

2. BIBLIOGRAPHIE

2.1 Mexiko: Allgemeine und landwirtschaftliche Aspekte

Die bimodalen Produktionsformen und die Gegensätze der mexikanischen Landwirtschaft, insbesondere der Rinderproduktion, stellen im Vergleich zu anderen Schwellenländern einen Einzelfall dar. Die Dualität wird in erster Linie von den Landbesitzformen (private und soziale) bestimmt (Seit der Revolution in Mexiko existieren auf dem Land zwei Besitzformen, die private und die soziale Form oder "Ejido"-Gemeinschaft. Nach Paragraph 27 der mexikanischen Verfassung ist es erlaubt, eine Fläche Land zu besitzen, die maximal für die Haltung und Fütterung von 500 Rindeinheiten (450 kg Lebendgewicht) oder äquivalent für kleine Tierarten notwendig ist. Die gerechte Verteilung des Landes hatte aber nachteilige Auswirkungen auf die Intensivierung der Landwirtschaft in Mexiko. Die "Ejido"-Gemeinschaft ist fast eine Nachbildung der vorspanischen Form des Landbesitzes, die als calpulli bezeichnet wurde. Eigentümer des Landes ist der Staat; doch wird es aber von Kleinbauern bewohnt und in Parzellen aufgeteilt oder gemeinschaftlich bewirtschaftet. Das Land darf im Prinzip nur vererbt werden, dennoch sind in letzter Zeit Landverpachtungen geduldet. Unter dem Motto der Modernisierung der Landwirtschaft in Mexiko wird eine Privatisierung der Ejidos angestrebt. Derzeit werden in Mexiko 91,5 Millionen Hektar d.h. 50 % der Landfläche unter sozialen Besitzformen bewirtschaftet. Heutzutage sind die Probleme der Ejidos sehr groß und verschieden u.a. durch exzessive Aufteilung des Landes in immer kleinere Einheiten, Unsicherheit der Dotationen, illegale Landverpachtungen und Verkauf von Agrarrechten, fehlende Unterstützung der Produktion, fehlende Kredite und technische Assistenz, Landflucht usw...). Die Gegensätze können vor allem am Lebensstandard der Landbevölkerung gemessen werden. Mitte der achtziger Jahre konnte die Produktion des mexikanischen Agrarsystems den Bedarf der eigenen Bevölkerung bei weitem nicht decken. Noch heute ist Mexiko der wichtigste Milchimporteur der Welt. Gleichzeitig ist das Land seit dem vergangenen Jahrzehnt eines der wichtigsten Exportländer von landwirtschaftlichen Produkten für die Märkte der USA, Europas und Asiens.^{109,136,148,150,151}

Der Mangel an landwirtschaftlichen Produkten trifft merkwürdigerweise besonders die rurale Bevölkerung. In den achtziger Jahren trank die Hälfte der ländlichen Einwohner Mexikos keine Milch, 75 % aßen keinen Fisch, 20 % keine Eier und mehr als 30 % kein Fleisch.^{142,148}

Mexiko liegt derzeit an sechzehnter Stelle der wirtschaftlichen Weltrangliste mit einem Bruttoinlandsprodukt von 173 600 Millionen Dollar und belegt damit nach Brasilien den zweiten Platz in Lateinamerika. Das Bruttoinlandsprodukt der mexikanischen Landwirtschaft macht mit 16 Milliarden Dollar 9 % des gesamten BIP aus. Das durchschnittliche Einkommen der Bevölkerung ist niedrig. Auf dem Land rechnet man mit einem Tageslohn von 5,20 US-Dollar pro Familie und in den Städten mit einem von 10,30 US-Dollar.⁷⁴

Mit 83 Millionen Einwohnern hat Mexiko die größte spanischsprechende Bevölkerung der Welt. Auf dem Lande leben 27,5 % (22,8 Millionen) der Bevölkerung. Ethnologisch gehören 55% des mexikanischen Volkes zu den Mestizos d.h. Mischlingen aus vorspanischen und europäischen Vorfahren; 29 % haben ausschließlich Vorfahren aus vorspanischen Kulturen, die meines Erachtens nach fälschlicherweise unter die allgemeine Bezeichnung "Indios" fallen. 15 % sind ausschließlich europäischen - vor allem spanischen Ursprungs.^{74,98}

2.1.1 Geographie

Mit einer Gesamtfläche von 1 972 550 km² ist Mexiko nach Brasilien und Argentinien das drittgrößte Land Lateinamerikas. Diese Größe entspricht dem 5,5fachen der Fläche des wiedervereinigten Deutschlands. Mexiko erstreckt sich auf einer Fläche von 14° 33' bis 32° 43' nördlicher Breite und von 86° bis 117° westlicher Länge. Seine Nachbarländer sind im Norden mit einem Grenzverlauf von 3 115 km die Vereinigten Staaten von Amerika und im Süden Guatemala (926 km Grenze) und Belize (259 km Grenze). Die Länge der mexikanischen Küsten am Pazifischen Ozean, dem Golf von Mexiko und dem karibischen Meer beträgt insgesamt 9 900km. Die engste Stelle zwischen den Ozeanen ist der knapp 220 km breite Isthmus von Tehuantepec, der den nord- vom mittelamerikanischen Teil Mexikos trennt. Rein geographisch gesehen, liegt Südmexiko in den Tropen und der Norden, ab dem Wendekreis des Krebses, in den Subtropen.¹⁷¹

Den größten Teil des mexikanischen Territoriums nimmt ein Hochland ein, das von hohen, steil zu den Küstenebenen abfallenden Gebirgsketten umrandet wird: im Westen von der Sierra Madre Occidental und im Osten von der Sierra Madre Oriental; im Süden wird es von der Sierra Volcánica Transversal begrenzt, die von Küste zu Küste verläuft und in einzelnen Gipfeln über 5000 m Höhe erreicht. Mehr als 70 % der Landfläche sind trockene und halbtrockene Gebiete, die ohne künstliche Bewässerung ackerbaulich nicht nutzbar sind. Im feuchten Süden breiten sich Savannen, Regenwälder und tropische Kulturen aus; dort werden hauptsächlich Kaffee, Kakao, Bananen und Tabak angebaut. Im trockenen Norden sind die extensive Weidewirtschaft, der Bergbau, die bewässerten Südfruchtkulturen sowie der Reisanbau und die Baumwolle von wirtschaftlicher Bedeutung. Die Hälfte des gesamten Ackerlandes wird von Mais, dem traditionellen Hauptnahrungsmittel der Bevölkerung, beansprucht. Mexiko ist reich an Bodenschätzen. Durch spektakuläre Erdölfunde in der zweiten Hälfte der 70er Jahre erhöhten sich die nachgewiesenen Reserven von 6,3 Mrd. Faß (1975) auf 67,8 Mrd. Faß (März 1981). Damit nimmt Mexiko den 5. Rang unter der Erdölländern ein. Sollten sich die Schätzungen der potentiellen Reserven (250 Mrd. Faß) als richtig erweisen, würde Mexiko nur noch von der GUS (259 Mrd. Faß) übertroffen. Außerdem ist Mexiko ein führender Förderer von Silber, Uran, Blei, Kupfer, Mangan, Schwefel und Flußspat. Eine landschaftliche und wirtschaftliche Sonderstellung nehmen die beiden Halbinseln Baja California am Pazifischen Ozean und Yucatán auf der atlantischen Seite Mexikos ein. Baja California, das ca. 1300 km lang ist, und auf dem sich die Gebirge Südkaliforniens fortsetzen, war lange Zeit eine durch seine extreme Lage und Trockenheit abgeschiedene Welt für sich. Seine südwestliche Spitze, wo die warmen Ströme des Golfs von Kalifornien auf die kühlen Fluten des Pazifik treffen, ragt in eines der fischreichsten Gewässer der Welt

hinein. Yucatán stellt eine der touristischen Hauptattraktionen Mexikos dar, zumal die Karibikküste mit dem Hauptort Cancún in den 70er Jahren touristisch erschlossen wurde. Große Ruinenstätten der Mayakultur zeugen von der Bedeutung, die die flache Halbinsel bereits in der vorkolonialen Zeit besaß. Der Tourismus hat indes seine Stellung als wichtigster Devisenbringer des Landes an die Erdölindustrie abgetreten.^{74,171,184}

Von den 196 Millionen Hektar mexikanischer Landfläche sind 16 % (32 Millionen) als Ackerland geeignet. Heutzutage werden etwa 24 Millionen Hektar bestellt, die restlichen 8 Millionen benötigen noch infrastrukturelle Baumaßnahmen, um sie in die Produktion einzuschließen. Forst- und Waldflächen decken 29 %, Weideflächen 14 % des Landes. 40 % des Territoriums haben ein geringes landwirtschaftliches Potential und bestehen aus Gebüsch (Matorralen), Halbwüsten und Wüsten.^{145,150,181}

Von den bestellten Ackerbauflächen werden 16 % bewässert, 12 % sind Regenanbaugebiete von guter Qualität und 72 % sind Regenanbaugebiete mit geringen und unregelmäßigen Niederschlägen. Daraus kann man ableiten, daß die ackerbauliche Produktion in Mexiko stark von den klimatischen Bedingungen abhängt.¹⁴²

2.1.2 Klima

Die geographische Lage zwischen den Tropen und Subtropen entspricht nur wenig den vorherrschenden klimatischen Bedingungen. Über dem mexikanischen Territorium fallen im Durchschnitt jährlich 700 mm Niederschlag, der allerdings im Großteil des Landes unregelmäßig fällt und mit einem sehr hohen Verdunstungsgrad einhergeht. Eine durchschnittliche Temperatur von 25 °C täuscht auch über die starken Schwankungen in vielen Regionen des Landes hinweg.⁷⁴

Das Klima der verschiedenen Gebiete Mexikos wird vor allem von der Höhenlage im Zentrum und Süden und von der Breitenlage im nördlichen Teil des Landes bestimmt. Im Südosten gibt es häufiger Regenfälle und Gewitter. Das Zentrum und der Norden sind Trockengebiete mit Frosteinbrüchen und Hagelschauern, die den Ackerbau ständig gefährden.¹⁷¹

In Mexiko lassen sich insbesondere drei Klimazonen unterscheiden; die feuchtropische, die feuchtgemäßigte und die trockene Zone. An manchen Orten der feuchtropischen Zone (Durchschnittstemperatur 18 °C und Niederschlag 750 mm) können Niederschlagsmengen bis zu 4000 mm/Jahr fallen. Die Halbinsel Yucatán (mit Ausnahme ihrer nordwestlichen Seite), die süd pazifische Küste, die südlichen Gebirge der westliche Sierra Madre und die von Zyklonen heimgesuchte Golfzone gehören zu diesem Gebiet. Die feuchtgemäßigte Zone umfaßt vor allem Gebirgsregionen um die großen Vulkane und die mittleren und hohen Lagen der Bergzüge. Die Temperaturen reichen von 18 °C bis zum Gefrierpunkt in den Wintermonaten, die Niederschlagsmengen betragen zwischen 600 und 1000 mm im Jahr. Mehr als 70 % des Landes werden als semiarid oder trocken bezeichnet, auch wenn in einigen Gebieten der trockenen Zone jährliche Niederschläge bis zu 700 mm oder mehr auftreten können. Hier wirkt sich ein starker Verdunstungsgrad

nachteilig auf das verfügbare Wasser aus. Die kärglichen Ressourcen der Trockengebiete dienen vor allem der extensiven Tierhaltung. Der Ackerbau in diesen Regionen stellt eine riskante Unternehmung dar, es sei denn, es wird viel Kapital in Bewässerungsanlagen wie in einigen Orten im Norden, investiert. Allerdings entstehen durch Bewässerungsmaßnahmen andere Probleme, wie Versalzung der Böden und Erschöpfung der unterirdischen Wasservorräte.^{171,184}

2.1.3 Vegetation

Die Vielfalt der Vegetation in Mexiko begründet sich u.a. in starken Höhenunterschieden über kurze horizontale Entfernungen hinweg, in der Brückenlage des Landes zwischen Nord- und Südamerika und nicht zuletzt auf den anthropogenen Einflüssen auf das Land, betrachtet man dessen Umwandlung von einem vorkolonialen ackerbaulichen Kulturland in ein Gebiet unkontrollierter Haustierhaltung nach der Eroberung.¹⁴⁵

Die wichtigsten Vegetationstypen, die in Mexiko vorkommen, sind nach RZEDOWSKI (1981): xerophytische Strauchsteppe (matorral xerófilo, 40 %), immergrüner geschlossener Feuchtwald (bosque tropical perenifolio, 11 %), Grassteppe (pastizal, 10-12 %), vollständig laubwerfender Feuchtwald (bosque tropical caducifolio, 8 %), Eichenwald (bosque de quercus, 5,5 %), Nadelwald (bosque de coníferas, 5 %), Dornwald (bosque espinoso, 5 %), teilweise laubwerfender Feuchtwald (bosque tropical subcaducifolio, 4%) und Gebirgs-Feuchtwald (bosque mesófilo de montaña, 0,5-0,9 %).¹⁴⁵

Zwischen den unterschiedlichen Pflanzengesellschaften befinden sich meistens Übergangsbereiche, in denen Mischvegetationen anzutreffen sind. In der gemäßigten Zone findet man vor allem Kiefern-Eichen-Wälder aber auch Mesquitegrasland. In den tropischen Gebieten dominieren Regenwälder und immergrüne Wälder. Die trockenen Gebiete werden hauptsächlich von einer Matorral-Gebüsch-Landschaft bedeckt.^{145,181}

2.1.4 Tierproduktion

Bei näherer Betrachtung ist die Tierhaltung in Lateinamerika mit einem politischen Hintergrund verbunden. Diese Tatsache trifft besonders auf die mexikanische Rinderhaltung zu.^{109,150,119}

Während die Schweine- und Geflügelzucht in den letzten 30 Jahren eine starke, marktorientierte Intensivierung unter Mitwirkung von internationalen Konzernen bei Anbau und Herstellung von Futtermitteln, der Zulieferung von Medikamenten und Zuchtmaterial erfuhr, ist die extensive Rinderhaltung (es ist der landwirtschaftliche Sektor mit der geringsten Wachstumsrate) nach wie vor die wichtigste Form der landwirtschaftlichen Produktion.^{69,150,151}

In einem Agrarsystem wie in Mexiko, in dem das Recht auf Ackerlandfläche begrenzt ist und ein ständiger Wechsel

der angebauten Pflanzen stattfindet, ist, vom politischen Standpunkt aus, die Rinderhaltung als Mittel zum Besitz ökonomischen Eigentums von großer Bedeutung.¹⁵⁰ Diese ist heute eine modifizierte Nachbildung der strategischen Aufgabe der Rinderhaltung für die Landgewinnung in der Zeit der Kolonisierung der nördlichen Gebiete Mexikos.²⁹

Bis heute ist die Rindfleischproduktion im Zentrum und Süden des Landes auf den nationalen Markt orientiert. Betriebe der trockenen Gebiete im Norden sind dagegen hauptsächlich auf die Produktion von Absatzkälbern für den Export in die USA ausgerichtet. Die Produktion von Rindfleisch in den Gebieten von Nordmexiko und den südlichen Staaten der USA schließlich hat nicht nur eine bimodale Form hinsichtlich der Landbesitzformen in Mexiko, sondern auch einen binationalen Hergang hinsichtlich der an der Produktion beteiligten Länder. CHAUVET-SANCHEZ geht mit der Bildung der Freihandelszone in Nordamerika von einem verstärkten Auftreten dieser Produktions- und Vermarktungsform zum Nachteil der mexikanischen Betriebe aus.^{41,109,150}

Einige Untersuchungen berichten über einen rückgängigen Prozeß der Rinderhaltung in Mexiko als Zeichen der geschwächten Kaufkraft der wichtigsten Sektoren der Bevölkerung. Dieser Prozeß kam mit dem Beginn der ökonomischen Krise im Jahr 1982 in Gang. Dies bedeutete gleichzeitig das Ende des "proceso de ganaderización" (Bestandzuwachsprozeß) der siebziger Jahre, der mit einer Zeit des wirtschaftlichen Wachstums einherging.^{136,142,148}

Schätzungen der Wiederkäuerpopulation in Mexiko gehen von 40 Millionen Rindern und etwa 16 Millionen Ziegen und Schafen aus. Für die Haltung dieser Tiere werden 75 Millionen Hektar Weidefläche und für den Futteranbau rund 7 Millionen Hektar Ackerfläche genutzt. Angesichts der schlechten Qualität der mexikanischen Weiden mit einer durchschnittlichen Kapazität von 7 ha pro Rind (Lebendgewicht 450 kg) ist schon mit dieser vorsichtigen Schätzung der Tierpopulation eine Überstockung und Vernichtung der Weideflächen unübersehbar. Dieser Zustand hatte in früheren Zeiten Bestand, da sich die Produktionssteigerung auf die Erweiterung der Weidegrenzen auf Wald und Ackerflächen stützte. Der Profit der Tierhaltung in Mexiko basierte eher auf dem Bodeneigentum als auf dem Leistungsertrag der Tiere. Heute ist eine weitere Öffnung der Weideflächen kaum mehr möglich und eine Produktivitätssteigerung muß auf Leistungszuwachs ausgerichtet werden.^{41,142,184}

Die Milchtierbestände sanken angesichts des fehlenden Kapitals für die Erhaltung der Herde, darüberhinaus haben sich wegen der großen Unterschiede im Verhältnis zwischen den Fleisch- und Milchpreisen viele Milcherzeuger für die Schlachtung der Tiere entschieden. Theoretisch wird die Milchproduktion eingestellt wenn die Preisrelation Fleisch : Milch den Wert 7:1 erreicht. Im Dezember 1988 war dieses Verhältnis 8:1 und ein Jahr später immer noch 6,7:1. Der Import von Milchpulver war für den Staat günstiger als die Maßnahmen zur Förderung der nationalen Produktion, dabei nimmt der Staat eine Monopolstellung bei der Vermarktung ein. Nach den Maßnahmen der Milchkontingentierung und Exporteinschränkungen der Europäischen Union und der USA stieg der internationale Milchpreis von 1987 bis 1989

um 158 Prozent . Damit wurde die Abhängigkeit der mexikanischen Milchversorgung vom Ausland zum wirtschaftlichen und sozialen Risikofaktor. Der größte Anteil der Milchproduktion des Landes stammt aus 120 000 Betrieben mit Zweitnutzungsrindern (40 %) und aus 100 000 kleinen Familienbetrieben (35 %). Von den nur 1 850 im ganzen Land verstreuten spezialisierten Milchbetrieben kommen 25% der gesamten Produktion, sie produzieren also effektiver. Daraus kann man folgern, daß die Produktion in Mexiko eher von der Größe als von der Leistung der Herden abhängt.¹¹⁹

2.1.4.1 Tierproduktion unter der sozialen -"Ejido"- Besitzform

Nach der letzten Enquete des landwirtschaftlichen ejidalen Sektors (Encuesta Nacional Agropecuaria Ejidal) wurden 28 000 Ejidos mit 3 Millionen Ejido-Bauern und eine Fläche von 95 Millionen ha gezählt. Die Fläche an Naturgrasland, Strauchweiden oder Matorralen umfaßte 54 189 050 ha auf 22 091 Ejidos verteilt. Das entspricht 57 % der gesamten Fläche. Bei 12,1 % der Ejidos (ca. 3 400) überwiegt die Tierproduktion. Darüberhinaus werden in 18 680 Ejidos Rinder, in 3 137 Ziegen und Schafe, in 1 912 Schweine und in 2 839 Geflügel gehalten.¹²⁹

Die Integration dieses bäuerlichen Sektors in die Tierproduktion vollzieht sich auf verschiedenen Wegen. Meistens üben die Ejido-Bauern den Produktionsabschnitt mit dem größten Risiko und der größten Mortalitätsrate aus. Anstatt eine Produktivitätssteigerung der eigenen Betrieben anzustreben, ziehen die privaten Tierzüchter eine Erweiterung ihrer Aktivitäten auf Ejido-Weideflächen vor.^{136,148}

Die üblichen Formen der Nutzung von Ejido-Weiden sind die Verpachtung und die Gewinnteilung. Die erste Form betrifft einzelne Parzellen aber viel öfter die gemeinschaftlichen Weiden der Ejidos. Der Vertrag wird normalerweise auf Tag/Tier geschlossen, der Tierzüchter übernimmt dabei die Verantwortung der Herdenbetreuung und der Ejido kümmert sich um den Erhalt der Weide. Auf diese Weise versuchen die Pächter in der Regel soviele Tiere wie möglich zu halten, denn eine Überstockung beeinträchtigt die eigene Produktion nur in indirekter Form. Die Kälberaufzucht wird vor allem auf Basis der Gewinnteilung betrieben. Der Tierzüchter überläßt die Betreuung seiner trächtigen Kühe oder geborenen Kälber den Ejido-Bauern bis zum Absetzen der Kälber. Am Ende bekommen die Bauern die Hälfte der abgesetzten Kälber und die gesamte Milchproduktion, sie müssen aber die Tiere ersetzen, die während dieser Zeitspanne verenden.¹²⁹

Die Tätigkeit der Ejido-Bauern bei der Mast von Rindern ist eingeschränkt vor allem wegen der fehlenden finanziellen Kapazität, einen im Durchschnitt zwei Jahre dauernden Prozeß zu überwinden. Andererseits ermöglicht die Verpachtung von Weideflächen und das saisonbedingte Melken ein regelmäßiges Einkommen, das zusammen mit dem Anbau ihrer Parzellen und weiteren Tätigkeiten als Landarbeiter ihre Subsistenz überhaupt möglich machen.^{98,129,136}

Auf diese Weise wird offensichtlich, daß die Kapazität für die Rinderhaltung der Ejido-Gemeinschaften in großem Maße von den lokalen und regionalen Tierzüchternverbänden genutzt wird, die auf nationaler Ebene die Tierzüchterkonföderation bilden. Obwohl keine formellen Hindernisse für eine Aufnahme der Ejido-Bauern in

diese Konföderation existieren, ist ihre Mitgliedschaft -abgesehen von einigen Ausnahmen im Norden des Landes im Grunde genommen marginal. Schlußfolgernd kann man sagen, daß die ejido-bäuerliche Tierproduktion eher wegen der gestörten Verhältnisse zum kapitaltragenden Sektor als wegen ihrer Ressourcen sekundär ist.41,136,150

2.1.4.2 Rinderhaltung unter der privaten Besitzform

Der größte Teil der Rinderproduktion in Mexiko stammt aus zwei Regionen: Dem Norden und der Golfzone; beide Gebiete sind im Hinblick auf Klima, Ökologie, Betriebs- und Vermarktungsformen sehr unterschiedlich. Dennoch überwiegt im ganzen Land die extensive Rinderhaltung sowohl bei der Mast im Süden als auch bei der Mutterkuhhaltung im Norden. Es gibt einen kleinen Sektor mit semi-intensiven Betrieben, auf denen künstliche Weiden angelegt werden. Diese Form macht allerdings nur knapp 5 % der gesamten Weidefläche im Land aus.109,136

Die Gesetzgebung auf dem Gebiet der Tierhaltung ist nach Meinung der privaten Tierzüchter das größte Hindernis für die notwendigen Investitionen für die Steigerung der Rinderproduktion, vor allem wegen der Gefahr der Landenteignung. Das ist auch ein Grund für die ökologischen Schäden, die durch die Erweiterung der Beweidung auf Wald- und Forstflächen und die Überstockung verursacht werden. Somit wurde die Tierhaltung in eine ressourcenausbeutende Aktivität umgewandelt. In einigen Konfliktzonen werden aus Angst vor Landbesetzungen Privatwächter engagiert. Der Widerstand der großen und mittelgroßen Tierzüchter gegenüber der produktiven Intensivierung, basiert auch auf dem großen Gewicht des traditionellen ökonomischen Interesses, da der Kapitalakkumulationsprozeß sich im extensiven Modell auf das Monopol an Bodeneigentum stützt. Der technologische Nachholbedarf der Betriebe ist damit nicht nur auf rein technische Gründe zurückzuführen.41,119,136

Der Norden des Landes beherbergt ca. 20 % der Rinderpopulation und 30 % des Ziegenbestandes des Landes. Wegen der trockenen klimatischen Bedingungen und der kärglichen Pflanzenbedeckung rechnet man in diesem Gebiet mit einer niedrigen Besatzdichte (im Durchschnitt 10 ha pro Tiereinheit und Jahr). Infolgedessen dehnen sich einzelne Betriebe über weite Landflächen (bis zu 20 000 ha) aus. Während längerer Trockenperioden mangelt bis zu sieben Monaten im Jahr an ausreichendem Futter. In der Trockenzeit werden auch Maßnahmen zur Nutzung der Gebüschvegetation wie z. B. die Verbrennung der Nopal (*Opuntia spp.*) getroffen. Der Nutzung der verschiedenen Pflanzen aus dem Matorral als Futterressourcen kommt in der Weidewirtschaft in Nord-Mexiko eine besondere wissenschaftliche Bedeutung zu.109,112,135,181

In einigen Betrieben gibt es gewisse Intensivierungsstufen durch Bewässerung der Weiden mit Bau von Bohrlöchern und Staudämmen und Anlegen von künstlichen Weiden vor allem mit Büffelgras (*Cenchrus ciliaris*). Da in Mexiko das Zufüttern mit Mais (*Zea mais*) verboten ist, wird auch, wegen ihrer besseren Hitzeresistenz, Hirse (*Sorghum vulgare*) als Futtermittel angebaut. Außerdem werden die Tiere in diesen Betrieben mit Rückständen aus der Nahrungsmittelindustrie und den Brauereien, sowie Zitruschalen, Rückständen aus Hühnerfarmen, Melasse,

usw. gefüttert.109,184

Die Rinderproduktion Nord-Mexikos ist auf komplizierte Weise in die Rindfleischproduktion der Südstaaten der USA integriert. Ein Fünftel des Bestandes wird jedes Jahr als Magervieh für die Mast in die amerikanischen Feed-Lots exportiert. Es sind vor allem Jungbullen zwischen 100 und 150 kg. Damit geht wertvolles genetisches Material für die Verbesserung der einheimischen Produktion verloren. Die Beteiligung der mexikanischen Rinder an der amerikanischen Fleischproduktion ist allerdings mit 2% der gesamten im Süden der USA geschlachteten Rinder nicht von großer Bedeutung.142,150

Die Tierhaltung in der Golfzone unterscheidet sich von der im Norden vor allem in den ökologischen Bedingungen. Hier werden Jungbullen aus dem Norden und Südwesten Mexikos oder aus lokaler Aufzucht in zweieinhalb- bis dreijähriger Weidemast auf das Endgewicht von 500 bis 600 kg gebracht. Diese Produktion ist hauptsächlich für Mexiko-Stadt bestimmt. Die Weiden werden von tropischen Gräsern wie Guinea (*Panicum maximum*) und Pangola (*Digitaria decumbens*) bedeckt. Die Besatzdichten liegen mit 1 ha/Tiereinheit im Durchschnitt wesentlich höher als im Norden. Trotzdem sind viele der Betriebe in dieser Zone nicht kleiner als die der nördlichen. Die Landakkumulation wird durch verschiedene legale und illegale Wege verwischt.148,150

2. 1. 4. 3 Hygienestatus

Aus der Sicht der hygienischen Situation war das Land jahrelang in zwei Zonen geteilt. Die Maul- und Klauenseuche (MKS) und die "screwworm"-Fliege (*Cochliomyia hominivorax*) waren die wichtigsten Gründe für diese Teilung. Der Norden Mexikos galt als freie Zone und der Süden als infiziertes Gebiet. Das hatte auch Auswirkungen auf den Export in die USA. In den Jahren 1946 bis 1954 wurde der Import von Rindern und Rindfleisch aus Mexiko wegen eines Ausbruchs von MKS eingestellt. Nachdem Bekämpfungsmaßnahmen auf der Grundlage eines bilateralen Vertrages erfolgreich abgeschlossen werden konnten, wurde das Land 1954 als frei von der MKS erklärt. Damit bildet Mexiko eine Barriere gegen die Ausbreitung dieser Seuche in die USA.150,151

Ein besonderes Problem in Mexiko sind die Ektoparasiten, vor allem Zecken, und die von ihnen übertragenen Krankheiten Babesiose und Anaplasmosen. Ungefähr 50 % des Landes ist davon betroffen, insbesondere das Zentrum und die südlichen Teile des Landes. Zeckenbäder findet man in Mexiko als Ausstattung vieler Betriebe oder sie werden vom Staat als Dienstleistung für mehrere kleine Betriebe und Ejidos eingerichtet. Viele davon befinden sich allerdings in einem unbrauchbaren Zustand. Der Transport von Rindern aus den von Zecken befallenen in zeckenfreie Gebiete ist gesetzlich verboten.10,43,184

Eine große wirtschaftliche Bedeutung haben auch Brucellose, Tollwut und Tuberkulose. Die Bodenseuchen werden nur in einer lückenhaften Weise dokumentiert, vor allem aufgrund unzureichender Diagnose. Milzbrand ist in

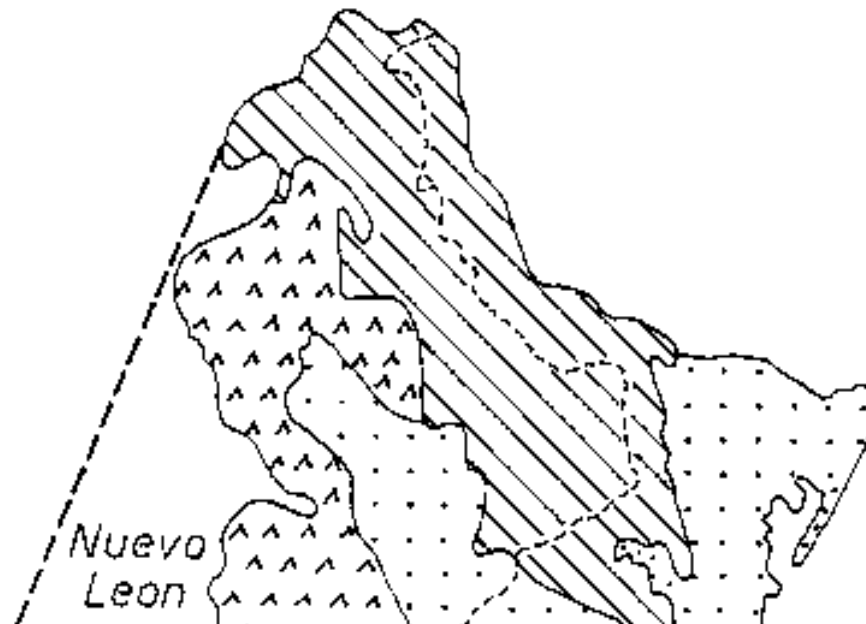
Mexiko meldepflichtig, in den achtziger Jahren wurden im Durchschnitt 500 Fälle jährlich gemeldet. Bei den clostridialen Infektionen sind die Angaben noch ungenauer. Eine offizielle Schätzung von 1980 über die Verluste durch Rauschbrand in Höhe von 4 Millionen Dollar lag wesentlich unter der wirklichen Bedeutung der Krankheit. Diese Angabe steht nicht im Einklang mit dem breiten Angebot an verschiedenen Impfstoffen gegen Bodenseuchen in Mexiko und dem illegalen Import aus den USA.^{176,178}

2.2 Nordost-Mexiko

Die folgenden Ausführungen über Nordost-Mexiko beziehen sich auf die Bundesländer Nuevo León und Tamaulipas, sie stellen das Untersuchungsumfeld der verschiedenen Arbeiten des Projektes Bodenseuchen dar.

Das Gebiet hat eine Gesamtfläche von 142 460 km² (Abb. 2). Dazu gehören 64 081 km² zu Nuevo León (98° 26' bis 101° 13' West; 23° 09' bis 27° 48' Nord) und 78 380 km² zu Tamaulipas (97° 08' bis 100 08' West; 22° 12' bis 27° 40' Nord). Die Landschaft wird im allgemeinen von drei großen physiographischen Regionen geprägt: der östlichen Sierra Madre (Sierra Madre Oriental), der nordamerikanischen Großebene (Gran Llanura de Norteamérica) und der Küstenebene des nördlichen Golfes (Llanura Costera del Golfo Norte).^{87,87}

Die Sierra Madre Oriental erstreckt sich vom westlichen und mittleren Teil von Nuevo León bis in den Südwesten von Tamaulipas. Langgezogene Gebirgszüge mit steilen Gipfeln und breiten Tälern dominieren das Bild dieser Provinz.



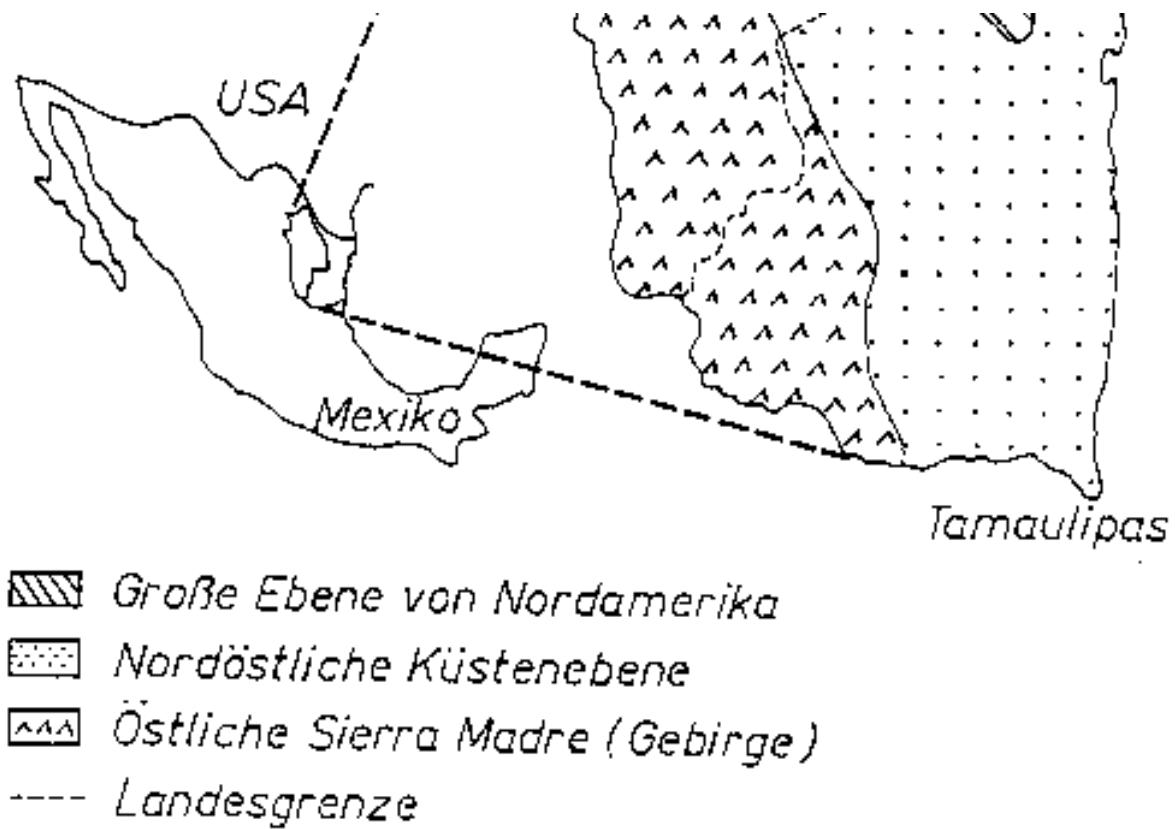


Abbildung 2.1. Nordost-Mexiko: Physiographische Gebiete

Die Gran Llanura de Norteamerica hat ihren Anfang im nördlichen Teil von Nuevo León und weitet sich über die USA bis nach Kanada aus. Als Übergangsgebiet zu den Gebirgszügen ist diese Provinz aus vielen niedrigen Hügelketten zusammengesetzt. Zu dieser Region gehören der Nordosten von Nuevo León und der schmale Landgürtel entlang der Grenze zu Texas im nordwestlichen Tamaulipas. Die Llanura Costera del Golfo Norte umfaßt fast die ganze Fläche von Tamaulipas und bildet außerdem einen schmalen Einzug im mittleren Nuevo León. Das ist ein tiefgelegenes Gebiet, charakterisiert durch alluviale Ebenen.^{86,87}

2.2.1 Klima

Die unterschiedlichen physiographischen Regionen und die Lage zum Golf von Mexiko beeinflussen, je nach vorherrschender Luftströmung, die klimatischen Bedingungen in Nordost-Mexiko. Die Unterschiede reichen von extrem ariden Klimata im Norden und Osten zu feuchtheißen Standorten im Südwesten und zu den gemäßigten, kühlen Lagen der Gebirge. Die Niederschlagsmengen an vielen Standorten der Region werden besonders durch die verschiedenen Gebirgszüge beeinflusst. Sie sind die Ursache für Steigungsregen oder Regenschatten auf ihrer Leeseite. Die Niederschlagsmengen nehmen von der Golfküste in Richtung Westen ab, und steigen am Rande der Gebirge wieder an. Der Effekt dieser natürlichen Barriere auf die Verteilung der Niederschläge kann anhand der Vegetationsformen der Gebirge beobachtet werden. Die Pflanzenbedeckung weist an der zur Küste gerichteten Ostseite der Gebirge ein besseres Wachstum als die zum Festland gerichtete Westseite auf.^{86,87,117,119}

Im Gebiet der Großen Ebene von Nordamerika herrschen vor allem heißtrockene und heiß-halbtrockene Klimata vor, was unter anderem auf die dort dominierenden Trockenwinde zurückzuführen ist. Der Jahrestemperaturdurchschnitt beträgt 21,8 °C und die Niederschlagsmengen im Jahr erreichen 600 mm. Hier fallen die Niederschläge, wie in ganz Nordost-Mexiko, von Mai bis September mit maximalen Werten zu Anfang und Ende dieser Periode.

Im Gebiet der Sierra Madre kommen unterschiedliche Klimata vor. So können extrem trockene, halbtrockene, gemäßigte und halb kalte Klimata beobachtet werden. Die Niederschläge konzentrieren sich auf die östlichen Hänge der Gebirgszüge. Dieser Faktor und die Entfernung zur Golfküste beeinflussen die jährlichen Niederschläge an den verschiedenen Standorten dieser Gebiete. Hier sind Gegenden mit reichlichen Niederschlägen (800-1100 mm/Jahr) und die Teilgebiete mit den geringsten Niederschlägen (200-400 mm/Jahr) anzutreffen.

Die Klimaverhältnisse der Golfküstenebene entsprechen dem Klima des Bundesstaates Tamaulipas. Hier herrschen warmgemäßigte Klimata vor. Vor allem drei Klimatypen sind vorherrschend: Im südöstlichen Tamaulipas vom "San Carlos"-Gebirge bis hin zur Küste dominiert ein mittelfeuchtes warmgemäßigtes Klima, das sich durch feuchtheiße Sommer und mäßig warme Winter auszeichnet. Die Regenzeit beginnt hier schon im April; es werden jährliche Niederschlagsmengen von 1200 mm registriert. Etwa 90 bis 100 km von der Küste entfernt bestimmen Ausläufer der Golfküste die klimatischen Bedingungen, die zwar ähnlich wie die vorher beschriebenen, allerdings etwas trockener sind. Der letzte Typ der warmgemäßigten Klimata ähnelt eher einem halbtrockenen Klima, das jedoch im Vergleich zu den trockenen Klimata der Großen Ebene von Nordamerika eine gleichmäßigere Verteilung der Niederschläge aufweist. Über 18 % der Niederschläge fallen hier als Winterregen, was sich günstig auf die Weidekondition auswirkt. In den Gebieten der Küstenebene besitzt das Klima einen größeren Einfluß auf die Vegetation und die Entwicklung der einzelnen Vegetationstypen als der Boden.^{86,87,184}

2.2.2 Boden

Nach der FAO-Nomenklatur kommen in Nordost-Mexiko hauptsächlich die Bodentypen Castanozem, Xerosol, Vertisol, Regosol und Lithosol vor. Das Gebiet der nordamerikanischen Großebeine ist nach der Bodengestaltung relativ einheitlich. In den Ebenen und auf den niedrigen Hügeln sind die Leitböden tiefgründige, tonhaltige Xerosole (sog. Aridosole), Yermosole und die tonigen Vertisole. Es sind braungelbliche bis rötliche, meist alkalische Böden mit relativ niedrigem Humusgehalt. Weniger entwickelte Lithosole und Rendzine sind an steilen Hügeln vertreten, wohingegen in den Tälern dunkle, tiefgründige Vertisole vorkommen. 112,181

Im Gebiet der Sierra Madre Oriental kommen im allgemeinen Lithosole, Rendzine und Mischformen dieser Bodentypen mit kalkhaltigen Regosolen, Phaeozems, Luvisolen und Xerosolen vor. Dabei handelt es sich um wenig entwickelte Rohböden mit A-C-Profil. Das A-Profil hat bei Lithosolen eine Tiefe von nicht mehr als 10 cm und bei Rendzinen beträgt sie höchstens 25 cm. In den Tälern der Sierra sind u.a. Phaeozem, Castanozem und Vertisole anzutreffen. Das Auftreten von Salzböden (Solonchanks) ist in diesem Gebiet und in der Großen Ebene von Nordamerika charakteristisch für einige Standorte. Auf ihnen gedeiht eine Salzpflanzenvegetation (Halophyten).

Im Gebiet der Küstenebene befinden sich die für die Landwirtschaft wichtigsten Böden. Es sind vor allem tonhaltige dunkle Vertisole, die die charakteristischen tiefgründigen alluvialen Böden des Gebietes gestalten. Die Vertisole entstehen aus tonhaltigen, hauptsächlich aus Calciumcarbonat zusammengesetzten Sedimenten. In der Trockenzeit bilden sich auf diesen Böden tiefe Schrumpfrisse. Neben den Vertisolen findet man einige Standorte mit Lithosolen, Rendzinen, Regosolen und Xerosolen.87,181

2.2.3 Vegetation

Neben den Auswirkungen des Klimas und der Bodenbeschaffenheit beeinflussen der Mensch und seine Haustiere die Zusammensetzung der Pflanzengesellschaften in Nordost-Mexiko in einem so beträchtlichen Ausmaß, daß an vielen Standorten eher die Verhältnisse eines anthropogenen Subklimax als die eines klimatischen bzw. edaphischen Vegetationsklimax vorzufinden sind.118,181

Die Gebüschvegetation (Matorral) bedeckt fast das gesamte Gebiet der Großen Ebene von Nordamerika. Mehr als 20 Subtypen von Matorral werden dort beschrieben. Die wichtigsten Sträucherarten, die auf dem Gebiet vorkommen, sind *Acacia rigidula*, *Acacia berlandieri*, *Zanthoxylum fagara*, *Celtis pallida*, *Cercidium floridum*, *Castela texana*, *Diospyros palmeri*, *Condalia spp.* und *Condalia hookeri*. Die wichtigsten Gräser sind *Hilaria mutica*, *Leptoloma cognatum*, *Bouteloua filiformis* und *Bouteloua trifida*. Außerdem findet man Mezquिताles (*Prosopis spp.*-Wälder), die neben den überall vertretenen Matorralen große Flecken bilden.

Die Vegetation in der östlichen Sierra Madre ist sehr unterschiedlich. Von den Grassteppen der Täler bis zu den Kiefernwäldern auf den obersten Hängen sind hier alle möglichen Vegetationstypen vertreten, die vor allem vom Klima bestimmt werden. In den Höhen, in denen die Durchschnittstemperaturen zwischen 10 und 18° C liegen, kommen hauptsächlich Kiefernwald, Eichenwald, Kiefern-Eichen-Wald und Juniperuswald vor. Weiterhin sind diese Wälder mit Strauchvegetation, Chaparrales (Eichengebüsch), Matorral rosetófilo (rosettenförmige Pflanzenarten) sowie Grassteppen vergesellschaftet. 145

In den Ebenen im Gebiet der nördlichen Golfküste spielt der Ackerbau eine wesentliche Rolle. Hier findet man große Plantagen von Mais, Hirse und Bohnen, sowie großangelegte Weiden aus Guineagrass (*Panicum maximum*), Büffelgras (*Cenchrus ciliaris*), Pangolagrass (*Digitaria decumbens*), Rhodesgras (*Chloris gayana*) und Bermudagrass (*Cynodon dactylon*). In der Umgebung der Gebirgszüge von Tamaulipas gibt es laubwerfenden Wald und die Täler und unteren Berghänge (von 200 bis 800m Höhe) sind mit Matorral bedeckt. Höhere Regionen (700 bis 1000m) sind mit Eichenarten bewaldet. 87,184

2.2.4 Sozioökonomische Strukturen

Beim Vergleich der beiden Nordoststaaten Nuevo León und Tamaulipas mit der mexikanischen Republik stellte BURKARD fest, daß in beiden Staaten, insbesondere aber in Nuevo León, die Modernisierungsprozesse früher einsetzten als im übrigen Land. Dennoch ist die sektorale Verteilung der Bevölkerung und Erwerbstätigkeit in beiden Bundesländern unterschiedlich. Aus diesem Grund wird bei der Ausführung der sozioökonomischen Aspekte im Nordosten Mexikos auf Nuevo León und Tamaulipas im einzelnen eingegangen. 33

2.2.4.1 Nuevo León

In Nuevo León findet man das Phänomen der Metropolenbildung. Während die Bevölkerung und die zentralen Dienste sich in der Stadt Monterrey konzentrieren, erleiden die ländlichen Zonen einen immer größeren Verlust ihrer ehemaligen Bedeutung, was diesen Konzentrationsprozeß erneut begünstigt. Zwischen 1940 und 1980 stieg der Anteil des Stadtgebietes von Monterrey von knapp 40 % auf rund 80 % der Bevölkerung des Staates Nuevo León. Schon 1980 lebten von den 2,3 Millionen Einwohnern von Nuevo León fast 90 % in Monterrey. 33,86

Eine Besonderheit des Staates Nuevo León ist die sektorale Verteilung der Erwerbstätigen. Als logische Folge der extrem hohen Urbanisierung und der industriellen Vorausentwicklung haben sich hier die Sektoren in einer Form herausgebildet, wie sie aus den alten Industrieländern bekannt sind. Von der erwerbstätigen Bevölkerung waren 1980 11 % im primären Sektor, also der Landwirtschaft, 43 % im sekundären Sektor oder der Industrie und 46 % im tertiären Sektor, dem sog. Dienstleistungssektor, beschäftigt. Die entsprechenden Anteile der Wirtschaftssektoren am Bruttoinlandsprodukt waren 3,5 % bzw. 45,6 % und 50,9 %.

Der Anteil des primären Sektors liegt dort weit unter seinem Anteil bei der sektoralen Verteilung der Erwerbstätigen. Daraus kann man schließen, daß in der Landwirtschaft in Nuevo León die Unterbeschäftigung noch sehr hoch ist und auch künftig Arbeitsplätze verloren gehen werden.^{33,86,184}

Die Stagnation der Landwirtschaft in Nuevo León wird in erster Linie auf die ungünstigen ökologischen Bedingungen für den Ackerbau zurückgeführt. Nur 650 000 ha können für den Ackerbau genutzt werden, das entspricht 10 % der Fläche des Landes, wovon allerdings die Hälfte kaum ackerbaulich bestellt wird. Der wichtigste Faktor für die begrenzte Nutzung der Ackerflächen ist die Wasserverfügbarkeit; 25 % der angebauten Fläche werden bewässert, 15 % zum Futterbau benutzt.^{10,33}

2.2.4.2 Tamaulipas

In Tamaulipas gibt es eine gleichmäßigere Verteilung seiner knapp zwei Millionen Einwohner als in dem Nachbarstaat Nuevo León. Dennoch sind zwei wichtige Ballungszentren erkennbar. Zum einen die Städte an der Grenze mit 40,8 % der Bevölkerung (für diese Konzentration waren die Einführung der Bewässerung und der Aufbau der Lohnveredlungsindustrie wichtige Gründe) zum anderen gibt es im Süden des Staates eine weitere wichtige Agglomeration um die Hafenstadt Tampico herum, die 22,7 % der Bevölkerung umfaßt.^{33,87}

Zwei weitere kleinere Ballungsgebiete bildeten sich mit der Hauptstadt Ciudad Victoria und Ciudad Mante im Südwesten heraus.

Angesichts der sektoralen Verteilung der Erwerbstätigen fallen im Tamaulipas 25 % Beschäftigten auf den primären Sektor, 28 % auf den sekundären und 47 % auf den tertiären Sektor. Die sektorale Umverteilung der Erwerbstätigen setzte in Tamaulipas später als in Nuevo León ein. Der tertiäre Sektor absorbierte bei der Umverteilung mehr Arbeitskräfte in Tamaulipas als vergleichsweise in Nuevo León. Die Anteile am Bruttoinlandsprodukt sind für die Landwirtschaft 10,2 % für die Industrie 37,9 % und für den Dienstleistungssektor 51,9 %. Dabei gehen in Tamaulipas der Schwund des primären Sektors und die Vorausentwicklung des tertiären Sektors der Entwicklung des sekundären Sektors voraus.^{33,87}

Eine entscheidende Bedeutung für die landwirtschaftliche Entwicklung in Tamaulipas hatte der Aufbau eines agroindustriellen Komplexes an der Grenzzone. Mit dem Vertrag über die Verteilung des Wassers des Rio Bravo, Colorado und Tijuana vom 3. Februar 1944 wurde festgelegt, daß die beiden Nachbarländer Mexiko und USA zu etwa gleichen Teilen das Wasser der Grenzflüsse nutzen können.⁸⁷

Im gleichen Vertrag wurden auch Vereinbarungen über die gemeinsame Einrichtung von drei Staubecken und von sieben Kraftwerken getroffen. Von den drei Bauvorhaben wurden der Stausee "Amistad" (bei Acuña/Coahuila) und der Stausee "Falcon" (im Munizip Guerrero/Tamaulipas gehörend) im Nordosten Mexikos realisiert.

Zusammen mit dem Stausee "Marte R. Gómez" (1943 im Munizip M.Alemán/Tamaulipas gebaut) bilden diese Speicherbecken eine der Grundlagen der agroindustriellen Produktion der Grenzzone des Staates Tamaulipas. Von der rund 3,1 Millionen Hektar künstlich bewässerten landwirtschaftlichen Nutzfläche Mexikos im Jahr 1982 entfielen auf den Staat Tamaulipas rund 345 000 Hektar.

Nach der durch Seuchen bedingten Erntekatastrophe des Jahres 1962 wurde in der Region keine Baumwolle mehr angebaut. Davon profitierte der Anbau von Mais, Hirse und Bohnen. Diese drei Feldfrüchte werden auf 98,2 % der bewässerten Anbaufläche der Grenzzone (1980) angepflanzt.^{33,109,150}

2.2.5 Tierproduktion

Die Nutzung der natürlichen Vegetation hat einen wesentlichen Einfluß auf die Verteilung der Tierbestände im Gebiet von Nordost-Mexiko, was sich auf die Zahl der Bestände der einzelnen Staaten auswirkt (Tab. 2.1). Die Tierproduktion ist, wie in ganz Mexiko, zweigeteilt. Auf der einen Seite gibt es eine kommerzielle Produktion mit hohem Kapitaleinsatz und wird vor allem in Privatbesitz und mit Spezies wie Rindern, Schweinen und Geflügel betrieben. Auf der anderen Seite steht die Subsistenzwirtschaft, die hauptsächlich die Ziegenhaltung auf den Ejidos insbesondere des Staates Nuevo León beeinflusst.¹⁸¹

Tabelle 2.1. Vergleich der wichtigsten Nutztierbestände in Mexiko und im Nordosten des Landes (Nuevo León und Tamaulipas; Stand 1985^{86,87})

TIERART	MEXIKO (1000 St.)	Nuevo León (1 000 St.)	Tamaulipas (1 000 St.)
Rinder	37 523	648	1 175
Ziegen	9 809	991	222
Schafe	6 270	82	105
Schweine	19 364	187	198

Geflügel	150 580	14 027	4 800
Bienenstöcke	2 758	22	55

Die extensive Rinderhaltung wird nahezu auf dem gesamten Staatsgebiet von Nuevo León und im nördlichen Tamaulipas betrieben, also im Gebiet der Nordamerikanischen Großebene, in dem aride und semiaride Bedingungen dominieren. Für die Erhaltung der Tiere werden je nach Vegetationstyp und Kondition der Weideflächen 5 bis 50 ha pro Großtiereinheit benötigt. Dabei schwanken die Betriebsgrößen von 600 bis 50 000 ha. Das Interesse der Besitzer an den Betrieben ist häufig gering, da sie diese als Nebenerwerbsquelle betrachten. In der Regel wird die Arbeit von Landarbeitern unter der Aufsicht eines Verwalters erledigt. Die Produktion richtet sich auf die Aufzucht von Kälbern, die entweder in den südlichen Mastbetrieben oder in den USA ihren Absatzmarkt finden.^{86,87,184}

Als Faktor, der die Produktivität in diesem Gebiet beeinträchtigt, kann ein großer Nachholbedarf an Kenntnissen über die Weidewirtschaft seitens der Tierbesitzer angesehen werden, was zur Überweidung und Bodenerosion sowie zum Auftreten von unerwünschten Pflanzen, insbesondere Giftpflanzen, führt.¹⁸¹

Die Haltung von Schafen und Ziegen hat auf diesem Gebiet große Bedeutung, denn diese Tiere haben einen geringeren Anspruch an Wasser und können die vorhandene Gebüschvegetation besser verwerten als Rinder. Für kleine Ziegen besteht ein Absatzmarkt in Monterrey, der Hauptstadt von Nuevo León. Außerdem ist aus Tab. 2.1 ersichtlich, daß die Geflügelproduktion (Fleisch und Eier) in Nuevo León eine wichtige wirtschaftliche Rolle spielt.^{109,135}

Auf dem Gebiet der Küstenebene des Golfes (d.h. der mittleren und südlichen Regionen von Tamaulipas) wird eine extensive Mast von Rindern betrieben. Die ökologischen Voraussetzungen geben allerdings den Anschein eines höheren Intensivierungsgrades als im Norden der Region. Die Besatzdichte erreicht in diesem Gebiet 0,5 bis 2 ha je Großvieheinheit.^{109,184}

Das Gros der Betriebe in diesem Gebiet befindet sich in Privatbesitz, daher sind Angaben über die Betriebsgröße kaum vorhanden. Neben anderen Agrarprodukten wie Cerealien, Zitrus und Zuckerrohr trägt die Rindfleischproduktion der Küstengebiete von Tamaulipas z.B mit ca. 45000 t (5,4 % der Produktion des Landes Stand 1986) in nicht unbedeutendem Maße zur Deckung des Rindfleischbedarfes in Mexiko bei. Der Großteil (mehr als 50 %) des Viehs findet innerhalb des Staates sein Absatzgebiet, ca. 36 % sind für den nationalen Konsum bestimmt und 9 % werden als Exportprodukt in die USA ausgeführt.^{87,184}

2.2.5.1 Hygienesituation

Der Versuch einer objektiven Beschreibung der hygienischen Situation in Nordost-Mexiko scheitert wie im ganzen Land am Mangel an zuverlässigen Angaben und epidemiologischen Untersuchungen. Vor allem fehlt es an geeigneten Diagnosemöglichkeiten bei den praktizierenden Tierärzten sowie an angemessener Ausstattung im dünnen Netz von staatlichen Diagnoselabors. Außerdem erschweren die schlechte Bezahlung und Transportprobleme die Feldarbeit von Technikern und Tierärzten der verschiedenen Institutionen.^{10,43}

TECLAW et al. wiesen durch seroepidemiologische Arbeiten in dem Gebiet eine hohe Herdenprävalenz für Anaplasiose, Babesiose, Blauzunge und Brucellose nach.^{176,177,178,179,180}

Anhand von Befragungen wurde festgestellt, daß Farmbesitzer oder Verwalter mit viel Vorsicht und Skepsis auf Fragen über den Hygienezustand ihrer Betriebe reagieren.^{10,43,184} Im allgemeinen wird über das Auftreten von Milzbrand, Rauschbrand und Pararauschbrand sowie hämorrhagische Septikämie berichtet. Prophylaktische Maßnahmen beschränken sich in den meisten Betrieben auf Zeckenbäder und Impfungen gegen Bodenseuchen und Pasteurellose mit sog. trivalenten Vakzinen.^{149,184}

2.2.5.2 Bedeutung der clostridialen Erkrankungen in Nordost-Mexiko

Die Bedeutung, die clostridialen Erkrankungen im Nordosten Mexikos beigemessen wird, wird aus der Tatsache ersichtlich, daß in fast allen Betrieben unter Anwendung von polyvalenten Impfstoffen die Tiere meist halbjährlich vakziniert werden. Die Impfstoffe enthalten attenuierte Stämme von *Clostridium chauvoei* und *Clostridium septicum*. Das widerspricht den offiziellen Behauptungen, daß die Clostridiosen für Nuevo León und Tamaulipas nicht von Bedeutung seien.^{10,149}

Die mangelhafte Ausrüstung der institutionellen Laboratorien für die Diagnose von Clostridiosen und insbesondere bei der Isolierung und Aufzucht von anaeroben Bakterien bereitet zusätzliche Schwierigkeiten zur Beschreibung der Verteilung verschiedener Erreger und Vorkommen von Feldstämmen. Eine Diagnose wird dann nur aufgrund der Symptomatologie erstellt, deren Genauigkeit sich auf den Wissensstand der Farmverwalter gründet, denn der Kontakt zu einem Tierarzt ist in den meisten Betrieben äußerst selten. Clostridiale Erkrankungen haben außerdem die Besonderheiten, daß sie nur sporadisch mit hohen Verlusten auftreten, und daß sie einen raschen Verlauf besitzen. Die Tiere werden in der Regel tot auf dem Feld aufgefunden. In vielen Betrieben werden diese Verluste als normal in Kauf genommen.^{10,43,149,184}

2.3 Die Gattung *Clostridium*

Die Gattung *Clostridium* (Prazmowski 1880) gehört zur Familie der Bacillaceae. Sie umfaßt gram-positive, in älteren Kulturen auch gram-labile bis -negative, meist aufgrund einer peritrichen Begeißelung bewegliche Stäbchen. Sie bilden runde bis ovale Sporen, die die vegetative Form bei den meisten Arten auftreiben. Clostridien führen keine dissimilatorische Sulfatreduktion durch. Aufgrund ihrer Substratvergärung unterscheidet man zwei Hauptgruppen von Clostridia, die saccharolytischen und die proteolytischen, wobei eine Spezies zu einer, zu beiden oder zu keiner von diesen Gruppen gehören kann. *Clostridium acid-urici* bildet eine dritte Gruppe, nämlich die der Harnsäure zersetzenden Clostridien.^{5,18,48,153}

Die Clostridien sind weltweit verbreitet und können unter verschiedenen Umweltbedingungen existieren.^{93,130,133,140,165,188} In der Regel sind sie Besiedler von Erdböden, der Bodenschichten von Gewässern und der Darms von Mensch und Tier.^{83,95,103,115,138,185} Bisher sind mehr als 300 Arten beschrieben worden. 83 Arten sind in das "Bergey's Manual of Determinative Bacteriology" offiziell aufgenommen worden.⁴⁰

Aus taxonomischer Sicht bilden die Clostridien keine natürliche Gruppe. Ihre Vielfalt wird bei der Betrachtung der Anteile von G + C, die bei der Gattung zwischen 22 mol % und 55 mol % liegen offensichtlich. Viele Spezies bilden eine Gruppe um 28 mol %. Andere bilden kleine Gruppierungen um 35, 45, und 52 mol %.¹⁸⁹ Bezüglich ihrer Zellwanddicke lassen sich zwei Gruppen erkennen.⁹⁸

Die Variabilität macht sich auch in der vielseitigen Verwendung der Clostridien bemerkbar; z.B. bei der Nutzung ihres Gärungs- und Abbauvermögens verschiedener Substrate und ihrer Fähigkeit zu Enzymsynthesen in verschiedenen Bereichen der Biotechnologie, der Industrie und der Umweltforschung. Sie besitzen darüber hinaus, aufgrund ihrer Toxinbildung, Bedeutung in der Human- und Veterinärmedizin, ursprünglich als Krankheitserreger und in letzter Zeit als therapeutische Mittel.^{124,141,147,164}

Die Bedeutung der Gattung *Clostridium* in der Tierhygiene beruht auf der Tatsache, daß sie zusammen mit der Gattung *Bacillus* den großen epizootiologischen Komplex der Bodenseuchen bilden. In der Humanmedizin gewinnen die Clostridiosen immer dann an Bedeutung, wenn sich die hygienischen Bedingungen mit einem Zusammenbruch der sozialen Strukturen durch Kriege oder Katastrophen verschlechtern. Unter normalen Bedingungen beschränkt sich ihr Auftreten beim Menschen auf sporadische Fälle von Tetanus, Botulismus, Gasödem, Enteritis und milden alimentären Vergiftungen.^{75,80,105,160,172,190}

2.3.1. Für Nutztiere pathogene Clostridien

Die klassische Einteilung in "pathogene" und "apathogene" Clostridien in der modernen Tiermedizin ist immer weniger aufrechtzuerhalten. Moderne Diagnose- und Untersuchungsmethoden zeigen verschiedene

Wege der Toxinbildung und die Beteiligung der Clostridien an krankmachenden Prozessen sowohl in der Humanmedizin als auch in der Tierhaltung. Einen wesentlichen Einfluß auf die Entfaltung der pathogenen Wirkung der Clostridien haben spezifische Umweltbedingungen.^{53,77,111,124} Andererseits werden auch als pathogen eingestufte Clostridien von gesunden Tieren isoliert.¹⁸⁷

Tabelle 2.2 zeigt die nach FREER⁶³ von Clostridien gebildeten wichtigsten Toxine. Sie sind die wirkenden Ursachen der Seuchengeschehen bei Clostridiosen; nach der Form ihrer Aufnahme können

Intoxikationen, bei denen die orale Aufnahme der außerhalb des Wirtes gebildeten Toxinen erfolgt,

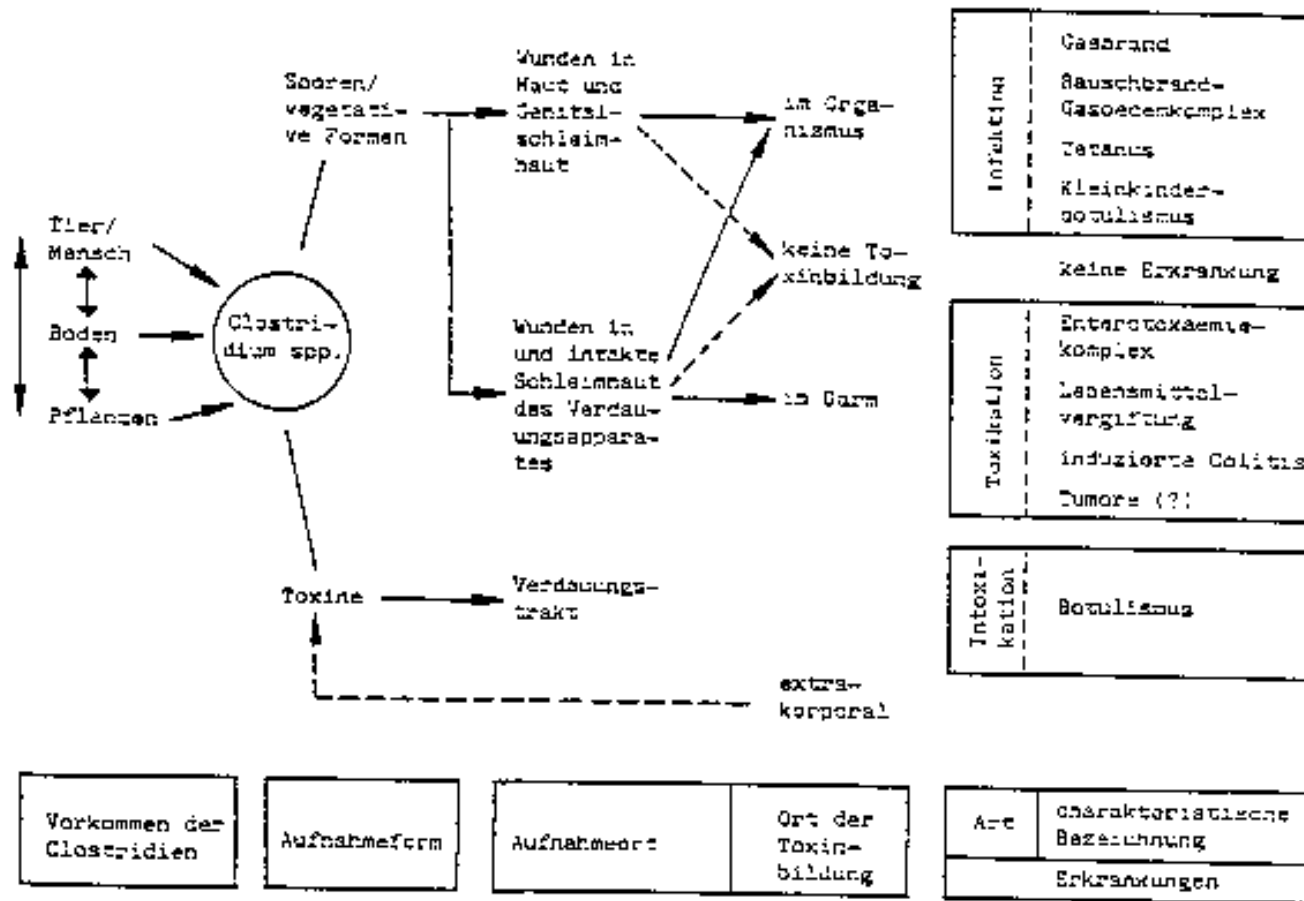
Toxikationen; bei denen ausschließlich eine Resorption der in Intestinaltrakt des Wirtes gebildeten Toxinen stattfindet, und

Infektionen; bei denen die Erreger nach der Ansiedlung im Wirtsorganismus Toxine ausscheiden, entstehen (siehe Abb.2.2).^{23,25}

Tabelle 2.2. Wichtigste Toxine der Clostridia (Freer 1988)

Stamm	Toxin
<i>C. botulinum</i>	Neurotoxine A, B, C1, D, E, F, C2 Toxin (C2I und C2II), Botulinolysin
<i>C. difficile</i>	Toxin A, Toxin B
<i>C. perfringens</i>	β -Toxin, δ -Toxin, ϵ -Toxin, θ -Toxin (Perfringolysin), ι -toxin Komponenten A und B, Enterotoxin
<i>C. sordellii</i>	Lethal-Toxin, hämorrhagisches Toxin
<i>C. tetani</i>	Tetanus Neurotoxin (Tetanospasmin), Tetanolysin
<i>C. septicum</i>	α -Toxin, ähnlich wie die von <i>C. histolyticum</i> und <i>C. chauvoei</i> , Septicolysin
<i>C. chauvoei</i>	α -Toxin, SH-aktivierte δ -Toxin, Chauveolysin

C. novyi

 α -Toxin (Edem Toxin); SH-aktivierte δ -Toxin (Edematolysin), ϵ -ToxinAbbildung 2.2. Darstellung der Toxine im Rahmen des Krankheitsgeschehens der Clostridiosen²⁵

Eine vollständige Auflistung der heute als Krankheitserreger für die Nutztierhaltung bedeutsamen Clostridien ist mit den zunehmenden Möglichkeiten der Diagnose und der damit verbundenen Isolierung pathogener Feldstämme nur schwer zu vollbringen. Aufgrund dessen werden im folgenden Abschnitt unter bewußtem Verzicht auf Vollständigkeit nur die in der klassischen Literatur beschriebenen für Nutztiere pathogenen Spezies dargelegt.

2.3.1.1 *Clostridium botulinum*

Die Erreger des Botulismus bei Mensch und Tier, *C. botulinum*, sind strenge Anaerobier. Sie sind 0,9-1,2 x 4-6 µm große Stäbchen mit peritricher Begeißelung und terminaler, selten subterminaler Sporenbildung. Die runden bis wurzelförmigen Kolonien bilden auf Blutagar eine β-Hämolyse. Auch andere Eigenschaften wie Oberfläche und Färbung der Kolonien werden unterschiedlich beschrieben.⁴⁰ Die Spezies umfaßt sieben serologische Typen mit der Kennzeichnung von A bis G, wobei Typ C in zwei weitere Subtypen geteilt wird. *Clostridium botulinum* G wurde zusammen mit *C. hastiforme* und *C. subterminale Clostridium argentinense* zugeordnet.²⁷

Die Unterscheidung in Toxintypen korreliert nicht mit einer phänotypischen Differenzierung der Spezies. Einige *C. botulinum*-Stämme erzeugen Kombinationen von Toxin A und B, A und F, oder B und F. Außerdem wurde die Produktion von Botulinum-Neurotoxinen in nicht verwandten Spezies wie *C. butyricum* und *C. baratii* nachgewiesen.¹²⁵

Eine weitere Unterteilung in Stoffwechselgruppen, die Ähnlichkeiten untereinander und mit anderen Spezies aufweisen, wird folgendermaßen aufgestellt: 1) Stämme des Typs A, proteolytische Stämme der Typen B und F und *C. sporogenes*. 2) Stämme des Typs E und saccharolytische Stämme des Typs B und F, 3) Stämme des Typs C und D und *C. novyi* Typ A.^{18,27,40}

2.3.1.2 *Clostridium chauvoei*

C. chauvoei wurde zuerst als Erreger des Gasödems (auch Rauschbrand der Rinder und Schafe genannt) erkannt. Eine Besonderheit dieser Spezies ist, daß sie noch nicht aus Gasödeminfektionen beim Menschen isoliert worden ist. Kulturen von *C. chauvoei* bestehen aus pleomorphen, peritrich begeißelten, 0,5-1,7 x 1,6-9,7 µm großen Stäbchen. Bei der Gram Färbung können sie positiv oder labil, in alten Kulturen sogar gramnegativ erscheinen. Kolonien auf Blutagar sind rund, in der Regel geschlossen und 0,5-3 mm groß. Sie bilden außerdem eine β-Hämolyse. Die Oberfläche ist konvex und glatt bis rau.¹⁶⁰

Weitere Charakterisierungen der Toxine von *C. chauvoei* ergeben sich durch das Vorhandensein mehrerer Enzyme mit toxischer Wirkung, nämlich ein β -Toxin, ein γ -Toxin und der Ödemfaktor sowie ein hitzelabiles und ein hitzestabiles schützendes Antigen (Vgl. Tab. 2.2).^{23,25}

Es besteht eine phänotypische Ähnlichkeit zwischen *C. chauvoei* und *C. septicum*. Für die Differenzierung dieser beiden Spezies werden weitere Untersuchungen, wie die Anwendung von Immunfluoreszenz oder Koagglutinationstechniken benötigt.^{40,50,113,160}

Eine weitere phänotypische Verwandtschaft besteht zwischen *C. chauvoei* und einem von SEIFERT aus Rauschbrandfällen in den Hochtälern der peruanischen Anden isolierten Stamm *C. chicamensis*. Durch gaschromatographische Untersuchungen wurde seine Eigenständigkeit bewiesen.¹⁶³

2.3.1.3 *Clostridium difficile*

Seine Bedeutung als Erreger ist nicht eindeutig, dennoch wurde er aus Enterotoxämien bei Menschen, Labortieren und aus Fällen von Schweinedysenterie isoliert. Prädisponierender Faktor für eine Toxikation durch *Clostridium difficile* ist die orale Verabreichung von Antibiotika. Die Bakterien sind grampositive 0,5-1,9 x 3,0-16,9 μm große Stäbchen mit subterminalen Sporen. Wachstum und Versporung von *C. difficile* benötigen anspruchsvolle Bedingungen. Gelingt das Wachstum, bilden sich auf Blutagar nach 48 h 2-5 mm runde, gelegentlich wurzelförmige Kolonien. Sie können flach oder leicht konvex sein und haben eine grau-milchige Farbe. Ihre toxische Wirkung wird durch die Bildung der zwei Toxine A und B bestimmt.^{40,94,111}

2.3.1.4 *Clostridium haemolyticum*.

C. haemolyticum wird heutzutage unter *C. novyi* Typ D eingeordnet. Es ist der Erreger der Bazillären Hämoglobinurie vor allem der Rinder aber auch der Schafe. Die Zellen sind bewegliche, 0,6-1,6 x 1,9-17,3 μm große, einzeln oder in Paaren auftretende Stäbchen, die bei der Gramfärbung, bei älterer Kulturen schnell von positiv zu gram-negativ wechseln. Die Sporen sind oval und treiben den Bazillenleib terminal oder subterminal auf.^{6,18}

Auf Blutagar bildet *C. haemolyticum* 1-3 mm runde matte bis glänzende Kolonien mit leichtgewelltem Rand, umgeben von einer leichten Hämolyse.^{18,40,160}

Das Lethal-Toxin von *C. haemolyticum* ist einer Phospholipase-C ähnlich, wie auch das β -Toxin von *C. novyi*. Außerdem produziert *C. haemolyticum* das β , ε , und ϕ -Toxin von *C. novyi* B, aber nicht das α -

oder nekrotisierende Toxin dieser Spezies.

C. haemolyticum ist von *C. novyi* B phänotypisch nicht zu unterscheiden. Beide können nur aufgrund der spezifischen Antiserenreaktionen mit Sicherheit unterschieden werden.⁴⁰

2.3.1.5. ***Clostridium histolyticum***

C. histolyticum wird aus Gasödemem bei Mensch und Pferd isoliert. Die Bazillen sind gram-positive, peritrich begeißelte bewegliche Stäbchen mit einer Größe von 0,5-0,9 x 9,2-13 µm. Die Sporen sind oval und befinden sich im Bazillenleib zentral oder subterminal. Die Kolonien auf Blutagar sind β-hämolytisch mit einer rauhen bis mosaikartigen Oberfläche und einem runden bis leicht gewellten Rand.⁴⁰

Das wichtigste letale Toxin dieser Spezies ist ein nekrotisierendes α -Toxin, außerdem bildet es vier weitere Toxinen (β - bis ε -Toxine). ^{23,25,40}

2.3.1.6. ***Clostridium novyi***

Als Erreger verschiedener Formen des Gasödems wird *C. novyi* in vier weitere Typen (A-D) unterteilt, wobei der Typ D dem *C. haemolyticum* gleichgestellt wird. Typ A verursacht das Maligne Ödem bei Mensch und Tier, Typ B die nekrotische Hepatitis der Schafe (Black Disease) und Typ C (*C. bubalorum*) ist als Ursache einer Osteomyelitis bei Büffeln in Osasien beschrieben worden.¹⁸

Die Bakterien nehmen, je nach Typ, verschiedene Formen an. In ihrer Größe variieren sie von 0,6-1,4 x 1,6-20,6 µm. Im allgemeinen sind es gram-positive Stäbchen mit zentraler bis subterminaler Sporenbildung. Auch die Kolonien auf Blutagar weisen unterschiedliche Formen auf.^{37,40,160}

C. novyi bildet acht verschiedene Toxine (α bis φ), davon haben die α - und die β -Toxine eine letale und die γ -Toxine eine nekrotisierende Wirkung. Bei den anderen Toxinen handelt es sich um Hämolysine und Lipasen. Die verschiedenen Typen von *C. novyi* zeigen unterschiedliche Toxinmuster. Typ A bildet α , γ , δ und ε -Toxine, Typ B erzeugt α -, β -, ζ -, η - und φ -Toxine und bei Typ C wurde nur das γ -Toxin nachgewiesen.^{23,25}

2.3.1.7 ***Clostridium perfringens***

Die verschiedenen Toxine von *C. perfringens* verursachen ein breites Spektrum von Wirkungen. Es ist das *Clostridium* von dem bis heute die größte Anzahl an Toxinen nachgewiesen wurde. Daher ist dieses

Bakterium Ursache für die drei Bodenseuchenkomplexe bei verschiedenen Tierarten und der wichtigste Erreger von Gasödemen bei Menschen. *C. perfringens* werden als nicht bewegliche, grampositive 0,6-2,4 x 1,3-19,0 µm große Stäbchen beschrieben. Der Sporennachweis ist schwer zu erbringen; sie sind groß, oval, zentral oder subterminal. Die Kolonien auf Blutagar sind rund geschlossen und haben eine erhabene Oberfläche. Sie sind grau bis gelblich grau. Es können unterschiedliche Hämolysen auftreten, die vom verwendeten Blut des Kulturagars und dem *C. perfringens*-Typ abhängen.⁴⁰

C. perfringens wird in fünf verschiedene Typen (A-E) unterteilt. Mindestens 20 Toxine und aggressive Fermente werden von *C. perfringens* gebildet. Davon kann man die toxische Wirkung auf vier Hauptsustanzen reduzieren. Das α-Toxin wird von allen *C. perfringens* Typen erzeugt. Das β-Toxin kommt bei den Typen B und C vor. Das ε-Toxin wird von *C. perfringens* B und D und das ι-Toxin nur von Typ E gebildet.^{18,23,25,40}

2.3.1.8. ***Clostridium septicum***

C. septicum ist vor allem verantwortlich für Gasödem-Infektionen. Außerdem ist es Ursache des sog. Bradsot oder Labmagenpararandbrandes des Schafes und der gangrenösen Dermatitiden bei Geflügel.^{18,37,160}

C. septicum hat eine enge phänotypische Beziehung zu *C. chauvoei* (siehe 2.3.1.2). Die Kolonien können unter Umständen Rasen bilden. Abklatschpräparate von der Leber verendeter Tiere zeigen bei *C. septicum* die Bildung langer Fäden. Dennoch sind diese Merkmale mit einer sehr großen Variation verbunden und können nicht als einzelnes Kriterium für eine Differenzierung herangezogen werden.^{40,172}

2.3.1.9 ***Clostridium sordellii***

Normalerweise wird *C. sordellii* aus der Begleitflora von Gasödeminfektionen und Enterotoxämien bei Menschen, Rindern und Schafen isoliert. Die Zellen sind gram-positive, bewegliche Stäbchen mit einer Größe von 0,5-1,7 x 1,6-20,6 µm. Ihre Sporen sind oval und können in Bazillenleib zentral oder subterminal liegen. Oft werden auch freie Sporen beobachtet. Auf Blutagarplatten bildet *C. sordellii* runde bis irreguläre Kolonien mit verschiedenen Variationen in Randform, Oberfläche und Hämolyse.^{18,40,160}

C. sordellii bildet drei verschiedene Toxine: Phospholipase oder α-Toxin, ein letal und ödematisierendes β-Toxin und das proteolytische γ-Toxin.^{23,25}

Mit *C. sordellii* ist *C. bifermentans* kulturell und biochemisch eng verwandt. Ihre taxonomische Stellung

als eigenständige Spezies ist noch Gegenstand der Diskussion. Aus taxonumerischen Untersuchungen der DNA-Homologie werden sie in einem Spezies gruppiert. Für die Differenzierung von *C. sordellii* werden Merkmale wie seine Pathogenität, die Produktion von Urease, die fehlende Gärung von Mannose und Sorbitol, die Präsenz von Mannose in der Zellwand, die Abwesenheit von Arginin-Deaminase-Aktivität und die Wachstumshemmung mit Mannose betrachtet. Außerdem wird eine Differenzierung aufgrund der gaschromatographischen Analyse von Amininen und die GC-Dampfraumanalyse von flüchtigen Metaboliten vorgeschlagen.^{32,40,104,121}

2.3.1.10 *Clostridium tetani*

Der Erreger des Tetanus ist vor allem pathogen für Mensch und Pferd, Das klinische Bild wurde seit Beginn der medizinischen Dokumentation beschrieben. *C. tetani* spielt eine besondere Rolle in der Haltung von Wiederkäuern in Trockengebieten, wenn hygienische Maßnahmen vernachlässigt werden. Es treten neurotoxämische Infektionen nach Kastrationen bei Rindern und Schafen auf, ebenso wie vaginale Infektionen und Infektionen beim Kupieren der Schwänze von Schafen und bei Nabelschnurinfektionen der Lämmer.^{63,125,160}

C. tetani ist ein grampositives, in 24 h alten Kulturen gram-negatives, meist bewegliches Stäbchen. Die Zellen sind 0,5-1,2 x 2,1-18,1 µm groß, sie sind vereinzelt oder in Paaren angeordnet. Die Sporen sind in der Regel rund und terminal, manchmal können sie auch subterminal sein. Vollentwickelte Sporen erreichen die zweifache Breite des Bazillenleibes und vermitteln damit das klassische Bild eines Trommelschlägers von *C. tetani*. Kolonien auf Blutagar sind rund, farblos bis grau und mit unregelmäßigem Rand. Auf feuchtem Nährboden neigen sie zum rasenförmigen Ausschwärmen. In der Regel tritt eine schmale β-Hämolyse auf.⁴⁰

Das Bild der spastischen Paralyse wird auf die Wirkung des Tetanospasmins zurückgeführt. Im Gegensatz dazu ist die Wirkung des Tetanolysins nicht eindeutig. Es verursachte Membranschädigungen, sowie cardiotoxische und letale Effekte bei Labortieren.^{40,63}

2.4 Clostridiosen als Seuchenkomplexe

Mit der Modernisierung der Diagnoseverfahren und der damit verbundenen Intensivierung epizootologischer Untersuchungen bewährt sich nicht mehr die klassische Assoziation eines Erregers mit einem bestimmten Krankheitsbild. Bei den Clostridiosen zeigt sich eher die Beteiligung einer Spezies an verschiedenen Syndromen und der besonders wichtige Einfluß von Feldstämmen auf das

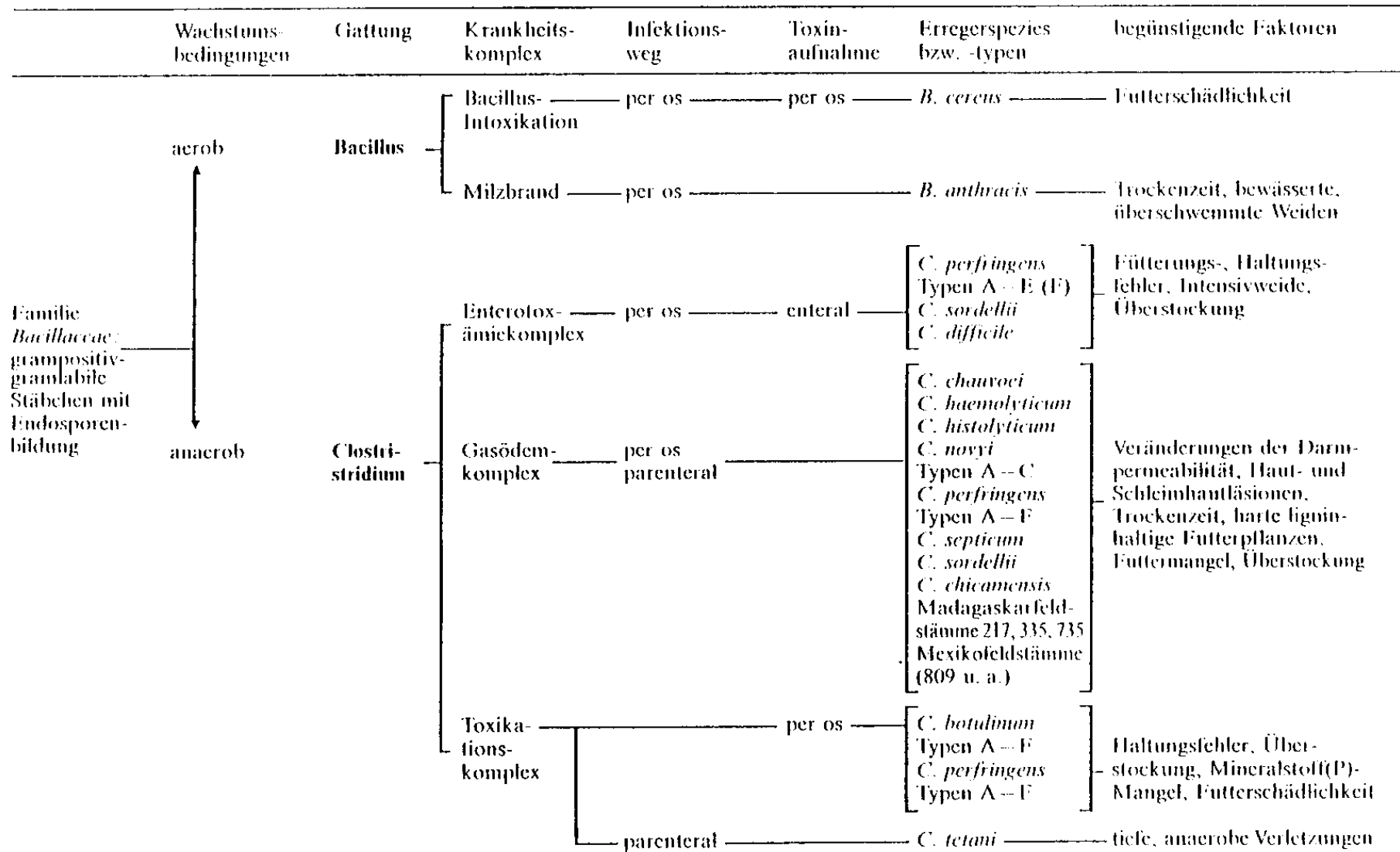
Krankheitsgeschehen. Dadurch wird auch die weltweite Verbreitung der Clostridiosen bestätigt. Angesichts dieser Tatsache schlägt SEIFERT die Einteilung der Clostridiosen in drei verschiedene Komplexe vor (Tab.2.3) nämlich in:

Gasödem-Komplex,

Enterotoxämie-Komplex, und

Toxikations-Komplex .

Diese Einteilung trifft besonders für die Tropen und Subtropen zu.160



2.4.1 Gasödemkomplex

Zum Gasödemkomplex gehören die myonekrotischen Formen Rauschbrand und Malignes Ödem, die unter den Verhältnissen der extensiven Tierhaltung nicht zu trennen sind. Mitunter treten die

lebernekrotischen Erkrankungen Bazilläre Hämoglobinurie und Nekrotische Hepatitis auf, die trotz ihrer spezifischen Krankheitsgeschehen Sonderformen des Gasödems darstellen. Darüber hinaus werden die klassischen Erreger der Bazillären Hämoglobinurie und der Nekrotische Hepatitis auch aus typischen Rauschbrandfällen isoliert.^{6,160} Eine weitere Form ist die meist in Zusammenhang mit einem Geburtsrauschbrand eintretende nekrotische Mastitis.⁶

2.4.1.1 Ätiologie

Die Erreger des Gasödems sind normale Darmbewohner der Haustiere. Neben den anerkannten Stämmen *C. chauvoei* und *C. septicum* besitzen lokalspezifische Stämme wie beispielweise *C. chicamensis* aus Peru und isolierte Stämme aus Madagaskar und Mexiko eine große Bedeutung bei Infektionen von Rindern und Schafen. Andere Erreger des Gasödems sind *C. histolyticum*, *C. sordellii*, *C. novyi* Typ A-C, *C. haemolyticum* und *C. perfringens* Typ A-F. Auch sie gehören zur normalen Darmflora. *C. perfringens* A ist z.B. auch Verursacher der nekrotischen Mastitis bei Rindern.^{19,160,185}

2.4.1.2 Infektionswege

Der orale Weg ist der Haupteintrittsort der Gasödemerreger. Die Clostridien, deren Sporen z.B. durch den Kontakt mit dem Boden bei der Futteraufnahme begünstigt aufgenommen werden können, sind in der Lage die intakte Schleimhaut des Verdauungstraktes zu durchdringen. Ihre Resorption wird aufgrund der Aufnahme trockenen und verholzten Futters in der Trockenzeit durch Erosionen der Schleimhaut positiv beeinflusst. Bei Rindern erkranken vor allem Jungtiere im Alter bis zu drei Jahren. Bei Kälbern kommen auch u. a. durch den Zahnwechsel entstandene Schleimhautläsionen als Eintrittspforte für die Erreger in Frage.^{11,20,135,141,159,150,172}

Nach Injektionen mit kontaminierten Spritzen oder nach Kastrationen sowie nach schweren Geburten, Verletzungen aufgrund von Hundebissen und bei Schafen nach der Schur entstehen Gasödeme aus lokalen Infektionen, wofür vor allem *C. septicum* der verantwortlich ist.^{6,160}

Die Infektionen Black Disease der Schafe (*C. novyi* Typ B) und die Bazilläre Hämoglobinurie werden durch nekrotische Läsionen der Leber ausgelöst, die z.B. durch wandernde Larven von *Fasciola hepatica* und Zestoden des Hundes hervorgerufen werden können. In einem Experiment mit oral verabreichten Sporen haben BAGADI und SEWELL bewiesen, daß die Sporen eher durch das lymphatische System als durch die Pfortader oder die systemischen Blutgefäße die Leber erreichen. Die Leberegel selbst können auch Sporen transportieren.^{13,160}

2.4.1.3 Pathogenese

Die Aktivierungsmechanismen der Sporen sind unbekannt, es gibt allerdings einen Zusammenhang zwischen dem Seuchenausbruch und muskelschädigenden Einflüssen und sauerstoffverbrauchenden Vorgängen, wie beispielsweise lange Märsche zum Wasser und die Futtersuche. Das läßt vermuten, daß ein niedriges Redoxpotential im Muskelgewebe zur Vermehrung und Toxinfreisetzung führt. In Abhängigkeit vom Invasions- und Toxinbildungsvermögen des Erregers breitet sich die Infektion innerhalb weniger Stunden (maximal 1-3 Tage) metastatisch über die gesamte Muskulatur des Wirtstieres aus. Gleiche Bedingungen herrschen in den nekrotischen Leberherden beim Wachstum von *C. novyi*.^{6,19}

2.4.1.4 Symptome

Wenn eine Herde nicht regelmäßig betreut wird, was in den tropischen Ländern bei Extensivhaltung die Regel ist, werden die Tiere ohne jede Krankheitserscheinung tot aufgefunden. Bei kranken Tieren treten an den betroffenen Gliedmaßen Zeichen von Lahmheit und knisternder Anschwellung auf. Betroffen ist der Bereich der Schulter oder der gesamten Hinterextremität. Die Anschwellung ist zuerst warm und schmerzhaft, mit zunehmender Vergrößerung der Gasödeme wird die Haut kalt, unempfindlich und emphysematös. Die Zunge und der Rachenbereich zeigen sich auch geschwollen und die Zunge hängt aus dem Maul. Dabei gibt es Atembeschwerden, Trägheit, Depression und Anorexie. Die Schleimhäute färben sich dunkelviolet. Die Tiere leiden unter starkem Durchfall und einer Temperatur von über 40 °C, im Endstadium sinkt die Temperatur unter den Normalwert und die Tiere verenden unter Krämpfen in der Seitenlage.^{6,160}

Das akute Auftreten der Black Disease (Nekrotische Hepatitis) hat meist einen tödlichen Ausgang, wobei keine Störung des Allgemeinbefindens und kein Fieber auftreten. Postmortal findet man typische, grau-gelbe nekrotische Herde in der Leber, die wegen des venösen Blutandrangs eine dunkelbraune Farbe hat, während die Gallenblase vergrößert ist.^{6,160}

Typisch für die Bacilläre Hämoglobinurie ist ihr perakuter Verlauf und die hohe Mortalitätsrate, die bis zu 95 % beträgt. Die Seuche tritt bei Rindern seltener als bei Schafen auf. Besonders betroffen sind die Länder des amerikanischen Kontinents, wie Mexiko, die USA und Chile. Eine Besonderheit der Krankheit ist die starke Anämie, die vor dem Tod eintritt. Wegen des perakuten Verlaufs und der raschen Verwesung der Kadaver ist die Bazilläre Hämoglobinurie vom Gasödem nicht zu unterscheiden.¹⁶⁰

2.4.1.5 Therapie

Eine therapeutische Wundversorgung wie Inzisionen und die Anwendung von Antiseptika ist

zwecklos. Antibiotikabehandlung ist nur bei frühzeitiger Erkennung aussichtsreich. Falls es gelingt, müssen hohe Dosen (10 mg/kg KG) von Oxitereacyclin verabreicht werden. Tetracycline sind effektiver als Penicilin G, Oleandomycin, Erythromycin und Biomycin. Es ist empfehlenswert, den Rest der Herde mit Tetracyclin (5 mg/kg KG) präventiv zu behandeln.^{50,160}

2.4.1.6 Prophylaxe

Neben der Anwendung von Impfstoffen ist vor allem während der Trockenzeit eine optimale Weidewirtschaft erforderlich. Der Einsatz von Vakzinen erfolgt in der Regel mit den üblichen Kombinationsimpfstoffen, die neben *C. chauvoei* andere Clostridienarten wie *C. septicum*, *C. sordellii* und über diese hinaus Komponenten wie *Pausteurella multocida* und *Bacillus anthracis* und andere mehr enthalten.^{19,160}

Neben den polyvalenten Impfstoffen bestehen Vakzinen aus Zellbestandteilen, Toxoiden und Lebendvakzinen aus attenuierten Stämmen. In der Regel werden diese Impfstoffe aus Stämmen gewonnen, die nicht am Standort isoliert worden sind. Außerdem enthalten vor allem Ganzzellvakzinen Stoffwechsel- und Verunreinigungsprodukte, die in vielen Fällen zu allergischen Reaktionen führen.^{160,174} Selbst durch die Impfung mit kontaminierten Nadeln können lokalspezifische *Clostridium spp.* in die Impflinge eingeführt werden. Dadurch können iatrogene Gasödeme erzeugt werden. In Mexiko wurde über Gasödemfälle berichtet, deren Ausbruch erst nach der Impfung erfolgte.¹¹⁰

2.4.1.7 Das Göttinger Bioreaktor System

Eine standortangepaßte Alternative gegenüber der traditionellen Impfstoffherstellung ist die Herstellung hochgereinigter Impfstoffe aus lokalspezifischen Stämmen in einer kontinuierlichen Kultur mittels der Technologie des Göttinger Bioreaktors. Hierbei kann die ganze Vakzineproduktion in einem Container-Labor stattfinden, was die Produktion von Hochqualitätsprodukten ohne große Geldinvestitionen in spezielle Baumaßnahmen ermöglicht. So hat sich die Anlage in mehreren Entwicklungsländern bei der Produktion von bakteriellen und viralen Impfstoffen bewährt. BÖHNEL (1986)²⁵ gibt eine genaue Beschreibung der Entwicklung und der verwendeten Materialien sowie des Aufbaus und der Funktion eines Göttinger Bioreaktors als auch der Ultrafiltrationsverfahren (Abb.2.3).

Der Einsatz einer Filtrationskaskade und der damit erreichten Aufkonzentrierung des Impfstoffes zusammen mit

der Verwendung von Aluminiumhydroxid als Adjuvanz ermöglicht es, die üblichen Dosierungen von 2,5 bzw. 5 ml auf eine Impfdosis von 0,1 oder 0,5 ml zu reduzieren. Damit kann die Verabreichung der Vakzine mit einem Dermo-Jet-System intradermal an der Schwanzfalte erfolgen und es werden Verluste durch iatrogen hervorgerufene Myonekrosen und allergische Reaktionen vermieden.^{25,158}

BÖHNEL (1986) berichtet über eine Produktion von jährlich 20 Millionen Dosen Impfstoff aus zwei *Clostridium* Feldstämmen, 10 Mio Dosen Milzbrand-, 10 Mio Dosen Pasteurellose- und von 1 Mio Dosen Colibazillose- Impfstoff mithilfe eines Göttinger Bioreaktors in Madagaskar.²⁵

Die Optimierung der kontinuierlichen Kulturbedingungen zur Herstellung von Vakzinen mit dem Göttinger Bioreaktor wurde für *Clostridium chauvoei*,^{143,152} *Clostridium sp.* Feldstamm 809 aus Mexiko,¹⁴⁹ einem Feldstamm aus dem Sudan,⁹ für *Pasteurella multocida* Stämme aus dem Sudan,⁵² *Brucella suis*¹⁷⁰ sowie für *Mycoplasma mycoides* spp. *mycoides*⁷⁶ und für die Anwendung von Zellkulturen für die Herstellung von Impfstoffen gegen Tollwut und Maul- und Klauenseuche^{56,126,183} durchgeführt.

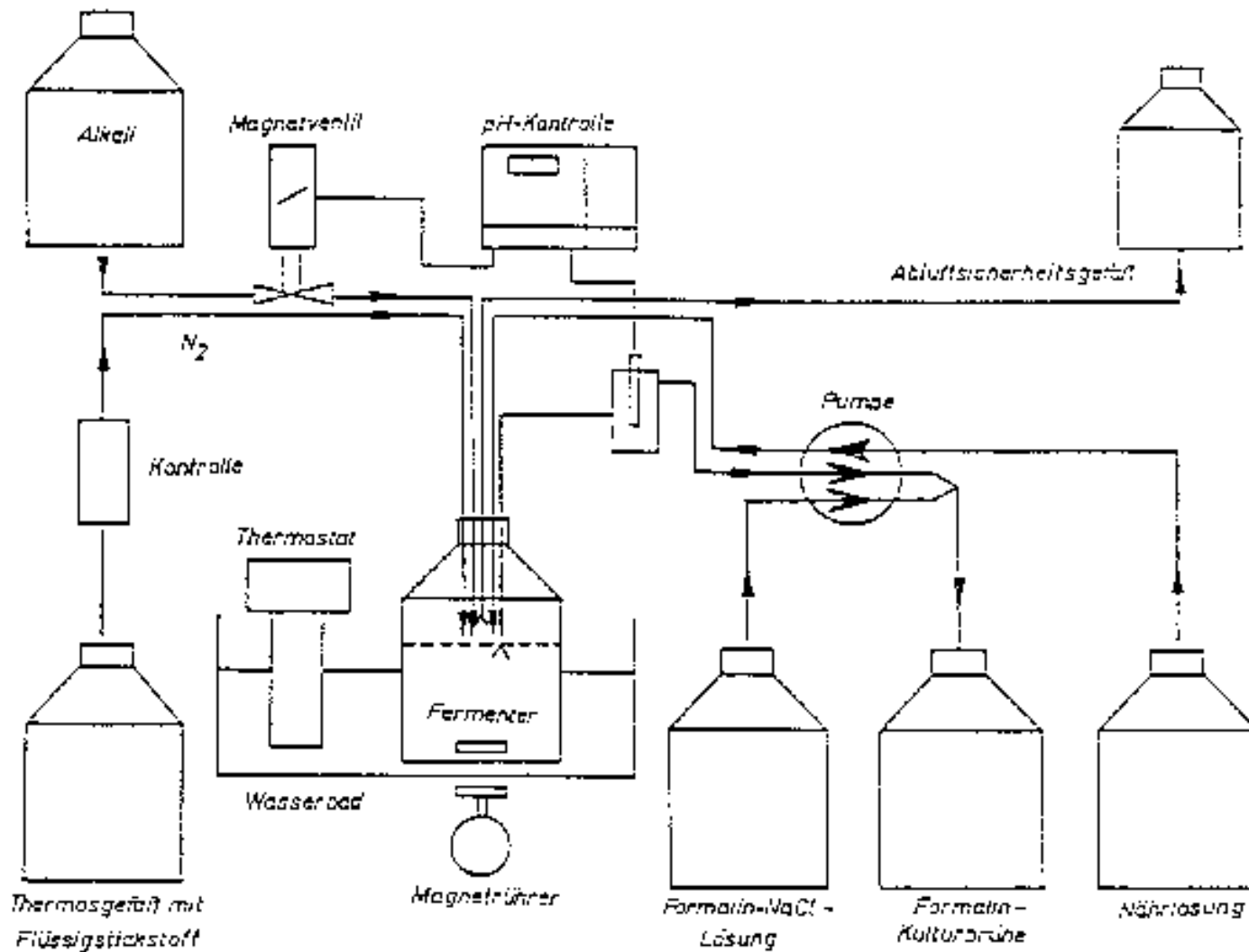


Abbildung 2.3. Schemazeichnung eines Göttinger Bioreaktors für die Herstellung von Clostridium-Toxoid-Vakzine.

2.4.2 Enterotoxämie-Komplex

Die weltweit verbreiteten Enterotoxämien sind typische Folgen eines fehlerhaften Managements und einer falschen Fütterung. Als Toxikationen haben Enterotoxämien, sei es bei Mensch oder Tier, einen gemeinsamen Nenner ihrer Auslösung, nämlich die Gefräßigkeit. Dabei können die Erscheinungsformen von einer leicht "alimentären Vergiftung" bis zu tödlich ausgehenden Enteritiden reichen. Die klassische Zuordnung der verschiedenen Erregertypen zu bestimmten Syndromen, vor allem die Einschränkung auf einzelne Tierarten, findet bei der unzureichenden Diagnose bzw. epizootiologischen Untersuchung in tropischen Ländern keine Bestätigung.^{55,160,172}

2.4.2.1 Ätiologie

Die Bildung von Toxinen durch die Darmkanalbewohner *Clostridium perfringes* sowie *Clostridium sordellii* ist bisher als Ursache der Enterotoxämien angesehen worden. *Clostridium difficile* spielt bei Haustieren eine untergeordnete Rolle als Erreger von Enterocolitis durch die Mitwirkung von Antibiotika und ist vor allem relevant bei Schwein und Hund. In der Humanmedizin dagegen hat *C. difficile* eine große Bedeutung.^{18,89,134,138}

2.4.2.2 Auslösende Faktoren für das Auftreten der Enterotoxämie

Die extremen Schwankungen in der Menge des Futterangebots aufgrund der klimatischen Bedingungen in Ländern der Tropen ist ein wichtiger Faktor für die Entstehung der Enterotoxämie unter extensiven Haltungformen. Hier führt ein plötzlicher Überschuß an C-haltigen Nährstoffen zu einer raschen Vermehrung der Clostridien, die später bei sinkendem Gehalt an Kohlehydraten im Futter gegebenenfalls versporen und in beiden Fällen können Toxine ausgeschieden werden.^{59,172}

Der Ausbruch von Enterotoxämien ist ein Zeichen einer nicht an die Umwelt angepaßten Herdenbetreuung, z.B. in dem Fall, wenn den Tieren zu Anfang der Regenzeit keine faserreiche Beifütterung (trockenes Heu) angeboten wird, damit der Überschuß an nährstoffreichen Sprößlingen der Weiden kompensiert werden kann. Weiter können Enterotoxämieausbrüche begünstigt werden, wenn z.B. durch Weiderotation während der Trockenzeit die Tiere plötzlich auf eine neue, frisch bewässerte Weide geführt werden oder bei unregelmäßiger Zufuhr von Beifutter (Melasse) und bei fehlender Anwendung von Milchaustauschern am Anfang der Mastperiode. Ebenfalls betroffen sind In Feed Lots insbesondere gut ernährte junge Tiere, die vor allem bei der häufigen Überfüllung der Korralle entsprechend ihrer hierarchischen Stellung im Übermaß fressen.^{87,172,160}

2.4.2.3 Symptome und Diagnose der Enterotoxämie

Die Toxine verursachen eine in allen Organen verbreitete Ödembildung. Besonders betroffen ist der Gehirnstamm, weswegen daher im allgemeinen mit einem perakuten Verlauf der Toxikation zu rechnen ist. Meist liegen die Tiere tot auf der Weide, ohne vorher jegliches Symptom gezeigt zu haben. Falls kranke Tiere zu sehen sind, zeigen sie von starken Durchfällen begleitete nervöse Symptome. Diagnostisch gelingt der Nachweis der Toxine nur innerhalb einer Stunde nach dem Exitus. Hierzu werden mindestens 40 ml Darminhalt oder ein zwei bis vier Meter langes Stück Dünndarm sowie je ein Stück Leber und Niere benötigt. Der Darminhalt muß für den Transport eingefroren werden. Ein zellfreies Filtrat oder Zentrifugat des Darminhaltes wird an Mäusen getestet, die bei positivem Ergebnis mit dem charakteristischen Opisthotonus unter Krämpfen verenden. Der Toxintyp kann durch Neutralisationstests ermittelt werden.^{64,160}

2.4.2.4 Therapie

In der Regel ist es zu spät, um eine Therapie einzuleiten. Im Falle der Durchführung soll sie vor allem bei wertvollen Tieren angewendet werden. Dazu gehören hohe Dosen an Tetracyclinen und die Applikation hoher Dosen eines typenspezifischen Hyperimmunserums. Darüberhinaus sollen weitere Verluste innerhalb des Bestandes durch Verabreichung von Tetracyclin an gesunde Tieren vermieden werden.^{64,141,160}

2.4.2.5 Prophylaxe

Zuerst müssen die auslösenden Faktoren der Krankheit berücksichtigt und z.B. durch geeignete Fütterungsmaßnahmen kontrolliert und eliminiert werden. Impfstoffe können eingesetzt werden, wenn der Toxintyp bekannt ist. Die Vakzinierung erfolgt mit homologen Toxoiden am besten mit einer Boosterimpfung vor dem Zeitpunkt der Futterumstellung. Tragende Muttertiere können zwei bis drei Monate vor der Abkalbung vakziniert werden, was den neugeborenen Kälbern über die Kolostralmilch einen Schutz für die Dauer von drei bis fünf Wochen verleiht. Vor allem in Intensivmastbetrieben vermeidet der Einsatz von Antibiotika im Futter eine übermäßige Vermehrung von *Clostridium perfringens*. Ebenfalls kann eine geeignete Salzmischung im Futter sowohl auf die Futteraufnahme als auch auf das Wachstum der Bakterien eine regulierende Wirkung haben.^{64,160,166}

2.4.3 Der Toxikationskomplex

Zu diesem Komplex gehören die durch die Toxine von *Clostridium botulinum* hervorgerufenen Intoxikationen und die parenterale Infektion mit *Clostridium tetani*.

2.4.3.1 Botulismus

Botulismus ist eine letale Intoxikation des Menschen und einiger Tierarten, die in der Tierhaltung hauptsächlich bei Rindern vorkommt. Die Toxinbildung durch *Clostridium botulinum* erfolgt in Tierkadavern und gestorbenem Pflanzenmaterial unter anaeroben Bedingungen. Auch wurde eine Toxinbildung in verendeten Bienen bei Intoxikationen mit Honig nachgewiesen. Beim Botulismus der Säuglinge des Menschen handelt es sich um eine Toxikation, da die Toxinbildung im Darmkanal stattfindet.^{6,123,124,125,160}

2.4.3.1.1 Ätiologie und Verbreitung

Obwohl es sich bei *Clostridium botulinum* um eine Gruppierung von unterschiedlichen serologischen Typen (A-G) handelt, ist die pharmakologische Wirkung der Toxine ähnlich. Die Verbreitung der Botulismus-Intoxikationen ist weltweit, der Nachweis einer Intoxikation durch *C. botulinum* hängt von den Diagnosemöglichkeiten der verschiedenen Länder ab. In Costa Rica wurde *C. botulinum* erstmals 1993 isoliert und in Brasilien war bis vor kurzem nur eine "mysteriöse Krankheit" mit der Bezeichnung "doença da mão dura" (Krankheit der steifen Vorderbeine) bekannt.^{6,15,46,65}

Ein enger Zusammenhang besteht zwischen der Inzidenz von Botulismus und dem Mineralgehalt, vornehmlich des Phosphatgehalts der Böden und der Weiden. Während Botulismus in den ariden und semiariden Gebieten einiger Länder mit phosphorarmen Böden als typische Krankheit gilt, brechen in anderen Gebieten die Intoxikationen massenhaft bei Beginn der Regenzeit in Verbindung mit einem unzureichenden Gehalt an Phosphor bei schnellwüchsigen Gräsern aus. Weitere Phosphormängel der Böden werden durch den Reisanbau und die Brandrodung verursacht.^{46,160} Eine andere Beziehung besteht zwischen der Konzentration der Sporen von *C. botulinum* und der Nähe zu verwesenden Kadavern. ⁴⁴

2.4.3.1.2 Pathogenese

Die Botulinumtoxine sind Neurotoxine. Die Resorption findet im vorderen Teil des Darmkanals statt. Danach erreichen sie vor allem über die lymphatischen Wege die neuronalen Gewebe, in die sie hauptsächlich durch die neuromotorischen Endplatten eindringen. Die klinischen Erscheinungen werden durch die Hemmung der Cholinesterase an den peripheren cholinernen Synapsen hervorgerufen.^{124,125,160}

2.4.3.1.3 Symptome

Die Intoxikationen mit Botulinumtoxin können von perakut (1-2 Tage) bis chronisch (über 18 Tage) verlaufen. Meist zeigt sich ein subakuter (4-8 Tage) Verlauf, wobei hauptsächlich ältere Tiere, gewöhnlich hochträchtige Kühe erkranken. Die betroffenen Tiere trennen sich selbst vom Rest der Herde. Im frühen

Krankheitsstadium wirken die Tiere aufgeregt, später treten Symptome von Gleichgewichts- und Kaustörungen, Speichelfluß und Lähmungen auf. Die Schwere der Symptome nimmt mit fortschreitender Zeit zu, bis die die Tiere Ataxie zeigen. Ihre Zunge hängt aus dem Maul (Zungentest) und sie können nicht mehr aufstehen. Diesen Zustand können die Tiere mehrere Tage überleben. Im Endstadium wird die Atmung schwerer und abdominal als Folge einer Lähmung der Brustmuskeln. Bei einer starken Abmagerung tritt meist der Tod ohne Agonie ein.^{6,46,160}

2.4.3.1.4 Therapie

Eine Therapie ist theoretisch machbar aber, vor allem unter extensiven Bedingungen, praktisch aussichtslos und sehr kostenaufwendig.⁶⁴

2.4.3.1.5 Prophylaxe

Je nach Standort sollen die Haltungs- und Fütterungsmaßnahmen angepaßt werden, dazu gehört eine ausreichende Phosphorversorgung bei Mangelercheinungen sowie die Suche nach Kadavern und deren Beseitigung. In Regionen mit hoher Inzidenz ist die Impfung der Tiere mit einem Toxoid von *C. botulinum* Typ C und D angemessen.^{64,160}

2.4.3.2 Tetanus

Tetanus ist eine hochletale Infektion. Für die Seuche sind die typischen Erscheinungen der Hyperästhesie und Tetanie charakteristisch.⁶

2.4.3.2.1 Ätiologie und Verbreitung

Die Infektion beruht diesmal auf einer einzigen Erregerspezies und zwar dem Typ *Clostridium tetani* (Vgl. 2.3.1.10). Neben Pferd und Mensch gehören auch Rinder und Schafe zu den empfänglichsten Tierarten. Die Spezies ist weltweit verbreitet. Seine Vermehrung erfolgt im Rumen und verursacht manchmal einen endogenen oder idiopathischen Tetanus oder eine subklinische Immunisierung.¹⁷²

2.4.3.2.2 Pathogenese

Nach der Ansiedlung von *C. tetani* in der Wunde nach tiefen Verletzungen findet eine transsynaptische Wanderung innerhalb der peripheren α -Motoneurone in die Interneurone statt. Diese Phase wird von

spezifischen Tetanussymptomen, wie hyperaktiven Reflexen begleitet. Zeigt sich ein generalisierter Tetanus, bedeutet das, daß das Zentralnervensystem erreicht wurde. Das Neurotoxin kann ebenfalls durch die Lymphe oder das Blut das ZNS erreichen. Die Tetanospasmin wirkt durch eine kompetitive Verdrängung des Glycins, das von inhibitorischen Neuronen, den Renshaw-Zellen, gebildet wird. Dadurch kommt es zu einer ständigen Aktivierung der motorischen Neurone und den typisch spastisch-tonischen Dauerkrämpfen.^{6,111,125}

2.4.3.2.3 Symptome

Die ersten Symptome sind ein steifes Gehen bis hin zur Bewegungsverweigerung, dann ein Krampf der Kaumuskeln und bald danach ein Krampf der gesamten Skelettmuskulatur. Auffällig ist der Vorfall des dritten Augenlides beim Pferd. Die Tiere reagieren beim geringsten Reiz überempfindlich und geraten sofort in einen generalisierten Krampfungszustand, später treten die Spasmen spontan ein. Die Tiere nehmen eine sägebockartige Stellung ein. Die Mortalität bei Pferden ist hoch. Bei junge Rindern dauern die Symptome bis zu vier, bei alten Tieren bis zu zehn Tagen. Milde Formen können auch vorkommen, wobei die Spasmen ausbleiben.^{6,64,160}

2.4.3.2.4 Therapie und Prophylaxe

Zur Therapie wird die Applikation von Hyperimmunseren sowie die chirurgische Spülung und eine antibiotische Versorgung der Wunde empfohlen. Die Therapie soll allgemein mit hohen Dosen Tetracyclin sowie der Verabreichung von Tranquilizern und Sedativa unterstützt werden. In gefährdeten Gebieten müssen Verletzungen vermieden werden. Gegebenenfalls muß eine Boosterimpfung mit Tetanus-Toxoid erfolgen, bei Pferden mit jährlicher Wiederholung.¹⁶⁰

2.5 Identifizierung von Clostridien

Ziel der taxonomischen Differenzierung ist der Aufbau einer logischen Kommunikation zwischen den verschiedenen Bereichen der Wissenschaft, die mikrobiologische Informationen benötigen. Bezüglich der Seuchenbekämpfung stellt sie die erste Voraussetzung zur Einleitung therapeutischer und prophylaktischer Maßnahmen dar. Die Anzahl der nützlichen Informationen zur Klassifizierung anaerober Bakterien ist durch die Vielzahl der vorgeschlagenen Verfahren zur genaueren Identifizierung explosionsartig gestiegen.²⁵ Handbücher renommierter Institute, wie dem Center for Disease Control, dem Virginia Polytechnic Institute und dem Wadsworth Anaerobe Laboratory, geben ausführliche Anleitungen zur Identifizierung anaerober Bakterien.^{49,82,175}

2.5.1. Verfahren und Systeme der Identifizierung

Die konventionelle Form der Identifizierung erfolgt durch die Überprüfung der Isolate auf die Bildung von Indol, H₂S, Urease, Gelatinase, die Nitratreduktion, Äsculinhydrolyse, die Koagulation und Peptonisierung von Milch und die Fermentation verschiedener Kohlehydrate in der sog. "Bunten Reihe". Davon werden kommerzielle Testverfahren in vorreduzierten (Pras, Pras-2), miniaturisierten (API 20A, Minitex, Anaerobe Tek) und in miniaturisierten schnellen (RapID ANA, AN Ident, ATB 32 A) Formen angeboten. Biochemische Tests werden auch in Kombination mit Enzymtests (Titertek) verwendet. Die Identifizierung beruht auf der Interpretation verschiedener Farbreaktionen.^{7,73,139}

Antigen-Antikörper Reaktionen werden durch Enzymsysteme (ELISA) sichtbar gebracht. Dadurch können Spezies und Toxintypen bestimmt werden.¹²⁰ Ebenfalls von großem Nutzen bei der Differenzierung von Clostridien sind elektrophoretische^{26,27,39} sowie DNA-DNA- und rRNA-Homologie-Untersuchungen.⁹¹ Diese Verfahren blieben bisher wegen ihres hohen und spezifischen Materialaufwands spezialisierten Institutionen vorbehalten.¹⁵

Gaschromatographische und massenspektrometrische Verfahren gehören zu jeder Charakterisierung der Bakterien. Sie werden, zusammen mit den biochemischen Testverfahren, von den führenden Instituten der Anaerobiediagnostik als die sichersten Methoden der Identifizierung bewertet.^{49,82} Mit ihnen kann eine große Anzahl an Merkmalen des Stoffwechsels und Aufbaus der Bakterien erfaßt werden. Die Gaschromatographie hat den Vorteil der einfachen Bedienung. In einem anderen Abschnitt wird das Verfahren ausführlicher dokumentiert.

2.5.2 Anwendung von numerischer Klassifizierung und EDV in der Bakteriologie

Der Bedarf an zuverlässigen Vergleichsverfahren für eine große Anzahl von Merkmalen und Individuen zusammen mit der einhergehenden Entwicklung der elektronischen Datenverarbeitung gaben Anlaß zur Formulierung von Methoden der numerischen Taxonomie am Ende der fünfziger Jahre. Sie fallen auch unter den Begriff der Taxometrie. Die Grundlagen dafür wurden von SNEATH und SOKAL 1963 in dem Buch "Principles of Numerical Taxonomy" und zehn Jahre später in "Numerical Taxonomy" festgelegt. Letztgenanntes Werk dient nach wie vor als Leitfaden der taxometrischen Verfahren.¹⁶⁸

Die Anwendung der numerischen Identifizierung in der Bakteriologie und der Aufbau einer geeigneten Datenstruktur setzt die Auswahl der Merkmale in einer qualitativen oder einer quantitativen Form voraus. Weitere Voraussetzungen sind die Verwendung von Ähnlichkeits- oder Distanzkoeffizienten,

die zunächst den Vergleich zweier Stämme und später den von Stamm-Gruppen ermöglichen, und die Selektion von Gruppierungs- oder Diskriminierungsverfahren für die Bildung von Taxonen.^{1,146,168,169}

2.5.2.1 Datenstruktur

Qualitative Angaben sind Merkmalsbeschreibungen, die zwei oder mehreren Zuständen zugeordnet werden, die geordnet oder nicht geordnet sein können. Die Beschreibungen werden in der Regel durch Nummern dargestellt. Das hat den Vorteil, daß weniger Speicherplatz benötigt wird und die Eingabe in die EDV einfacher ist.¹

Quantitative Merkmale resultieren aus Messungen verschiedener Parameter der Bakterien mit speziellen Geräten. Einige Beispiele quantitativer Merkmale sind: durch gaschromatographische Trennung erfaßte Alkohole und Fettsäuren aus dem Stoffwechsel von Bakterien oder Fettsäuremethylester der Zellenwände, durch Hochdruck getrennte organische Komponenten, Flüssig-Chromatographie (HPLC) und Massenspektrometrie, Wachstumshemmung oder Förderung durch die Wirkung antimikrobieller und anderer Substanzen, relative Wanderung und Menge an Proteinen in zellfreien Extrakten, erzielt durch elektrophoretische Trennung.^{15,26,72,96,127}

Bei den quantitativen Daten ist es wichtig, die Quelle der Variabilität auf die Natur der Probe zu beschränken. Andere Variabilitätsquellen wie aus den Instrumenten, Reagenzien oder Probenmengen müssen so niedrig wie möglich gehalten werden. Durch Standardisierung und Transformation der Rohdaten werden diese Faktoren kontrolliert.¹⁵

2.5.2.2. Ähnlichkeits- und Distanzberechnung

Nach der Erfassung und Standardisierung bzw. Transformation der Merkmale werden die Übereinstimmungen zwischen Paaren von Proben durch Ähnlichkeits- oder Distanzkoeffizienten kalkuliert. Die Literatur zeigt eine Vielzahl an Koeffizienten. AUSTIN verglich 36 verschiedene in der Mikrobiologie für qualitative Merkmale angewandte Koeffizienten. Neben den am meisten benutzten Koeffizienten "Simple Matching" (SSM) und "Jacard" (SJ) wird die Anwendung elf weiterer Vergleichsformen empfohlen.⁹

Für den Vergleich von quantitativen Variablen bieten sich ebenfalls verschiedene Koeffizienten an. Die Berechnung der euklidischen Distanz im multidimensionalen Raum, die "City-Block"-Messung und die "Mahalanobis" D^2 sind gewöhnliche Formen des Vergleiches. Ein weiteres Verfahren, das eine breite Anwendung findet, ist die Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Pearson.¹⁵ DRUCKER führte einen Vergleich mit sieben verschiedenen Koeffizienten durch, die besten Identifizierungen erreichte er mit

einer Analyse nach Stack.51

Die Entscheidung für einen bestimmten Koeffizienten obliegt subjektiven Beurteilungen.8,15,51

2.5.2.3 Klassifizierung und Anwendungen

Die Darstellung der taxonomischen Struktur der untersuchten Stämme wird aus den Resultaten der Koeffizientenvergleiche gezogen. Für diese Prozedur gibt es auch mehrere Verfahren. Sie können von hierarchischer und nicht hierarchischer Form sein.

Die hierarchischen Analysen schließen die sog. Cluster Verfahren ein. Die am häufigsten verwandten sind die linkage Algorithmen (simple, average, complete), das Zentroid und die gewichteten und nichtgewichteten Paar-Gruppen-Methoden (WPGM, UPGM).169 DRUCKER erprobte auch die Gruppenbildung von verschiedenen Clusterverfahren, wobei das Zentroidverfahren die kompaktesten Gruppen bildete.51

Nicht hierarchische Analysen sind Multivariateverfahren, die Ordinationen in einer multidimensionalen Skalierung erzeugen. Zu diesen Verfahren gehören u.a. die Hauptkomponenten-, die Hauptkoordinaten- und die Hauptfaktorenanalyse. Außerdem existieren Verfahren, die eine bestehende Gruppe voraussetzen wie der Diskriminanz-, die schrittweise Diskriminanz- und die multiple Diskriminanz- (Canonical)analyse.4,15,169

Die Untersuchungen zur Bakteriologischen Klassifizierung erfolgen durch Anwendung der kommerziellen Programmpakete, die bekanntesten davon sind: GENSTAT, ARTHUR, BMDP, CLUSTAN, MASLOC, SAS und BMDP.15

LANGHAM, et al. entwickelten das Programm OUTLIER für die Bestimmung aberranter Stämme in Datenbanken, die die Genauigkeit der Identifizierungsprogramme beeinflussen können.101

Weitere numerische Koeffizienten wurden für die Messung der diskriminatorischen Fähigkeit von Typisierungsmethoden erarbeitet.66,84,85

Mehrere hundert Untersuchungen wurden bisher mit taxometrischen Verfahren in der Mikrobiologie durchgeführt. Besonders interessant sind die Untersuchungen von MACDONELL und COLLWELL bei der Taxonomie gramnegativer Bakterien und PRIEST et al. bei der Klassifizierung den Gattungen Bacillus und Milchsäure- bakterien.108,131,132

NAKAMURA et al. stellten in einer Untersuchung über saccharolytische *Clostridium*-Spezies mittels numerischer Verfahren aus biochemischen und gaschromatographischen Angaben die Differenzierung des *C. perfringens*, *C. absonum* und *C. paraperfringens* unter Beweis.¹²²

2.5.3 Anwendung der Gaschromatographie in der Bakterienidentifizierung

Nach einem Vorschlag von WARSHOWSKY führte ABEL 1962 die erste Untersuchung zur Anwendung der Gaschromatographie bei der Klassifikation von Microorganismen durch. Er trennte die Lipide der Bakterienzellen von je einem Stamm der Spezies *Micrococcus ureae*, *Gaffkya tetragena*, *Escherichia freundii*, *E. coli*, *Aerobacter cloacae*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus vulgaris*, *Serratia marcescens*, *Pasteurella tularensis*, *Bacillus subtilis* var. *niger* und *B. anthracis*. Dabei gelang eine visuelle Differenzierung der untersuchten Proben.²

KANEDA hat in der Zusammensetzung der Fettsäuren mehrerer *Bacillus*-Spezies große Ähnlichkeiten gefunden. Dennoch wies er auf kleine aber "deutliche" Unterschiede zwischen den Profilen von *B. thuringiensis* und *B. anthracis* und deren taxonomische Bedeutung hin.⁹²

Die Fettsäureprofile von *Haemophilus spp.*, *Pasteurella multocida*, *Actinobacillus actinomycetemcomitans* und *Haemophilus vaginalis* wurden von JANTZEN u.a. ermittelt. Dabei zeigte sich eine enge Beziehung zwischen *Haemophilus influenzae* und *Pasteurella multocida*, beide Spezies bilden hohen Mengen an C18-Fettsäuren.⁸⁹

FINOTTI et al. untersuchten die Variation der Fettsäureprofile in Bakterienisolate aus verschiedenen Ökosysteme. Sie fanden wichtige qualitative Abweichungen zwischen *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens* und *Enterobacter cloacae* und geringe Abweichungen innerhalb der Spezies, obwohl sie aus verschiedene Umweltesysteme stammten, heraus.⁶²

JANTZEN et al. betonen auch die Notwendigkeit der Transformation der Rohdaten in Prozente der Peakhöhe um Einflüsse der Unterschiede in der Konzentration der Proben, die Injektionsvolumina und die Empfindlichkeit der Detektoren zu reduzieren.⁹⁰ Diese Prozedur wird in mehreren Untersuchungen als Voraussetzung für den Vergleich der Profile mit numerischen Verfahren angesehen.^{17,22,28,30,35,54,70,173}

Aus der Analyse von sechs *Leptospira*-Stämme wurden gaschromatographisch 24 Fettsäuren ermittelt. Die Berechnung der Korrelation zwischen der untersuchten Proben ergaben stufenweise geringere Werte jeweils auf den Ebene der Serotypen, Spezies und Gattungen.³⁵

BOUSFIELD et al. wendete drei Ähnlichkeitskoeffizienten und eine Clustermethode (average linkage) für die Klassifizierung coryneformer und nocardioformer Bakterien nach ihrer Fettsäurenmuster an. Dabei haben sich heterogene Gruppen gebildet. Identifizierungen auf der Gattungstufe konnten mit Hilfe der morphologischen Information erreicht werden.²⁸

DECALLONE et al. benutzten eine χ^2 -ähnliche Formulierung ($dXR = \frac{\sum(\%X_{ij} - \%R_{ij})^2}{(0,5 \%X_{ij} + 0,5 \%R_{ij})}$) um *Lactobacillus* spp. zu Klassifizieren. Sie fanden sechs Komponenten, die mehr als 90 % der gesamten Fettsäuren der Bakterienzelle ausmachen. Damit wurde auch eine schnellere und vereinfachte Berechnung erzielt.⁴⁵

Klinische Isolate in der Humanmedizin wurden mit dem Microbial Identification System von HEWLET PACKARD basiert auf die Analyse von Fettsäure der Bakterienzelle mit gute Ergebnisse identifiziert.^{17,70,128,173}

Die Hauptkomponentenanalyse wurde für die Bildung von natürlichen Gruppen bei der Gattungen *Bacteroides*, *Prevotella*, *Porphyromonas*, *Wolinella*, *Campylobacter* und vier Gruppen von Streptokokken angewendet.^{30,167} Dafür wurden die Bakterien mit Hilfe der Gaschromatographie und der Massenspektrometrie analysiert.

EEROLA und LEHTONEN haben aus der Fettsäureanalyse von 273 Stämme aus 12 verschiedenen Spazies darunter 19 Stämme von *Clostridium perfringens* und 56 Stämme von *Clostridium difficile* eine enge Beziehung zwischen durchschnittliche Peakhöhe, Peakprävalenz und Variationskoeffizient der Komponenten gefunden. Daraus entwickelten eine Vergleichsfunktion. Dabei unterstreichen der Nachholbedarf an Untersuchungen die die Effizienz verschiedener Identifizierungsmethoden vergleichen können.⁵⁴

Bei einer Klassifizierung der Familien *Enterobacteriaceae* und *Vibrionaceae* haben BØE und GJERDE zugleich die Wirkung transformierten Datenstrukturen auf die Differenzierung durch Korrelationswerten untersucht und erwiesen, daß eine logarithmische Korrelation geringe aber signifikante Unterschiede zwischen Profile besser als Rohdaten aufweisen kann.²²

2.5.3.1 Gaschromatographische Untersuchungen bei ***Clostridium***

Die taxonomische Bedeutung der gaschromatographischen Analyse der Fettsäuren bei *Clostridium* wurden von MOSS et al. festgelegt. Sie konnten aus 41 Stämmen die 13 verschiedenen Spezies zugehörten vier Gruppen durch visuelle Vergleiche unterteilen.¹¹⁶ Die Charakterisierung von Clostridien wurde weiter geführt mit der Bestimmung flüchtiger Fettsäuren, Aminen und Trimethylsilyl-Derivaten. Durch den Vergleich der Profile

der Aminezusammensetzung konnte eine visuelle Trennung zwischen *C. sordellii* und *C. bifermentans* erreicht werden.^{31,32,60,61,106}

LELUAN et al. fanden mittels der Dampfchromatographie der Stoffwechselprodukte von *C. sordellii* und *C. bifermentans* Unterschiede in der Bildung von 2-Methylbutanal und 3-Methylbutanal wenn die Stämme in Medium ohne Glucose gezüchtet wurden.¹⁰⁴

ELLENDER et al. untersuchten fünf tiermedizinisch relevante *C.*-Spezies und konnten dabei *C. chauvoei*, *C. haemolyticum*, *C. novyi*, *C. perfringens* Typ C, und *C. septicum* voneinander ebenfalls durch visuelle Beurteilung trennen, allerdings wurden für die Untersuchungen nur einen Stamm von jeder Spezies genommen.⁵⁷

KITA et al. konnten an Gewebsemulsionen von Leber und Milz an Gasödem erkrankten Versuchs- und Haustieren mit Hilfe der Dampfchromatographie der flüchtigen Fettsäuren die Präsenz von *C. novyi* nachweisen. Weitere Erreger, wie *C. chauvoei*, und *C. septicum* konnten sich durch diese Verfahren nicht spezifizieren lassen.⁹⁷

GHANEM et al. konnten an 285 Stämmen von *C. botulinum*, *C. argentinense* (*C. botulinum* G) und phänotypisch verwandten Organismen mittels der gaschromatographischen Analysen der Fettsäuren der Bakterienzellen sehr hohe Identifizierungsraten (74 - 100 %) auf der Ebene des Serotyps erreichen. Darüberhinaus differenzierten sie *C. botulinum*-Toxin bildende Stämme von *C. baratii* und *C. butyricum* von nicht toxischen Stämmen der gleichen Spezies und von *C. botulinum*.⁶⁷

Ebenfalls gelangt es GUTTERIDGE et al. mit der Gas-Flüssigkeits-Chromatographie *C. botulinum* in ihren unterschiedlichen Typen und verwandte Organismen zu unterscheiden. Sie haben anhand der numerischen Analyse eine "Canonical Variates Analysis" und Stufen Diskriminanzanalyse durchgeführt.⁷²

2.5.3.2 Entwicklung der gaschromatographischen Verfahren am Institut für Pflanzenbau und Tierhygiene in den Tropen und Subtropen, Göttingen

Erste Untersuchungen des Fettsäurenprofils der Stoffwechselprodukte von *Clostridium* Spezies am Göttinger Institut für Tierhygiene in den Tropen wurden von RIEKE (1981) durchgeführt. Die Untersuchungen umfaßten 34 Referenzstämme und neun Feldstämme.^{137,162}

Unter der Anwendung eines speziell entwickelten Befüllsystems wurde ein PERKIN-ELMER-Gaschromatograph umgerüstet. Damit war ein automatisches Analysesystem aufgebaut worden, das über ein Interface einem angeschlossenen Computer COMMODORE CBM 8032 die GC-Daten übermitteln konnte.

Der numerische Vergleich der GC-Profile erfolgte durch die Verwendung der Diskriminanzanalyse. Mit diesem Verfahren wurden 44 Referenz- und 27 Feldstämme analysiert. Dabei wurden aus Peru isolierte Feldstämme einer eigenständigen Gruppe zugeordnet, die nicht den klassischen Stämmen zugehört.^{81,161}

GIERCKE-SYGUSCH erstellte einen Atlas von anaeroben Bakterien mittel bakteriologischer Daten sowie Angaben der gaschromatographischen Profile der Alkohole und flüchtigen Fettsäuren aus den Stoffwechselprodukten der Bakterien. Der enthält u.a. 98 Stämme der Gattung *Clostridium*. Darüber hinaus wurde das Programm "Anaerobic Search" erarbeitet um die untersuchten Stämme unter Verwendung einer "single linkage" Cluster Analyse zu klassifizieren.^{68,163}

HEITEFUSS (1991) führte die Analyse von langkettigen Fettsäuren der Bakterienzelle in ihrer Methylester-Form ein. In die Untersuchungen wurden u.a. 63 Referenzstämme der Gattung *Clostridium* miteinbezogen. Die Übereinstimmungen der chromatographischen Profile zwischen Paaren von Stämmen wurden mit der linearen Korrelation und einem Ähnlichkeitsindex, einer Ableitung des χ^2 -Tests, ermittelt, wie es in der Untersuchungen von DECALLONE beschrieben wurde. Dazu wurde das Programm "BIS" (Bacterial Identification System) entwickelt.⁷⁹