisationstalent und sozialem Einsatz vom ersten bis zum letzten Tag eine großartige Stütze war. Den wissenschaftlichen Hilfskräften und der Arbeitsgruppe danke ich für ihre Tatkraft und Bereitschaft, mich schon in dunklen Morgenstunden bis in späte Abendstunden im Feld, Institut und bei den mehrtägigen Beprobungsfahrten zu unterstützen.

Gedankt sei den Bezirksstellenleitern, Versuchstechnikern, Landwirten und Arbeitskräften auf den Versuchsfeldern der Landwirtschaftskammer Hannover und auf den Praxisflächen, Klaus-Dieter Lodahl in Groß Malchau sowie Bruno Heidland und insbesondere Heinrich Masemann in Borwede und Dr. Thomas Stadler in Föhrste für ihre engagierte Teilnahme.

Meinen Dank möchte ich auch an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Versuchsgutes Reinshof und des Instituts für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Göttingen richten, insbesondere an Christiane Münter und Thomas Seibold für die Hilfe bei der Durchführung der Versuche sowie an Gabriele Kolle und Nina Hoffmann für die technische Assistenz im Ackerbaulabor. Reinhold Langel und Dr. August Reineking vom Kompetenzzentrum Stabile Isotope der Universität Göttingen sei ebenfalls herzlich gedankt.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen großartigen Freundinnen und Freunden für ihre tatkräftige Unterstützung bedanken. Meiner Familie danke ich für ihr Vertrauen und ihre große Hilfsbereitschaft. Vor allem meiner Tochter Tabea möchte ich besondere Anerkennung für ihre Geduld mit ihrer rastlosen Mutter zukommen lassen.

Das Projekt wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück unterstützt.





# Curriculum Vitae

## Persönliche Daten

Geburtsdaten 01. Mai 1966 in Rheinhausen j. Duisburg  
 Familienstand ledig, ein Kind (Jg. 1989)

## Berufliche Tätigkeit

**Georg-August-Universität Göttingen**  
 2003 Rigorosum und Promotion in den Fächern Pflanzenbau, Grasland-  
 wirtschaft und Bodenkunde  
 1999 - 2002 Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Pflanzenbau und Pflan-  
 zenzüchtung in einem von der DBU geförderten Projekt  
**Thema:** Ermittlung und Anwendung verbesserter Kalkulationen der  
 Stickstoff-Flächenbilanz von Leguminosen in der land- und wasser-  
 wirtschaftlichen Fachberatung, Teilprojekt Körnerleguminosen

## Universitätsausbildung

**Philipps-Universität Marburg**  
 1998 Diplomprüfung in den Fächern Geographie, Botanik und Geologie  
**Diplomarbeitsthema:** Die Auswirkungen der Extensivierung von  
 Grünlandflächen auf Boden und Vegetation ausgewählter Auen-  
 standorte im Einzugsbereich der Lahn  
 1992 Vordiplomprüfung in den Fächern Geographie, Botanik und Völker-  
 kunde  
 1990 Grundstudium der Geographie

## Praktika

2003 GfRS - Gesellschaft für Ressourcenschutz in Göttingen (vier Wochen)  
 1997 Hilfswissenschaftliche Tätigkeit im bodenkundlichen Labor am Fach-  
 bereich Geographie der Universität Marburg  
 1995 Hydro - Planungsbüro Krefeld - Hydrologisches Ingenieurbüro Olzem  
 (vier Wochen)  
 1994 Berliner Landesarbeitsgemeinschaft für Naturschutz e.V.  
 (vier Wochen)  
 1993 Mission ORSTOM-Mexique – Institut de recherche scientifique pour le  
 developpement en cooperation (vier Wochen)

## Schulische und berufliche Ausbildung

1988 - 1989 Zweiter Bildungsweg, Abendgymnasium der Stadt Duisburg  
 Abschluss: Allgemeine Hochschulreife  
 1985 - 1988 Ausbildung zur Reiseverkehrskauffrau, NIAG in Moers  
 1983 - 1985 Höhere Handelsschule des Kreises Wesel in Moers, Sekundarstufe II  
 Abschluss: Fachhochschulreife  
 1972 - 1983 Grundschule und Realschule in Duisburg-Rheinhausen  
 Abschluss: qualifizierte Fachoberschulreife