

**ANTHROPOLOGISCHE BEARBEITUNG DER BESTATTUNGEN NAPOLEONISCHER SOLDATEN
AUS FRANKFURT-RÖDELHEIM ZUR REKONSTRUKTION DER LEBENSBEDINGUNGEN
IN DER GRANDE ARMÉE**

Dissertation

zur Erlangung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Doktorgrades

"Doctor rerum naturalium"

der Georg-August-Universität Göttingen

im Promotionsprogramm Biologie

der Georg-August University School of Science (GAUSS)

vorgelegt von

Anna Lena Karolin Flux

aus Northeim

Göttingen, 2023

Betreuungsausschuss:

Prof. Dr. Julia Ostner, Abteilung Verhaltensökologie, Johann-Friedrich-Blumenbach Institut für Zoologie und Anthropologie, Georg-August-Universität Göttingen

Prof. Dr. med. univ. Michael Klintschar, Institut für Rechtsmedizin, Medizinische Hochschule Hannover

Prof. Dr. Andreas Stumpner, Abteilung Zelluläre Neurobiologie, Schwann-Schleiden-Forschungszentrum, Georg-August-Universität Göttingen

Mitglieder der Prüfungskommission:

Referent: Prof. Dr. Julia Ostner, Abteilung Verhaltensökologie, Johann-Friedrich-Blumenbach Institut für Zoologie und Anthropologie, Georg-August-Universität Göttingen

Korreferent: Prof. Dr. med. univ. Michael Klintschar, Institut für Rechtsmedizin, Medizinische Hochschule Hannover

Weitere Mitglieder der Prüfungskommission:

Prof. Dr. Andreas Stumpner, Abteilung Zelluläre Neurobiologie, Schwann-Schleiden-Forschungszentrum, Georg-August-Universität Göttingen

Dr. Susanne Hummel, Abteilung Historische Anthropologie und Humanökologie, Johann-Friedrich-Blumenbach Institut für Zoologie und Anthropologie, Georg-August-Universität Göttingen

Dr. Birgit Großkopf, Abteilung Historische Anthropologie und Humanökologie, Johann-Friedrich-Blumenbach Institut für Zoologie und Anthropologie, Georg-August-Universität Göttingen

PD Dr. Sven Bradler, Abteilung Evolution und Biodiversität der Tiere, Johann-Friedrich-Blumenbach Institut für Zoologie und Anthropologie, Georg-August-Universität Göttingen

Tag der mündlichen Prüfung: 03.05.2023

Diese Arbeit wurde angefertigt in der Abteilung Historische Anthropologie und Humanökologie des Johann-Friedrich-Blumenbach Institutes für Zoologie und Anthropologie der Georg-August-Universität Göttingen.

Die Arbeit wurde aus Mitteln der Abteilung unter der Leitung von Dr. Susanne Hummel und zu Teilen aus Sachmitteln finanziert, welche das Denkmalamt der Stadt Frankfurt am Main als Kooperationspartner für das gemeinsame Forschungsprojekt zur Verfügung gestellt hat (Projektleitung Dr. Andrea Hampel). Die Untersuchung der Y-chromosomalen STRs wurde zu Teilen durch die Firma Qiagen (Ansprechpartner Christian Starke) im Rahmen einer wissenschaftlichen Kooperation ermöglicht.

FÜR MEINEN VATER.

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|--|-----------|
| VORWORT UND STRUKTUR DER ARBEIT | 1 |
| 1 DIE GROßEN SCHLACHTEN NAPOLEONS | 2 |
| 2 GRÜNDE FÜR ERFOLG UND NIEDERGANG DER NAPOLEONISCHEN ARMEE | 20 |
| 2.1 Rekrutierung und Truppenzusammensetzung | 21 |
| 2.2 Truppenbewegung..... | 25 |
| 2.3 Ernährung, Hygiene und Gesundheit..... | 27 |
| 3 ZIELSETZUNGEN DER ARBEIT..... | 33 |
| 3.1 Anthropologische Annäherung an Rekrutierung und Truppenzusammensetzung..... | 34 |
| 3.2 Anthropologische Annäherung an Truppenbewegung | 35 |
| 3.3 Anthropologische Annäherung an Ernährung, Hygiene und Gesundheit | 35 |
| 4 MATERIALBESCHREIBUNG..... | 39 |
| 4.1 Die Skelettserie Rödelheim..... | 39 |
| 4.2 Die Referenzskelettserien..... | 45 |
| 4.2.1 Skelettserie Kassel | 45 |
| 4.2.2 Publierte Referenzserien..... | 45 |
| 4.3 Referenzproben für die molekulargenetischen Untersuchungen | 48 |
| 4.3.1 Menschliche Kontrollproben | 48 |
| 4.3.2 Kontrollproben für Erregernachweise | 48 |
| 5 ANTHROPOLOGISCHE METHODEN..... | 49 |
| 5.1 Überprüfung der Mindestindividuenzahl und Dokumentation der Befunde..... | 50 |
| 5.2 Morphologische Untersuchungen | 52 |
| 5.2.1 Geschlechtsdiagnose | 52 |
| 5.2.2 Sterbealtersdiagnose | 53 |
| 5.2.3 Abweichungen von der Regelanatomie und pathologische Veränderungen | 55 |
| 5.2.3.1 <i>Anzeichen hoher physischer Belastung</i> | 55 |
| 5.2.3.2 <i>Stressmarker aus Kindheit und Jugend (Freikaufen der wohlhabenden Bürger aus dem Militärdienst)</i> | 59 |
| 5.2.3.3 <i>Ernährung, Hygiene und Gesundheit</i> | 60 |
| 5.3 Morphometrische Untersuchungen | 68 |
| 5.3.1 Körperhöschätzung..... | 68 |
| 5.3.2 Erfassung allgemeiner Robustizität | 69 |
| 5.4 Molekulargenetische Untersuchungen | 71 |
| 5.4.1 Kontaminationsprävention und Authentifizierung..... | 71 |
| 5.4.2 DNA-Extraktion | 73 |
| 5.4.2.1 <i>Probenvorbereitung</i> | 74 |
| 5.4.2.2 <i>Automatisierte DNA-Extraktion und Aufreinigung mit dem Extraktionsroboter EZ1 Advanced</i> | 75 |
| 5.4.2.3 <i>Manuelle DNA-Extraktion und Aufreinigung mit MinElute® Zentrifugationssäulchen</i> .. | 75 |
| 5.4.2.4 <i>DNA-Extraktion aus menschlichen Kontrollproben</i> | 77 |
| 5.4.2.5 <i>DNA-Extraktion aus bakteriellen Kontrollproben</i> | 77 |

| | | |
|-----------|---|-------------|
| 5.4.3 | Amplifikation autosomaler und gonosomaler STRs..... | 78 |
| 5.4.3.1 | Amplifikation autosomaler STRs (Heptaplex)..... | 78 |
| 5.4.3.2 | Amplifikation X- und Y-chromosomaler STRs (Sexplex)..... | 79 |
| 5.4.3.3 | Amplifikation Y-chromosomaler STRs (Argus Y-28, Y-Dekaplex)..... | 81 |
| 5.4.4 | Amplifikation von Erreger-DNA | 84 |
| 5.4.5 | Agarosegelelektrophorese zur Prüfung des Amplifikationserfolges | 85 |
| 5.4.6 | Kapillarelektrophorese zur Fragmentlängenbestimmung und Sequenzierung | 86 |
| 5.5 | Statistische Auswertung | 90 |
| 5.5.1 | Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Tests) | 90 |
| 5.5.2 | Beurteilende Statistik – Zweistichproben-Tests | 92 |
| 5.5.3 | Reproduzierbarkeit der Messungen | 93 |
| 5.5.4 | Abweichungen vom Hardy-Weinberg-Gleichgewicht..... | 94 |
| 5.5.5 | Berechnung autosomaler Allelfrequenzen und Populationsvergleich | 94 |
| 5.5.6 | Bestimmung der Y-Haplogruppen und Populationsvergleich..... | 95 |
| 5.5.7 | Y-STRs und <i>analysis of molecular variance</i> (AMOVA)..... | 95 |
| 6 | ERGEBNISSE DER ANTHROPOLOGISCHEN UNTERSUCHUNGEN | 97 |
| 6.1 | Überprüfung der Mindestindividuenzahl und Dokumentation der Befunde..... | 97 |
| 6.2 | Rekrutierung und Truppenzusammensetzung | 99 |
| 6.2.1 | Geschlechterverteilung..... | 99 |
| 6.2.2 | Sterbealtersverteilung | 102 |
| 6.2.3 | Körperhöhe..... | 107 |
| 6.2.4 | Erfassung allgemeiner Robustizität | 112 |
| 6.2.5 | Freikaufen der wohlhabenden Bürger aus dem Militärdienst..... | 116 |
| 6.2.6 | Rekrutierung in Europa..... | 126 |
| 6.2.6.1 | Auswertung autosomaler Allelfrequenzen..... | 126 |
| 6.2.6.2 | Auswertung Y-chromosomaler STRs | 135 |
| 6.3 | Truppenbewegung..... | 154 |
| 6.3.1 | Anzeichen hoher physischer Belastung | 154 |
| 6.3.2 | Hinweise auf Truppenzugehörigkeit (Infanterie, Kavallerie und Artillerie) | 164 |
| 6.4 | Ernährung, Hygiene und Gesundheit..... | 167 |
| 6.4.1 | Ernährung | 167 |
| 6.4.2 | Hygiene | 178 |
| 6.4.3 | Gesundheit | 186 |
| 7 | DAS GESAMTPROJEKT | 207 |
| 8 | ZUSAMMENFASSUNG | 209 |
| 9 | ABBILDUNGSVERZEICHNIS..... | 213 |
| 10 | TABELLENVERZEICHNIS..... | 216 |
| 11 | LITERATURVERZEICHNIS..... | 218 |
| 12 | ANHANG A..... | I |
| 13 | ANHANG B..... | XLIX |

VORWORT UND STRUKTUR DER ARBEIT

In der vorliegenden Arbeit wurden die Skelette napoleonischer Soldaten, die in Rödelheim (Frankfurt am Main) im Jahr 2015 geborgen wurden, umfassend anthropologisch untersucht. Im Zentrum der Untersuchung stand dabei vorrangig die Frage, ob sich historischen Überlieferungen zum Leben der Soldaten in der napoleonischen Armee durch naturwissenschaftliche Methoden genähert werden kann. Dies geschah, indem nicht nur morphologisch fassbare Sachverhalte, bspw. Abweichungen von der Regelanatomie, interpretiert wurden, sondern auch genetische Daten hinzugezogen wurden, die bspw. Auskunft über die biogeografische Herkunft der Individuen geben. Die Ergebnisse konnten damit die historischen Daten bestätigen bzw. ergänzen.

Die sorgfältige archäologische Bergung der Skelette und der mehrheitlich sehr gute Überlieferungszustand der Individuen boten die Möglichkeit, zahlreiche genetische, morphologische und morphometrische Daten zu erheben und bildete somit die Voraussetzung, sich den geschichtlichen Überlieferungen zum Leben der Soldaten anthropologisch anzunähern.

Die Struktur der vorliegenden Arbeit weicht von der klassischen Strukturierung – Einleitung, Material und Methoden, Ergebnisse und Diskussion – ab. Zunächst werden dem Leser die historischen Zusammenhänge des späten 18. und frühen 19. Jahrhundert vermittelt, um den politischen Werdegang Napoleon I. zum Kaiser Frankreichs zu schildern. Dies wird verknüpft mit Erfolg und Untergang der napoleonischen Armee. Hierzu werden anthropologisch-naturwissenschaftliche Ansätze vorgestellt, über die sich den Themenkomplexen „Rekrutierung und Truppenzusammensetzung“, „Truppenbewegung“ sowie „Ernährung, Hygiene und Gesundheit“ genähert wurde. Die Ergebnisse werden entlang dieser Themenkomplexe strukturiert und unmittelbar im naturwissenschaftlichen sowie historischen Kontext diskutiert. Abschließend werden die einzelnen Ergebnisse der Untersuchungen zusammengeführt, wodurch sich die Lebensbedingungen der Soldaten innerhalb der napoleonischen Armee rekonstruieren lassen.

1 DIE GROßEN SCHLACHTEN NAPOLEONS

Napoleon Bonaparte¹ wurde 1769 auf Korsika geboren und begann im Alter von neun Jahren seine militärische Ausbildung in Frankreich. Ausgehend von der Französischen Revolution und den Revolutionskriegen, konnte Napoleon in den von ihm angeführten Koalitionskriegen (von 1792 bis 1815) strategische Finesse beweisen und konnte somit, nicht zuletzt auch durch gezielte Propaganda, sein Ansehen steigern und seinen militärischen Aufstieg vorantreiben.

DAS ENDE DES ANCIEN RÉGIME IN FRANKREICH²

Das *Ancien Régime*, französisch für die „frühere Regierungsform“ oder auch der „alte Staat“ in Frankreich, war geprägt durch den gut zwei Jahrhunderte vorherrschenden Absolutismus. Im 18. Jahrhundert war die französische Gesellschaft noch in drei Stände unterteilt, in welche die Menschen durch Geburt oder Beruf eingeteilt wurden: der erste Stand war der sogenannte *Klerus*, dem alle Geistlichen (Pfarrer und Bischöfe) angehörten. Dem zweiten Stand wurde die *Adelsschicht* zugeordnet, die sich dabei aus dem meist eingekauften Geld- bzw. Amtadel und dem Geburts- bzw. Schwertadel zusammensetzte. Zum dritten Stand wurden alle *Bürger und Bauern* der Bevölkerung gezählt. Die ersten zwei Stände waren in vielerlei Hinsicht privilegiert. Zum einen konnten sie Anspruch auf die höchsten Ämter in Staat, Kirche und Militär geltend machen. Zum anderen besaßen der Klerus und Adel mehr Land als alle Bürger und Bauern des dritten Standes zusammen, obwohl sie nur einen geringen Anteil der Bevölkerung ausmachten. Die Bauern mussten ihre landwirtschaftlichen Flächen bei den Grundherren aus erstem und zweitem Stand pachten. Das bedeutete zwar, dass sie Teile ihre Erträge selber nutzen konnten, jedoch mussten sie Abgaben an den Klerus und die Grundbesitzer zahlen und auch die Nutzung von z.B. Mühlen war nur gegen Entgelt gestattet. Hinzu kam, dass lediglich die Mitglieder des dritten Standes Steuern bezahlen mussten (Kuhn 2018). Dies führte zu einer erheblichen Unzufriedenheit in der Gesellschaft. Die Lage spitze sich zu, als es nach zahlreichen Missernten bis 1789 zu Höchstpreisen beim Getreide und zur sog. Brotnot kam. Den Bauern fehlte es am Nötigsten, wohingegen die Privilegierten noch ausreichend hatten. Hinzu kamen die erhebliche Geldnot des Adels und die Reformunfähigkeit des Landes, welche zusammen als treibende Kräfte der Französischen Revolution gelten. Im Mai 1789 kam es zur Einberufung der Generalstände durch Ludwig XVI., zu der Abgeordnete der drei Stände

¹ Geboren als Napoleone Buonaparte.

² In den folgenden Kapiteln werden die historischen Gegebenheiten in Frankreich und Europa zwischen dem späten 18. und frühen 19. Jahrhundert beschrieben. Wenn nicht anders ausgewiesen, sind die populärwissenschaftlichen Informationen aus diversen Geschichtsbüchern zusammengetragen (Lossau 1845a, 1845b, 1845c; Bingham 1884a, 1884b, 1884c; Fremont-Barnes und Fisher 2004; Willms 2005; Herre 2006; Fremont-Barnes 2010; Zamoyski 2012; Adlow 2015; Price 2015; Kuhn 2018).

eingeladen waren. Insbesondere die Mitglieder des dritten Standes hatten große Erwartungen an die Versammlung und forderten, dass das Steuersystem vereinfacht werden soll, dass eine Umgestaltung der Krone zu einer konstitutionellen Monarchie erfolgt und dass der dritte Stand eine Aufwertung gegenüber den Privilegierten der ersten beiden Stände im Wahlsystem bekommen soll. Dem dritten Stand wurde von Seiten der privilegierten Stände nicht viel Beachtung geschenkt und die Generalversammlung trennte sich ergebnislos. Als Reaktion wurde die Nationalversammlung gegründet, die die Interessen des dritten Standes vertrat und diese in Form einer neuen Verfassung durchsetzen wollte. Dieser Nationalversammlung schlossen sich nach und nach auch Mitglieder der anderen Stände an, hierzu zählten vor allem der niedere Klerus, der aus Dorf- und Gemeindepfarrern bestand, und einige Adelige, die nicht hinter der Idee standen, dass die Nationalversammlung mit Waffengewalt zum Schweigen gebracht werden sollte. Die übrigen Mitglieder der privilegierten Stände schlossen sich erst auf Anweisung des Königs der Nationalversammlung an, nachdem dieser dem Druck der Nationalversammlung nachgeben musste. Die politischen Veränderungen sorgten auch bei der Pariser Bevölkerung und den ländlichen Bauern für einen Umschwung: in der Stadt formierte sich eine Bürgermiliz (die spätere Nationalgarde), die durch den Sturm auf die Bastille im Juli des Jahres 1789 das Volk für den Aufstand gegen die absolutistische Herrschaft ausrüsten wollte. Der Angriff endete in einer blutigen Auseinandersetzung, die die Bürgermiliz gewann. Der König reagierte mit einem Abzug aller Truppen sowie der Anerkennung und dem Schutz der Nationalversammlung. Die ländliche Bevölkerung, überwiegend Bauern, stellten sich ebenfalls gegen das *Ancien Régime* und forderten das Ende der feudalen Rechte der privilegierten Grundherren, welches sie durch Angriffe auf Schlösser und Klöster und die Verbrennungen von Urkunden über Herrenrechte zu erzwingen versuchten. Durch den ländlichen Widerstand erreichte die Nationalversammlung, dass die Adligen auf ihre Privilegien verzichteten und bewirkten somit eine Beendigung des *Ancien Régime*. Die Nationalversammlung beendete das Ständesystem und erklärte die Menschen- und Bürgerrechte, in denen alle Menschen³ von Geburt an frei sind und gleiche Rechte besitzen. Kirchengüter wurden nationalisiert und der Grundbesitz durch die Einführung einer Papiergeldwährung, der Assignate, verzinst verkauft, um Staatsschulden abzubauen. In Frankreich wurden Provinzen abgeschafft und das Land in 83 Départements unterteilt. Obwohl alle Maßnahmen den König in seiner Macht schwächten, waren nur wenige Mitglieder der Nationalversammlung daran interessiert, das Königtum in Frankreich abzuschaffen. Vielmehr sollte die Krone hinsichtlich ihrer Entscheidungskraft eingeschränkt werden und ein Übergang zur konstitutionellen Monarchie geschaffen werden. Der König hatte quasi keine Entscheidungsgewalt, diese lag bei den Vertretern

³ männliche Christen, später dann auch Frauen.

des Bürgertums, lediglich ein Vetorecht wurde ihm eingeräumt. Ludwig XVI. zeigte sich hinsichtlich der Einschränkungen kooperativ, jedoch plante er im Hintergrund mit ausgewanderten französischen Adligen und Anhängern der Monarchie im Ausland eine Gegenrevolution für die Rückkehr zum *Ancien Régime*. Nach seiner gescheiterten Flucht aus Paris im Jahr 1791 wurden daraufhin erstmals Stimmen laut, die die Abschaffung der Krone und die Einführung einer Republik forderten.

DER BEGINN DER REVOLUTIONSKRIEGE (1. UND 2. KOALITIONSKRIEG)

Die Revolution in Frankreich führte in den 1790er Jahren quasi zu einer politischen Isolation Frankreichs in Europa. Die ausländischen Monarchen fühlten sich bedroht, da sie befürchteten, dass die Revolutionsgedanken auch in ihrer Bevölkerung Anklang finden könnten. Dies führte dazu, dass selbst in Konflikt stehende Großmächte wie Preußen und Österreich zusammenrückten, um ihre gemeinsamen Interessen zu vertreten. In der Deklaration von Pillnitz aus dem Jahr 1791 erklärten sie, dass sie eine Wiederherstellung der königlichen Regierung in Frankreich wollten. Was 1792 folgte, kann als Krieg zwischen Revolution und Gegenrevolution beschrieben werden (Kuhn 2018). Die außenpolitische Bedrohung führte zu einer Radikalisierung der Revolution im Inneren des Landes. Frankreich hatte keinen Bündnispartner mehr und erklärte daraufhin 1792 Österreich den Krieg. In den zu Österreich gehörenden Niederlanden wurde die Französische Armee geschlagen, da auch Preußen an der Seite Österreichs in den Krieg eintrat. Und auch König Ludwig XVI. unterstützte nach wie vor die ausländischen Kräfte, um wieder an die Macht zu gelangen. Nach dem Einmarsch Preußens in Frankreich wenige Monate später wurde das „Vaterland in Gefahr“ ausgerufen und alle Nationalgardisten und Freiwilligen zu den Waffen gerufen. Im Herbst 1792 gelang es den Revolutionstruppen bei der *Kanonade von Valmy*, die preußischen Invasionstruppen von einem Vorrücken in Richtung Paris abzuhalten. Keiner Seite gelang es, die Schlacht für sich zu entscheiden. Vielmehr war es die Einsicht der preußischen Führung, dass sie mit ihrer kleinen Invasionstruppe selbst bei gewonnener Schlacht den Einmarsch in Paris, einen Sturz der Revolution und eine Wiederherstellung der Monarchie nicht erreichen können und zogen sich daher zurück. In Frankreich wurde daraufhin der Sieg in Valmy propagiert, was zu dem Beschluss führte, die Republik Frankreich zu schaffen. Der König wurde abgesetzt und im Jahr 1793 hingerichtet. Die Hinrichtung Ludwigs XVI. führte zu einem erbitterten Krieg der europäischen Großmächte gegen die „Königsmörder“ in Frankreich. Die Eroberung des heutigen Belgiens (Österreichische Niederlande) war die erste gewonnene Feldschlacht der französischen Truppen und setzte nun auch England unter Druck. England hatte eine konstitutionelle Monarchie als Regierungsform und auch hier herrschte die Angst, dass der revolutionäre Gedanke überspringen könne, wenn Frankreich weiterhin an Macht gewinnen würde. Daraufhin verließen sie ihre Neutralitätspolitik,

legten ihre Feindschaft gegen Frankreich offen und schlossen sich der Koalition von Österreich und Preußen an. Dem folgten Spanien, das Königreich Neapel, die Niederlande und später auch die Staaten des Heiligen Römischen Reichs Deutscher Nation. Die Kriegserklärung ging Anfang 1793 wieder von Frankreich aus. Frankreich befand sich somit im Krieg gegen ganz Europa, mit Ausnahme Skandinaviens und der Schweiz.

Schon in den Anfängen der Französischen Revolution gründeten sich zahlreiche politische Klubs, die zunehmend an Bedeutung gewannen. Die Girondisten besaßen bis zum Sommer 1793 die Mehrheit in der Nationalversammlung. Sie waren Anhänger der Republik und vertraten insbesondere die Interessen des besitzenden Bürgertums. Sie sprachen sich ausführlich für den Krieg Frankreichs gegen die europäischen Großmächte aus. Dem gegenüber standen die Jakobiner: ebenfalls ein verfassungstreuer Klub, der bereits 1789 gegründet wurde, sich jedoch ausdrücklich gegen den Krieg stellte. Diese gegensätzlichen Haltungen führten zum Konflikt beider Klubs, da die Girondisten jedoch die Mehrheit in der Versammlung besaßen, kam es zu den Kriegserklärungen Frankreichs. Zahlreiche militärische Rückschläge Frankreichs im Krieg führten zu Unruhen in der französischen Bevölkerung. Nicht nur die Niederlagen erzeugten Konflikte im Inneren, in Frankreich herrschte zudem eine starke Wirtschaftskrise, die insbesondere unter den Bauern und den Ärmern der Stadtbevölkerungen zu einer starken Unterversorgung und Hunger führte. Die Girondisten verloren immer mehr an Ansehen in der Bevölkerung und die Jakobiner gelangten an die Macht. Die Herrschaft der Jakobiner wird auch als Schreckensherrschaft bezeichnet, da sie in ihrer knapp einjährigen Regierungszeit bis zur Hinrichtung von Maximilien Robespierre im Juli 1794 ihre politischen Ziele gewaltsam durchsetzten. Grundsätzlich wollten die Jakobiner einen zentral gelenkten Wirtschafts- und Sozialstaat, in dem billige Nahrungsmittel zur Verfügung stehen sowie Nationalgüter und Grundstücke den armen Bevölkerungsschichten zugänglich sind. Um diese Ziele zu erreichen, führten sie die Ratenzahlung ein und ermöglichten den Armen somit Zugang zu neuen Grundstücken. Sie verboten das Horten von Lebensmitteln des täglichen Bedarfs und führten Höchstpreise für Lebensmittel und Löhne ein. Unter dem Motto „Gleichheit, Freiheit, Sicherheit, Eigentum“ installierten sie die Versammlungsfreiheit, das Petitionsrecht, das Recht auf öffentliche Unterstützung, das Recht auf Bildung und als erstes europäisches Land führten sie die allgemeine Wehrpflicht ein (vgl. Kapitel 2). Gesetze, von denen insbesondere die Mitglieder der ärmeren Bevölkerungsschichten profitierten. Daher bekamen die Jakobiner auch viel „Rückenwind“ der Sansculottes, der Vertreter vorrangig armer Bauern und Bürger. Zeitgleich erließen die Jakobiner jedoch auch das „Gesetz der Verdächtigen“, in dem allen „Feinden der Freiheit“ bei Verstoß gegen eines der o.g. Gesetze eine Festnahme drohte. Im Jahr 1794 wurde dieses Gesetz noch verschärft und Verstöße mit dem Tod geahndet. Die Herrschaft der Jakobiner entwickelte sich zunehmend zu einer Diktatur der Jakobiner bzw. des Robespierre, nachdem dieser weitere hohe Jakobiner wie

Danton und Hébert sowie deren Anhänger hinrichten ließ und somit faktisch Führer der Jakobiner war. Robespierre wollte das Eigentum der „Feinde der Republik“ verstaatlichen und dieses dann vorübergehend unter den armen „Patrioten“ verteilen. Eine Maßnahme, die die schwachen Bürger zwar begünstigen sollte, dennoch fühlten diese sich bedroht, dass ihnen etwas weggenommen werden könnte. Die Jakobiner begründeten die Einschränkungen mit der zunehmenden Bedrohung von außen durch die europäischen Großmächte und beteuerten, dass die Einschränkungen nur vorübergehend seien. Diese Argumentationsgrundlage wurde ihnen jedoch genommen, als die Franzosen am 26. Juni 1794 in Belgien über Österreich siegten. Dennoch ließ der Schrecken nicht ab, da bereits zwei Wochen zuvor das „Gesetz vom 22. Prairial“ verabschiedet wurde, welches die Verurteilung und Hinrichtung der „Gegner der Revolution“ weiter erleichterte und zur Hinrichtung tausender Menschen führte. Die Angst vor der Herrschaft der Jakobiner führte zu einem Komplott der Gegenseite: die Regierung um Robespierre wurde im Juli 1794 erfolgreich zum Sturz gebracht und er sowie seine Anhänger wurden ohne Verurteilung am 28. Juli 1794 hingerichtet. Die radikale zweite Phase der französischen Revolution war vorbei und die letzte Phase der Revolution begann mit der Herrschaft der Thermidorianer⁴.

DER MILITÄRISCHE AUFSTIEG VON NAPOLEON BONAPARTE⁵

Noch in der zweiten Phase der Französischen Revolution beginnt der militärische Aufstieg Napoleons in Frankreich. Obwohl er auf Korsika geboren wurde, erlangte er seine schulische Ausbildung auf dem französischen Festland. Im Alter von neun Jahren wurde er Schüler der Brienne-le-Château, einer Militärschule für Adelsöhne in der Champagne, wo er im Alter von 16 Jahren seinen Abschluss erreichte. 1785 wurde er Unterleutnant in einem Artillerieregiment in Valence. Bis zur Französischen Revolution hatte sich Napoleon bereits zum zweithöchsten Offizier seines Regiments hochgearbeitet, jedoch beantragte er Urlaub, um vorerst in seine alte Heimat auf Korsika zurück zu reisen. In den folgenden Jahren kehrte Napoleon häufig zu seinem Regiment nach Frankreich zurück, wo er nach der gescheiterten Flucht von Ludwig XVI. zum Leutnant befördert wurde. Erst 1793, in der zweiten Phase der Französischen Revolution, kehrte er endgültig nach Frankreich zurück. Bei seiner Rückkehr sympathisierte er stark mit den Jakobinern, denen er bereits im Jahr 1791 beigetreten war und welche nun an der Macht waren. Er verfasste eine fiktive Abhandlung, in der er zum Ausdruck brachte, dass alle Städte, die sich mit dem Feind England verbündeten, mit aller Härte zerstört werden müssten. Die Abhandlung bekam viel Zuspruch von Seiten der Jakobiner, insbesondere von Augustin Robespierre, dem Bruder Maximiliens. Dieser Zuspruch verschaffte Napoleon auch seinen Posten als Kommandant der Artillerie bei der

⁴ Die Hinrichtung von Robespierre war am 9. Thermidor des Revolutionskalenders, woher die Namensgebung kommt.

⁵ In den folgenden Kapiteln werden Zitate Napoleons abgebildet, die englischsprachiger Literatur entnommen und bereits dort aus dem französischen Original übersetzt wurden.

Belagerung der Stadt Toulon, dessen Bürger sich 1793 nach der Herrschaftsübernahme der Jakobiner abgewendet hatten und gemeinsam mit den Alliierten die Gegenrevolution vorantreiben wollten. Napoleon hatte klare strategische Vorstellungen, wie die französischen Truppen Toulon erobern könnten, jedoch waren der damalige Befehlshaber Carteaux und der Nationalkonvent in Frankreich von diesen Plänen nicht überzeugt. Nach gescheiterten Angriffen der Franzosen auf die Stadt kam es zum Wechsel des Befehlshabers zu General Dugommier. Dieser erkannte die Qualität der Pläne Napoleons und lies diese zu, was nach zahlreichen Angriffen auf strategisch wichtige Stellungen der Alliierten zum Erfolg führte. Die französische Armee konnte den Hafen von Toulon einnehmen und die britische Flotte bis zu ihrem Abzug im Dezember 1793 angreifen. Im Nachfolgenden wurde die Stadt Toulon „bereinigt“. Mehrere hunderte aufständische Bürger wurden vor Ort exekutiert oder verurteilt. Für Napoleon selbst wurde die Eroberung der Stadt Ausgangspunkt für seinen militärischen Aufstieg, da er zum General der Brigade befördert und zum Kommandanten der Italienarmee in Nizza ernannt wurde. Einen zeitweisen Rückschlag erlitt Napoleon beim Fall der Jakobinerherrschaft 1794. Als Anhänger der alten Regierung wurde er kurzzeitig von den Thermidorianern inhaftiert und verlor seine militärischen Posten. Die dritte und letzte Phase der Französischen Revolution von 1794 bis 1799 kann als Restauration des besitzenden Bürgertums beschrieben werden (Kuhn 2018). Unter der Machtführung der Thermidorianern sollte besitzbürgerliches Eigentum gewahrt werden und eine Rückkehr zur freien Wirtschaft geschaffen werden. Pläne, die weder von den Sansculotten und Jakobinern der übrig gebliebenen Volksbewegung (linker Flügel), noch von den Adligen (rechter Flügel) unterstützt wurden. Die Thermidorianer waren daher insbesondere auf militärische Unterstützung angewiesen, um ihre Interessen vor den anderen beiden Lagern zu verteidigen. Der militärische Einfluss auf die Innenpolitik stieg in der letzten Phase der Revolution und kann daher nicht mehr von der militärischen Karriere Napoleons getrennt werden. Die durch die Jakobiner eingeführten Höchstpreise für Nahrungsmittel wurden abgeschafft, was zu einem Verfall der Assignate führte, die Marktpreise für Lebensmittel explodieren lies und eine Hungersnot im Land hervorrief. Die Wirtschaftskrise traf aber nicht alle „Bevölkerungsklassen“ im gleichen Maße: insbesondere die einfachen Bürger waren benachteiligt, wohingegen die handeltreibenden Bürger von der Marktentwicklung profitierten. Es dauerte nicht lange, dass es 1795 zu zahlreichen Aufständen gegen die führende Regierung kam. Im Frühjahr stürmte die Volksbewegung den Konvent und forderte Brot und eine Rückkehr zur Verfassung von 1793, in der die Interessen der armen Bevölkerung berücksichtigt wurden. Der Aufstand wurde durch das Militär blutig niedergeschlagen und die neue Verfassung wurde im September 1795 in Kraft gesetzt. Der gebildete Konvent (insgesamt 750 Mitglieder) bestand nun aus einem Zweikammersystem mit der Legislative, bestehend aus dem Rat der 500 und dem Rat der Alten sowie dem fünfköpfigen Direktorium (der

Executive). Im Oktober desselben Jahres versuchte auch der Adel, angeführt von Ludwig XVIII., dem Bruder des hingerichteten König Ludwig XVI., einen Aufstand und stürmte den Konvent. Napoleon, der bereits seit seiner Entlassung aus der Haft mehrfach versuchte, seinen militärischen Posten als Machthaber über die Artillerie wiederzuerlangen, hielt sich in Paris auf. Aus Mangel an Offizieren in der Stadt wurde Bonaparte beauftragt, den Aufstand niederzuschlagen – erfolgreich. Als Dank erhielt er eine Beförderung zum *général de division* und ihm wurde das Kommando über eine Armee zur Wahrung der Ordnung im Inneren des Landes zugeteilt. Im März 1796 wurde er dann erneut zum Kommandanten über die Italienarmee ernannt. Am 9. März 1796 heiratete er Joséphine de Beauharnais und nur zwei Tage später reiste er nach Nizza ab, um die Italienarmee zu übernehmen und den Italienfeldzug anzuführen.

Der Italienfeldzug

Die Italienarmee war bei der Übernahme durch Napoleon Bonaparte im Jahr 1796 weniger als 40.000 Mann stark und befand sich in einem desolaten Zustand. Die Soldaten waren schlecht gepflegt und hatten schon seit geraumer Zeit keine Besoldung empfangen. Es gab kaum Uniformen oder Schuhe und auch andere Ausrüstung war nur sporadisch vorhanden. Napoleons erster Schritt war, die Versorgungslage der Soldaten zu verbessern. Dies stellte sich jedoch während des Feldzugs immer wieder als ein großes Problem dar. Durch motivierende Ansprachen gelang es Napoleon dennoch, die Disziplin der Soldaten zu steigern, wie auch aus einer bekannten Proklamation vom 27. März 1796 hervorgeht: „Soldiers, you were naked, ill-fed: the Government owed you much and had nothing to give you. Your patience, and the courage you have exhibited in the midst of these rocks, are admirable; but they procure you no glory; no brilliancy is reflected on you. I desire to lead you into the most fertile plains in the world. Rich provinces and great cities will be in your power; you will find there, honour, glory, and wealth. Soldiers of Italy, will you be wanting in courage and constancy?“⁶ (Bingham 1884a). Insbesondere unter Historikern wird diese Ansprache Napoleons kritisiert, da sie einen Appell an die Habgier der Soldaten darstellt (Bingham 1884a). In dem erbärmlichen Zustand, in dem sich die Soldaten befanden, war es aber genau das, was die Moral und Kampfbereitschaft der Männer steigerte. Hinzu kam, dass die Soldaten des französischen Heeres Kinder der Revolution waren. Sie wurden als Bürger mit eigenen Rechten angesehen und stellten nicht nur Untertanen der Generäle dar. Ein militärischer Aufstieg war für jeden Soldaten möglich, wenn er sich in den Schlachten ausgezeichnet hatte. All dies motivierte die Soldaten, sich auf dem Schlachtfeld zu beweisen. Darüber hinaus zeigte die französische Armee eine hohe

⁶ Dt. Übersetzung: „Soldaten, ihr wart nackt, schlecht ernährt; die Regierung war euch viel schuldig und hatte euch nichts zu geben. Eure Geduld und euer Mut, den ihr inmitten dieser Felsen bewiesen habt, sind bewundernswert; aber sie verschaffen euch keinen Ruhm; kein Glanz wird auf euch zurückgeworfen. Ich möchte euch in die fruchtbarsten Ebenen der Welt führen. Reiche Provinzen und große Städte werden in eurer Macht stehen; dort werdet ihr Ehre, Ruhm und Reichtum finden. Soldaten Italiens, wird es euch an Mut und Standhaftigkeit mangeln?“ S. 64.

Beweglichkeit: zum einen ernährten sich die Soldaten weitestgehend aus den durchlaufenen Gebieten und waren im Gegensatz zu den Armeen des *Ancien Régime* nicht auf einen großen Tross für die Versorgung angewiesen. Zum anderen wurde schon während der Revolution ihr großes Heer in verschiedene Divisionen unterteilt. Jede Division war frei agierend und bestand aus einer festgesetzten Anzahl von Soldaten der Infanterie, Kavallerie und Artillerie, welche dem Kommando eines Generals unterstanden. Die verschiedenen Divisionen konnten bei Manövern aufeinander abgestimmt werden und somit auch sehr schnell auf sich verändernde Bedingungen reagieren. Ganz anders war dieses bei den Gegnern Napoleons – den Österreichern und Soldaten aus Sardinien-Piemont. Obwohl sie zahlenmäßig der französischen Armee überlegen waren, kämpften insbesondere die Österreicher in veralteten Strukturen. Militärische Operationen wurden von rund 1.700 komplizierten Regularien bestimmt, die die Geschwindigkeit der Armee verlangsamten und auch Positionswechsel stellten eine Herausforderung für die Soldaten dar (Adlow 2015). Diese Schwächen wurden der Armee zum Verhängnis, als sie von den Franzosen förmlich überrollt wurden. Schon während der *Schlacht bei Toulon* verfolgte Napoleon die Strategie, dass es sich mit dem System der Kriege genauso verhalte, wie mit der Belagerung von Festungen: Das Feuer müsse auf einen Punkt konzentriert werden und wenn erst die Bresche geschlagen sei, dann ergebe sich alles von selbst (Herre 2006). Er plante daher einen getrennten Angriff auf die unterschiedlichen Heeresscharen. In diversen Kleinschlachten trennte er die Armeen voneinander und konnte im April 1796 an nur vier Tagen vier Schlachten für sich gewinnen. Napoleon verstand es wie kein anderer, seine Soldaten mit seinen Ansprachen zu fesseln und für den Krieg zu motivieren, wie in einer Proklamation vom 26. April 1796 zu erkennen ist: “You have gained battles without guns, passed rivers without bridges, accomplished forced marches without shoes, bivouacked without brandy and often without bread. [...] To-day you are amply provided for. The magazines captured from the enemy are numerous; the siege and field- pieces have arrived. [...] I promise you the conquest of Italy, but on one condition. You must swear to respect the people you deliver, and repress the horrible pillage in which scoundrels, excited by the enemy, have indulged. Without that you will not be liberators, but a pestilence, and your victories, your courage, your success, and the blood of your brothers who have perished, will be all lost, as well as honour and glory. [...]”⁷ (Bingham 1884a). Nach dem Sieg Napoleons in der *Schlacht bei Mondovi* schloss er den *Frieden von Turin* mit dem

⁷ Dt. Übersetzung: „Ihr habt Schlachten ohne Gewehre gewonnen, Flüsse ohne Brücken überquert, Gewaltmärsche ohne Schuhe bewältigt, ohne Branntwein und oft ohne Brot biwakiert. [...] Heute seid ihr reichlich versorgt. Die vom Feind erbeuteten Magazine sind zahlreich, die Belagerungs- und Feldgeschütze sind eingetroffen. [...] Ich verspreche euch die Eroberung Italiens, aber unter einer Bedingung. Ihr müsst schwören, das Volk, das ihr befreit, zu respektieren und die schrecklichen Plünderungen zu unterdrücken, denen sich die vom Feind aufgestachelten Schurken hingegeben haben. Andernfalls seid ihr keine Befreier, sondern eine Pestilenz, und eure Siege, euer Mut, euer Erfolg und das Blut eurer umgekommenen Brüder werden ebenso verloren sein wie Ehre und Ruhm. [...]“ S. 74.

Königreich Sardinien-Piemont. Im Anschluss konnte er sich Österreich widmen: bei zahlreichen Gefechten konnte er die Österreicher aus der Lombardei verdrängen und marschierte in die Hauptstadt Mailand ein. Die Österreicher mussten ihre Truppen neu aufstellen und Napoleon nutzte die Zeit, um Waffenstillstände mit dem Kirchenstaat sowie den Herzogtümern Parma und Modena auszuhandeln. Die Festung von Mantua, die von den Österreichern besetzt wurde, wurde von der napoleonischen Armee sechs Monate belagert. Erst nach zahlreichen Gefechten zwischen August 1796 und Februar 1797 folgte die Kapitulation von Mantua und die Lombardei war vollständig unter französischer Macht. Auf Befehl der französischen Direktion folgte im selben Monat ein Straffeldzug gegen den Kirchenstaat, der in einem *Friedensvertrag von Tolentino* endete. Frankreich annektierte einige Städte, am bedeutendsten jedoch war die Sperrung der päpstlichen Häfen für Truppen der Feinde Frankreichs. Durch diesen strategischen Zug wurde die südliche Flanke zu Österreich gesichert und Napoleon konnte den Feldzug gegen Österreich beginnen. Der Feldzug endete nach nur einem Monat in einem von Österreich geforderten Waffenstillstand, der im Oktober 1797 im *Frieden von Campo Formio* und somit dem Ende des ersten Koalitionskriegs mündete. Der Italienfeldzug war für Frankreich ein großer Erfolg: durch die Siege Napoleons konnte Frankreich sein Herrschaftsgebiet im niederländischen Raum, Italien und der Schweiz sowie im linksrheinischen Rheinland ausweiten. Die Kriegskassen wurden gefüllt und auch die Kunstsammlungen profitierten durch den Raub wichtiger Kunstschätze aus den belagerten Gebieten für Frankreich. Napoleon selbst gewann stark an Popularität in der Öffentlichkeit. Während des Feldzuges hatte sich jedoch auch gezeigt, dass Napoleon immer mehr Entscheidungen traf, ohne Rücksprache mit dem herrschenden Direktorium in Frankreich zu halten, was zwangsläufig das Misstrauen des Direktoriums gegenüber Napoleon steigerte. Jedoch konnte die Regierung kaum etwas dagegen tun, denn Napoleon verstand es, nicht zuletzt durch gezielte Propaganda in seinen eigens herausgegebenen Zeitschriften, die Bevölkerung zu fesseln und sich selbst als Volksheld darzustellen. So wurde Napoleon bei seiner Rückkehr nach Frankreich von der Bevölkerung begeistert empfangen (Herre 2006).

Expedition nach Ägypten

Nach dem gewonnenen Italienfeldzug und dem Ende des ersten Koalitionskrieges waren Großbritannien und Russland die einzigen europäischen Großmächte, die weiterhin mit Frankreich im Krieg standen. Eine vom Direktorium angeordnete Invasion Großbritanniens konnte Napoleon der Regierung als aussichtsloses Unterfangen ausreden und brachte vielmehr den Vorschlag, den Feind auf anderem Wege zu schwächen: Ägypten unter französische Kontrolle bringen und Großbritannien somit den direkten Handelsweg nach Indien versperren. Die Expedition nach Ägypten wurde vom Direktorium genehmigt und im Mai 1798 verließ das Expeditionsheer den

Hafen von Toulon. An Bord reisten neben Napoleon und seinen Rund 40.000 Soldaten auch französische Künstler, Wissenschaftler und Forscher mit, die das Land erforschen und neue politische und wirtschaftliche Strukturen errichten sollten. Historiker sind sich einig, dass Napoleon diesen Feldzug dazu nutzen wollte, um den Mythos seiner Person zu stärken (*Internetquelle 1*). Auf dem Weg nach Ägypten nahm Napoleon widerstandlos die Insel Malta ein und die Flotte landete im Sommer in Abukir. Im Juli wurde zuerst die Stadt Alexandria eingenommen. In der *Schlacht bei den Pyramiden* konnten das osmanisch-ägyptische Heer und die Mamluken-Eliteeinheit⁸ vernichtend geschlagen werden und im Anschluss Kairo und ganz Ägypten eingenommen werden. Eine Niederlage erfuhr Napoleon, als im August die gesamte Flotte der französischen Armee von den Briten bei der *Seeschlacht von Abukir* versenkt wurde – die französische Armee war in Ägypten gestrandet. Napoleon selbst versuchte das Land zu reformieren, und seine mitgereisten Wissenschaftler gründeten das *Institut d'Égypte* und legten damit den Grundstein der Ägyptologie. Im Frühjahr 1799 führte Napoleon einen Feldzug gegen Palästina, wo es ihm auf dem Weg gelang, Jaffa und Gaza zu erobern. Es gelang ihm jedoch nicht, die Stadt Akkon trotz monatelanger Belagerung zu erobern. Der Feldzug wurde in vielerlei Hinsicht zu einem Desaster, die Armee war auf die klimatischen Bedingungen nicht ausreichend vorbereitet. So schrieb Napoleon selbst in einem Brief über die Region um Gaza: „We have crossed seventy leagues of desert which is exceedingly fatiguing; we had brackish water and often none at all. We ate dogs, donkeys, and camels. There has been a horrible wind blowing for the last three days, and it is pouring with rain.“⁹ (Bingham 1884a). Und auch bei der Eroberung von Jaffa begründete er ein Massaker an über 2.000 Gefangenen damit, dass er nicht genug Ressourcen hätte, um diese ausreichend zu versorgen (Bingham 1884a). Neben den schlechten klimatischen Bedingungen und der prekären Versorgungslage erkrankten und starben auch noch zahlreiche Soldaten Napoleons an der Pest, woraufhin Napoleon zum Rückzug nach Ägypten gezwungen war. Trotz der Beteuerung Napoleons, dass er nicht an der Besetzung des Osmanischen Reichs interessiert sei, erklärte dieses Frankreich nach dessen Besetzung Ägyptens den Krieg. Im Juli 1799 kam es zur *Schlacht bei Abukir*, wo die Franzosen das Osmanische Reich zwar vernichtend schlagen konnten. Dennoch war für Napoleon klar, dass der Feldzug in Ägypten gescheitert war. Die zunehmende Bedrohung der zweiten Koalition (s.u.) sowie die innenpolitischen Spannungen in Frankreich veranlassten Napoleon zur Rückkehr. Die Befehlsgewalt über die Ägyptenarmee übertrug er seinem dienstältesten General Kléber, Napoleon selbst reiste im August 1799 ab.

⁸ Militärsklaven in vielen islamischen Herrschaftsgebieten.

⁹ Dt. Übersetzung: „Wir haben siebzig Meilen Wüste durchquert, was äußerst ermüdend ist; wir hatten brackiges Wasser und oft überhaupt keins. Wir haben Hunde, Esel und Kamele gegessen. Seit drei Tagen weht ein furchtbarer Wind, und es regnet in Strömen.“ S. 248.

VOM GEFEIERTEN GENERAL ZUM KAISER DER FRANZOSEN

Trotz gescheitertem Feldzug wurde Napoleon von der französischen Bevölkerung weiterhin als Volksheld gefeiert und viele Menschen erhofften sich durch ihn außenpolitischen Frieden und eine innenpolitische Wende, weg vom korrupten Direktorium (Herre 2006). Anhänger aller politischer Organisationen waren um die Gunst Napoleons bemüht, sodass in Napoleons Auffassung die Situation günstig war, die politische Macht an sich zu reißen, was er selbst mit „the pear was ripe“¹⁰ beschrieb (Bingham 1884a). Dies gelang ihm am 9. November 1799 durch den *Staatsstreich des 18. Brumaire VIII*, ein durch Teile des herrschenden Direktoriums eingeleiteter Putschversuch, bei dem sie Napoleon um militärische Hilfe baten. Die beiden gesetzgebenden Kammern stimmten der Abschaffung der alten Verfassung zu und billigten die Errichtung einer Konsulatsverfassung, in der Napoleon Bonaparte mit zwei ehemaligen Mitgliedern des Direktoriums, Sieyes und Ducos, Konsul wurde. Die Verfassung wurde durch Napoleon selbst mitverfasst und war auf ihn förmlich zugeschnitten: Napoleon Bonaparte übernahm die Funktion des ersten Konsuls und war somit im Alter von 30 Jahren quasi Alleinherrscher über Frankreich. Die anderen beiden Konsuln übernahmen lediglich eine beratende Funktion. Er erklärte noch im Dezember, dass die Revolution zu ihren Grundsätzen zurückgekehrt sei und sie damit als beendet angesehen werden kann (Bucheze 2019). Denn unter der faktisch vorherrschenden Diktatur Napoleons endete die Einflussnahme der einfachen Bürger auf die Politik. Einen Widerstand in der Bevölkerung gab es daraufhin jedoch nicht, sondern die Bürger nahmen die Ungerechtigkeiten so hin. Zu groß war der Wunsch nach Ordnung und Frieden im Land. Einem Wunsch, dem Napoleon wie kaum ein anderer nachkam: durch zahlreiche Reformen gelang es ihm, die Staatsfinanzen zu sanieren, neue Zivilrechte für alle Einwohner Frankreichs einzuführen („Code civil“), das Schulsystem zu reformieren sowie ehemalige Royalisten und Geistliche mit dem Staat innenpolitisch zu versöhnen. Im gleichen Zug entwickelte Napoleon aber auch ein Überwachungssystem in Frankreich, welches oppositionelle Meinungen frühzeitig aufzudecken und zu bekämpfen vermochte. Den außenpolitischen Frieden stellte er in den von ihm geführten Koalitionskriegen bzw. den Napoleonischen Kriegen, wie sie nach seiner Machtergreifung 1799 auch genannt wurden, her. Die zweite Koalition hatte sich bereits während Napoleons Isolation in Ägypten erfolgreich aus u.a. den Großmächten Großbritannien, Russland und Österreich gebildet und konnten in dieser Zeit die französischen Tochterrepubliken in Italien zurückerobern. Die Allianz mit Russland zerbrach bereits 1799 vor der Rückkehr Napoleons, dadurch lastete der kontinentale Krieg auf den Schultern Österreichs. Nachdem Napoleon die Macht übernahm, kam es zu zahlreichen Friedensangeboten Frankreichs an Österreich, um in den Grundsätzen zum *Frieden von Campo Formio* zurückzukehren. Dem wollten die Österreicher jedoch

¹⁰ Dt. Übersetzung: „Die Birne war reif“ S.271.

nicht zustimmen und somit kam es ab 1800 zu zahlreichen Feldzügen der französischen Armee gegen Österreich unter dem Kommando Napoleons. Er verfolgte dabei seine altbewährte Strategie, die gegnerischen Truppen nacheinander anzugreifen, wodurch es ihm gelang, im Juni 1800 die alliierten Truppen in Norditalien in der *Schlacht bei Marengo* zu schlagen und somit die Cisalpinische Republik für sich zu beanspruchen. Zeitgleich, unter dem Kommando von General Moreau, wurde der Rhein überquert und die französische Rheinarmee schlug Österreich in zahlreichen Gefechten von Ulm bis Salzburg, woraufhin erst ein Waffenstillstand und dann der *Frieden von Lunéville* 1801 geschlossen wurden. Im Herbst folgte der Friedensschluss mit Russland, im Folgejahr mit Großbritannien. Der außenpolitische Frieden war vorerst hergestellt. Seine militärischen Erfolge konnte Napoleon nutzen, um sich in einer Volksabstimmung zum Konsul auf Lebenszeit wählen zu lassen. Er räumte sich das Recht ein, seinen Nachfolger selbst bestimmen zu dürfen und führte eine Hofhaltung ein, was als erster Schritt auf dem Weg zur Monarchie zu deuten ist. Die Krönung zum *Kaiser Napoleon I.*¹¹ *der Franzosen* erfolgte 1804 durch Papst Pius VII., die Ernennung zum *König von Italien* 1805 durch die Krönung mit der Eisernen Krone der Langobarden.

DIE HOCHPHASE HERRSCHAFT NAPOLEONS UND DIE NEUORDNUNG EUROPAS (3. BIS 5. KOALITION)

Die Krönung Napoleons führte erneut zu außenpolitischen Konflikten: Großbritannien hatte Frankreich bereits 1803 erneut den Krieg erklärt, aber erst nach den Krönungen schlossen sich 1805 zunächst Russland, im weiteren Verlauf aber auch Österreich, Schweden und Neapel der dritten Koalition an. Frankreich kämpfte an der Seite Spaniens und seiner deutschen Verbündeten aus Württemberg, Bayern und Baden. Zur See wurde die napoleonische Flotte durch die Briten geschlagen und Großbritannien konnte somit seine beherrschende Macht zu Wasser verteidigen. Im kontinentalen Europa dominierte aber Frankreich und somit Napoleon: im September 1805 zog er mit seiner Armee, der Grande Armée, über den Rhein. In zahlreichen Gefechten konnte Napoleon die Österreicher schlagen und weiter in Richtung Wien marschieren. Die Entscheidung über den dritten Koalitionskrieg fiel bei der sog. *Dreikaiserschlacht von Austerlitz* am 2. Dezember des gleichen Jahres zwischen Frankreich, Österreich und Russland. Napoleons Armee war zwar zahlenmäßig unterlegen, konnte die Schlacht aber dennoch für sich entscheiden und Napoleon konnte Österreich zu einem Waffenstillstand zwingen. *Im Frieden von Preßburg* wurden zahlreiche vormals unter österreichischer Macht stehende Gebiete Frankreich bzw. im Bündnis mit Frankreich stehenden Staaten zugeschrieben. Napoleon festigte seine Macht zum einen dadurch, dass er in von Frankreich abhängigen Gebieten Familienmitglieder an die Regierungsspitzen setzte. Zum anderen gründete er 1806 die Konföderation des sog. *Rheinbunds* aus 16 von Frankreich abhängigen west- und süddeutschen Mitgliedsstaaten, die aus dem Heiligen Römischen Reich

¹¹ In der vorliegenden Arbeit wird Kaiser Napoleon I. weiterhin nur Napoleon (Bonaparte) genannt.

austreten mussten und im Bedarfsfall Frankreich militärisch unterstützen mussten. Da die Friedensverhandlungen mit den anderen beiden Großmächten scheiterten, verhängte Napoleon die Kontinentalsperre gegen Großbritannien und verhinderte damit den Import britischer Güter nach Frankreich und von Frankreich abhängigen Staaten sowie den Export von Waren nach Großbritannien. Der Krieg zwischen Frankreich und den Großmächten Großbritannien und Russland wurde weitergeführt. Der vierte Koalitionskrieg ging jedoch von Preußen aus, das bereits im dritten Koalitionskrieg ein Bündnis mit Russland schloss, sich jedoch bei den kriegerischen Auseinandersetzungen neutral verhielt. Preußen fürchtete, Ziel der Hegemonialpolitik Napoleons zu werden und erklärte Frankreich im Oktober 1806 den Krieg. Napoleon selbst war darauf vorbereitet und hatte bereits im Vorfeld eine große Armee an der bayerischen Grenze zu Thüringen mobilisiert. Nur wenige Tage nach der Kriegserklärung erfolgte der Vormarsch der Grande Armée und Preußen erfuhr in der *Schlacht bei Jena und Auerstedt* eine schwere Niederlage. Bis zum Ende des Jahres mussten immer mehr preußische Truppen kapitulieren und die vormals Verbündeten Kurfürstentum Sachsen und Herzogtum Sachsen-Weimar fielen von Preußen ab und kämpften ab 1807 unter französischem Kommando. Russland trat 1807 in das Kriegsgeschehen ein und es kam zur *Schlacht bei Preußisch Eylau*, welche keine der Großmächte für sich entscheiden konnte. Nachdem Napoleon aber die *Schlacht bei Friedland* für sich entscheiden konnte, begann Russland Friedensverhandlungen mit Frankreich zu führen, welche im *Frieden von Tilsit* mündeten. Kurz darauf folgte der Diktatfrieden mit Preußen, in dem Preußen große Teile des eigenen Herrschaftsgebiets einbüßen und neu gegründete Satellitenstaaten Frankreichs anerkennen musste. Russland und Frankreich sorgten mit dem Friedensschluss für eine Neuordnung der Herrschaftsverhältnisse im kontinentalen Europa und Napoleon befand sich auf dem Höhepunkt seiner Macht. Lediglich Großbritannien mit seinen Verbündeten und Österreich waren ihm noch nicht unterworfen, doch durch die Erweiterung der Kontinentalsperre gegen die Briten konnte Napoleon einen fast vollständigen Handelsboykott erzielen.

DER UNTERGANG DER NAPOLEONISCHEN ARMEE (6. KOALITION)

“If in the years up until 1807 French soldiers had enjoyed the fruits of victory, thereafter the tide began to turn.”¹² (Forrest 2006)

Napoleon war bemüht, auch Portugal zum Beitritt der Kontinentalsperre zu zwingen und startete Ende 1807 zur Expedition in das Land, was zu den kriegerischen Auseinandersetzungen auf der Iberischen Halbinsel führte. Portugal und Spanien kämpften beide ab 1808 für ihre Unabhängigkeit von Napoleon und wurden dabei von Großbritannien unterstützt. Erstmals seit Beginn der Napoleonischen Kriege konnte Napoleon keine schnelle Kriegsentscheidung herbeiführen und die Auseinandersetzungen auf der Iberischen Halbinsel gingen bis zum Fall des napoleonischen Reichs 1813/1814 weiter. Die Befreiungskämpfe in Spanien dienten auch der Großmacht Österreich als Vorbild, um sich von der napoleonischen Vorherrschaft zu befreien. Sie bildeten die fünfte Koalition mit Großbritannien und erklärten Frankreich im April 1809 den Krieg. Österreich hoffte, dass Napoleon mit den Aufständen in Spanien so beschäftigt sei, dass Österreich schnell französische Truppen und die Truppen der Rheinbundstaaten schlagen und somit eine Kettenreaktion an Aufständen gegen die napoleonische Vorherrschaft in Europa erreichen könne. Der Versuch war jedoch erfolglos. Die zunehmende Aristokratisierung Napoleons und die schärfer werdenden Kontrollen und Zensuren im Land führten ab 1807 zu immer größer werdenden Unruhen in der eigenen Bevölkerung Frankreichs. Auch in den unter französischer Kontrolle stehenden Ländern nahm die Unzufriedenheit, insbesondere durch die steigenden Zahlen an bereitzustellenden Soldaten zum Dienst unter Napoleon, zu. Napoleon gelang es dennoch, schnell auf den österreichischen Vormarsch zu reagieren und seine Truppen zu mobilisieren. In der Folge kam es zu zahlreichen Gefechten zwischen Regensburg und Wien, die Napoleon für sich entscheiden konnte. Der Kriegsverlauf schien im Mai 1809 eine Wendung in der *Schlacht bei Aspern* zu nehmen, in der die Österreicher gewannen und Napoleon so am Vorrücken über die Donau nach Wien hinderten. Das war die erste Feldschlacht, seit der Herrschaftsübernahme Napoleons, die er verloren hatte, kriegsentscheidend war diese jedoch nicht. Napoleon mobilisierte in den folgenden Wochen weitere Soldaten und im Juni des gleichen Jahres kam es zur *Schlacht bei Wagram*, wo Napoleon die Österreicher entscheidend schlagen konnte. Auf den Waffenstillstand folgte der *Frieden von Schönbrunn* zwischen Frankreich und Österreich. Österreich blieb zwar eine unabhängige Macht, musste jedoch erhebliche Gebiete an Frankreich und Russland abtreten sowie hohe Kontributionen zahlen und seine Armee auf eine von Napoleon vorgegebene Zahl an Soldaten reduzieren. Ergebnis des fünften Koalitionskriegs war also, dass große Teile des kontinentalen Europas unter der Macht

¹²Dt. Übersetzung: „Hatten die französischen Soldaten in den Jahren bis 1807 die Früchte des Sieges genossen, so wendete sich danach das Blatt.“ S. 13.

Frankreichs und damit Napoleons standen. Russland, als zweite Großmacht, teilte sich seit dem *Frieden von Tilsit* Europa mit Frankreich und die dritte Großmacht, Großbritannien, herrschte auf See. Im folgenden Jahr herrschte Frieden im kontinentalen Europa, wobei die Spannungen zwischen Russland und Frankreich immer größer wurden. Bereits seit 1807 merkte Russland insbesondere die für die eigene Wirtschaft negativen Konsequenzen der Kontinentalsperre. Zu Beginn billigte der Zar vermehrt den Schmuggel britischer Waren, öffnete aber 1810 die Häfen für politisch neutrale Schiffe beladen mit Waren aus Großbritannien. Die Kontinentalsperre war nicht mehr effektiv und Napoleon sah sich seiner Macht bedroht, woraufhin er 1811 den Entschluss fasste, gegen Russland Krieg zu führen. Napoleon begann mit den Kriegsvorbereitungen und hob in Frankreich und seinen verbündeten Staaten tausende neue Soldaten aus. Zusätzlich führte er Gespräche mit Preußen und Österreich, die ihm Soldaten für den Feldzug bereitstellten. Darüber hinaus kümmerte Napoleon sich um ein ausgeklügeltes Versorgungssystem für den Nachschub an Lebensmitteln und lies in Magazinen von Danzig bis Warschau Lebensmittel, Munition und anderen Verbrauchsmittel einlagern. Zusätzlich wurden auch noch Magazine östlich vom Njemen errichtet, das größte dabei in Vilnius, welches Nahrungsrationen für 100.000 Soldaten für 40 Tage eingelagert hatte (Elting 1997). Jedem Soldaten wurden zusätzlich zehn Pfund Mehl zugeteilt, welche er im Tornister mit sich führen sollte (Haythornthwaite 1979). Bis zum Sommer 1812 konnte Napoleon über 600.000 Soldaten mobilisieren und an der Grenze Russlands versammeln. Über 420.000 Männer bildeten die Hauptarmee, die übrigen Soldaten zählten zu den Nachschubtruppen (Fremont-Barnes und Fisher 2004). Am 24. Juni befahl Napoleon den Feldzug gegen Russland und seine Hauptarmee überquerte den Njemen. Begleitet wurde die Armee von einem großen Tross, welcher neben zahlreichen Fuhrwerken mit Nahrung, Kleidung und anderen Gütern auch Schlachtviehherden mitführte, um die Versorgung der Soldaten zu sichern. Nachrückende Soldaten sollten weitere Nahrungsmagazine errichten (Lossau 1845c). Napoleon wollte auch in Russland seiner altbewährten Strategie nachgehen und die russische Armee im Westen Russlands schnell entscheidend schlagen. Die russische Armee, die frühzeitig erkannte, dass sie der napoleonischen Armee zahlenmäßig unterlegen war, verfolgte das System der Defensive und zog sich nach Osten in Richtung Moskau zurück. Napoleon befahl daraufhin Gewaltmärsche, um die russische Armee zur Schlacht zu zwingen. Durch die hohe Geschwindigkeit der Armee konnten die Fuhrwerke auf den schlecht befestigten Wegen nicht mithalten und es kam zum Abbruch der Logistik. Auch das mitgeführte Mehl auf dem Rücken der Soldaten empfanden diese schon sehr frühzeitig im Feldzug als zusätzliche Belastung während des Marschierens und entsorgten es kurzerhand am Wegesrand, ohne über die möglichen Konsequenzen nachzudenken (Mayer 2011). Die Soldaten mussten sich aus dem Land selbst ernähren, doch auf dem Weg nach Moskau passierten sie nur sehr dünn besiedelte Regionen. Dazu hinterließen die russischen Kosaken „verbrannte Erde“, indem sie auf

dem Rückzug nach Moskau Nahrungsmagazine entweder verbrannten oder wegschafften. Eine Kriegsführung, der Russland bereits im Winter 1806/1807 erfolgreich nachging und wo sich erstmals die Grenzen der napoleonischen Armee zeigten. Die Versorgung kam zum Erliegen, die Soldaten wurden frühzeitig nicht mehr mit Lebensmitteln versorgt und die medizinische Versorgung der Soldaten lag brach. Die hygienischen Zustände waren den Umständen entsprechend desolat und die körperliche Verfassung der Soldaten verschlechterte sich zunehmend. Auch die wechselnden Wetterverhältnisse von extremer Hitze und Sonnenschein am Tag zu kühlen Temperaturen und schweren Gewittern in der Nacht setzte der Gesundheit der Männer zu. Viele Soldaten litten unter Dehydrierung, Hunger und erkrankten am Typhus und der Ruhr, sodass auf dem Weg nach Moskau mehr Soldaten an Erschöpfung oder infolge von Infekten starben, als durch kriegerische Auseinandersetzungen. Auf dem Weg nach Moskau kam es lediglich zu zwei größeren Gefechten, der *Schlacht um Smolensk* und der *Schlacht bei Borodino*, die Napoleon beide für sich entscheiden konnte. Der Weg nach Moskau war frei und die napoleonische Armee erreichte die Stadt im September 1812. Die fliehenden russischen Soldaten zündeten Gebäude in Moskau an, um den Franzosen die Möglichkeiten der Plünderung zu nehmen und so brannten ungefähr drei Viertel der Stadt nieder. Napoleon deutete die Besetzung Moskaus als militärischen Sieg Frankreichs über Russland, doch auf ein Friedensangebot des Zaren wartete er fünf Wochen vergebens. Am 19. Oktober ordnete Napoleon den Abzug aus Moskau an. Wie sich im Verlauf des Rückzugs rausstellte, viel zu spät. Nur 100.000 Soldaten verließen Moskau, viele Kranke und Verletzte wurden zurückgelassen. Der Rückzug der napoleonischen Armee wurde zum Todesmarsch. Die Temperaturen fielen bald unter den Gefrierpunkt. Auf dem Rückweg wurden die Reste der Armee von russischen Kosaken verfolgt, während sie Gegenden passierten, die die napoleonischen Soldaten bereits auf dem Hinweg geplündert hatten, sodass kaum etwas zum Essen übrig war. Als Fleischquelle nutzen sie vorrangig die am Wegesrand verendeten Transportpferde, aber es wurden auch Eintöpfe aus Katzenfleisch zubereitet (Forrest 2006). In Zeiten größter Hungersnot wurde das Fleisch auch roh verzehrt und selbst Berichte über Kannibalismus während des Russlandfeldzugs sind übermittelt. Die Soldaten waren schnell extrem mangelernährt und erschöpft und konnten Krankheiten nichts entgegenhalten, sodass selbst eine normalerweise harmlose Erkältung für die Soldaten ein Todesurteil darstellte (Fremont-Barnes und Fisher 2004). Bei der Ankunft in Smolensk war die Armee bereits um die Hälfte der Männer reduziert. Die errichteten Nahrungsmagazine in der Stadt wurden von den ersten Soldaten aufgebrochen und geplündert, sodass viele Lebensmittel und Kleidung verschwendet wurden. Ende November setzten die Reste der napoleonischen Armee über den Fluss Beresina. Bei der Überquerung des Flusses kam es zu zahlreichen Verlusten, da errichtete Brücken unter dem Gewicht der passierenden Soldaten und Fuhrwerke brachen oder Mensch und Tier aus Achtlosigkeit in den Fluss fielen und ertranken.

Zusätzlich erreichten russische Truppen den Fluss und zwangen die napoleonische Armee in die *Schlacht an der Beresina*, die die Russen aber trotz des desolaten Zustandes sowie der zahlenmäßigen Unterlegenheit der französischen Armee nicht für sich entscheiden konnten. Napoleon passierte bereits am 27. November die Beresina und ritt mit seiner Garde nach Vilnius. Seine Armee folgte, wobei die Temperaturen auf dem Weg weiter auf bis zu $-37,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ sanken (Minard 1869). In Vilnius angekommen herrschten ähnliche Zustände wie Wochen zuvor in Smolensk: die Magazine waren schnell geplündert und die Lebensmittel verschwendet, sodass auch hier kaum Ressourcen für die Soldaten vorhanden waren. Nach Bekanntwerden eines Putschversuches gegen Napoleon in Paris übergab dieser das Kommando an seinen General Murat und verließ die Armee am 5. Dezember 1812. Der Feldzug endete für die Reste der einst gefeierten Grande Armée mit dem Eintreffen in der Stadt Königsberg. Insgesamt starben auf dem Feldzug über eine halbe Million Soldaten (Forrest 2006).

Napoleon selbst beschäftigte sich mit der Schadensbegrenzung in Paris und lies ein Bulletin veröffentlichen, in dem er die schweren Verluste der napoleonischen Armee einzig mit dem Kälteeinbruch auf dem Rückmarsch begründete und seinem Volk verkündete, dass Napoleons eigene Gesundheit nie besser war (Bingham 1884c). Die fast vollständige Eliminierung der Grande Armée in Russland bildete die Grundlage für einen von Russland angeführten Widerstand Europas gegen Napoleon. Preußen und Österreich handelten mit Russland eine politische Neutralität aus, die aber im Verlauf des Jahres 1813 schließlich in einem Bündnis gegen Frankreich mündete. Lediglich die Rheinbundstaaten blieben Napoleon zumindest zu Beginn treu. Napoleon gelang es schnell, erneut eine zahlenmäßig starke neue Grande Armée mit über einer halben Million Soldaten auszuheben (Haythornthwaite 1979), die jedoch überwiegend aus kaum ausgebildeten, sehr jungen und körperlich nicht belastbaren Soldaten bestand (vgl. 2.1). Von den hohen Verlusten an Pferden während des Russlandfeldzugs konnte sich die Armee nicht erholen und während der Kampagne von 1813/1814 musste Napoleon mit einem großen Defizit der Kavallerie umgehen. Nach der Kriegserklärung Preußens an Frankreich im März folgten die Befreiungskriege von 1813 bis 1815, in denen sich die Alliierten aus Russland, Preußen, Österreich, Großbritannien, Schweden und Spanien von der Vorherrschaft Napoleons in Europa lösten (Haythornthwaite 1979; Elting 1997; Fremont-Barnes und Fisher 2004; Mayer 2011; Lossau 1845c). In diesem Zeitraum kam es zu zahlreichen Schlachten auf mitteleuropäischem Boden. So auch vom 16. bis 19. Oktober 1813 zur *Völkerschlacht bei Leipzig*, die zu dieser Zeit eine der größten Schlachten der Weltgeschichte war (Neugebauer 1993) und bei der insgesamt über 100.000 Soldaten unterschiedlicher Kontingente verwundet oder getötet wurden (Mayer 2011). Als Konsequenz wendeten sich Napoleons Verbündete der Rheinbundstaaten allmählich von ihm ab und schlossen sich bis Ende des Jahres den Alliierten an. Napoleon erlitt eine schwere Niederlage und musste sich über den Rhein nach

Frankreich zurückziehen. Beim Rückzug seiner Armee wurde das letzte Gefecht auf deutschem Boden vom 30. bis 31. Oktober in der *Schlacht bei Hanau* nahe Frankfurt ausgetragen. Danach konnten die Truppen ihren Weg über den Rhein fortsetzen und passierten dabei den Frankfurter Stadtteil Rödelheim (siehe Kapitel 4.1). Die Befreiungskriege wurden auf französischem Boden fortgesetzt und endeten mit Napoleons Niederlage in der *Schlacht bei Paris* und seiner Abdankung im April 1814. Die Grenzen Frankreichs wurden im *Wiener Kongress* auf das Niveau von 1792 zurückgesetzt, Ludwig XVIII. als König von Frankreich gekrönt und Napoleon von den Alliierten ins Exil auf die Insel Elba verbannt. Ein Jahr später konnte Napoleon dem Exil entkommen und kehrte für 100 Tage an die Macht in Frankreich zurück. Es gelang ihm, eine neue Armee mit 72.000 Soldaten aufzustellen und die alliierten Truppen aus Großbritannien und Preußen am 18. Juni in die *Schlacht bei Waterloo* zu zwingen (Fremont-Barnes und Fisher 2004). Napoleon wurde entscheidend geschlagen und seine *Herrschaft der hundert Tage* endete mit seiner endgültigen Abdankung am 22. Juni 1815. Napoleon wurde als Kriegsgefangener auf die Insel St. Helena gebracht, wo er nur sechs Jahre später am 5. Mai 1821 starb.

2 GRÜNDE FÜR ERFOLG UND NIEDERGANG DER NAPOLEONISCHEN ARMEE

In nicht einmal zehn Jahren gelang es Napoleon und seiner napoleonischen Grande Armée, weite Teile des kontinentalen Europas unter die Macht Frankreichs zu stellen. Sicherlich steht außer Frage und wird auch von Historikern hervorgehoben, dass Napoleon ein Talent für die militärische Kriegsführung besaß (z.B. Bruce et al. 2008; Fremont-Barnes 2010). Schon früh begann er seine militärische Ausbildung, er interessierte sich für Politik und entwickelte einen großen Ehrgeiz, auch selbst einmal „Geschichte zu schreiben“. Bereits vor seinem Militärputsch und der Machtübernahme als erster Konsul übernahm er diverse Entscheidungen auf dem Schlachtfeld, ohne Rücksprache mit dem regierenden Direktorium zu halten (Briefwechsel zusammengefasst in Bingham 1884a; Fremont-Barnes 2010). Das machte ihn bei der Regierung zwar nicht beliebt, erlaubte ihm jedoch viel schneller auf den Feind zu reagieren. Er war ein außerordentlicher Stratege und konnte auch unter Druck einen kühlen Kopf behalten und seine Armee erfolgreich manövrieren (Fremont-Barnes 2010). Politisch hatte er gute Instinkte, die es ihm ermöglichten, die Revolutionsereignisse für seinen militärischen und politischen Aufstieg zu nutzen. Er war außerordentlich beliebt, sowohl auf Seiten der Bürger Frankreichs als auch innerhalb seiner Armee: die Bürger erhofften sich von Napoleon, die Errungenschaften der französischen Revolution zu sichern und den Frieden im Land zu erreichen (Herre 2006; Bingham 1884a). Seine Soldaten verehrten ihn, denn Napoleon brachte ihnen Erfolge auf dem Schlachtfeld und fand in seinen Ansprachen immer die geeigneten Worte, um seine Soldaten zu motivieren. Seine bloße Anwesenheit auf dem Schlachtfeld, so merkte der britische Militärführer Wellington einst an, war so viel wert wie 40.000 Soldaten auf dem Schlachtfeld (z.B. Forrest 2006). Und auch Napoleon selbst war sich seiner Wirkung auf die Soldaten schon früh bewusst, denn er schrieb bspw. 1796 nach der *Schlacht bei Arcole* dem Direktorium „My presence had such an effect on them [the soldiers] that I determined to make another effort to cross [the bridge].“¹³ (Bingham 1884a). Napoleon war bewusst, dass die Moral in einer Armee wichtiger ist als die zahlenmäßige Überlegenheit auf dem Schlachtfeld (Willms 2005). Bereits während der Revolution wurden jegliche feudalen Rechte innerhalb der Armee abgeschafft und es war jedem einfachen Fußsoldaten möglich, zum Offizier befördert zu werden. Dieses System führte Napoleon weiter, ergänzte aber noch weitere Anreize für die Soldaten, sich auf dem Schlachtfeld durch ihre Kampfkraft hervorzuheben. Er ließ bspw. Fahnen diverser Halbbrigaden mit Schriftzügen besticken, die die

¹³ Dt. Übersetzung: „Meine Anwesenheit hatte eine solche Wirkung auf sie [die Soldaten], dass ich beschloss, einen weiteren Versuch zu unternehmen, [die Brücke] zu überqueren.“ S. 120.

Qualitäten dieser hervorheben sollten, er nannte namentlich besonders tapfere Soldaten und Offiziere in den von ihm herausgegebenen Zeitungen und nicht zuletzt stiftete er die sog. Ehrenlegion, für die Männer einen Orden erhalten konnten (Willms 2005).

Neben seinen persönlichen Stärken konnte Napoleon aber auch auf Innovationen innerhalb der Armee sowie der militärischen Kriegsführung zurückgreifen, die zumindest in Teilen ihren Ursprung schon während der französischen Revolution fanden. Diese Neuerungen umfassten im Wesentlichen drei Aspekte:

- i. Rekrutierung und Truppenzusammensetzung
- ii. Truppenbewegung
- iii. Ernährung, Hygiene und Gesundheit

2.1 REKRUTIERUNG UND TRUPPENZUSAMMENSETZUNG

REKRUTIERUNG

Bereits 1791 wurden die ersten Freiwilligen für den Wehrdienst gesucht. Hier stand der Schutz der Revolution im Inneren des Landes gegen die Feinde von außen im Zentrum. Viele Männer folgten dem Ruf, denn der Wehrdienst war bis zu diesem Zeitpunkt eher ein Ausdruck des Nationalstolzes und stellte keine tatsächliche Bedrohung für das eigene Leben dar (Forrest 2006). Im Folgejahr waren es bereits deutlich weniger freiwillige Männer, da durch die ersten Kriegserklärungen des absolutistischen Auslands die Bedrohung für die Gesundheit und das eigene Leben plötzlich zur Realität wurden (Forrest 2006). Um dennoch genügend Soldaten für den Krieg rekrutieren zu können, wurde im Jahr 1793 durch das Gesetz der *Levée en masse* („Massenaushebung“ von Soldaten) jeder Bürger Frankreichs verpflichtet, zur Verteidigung des eigenen Vaterlands zur Verfügung zu stehen. Dabei spielten das Alter, Geschlecht oder der Familienstand prinzipiell keine Rolle. Es wurde festgelegt, dass die jungen, ledigen Männer in den Kampf ziehen sollen, wohingegen die Verheirateten Waffen schmieden und die Versorgung der Truppen organisieren sollen. Die Frauen waren aufgefordert, Zelte und Kleidung zu nähen sowie in den Krankenhäusern zu arbeiten und selbst den Alten und Kindern wurden Aufgaben zugeteilt. Dies war ein Vorläufer der allgemeinen Wehrpflicht, von der sich die Regierung bei der Einführung des Gesetzes eine Aushebung von 500.000 neuen Soldaten wünschte, jedoch kamen nur etwas mehr als die Hälfte in den Lagern der Armee an (Mayer 2011). Durch unterschiedliche Änderungen des Gesetzes kam es zu weiteren Massenaushebungen in den Folgejahren, denn der Verlust an Soldaten an der Front war enorm. Insgesamt wurden 750.000 neue Soldaten bis 1794 verpflichtet, jedoch gab es während der Revolution keinen Anführer, der die große Anzahl Soldaten im Krieg erfolgreich anleiten konnte. Die Soldaten starben auf dem Schlachtfeld, mussten verletzt die Armee verlassen, erlagen

Infektionskrankheiten oder desertierten auf dem Marsch. Und somit blieben von den einst 750.000 eingezogenen Männern bis zum Frühjahr 1799 nur noch knapp 300.000 übrig, wobei es in den ersten Jahren auch keine ernstgemeinten Versuche gab, die verlorenen Soldaten zu ersetzen (Forrest 2006). Das änderte sich jedoch mit der Machtübernahme Napoleons und dem Gesetzesentwurf von Loi Jourdan, der die Einführung der allgemeinen Wehrpflicht in Frankreich vorschlug. Hier wurde gesetzlich festgelegt, dass grundsätzlich alle Männer zwischen 20 und 25 Jahren militärpflichtig waren. Von der Militärflicht vorerst ausgenommen waren dabei beispielsweise Männer, die bereits vor dem Einzug in die Armee verheiratet waren, Waisen mit jüngeren Geschwistern, Söhne von Witwen sowie angehende Priester. Auch wenn bereits ein Bruder in der Armee aktiv oder im Dienst verstorben war, so war der Mann vom Militärdienst befreit und wurde in die Reserve aufgenommen. Dass ein Familienmitglied bereits unter Napoleon gedient hatte, war häufig schwer zu beweisen. Der Rekrut musste Zertifikate anfordern, die vom entsprechenden Regiment häufig nur gegen einen hohen Geldbetrag ausgestellt wurden und nicht selten Fehler aufwiesen, sodass sie bei der Konskriptionsbefreiung schwerlich halfen (Wilkin und Wilkin 2015). Die wehrpflichtigen Männer wurden in fünf Altersgruppen unterteilt, wobei die jüngsten Männer am ehesten in den Krieg eingezogen wurden. Wer genau aus den jeweiligen Altersklassen verpflichtet wurde, wurde per Los entschieden. Die Namen der gesamten wehrpflichtigen Männer wurden auf einer Liste vermerkt und eine Zahl an fortlaufend nummerierten Losen entsprechend der Anzahl Männer auf der Liste in eine Urne geworfen. Jeder Mann musste ein Los ziehen und je niedriger die Nummer auf dem Los, desto höher war die Wahrscheinlichkeit als Soldat eingezogen zu werden. Die ausgewählten Männer wurden im Anschluss medizinisch begutachtet und, vorbehaltlich einer ausgezeichneten körperlichen Verfassung, in die Armee aufgenommen. Die größten Männer wurden in die Kavallerie oder die *Garde impériale* (Kaiserliche Garde) aufgenommen. Die Wehrpflicht wurde in den Folgejahren immer weiter standardisiert und effizienter organisiert, um die von Napoleon stetig steigende Anzahl für den Krieg benötigter Männer zu erreichen (Wilkin und Wilkin 2015). Anders als zu Zeiten des *Ancien Régimes*, wo der Militärdienst durch freiwillige, bezahlte und damit teure Söldner absolviert wurde, waren die Soldaten der Revolution „so billig wie Dreck“ (Zitat des Militärhistorikers J.F.C. Fuller nach Mayer 2011). Wie viele Männer Napoleon jährlich benötigte, war von Jahr zu Jahr unterschiedlich: in relativ friedlichen Jahren wie 1809 und 1810 war der Bedarf an neuen Soldaten sehr gering und es wurden nur wenige Männer eingezogen. In Jahren mit vielen kriegerischen Auseinandersetzungen, wie 1807 und 1808 sowie den Jahren ab 1811 hingegen, war das Kontingent deutlich höher und es wurden aus den unterschiedlichen Départements Frankreichs mehr Soldaten verpflichtet. Auch war es Napoleon möglich, Konskriptionskontingente aus den folgenden Jahren vorzuziehen, um seine Armee schnell zu stärken (Lossau 1845a). Das System

wurde insbesondere unter Napoleon grundlegend unfair für die ärmere Bevölkerungsschicht, denn unter seiner Herrschaft war es Männern möglich, sich aus dem Militärdienst freizukaufen und einen „Stellvertreter“ für sich zu engagieren. Für Napoleon selbst ging es dabei in erster Linie darum, dass er Soldaten in der Armee haben wollte, die „Appetit“ auf den Militärdienst hatten (Forrest 2006). Das Gesetz führte zwangsläufig zu einer Benachteiligung der ärmeren Bevölkerungsschichten, denn die wohlhabenderen Familien nutzten ihr Vermögen, um ihre Söhne vom Dienst zu befreien. Die Soldaten in der Armee waren also nicht unbedingt „hungrig auf den Krieg“, sondern sie waren durch ihre finanzielle Notlage bzw. die ihrer Familie gezwungen, Soldaten zu werden. So waren es hauptsächlich Bauern, Tagelöhner und Handwerker, die an die Front zogen (Elting 1997; Mayer 2011). Das Engagieren eines Stellvertreters wurde mit den Jahren immer schwieriger und mit bis zu 10.000 Francs¹⁴ auch immer kostspieliger (Muhlstein 2008). Insbesondere zum Ende der napoleonischen Ära war Napoleons Bedarf an Soldaten jährlich so hoch, dass auch der aktive Militärdienst des Stellvertreters den Anwerber selbst nicht unbedingt vor der Konskription schützen konnte. So ist es zum Beispiel aus einem Brief des Soldaten Doucet zu entnehmen, in dem er schildert, dass für ihn bereits 1811 ein Stellvertreter den Militärdienst angetreten habe und er aus familiären Gründen bittet, von der Konskription befreit zu werden. Doch obwohl er anbot, noch einen weiteren Stellvertreter zu bezahlen, wurde auch er zwei Jahre später in die Armee eingezogen (Wilkin und Wilkin 2015).

Im Ausland wurden die Wehrpflichtskriterien bei der Auswahl der Soldaten nicht konsequent angewendet, sondern das von Napoleon geforderte Kontingent an Soldaten wurde nach eigenen Regeln zusammengestellt: in der Schweiz bspw. wurde zuerst versucht, die Soldaten mit Geld anzuwerben, das Alter und die körperliche Konstitution der Rekruten spielte nur eine untergeordnete Rolle. Als diesem Ruf nur wenige Freiwillige folgten, wurden im Anschluss sog. Verschwender, Berufslose und uneheliche Väter zum Militärdienst verpflichtet (*Internetquelle 2*).

TRUPPENZUSAMMENSETZUNG

Durch die Einführung der allgemeinen Wehrpflicht setzte sich die Armee also zum größten Teil aus jungen Männern zwischen 18 und 30 (Mayer 2011) bzw. 35 Jahren (Haythornthwaite 1979) zusammen, da zumindest in der Theorie die Dienstverpflichtung nach acht aktiven Jahren in der Armee erfüllt war, wobei Kriegsjahre doppelt gezählt wurden. In der Praxis wusste jedoch jeder Soldat, dass sie dem Militärdienst nach ihrer Einberufung nur durch Desertieren, Invalidität oder Tod entkommen konnten. Daher waren die Soldaten, die erstmals 1798 in der Armee verpflichtet wurden und die Feldzüge unbeschadet überlebten, deutlich älter und kehrten erst 1814 endgültig in die Heimat zurück (Wilkin und Wilkin 2015). Die Altersstruktur unterschied sich auch deutlich

¹⁴ Der Jahreslohn eines Pariser Arbeiters betrug circa 400 Francs.

zwischen den Kriegsjahren der napoleonischen Herrschaft. Zu Beginn waren es deutlich mehr Veteranen der Revolution im fortgeschrittenen Alter, die für Napoleon kämpften. Über die Zeit schieden die Veteranen der Revolution aber durch ihr Alter, Verwundung oder Tod aus der Armee aus und spätestens ab 1810 musste Napoleon zunehmend auf junge Wehrpflichtige zurückgreifen, um die personelle Stärke seiner Armee aufrecht zu erhalten (Haythornthwaite 1979). Ab 1813 verpflichtete er immer häufiger Soldaten aus den Folgejahrgängen, was dazu führte, dass immer jüngere Männer bzw. Jugendliche eingezogen wurden. Insbesondere nach dem Russlandfeldzug, so gibt Haythornthwaite (1979) an, waren sehr viele Soldaten Jugendliche im Alter von 15 bis 16 Jahren, die auch die „Marie-Louises“ genannt wurden. Insgesamt waren 400.000 Soldaten unter 21 Jahren in der Armee verpflichtet. Im selben Jahr beklagte sich selbst ein Präfekt, dass das Rekrutieren der Soldaten katastrophale demographische Konsequenzen hat und dass aus den Jahren 1813 und 1814 niemand bleiben wird, um die Population stabil zu halten (Forrest 1989). Auch Männer aus der Reserve bzw. diejenigen, die aufgrund körperlicher Mängel ausgemustert wurden, wurden ab 1812 vermehrt eingezogen, denn „als die schönste Armee, die je auf den Beinen stand, auszog, um Russland zu bekriegen, da wurde das Innere des Landes von Truppen entblößt, die natürlich wieder ersetzt werden mussten, wenn auch nicht nach der Qualität, so doch nach der Quantität.“ (Röhrig 2008).

Auch der Anteil ausländischer Soldaten in der Armee nahm bis zum Jahr 1812 stetig zu, da Napoleon unter französischer Herrschaft stehende Länder dazu zwang, auf eigene Kosten Kontingente an Soldaten im Kriegsfall zu stellen. Dies gipfelte bei den Vorbereitungen des Russlandfeldzuges, bei dem nur jeder dritte Soldat Franzose war (Forrest 2006). Die übrigen Soldaten stammten aus dem Ausland wie bspw. den deutschen Verbündeten aus den Rheinbundstaaten, den Österreichern und Preußen (Waldburg-Truchsess 1815 nach Price 2015; Fremont-Barnes und Fisher 2004). Nach dem Russlandfeldzug nahm der Anteil ausländischer Soldaten in der Armee wieder ab, da Soldaten ehemals verbündeter Länder im Zuge der Befreiungskriege von Napoleon abfielen.

Auch Frauen waren ein fester Bestandteil der napoleonischen Armee. Während des *Ancien Régime* folgte ein großer Tross an Frauen und Kindern sowie Fuhrwagen mit Lebensmitteln und Gebrauchsgütern der Armee. Die Frauen begleiteten die Soldaten und übernahmen alltägliche Aufgaben wie das Waschen und Flickern von Kleidung, das Beschaffen und Verkochen von Nahrungsmitteln sowie das Pflegen von Kranken und Verwundeten. In der napoleonischen Armee wurde ein so großer Tross abgeschafft bzw. nur bei großen Feldzügen, bspw. dem Russlandfeldzug, mitgeführt, da die Familien die Beweglichkeit der Soldaten einschränkten und auch die für die Soldaten bestimmten Lebensmittel aufbrauchten (z.B. Haythornthwaite 1979; Mayer 2011; Wilkin und Wilkin 2015). Daher wurde ab 1793 genau festgelegt, dass pro Bataillon vier Wäscherinnen und

zwei Marketenderinnen, auch *vandières* bzw. *cantinières* genannt, erlaubt sind (Mayer 2011). In den meisten Fällen waren die Frauen mit einem im Bataillon dienenden Soldaten verheiratet und waren für den Verkauf von in erster Linie Genussmitteln wie Schnaps, Tabak und Kaffee zuständig. Aber es gibt auch Berichte über Frauen, die ihren Männern bis in den Kampf folgten, die Männer mit gratis Schnaps versorgten und Verletzte vom Schlachtfeld trugen (Haythornthwaite 1979; Mayer 2011). Darüber hinaus gab es auch Frauen, die als Soldatinnen in der napoleonischen Armee Bestandteil waren: einige dieser Frauen folgten ihrem Ehemann bzw. Geliebten, indem sie eine männliche Identität annahmen, einige zogen aber tatsächlich in die Schlacht und kämpften für ihre Überzeugung (Haythornthwaite 1979).

2.2 TRUPPENBEWEGUNG

“We marched to the right, to the left, forward, sometimes backward; in short, we were always marching: very often we knew not why.”¹⁵ (Blaze und Haythornthwaite 1995)

Die hohe Mobilität der Soldaten Napoleons wird als wesentlicher Grund für den Erfolg seiner Armee angegeben. Er verstand es wie kein anderer, dass Geschwindigkeit und das Überraschungsmoment kampfscheidend sein können (Forrest 2006). Somit trieb er seine Armee stets zu schnellen Truppenbewegungen an, wodurch die Grande Armée zu den schnellsten Armeen in ganz Europa zählte (Mayer 2011). Napoleon führte offensive Bewegungskriege, die regelmäßig in der Endphase eines Feldzuges in Gewaltmärschen mündeten (Willms 2005). Aus Briefen von Soldaten geht hervor, dass das Marschieren zum Alltag gehörte. Die Soldaten legten dabei große Distanzen von nicht selten 40 Kilometern am Tag zurück (Wilkin und Wilkin 2015). Die Anzahl und Dauer der Pausen waren dabei strikt reguliert: im Idealfall wurde jede Stunde eine fünfminütige *halte de pipe*, die sog. Raucherpause, eingelegt und zur Mittagszeit wurde eine Stunde vorgesehen (Mayer 2011). Es gab jedoch ebenfalls Märsche, bei denen auf Pausen gänzlich verzichtet wurde. So berichtet der Capitaine Elzéar Blaze von dem Marsch zur *Schlacht von Austerlitz*, auf dem die Armee pausenlos, Tag und Nacht, in nur 36 Stunden 160 km¹⁶ zurücklegten (Blaze und Haythornthwaite 1995). Insbesondere Nachtmärsche stellten dabei eine besondere Herausforderung dar, bei denen die Soldaten nicht selten während des Gehens einschliefen (Blaze und Haythornthwaite 1995; Mayer 2011). Der Soldat Jean-Joseph Henry schreibt in seinem Tagebuch, dass er während seines Militärdienstes von 1807 bis 1814 so viel marschierte, so dass er jeden Monat ein paar Schuhe

¹⁵ Dt. Übersetzung: "Wir marschierten nach rechts, nach links, vorwärts, manchmal rückwärts, kurzum, wir marschierten immer, oft wussten wir nicht warum." Kapitel 3, S. 1.

¹⁶ 40 Leagues.

verschlissen habe (Wilkin und Wilkin 2015). Die Ausrüstung der Soldaten, insbesondere der Schuhe, kann nämlich trotz der hohen Anforderungen an sie grundsätzlich als mangelhaft beschrieben werden (Röhrig 2008). Dabei war die Wichtigkeit von insbesondere gutem Schuhwerk Napoleon selbst bewusst. Bereits 1796 bemängelte er bei der Übernahme der Italienarmee, dass es an wichtiger Ausrüstung wie Schuhen und Uniformen fehlte (Bingham 1884a). Und auch aus dem Jahr 1805 ist ein von Napoleon geführtes Gespräch mit einem Schuhhändler überliefert, indem er sagt „*shoes make marches possible, and marches win battles.*“¹⁷ (Elting 1997). Daher sah er in seiner Armee vor, dass jedem Infanteristen spätestens alle drei Monate ein neues Paar Schuhe zustand (Elting 1997). Die Schilderungen der Soldaten in ihren Briefen an Freunde und Familie zeigen jedoch eine ganz andere Realität (zusammengestellt in Wilkin und Wilkin 2015). Die Soldaten Pierre Bux (1806) und Joseph-Martin Launoy (1811) schreiben an ihre Familien, dass sie so schlecht gekleidet sind, dass sie Barfuß marschieren müssen und nahezu nackt in den Winter ziehen. Und auch auf Zeichnungen werden die einfachen Fußsoldaten häufig in zerlumpten Uniformen barfüßig abgebildet, da die Schuhe sich zuerst abnutzten (Bruce et al. 2008). Regelmäßig klagten die Soldaten in Briefen an ihre Familien in erster Linie über die Erschöpfung vom Marschieren und Schmerzen in den Füßen. Insbesondere durch schlecht sitzende Kleidung und zu große Schuhe, so beschreibt Jean-Guillaume Cordier (1811), bekam er viele Verletzungen an den Füßen (Wilkin und Wilkin 2015). Auch gibt es Berichte über einen Diskurs zwischen Dominique-Jean Larrey, Chefchirurg und Leibarzt Napoleons, und Napoleon selbst bezüglich dessen Frage, warum es so viele Hinkende in der Armee gäbe. Larrey soll geantwortet haben, dass die Knochen der jungen Männer noch nicht ausgereift seien und deshalb für Gewaltmärsche noch nicht geeignet wären. Diesen Märschen schrieb Larrey auch die nun vielfältig auftretenden Frakturen der Fußknochen zu, die er Rekrutenbrüche nannte (Marchioni 2003 nach Muhlstein 2008).

Die hohe körperliche Belastung wurde durch das mitgeführte Gepäck noch verstärkt. Jeder einfache Fußsoldat führte seine gesamte Ausrüstung auf dem Rücken mit. Die Tornister konnten im Schnitt 17 kg¹⁸ wiegen (von Segur 1835), da in ihnen unter anderem Nahrungsmittel, Wechselkleidung sowie Reservemunition transportiert wurden. Zusätzlich trugen die Soldaten unter anderem noch ihr Bajonett, die Trinkflasche und einen Topf auf dem Rücken, sodass sie im Schnitt mit 30 kg¹⁹ zusätzlichem Gewicht marschierten (Blaze und Haythornthwaite 1995). Die so bestrittenen Märsche forderten ihren Tribut und endeten häufig darin, dass gut die Hälfte, manchmal auch achtzig Prozent der Soldaten ermüdet auf der Strecke zurückblieben und erst später ihr Ziel erreichten (Blaze und Haythornthwaite 1995).

¹⁷ Dt. Übersetzung: „Schuhe machen Märsche möglich, und Märsche gewinnen Schlachten.“ S. 371.

¹⁸ 33 Pfund 12 Unzen.

¹⁹ 60 Pfund.

2.3 ERNÄHRUNG, HYGIENE UND GESUNDHEIT

„Was wir aber jenseits des Rheines ausgestanden hatten und wie viel wir da die größte Zeit mit dem Hunger zu kämpfen hatten, mich darüber hinreichend auszudrücken, dafür weiß ich keine Worte zu finden und es ist auch kein Mensch imstande, sich nur im geringsten einen Begriff darüber zu machen.“ (Röhrig 2008, S. 75)

Im *Ancien Régime* wurde sich um die Sicherstellung der täglichen Versorgung der Soldaten gekümmert, indem sog. Nahrungsmagazine angelegt wurden, von denen sich die Armee ernähren konnte. Die Magazine hatten jedoch einen entscheidenden Nachteil, denn die Truppen durften sich nur in einem gewissen Radius vom Magazin entfernen, da sonst die Versorgung der Armee zusammengebrochen wäre. Dies hatte zur Folge, dass die Feldzüge sehr langsam waren und die Armeen sich häufig nur von einem Magazin in die Reichweite eines anderen bewegten (Bernoulli 1943). Für Napoleon selbst stand die Geschwindigkeit seiner Armee im Vordergrund, daher bediente er sich bei der Lebensmittelversorgung der napoleonischen Armee vorrangig dem Wallensteiner Grundsatz, der beschreibt, dass sich die Armee selbst erhalten müsse und dass der Krieg den Krieg ernährt (Röhrig 2008). Die Magazinvorräte wurden im Normalfall auf das Nötigste reduziert und lediglich bei langen Feldzügen wurden weitere Lebensmittel eingelagert. Jeder Soldat trug ab 1805 vier Tagesrationen an Brot in seinem Tornister auf dem Rücken. Zwieback für weitere vier Tage wurde auf dem Proviantwagen der Marketender mitgeführt. Andere Nahrungs- und sonstige Genussmittel wurden entweder von den Soldaten vor Ort käuflich erworben oder durch streng geregelte Requisition beschafft und an die Armee ausgegeben (Bernoulli 1943). Die Soldaten lebten „von der Hand in den Mund“, wobei diese Art der Selbstversorgung nur dann gestattet war, wenn die Soldaten die Zivilisten für die Lebensmittel auch entlohnten, gewaltsame Plünderungen waren strikt verboten. Aus zahlreichen Briefen der Soldaten an ihre Familien geht jedoch hervor, dass sie häufig nur wenig bis kein Geld besaßen, da sie zum Beispiel über lange Zeit ihren Sold nicht erhielten und auch andere Möglichkeiten des Akquirierens von Geld, zum Beispiel durch Leichenfledderei auf dem Schlachtfeld, wegfielen. Darüber hinaus gaben die Soldaten ihr Geld gerne sofort aus, denn sie fürchteten am meisten, mit gefülltem Geldbeutel auf dem Schlachtfeld zu sterben (Blaze und Haythornthwaite 1995). In vielen Regionen waren Lebensmittel dazu noch sehr teuer, so dass viele Soldaten trotz strenger Verbote vor gewaltsamer Plünderung nicht zurückschreckten. Von der Bevölkerung wurden die Soldaten dafür gehasst. In der napoleonischen Armee war dies eine gängige Praxis und wurde auch von den meisten Vorgesetzten toleriert, da sie häufig auch selbst davon profitierten. Die Soldaten gingen dabei äußerst rücksichtslos vor, denn sie plünderten teils gut zwanzig Mal mehr, als sie überhaupt essen konnten, und die Reste ließen sie

vergehen. Sie überlegten auch nicht, was sie am nächsten Tag essen könnten und handelten egoistisch, denn dass weitere Truppenteile anreisen und ebenfalls Lebensmittel benötigen, das ließen sie bei ihren Plünderzügen außer Acht (Blaze und Haythornthwaite 1995). In reichen Regionen konnte das System der Selbstversorgung dennoch erfolgreich sein und die Zusammensetzung des „Speiseplans“ war vom Angebot des Aufenthaltsortes abhängig. Im Idealfall wurde den Soldaten täglich Fleisch, Gemüse und stärkehaltige Lebensmittel wie Reis und Brot ausgeteilt. Auch alkoholische Getränke wie Wein und Schnaps waren im Soldatenleben ein Grundnahrungsmittel, denn sie ließen sie die körperliche Belastung besser ertragen und waren häufig auch unbedenklicher zu trinken, als es das eigentliche Trinkwasser war (Mayer 2011). Auch dem Rauchen oder Kauen von Tabak wurde regelmäßig nachgegangen, denn das ließ die Soldaten den Alltag vergessen (Forrest 2006). Exotischere Delikatessen wie Oliven, Knoblauch oder Schokolade konnten in „guten Zeiten“ auf dem Speiseplan stehen. Jedoch war eine vollwertige Ernährung eher selten und die einseitige Verpflegung mit Brot, Fleisch und Wein kann aus ernährungsphysiologischer Sicht als mangelhaft und für die harte körperliche Arbeit der Soldaten als unzureichend beschrieben werden (z.B. Haythornthwaite 1979; Forrest 2006; Mayer 2011). In ärmeren Regionen oder wenn sich zu viele Soldaten zu lange an ein und demselben Ort aufhielten, war selbst die Lebensmittelversorgung der Soldaten mit dem Nötigsten schnell nicht mehr gewährleistet. Ärmere Länder wie zum Beispiel das teils unter preußischer Macht stehende Polen waren von Armut betroffen und konnten somit selbst nichts liefern, was die Armee hätte requirieren können (Haendcke 1933). Der vorherrschende Hunger und die teils desolaten Zustände bei zahlreichen Etappen der napoleonischen Kriege sind durch Erzählungen der Soldaten überliefert. Beispielsweise beschreibt der Soldat Thomas-Joseph Charlier die Zustände zum Ende des vierten Koalitionskrieges, bei dem die Soldaten fast zwei Wochen kein Brot und auch kein sauberes Trinkwasser erhielten (Wilkin und Wilkin 2015). Die Engpässe in der Versorgung nahmen während des sechsten Koalitionskrieges, insbesondere dem Russlandfeldzug, katastrophale Formen an (vgl. Kapitel 1).

Trotz der schweren physischen Belastungen, die die Soldaten täglich ertragen mussten, konnten sie sich auch während der Nacht nicht erholen, denn während der Feldzüge wurden die Soldaten nicht in Kasernen oder in Häusern der zivilen Bevölkerung untergebracht, sondern mussten unter freiem Himmel im sog. Biwak schlafen. Napoleon ging es dabei in erster Linie darum, dass seine Soldaten stets einsatzbereit sein sollten und auch auf Überraschungsangriffe des Feindes schnell reagieren konnten. Das Biwakieren bereitete bei trockenem Wetter keine großen Schwierigkeiten, erst bei Nässe, Kälte oder sogar Schnee wurde die Übernachtung zur Tortur. Die Soldaten waren zwar bemüht, sich aus Zweigen, Laub und Stroh Unterstände und eine Art Matratze zu bauen, aber häufig waren auch diese Voraussetzungen nicht gegeben, sodass die Männer den Witterungsbedingungen

schutzlos ausgeliefert waren (Mayer 2011). So beklagt sich Simon Pip bei seinen Eltern, dass sein Regiment bereits seit 5 Monaten auf dem Sandboden schlafen müsse, da das Stroh zu Dung vergangen ist und sie es daher ins Meer werfen mussten (Wilkin und Wilkin 2015). Auch Elzéar Blaze beschreibt, dass das Biwakieren von niemandem als angenehm empfunden wurde, sondern dass die Männer nur aus purer Erschöpfung einschliefen. Sie wachten morgens manchmal bedeckt mit Schnee und Eis auf, was dazu führte, dass selbst junge Soldaten teils schon unter Gicht und Rheuma litten (Blaze und Haythornthwaite 1995; Forrest 2006). Die Uniformen mussten die Soldaten im Nachtlager angezogen lassen und die Schuhe durften nicht abgelegt werden, da der Feind jederzeit angreifen könnte. Die Soldaten berichteten, dass sie wochenlang weder ihre Schuhe noch Uniformen ablegen konnten (Mayer 2011; Wilkin und Wilkin 2015) und Elzéar Blaze merkt an, dass ein Außenstehender sich kaum vorstellen könne, wie dreckig diese jungen Männer waren (Blaze und Haythornthwaite 1995). Es ist dabei nicht schwer vorstellbar, dass die tägliche Körperpflege in der Regel nicht möglich war, häufig weil noch nicht einmal sauberes Wasser für die Reinigung, Rasur oder das Waschen der Kleidung zur Verfügung stand (Mayer 2011). Aber auch wenn den Soldaten Wasser zur Verfügung stand, war der Zugang zu Hygieneartikel, bspw. auch zur Zahreinigung, stark begrenzt (Haythornthwaite 1979; Binder und Quade 2018). Zwar gab es bereits Zahnbürsten, diese waren aber nur für die wenigstens finanziell erschwinglich (Wahl und Zink 2013) und daher wurde die Mundhygiene im 18. Jahrhundert allgemein eher vernachlässigt (Palubeckaitė-Miliauskienė et al. 2006; Binder 2008).

Die schwere körperliche Belastung, die Mangelernährung und die teils katastrophalen hygienischen Bedingungen mündeten in einer allgemein schlechten körperlichen Verfassung der Soldaten. Das schlimmere Übel waren jedoch Krankheiten, da Parasiten und Bakterien aufgrund der schlechten Lebensbedingungen innerhalb der Armee einen geeigneten Nährboden fanden, um sich rasant auszubreiten und mehr Soldaten zu töten, als die gesamten Kampfhandlungen auf den Schlachtfeldern zusammengenommen (Forrest 2006; Mayer 2011; Wilkin und Wilkin 2015). Insbesondere durch das Biwakieren unter freiem Himmel litten die Soldaten häufig an respiratorischen Erkrankungen, die sie sich in erster Linie bei nass-kaltem Wetter bspw. in Russland zugezogen haben (Elting 1997), was für die geschwächten Männer häufig schon ein Todesurteil darstellen konnte (Fremont-Barnes und Fisher 2004). Ebenfalls litten die Soldaten häufig unter Durchfallerkrankungen, die zum Beispiel durch den Verzehr von rohem und verdorbenem Fleisch, dem Trinken von kontaminiertem Wasser oder durch die Darmbesiedlung von Endoparasiten hervorgerufen werden konnten. Andere parasitäre Erkrankungen, wie die durch die Skabismilbe ausgelöste Hauterkrankung Krätze und der Befall mit der Kopf- und Kleiderlaus (beide der Gattung der Menschenläuse, *Pediculus humanus*, zugeordnet), waren innerhalb der Armee weit verbreitet (Wilbrand 1884; Wilkin und Wilkin 2015). Parasiten konnten sich sehr leicht von einem auf den

anderen Soldaten übertragen, da die Soldaten eng beieinander lebten, sich teilweise einen Schlafplatz teilten und auch die ausgeteilten Uniformen und Rucksäcke häufig bereits zuvor getragen waren. Dieser schnelle Übertragungsweg war tückisch, denn die Läuse waren Vektoren für verschiedene Krankheitserreger, die innerhalb der Armee, aber auch in der Zivilbevölkerung, die gefürchtete Fiebererkrankung Typhus²⁰ auslösten. Darüber hinaus litten die Soldaten auch an Geschlechtskrankheiten wie der Syphilis, die der Regimentsarzt Dr. Hahn im Zeitraum zwischen 1809 und 1811 im französischen Militärhospital als einen „kolossalen Bestand“ beschreibt (Wilbrand 1884). Ein Zustand, der nicht verwunderlich erscheint, denn die Soldaten in der Armee waren keineswegs keusch, die Sexualkontakte häufig und das Tragen von Kondomen²¹ als Präventionsmaßnahme gegen sexuell übertragbare Krankheiten noch nicht geläufig. Auch wenn sie nur selten in ihren Briefen an die Familien detailliert über ihre Liebschaften sprachen, so können vereinzelt Passagen gefunden werden, in denen Sie über Frauen sprechen. Toussaint Walthéry schreibt bspw. seinem Vater über die Österreicherinnen „*[they] have the faces of monkeys, the arms of dogs and the feet of camels. They are so beautiful that I want to bring one home.*“²² (Wilkin und Wilkin 2015). Die Beschreibung des Aussehens der Frauen wirkt aus heutiger Sicht etwas abstrakt, lässt aber zumindest den Rückschluss zu, dass die französischen Soldaten durchaus romantisches Interesse für die „exotischen Ausländerinnen“ besaßen. Für viele Soldaten stand jedoch eher das sexuelle Interesse im Vordergrund, sodass viele Soldaten kurze einvernehmliche Liaisons mit den lokalen Frauen hatten, aber auch Überlieferungen über Vergewaltigungen der Einheimischen durch die durchreisenden Franzosen gibt es zahlreich. Darüber hinaus wurde die Armee von Prostituierten begleitet, deren Dienste die Soldaten häufig in Anspruch nahmen, obgleich sie dieses eher selten zugegeben haben (Forrest 2006; Mayer 2011; Wilkin und Wilkin 2015).

Im Soldatenalltag nahm die direkte Kampfhandlung auf dem Schlachtfeld eher einen kleinen Stellenwert ein, da die Teilnahme im Gefecht eher als kurze Momente extremer Gewalt im jahrelangen Militärdienst wahrgenommen wurden (Forrest 2006; Mayer 2011). Aber natürlich konnten die Kämpfe in Tod oder Verwundung der Soldaten enden. Die medizinische Versorgung der damaligen Zeit war entsprechend gut. Jedes Bataillon wurde durch einen Arzt, „Chirurgien major“, mit bis zu zwei Assistenten, den „Chirurgien aides“, begleitet und nicht zuletzt durch die Einführung der „fliegenden Lazarette“ konnten verletzte Soldaten direkt am Schlachtfeld behandelt werden (Skandalakis et al. 2006). Hinzu kamen neue Erkenntnisse bei der Diagnose eines

²⁰ Der Begriff „Typhus“ wurde als Synonym für zahlreiche Fiebererkrankungen verwendet (vgl. Material und Methoden).

²¹ Bzw. zur damaligen Zeit das Verwenden von Tierdärmen als Verhütungsmittel.

²² Dt. Übersetzung: „[sie] haben die Gesichter von Affen, die Arme von Hunden und die Füße von Kamelen. Sie sind so schön, dass ich einen mit nach Hause nehmen möchte.“ S. 56.

Schockzustandes nach schweren Verwundungen, die Erkenntnis, dass Unterkühlung von Körperteilen schmerzlindernde Wirkung besitzt (Remba et al. 2010) sowie die Weiterentwicklung der Amputationstechnik (Welling et al. 2010), die die Behandlungsmöglichkeiten verletzter Soldaten verbesserte. Dennoch war das medizinische Wissen begrenzt und die Vorstellung, dass mikroskopisch kleine Organismen Krankheiten hervorrufen können und diese von Mensch zu Mensch durch bspw. blutsaugende Insekten übertragen werden können, jenseits des Verständnisses der Zeit. Häufig zogen die Ärzte dennoch richtige Rückschlüsse aus falschen Annahmen (Elting 1997), wie am Beispiel des "tertian" und "quartan" Fiebers, heute bekannt als Fieberschübe der *Malaria tertiana* bzw. *Malaria quartana*, gezeigt werden kann. Die Ärzte nahmen an, nachdem es zu vielen Fiebererkrankungen der Soldaten kam, dass es „ansteckenden Ausdünstungen“ von verrottendem Pflanzenmaterial im Sumpf gibt und das Lager der Soldaten daher besser woanders aufgeschlagen werden sollten. Die Fiebererkrankungen gingen daraufhin zurück, aber nicht, weil die „Ausdünstungen“ fehlten, sondern sich die Armee aus dem Schlupfgebiet der Anophelesmücke²³ zurückgezogen hatte (Elting 1997). Obwohl das medizinische Verständnis der Ärzte limitiert war, wussten sie bspw. dennoch, dass Sauberkeit während Operationen wichtig ist und dass Alkohol und Essig desinfizierende Wirkung haben. Auch war ihnen bewusst, dass Operationen frühzeitig, vor Einsetzen einer möglichen Infektion, durchgeführt werden sollten und Amputationen betroffener Gliedmaßen häufig der vielversprechendste Ansatz waren (Elting 1997). Nichtsdestotrotz wurden in zeitgenössischen Schilderungen die Zustände in den Lazaretten fast ausschließlich als desaströs dargestellt und die Soldaten hatten Angst, in diese eingeliefert zu werden, da nur wenige Männer gesund aus dem Lazarett zurückkehrten (Mayer 2011; Wilkin und Wilkin 2015). Tatsächlich war die Angst nicht unbegründet und Berichte über amputierte Gliedmaßen, die in den Gängen der Hospitäler zu Pyramiden gestapelt wurden, Blutlachen, ständige Schreie in den Gängen und über einen vorherrschenden bestialischen Gestank sind zahlreich (Lemaire 1999 nach Wilkin und Wilkin 2015). Das größte Problem war damals, dass es insbesondere in kampfreichen Jahren und in Lazaretten nahe dem Schlachtfeld zu wenig Personal auf zu viele kranke und verletzte Soldaten gab. Die Lage spitzte sich weiter zu, nachdem bei dem Russlandfeldzug nicht nur hunderttausende Soldaten starben, sondern es auch starke Einbußen unter dem medizinischen Personal gab, da den Feldzug nur ein Viertel der Chirurgen überlebte (Wilkin und Wilkin 2015). Mayer (2011) errechnet, dass es allein bei der Leipziger Völkerschlacht 120.000 Tote oder Verletzte gab, was bei einem Verhältnis von einem Gefallenen auf vier Verwundete zu circa 100.000 zu versorgenden Soldaten in nur drei Tagen führte. Er schlussfolgerte, dass kein Hospital so einem „Ansturm“ gerecht werden konnte und es in solchen

²³ Die Anophelesmücke ist Vektor verschiedener einzelliger Endoparasiten der Gattung Plasmodium, die zur Malariaerkrankung führen.

Situationen schon sehr früh am Nötigsten wie Verbandmaterial, Medizin oder auch Alkohol zum Desinfizieren mangelte, sodass Kranke und Verwundete nicht adäquat versorgt werden konnten (Haendcke 1933). Das Risiko, an Gangrän, anderen Formen der Gewebsnekrose oder der Osteomyelitis zu erkranken und daran zu sterben, stieg. Soldaten berichten darüber, dass nach durchgeführten Amputationen die Verbände häufig tagelang nicht gewechselt wurden und es insbesondere bei hohen Temperaturen zur Infestation von Maden in den Wunden kam (Lemaire 1999 nach Wilkin und Wilkin 2015) - ein Zustand, so vermerkten die Chirurgen, der die Wundheilung aber sogar begünstigte, da die Maden nur das nekrotische Gewebe fraßen, nicht das gesunde (Elting 1997). Zusätzlich geriet regelmäßig die Versorgung der in den Krankenhäusern liegenden Soldaten mit Nahrung ins Stocken und die hygienischen Bedingungen waren katastrophal, sodass sich die Männer in noch schlechterer körperlicher Verfassung befanden (Haendcke 1933). Das Risiko, am gefürchteten Typhus zu erkranken, war sehr hoch, da die Ansteckungsgefahr nur durch präventive Maßnahmen, wie eine strikte Quarantäne der Erkrankten und ein Eliminieren der Vektoren (vgl. oben), reduziert werden konnte. Effektive Medikamente zur Bekämpfung der Krankheit gab es nicht, eine Genesung war im Wesentlichen von der körperlichen Verfassung des Betroffenen abhängig (Elting 1997).

3 ZIELSETZUNGEN DER ARBEIT

In dieser Arbeit sollen die menschlichen Überreste napoleonischer Soldaten, die in Rödelheim (Frankfurt am Main) geborgen wurden, umfassend anthropologisch untersucht werden. Die sorgfältige archäologische Bergung der Skelette, der mehrheitlich sehr gute Überlieferungszustand der Individuen sowie die Möglichkeit, genetisch, morphologisch und morphometrisch zu arbeiten, bilden die Voraussetzung, die geschichtlichen Überlieferungen zum Leben der Soldaten in der napoleonischen Armee anthropologisch abzubilden. Im Zentrum der Untersuchung steht dabei vorrangig die Frage, ob sich historischen Überlieferungen zum Leben der Soldaten sowie Gründen für Erfolg und Niedergang der napoleonischen Armee durch naturwissenschaftliche Methoden genähert werden kann. Die Ergebnisse sollen damit die historischen Daten bestätigen oder gar ergänzen.

Zu Beginn der Untersuchungen soll das überlieferte Skelettmaterial gereinigt und die Mindestindividuenzahl des Skelettkollektivs vorrangig mittels morphologischer Methoden ermittelt sowie die Ergebnisse über die Molekulargenetik abgesichert werden. Im Anschluss sollen die Skelette vollumfassend anthropologisch untersucht werden. Hierzu werden zahlreiche morphologische, morphometrische und molekulargenetische Methoden angewendet, um sich mit Themenkomplexen „Rekrutierung und Truppenzusammensetzung“, „Truppenbewegung“ sowie „Ernährung, Hygiene und Gesundheit“ zu befassen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen genutzt werden, um die historischen Überlieferungen zu den Gründen für den Erfolg und Niedergang der napoleonischen Armee (vgl. Kapitel 2) zu prüfen. Die unterschiedlichen Themenkomplexe und Fragestellungen dieser Arbeit werden in den folgenden Unterkapiteln beschrieben und es ist aufgeführt, mit welchen naturwissenschaftlichen Methoden die Fragestellungen bearbeitet werden sollen. Eine detailliertere Beschreibung der Methoden ist im entsprechenden Methodenkapitel dieser Arbeit gegeben. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden unmittelbar im naturwissenschaftlichen sowie historischen Kontext diskutiert. Abschließend sollen die einzelnen Ergebnisse der Untersuchungen zusammengeführt werden, wodurch sich die Lebensbedingungen der Soldaten innerhalb der napoleonischen Armee rekonstruieren lassen sollen.

3.1 ANTHROPOLOGISCHE ANNÄHERUNG AN REKRUTIERUNG UND TRUPPENZUSAMMENSETZUNG

In Frankreich wurde während der Französischen Revolution erstmals die Wehrpflicht eingeführt, durch die alle Franzosen zwischen dem 20. und 25. Lebensjahr verpflichtet waren, für den Militärdienst zur Verfügung zu stehen. In der vorliegenden Arbeit sollen Erkenntnisse gewonnen werden, ob sich die **Rekrutierungskriterien und die Truppenzusammensetzung** auch an den Skeletten abbilden. Hierfür sollen die biologischen Basisdaten (Alter, Geschlecht, Körperhöhe) morphologisch bzw. morphometrisch an den Skeletten der Soldaten aufgenommen sowie osteometrische Untersuchungen ausgewählter Knochen zur Erfassung allgemeiner Robustizität durchgeführt werden. Bei der Geschlechtsdiagnose sollen die morphologischen Methoden durch die Molekulargenetik abgesichert bzw. ergänzt werden.

Darüber hinaus soll die Frage untersucht werden, ob sich an den Skeletten Hinweise auf ein **Freikaufen der wohlhabenden Bevölkerungsschicht** aus dem Militärdienst finden lassen. Hierfür soll untersucht werden, ob Individuen des Kollektivs einem niederen sozialen Stand angehört haben können, welcher sich am Skelett abbilden kann. Insbesondere Mangel an wichtigen Nährstoffen in der frühen Kindheit kann durch die Analyse von Schmelzhypoplasien an den Zähnen identifiziert werden. Weitere skelettmanifeste Pathologien wie Osteomalazie oder Skorbut, aber auch starke, altersuntypische degenerative Veränderungen an der Wirbelsäule oder den großen Gelenken, können Hinweise auf eine entbehrensreiche Kindheit und einem ärmeren sozialen Stand geben. Aus den historischen Überlieferungen geht hervor, dass auch ein hoher Anteil ausländischer Soldaten unter Napoleon diente. Um sich der **Rekrutierung über Europa** nähern zu können, sollen populationsgenetische Daten auf Basis autosomaler und Y-chromosomaler Short Tandem Repeats (STRs) erhoben werden. Durch eine statistische Auswertung mit verschiedenen rezenten Referenzpopulationen soll die regionale Herkunft der Individuen rekonstruiert werden und damit die Truppenzusammensetzung näher beschrieben werden.

Die gewonnenen Daten sollen im Anschluss mit Daten verschiedener Referenzpopulationen napoleonischer Soldaten unterschiedlicher Zeitstellung verglichen werden. Im Fokus soll stehen, Hinweise auf Unterschiede hinsichtlich der Rekrutierungsstrategie zu finden, die nach den historischen Überlieferungen während der Herrschaftsjahre Napoleons voneinander deutlich abweichen konnte.

3.2 ANTHROPOLOGISCHE ANNÄHERUNG AN TRUPPENBEWEGUNG

Die napoleonischen Soldaten zählten zu den schnellsten Truppen ihrer Zeit und marschierten andauernd, häufig auch über Nacht, quer durch Europa. Dabei trugen die einfachen Fußsoldaten ihre gesamte Ausrüstung auf dem Rücken. Dies stellt eine **hohe physische Belastung** für die jungen Soldaten da, die auch am Skelett nachweisbar sein kann. Im Rahmen dieser Arbeit sollen die Skelette zum einen auf altersuntypische degenerative Veränderungen an Wirbeln und den großen Gelenken untersucht werden. Insbesondere an der Wirbelsäule gibt es darüber hinaus weitere morphologisch identifizierbare Veränderungen, die Hinweise auf erhöhte Belastung geben können. Hier sind es bspw. die Abdrücke Schmorlischer Knorpelknötchen in den Wirbelkörperdeckplatten sowie verknöcherte Sehnenansätze des *Ligamentum flavum* an den Wirbelbögen. Zum anderen soll die Identifizierung von Stressfrakturen, insbesondere am Fußskelett Hinweise auf andauernde (Über-)Belastung geben. Neben den sog. Marschfrakturen an den Mittelfußknochen soll auch das Auftreten von Knorpeldefekten in der Ausprägungsform einer *Osteochondrosis dissecans* insbesondere im Sprung- und Kniegelenk dokumentiert werden. Darüber hinaus soll das Auftreten von Enthesiopathien, speziell im Bereich des Schultergürtels, Hinweise auf das Tragen schwerer Lasten auf dem Rücken geben. Entzündliche Veränderungen an den Langknochen in Form einer Periostitis an der unteren Extremität sollen im Zusammenhang andauernder (Marsch-)Belastung interpretiert werden.

Im Gegensatz zu den einfachen Fußsoldaten verbrachten Soldaten der Kavallerie die meiste Zeit in der Armee auf dem Pferd. Zwar lagen keine Informationen hinsichtlich der Truppenzugehörigkeit einzelner Individuen vor, jedoch sollen die Individuen dahingehend untersucht werden, ob bspw. die Körperhöhe, das Auftreten von besonders stark ausgeprägter Entesen an der unteren Extremität sowie das Vorkommen von sog. Reiterfacetten im Bereich des Oberschenkelhalses auf eine **Zugehörigkeit zur Kavallerie** vorsichtig interpretiert und vergleichend ausgewertet werden können.

3.3 ANTHROPOLOGISCHE ANNÄHERUNG AN ERNÄHRUNG, HYGIENE UND GESUNDHEIT

Die Ernährung der Soldaten kann aus heutiger Sicht als mangelhaft beschrieben werden. Die Soldaten lebten „von der Hand in den Mund“ und aßen größtenteils das, was sie auf ihren Märschen finden oder kaufen konnten. Dies führte häufig zu **Hunger und Mangelzuständen** bei den Soldaten. Länger wählender Hunger und Mangel an wichtigen Nährstoffen lassen sich am Skelett diagnostizieren. Die Untersuchung der Skelette auf Zeichen von *Cribra orbitalia*, *Cribra femoris* und

Cribra cranii externa soll Rückschlüsse auf mögliche Mangelzustände in den erst kurz zurückliegenden Lebensphasen geben. Die Untersuchung von Karies sowie periapikaler Läsionen soll durchgeführt werden, da das Auftreten dieser Pathologien insbesondere durch die einseitige Ernährung mit kariogenen Substanzen in Kombination mit mangelnder Mundhygiene und einem schlechten Gesundheitszustand begünstigt werden. Darüber hinaus sollen die Zähne der Soldaten auf auffällige Verfärbungen und das Vorhandensein von Pfeifenlücken untersucht werden, um Hinweise auf den unter den Soldaten weit verbreitete **Konsum von Tabak** zu finden.

Im Hinblick auf die **schlechten hygienischen Bedingungen** in der Armee sollen neben den o.g. Dentalpathologien auch entzündliche Veränderungen auf der Schädelkalotte untersucht werden (*Cribra cranii externa*), die einen Hinweis auf einen vorherrschenden Lausbefall der Soldaten geben können. Darüber hinaus sollen die ermittelten Karieshäufigkeiten sowie die Ergebnisse der systematischen Aufnahmen anderer Dentalpathologien (bspw. Zahnstein, Parodontitis und Stomatitis) bei der Bewertung der hygienischen Bedingungen in der Armee mit einfließen.

Die physische Belastung, die Mangelernährung und die desaströsen hygienischen Bedingungen in der Armee mündeten in einem allgemein schlechten **Gesundheitszustand** der Soldaten, welcher einen Nährboden für verschiedene Krankheiten darstellte. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen die Skelette auf Anzeichen verschiedener Infektionskrankheiten untersucht werden. Im Zentrum sollen dabei die Infektionskrankheiten stehen, die zum einen aus den historischen Quellen der napoleonischen Ära überliefert sind und zum anderen diejenigen, deren gehäuftes Auftreten im militärischen Kontext plausibel denkbar sind. Bei der morphologischen Untersuchung können nur die Krankheiten untersucht werden, die sich auch am Knochen abbilden. Hier zu nennen sind bspw. die respiratorischen Erkrankungen der oberen und unteren Atemwege, denen sich durch die Untersuchung der Nasennebenhöhlen sowie den Innenseiten der Rippenoberflächen genähert werden soll. Darüber hinaus können lytische Veränderungen an den Wirbeln als Ausdruck einer Tuberkuloseerkrankung interpretiert werden, welche jedoch gegen die Brucellose abgegrenzt werden muss. Sollten Hinweise auf eine Tuberkuloseerkrankungen gefunden werden, so soll ein molekulargenetischer Erregernachweis durchgeführt werden. Eine weitere Krankheit, die am Skelett in Erscheinung treten kann und an der nach den historischen Überlieferungen zahlreichen Soldaten der napoleonischen Armee litten, ist die Geschlechtskrankheit Syphilis. Durch die Untersuchung insbesondere der Langknochen der unteren Extremität der Individuen aus Rödelheim, sollen Anhaltspunkte gefunden werden, die auf eine Erkrankung hindeuten. Auf eine überlebte kongenitale Syphilis können auch die Zahnkronen (Maulbeerenmolaren) der Individuen hindeuten. Über den innerhalb der Armee wütenden Typhus bzw. der typhusähnlichen Erkrankungen gibt es unzählige historische Überlieferungen. Die Krankheiten selbst hinterlassen

keine direkten Anzeichen am Skelett, jedoch können die o.g. entzündliche Veränderungen auf der Schädelkalotte im Zusammenhang mit einem vorherrschenden Lausbefall interpretiert werden. Da Läuse Vektoren für die entsprechenden Pathogene gelten, kann aus dem Befall abgeleitet eine Typhuserkrankung für möglich erachtet werden. Um eine mögliche Erkrankung und nach historischen Quellen mögliche Todesursache der Individuen verifizieren zu können, soll molekulargenetisch ein Erregernachweis angestrebt werden, um verschiedene Pathogene des Typhus sowie der typhusähnlichen Erkrankungen nachzuweisen.

Außerdem sollen die Skelette auf skelettmanifeste Anzeichen von Infektionserkrankungen untersucht werden, die im Zusammenhang mit der medizinischen (Wund-)Versorgung stehen. Die Osteomyelitis steht häufig im Zusammenhang mit auf dem Schlachtfeld erlittenen Verletzungen, die sich durch eingedrungene Pathogene (häufig *Staphylococcus aureus*) entzünden und zu Knochenveränderungen führt. In Verdachtsfällen soll bei den Individuen ein molekulargenetischer Erregernachweis durchgeführt werden. Bei schwerwiegenden Verletzungen mussten die Soldaten für die Wundversorgung in die Lazarette, in denen insbesondere während der Kriegsjahre mehrheitlich desaströse Zustände herrschten und nur wenige Männer gesund aus ihnen zurückkehrten. Dennoch können die **medizinische Versorgung** der Soldaten und das Wissen der Chirurgen ihrer Zeit entsprechend als gut beschrieben werden. An den Skeletten der Individuen aus Rödelheim sollen Hinweise gefunden werden, die Rückschlüsse auf die medizinische Versorgung zulassen können. Hier sollen bspw. gut verheilte Frakturen am postkranialen Skelett und dem Schädel untersucht werden, um Anhaltspunkte zur medizinischen Versorgung zu bekommen. Darüber hinaus sollen Hinweise auf amputierte Gliedmaßen gesucht werden, denn die Amputationstechnik war seinerzeit das Mittel der Wahl bei der Versorgung verletzter Soldaten. Außerdem sollen die Skelette auf skelettmanifeste Anzeichen von Infektionserkrankungen untersucht werden, die im Zusammenhang mit der medizinischen (Wund-)Versorgung stehen, bspw. die Osteomyelitis.

Darüber hinaus kann sich auch ein hohes Maß an psychischem Stress am Skelett abzeichnen. Insbesondere Anzeichen eines Bruxismus, allgemein als Zähneknirschen bekannt, können herangezogen werden, um mögliche Hinweise zu finden, die im Hinblick auf die starke **psychische Belastung** der Soldaten interpretiert werden können.

Abschließend sollen Hinweise gefunden werden, die einen möglichen Aufschluss darüber geben, ob die Individuen am **Russlandfeldzug bzw. den Befreiungskriegen** teilgenommen haben. Neben den o.g. Veränderungen, bspw. den periostalen Reaktionen, die auf starke körperliche Belastung hindeuten können, soll insbesondere die Untersuchung von Spuren kürzlich erlittener

Gewalteinwirkung, bspw. Schädeltraumata, Hinweise auf eine Teilnahme der Individuen in einer Schlacht geben.

4 MATERIALBESCHREIBUNG

4.1 DIE SKELETTSERIE RÖDELHEIM

„Bleiche und zerlumpte Gestalten der ehemals so stolzen französischen Soldaten hätten flehend mit dem Rufe : Brud, Brud ! die Hände durch die Fenstergitter gestreckt; die nackten Leichname der Verstorbenen seien aus dem 2. Stock auf den, zu ihrer Abholung allmorgendlich erscheinenden, Karren geworfen worden.“

(zeitgenössische Schilderungen über die Zustände in den Kriegslazaretten in Frankfurt am Main, November 1813, Wilbrand 1884, S. 107)

Im Jahr 2015 wurde in der Breitlacherstraße 80-88 im Frankfurter Stadtteil Rödelheim ein Bauvorhaben im neu entstehenden Gewerbegebiet beantragt.²⁴ Bereits in den Jahren 1979 und 1981 sind auf dem Grundstück archäologische Funde freigelegt worden. Insgesamt konnten rund 20 Bestattungen und andere archäologische Funde (Sargnägel, Kleidungsreste, Metall- und Beinknöpfe und eine Bronzenadel) dokumentiert werden. Es konnte somit plausibel angenommen werden, dass mit weiteren Bestattungen auf dem Areal gerechnet werden kann. Im Jahr 2015 wurde das beantragte Bauvorhaben unter archäologischen Auflagen realisiert und auf einer Fläche von circa 4000 m² konnten insgesamt 35 Grabgruben dokumentiert werden. Nach Norden, Süden und Osten konnte eine sichere Begrenzung des Bestattungsareals nachgewiesen werden. Die Grabgruben lagen an der westlichen Grenze der Baugrube und waren teilweise durch diese gestört bzw. einige Gruben nur angeschnitten, weshalb Richtung Westen noch weitere Gräber folgen könnten (Abbildung 1). Die Grabgruben waren alle Nord-Süd ausgerichtet und waren in acht Reihen eng bei einander angeordnet. Insgesamt konnten die Skelettreste von 204 Individuen²⁵ in verschiedenen Bestattungssituationen erfasst werden.

²⁴ Im Folgenden wird die archäologische Grabung der Skelettserie Rödelheim beschrieben. Wenn nicht anders ausgewiesen, wurden die Informationen aus Hampel (2015) entnommen werden.

²⁵ Die Mindestindividuenzahl wurde über die anthropologischen Untersuchungen auf 213 erweitert (vgl. Kapitel 6.1).

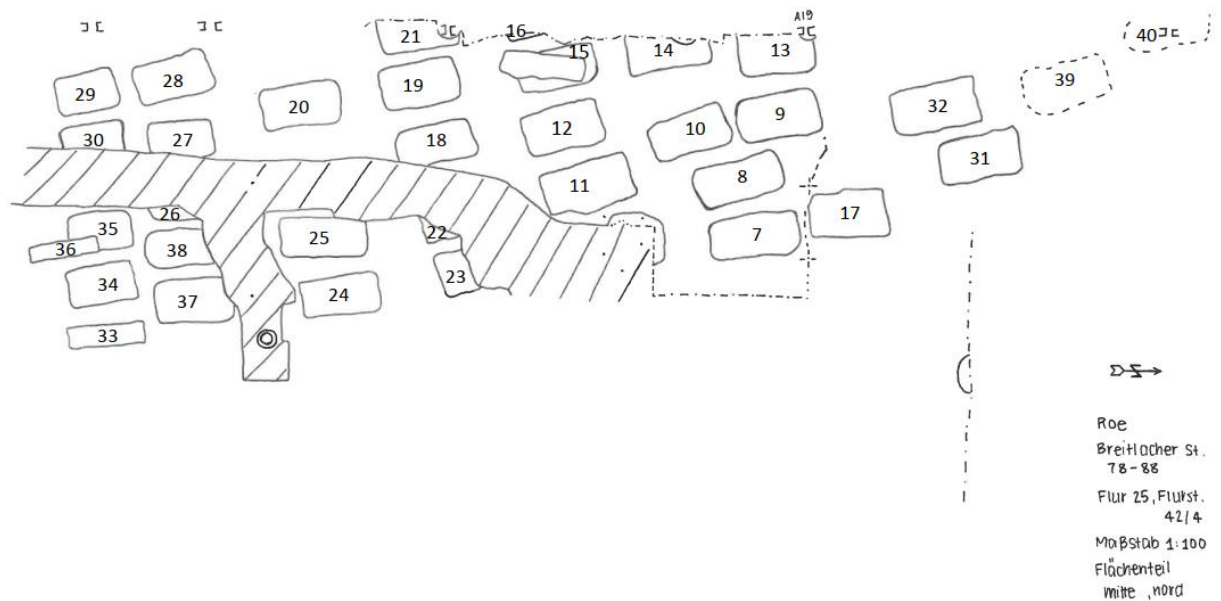


Abbildung 1: Grabungsplan der Fundstelle Roe01 Mitte und Roe01 Nord (Breitlacher Straße 78-88, Flur 25, Flurst. 42/4) mit Grubennummerierung. Maßstab 1:100. Plan: ©Denkmalamt Frankfurt am Main, abgezeichnet von Benkhoff (2019).

Bis auf zwei Einzelbestattungen konnten in den Grabgruben mehrere Individuen nachgewiesen werden, woraus abgeleitet wurde, dass es sich bei den meisten Skelettfunden um Notbestattungen handeln muss. Im Norden des Grabungsareals wurden bis zu 6 Individuen pro Grabgrube dokumentiert. Durch die Überlieferung von Holzresten bzw. Holzverfärbungen und eisernen (Sarg-)Nägeln sowie aufgrund der Lage der Skelette in der Grube wird davon ausgegangen, dass die Bestattung dieser Individuen im Sarg durchgeführt wurde (Stelle 6-19, 21-26, 31-33, 36 und 39-40, persönliche Mitteilung Dr. Andrea Hampel, Abbildung 2).



Abbildung 2: Einzelbestattung des Individuums Rö 24,3 in Rückenlage. Bei dieser Bestattung sind deutlich die Holzreste eines Sarges zu erkennen. Foto: ©Denkmalamt Frankfurt am Main, zugeschnitten.

Die Schädel der Bestatteten befanden sich mehrheitlich im Norden. Im Süden des Grabungsareals konnten bis zu 18 Skelette je Grabgrube dokumentiert werden²⁶. Auch hier wurden in der Mehrzahl der Gruben die Individuen mit dem Kopf nach Norden niedergelegt, jedoch konnten auch Massenbestattungen erfasst werden, in denen die Individuen regellos in ihr Grab gelegt worden waren (Abbildung 3). Hinweise auf eine Sargbestattung konnten hier nicht mehr nachgewiesen werden. Neben einzelnen Nadeln aus Bronze, die möglicherweise mit Lechentüchern in Verbindung stehen, konnten auch Kleidungsreste, Kleiderhaken und verschiedene Knöpfe aus Bein, Zinn, Messing sowie aus Glas sichergestellt werden. Die Mehrzahl davon kann als Reste ziviler Bekleidung angesprochen werden. Zwei der überlieferten Knöpfe, die jeweils aus den größeren Massengräbern geborgen wurden, heben sich jedoch als Befund ab und deuten auf einen militärischen Zusammenhang der Individuen mit der napoleonischen Armee hin. Auch erste in situ Ansprachen einiger Individuen durch die Anthropologin Dr. Birgit Großkopf (Abteilung Historische Anthropologie und Humanökologie, Universität Göttingen) deuteten darauf hin, dass es sich bei den Verstorbenen um Militärangehörige handeln könnte. Es wurden überwiegend junge, männliche Individuen bestimmt, Frauen, Kinder und senile Individuen schienen zu fehlen.



Abbildung 3: Die in situ-Situation zeigt die ungeordnete Lage der neun Individuen im Massengrab Rö Stelle 20. Aufgrund der besonders sorgfältigen archäologischen Grabung durch das Team des Denkmalamtes Frankfurt unter Leitung von Dr. Andrea Hampel waren in der Regel eindeutige Zuordnungen von Skelettelementen zu einzelnen Individuen möglich. Foto: ©Denkmalamt Frankfurt am Main, zugeschnitten.

Während der Napoleonischen Kriege diente das Rhein-Main-Gebiet immer wieder als Heerstraße und Etappe für die französischen Truppen. Eine zeitgenössische Beschreibung der politischen und

²⁶ Bei der ersten Sichtung des Skelettmaterials stellte sich heraus, dass für die Grabgrube 20 Skelettfunde im Übergabeprotokoll dokumentiert wurden.

sozialen Situation sowie der Zustände in den Kriegslazaretten im Maingebiet während der Napoleonischen Kriege gibt Wilbrand (1884), die im Folgenden zusammengefasst werden.

Bereits für das Jahr 1812 wurden im Stadtarchiv der Stadt Frankfurt am Main erhebliche Kosten für die Einquartierung französischer Truppen aufgeführt, die sich auf dem Vormarsch in Richtung Russland befanden. Wilbrand führt auf, dass im selben Jahr allein 154.701 Angehörige der napoleonischen Armee einzuquartieren waren. Die Mehrzahl der Personen gehörte dem Militär-Etat (Soldaten, Offiziere und Generäle) an, aber auch administrative Personen, der Tross an Frauen und Kindern sowie Bedienstete zählten dazu. Hinzu kamen zahlreiche Kriegsgefangene, rund 44.000 Pferde und 2029 Ochsen als Schlachtvieh für den Feldzug. Weiter ist im Archiv aufgeführt, dass zahlreiche verwundete Soldaten über Nacht in Lazarette der Stadt gebracht wurden, um in den Morgenstunden weiter nach Mainz transportiert zu werden. Der gescheiterte Feldzug gegen Russland leitete die Ära der Befreiungskriege zwischen 1813 und 1815 ein. Auf dem Rückzug der geschlagenen napoleonischen Armee kam es zu zahlreichen Rückzugsgefechten, auch im Maingebiet, zwischen der napoleonischen Armee und den Alliierten aus Russland, Polen, Preußen, Österreich und Bayern. Die letzte große Schlacht auf deutschem Boden wurde in Hanau, circa 20 km östlich von Frankfurt am Main, ausgetragen. Von da aus marschierte die napoleonische Armee in Richtung Mainz. Die Armee passierte dabei Frankfurt am Main bzw. zog um diese nördlich herum, bis jenseits des Ortes Rödelheim (Hampel 2015). Und tatsächlich gibt es auch für die Stadt Rödelheim Berichte aus der „Kriegs-Chronik von Rödelheim Nov./Dez. 1813“ (Budenz 1979, zusammengefasst in Hampel 2015), dass alleine zwischen Juni und Dezember 1813 in der Stadt Rödelheim rund 35.000 Militär-Angehörige und über 18.000 Pferde unterschiedlicher Heeresscharen einquartiert werden mussten. Die passierenden Soldaten waren geschwächt, verletzt und krank. Während der gesamten napoleonischen Ära wurde immer wieder über Ausbrüche der im 18. und 19. Jahrhundert bezeichneten „Kriegspest“ oder dem „Flecktyphus“²⁷ berichtet, jedoch waren es bis zu den Jahren 1813-1814 eher lokale Ausbrüche, dessen Herde in den Kriegslazaretten zu verzeichnen waren. Der Rückmarsch der geschlagenen napoleonischen Armee aus Russland führte jedoch zu einer „mörderischen Epidemie“, die sich von Russland und Polen über Ostpreußen und Schlesien der Heerstraße folgend durch Sachsen nach Fulda, Hanau, Aschaffenburg, Frankfurt am Main und Mainz, dem nassauischen, hessen-darmstädtischen und isenburgischen Land nach Westen entlang dem linken Rheinufer bis ins Elsass ausbreitete (Wilbrand 1884). Die Zustände während der Epidemie sind kaum vorstellbar, jedoch lassen zeitgenössische Berichte z.B. aus den Städten Leipzig, Erfurt und Mainz eine ungefähre Rekonstruktion der

²⁷ Heute bekannt als Fleckfieber, welches durch den Erreger *Rickettsia prowazekii* ausgelöst, der die Kleiderlaus *Pediculus humanus* als Vektor nutzt.

Geschehnisse zu, wobei anzumerken ist, dass die Stadt Frankfurt nicht im gleichen Maß betroffen war, da die Heere nicht direkt durch die Stadt zogen. Jedoch starben im gesamten Maingebiet mehrere zehntausend Soldaten. Zu Beginn wütete das Fleckfieber fast ausschließlich in den Hospitälern bzw. den eingerichteten Lazaretten, doch spätestens im Herbst 1813 wurden so viele kranke und verletzte Soldaten in die Lazarette in Frankfurt und Mainz eingeliefert, dass die Kapazitäten erschöpft waren. Die Straßen waren mit Fäkalien, toten Pferden und Menschen angefüllt, sodass Notunterkünfte für die Kranken und Verletzten eingerichtet wurden. Ein Mainzer Arzt berichtet über die Zustände im Herbst 1813: *„Fürchterlich wüthete das Uebel schon damals in den Militärspitälern und Kirchen, Ställen und Magazinen, in welchen man die kranken französischen Soldaten ohne Pflege, Nahrung und Wartung dem Elende preisgab. Bloss die Menschlichkeit der Bürger, die zusammenlegten, Suppen kochen liessen und selbst aus ihren Häusern, die Gefahr verachtend, Lebens- und Stärkungsmittel aller Art in diese verpesteten Räume brachten, verhütete den Hungerstod dieser Elenden, die sich einander durch Ansteckung die Vernichtung mittheilten, die auch zum Theil ihren Wohlthätern zum Lohne ward.“* (zitiert nach Wilbrand 1884, S. 71). Auch in den meisten Häusern der zivilen Bevölkerung der Stadt wurden Soldaten untergebracht und auch wenn die Soldaten selbst nicht offensichtlich erkrankt waren, so brachten sie die Krankheit mit ihrer Kleidung und dem Gepäck in die Bevölkerung, sodass ab Oktober (Frankfurt a. M.) bzw. November (Mainz) der Kriegstypus auch in der zivilen Bevölkerung wütete. Die Zahl der Toten stieg sowohl auf Seiten des Militärs, als auch bei der Bevölkerung auf mehrere Zehntausende in den Jahren 1813-1814 an. Die Friedhöfe befanden sich nach wie vor im Stadtgebiet von Frankfurt a. M., jedoch wurden spezielle Militärfriedhöfe außerhalb der Stadt auf der Bornheimerhaide (im heutigen Stadtteil Bornheim), Pflingstweide (Bad Vilbel) und am Sandhofe (im heutigen Stadtteil Niederrad) eingerichtet. Für Rödelheim wird ein Militärfriedhof nicht beschrieben, doch gibt es auch hier in der „Kriegs-Chronik von Rödelheim Nov./Dez. 1813“ (Budenz 1979, zusammengefasst in Hampel 2015) Überlieferungen über zahlreiche Tote, die im Herbst 1813 bis tief in die Nacht bestattet wurden. Und tatsächlich ist der Fundplatz der Skelettserie Rödelheim Breitlacherstraße 80-88 in früher unbebautem Gebiet westlich von Rödelheim nahe des Nidda-Übergangs, welches sich als Notbestattungsplatz angeboten haben könnte (Hampel 2015). Auch die eingangs beschriebene Bestattungssituation, dass im Süden des Bestattungsareals typische Massengräber mit bis zu 18 Skeletten (s.o.) identifiziert werden konnten und dass sich in diesen Gräbern auch keine Hinweise mehr auf Sargbestattungen nachweisen ließen, sondern sich die Lage der Individuen vielmehr ungeordnet zeigt, ist typisch für eine schnelle Entsorgung der Leichen während einer rasch um sich greifenden Epidemie.

Die Skelette wurden im Herbst 2015 in die Abteilung Historische Anthropologie und Humanökologie des Johann-Friedrich-Blumenbach Instituts für Zoologie und Anthropologie der Universität

Göttingen zur anthropologischen Untersuchung übergeben. Die Skelette wurden individuenweise geborgen, in Kartons überführt und wurden gemäß ihrem Fundort (ROE 01), der (Fund-)Stelle (Grabgruben-Nr. 6 bis 40) und einer laufenden Nummer (1 bis n) beschriftet, bspw. Roe 01 Stelle 6,1. Nach der Übergabe wurden die Skelette über einem Sieb unter fließendem Wasser von anhaftender Erde befreit und im Anschluss bei Raumtemperatur getrocknet. Sehr spongiöse Knochen wurden vorsichtig mit einem Pinsel gereinigt, um einer Beschädigung vorzubeugen. Zeigten Skelette besonders starke Anzeichen fortgeschrittener Dekomposition, so wurde von einer gründlichen Reinigung mit Wasser abgesehen.

Die erste Sichtung des Skelettmaterials hat gezeigt, dass mit der umfassenden morphologischen, morphometrischen und molekulargenetischen Bearbeitung der Skelettserie Rödelheim die Gelegenheit geboten ist, anthropologische Annäherungen zu den in Kapitel 3 beschriebenen Kernfragen zu schaffen. Grundsätzlich gibt es in der Skelettsammlung der Abteilung der Historischen Anthropologie (JFB-Institut) drei Skelettserien napoleonischer Soldaten: Rödelheim, Kassel und Hanau. Im Gegensatz zu den Skelettserien Kassel und Hanau wurden die Skelette aus Rödelheim archäologisch ergraben. Dies bietet den großen Vorteil, dass knochenmanifeste, pathologische Veränderungen gemeinsam mit den genetischen Daten sowie den biologischen Basisdaten individuenweise ausgewertet werden können.

4.2 DIE REFERENZSKELETTSERIEN

4.2.1 SKELETTSERIE KASSEL

Auf dem Universitätsgelände der Stadt Kassel wurden bei Baumaßnahmen im Jahr 2008 zahlreiche menschliche Skelette in einem Reihenmassengrab entdeckt. Gespräche mit einem Historiker an der Fundstelle sowie eingängliche Untersuchungen an einer Stichprobe der Individuen (Fundbericht von Rossbach und Alt 200 nach Grumbkow 2013) gaben entscheidende Hinweise, dass es sich um Bestattungen napoleonischer Soldaten handeln könne. Auch die C14-Analysen deuteten in die gleiche Richtung, indem der Todeszeitpunkt der Individuen auf den Beginn des 19. Jahrhundert festgelegt werden konnte (Pressemitteilung des Polizeipräsidiums Nordhessen, nach Grumbkow 2013). Die umfassende anthropologische Bearbeitung der Skelette im Rahmen der Doktorarbeit von Grumbkow (2013) ergab, dass es sich bei den Individuen überwiegend um junge Männer handelte. Die Knochen der Individuen zeigten praktisch durchgängig Folgen chronisch entzündlicher Veränderungen und damit typische Merkmale problematischer Gesundheitszustände, die mit physischem und psychischem Stress, Mangelernährung und Infektionskrankheiten in Verbindung stehen. Die molekulargenetischen Analysen konnten in Einzelfällen genomische Sequenzabschnitte von humanpathogenen Erregern wie *B. quintana* (Grumbkow et al. 2011), dem Erreger des Fünftagefiebers, sowie *S. typhii* und *S. enterica spec.* als Verursacher vom Typhus, nachweisen. Weiterhin ergaben die molekularen Untersuchungen des gesamten Skelettkollektivs, dass die genetischen Charakteristika der jungen Männer auf Ihre Herkunft aus dem Elsass schließen lassen (Grumbkow 2013). Zusammen mit den historischen Quellen konnte damit praktisch gesichert angenommen werden, dass es sich bei den Individuen um Soldaten der napoleonischen Armee handelt, die auf dem Rückzug aus Russland in einem Lazarett in Kassel an fiebrigen Erkrankungen gestorben sind.

Bei den Skeletten der Serie Kassel wurden zahlreiche morphologische und molekulargenetische Daten erhoben, die in dieser Arbeit als Referenz genutzt werden können. Für einzelne Fragestellungen, wie z.B. der Frage nach Mangelzuständen in der Kindheit, wurde z.B. die systematische Aufnahme von Schmelzhypoplasien (vgl. Kapitel 5.2.3.2) an den Skeletten durchgeführt, um einen Vergleich zwischen den Serien Kassel und Rödelheim zu ermöglichen.

4.2.2 PUBLIZIERTE REFERENZSERIEN

Neben den Referenzbefunden aus dem Kasseler Massengrab sollen bei der abschließenden vergleichenden Bewertung und Einordnung der Befunde ebenfalls publizierte Daten zu Bestattungen napoleonischer Soldaten mit einbezogen werden.

Obwohl es während der gesamten napoleonischen Ära zahllose, in vielen Fällen auch sehr große Schlachten gab, denen mehrere hunderttausende Soldaten zum Opfer fielen, sind die archäologischen Überlieferungen und umfassend anthropologisch aufgearbeiteten Funde überschaubar. Ein möglicher Grund für das Defizit an Skelettfunden aus damaliger Zeit ist, dass die großen Schlachtfelder häufig Knochenhändlern als Bezugsquelle für Knochen dienten, die sie für die Düngerverarbeitung ins Ausland verkauften. Hinweise darauf finden sich in Zeitungsartikeln aus dem frühen 19. Jahrhundert, in denen die Einfuhr menschlicher Knochen zu diesem Zweck Erwähnung finden (Interview über die Skelettfunde nach der Schlacht bei Waterloo mit Tony Pollard auf *Internetquelle 3*, Pollard 2021). Dennoch sind aus unterschiedlichen Phasen der Herrschaft Napoleons verschiedene Skelettfunde dokumentiert. Diese stammen entweder aus Massengräbern, die direkt mit Schlachtfeldern assoziiert werden, oder stehen im Zusammenhang mit epidemischen Ereignissen und ermöglichen somit direkte Rückschlüsse auf Lebensumstände bzw. Todesursachen. In Tabelle 1 sind verschiedene Fundplätze von Skeletten napoleonischer Soldaten aufgeführt, die zumindest teilweise für die Bearbeitung und Interpretation einzelner Ergebnisse als Referenz gedient haben. Darüber hinaus gibt es noch weitere Funde aus bspw. Waterloo (Belgien), Hollabrunn (Österreich) und Tolentino (Italien) sowie andere mögliche Fundplätze, die der breiten Öffentlichkeit (noch) nicht zugänglich gemacht wurden.

Table 1: Fundplätze von Skeletten napoleonischer Soldaten aus unterschiedlichen Regionen und Zeitstellungen, die zum Teil als Referenz für die Ergebnisinterpretation in dieser Arbeit gedient haben.

| Land | Fundstätte | Zeitstellung | Kontext | Anzahl Bestattungen | Referenz |
|-------------|-------------------------|--------------|---|---------------------|---|
| Schweiz | Zürich/ Schaffhausen | 1799-1800 | Schlachtfeld | 33 | Meyer 2003; Cooper 2006 |
| Spanien | Valecia | 1807-1814 | Massenexekution (Franzosen oder Spanier) | 173 | Miquel-Feucht et al. 1999 |
| Italien | Marengo | 1800 | Schlachtfeld (Franzosen/Österreicher) | 250 | Lunardini et al. 2002 |
| Tschechien | Austerlitz I. | 1805 | Schlachtfeld (Franzosen/Russen) | 22 | Horáčková und Vargová 1999 |
| Tschechien | Austerlitz II. | 1805 | Schlachtfeld | 12 | Vymazalová et al. 2021 |
| Österreich | Aspern/ Essling | 1809 | Schlachtfeld | 30 | Quade und Binder 2018 |
| Österreich | Wagram | 1809 | Schlachtfeld | 69 | Grabmayer und Binder 2021 |
| Russland | Borodino | 1812 | Schlachtfeld | 13 | Shvedchikova 2012 |
| Litauen | Vilnius | 1812 | epidemisch | 3229 | Signoli et al. 2004 |
| Russland | Kaliningrad | 1812/1813 | epidemisch | >600 | Buzhilova et al. 2008; Dutour und Buzhilova 2014 |
| Deutschland | Kassel | 1813 | epidemisch | 126 | Grumbkow et al. 2011; Grumbkow 2013 |
| Deutschland | Leipzig | 1813 | Schlachtfeld | 14 | Teegen 2014; Westphalen 2016 |
| Deutschland | Hanau | 1813 | Schlachtfeld/ Friedhof | unbekannt | Unveröffentlicht |

4.3 REFERENZPROBEN FÜR DIE MOLEKULARGENETISCHEN UNTERSUCHUNGEN

4.3.1 MENSCHLICHE KONTROLLPROBEN

Die rezenten menschlichen DNA-Kontrollproben der Bearbeiter:innen der Skelettserie Rödelheim dienen in erster Linie dazu, mögliche Kontaminationen bei der molekulargenetischen Bearbeitung aufzudecken. Die Kontrollproben werden i.d.R. aus Speichalextrakten gewonnen und waren in den meisten Fällen bereits aus anderen Untersuchungen tiefgekühlt vorrätig. In anderen Fällen, bei denen zuvor nicht-typisierte Bearbeiter:innen am Skelettmaterial gearbeitet haben, wurden neue DNA Extrakte angefertigt (s.u.). Für einige Untersuchungen wurde auch eine kommerziell erhältliche *control* DNA 9948 (0,1 ng/μl, Firma Qiagen) verwendet.

4.3.2 KONTROLLPROBEN FÜR ERREGERNACHWEISE

Die bakteriellen Kontrollproben dienten als Positivkontrollen für den Nachweis humanpathogener Bakterien. Die Kontrollproben wurden bei der Entwicklung der entsprechenden Analysysteme erworben. Die verwendeten Kontrollproben von Bakterien, der Bakterienstamm und die Herkunft der Proben sowie die Publikation, in der die entsprechenden Analysysteme entwickelt wurden, sind in Tabelle 2 gelistet:

Tabelle 2: Kontrollproben von Bakterien mit Bakterienstamm (Positivkontrolle), die Herkunft der Proben und Publikation in der die Erregernachweissysteme entwickelt wurden.

| Pathogen | Bakterienstamm | Herkunft | Publikation |
|--|-------------------------------|--|--------------------------------|
| <i>Salmonella typhi</i> | S. typhi E005 | Institut für Medizinische Mikrobiologie, Universität Göttingen, Deutschland | (Grumbkow 2013; Schröder 2013) |
| <i>Salmonella paratyphi</i> | S. paratyphi A | Institut für Medizinische Mikrobiologie, Universität Göttingen, Deutschland | (Grumbkow 2013; Schröder 2013) |
| <i>Bartonella quintana</i> | JK31 und Toulouse | Universität Frankfurt, Deutschland | (Grumbkow 2013; Schröder 2013) |
| <i>Rickettsia prowazekii</i> | Klone mit enthaltenem Zielgen | Universität Uppsala, Schweden | (Grumbkow 2013; Schröder 2013) |
| <i>Borellia recurrentis</i> | Nicht angegeben | Universität Heideberg, Deutschland | (Grumbkow 2013; Schröder 2013) |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | NCTC8325 | RKI Wernigerode (Nationales Referenzzentrum für Staphylokokken und Enterokokken) | (Flux 2015; Flux et al. 2017) |
| <i>Mycobacterium tuberculosis tuberculosis</i> | H37Rv | NRC Borstel (Nationales Referenzzentrum für Mykobakterien) | (Schüßler 2017) |
| <i>Mycobacterium tuberculosis bovis</i> | BCG Pasteur 1173P2 | NRC Borstel (Nationales Referenzzentrum für Mykobakterien) | (Schüßler 2017) |

5 ANTHROPOLOGISCHE METHODEN

Die Erhebung der morphologischen, morphometrischen und molekulargenetischen Daten erfolgte durch die Verfasserin der Arbeit sowie im Rahmen diverser Bachelor- und Masterarbeiten, die inhaltlich maßgeblich durch die Autorin mit betreut wurden.

Die morphologischen und in Einzelfällen auch mikroskopischen Untersuchungen zur Bestimmung des biologischen Geschlechts und des Sterbealters erfolgte zunächst durch die Verfasserin der Arbeit. Bei der Geschlechtsdiagnose gehen auch die Untersuchungsergebnisse von Lucas (2016) mit ein. Die osteometrischen Daten zur Rekonstruktion der Körperhöhe und die Erfassung der allgemeinen Robustizität der Individuen der Skelettserie Rödelheim wurden ausschließlich durch die Verfasserin der vorliegenden Arbeit erhoben. Osteometrische Referenzdaten an den Individuen der napoleonischen Soldaten aus dem Massengrab Kassel (Grumbkow 2013) wurden im Rahmen der Bachelorarbeit von Bütchorn (2022) erhoben. Die molekulargenetischen Untersuchungen der autosomalen und Y-chromosomal STRs sowie deren populationsgenetische Auswertungen und der molekulargenetische Erregernachweis erfolgten durch die Verfasserin der Arbeit. Unterstützend wurden einige Daten auch im Rahmen von Examensarbeiten erhoben, die durch die Verfasserin maßgeblich bei der Laborarbeit angeleitet und betreut wurden (Lucas 2016; Benkhoff 2019; Altfelix 2020; Michehl 2020). Die deskriptive Aufnahme der skelettmanifesten Pathologien und degenerativen Veränderungen erfolgte ebenso zunächst durch die Verfasserin der vorliegenden Arbeit. Daraus abgeleitet wurden einige Krankheitsbilder ausgewählt, um sie im Rahmen von Examensarbeiten näher zu klassifizieren, so *Cribra orbitalia* durch Langenstein (2019), Schmelzhypoplasien durch Meyer-Delvendahl (2021) und Rachel (2022), Dentalpathologien durch Rachel (2022), degenerative Veränderungen großer Gelenke und Wirbel durch Frye (2018), Spuren von Infektionskrankheiten, Traumata und Enthesiopathien durch Michehl (2020) sowie die Erfassung und Bewertung ectocranialer Porositäten durch Weiher (2022). Weiterhin wurden Hiebverletzungen durch Rachel (2020) näher beschrieben. Die methodische Vorgehensweise kann den entsprechenden Arbeiten entnommen werden und werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit nur skizziert.

5.1 ÜBERPRÜFUNG DER MINDESTINDIVIDUENZAHL UND DOKUMENTATION DER BEFUNDE

Aufgrund der sorgfältigen archäologischen Grabung der Skelettserie Rödelheim wurden die Individuen gemäß ihrem Fundort (ROE 01), der (Fund-)Stelle (Grabgruben-Nr. 6 bis 40) und einer laufenden Nummer (1 bis n) geborgen und zusammen mit einem Fundkatalog übergeben (s.o.). Die Mindestindividuenzahl (MIZ) wurde bei der Grabung auf 204 Individuen festgelegt, wurde aber im Verlauf der anthropologischen Untersuchung überprüft. Hierzu wurde jede Fundnummer mit dem Fundkatalog abgeglichen und somit die Vollständigkeit der Serie überprüft. Da die Skelette zum Teil aus Massengräbern geborgen wurden und einige Grabgruben auch durch die Baugrubengrenzen gestört vorlagen (vgl. Abbildung 1), war plausibel anzunehmen, dass bei der archäologischen Grabung Knochen einem Individuum zugeordnet wurden, die aber tatsächlich zu weiteren Individuen gehören und die MIZ damit erhöhen würden.

Die Überprüfung der MIZ wurde grabenweise durchgeführt. Nach der Reinigung und Trocknung der Knochen jedes Kartons wurden diese nach anatomischer Lage ausgelegt. Als Beleg für das Vorhandensein von mehr als einem Individuum kann gesehen werden, wenn im Körper einzigartige Knochen mehrfach vorliegen. Wurde dieses festgestellt, musste zunächst anhand morphologischer Kriterien geprüft werden, welcher Knochen dem vorliegenden Befund zugeordnet werden konnte. Im Anschluss erfolgte eine grabenweise Überprüfung, ob das überzählige Skelettelement einem anderen Individuum der Stelle zugeordnet werden konnten. Für eine morphologische Zuordnung konnten diverse Kriterien herangezogen werden: 1. das Alter eines Individuums konnte in einigen Fällen bei der Zuordnung von Knochen von entscheidender Bedeutung sein. Waren die Epiphysen beim untersuchten Individuum altersbedingt noch nicht oder nur teilweise angeschlossen, so konnte die Zugehörigkeit überzähliger Knochen im Befund, die bereits einen vollständigen Epiphysenanschluss zeigten, ausgeschlossen werden. 2. die bilaterale Symmetrie des Menschen konnte insbesondere bei der Zuordnung von Skelettelementen der rechten und linken Körperseite hilfreich sein. Skelettelemente der rechten und linken Körperhälfte eines Individuums ähneln sich im Hinblick auf die Größe der Knochen sowie der allgemeinen Robustizität (vgl. Kapitel 5.3.2). 3. Knochen, die eine gelenkige Verbindung mit anderen Skelettelementen aufweisen, müssen in Form, Größe sowie Durchmesser zueinander passen, um ein funktionsfähiges Gelenk bilden zu können. Dies konnte somit bei der Zuordnung ebenfalls genutzt werden. 4. das Vorhandensein und die Ausprägung von belastungsabhängigen Veränderungen an den Sehnen- und Muskelansatzstellen, sog. Enthesiopathien (vgl. Kapitel 5.2.3.1), ähneln sich in vielen Fällen zwischen der rechten und linken Körperseite und konnten somit ebenfalls als Kriterium mit in die

Beurteilung eingehen. Konnte bei der Überprüfung kein Individuum gefunden werden, dem ein überzähliger Knochen aus dem Befund zugeordnet werden konnte bzw. war das Skelettelement tatsächlich überzählig, weil alle Befunde den entsprechenden Knochen aufwiesen, so konnte die MIZ der Serie erhöht werden. Skelettelemente, bei denen nicht zweifelsfrei geklärt werden konnte, ob diese nach den oben beschriebenen morphologischen Kriterien einem anderen Befund zugeordnet werden können (vor allem Rippen, Hand- und Fußknochen), wurden bei der Ermittlung der MIZ nicht berücksichtigt. Als weitere Absicherung wurden die Knochen ebenfalls molekulargenetisch untersucht und die genetischen Profile mit den anderen Befunden verglichen (vgl. Kapitel 5.4.3.1).

5.2 MORPHOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

5.2.1 GESCHLECHTSDIAGNOSE

Die Skelette der Individuen aus Rödelheim waren weitestgehend vollständig überliefert und befanden sich in einem sehr guten Erhaltungszustand. Dies ermöglichte bei den meisten Individuen, eine ganzheitliche Untersuchung diverser Merkmale zur Geschlechtsbestimmung heranzuziehen. Die morphologische Geschlechtsdiagnose ist vorrangig durch Beurteilung der geschlechtsdeterminierenden Merkmalsausprägung am Becken und Schädel durchgeführt worden. Für die Untersuchung der Skelette wurden die geschlechtsdifferenten Merkmale europäischer Populationen herangezogen (z.B. Ferembach et al. 1980; Herrmann et al. 1990). Das Becken besitzt dabei den höheren diagnostischen Wert, da das weibliche Becken evolutiv funktionsbedingte Anpassungen an Schwangerschaft und Geburt aufweist. Die Merkmale am Schädel sind Robustizitätsmerkmale und unterliegen einem schwächer ausgeprägtem Selektionsdruck. Das Vorhandensein von Merkmalen bzw. der Grad der Ausprägung kann populationsabhängig sehr unterschiedlich sein. Eine sorgfältige Prüfung der Merkmale auf Eignung für die morphologische Geschlechtsdiagnose ist somit von entscheidender Bedeutung und wurde zu Beginn der Untersuchung über die Bildung morphologischer Reihen im Rahmen der Arbeit von Lucas (2016) durchgeführt. In Tabelle 3 ist eine Auswahl der beurteilten Merkmale am Becken und Schädel (inkl. Unterkiefer) gegeben sowie deren Ausprägung bei männlichen und weiblichen Individuen.

Tabelle 3: Auswahl der zu beurteilenden Merkmale am Becken und Schädel (inkl. Unterkiefer auf Folgeseite) für die morphologische Geschlechtsdiagnose (Herrmann et al. 1990).

| | Frauen | Männer |
|----------------------------|--|--|
| Merkmale am Becken | | |
| Gesamtaspekt | niedriger, breiter | höher, schmaler |
| Beckeneingang | queroval | herzförmig |
| Incisura ischiadica major | weit | eng |
| Arc composé | doppelter Bogen | einfacher Bogen |
| Angulus subpubicus | weit | eng |
| Merkmale am Schädel | | |
| Glabella | nicht prominent, fließender Übergang zur Nasenwurzel | prominent, gegen die Nasenwurzel abgesetzt |
| Arcus superciliaris | schwach ausgeprägt, glatt | ausgeprägt, oft rau |
| Margo orbitalis | dünn, scharfkantig | dicker, glattrandig |
| Form der Orbita | gerundet | mehr rechteckig |
| Stirnneigung | eher steil, gerundet | eher fliehend |

| | Frauen | Männer |
|--------------------------------|------------------------|--------------------------|
| Merkmale am Unterkiefer | | |
| Mentum | klein, gerundet, glatt | kräftig |
| Gonionwinkel | stumpf | annähernd rechtwinklig |
| Gonion | glatt | rau, seitlich ausgezogen |

Eine sichere morphologische Geschlechtsdiagnose ist immer dann möglich gewesen, wenn alle zu untersuchenden Merkmale eindeutig einem Geschlecht entsprechend ausgeprägt waren. Diese Individuen konnten dann als sicher „männlich“ bzw. „weiblich“ (m bzw. w) bestimmt werden. In Fällen, in denen die meisten Merkmale auf ein Geschlecht hingedeutet haben, wurden diese als „eher männlich“ bzw. „eher weiblich“ (em bzw. ew) aufgenommen. Waren nur sehr wenige Merkmale für die Geschlechtsdiagnose überliefert bzw. waren Merkmale nur wenig geschlechtsdifferent ausgeprägt, so wurden die Individuen als „tendenziell männlich“ bzw. „tendenziell weiblich“ (tm bzw. tw) aufgenommen. In Fällen, in denen keine eindeutige Geschlechtsdiagnose möglich war, da entweder die zu beurteilenden Merkmale widersprüchlich ausgeprägt waren oder der Überlieferungszustand des Skeletts keine Untersuchung von aussagekräftigen Merkmalen zuließ, wurden diese morphologisch als „n.d.“ (nicht determiniert) aufgenommen.

Bei Kinderskeletten ist die morphologische Geschlechtsdiagnose nicht sicher möglich. Geschlechtsdeterminierende Merkmale am Skelett wie z.B. die unterschiedliche Weite der *Incisura ischiadica major* oder auch der *Angulus subpubicus* bilden sich erst durch den Anstieg gebildeter Geschlechtshormone während der Pubertät aus. Kinderskelette von Jungen und Mädchen ähneln sich daher morphologisch sehr. Eine gesicherte Skelettdiagnose ist dann nur mit Hilfe der Molekulargenetik möglich. Mit zunehmendem Alter im Juvenis wird die morphologische Geschlechtsdiagnose, zumindest über die Beurteilung von Merkmalen am Becken, immer sicherer. Robustizitätsmerkmale am Schädel können sich noch in der frühadulten Altersklasse vollständig ausbilden.

Da die gesamten Individuen ebenfalls molekulargenetisch untersucht wurden (vgl. Kapitel 5.4.3.1), konnten die morphologischen Geschlechtsbestimmungen aller Individuen genetisch abgesichert werden.

5.2.2 STERBEALTERSDIAGNOSE

Bei der Bestimmung des Sterbealters eines Individuums können sowohl morphologische als auch lichtmikroskopische Methoden angewendet werden. Bei der morphologischen

Sterbealtersdiagnose wird das biologische Alter bestimmt, welches vom kalendarischen Alter deutlich abweichen kann. Insbesondere bei erwachsenen Individuen sind es altersbedingte degenerative Veränderungen, die bei der Sterbealtersbestimmung untersucht werden. Da diese Veränderungen jedoch graduell auftreten und stark von exogenen Faktoren wie mechanischer Belastung, den Lebensbedingungen sowie der genetischen Disposition abhängen, ist eine Altersbestimmung in Jahren nicht möglich (z.B. Grupe et al. 2015). Es hat sich daher bei der anthropologischen Skelettdiagnose etabliert, das Alter der Individuen in Altersklassen anzugeben (Martin 1928). Das Sterbealter erwachsener Individuen wird dabei in drei große Altersklassen unterteilt: *Adultas* (20-40 Jahre), *Maturitas* (40-60 Jahre) und *Senilis* (>60 Jahre). Die Altersklasse *Adultas* und *Maturitas* werden dabei nochmal in drei circa sieben Jahre umfassende Subklassen unterteilt (früh-, mittel- und spät-). Kinder und Jugendliche werden ebenfalls in Altersklassen eingeteilt (*Infans I* = 0-6 Jahre, *Infans II* = 7-12 Jahre, *Juvenis* = 13-20 Jahre), wobei bei subadulten Individuen häufig aufgrund zahlreicher entwicklungsbedingter Veränderungen am Skelett, die in enger Korrelation mit dem chronologischen Alter stehen, eine genauere Bestimmung des Sterbealters möglich ist. Die juvenilen Individuen wurden über die Beurteilung des Apo- und Epiphysenschlusses altersbestimmt (Ferembach et al. 1980). Der Anschluss der sternalen Clavicula-Epiphyse sowie die Ossifikation der Beckenkammepiphyse können noch bis ins frühe *Adultas* einen Aufschluss über das Individualalter geben. Spätestens ab dem mittleren *Adultas* muss die Altersdiagnose auf Basis der Ausprägung anderer morphologischer Merkmale durchgeführt werden. Die sog. Komplexe Methode nach Acsádi und Nemeskéri (1970) ist eine Methode, um eine morphologische Altersdiagnose durchzuführen. Die zu beurteilende Merkmale weisen eine höhere Schwankungsbreite auf und müssen somit immer in Kombination betrachtet werden. Bei der Untersuchung der Skelette aus Rödelheim wurden nur einige der Merkmale beurteilt. Um an den Skeletten möglichst wenig invasiv zu arbeiten, wurde die Knochenbinnenstruktur der proximalen Humerus- und Femurepiphyse nicht untersucht. Die Sterbealtersdiagnose wurde vorrangig über die Oberflächenstrukturen der *Facies symphysialis ossis pubis* und dem ectocranialen Schädelnahtverschluss durchgeführt. Das Leitmerkmal ist dabei die Oberflächenstruktur der *Facies symphysialis ossis pubis*, welche sich im Verlauf des Lebens verändert: bei jungen Individuen zeigt sich ein stark ausgeprägtes Relief, welches im Verlauf immer weiter zurückgeht, bis sich die Symphyse graduell zu einer glatten, konkaven Fläche verändert. Zusätzlich kann es zu einer Randleistenbildung kommen. Zusätzlich wurde der endocraniale Nahtverschluss der großen Schädelnähte (*Sutura coronalis*, *Sutura sagittalis*, *Sutura lamdoidea*) beurteilt. Dabei ist anzumerken, dass die Obliteration der einzelnen Schädelnähte bzw. Schädelnahtabschnitte zwar zu unterschiedlichen Zeitpunkten des Lebens einsetzt, jedoch sehr starken individuellen Schwankungen unterliegt (z.B. Szilvássy 1988) und somit bei der Altersbestimmung nur als

hinweisgebend angesehen werden kann. Abbildungen zu den beurteilten Merkmalen sowie die entsprechenden Schemata zu den Beurteilungskriterien finden sich z.B. in (Herrmann et al. 1990).

Grundsätzlich kann die qualitative Beurteilung der Mikrostruktur des Knochens als Unterstützung bei der Altersdiagnose herangezogen werden. Bei der Rödelheim-Serie wurde hiervon aber abgesehen, da sich bei der Anfertigung erster histologischer Präparate aus dem Femur zeigte, dass die Binnenstruktur der Knochen stark von Mikroorganismen geschädigt ist und somit eine zuverlässige Identifikation der altersabhängigen Umstrukturierung der Knochenmikrostruktur nicht möglich ist.

5.2.3 ABWEICHUNGEN VON DER REGELANATOMIE UND PATHOLOGISCHE VERÄNDERUNGEN

5.2.3.1 ANZEICHEN HOHER PHYSISCHER BELASTUNG

DEGENERATIVE GELENKERKRANKUNGEN

Degenerative Gelenkerkrankungen beschreiben Abnutzungserscheinungen der Gelenke, die durch einen Rückgang von Knorpel am Knochen des artikulierenden Gelenks ausgelöst wird und zu charakteristischen Knochenveränderungen, wie die Bildung von Randleisten und zackigen Knochenneubildungen (Osteophyten) sowie bei fortschreitender Degeneration zur vollständigen Zerstörung des Gelenks führen kann. Degenerative Veränderungen sind im fortgeschrittenen Alter (wie dem Senilis) sehr häufig und somit als „altersregelgerecht“ anzusehen, bei Individuen der Altersklasse Adultas und jünger kommen sie jedoch eher selten vor und können daher Hinweise auf erhöhte mechanische Belastung der Gelenke geben. Jedoch müssen auch immer andere Einflussfaktoren wie das Geschlecht, die genetische Disposition sowie Traumata oder auch Krankheiten des Skelettsystems in Betracht gezogen werden (Grupe et al. 2015).

Die großen Gelenke sowie die Wirbel und die Zwischenwirbelgelenke der Individuen aus Rödelheim wurden auf mögliche altersuntypische Veränderungen untersucht, um diese im Hinblick auf belastungsintensive Aktivitätsmuster zu interpretieren. In der Masterarbeit von Frye (2018) wurden die degenerativen Veränderungen exemplarisch an 24 spät-juvenil bis früh-adulten Individuen der Skelettserie Rödelheim anhand der Bewertungsbögen von Schultz (1988) (für den Gelenkstatus und die Wirbelsäulenveränderungen) aufgenommen. Für den Gelenkstatus wurde das Schulter-, Ellenbogen- und Handgelenk sowie für die untere Extremität das Hüft-, Knie- sowie das proximale und distale Sprunggelenk befundet. Bei der Wirbelsäule wurden die craniale und caudale Deckplatte der Wirbelkörper sowie die cranialen und caudalen Zwischenwirbelgelenke der gesamten Wirbel bewertet. Zusätzlich wurde das Sacrum (craniale Deckplatte und die

Artikulationsgelenke zum fünften Lendenwirbel) sowie die Gelenke zum Atlas am Cranium befundet. Der Schweregrad der degenerativen Veränderungen wurde in sieben verschiedenen Abstufungen aufgenommen, welche der Arbeit von Schultz (1988) entnommen werden können. Um einen Vergleich der degenerativen Veränderungen an den Gelenken der Individuen aus Rödelheim zu ermöglichen, wurden männliche Individuen gleichen Alters und ähnlicher Zeitstellung der Skelettserien Inden (19./frühes 20. Jhd., vermutlich bäuerliche Population aus Aachen, N=4) und Göttingen (19./frühes 20. Jhd., katholische Stadtbevölkerung, N=6) befundet.

Die Eburnisation eines Gelenks ist eine weitere Manifestation fortschreitender degenerativer Veränderungen, bei dem subchondraler Knochen in direktem Kontakt bei der Artikulation eines Gelenkes steht, da die schützenden Knorpelschichten im betreffenden Areal zerstört sind. Die eburnierten Flächen zeigen sich als sehr glatte, glänzende, von der Konsistenz an Elfenbein erinnernde Bereiche am Knochen. Für die untersuchten Individuen bei Frye (2018) wurde die Eburnisation im Bewertungsschema von Schultz (1988) bereits berücksichtigt. Für die übrigen Individuen sowie die Gelenke, die im Rahmen der Arbeit von Frye nicht untersucht wurden, wurden die beobachteten Eburnisation notiert und fotografisch dokumentiert.

VERÄNDERUNGEN AN DEN WIRBELKÖRPERN UND DEN WIRBELBÖGEN

Neben den degenerativen Veränderungen an den Wirbelkörpern und -bögen wurden auch weitere Veränderungen an den Wirbeln, die einen Hinweis auf eine hohe physische Belastung der Individuen geben können, näher untersucht. Vorrangig sind hier die Impressionen in die Grund- und Deckplatten der Wirbelkörper durch sog. Schmorlsche Knorpelknötchen (Georg Schmorl *1861-†1932) zu nennen. Schmorlsche Knorpelknötchen resultieren aus einer Schädigung der Endplatten der Wirbelkörper, die sowohl durch eine genetische Disposition (Dihlmann 1987) oder auch schwere physische Kompressions- oder Torsionsbelastung (Waldron 2009; Grupe et al. 2015) hervorgerufen werden können. Das Bandscheibenmaterial bildet die Schmorlschen Knorpelknötchen, welche sich punktuell in die Endplatte des Wirbelkörpers ausdehnen und am Skelett gut sichtbare punktförmig bis rinnenartige Impressionen hinterlassen, die gelegentlich auch in den Wirbelkanal münden können. Die Erfassung und Klassifizierung von Impressionen der Schmorlschen Knorpelknötchen wurden vorrangig im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) durchgeführt. Die Veränderungen wurden dabei in einem dreistufigen System bewertet: in Stufe 0 wurden die morphologisch unauffälligen Individuen eingestuft. In die Stufe 1 wurden die Wirbel eingeteilt, wenn zwar eine Impression in der Wirbelkörperendplatte identifiziert werden konnte, diese jedoch nicht so tief war, dass unterliegendes Trabekelgewebe sichtbar wurde. War dieses sichtbar oder konnte ein Durchbruch in den Wirbelkanal identifiziert werden, so wurde das Stadium 2 notiert. Ebenfalls im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) wurden Ossifikationen des

Ligamentum flavum an den Wirbelbögen als mögliches Anzeichen von erhöhtem physischen Stress auf die Wirbelsäule in drei Ausprägungsstadien aufgenommen. Die Verknöcherung zeigt sich in mehr oder weniger stark ausgebildeten Zapfen am cranialen und/oder caudalen Bereich der Wirbelbögen. Waren diese Zapfen nicht ausgebildet, wurden das Stadium 0 vergeben. Bei einer schwachen Ausbildung der Zapfen (an einigen Wirbeln) das Stadium 1 und bei sehr starker Ausbildung der Knochenneubildung das Stadium 2.

VERÄNDERUNGEN DER MUSKELANSATZSTELLEN

Um einen genaueren Einblick in die physische Belastung der napoleonischen Soldaten zu erhalten, wurden neben den degenerativen Veränderungen an den großen Gelenken und der Wirbelsäule auch Veränderungen an den Muskelansatzstellen der Knochen untersucht. Diese Veränderungen können sich als Knochenneubildung (Enthesiophyten) oder Knochenverdichtung im Bereich der Ansatzstelle zeigen, aber auch Läsionen am Knochen sind eine mögliche Ausprägungsform. Der Ausprägungsgrad der Veränderung am Knochen in Kombination mit der Lokalisation und dem Alter des Individuums kann bis zu einem gewissen Maß ein Indikator für vorherrschende Be- bzw. Überlastungszustände eines Organismus sein (z.B. Grupe et al. 2015). Eine systematische Aufnahme der Enthesiopathien an der sternalen Seite der Clavicula, der Ansatzstellen für das *Ligamentum costoclaviculare*, wurde im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) durchgeführt. Die Veränderungen wurden in vier Stadien eingestuft: im Stadium 0 konnte keine Veränderungen der Ansatzstelle identifiziert werden, im Stadium 1 war eine gewisse Rauigkeit auf der Oberfläche nachweisbar, im Stadium 2 war eine leichte Erhebung oder Eintiefung der Ansatzstelle zu identifizieren, welche im Stadium 3 deutlich ausgeprägter vorliegen mussten. Weitere Veränderungen der Muskelansatzstellen am Skelett z.B. im Insertionsbereich des *Musculus deltoideus* und *M. pectoralis major* am Humerus, der Ansatzstelle für die *M. soleus* an der Dorsalseite der Tibia oder der ventral gelegenen Ansatzstelle für des *L. patellae*, wurden aufgenommen, wenn sie stark ausgeprägt waren, jedoch nicht in verschiedene Schweregrade unterteilt.

STRESSFRAKTUREN

Neben der Aufnahme von Traumata, deren Ursache vorrangig in z.B. Unfällen oder interpersoneller Gewalt gefunden werden kann (vgl. Kapitel 5.2.3.3), können Frakturen bestimmter Knochen im Skelett auch als Hinweis auf erhöhte physische Belastung interpretiert werden. Durch die häufige Ausübung einer bestimmten Aktivität kann es zu wiederholten Mikrotraumata bestimmter Knochen kommen, die dann im Weiteren in einer sog. Stressfraktur des Knochens resultieren können. Zahlreiche Knochen können durch unterschiedliche Aktivitätsmuster von Stressfrakturen betroffen sein, jedoch wurden für die Skelette aus Rödelheim insbesondere die

Frakturen der Metatarsalia und der Naviculare des Fußskeletts betrachtet, da das Auftreten der Frakturen im Zusammenhang mit langem Marschieren steht (Bernstein et al. 1946; Weinfeld et al. 1997; Waldron 2009). Da Stressfrakturen insbesondere an den Metatarsalia sehr subtil sein können, wurden im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) die Fußknochen noch einmal gezielter untersucht. Jedes Individuum wurde in die Analyse mit einbezogen, bei dessen Befund mindestens die Hälfte aller Fußknochen für die Untersuchung vorlagen. Die Frakturen wurden dabei in vorhanden (1) oder nicht vorhanden (0) aufgenommen. Weiter wurden auch Frakturen an den Wirbelbögen der Lendenwirbelsäule (Spondylolysis), Rippen und dem Collum des Femurs mit in die Interpretation einbezogen, da auch hier langes Marschieren und das Tragen von schwerem Gepäck die Frakturen begünstigen können (Waldron 2009).

WEITERE ANZEICHEN FÜR PHYSISCHEN STRESS

Die Skelette der Rödelheim Serie wurden auf weitere Anzeichen von erhöhtem physischen Stress untersucht, wie das Auftreten von *Osteochondrosis dissecans* und unspezifischen periostalen Reaktionen (Periostitis) an den Knochen.

Osteochondrosis dissecans entsteht durch eine Verletzung des Gelenkknorpels, dessen Ein- oder auch Abriss den subchondralen Knochen mit beeinträchtigen kann. Im weiteren Verlauf kann es zu einer Nekrose des Knochens kommen, welche sich als unterschiedlich große Läsion am Knochen zeigt. Eine mögliche genetische Disposition, die das Auftreten der Defekte begünstigt, wird diskutiert (z.B. Mann und Hunt 2005), jedoch scheinen Traumata, insbesondere sich wiederholende Mikrotraumata durch erhöhte physische Belastung (vgl. Stressfrakturen), eine entscheidende Rolle bei der Entstehung einzunehmen (Aufderheide und Rodríguez-Martín 1998). Da bei den Individuen aus Rödelheim eine hohe physische Belastung angenommen wird, wurde daher das Auftreten von *Osteochondrosis dissecans* an den Knochen notiert.

Das Auftreten einer Periostitis oder auch periostaler Reaktionen ist Folge einer Entzündung der Knochenhaut, deren Ursache z.B. in Infektionen, Traumata, Vitamin-C-Mangel oder Autoimmunerkrankungen sowie hohem physischen Stress und Dauerbelastung sein kann (Adler 1998; Grupe et al. 2015). Entzündungen der Knochenhaut führen dabei häufig zu einer Einblutung unter die Knochenhaut, woraufhin der Organismus zur Knochenneubildung angeregt wird. Diese Neubildungen können am (mazerierten) Knochen ganz unterschiedlich in Erscheinung treten. So kann eine aktive Periostitis am Vorhandensein von porösem Geflechtknochen erkannt werden, der sich farblich deutlich von der Knochenoberfläche abhebt. Bei einer inaktiven oder abgeheilten Periostitis liegt verdickter, grob poröser oder streifiger Lamellenknochen vor, der sich farblich nicht von der Knochenoberfläche unterscheidet und auch breite Gefäßabdrücke aufweisen kann (Steckel et al. 2005; Grupe et al. 2015). Die Knochen der Individuen aus Rödelheim wurden auf das

Vorhandensein von periostalen Reaktionen untersucht und die Lokalisation am Skelett notiert. Die unspezifischen, streifigen periostalen Reaktionen wurden darüber hinaus nach Schweregrad beurteilt. Hierfür wurden die Veränderungen in leicht (Stufe 1), mittel (Stufe 2) und stark (Stufe 3) ausgeprägt unterteilt.

5.2.3.2 STRESSMARKER AUS KINDHEIT UND JUGEND (FREIKAUFEN DER WOHLHABENDEN BÜRGER AUS DEM MILITÄRDIENTST)

AMELOGENESIS IMPERFECTA

Amelogenesis imperfecta, auch Schmelzhypoplasie genannt, bezeichnet eine Unterentwicklung des Zahnschmelzes während der Kindheit. Die Entwicklungsstörung kann unterschiedliche Formen annehmen, jedoch ist sie häufig als transversale Linien oder Grübchenreihen an den Zahnkronen der Individuen zu erkennen. Das Vorhandensein von Schmelzhypoplasien kann als Ausdruck von physiologischem Stress während des Bildungszeitraums der betreffenden Zahnkrone gesehen werden, hervorgerufen durch z.B. Mangelernährung, Infektionserkrankungen sowie anderen Stressperioden in der Kindheit (z.B. Hillson 2008). Im Gegensatz zu den durch physiologischen Stress hervorgerufenen Veränderungen am Knochen, die nach überwundenen Krisen wieder umgebaut werden und somit nicht dauerhaft am Skelett nachweisbar sind, unterliegen die Zahnkronen keinen bzw. nur sehr stark eingeschränkten Umbauprozessen und ermöglichen somit einen permanenten Einblick in überstandene Entwicklungsstörungen (Grupe et al. 2015). Um das Auftreten der transversalen/linearen Schmelzhypoplasien (LEH) näher zu untersuchen wurden die Veränderungen an den Zähnen der Skelette der Serie Rödelheim im Rahmen der Arbeit von Meyer-Delvendahl (2021) näher klassifiziert. Der von ihr angewendete Klassifizierungsschlüssel orientierte sich dabei an Schultz (1988), wobei die Stadien III bis V jedoch modifiziert wurden. Daraus ergab sich, dass das Stadium 0 vergeben wurde, wenn keine Schmelzhypoplasien beobachtet werden konnten. Stadium I wurde vergeben, wenn sich Schmelzauffälligkeiten wie schwach ausgeprägte Linien und Grübchen zeigten sowie andere Schmelzveränderungen, die von der Regelanatomie abwichen. Ab Stadium II wurde von der Ausbildung klassischer Schmelzhypoplasien gesprochen, die je nach Schweregrad eingeteilt wurden: Stadium II „leichte Schmelzhypoplasien“ mit ein bis zwei Linien oder Grübchenreihen, Stadium III „mittlere Schmelzhypoplasien“ mit drei bis fünf Linien oder Grübchenreihen oder Stadium IV „schwere Schmelzhypoplasien“ mit mehr als fünf deutlich erkennbaren Linien oder Grübchenreihen.

Im Rahmen der Arbeit von Rachel (2022) wurden die Schmelzhypoplasien mit Hilfe des Klassifizierungsschlüssels nach Schultz (1988) an der Skelettserie Kassel aufgenommen. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Serie Rödelheim und Kassel zu gewährleisten, wurden die Individuen der Skelettserie Rödelheim erneut befundet.

In beiden Arbeiten wurde mit Hilfe der beobachteten Schmelzhypoplasien ein Entstehungszeitpunkt ermittelt. Da sich die Zahnkronen zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Kindesalter bilden, lässt die Kenntnis über den untersuchten Zahn und dem Bildungszeitpunkt der Zahnkrone, in Kombination mit der Ausprägung und Lokalisation der Schmelzhypoplasie(n), eine Bestimmung eines relativ genauen Entstehungszeitpunktes zu.

In der vorliegenden Arbeit werden für die Auswertung und Ergebnisinterpretation überwiegend die Daten von Rachel (2022) verwendet, da diese zum einen bei den Individuen aus Rödelheim und Kassel denselben Klassifizierungsschlüssel verwendet hat und zum anderen die Daten besser vergleichbar sind, da sie durch dieselbe Bearbeiterin erhoben wurden.

5.2.3.3 ERNÄHRUNG, HYGIENE UND GESUNDHEIT

CRIBRA ORBITALIA, CRIBRA CRANII EXTERNA UND CRIBRA FEMORALIS

Poröse Veränderungen am Knochen können an diversen Skelettelementen auftreten. In Abhängigkeit von der Lokalisation der Porositäten werden unterschiedliche Begriffe verwendet, so *Cribra orbitalia* für Läsionen im knöchernen Augendach, *Cribra cranii externa* für Veränderungen an der externen Schädelkalotte oder *Cribra femoralis* für Defekte am Collum des Femurs. Als Ursache für die porotischen Veränderungen wird häufig eine chronische, durch Eisenmangel hervorgerufene Anämie genannt (z.B. Stuart-Macadam 1985), jedoch können auch andere, auf diverse Ursachen zurückzuführende Faktoren wie subperiostale, hämorrhagische Prozesse, Entzündungsreaktionen, Tumore sowie andere ernährungsbedingte Mangelkrankungen und eine genetische Disposition einflussnehmend sein (Schultz 2001, 2003). Ohne eine genaue mikroskopische Untersuchung des von *Cribra* betroffenen Knochens kann die Ursache nicht zuverlässig bestimmt werden und die porösen Veränderungen lediglich als unspezifischer Stressmarker gewertet werden (Steckel et al. 2005).

Bei der Klassifizierung von *Cribra orbitalia* kann auf diverse Einteilungssysteme zurückgegriffen werden (z.B. Schultz 1988). In der anthropologischen Diagnostik hat sich die Anwendung eines vierstufigen Einteilungssystems etabliert (Steckel et al. 2005), in welchem die *Cribra orbitalia* über das Auftreten sowie die Ausdehnung von Porositäten im knöchernen Augendach beschrieben wird. An diesem System orientierte sich Langenstein (2019) und ergänzte das System um zwei weitere Stufen, um die Einteilung des Schweregrades der *Cribra orbitalia* noch weiter zu spezifizieren. Die Orbitae der gesamten Individuen aus Rödelheim wurden mittels einer Lupe untersucht und die Veränderungen der Orbitae nach dem Bewertungsschema klassifiziert. Zusätzlich wurden die Individuen aus der Serie Kassel und Inden befundet. Das Stadium 1 beschreibt das Fehlen oder nur vereinzelte Auftreten von Porositäten im knöchernen Augendach. Finden sich mehr als zehn

Porositäten isoliert im Orbitadach, so wurde das Individuum mit dem Stadium 2 bewertet. Für das Stadium 3 mussten zusätzlich knotige Knochenauflagerungen oder Clusterbildung der Porositäten auf einer Fläche kleiner als 0,5 x 0,5 cm vorliegen. Traten die Cluster auf einer größeren Fläche kleiner als 1 cm² auf, so wurde die Orbita in Stadium 4 eingeteilt. Clusterbildung größer als 1 cm² wurden mit dem Stadium 5 bewertet.

Im Rahmen der Arbeit von Langenstein (2019) wurde das Auftreten von porösen Veränderungen am Ectocranium von Individuen aus den Serien Rödelheim und Kassel untersucht. Hierbei wurde jedoch keine systematische Klassifizierung in unterschiedliche Stadien durchgeführt, sondern es wurden nur die Porositäten aufgenommen, die sich über ein Areal von mehr als 1 cm² clusterartig ausdehnten. Im Rahmen der Arbeit von Weiher (2022) wurden diese Veränderungen bei den Skelettserien Rödelheim und Kassel noch einmal näher klassifiziert. Dabei wurde zum einen aufgenommen, in welchem Areal die Porositäten lokalisiert waren (Os frontale, Ossa parietalia, Os temporale) und zum anderen wurde das Auftreten in vier Schweregrade unterteilt: Stadium 0 mit keinen bzw. nur vereinzelt Veränderungen, die mehr als 0,5 cm auseinander liegen, Stadium 1 in dem feine Porositäten vorliegen und die punktförmigen Vertiefungen weniger als 0,5 cm auseinander liegen, Stadium 2 in dem die Dichte der Porositäten stark zunimmt und auch eine Größenzunahme der Veränderungen verzeichnet werden kann. Zusätzlich können vereinzelt wellige Strukturen auf der Calotte beobachtet werden. Im Stadium 3 sind die Veränderungen noch stärker ausgeprägt. Die Porositäten sind größer und deutlich tiefer sowie die Calottenoberfläche häufig deutlich wellenartig modifiziert.

Bei der *Cribra femoris*, also der porösen Veränderung am Femurhals, ist die genaue Ätiologie sowie der Zusammenhang zu anderen *Cribra*-Varianten noch nicht vollständig geklärt, jedoch wird angenommen, dass die porösen Veränderungen am Femurhals ein Resultat von anhaltendem physiologischen Stress oder Mangelernährung sein können (Mangas-Carrasco und López-Costas 2021). Die *Cribra femoris* wurde im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) aufgenommen. Eine Klassifizierung in unterschiedliche Schweregrade wurde nicht durchgeführt, jedoch wurden die Porositäten gegen andere Veränderungen am Collum, wie die Poirier- und Allen-Facette, abgegrenzt.

INFEKTIONSERKRANKUNGEN

In prä-antibiotischen Zeiten zählten die durch Mikroorganismen ausgelösten Infektionskrankheiten zu den häufigsten Todesursachen (Roberts und Manchester 2010), jedoch lassen sich morphologisch nur die wenigstens Krankheiten am archäologischen Skelettmaterial nachweisen (Grupe et al. 2015). Das Auftreten verschiedener Infektionskrankheiten und die Verbreitung dieser innerhalb einer Population ist von verschiedenen Faktoren abhängig, wie bspw. vom engen Kontakt

von Mensch zu Mensch bzw. von Mensch zu Tier sowie dem Hygieneverhalten (Grupe et al. 2015). Die Skelette aus Rödelheim wurden auf das gesamte Spektrum nachweisbarer Infektionskrankheiten morphologisch untersucht. Die Datenaufnahme erfolgte dabei auch im Rahmen diverser Examensarbeiten (Michehl 2020; Rachel 2022; Weiher 2022). Der Fokus lag auf Krankheiten, bei denen plausibel angenommen werden kann, dass sie insbesondere im Kontext der militärischen Lebensweise gehäuft auftreten können. Dazu zählen zum einen die unspezifischen Infektionskrankheiten Osteomyelitis und Periostitis (vgl. Kapitel 5.2.3.1) sowie respiratorische Erkrankungen wie die Sinusitis und zum anderen die spezifischen Erkrankungen Tuberkulose, Brucellose und Syphilis sowie der nicht skelettmanifeste Typhus bzw. die typhusähnlichen Erkrankungen. Bei der Osteomyelitis, der Tuberkulose und dem Typhus bzw. den typhusähnlichen Erkrankungen wurde darüber hinaus ein molekulargenetischer Erregernachweis durchgeführt (vgl. Kapitel 5.4.4).

Die Osteomyelitis ist eine Entzündung des Knochens bzw. des Knochenmarks und wird unspezifisch durch verschiedene Pathogene ausgelöst (z.B. Roberts und Manchester 2010). Als Hauptverursacher der Osteomyelitis in historischen Zeiten wird *Staphylococcus aureus* angenommen (Owen 1936; Ortner 2003), aber auch Streptokokken oder Mykobakterien können zum klinischen Bild der Osteomyelitis führen. Die Infektion mit den Erregern kann direkt durch eine Penetration des Gewebes, durch z.B. offene Frakturen oder auch Stichverletzungen, geschehen. Aber auch Infektionen ausgehend von angrenzenden Entzündungen oder Geschwüren sowie als sekundäre Infektionen über die Blutbahn aus dem Rachenraum, Mittelohr oder dem respiratorischen System sind beschrieben (z.B. Ortner 2003, Grupe et al. 2015) und gelten insbesondere in historischen Zeiten als Hauptursache der Osteomyelitis (Roberts und Manchester 2010). Das klinische Bild ist dabei gekennzeichnet durch eine unregelmäßige osteolytische Zerstörung des Knochens und Bildung von Kloaken, über die Eiter und nekrotisches Knochengewebe (Sequester) nach außen transportiert werden. Hinzu kommt die Bildung einer Totenlade, eines neugebildeten Geflechtknochens, der sich auf der Knochenoberfläche des nekrotisierenden Knochens ablagert und diesen schließlich umgibt, sodass das betroffene Skelettelement u.U. stark vergrößert wird (z.B. Ortner 2003).

Respiratorische Erkrankungen wie Entzündungen der Nasennebenhöhlen (*Sinusitis*) können insbesondere bei chronischer Erkrankung skelettmanifest auftreten. Die Veränderungen sind dabei als kleine Platten, Stippchen oder poröse Veränderungen auf der Knochenoberfläche zu erkennen (Schultz 1993). Eine systematische Aufnahme der Entzündungen ist in vielen Fällen schwierig, da die Nasennebenhöhlen luftgefüllte, in sich geschlossene Räume sind, die ohne einen invasiven Eingriff und eine endoskopische Untersuchung nicht befundet werden können. Die invasive

Methode wurde bei den Skeletten der Individuen aus Rödelheim nicht angewendet, jedoch wurden die Nebenhöhlen befundet, wenn sie durch Fragmentierung zugänglich waren.

Bei der Tuberkulose handelt es sich um eine Gewebeerstörende Erkrankung, die vor allem die Lunge, aber auch andere Organe betreffen kann. Ausgelöst wird die Tuberkulose von Bakterien des *Mycobacterium-tuberculosis*-Komplexes, dabei insbesondere die Erreger *M. tuberculosis* und *M. bovis*. Die Ansteckung mit *M. tuberculosis* erfolgt in der Regel über Tröpfcheninfektion von Mensch zu Mensch, wohingegen *M. bovis* natürlicherweise beim Rind auftritt. Durch den Konsum von z.B. nicht pasteurisierter Milch oder nicht durchgegartem Fleisch kann auch eine Übertragung auf den Menschen erfolgen. In den meisten Fällen verläuft die Tuberkuloseerkrankung nicht tödlich, da sich der Erreger latent in der Lunge verkapselt und einen sog. Ghon-Komplex bildet (Ghon 1912 nach Aufderheide und Rodríguez-Martín 1998). In einigen Fällen, insbesondere bei immungeschwächten Personen oder durch das Auftreten von Sekundärerkrankungen, kann es zum Ausbruch der Krankheit kommen. Der Symptom-Komplex umfasst dabei neben einem starken, oft blutigen Husten auch periostale Reaktionen und osteomyelitische Läsionen, die am Skelett identifiziert werden können. Die periostalen Reaktionen sind insbesondere an den Innenseiten der Lunge zugewendeten Knochenoberflächen der Rippen zu identifizieren (Aufderheide und Rodríguez-Martín 1998; Ortner 2003; Roberts und Manchester 2010). Bei einer Vielzahl von Knochentuberkulose-Fällen ist die Wirbelsäule ebenfalls betroffen. Hier können große Läsionen identifiziert werden, die vor allem den anterioren Bereich der Wirbelkörper betreffen (z.B. Aufderheide und Rodríguez-Martín 1998; Ortner 2003; Roberts und Manchester 2010; Grupe et al. 2015).

Bei der Brucellose handelt es sich um eine durch verschiedene Erreger der Spezies *Brucella* ausgelöste Krankheit, an der zahlreiche Haustiere erkranken können. *B. abortus* infiziert Rinder und Pferde, *B. melitensis* Ziegen und *B. suis* Hausschweine. Bei keinem der *Brucella*-Erreger ist der Mensch ein natürlicher Wirt, jedoch kann er sich durch den Verzehr von nicht pasteurisierter Milch oder Fleisch erkrankter Tiere mit dem Erreger infizieren. Die Krankheit führt nur in seltenen Fällen zum Tod (Grupe et al. 2015), jedoch treten diverse grippeähnliche Symptome auf und Erreger können auch über die Blutbahn das Skelettsystem befallen. An der Wirbelsäule kann es zu Läsionen kommen, die von der Lokalisation und dem Aussehen makroskopisch kaum von denen der Tuberkulose zu unterscheiden sind.

Die Syphilis oder Treponematose ist eine Infektionskrankheit, die je nach Erreger aus der Gattung *Treponema* zu einer von vier Erkrankungen führen kann: *T. carateum* (Pinta), *T. pertenue* (Frambösie), *T. endemicum* (endemische Syphilis) und *T. pallidum* (erworbene Syphilis). Die Übertragung von *T. pallidum* erfolgt vorrangig über Geschlechtsverkehr, aber auch eine

Übertragung des Erregers während der Schwangerschaft und Geburt von einer erkrankten Mutter auf das Kind (kongenitale Syphilis) ist möglich. Die erworbene Syphilis teilt sich in vier Stadien der Erkrankung ein, wobei nur die Symptome im sekundär und tertiär Stadium Veränderungen am Skelett hervorrufen. Osteomyelitische Prozesse, insbesondere am Schädel und den Langknochen, führen zu kraterartigen Oberflächenläsionen (Gummae) mit angrenzenden entzündlich veränderten periostalen Reaktionen. Am Schädel zeigen sich häufig wie nach Wurmfraß aussehende Läsionen, die auch als *Caries sicca* bezeichnet werden. Bei der kongenitalen Syphilis können häufig Veränderungen nahe dem Gelenkknorpel und angrenzenden Knochen (Osteochondritis) sowie periostale Reaktionen an den unteren Extremitätenknochen, besonders anterior an der Tibia, diagnostiziert werden. Häufig können auch Entwicklungsstörungen an den Zähnen der Individuen, wie z.B. *Mulberry molars* (Molaren, deren Kronen aussehen wie Maulbeeren), beobachtet werden (Aufderheide und Rodríguez-Martín 1998; Ortner 2003; Grupe et al. 2015).

Der Typhus bzw. die typhusähnlichen Erkrankungen hinterlassen keine direkten morphologisch diagnostizierbaren Veränderungen am Skelettsystem. Jedoch kann das Auftreten von *Cribra cranii externa* am Schädel, also poröse Veränderungen an der Schädelcalotte, einen Hinweis auf einen zu Lebzeiten des Individuums vorherrschenden Lausbefall geben. Wie bereits beschrieben, können die porösen Veränderungen auf der Schädelcalotte durch diverse Ursachen hervorgerufen werden. Eine Möglichkeit ist dabei, dass die Läsionen durch Entzündungsreaktionen der Kopfschwarte hervorgerufen werden können (Schultz 2003). Ein Lausbefall führt zu starken Juckreizen auf der Kopfhaut, welches vermehrt zum Kratzen dieser führt. Über entstanden Läsionen der Haut können entzündungsauslösende Bakterien in die Wunde eintreten und zu den porösen Veränderungen der ectocranialen Schädelcalotte führen. Da Läuse Vektor für eine Vielzahl der krankheitsauslösenden Erreger der typhusähnlichen Erkrankungen sind (*Bartonella quintana*, *Rickettsia prowazekii* und *Borrelia recurrentis*), kann das Auftreten von Porositäten als Hinweis für eine Erkrankung des Individuums gesehen werden.

Stomatitis ist eine Entzündung der Mundschleimhaut, die im Falle einer chronischen Manifestation auch Auswirkungen auf den darunterliegenden harten Gaumen (*Palatum durum*) haben kann. Die Entzündung führt zu einer porösen Veränderung des Knochens, die auch regelmäßig von einer Exostosenbildung begleitet ist. Im Rahmen der Arbeit von Rachel (2022) wurden die Individuen der Serien Rödelheim und Kassel auf Anzeichen einer chronischen Stomatitis untersucht. Eine Klassifizierung in unterschiedliche Schweregrade erfolgte dabei nicht, sondern es wurde lediglich notiert, ob eine Stomatitis vorlag.

DENTALPATHOLOGIEEN

In derselben Arbeit von Rachel (2022) wurden verschiedene Dentalpathologien an den Skeletten der Serien Rödelheim und Kassel näher untersucht. Neben der Untersuchung linearer Schmelzhypoplasien (vgl. Kapitel 5.2.3.2) wurde der Zahnstatus, die Zahnabrasion, Zahnstein, Parodontose und Parodontitis, periapikale Läsionen und Karies näher klassifiziert. Zusätzlich wurden Zahnanomalien sowie weitere Auffälligkeiten aufgenommen.

Unter der Zahnabrasion versteht man die Abtragung von Zahnschmelz durch mechanische Belastung, bspw. durch das Kauen von Nahrung. Aber auch habituelle Aktivitäten, wie das Rauchen von Tonpfeifen, können zu charakteristischen Abrasionen führen, den sog. Pfeifenlücken. Diese erlauben Rückschlüsse auf den Tabakkonsum eines Individuums (Herrmann et al. 1990; Grupe et al. 2015). Darüber hinaus kann die Aufnahme von Anzeichen des Zähneknirschens (Bruxismus) Hinweise auf physische oder psychische Stressperioden geben, da allgemein angenommen wird, dass durch das Knirschen der Zähne unwillkürlich Stress abgeleitet wird (Hillson 2005; Grupe et al. 2015). Der Bruxismus zeigt sich durch Absplittierungen des Zahnschmelzes, vor allem im Bereich der Schneidezähne.

Das Auftreten von Zahnstein ist auch keine Pathologie im eigentlichen Sinne, jedoch kann das Auftreten die Entstehung anderer Zahnpathologien begünstigen (Strohm und Alt 1998). Die Entstehung von Zahnstein wird in einem alkalischen Milieu in der Mundhöhle begünstigt, da dann anorganische Stoffe aus der Nahrung und dem Speichel zu Zahnstein umgebaut werden (Herrmann et al. 1990; Hillson 1996; Grupe et al. 2015).

Parodontitis und Parodontose werden beide in der Gruppe der parodontalen Erkrankungen geführt. Die Parodontitis ist eine bakteriell hervorgerufene Entzündung des Zahnhalteapparates, welche langfristig zu einem Rückgang des Alveolarrandes führt. Als Konsequenz liegt die Zahnwurzel ungeschützt vor, was sie anfällig für Plaqueanlagerungen macht und auch die Befestigung im Kiefer beeinträchtigt. Dies kann zu intravitalen Zahnverlust führen (Herrmann et al. 1990; Hillson 1996; Grupe et al. 2015). Insbesondere das Auftreten von Plaque und Zahnstein begünstigen die Entstehung einer Parodontitis, aber auch der Einfluss von Infektionserkrankungen und Mangelernährung wird diskutiert (Brothwell 1972; Strohm und Alt 1998). Im archäologischen Befund zeigt sich die Parodontitis in einer porösen Oberfläche bzw. im Bereich der Alveolen können die Ränder gezackt sein (Grupe et al. 2015). Die Parodontose beschreibt einen Rückgang des Alveolarknochens, dessen Ursache nicht in einer Entzündung begründet ist (Strohm und Alt 1998), sondern eher ein Zusammenhang zum Individualalter steht (Herrmann et al. 1990; Strohm und Alt 1998; Wahl und Zink 2013).

Das Auftreten von Karies an den Zähnen wird durch die Aufnahme von kariogener Nahrung begünstigt, da durch die bakterielle Verstoffwechslung von Kohlenhydraten organische Säuren freigesetzt werden, die eine Demineralisation am Zahn bewirken. Grundsätzlich ist jedoch zu sagen, dass das Auftreten von Karies durch weitere Faktoren, bspw. eine schlechte Zahn- und Mundhygiene, begünstigt wird (Herrmann et al. 1990; Hillson 1996, 2005; White und Folkens 2005; Grupe et al. 2015).

Die Läsionen sind Folge einer bakteriellen Entzündung im Bereich der Zahnwurzel, nachdem die Bakterien nach einer Eröffnung der Pulaphöhle, bspw. durch einen großen Kariesdefekt oder starke Zahnabnutzung, in den Wurzelkanal bis in den Alveolarknochen gelangt sind (Alt et al. 1998; Grupe et al. 2015). Die bakterielle Tätigkeit führt zur Eiterbildung und zum Nekrotisieren des Alveolarknochens, was zu einem Durchbruch in Form einer Kloake im Kiefer führen kann (Alt et al. 1998; Hillson 2005; Grupe et al. 2015). Insbesondere periapikale Läsionen im Bereich der Maxilla können lebensbedrohlich sein, da Bakterien in die Kieferhöhle eintreten und zu einer Sepsis führen können (Grosskopf 2004; Grupe et al. 2015).

Die Intensität der Zahnabrasionen wurde anhand des Schemas von Smith (1984) in acht Stufen eingeteilt. Der vorhandene Zahnstein wurde mit Hilfe des dreistufigen Systems nach Brothwell (1972) bewertet und zusätzlich die Lokalisation (oberhalb bzw. unterhalb des Zahnfleischsaums) näher beschrieben. Die Häufigkeit des Auftretens von Parodontose wurde ebenfalls anhand eines Schemas nach Brothwell (1972) aufgenommen, wohingegen die Parodontitis und die periapikalen Läsionen ohne eine Unterscheidung in Schweregrade dokumentiert wurde. Karies wurde anhand des Kariestyps (approximaler Karies, Fissurenkaries, ausgeprägter Karies, Wurzelkaries), der Lokalisation am Zahn sowie der Ausdehnung der Läsion näher beschrieben (Grupe et al. 2012, 2015).

TRAUMATA

Traumatische Verletzungen (die zu Lebzeiten eines Individuums stattgefunden haben) können durch verschiedene Ursachen wie Krankheit, Unfälle und Gewalt sowie chirurgische Eingriffe entstehen und Heilungsspuren können am Skelett identifiziert werden (prämortale Verletzungen), sofern die Traumata nicht unmittelbar oder sehr kurzfristig zum Tod geführt haben (perimortale Verletzungen) (Grupe et al. 2015). Prä- und perimortale Verletzungen am Knochen müssen stets gegen postmortale Defekte abgegrenzt werden. Verletzungen, die intravital am elastischen Knochen entstanden sind, hinterlassen in der Regel glatte Bruchkanten, die dieselbe Färbung aufweisen wie der übrige Knochen des Individuums. Dem gegenüber stehen die postmortalen Defekte, die durch taphonomische Prozesse aber auch als Artefakt bei der archäologischen Grabung entstehen können und deutlich hellere, eher zackige Bruchkanten aufweisen. Die Individuen der

Serie Rödelheim wurden auf Veränderung an den Knochen untersucht. In zwei Examensarbeiten wurden die Traumata des postkranialen Skeletts (Michehl 2020) und die des Schädels (Rachel 2020) näher klassifiziert. Im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) wurden die identifizierten Traumata in Frakturen sowie durch stumpfe oder scharfe Gewalt hervorgerufene Verletzungen unterschieden. Bei den Schädelverletzungen wurde die genaue Lokalisation des Defektes am Schädel aufgenommen und die Form und Richtung der Gewalteinwirkung näher klassifiziert (halbscharfe, scharfe, stumpfe und punktförmige Gewalteinwirkung). In beiden Arbeiten wurden die Knochen auf Anzeichen von Heilungsspuren untersucht, um eine grobe zeitliche Einordnung des Entstehungszeitraum zu ermöglichen.

5.3 MORPHOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN

5.3.1 KÖRPERHÖHENSCHÄTZUNG

Für die Berechnung der Körperhöhe wurden die langen Extremitätenknochen (Femur, Tibia, Humerus und Radius) osteometrisch erfasst. Dem Verfahren liegt zugrunde, dass die Länge der Extremitätenknochen in enger Korrelation mit der tatsächlichen Körperhöhe des zu untersuchenden Individuums steht. Für die Ermittlung der Langknochenmaße wurden die Messstrecken F1, T1, H1 und R1 nach Martin (1928) genommen. Im Anschluss erfolgte über empirisch ermittelte Schätzformeln (Pearson 1899), die die Beziehung zwischen den Maßen der Langknochen und der Körperhöhe beschreiben, eine Rekonstruktion der Körperhöhe. Die Formel von Pearson ist bei der Untersuchung prähistorischer Skelettserien besonders geeignet, da die Daten vor Einsetzen der säkularen Akzeleration erhoben wurden (Herrmann et al. 1990). Dabei ist zu beachten, dass zum einen über die Regressionsformel nur eine Schätzung der Körperhöhe vorgenommen wird, dem immer ein Standardfehler von 3-4 cm zu Grunde liegt und zum anderen, dass für die Berechnung immer das Geschlecht des Individuums bekannt sein muss, da unterschiedliche Formeln für männliche und weibliche Individuen angewendet werden müssen.

Für die Schätzung der Körperhöhe subadulter Individuen bzw. den Individuen, die noch keinen Epiphysenanschluss an den langen Extremitätenknochen von Femur, Tibia, Humerus und Radius aufwiesen, wurden die Langknochen (ohne Epiphysen) osteometrisch erfasst. Im Anschluss wurden die Maße in eine für das Sterbealter des Individuums vorgegebene Formel von Telkka et al. (1962) eingesetzt und die Körperhöhe bestimmt.

5.3.2 ERFASSUNG ALLGEMEINER ROBUSTIZITÄT

Zusätzlich wurden weitere osteometrische Daten erhoben, die der Erfassung der Robustizität der Individuen dienen. Im Anschluss kann sich daraus abgeleitet der Robustizität der Population genähert werden, um diese als Maß für die körperliche Leistungsfähigkeit der jungen Männer zu interpretieren. Insgesamt wurden dazu 31 ausgewählte Messstrecken nach Martin (1928) an sieben Knochen des postkranialen Skeletts (Clavicula, Humerus, Radius, Ulna, Femur, Patella und Tibia) erfasst (Tabelle A1 im Anhang A). Für die Messung wurden insbesondere Messstrecken ausgewählt, die für die Berechnung folgender Robustizitätsindices benötigt werden:

$$\text{Clavicula Längen – Dickenindex} = \frac{C6*100}{C1} \text{ (Martin 1928)}$$

$$\text{Humerus Längen – Dicken – Index} = \frac{H7*100}{H1} \text{ (Herrmann et al. 1990)}$$

$$\text{Femur Robustizitätsindex} = \frac{(F6+F7)*100}{F2} \text{ (Herrmann et al. 1990)}$$

$$\text{Femur Robustizitätsindex (Caput femoris als Proxy für das Körpergewicht)} = \frac{(F6+F7)*100}{F19} \text{ (Wescott 2006)}$$

$$\text{Caput femoris Robustizitätsindex} = \frac{(F18+F19)*100}{F2} \text{ (Martin 1928)}$$

$$\text{Femurform im Diaphysenquerschnitts} = \frac{F6}{F7} \text{ (Wescott 2006)}$$

Darüber hinaus wurden isolierte Maße diverser Epiphysen aufgenommen, um über sie einen Eindruck der Robustizität einer Population zu bekommen.

Die Messungen erfolgten mit Hilfe verschiedener Messinstrumente (Messbrett, Maßband, Gleitzirkel und Tasterzirkel) nach Vorgabe von Martin (1928). Knochen der linken Körperseite wurden bevorzugt gemessen, lediglich das Femur wurde rechts vermessen, da bei einigen Femora an einem der für die osteometrischen Untersuchungen relevanten Messpunkte (F6/F7) ein Knochenstück für die histologischen Voruntersuchungen entnommen wurde.

In der Bachelorarbeit von Bütchorn (2022) wurden 15 dieser Messstrecken ausgewählt und die Skelettelemente der Individuen der Serie Kassel und Hanau osteometrisch erfasst. Die ermittelten Werte der Robustizitätsindices und Maße der Epiphysen wurden im Rahmen dieser Arbeit mit den osteometrischen Ergebnissen der Individuen aus Rödelheim verglichen.

5.4 MOLEKULARGENETISCHE UNTERSUCHUNGEN

5.4.1 KONTAMINATIONSPRÄVENTION UND AUTHENTIFIZIERUNG

Beim Umgang mit alter, degradierter DNA (ancient DNA, aDNA) ist die Prävention gegen etwaige Kontaminationen unerlässlich. Ancient DNA liegt nur in sehr geringen Mengen vor, was einen Amplifikationsschritt der zu untersuchenden Zielsequenzen (Targets) mittels Polymerasenkettenreaktion (*Polymerase chain reaction*, PCR) vor der Untersuchung unerlässlich macht. Die PCR ermöglicht eine theoretisch exponentielle Vervielfältigung spezifischer Zielsequenzen, selbst bei geringen DNA-Ausgangsmengen (Saiki et al. 1985; Mullis und Faloona 1987), wodurch die Untersuchung alter DNA überhaupt erst ermöglicht wird. Jedoch birgt die PCR-Amplifikation auch die Gefahr, dass bereits geringste Mengen rezenter Fremd-DNA, eingetragene Kontaminationen unterschiedlicher Herkunft, ebenfalls vervielfältigt werden und die Signale der authentischen, alten DNA überdecken (Hummel 2003). Eine Kontaminationsprävention durch etablierte Laborstandards sowie Authentifizierungsstrategien sind daher beim Umgang mit alter DNA unerlässlich. Im Folgenden werden mögliche Kontaminationsquellen aufgezeigt sowie Strategien beschrieben, um dem Risiko des Eintrags von rezenter Fremd-DNA entgegen zu wirken bzw. potentielle Kontaminationen aufzudecken.

KONTAMINATIONEN DURCH BEARBEITER:INNEN

Bei der Arbeit mit alter DNA geht das größte Risiko für den Eintrag rezenter Kontaminationen von den Bearbeiter:innen aus. Die Einbringung von Zellmaterial kann z.B. durch Hautschuppen, Speichel, Haare, Tränenflüssigkeit oder auch Schweiß der Bearbeiter:innen bei der Laborarbeit erfolgen. Um diesem entgegen zu wirken, wurden alle Laborschritte in entsprechender Schutzkleidung durchgeführt. Hierzu zählen das Tragen eines sauberen Kittels, einer OP-Haube, eines Mundschutzes und einer Schutzbrille sowie die Verwendung von Einmalhandschuhen. Da trotz aller Präventionsmaßnahmen ein Eintrag von Zellmaterial nie vollständig ausgeschlossen werden kann und etwaige Kontaminationen sofort als solche identifiziert werden müssen, wurden die genetischen Identifizierungsmuster (genetischer Fingerabdruck) des Laborpersonals erzeugt und in einer laborinternen Datenbank gespeichert. Die Datenbank ermöglicht den Abgleich der genetischen Fingerabdrücke der Mitarbeiter:innen mit den Analyseergebnissen der aDNA-Untersuchungen (vgl. Kapitel 5.4.3.1).

KONTAMINATIONEN DURCH VERWENDETE ARBEITSMATERIALIEN

Auch über die verwendeten Arbeitsmaterialien und Reagenzien können Kontaminationen aus dem Herstellungsprozess der Produzenten in die Analyse eingetragen werden (z.B. Schmidt et al. 1995).

Seit 2016 gibt es unter der Norm ISO 18385 (ISO 18385:2016) Reaktionsgefäße, bei denen der Hersteller garantiert, dass der Gehalt humaner DNA in z.B. Reaktionsgefäßen $<0,5 \text{ pg}/\mu\text{l}$ beträgt. Auf Gefäße, die dieser Norm entsprechen, sollte insbesondere im Prä-PCR Bereich zurückgegriffen werden. Zusätzlich sollten regelmäßig *extraction blanks* während der Analysegänge mitgeführt werden. Die *extraction blanks* wurden dabei während der gesamten Prozessierung wie Proben behandelt und enthielten somit alle Chemikalien, die für die Extraktion der aDNA aus dem eigentlichen Probenmaterial verwendet wurden. Positive Signale durch Amplifikation dieser *extraction blanks* können als Hinweis auf eine mögliche Kontamination der Extraktionschemikalien interpretiert werden. Ausbleibende Signale können umgekehrt als Nachweis gewertet werden, dass positive Analyseergebnisse der eigentlichen, alten Proben authentisch sind, bzw. nicht einer Kontamination der Extraktionschemikalien entstammen. Zusätzlich wurden bei jeder Amplifikation *no template controls* (NTC) als Leerkontrollen mitgeführt, um äquivalent zu den *extraction blanks* die für die PCR verwendeten Chemikalien auf Kontaminationen zu überprüfen (z.B. Hummel 2003).

KREUZKONTAMINATIONEN ZWISCHEN PROBEN

Bei der parallelen Bearbeitung verschiedener Proben ist die Gefahr von Kreuzkontamination gegeben (Kitchin et al. 1990). Um dieses Risiko zu minimieren, wurde während der Bearbeitung überwiegend auf Einwegmaterialien (Wägebepapier, Pipettenspitzen, Reaktionsgefäße, etc.) zurückgegriffen. In einigen Arbeitsschritten ist die Benutzung von Mehrweggefäßen erforderlich (z.B. Mahlbecher bei der Herstellung von Knochen-/Zahnpulver, Spitzenbehälter, Trichteraufsätze bei der DNA-Extraktion, etc.). Diese Gefäße wurden vor und nach der Benutzung gründlich mit 6 %igem Natriumhypochlorit, Alconox® Detergent, bidestilliertem Wasser und 70 %igem Ethanol gereinigt. Ebenso wurden Laboroberflächen und Arbeitsgeräte mit den beschriebenen Chemikalien vor Beginn und nach Abschluss der Arbeiten gereinigt.

CARRY-OVER KONTAMINATIONEN

Unter *Carry-over* Kontaminationen versteht man die Rückverschleppung von PCR-Produkten aus früheren Amplifikationen aus dem Post-PCR- in den Prä-PCR-Bereich. Wenn PCR-Produkte in den Prä-PCR Bereich eingetragen werden, würden diese bei der nächsten Amplifikation bevorzugt vermehrt werden und die authentischen Signale der aktuellen Proben, insbesondere bei der Analyse von aDNA, überdecken (Kwok 1990). Um dieser Form der Kontamination entgegen zu wirken, wird bei der Analyse alter DNA strikt nach dem „Einbahnstraßenprinzip“ gearbeitet (Hummel 2003), was bedeutet, dass eine räumliche und zeitliche Trennung von Laborabläufen in Prä- und Post-PCR besteht. Bearbeiter:innen dürfen ohne den Wechsel von Kleidung und Reinigung von Körper und Haaren nur von Prä-PCR-Laboren in Richtung Post-PCR-Bereich arbeiten, nicht umgekehrt. Weiterhin sind Prä-PCR- und Post-PCR-Labore vollständig mit separaten Laborgeräten

ausgestattet (Pipetten, Zentrifugen, Gefrierschränke, etc.), um die Übertragung von PCR-Produkten über Laborgeräte zu verhindern.

AUTHENTIFIZIERUNG DER ERGEBNISSE

Die Reproduktion der Ergebnisse der Untersuchung degradierter DNA ist ein wichtiges Authentifizierungskriterium. Dabei sollten sich die Ergebnisse auf eine wiederholte Amplifikation aus mindestens zwei zeitlich voneinander unabhängig hergestellten Extrakten stützen (Hummel 2003). Weitere Hinweise zur Authentizität der Ergebnisse sind durch das Erstellen der genetischen Fingerabdrücke der bearbeiteten Proben gegeben, da so mögliche Kontaminationen durch die Bearbeiter:innen sowie Kreuzkontaminationen zwischen Proben identifiziert werden können. Zuletzt trägt auch das Mitführen der extraction blanks und no template controls zum Monitoren möglicher Kontaminationen über die verwendeten Chemikalien zur Sicherung der Authentizität der Analyseergebnisse bei.

5.4.2 DNA-EXTRAKTION

Während dieser Arbeit wurden unterschiedliche Extraktionsprotokolle für die DNA-Gewinnung aus den historischen Knochen und Zähnen angewendet. Grundsätzlich kamen zwei Methoden zum Einsatz: die automatisierte DNA-Extraktion mit dem Extraktionsroboter EZ1 Advanced (Firma Qiagen) oder die manuelle DNA-Extraktion mit MinElute® Zentrifugationssäulchen (Firma Qiagen). Beide Extraktionsprotokolle bieten Vor- und Nachteile hinsichtlich der DNA-Ausbeute, dem Aufreinigungsgrad der Extrakte, dem Probendurchsatz sowie der Kontaminationsprävention. Nach der Lyse des Probenmaterials (vgl. Kapitel 5.4.2.1) kann bei der automatisierten DNA-Extraktion in einer sehr kurzen Bearbeitungszeit die DNA von sehr vielen Proben parallel extrahiert werden (sechs Proben in circa 30 Minuten). Die DNA-Extrakte weisen einen hohen Reinheitsgrad auf, was bedeutet, dass keine bis nur sehr wenige die weiterführenden Analysen inhibierende Substanzen in dem DNA-Extrakt vorliegen. Die freie DNA im Lysat wird kurzzeitig an silicat-beschichtete Partikel (*magnetic beads*) gebunden und mit Hilfe eines Magneten aus dem Lysat in neue Reaktionsgefäße überführt, gewaschen und abschließend in geeignetem Puffer oder Reinstwasser eluiert. Mögliche inhibitorische Substanzen, die nicht an die *magnetic beads* binden können, bleiben dabei zurück und werden somit zuverlässig entfernt. Zusätzlich ist das Kontaminationsrisiko sehr gering, da der gesamte Extraktionsprozess (DNA-Bindung, waschen, eluieren) automatisiert von dem Roboter übernommen wird (Qiagen 2014). Ein Nachteil der automatisierten DNA-Extraktion ist die nicht unerheblich geringere Ausbeute an DNA im Vergleich zum manuellen Protokoll (Schmidt 2004). Auch eine vollständige Demineralisation des Probenmaterials ist nur in wenigen Fällen möglich, da die Einsatzmenge an Lysat für die automatisierte Extraktion stark beschränkt ist, sodass schlicht

nicht ausreichend Chemikalien zur vollständigen Demineralisation des eingesetzten Knochen- bzw. Zahnpulvers eingesetzt werden können. Bei der manuellen DNA-Extraktion wird die gelöste DNA im Lysat bei niedrigen pH-Werten adsorptiv an eine silica-beschichtete Membran in den Zentrifugationsröhrchen gebunden, gewaschen und anschließend mit Wasser von dieser gelöst. Alle Flüssigkeiten werden dabei unter Verwendung eines Vakuums durch die Membran gezogen, was eine besonders schonende Behandlung der DNA darstellt (Qiagen 2010). Die manuelle Extraktion ist relativ zeitintensiv und birgt ein gewisses Kontaminationsrisiko, da die Proben durch die Bearbeiter:innen viel gehandhabt werden. Ebenfalls nachteilig kann bei diesem Verfahren sein, dass mögliche inhibitorische Substanzen während des Waschschrilles in der Membran verbleiben können und anschließend ins Eluat gelangen können. Durch eine zusätzliche, relativ aggressive organische Aufreinigung mit Phenol und Chloroform können diese Inhibitoren, wie bspw. aus dem Boden stammende Huminsäuren, aber auch andere organische Bestandteile aus den Knochen selbst (Fette, Proteine), aus dem Lysat entfernt werden. Bei der manuellen DNA-Extraktion kann mit größeren Lysat-Volumina gearbeitet werden, wodurch eine vollständige Demineralisation des Probenmaterials begünstigt wird und was somit in der Regel zu einer vergleichsweise höheren DNA-Ausbeute führt. Dies ist insbesondere aufgrund des sehr geringen DNA-Gehalt der historischen Proben wichtig.

In dieser Arbeit wurde überwiegend mit dem manuellen Extraktionsprotokoll gearbeitet. Für einzelne Individuen sowie rezente Vergleichsproben wurde die automatisierte DNA-Extraktion durchgeführt. Im Folgenden werden die Probenvorbereitung und die Extraktionsprotokolle im Detail beschrieben (Protokolldetails finden sich auch im Anhang A).

5.4.2.1 PROBENVORBEREITUNG

Als Vorbereitung für die chemische Lyse muss das Probenmaterial zunächst mechanisch pulverisiert werden, um die Oberfläche des Probenmaterials zu vergrößern und so die anorganische Knochen- bzw. Zahnwurzelmatrix mit Hilfe bestimmter Chemikalien effektiver auflösen zu können. In dieser Arbeit wurde die DNA vorrangig aus Zähnen bzw. den Zahnwurzeln gewonnen. Die Zahnwurzeln wurden mit Hilfe eines Handbohrers und eines diamantbesetzten Sägeblattes von der Zahnkrone abgetrennt. In Einzelfällen wurden auch Knochenproben aus unterschiedlichen Skelettelementen entnommen. Hierzu wurden circa 1x2 cm große Fragmente aus dem Knochen herausgesägt. Um etwaige Oberflächenkontaminationen vom Probenmaterial zu entfernen, wurden die Zahnwurzeln bzw. Knochenfragmente für 10 bis 15 min in 6 %iger Natriumhypochloritlösung inkubiert und anschließend in bidestilliertem Wasser gespült. Nach dem Trocknen im Wärmeschrank bei circa 37 °C über Nacht konnten die Knochen bzw. Zahnwurzeln weiter prozessiert werden. Das getrocknete Probenmaterial wurde in einer Kugelschwingmühle bei 25 Hz für 10 - 60 s zu feinem

Pulver zerstoßen. Bei den Knochenproben war in Einzelfällen vor dem Mahlen in der Kugelschwingmühle eine mechanische Zerkleinerung mit Hilfe eines Stahlmörser s nötig. Das Knochen- bzw. Zahnpulver wurde bis zur weiteren Bearbeitung bei -18 °C eingefroren.

Um die Knochen- bzw. Zahnmatrix vollständig zu lysieren, wurde EDTA eingesetzt. EDTA ist ein Chelatkomplex-Bildner, der Calcium-Ionen aus der Knochen- bzw. Zahnmatrix bindet und somit eine Auflösung der Struktur bewirkt. Durch die Zugabe des Enzyms Proteinase K und des anionischen Tensids Natriumdodecylsulfat (SDS) wurden organische Zellbestandteile wie Proteine und Fette abgebaut.

5.4.2.2 AUTOMATISIERTE DNA-EXTRAKTION UND AUFREINIGUNG MIT DEM EXTRAKTIONSRBOTER EZ1 ADVANCED

Für die automatisierte DNA-Extraktion wurden 200 mg Knochen- bzw. Zahnpulver mit 1 ml EDTA (0,5 M pH 8,0, Firma Invitrogen) und 50 µl Proteinase K (600 mAnson-U/ml, Firma Merck) versetzt. Die Proben wurden für 18 h bei 37 °C unter ständiger Invertierung inkubiert. Im Anschluss wurden erneut 50 µl Proteinase K hinzugefügt und für weitere 2 h bei 56 °C inkubiert. Nach Zugabe von 20 µl SDS (20 mg/ml, Firma Sigma Life Science) und einem weiteren Inkubationsschritt von 5 min bei 65 °C, wurden die Lysate bei 3300 rcf für 3 min zentrifugiert, um etwaig verbliebene Feststoffe zu sedimentieren. Im Anschluss wurde das Lysat zu je 500 µl in zwei mitgelieferte *sample tubes* (Firma Qiagen) aliquotiert und mit unterschiedlichen Mengen MTL-Puffer (Firma Qiagen) versetzt. Das eine *sample tube* enthielt 500 µl Lysat und 400 µl Puffer, das andere 500 µl Lysat und 1120 µl Puffer. Der EZ1 wurde gemäß Herstellerangaben beladen. Die DNA-Extraktion wurde mit dem DNA Investigator® Kit (Firma Qiagen) und dem *large volume*-Protokoll der Large-Scale Bone Card durchgeführt. Die Elution erfolgte in H₂O, das Elutionsvolumen betrug 50 µl. Die DNA-Extrakte wurden bei -18 °C bis zur weiteren Verwendung eingefroren.

5.4.2.3 MANUELLE DNA-EXTRAKTION UND AUFREINIGUNG MIT MINELUTE® ZENTRIFUGATIONSSÄULCHEN

Das manuelle Extraktionsprotokoll (Frischalowski et al. 2015; Flux et al. 2017) wurde während des Projektzeitraums einige Male angepasst bzw. für die DNA-Extraktion der Individuen aus Rödelheim optimiert. Somit sind unterschiedliche Protokolle zur Anwendung gekommen, die sich jedoch in ihren Grundsätzen gleichen. Es wurden jeweils 250 mg Knochen- bzw. Zahnpulver mit 3,9 ml EDTA (0,5 M pH 8,0, Firma Invitrogen) und 100 µl Proteinase K (600 mAnson-U/ml, Firma Merck) versetzt. In der ersten Protokollvariante wurden die Proben, wie auch bei der Lyse für die automatisierte DNA-Extraktion, erst 18 h bei 37 °C und nach Zugabe von 50 µl Proteinase K für weitere 2 h bei 56 °C unter ständiger Rotation inkubiert (Protokoll „18+2“ im Anhang A, Protokollbezeichnung nach

Mazanec 2022). In einer optimierten Version des Extraktionsprotokolls (Euskirchen et al. 2021) wurde die Lysedauer auf 18 h reduziert und bei durchgängig 56 °C unter ständiger Rotation durchgeführt (Protokoll „18“ im Anhang A, Protokollbezeichnung nach Mazanec 2022). Bei beiden Protokollen wurde dem Lysat anschließend 50 µl SDS (20 mg/ml, Firma Sigma Life Science) hinzugefügt, gefolgt von einer weiteren Inkubation bei 65 °C für 5 min. Das Lysat wurde bei 3.300 rcf für 3 min zentrifugiert, um etwaige Feststoffe zu sedimentieren, und im Anschluss in ein 50 ml FalconTube (Firma Sarstedt) mit 16 ml PB-Buffer (Firma Qiagen) und 100 µl Natriumacetat (pH 5,2, Firma Sigma Life Science) überführt. Durch manuelle Invertierung wurden die Flüssigkeiten miteinander vermischt. Das QIAvac-System (Firma Qiagen) wurde nach Herstellerangaben mit MinElute® Zentrifugationssäulchen sowie Trichtereinsätzen für große Volumina bestückt und es wurde ein Vakuum von -800 mbar aufgebaut. Das Lysat-PB-Buffer-Gemisch wurde in den Trichteraufsatz überführt und die Flüssigkeit mit Hilfe des Vakuums langsam durch die Membran des MinElute®-Säulchens gezogen. Nachdem das gesamte Lysat durchgezogen war, wurden drei Waschrunde mit je 700 µl PE-Buffer (Firma Qiagen) bei je fünfminütiger Inkubation nach Zugabe des Waschpuffers durchgeführt. Um den überschüssigen, ethanolhaltigen Puffer nach Abschluss der Waschrunde von der Membran zu entfernen, wurden die Säulchen erst für 1 min bei 13.000 rpm zentrifugiert, dann auf 2 ml Safe-Lock Reaktionsgefäße (Firma Eppendorf) überführt und im Anschluss für circa 15 min bei geöffnetem Deckel zum Trocknen stehen gelassen. Die Elution erfolgte mit auf 56 °C erhitztem, nukleasefreiem Wasser (Firma Qiagen). Dazu wurden in zwei Schritten jeweils 30 µl Wasser langsam auf die Membran im Inneren der Säulchen pipettiert und nach einer Inkubation von 5 min durch Zentrifugation bei 13.000 rpm für 1 min mitsamt der darin gelösten DNA in das Elutionsgefäß befördert. Das finale Elutionsvolumen betrug in der Regel 60 µl. Die Säulchen wurden verworfen und die DNA-Extrakte bis zur weiteren Prozessierung bei -18 °C gelagert.

Für die Skelettserie Rödelheim stellte sich bereits bei der Durchführung der ersten Extraktionen heraus, dass viele vermutlich inhibitorische Substanzen in den Lysaten zu einer Verstopfung der Membran in den MinElute® Zentrifugationssäulchen führten, sodass die Lysate nur sehr langsam durch die Membranen der Zentrifugationssäulchen gezogen wurden. In einigen Fällen kam dieser Prozess ganz zum Erliegen, sodass das übrige Lysat durch die Membran abzentrifugiert werden musste. Es wurde daher bei der DNA-Extraktion ein organischer Aufreinigungsschritt mit Phenol und Chloroform vorgeschaltet. Phenol bewirkt eine Denaturierung von insbesondere Proteinstrukturen im Lysat, wobei Chloroform diese ausfällt und zusätzlich eine schärfere Phasentrennung zum wässrigen Lysat zeigt. Für den zusätzlichen Phenol/Chloroform-Aufreinigungsschritt wurde das Lysat nach der 18-stündigen Lyse und dem Inkubationsschritt mit SDS in 3 ml Phenol (Firma Roth) überführt und das Gemisch für 6 min bei Raumtemperatur

invertiert. Die Proben wurden im Anschluss für 10 min bei 56 °C zur Phasentrennung stehen gelassen. Das überschüssige Phenol wurde mit einer Pipette abgenommen und verworfen. Im Anschluss wurden 4,5 ml Chloroform (Firma Roth) hinzugefügt und die Proben erneut für 6 min bei Raumtemperatur unter ständiger Invertierung inkubiert. Auch hier wurde anschließend die Phasentrennung für 10 min bei 56 °C durchgeführt. Das Lysat-Chloroform Gemisch wurde für 30 s bei 1.100 rcf zentrifugiert, um Feststoffe wie z.B. denaturierte Proteine aus der oberen Phase, dem aufgereinigten Lysat, zu entfernen. Vom Lysat wurden 3,5 ml abgenommen und in 17,5 ml PB-Buffer (Firma Qiagen) überführt. Im Anschluss wurde das Protokoll der manuellen Extraktion wie oben beschrieben durchgeführt.

5.4.2.4 DNA-EXTRAKTION AUS MENSCHLICHEN KONTROLLPROBEN

Die DNA aus rezenten, menschlichen Kontrollproben wurde automatisiert mit dem Extraktionsroboter EZ1 Advanced (Firma Qiagen) extrahiert (Protokolldetails finden sich im Anhang A). Für die Gewinnung des Zellmaterials wurden Mundschleimhautabstriche mit Hilfe eines Wattestäbchens genommen. Die Watte wurde in einem 2,0 ml Safe-Lock Cup (Firma Eppendorf) mit 400 µl G2-Puffer (Firma Qiagen) und 10 µl Proteinase K (Firma Qiagen) versetzt und bei 56 °C und 350 rpm für 2 h inkubiert. Im Anschluss wurden 200 µl des Lysats in den EZ1 überführt. Die DNA-Extraktion erfolgte nach Herstellerangaben mit dem *tissue*-Kit (Firma Qiagen) und dem *trace*-Protokoll auf der *Forensic card* mit einem Elutionsvolumen von 100 µl. Die DNA-Extrakte wurden ebenfalls bei -18 °C gelagert.

5.4.2.5 DNA-EXTRAKTION AUS BAKTERIELLEN KONTROLLPROBEN

Für den Nachweis verschiedener bakterieller Pathogene aus den historischen Proben wurden entsprechende Kontrollproben benötigt (vgl. Kapitel 4.3.2). Für diese Arbeit konnte auf bereits bestehende DNA-Extrakte der Pathogene aus vorangegangenen Arbeiten zurückgegriffen werden, sodass im Rahmen dieser Arbeit keine neuen DNA-Extrakte als Kontrollproben hergestellt werden mussten. Die Extraktionsprotokolle, die für die DNA-Gewinnung aus den unterschiedlichen Pathogenen verwendet wurden, können den entsprechenden Arbeiten entnommen werden. Für die Erreger des Typhus bzw. der typhusähnlichen Erkrankungen siehe Grumbkow (2013), für *S. aureus* als einen Erreger der Osteomyelitis siehe Flux (2015) und für die Erreger der Tuberkulose siehe Schüßler (2017).

5.4.3 AMPLIFIKATION AUTOSOMALER UND GONOSOMALER STRS

5.4.3.1 AMPLIFIKATION AUTOSOMALER STRS (HEPTAPLEX)

Von jedem Individuum wurde der genetische Fingerabdruck über die Amplifikation autosomaler STRs erstellt. In erster Linie dient die Amplifikation der autosomalen STRs der Authentifizierung der jeweiligen Untersuchungsergebnisse, darüber hinaus kann anhand der Amplifikationsergebnisse auch ein Eindruck über die DNA-Erhaltung der jeweiligen Proben gewonnen werden. Die Ergebnisse können insbesondere bei der Abschätzung etwaiger Einsatzmengen der DNA-Extrakte für weitere Analysen herangezogen werden. Über die genetischen Fingerabdrücke können darüber hinaus verwandtschaftliche Beziehungen (z.B. Eltern-Kind-Beziehung, Frischalowski 2022) rekonstruiert werden sowie Identifikationen im historischen (z.B. König Richard III., King et al. 2014) oder forensischen (z.B. Identifizierung unbekannter Toter, Butler 2005) Kontext ermöglicht werden (eine Übersicht bietet Mazanec 2022). Zusätzlich können die beobachteten Allelhäufigkeiten mit Allelhäufigkeiten von Referenzpopulationen verglichen werden, um so zusammen mit den Ergebnissen der Y-Haplotypisierung eine biogeographische Einordnung der Individuen vorzunehmen (z.B. Butler 2014).

Für die Generierung der genetischen Fingerabdrücke wurde mit einem laboreigenen miniSTR-Kit, der Heptaplex (Seidenberg et al. 2012), einem speziell an alte und degradierte DNA angepassten Multiplex-System, gearbeitet. Das Multiplex-System amplifiziert sechs autosomale STRs (D5S818, D13S317, D18S51, D21S11, FGA und TH01) zusammen mit einem Abschnitt des geschlechtsspezifischen Amelogenin-Markers. Das Amelogenin-Gen ist auf den Geschlechtschromosomen lokalisiert (Nakahori et al. 1991) und ist im Körper eigentlich an der Bildung des Zahnschmelzes beteiligt. Eine 6-bp-Deletion in dem auf dem X-Chromosom gelegenen Amelogenin-Gen AMELX (Xp22.1-Xp22.3) sorgt für einen Längenunterschied der Amelogenin-Sequenzen im Vergleich zu dem auf dem Y-Chromosom gelegenen AMELY (Yp11.2). Dieser Längenunterschied zwischen den geschlechtschromosomenspezifischen Sequenzen kann nach der Amplifikation mit der Kapillarelektrophorese dargestellt werden. Bei der Untersuchung eines weiblichen Individuums wird nur ein Signal im Amelogenin-Marker dargestellt (zwei X-Chromosomen), bei männlichen Individuen zeigen sich zwei Signale (ein X- und ein Y-Chromosom). Um die spätere Detektion der mit dem Heptaplex-System amplifizierten Allele zu ermöglichen, ist je einer der Primer eines Primerpaares mit einem der Fluoreszenzfarbstoffe 6-FAM (blau), HEX (grün) oder NED (gelb) markiert. Abweichend von der ursprünglichen Publikation wurde das Heptaplex-System in den letzten Jahren angepasst: so ist der Amelogenin-Marker nicht mehr mit dem grün fluoreszierenden HEX gekoppelt, sondern mit dem blauen 6-FAM (Seidenberg 2016), und die Konzentrationen der Primer in der Reaktion wurden angepasst. Die schematische Anordnung

der Systeme ist in Abbildung 4 gegeben, die Zusammensetzung des Primersets sowie die Sequenzen und gekoppelten Fluoreszenzfarbstoffe der entsprechenden Primer finden sich in Tabelle A2 im Anhang A.

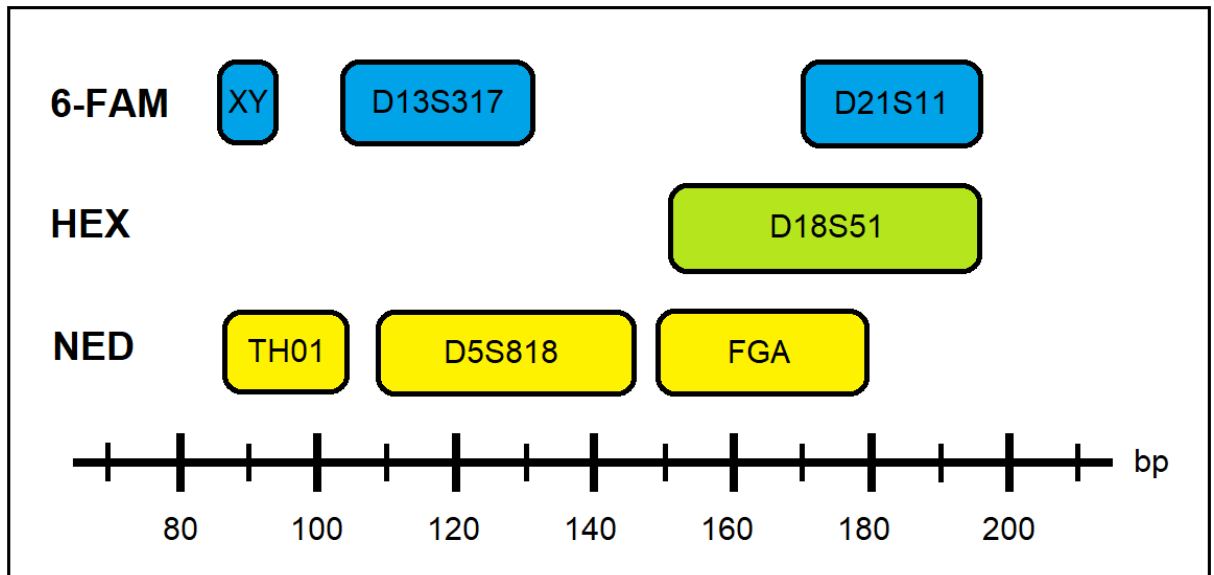


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Heptaplex-Systems nach Seidenberg (2016). Abbildung: ©Mazanec (2022).

Die Amplifikationen wurden in einem Reaktionsvolumen von 25 µl mit variablen DNA-Einsatzmengen angesetzt. Die Amplifikation wurde in einem *two-step-cycling* mit in der Regel 40 Zyklen durchgeführt. Details zur Zusammensetzung des Mastermix sowie den Cycling-Parametern der Heptaplex finden sich im Anhang A. Alle Amplifikationen wurden in DNA Thermal Cyclern (Firma Eppendorf) durchgeführt.

5.4.3.2 AMPLIFIKATION X- UND Y-CHROMOSOMALER STRS (SEXPLEX)

Auf den Gonosomen (Geschlechtschromosomen X und Y) finden sich repetitive, sequenzpolymorphe Abschnitte, analog zu den autosomalen STRs. Die Untersuchung der gonosomalen STRs kann für verschiedene Fragestellungen herangezogen werden. Insbesondere bei der Bestimmung des biologischen Geschlechts kommt der Untersuchung der gonosomalen Marker besondere Bedeutung zu, da das weibliche Geschlecht eines Individuums nicht ausschließlich über die Untersuchung des Amelogenin-Markers sicher bewiesen werden kann. Das Ausbleiben eines Y-chromosomalen Signals kann unterschiedliche Ursachen haben: eine Möglichkeit ist, dass das Individuum weiblich ist und somit kein Y-Chromosom besitzt. Allerdings kann das Ausbleiben des Y-Signals auch durch fortschreitende DNA-Degradierung (*Allelic Dropout*) oder durch einen

Sequenzpolymorphismus an der Bindestelle einer der Primer (sog. Nullallel) begründet sein. Nur über eine kombinierte Untersuchung des geschlechtsspezifischen Amelogeninmarkers zusammen mit X- und Y-chromosomalen STRs wird eine sichere Zuordnung des biologischen Geschlechts ermöglicht (z.B. Pfitzinger et al. 1993; Schmidt et al. 2003). Bei weiblichen Individuen kann durch Ausbleiben des Y-spezifischen Amelogenin-Alleles zusammen mit der heterozygoten Ausprägung X-chromosomaler Systeme die Anwesenheit von zwei X-Chromosomen belegt und somit das weibliche Geschlecht bewiesen werden. Ebenso kann durch die Amplifikation Y-chromosomaler STRs die Anwesenheit eines Y-Chromosoms selbst bei Ausbleiben eines AMELY-Signals nachgewiesen und somit das männliche Geschlecht für ein Individuum sicher bestimmt werden.

In dieser Arbeit konnte über die Untersuchung der Y-chromosomalen STRs in den meisten Fällen das männliche Geschlecht eindeutig bestimmt werden. In einzelnen, fraglichen Fällen wurden Individuen mit einer Multiplex-PCR für X- und Y-chromosomale Marker untersucht. Das miniSTR-Kit, die Sexplex, wurde ursprünglich von Schmidt (Schmidt et al. 2003; Schmidt 2004) entwickelt und umfasste jeweils zwei X- und Y-chromosomale STRs (DXS6789, DXS9898, DYS391 und DYS392) sowie das HEX-markierte Amelogenin. Für die vorliegende Arbeit wurde eine modifizierte Version der Sexplex (Flux unveröffentlicht; Lucas 2016) verwendet. Die HEX-markierten Primer für das Amelogenin-Gen wurde gegen die 6-FAM-markierten Primer aus der Heptaplex getauscht, die ein kürzeres Amplifikationsprodukt erzeugen. Bei den Y-chromosomalen STRs wurde das System DYS391 entfernt und durch zwei andere Systeme (DYS438 und DYS439) aus der Y-Dekaplex (s.u., Grumbkow 2013; Seidenberg 2016) ersetzt. Bei den X-chromosomalen STRs wurde das System GATA172D05 (Schmidt 2004) ergänzt. Die hier verwendete modifizierte Sexplex besteht somit aus den Systemen DYS392, DYS438, DYS439, DXS6789, DXS9898, GATA172D05 sowie Amelogenin. Die schematische Anordnung der Systeme ist in Abbildung 5 gegeben, die Zusammensetzung des Primersets sowie die Sequenzen und gekoppelten Fluoreszenzfarbstoffe der entsprechenden Primer finden sich in Tabelle A3 im Anhang A. Alle Amplifikationen wurden in DNA Thermal Cyclern (Firma Eppendorf) durchgeführt.

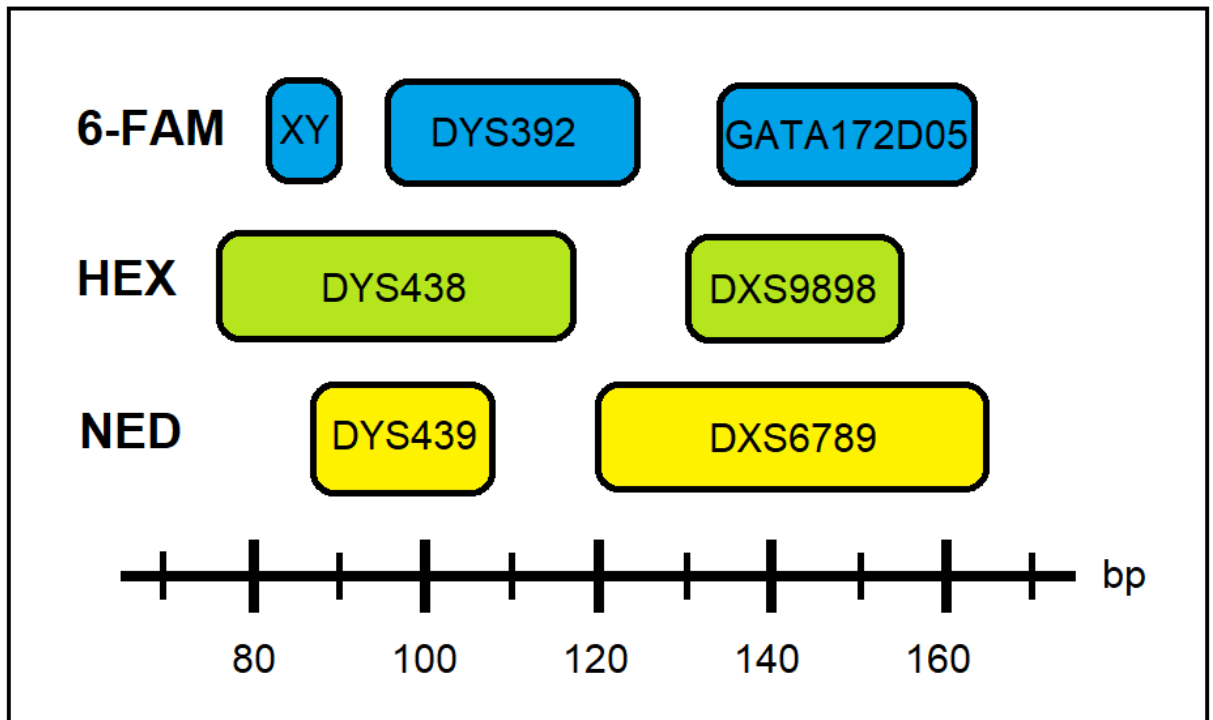


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Sexplex-Systems (Flux unveröffentlicht; Lucas 2016). Abbildung: ©Mazanec (2022).

Das Reaktionsvolumen bei den Amplifikationen betrug 25 µl und es wurden variable DNA-Einsatzmengen eingesetzt. Die Amplifikation wurde in einem *three-step-cycling* mit in der Regel 40 Zyklen durchgeführt. Details zur Mastermix-Zusammensetzung sowie den Cycling-Parametern der Sexplex finden sich im Anhang A.

5.4.3.3 AMPLIFIKATION Y-CHROMOSOMALER STRs (ARGUS Y-28, Y-DEKAPLEX)

Grundsätzlich gibt es verschiedene genetische Möglichkeiten, sich der Herkunftspopulation bzw. -region von Individuen zu nähern. Neben der Untersuchung von mitochondrialen Familienlinien (Simoni et al. 2000) und autosomalen Allelfrequenzen sind es bei männlichen Individuen insbesondere die Y-Haplogruppen, die für eine regionale Herkunftsanalyse genutzt werden, da sie weltweit in unterschiedlichen Verteilungen vorliegen (Ruiz Linares et al. 1996). Die Haplogruppenverteilungen besitzen dabei eine relative Stabilität gegenüber der initialen Besiedlung Europas (Roewer et al. 2005; Melchior et al. 2008; Csányi et al. 2008) und können somit auch für die geografische Einordnung historischer Populationen genutzt werden (z.B. Fu et al. 2009; Grumbkow 2013). In Europa sind es insbesondere die Haplogruppen R1a, R1b, I, J und N, die in hohen Frequenzen auftreten, wobei die Haplogruppe R1a eher in Osteuropa, seltener in Westeuropa zu finden ist (Novelletto 2007). Die Bestimmung der Haplogruppen erfolgt auf der Basis von *Single Nucleotide Polymorphisms* (SNP), die in den Pseudoautosomalen Regionen (PAR1 bzw.

PAR2) des Y-Chromosoms liegen. Ein Zusammenhang zwischen Y-Haplogruppen und den STR-basierten Y-Haplotypen wurden für europäische Populationen belegt (Athey 2005). Y-Haplogruppenprädiktoren ermöglichen eine Einordnung von Y-STR-Profilen zu Y-Haplogruppen, die dann über einen Vergleich mit Y-Haplogruppenverteilungen von Referenzpopulationen eine Einordnung der Individuen in eine Region ermöglichen können (vgl. Kapitel 5.5.6). Eine regionale Einordnung von Individuen über ihre Y-STR-Profile ist über die Datenbank YHRD (*Y-Chromosome Haplotype Reference Database*) und die integrierte AMOVA-Analyse ebenfalls möglich (Roewer et al. 2001; Willuweit und Roewer 2015, vgl. Kapitel 5.5.7).

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Y-STRs der untersuchten Individuen mit Hilfe von zwei unterschiedlichen Multiplexsystemen amplifiziert: das laboreigene Y-Dekaplex-Kit (Grumbkow 2013; Seidenberg 2016) und das Investigator Argus Y-28 QS Kit (Firma Qiagen).

Y-DEKAPLEX

Die Y-Dekaplex wurde speziell für die Untersuchung stark degradierter DNA als miniSTR-System entwickelt (Grumbkow 2013; Seidenberg 2016) und enthält insgesamt zehn Primerpaare für die Amplifikation der Systeme DYS19, DYS385a/b, DYS389 I/II, DYS390, DYS391, DYS392, DYS393, DYS437, DYS438 und DYS439. Die Auswahl der STR-Systeme orientierte sich dabei an den Systemen, die den *minimal haplotype* bilden (Kayser et al. 1997) sowie drei weiteren Systemen, die auch in kommerziellen Kits enthalten sind. Besonderheiten gibt es dabei bei den Systemen DYS385 a/b und DYS389 I/II. Der Locus DYS385 liegt vollständig verdoppelt auf dem Y-Chromosom vor. Die Primer für das System haben somit jeweils zwei Bindungsstellen, sodass zwei voneinander unabhängige Allele amplifiziert werden (DYS385 Allel a und Allel b). Bei dem Locus DYS389 liegt eine partielle Verdopplung der Sequenz im 3'-Bereich des Systems vor. Der *Lower*-Primer für das System hat daher zwei relativ eng beieinander liegende Bindestellen, sodass ein kurzes (DYS389 I) und ein langes Fragment (DYS389 II) amplifiziert und getrennt ausgewertet werden. In Abbildung 6 ist die Anordnung der Systeme sowie deren Fluoreszenzfarbmarkierung aus der Y-Dekaplex dargestellt.

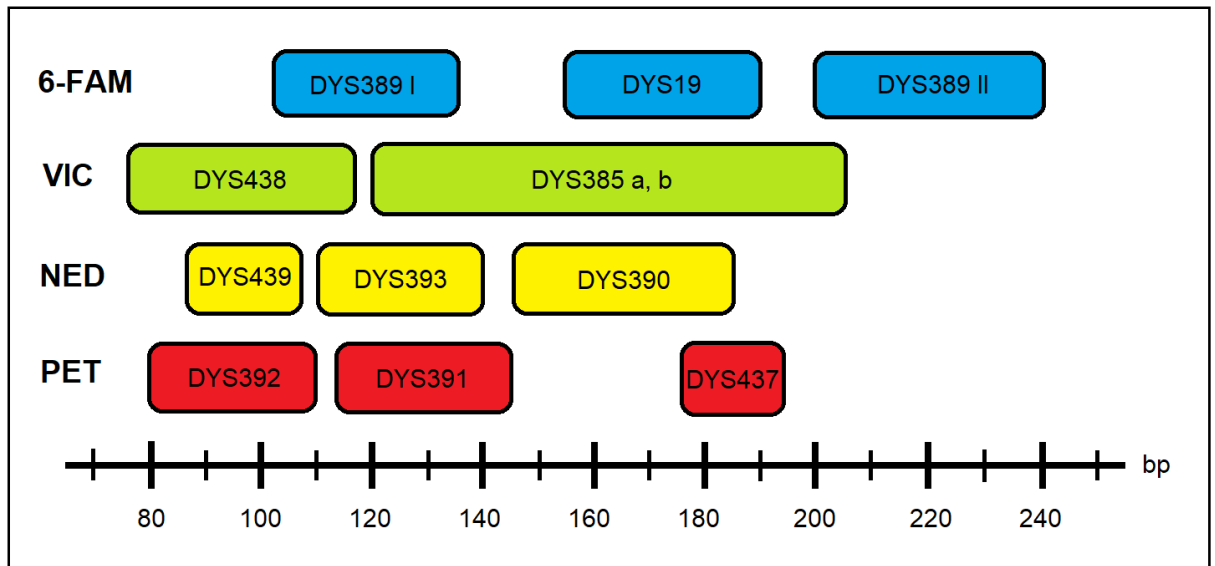


Abbildung 6: schematische Darstellung des Y-Dekaplex-Systems nach Grumbkow (2013) und Seidenberg (2016).
Abbildung: ©Mazanec (2022).

Abweichend von Grumbkow (2013) und Seidenberg (2016) wurden bei dem in dieser Arbeit verwendeten Kit zwei Fluoreszenzfarbstoffe ausgetauscht: HEX wurde durch VIC und ROX durch PET ersetzt. Ebenso wurde bei der Amplifikation auf die Zugabe von Ammoniumsulfat verzichtet. Die Primersequenzen sowie die Zusammensetzung des Primersets finden sich in Tabelle A4 im Anhang A. Die Reaktionen wurden in 25 µl Ansätzen mit variierenden DNA-Einsatzmengen durchgeführt. Details zur Zusammensetzung des Mastermixes und den Amplifikationsparametern der Analyse finden sich im Anhang A. Alle Amplifikationen wurden in DNA Thermal Cyclern (Firma Eppendorf) durchgeführt.

INVESTIGATOR ARGUS Y-28 QS KIT

Während dieser Arbeit wurden die Y-chromosomalen STRs der gesamten männlichen Individuen mit Hilfe des seit 2022 kommerziell erhältlichen Investigator Argus Y-28 QS Kits der Firma Qiagen untersucht (Qiagen 2021). Das Kit wurde freundlicherweise im Zuge einer wissenschaftlichen Kooperation von Christian Starke (Senior Market Development Manager bei der Firma Qiagen) zur Verfügung gestellt und die Ergebnisse der Y-STRs sollen Gegenstand einer geplanten *Application Note* des Kits werden. Das Argus Y-28 Kit ermöglicht die simultane Amplifikation von 27 Y-STR-Systemen sowie zusätzlich einem sog. *Quality Sensor*, der Aufschluss über den Amplifikationserfolg, die DNA-Erhaltung sowie das Vorhandensein von Inhibitoren im DNA-Extrakt geben kann. Darüber hinaus weist das Multiplex Kit eine hohe Toleranz gegenüber inhibitorischen Substanzen auf. Neben den Systemen, die auch in der Y-Dekaplex amplifiziert werden, sind in dem Argus Y-28 QS Kit noch Primerpaare für die Systeme DYS448, DYS449*, DYS456, DYS458, DYS460, DYS481*, DYS518*,

DYS533, DYS549, DYS570*, DYS576*, DYS627*, DYS635, DYS643 und YGATAH4 sowie für den *Quality Sensor* QS1/QS2 enthalten (mit dem Sternchen markierte Y-STRs gehören in die Gruppe der schnell mutierenden Marker, Ballantyne et al. 2014). Die Anordnung der Systeme sowie ihre Fluoreszenzfarbmarkierung sind in Abbildung 7 dargestellt.

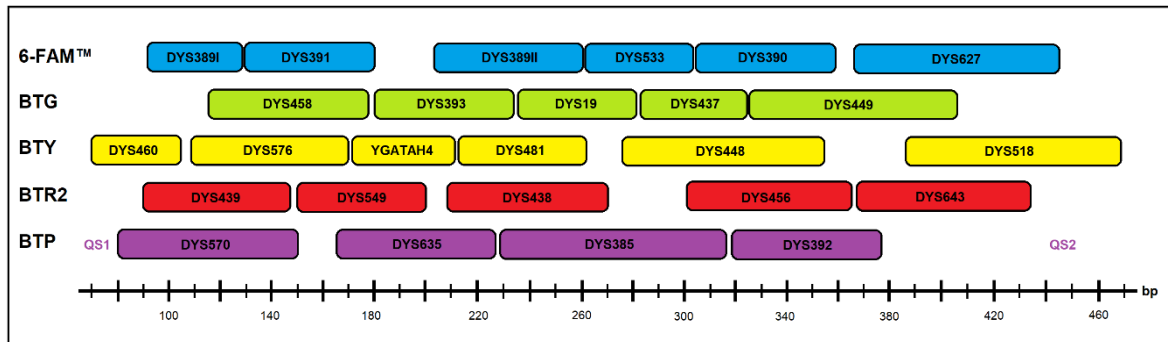


Abbildung 7: schematische Darstellung des Investigator Argus Y-28 QS Kit der Firma Qiagen. Abbildung: ©Mazanec nach Qiagen (2021).

Die Amplifikation der Proben, die Gegenstand der *Application Note* sind, erfolgte strikt nach Herstellerangaben im 25 µl Reaktionsvolumen und einem DNA-Einsatz von 7,5 µl sowie den vom Hersteller vorgegebenen Cycling-Parametern und maximal 35 PCR-Zyklen. Für die übrigen Proben sowie die Reproduktion der Ergebnisse wurde das Reaktionsvolumen auf 12,5 µl reduziert und die PCR-Zyklen auf 40 erhöht. Der DNA-Einsatz von 7,5 µl wurde beibehalten. Da es sich bei dem Investigator Argus Y-28 QS um ein kommerzielles Kit handelt, sind die Primersequenzen nicht verfügbar. Alle anderen Angaben zu der Mastermix-Zusammensetzung und den Amplifikationsparametern sind dem Handbuch des Kits zu entnehmen (Qiagen 2021). Die Mastermix-Zusammensetzung der Ansätze mit halben Reaktionsvolumen sowie angepassten PCR-Zykluszahl finden sich im Anhang A. Alle Amplifikationen wurden in DNA Thermal Cyclern (Firma Eppendorf) durchgeführt.

5.4.4 AMPLIFIKATION VON ERREGER-DNA

Der Nachweis humanpathogener Erreger wurde exemplarisch bei einigen Individuen angestrebt. So sollten molekulargenetische Beweise gefunden werden, die das Versterben der Individuen am historisch beschriebenen Typhus bzw. der typhusähnlichen Erkrankungen belegen. Des Weiteren wurden bei einigen Individuen morphologische Hinweise auf eine Erkrankung an der Osteomyelitis sowie der Tuberkulose gefunden, welche differentialdiagnostisch untersucht werden sollten. Für die Untersuchung konnte auf bereits in anderen Arbeiten etablierte PCR-Systeme zurückgegriffen

werden, die alle für die Untersuchung von stark degradierter DNA entwickelt wurden. Bei der Entwicklung jedes Analysesystems ging eine eingehende Literaturrecherche voraus, um geeignete Loci zu identifizieren, die einen spezifischen Nachweis der Pathogene ermöglichen. Entsprechende Gensequenzen wurden über Datenbankabfragen beim *National Center for Biotechnology Information* (NCBI) gesucht und spezifische Primer nach den gängigen Empfehlungen für ein gutes Primerdesign entwickelt (Hummel 2003). Für die Untersuchung des Typhus und der typhusähnlichen Erkrankungen entwickelten Grumbkow (2013) und Schröder (2013) drei Analysesysteme, die eine Vielzahl von Erregern der Krankheiten molekulargenetisch nachweisen können. Eine Duplex-PCR wurde für den Nachweis der Pathogene *Bartonella quintana* (Erreger vom Fünf-Tage-Fieber) und *Rickettsia prowazekii* (Erreger vom Fleckfieber) entwickelt. Eine weitere Duplex-PCR für den Nachweis von *Salmonella enterica spec.* (mit Ausnahme *S. paratyphi A*) und *Borrelia recurrentis* (Erreger vom Läuserückfallfieber) sowie eine Singleplex, die die Amplifikation von *S. typhi* (*Salmonella enterica ssp. enterica Serovar Typhi*, Erreger vom Typhus abdominalis) und *S. paratyphi A* (*Salmonella enterica ssp. enterica Serovar Paratyphi*, Erreger vom Paratyphus) ermöglicht. Für den Nachweis von *Staphylococcus aureus*, einen der Haupterreger der Osteomyelitis, wurden drei Singleplex-Analysesysteme entwickelt (Flux 2015; Flux et al. 2017). In der vorliegenden Arbeit wurde nur eins der Analysesysteme angewendet und der Pathogennachweis von *S. aureus* nur über den *nuc*-Locus durchgeführt. Für den Tuberkulose-Nachweis wurde das Analysesystem von Schüßler (2017) verwendet, welches in einem Singleplex-Analysesystem eine Detektion der Bakterien aus dem Mycobacterium-tuberculosis-complex (MTBC) über den *katG*-Locus ermöglicht. Alle Analysen wurden in einem Reaktionsvolumen von 25 µl mit variierenden DNA-Einsatzmengen durchgeführt. Die entsprechenden Primersequenzen, die Zusammensetzung der jeweiligen Mastermixe sowie die Amplifikationsparameter können den hier zitierten Arbeiten und der Tabelle A5 im Anhang A entnommen werden. Alle Amplifikationen wurden in DNA Thermal Cyclern (Firma Eppendorf) durchgeführt.

5.4.5 AGAROSEGELELEKTROPHORESE ZUR PRÜFUNG DES AMPLIFIKATIONSERFOLGES

Nach jeder durchgeführten PCR wurde der Amplifikationserfolg mittels Agarosegelelektrophorese überprüft. In horizontalen Elektrophoresekammern wurde ein Spannungsfeld angelegt, entlang dessen die PCR-Produkte gemäß ihrer negativen Ladung durch ein Agarosegel gezogen und ihrer Länge nach aufgetrennt wurden. Die kurzen DNA-Fragmente wandern dabei schneller als die längeren Fragmente zur Anode. Das Agarosegel wird während der Herstellung mit einer Ethidiumbromid-Lösung versetzt. Ethidiumbromid interkaliert in doppelsträngige DNA, sodass diese im Anschluss unter UV-Licht (λ 254 nm) sichtbar gemacht werden kann. Die Visualisierung

und Dokumentation der Gele erfolgte über den Gel Jet Imager & Analyzer mit der Software IntasGel Capture (Firma Intas) bzw. mit dem Gel Stick Touch und der Software Intas GDS Touch (ebenfalls Firma Intas). Für die Herstellung der 2,5 %igen Gele wurde sich an etablierten Rezepten der Arbeitsgruppe orientiert (Hummel 2003), wobei die Einsatzmengen der Reagenzien sowie die angelegte Spannung in Anpassung an die Größe des Gels gewählt wurden (Protokolldetails finden sich im Anhang A). Das Agarosegel wurde für die Elektrophorese mit Tris-Borat-EDTA Puffer (eigene Herstellung) überschichtet, und je 8 µl PCR-Produkt wurden mit 2 µl Loading Dye versetzt auf das Gel geladen. Nach Ablauf der Elektrophorese konnte anhand der Bandenintensität eine Produktmengenabschätzung für die nachfolgenden Analysen durchgeführt werden, da die Signalstärke direkt mit der Menge an erzeugtem PCR-Produkt korreliert (Wittmeier und Hummel 2022).

5.4.6 KAPILLARELEKTROPHORESE ZUR FRAGMENTLÄNGENBESTIMMUNG UND SEQUENZIERUNG

FRAGMENTLÄNGENANALYSE UND ALLELDETERMINATION

Die Analyse autosomaler und gonosomaler STRs erfordert eine genaue Bestimmung der Fragmentlängen. Die PCR-Produkte werden dafür in mit Polymer gefüllten Kapillaren (für die Analyse der Investigator Argus Y-28 QS POP-4™ Polymer, für alle anderen Analysen POP-7™ Polymer, Applied Biosystems™) im *Genetic Analyzer* (3500 Series, Applied Biosystems™) ihrer Länge nach aufgetrennt. Das Prinzip ist dabei ähnlich dem der Agarosegelelektrophorese: auch hier wandern die DNA-Fragmente durch Anlegen einer Spannung durch das Polyacrylamidgel in der Kapillare bis zu einer Laser-Detektionseinheit. Die kurzen Fragmente wandern dabei schneller durch die Kapillare als die längeren Fragmente und erreichen daher früher die Detektionseinheit. Die an die DNA-Fragmente gekoppelten Fluoreszenzfarbstoffe werden durch den Laser zur Emission von Licht bestimmter Wellenlängen angeregt. Die Detektionseinheit kann anhand des emittierten Lichts die Fluoreszenzfarbstoffe voneinander unterscheiden und registriert darüber hinaus, wie viel Zeit die Fragmente gebraucht haben, um durch die Kapillare (3500 Genetic Analyzer 8-Capillary Array (36 cm), Applied Biosystems™) zu wandern. Durch den mit jeder Probe mitgeführten Längenstandard (ROX400 bzw. ROX500 für Heptaplex/Sexplex, LIZ600 für Y-Dekaplex, BTO550 für Investigator Argus Y-28 QS) kann nach der Datenaufnahme über die 3500 Series Data Collection Software v3.1 (Life Technologies) die exakte Länge der amplifizierten DNA-Fragmente basierend auf dem *local-southern* Algorithmus berechnet werden. Für die Analyse im Genetic Analyzer müssen die amplifizierten DNA-Fragmente einzelsträngig vorliegen. Um diesen Zustand zu stabilisieren, werden die PCR-Produkte in 12 µl Hi-Di™ Formamid (Firma Fluka) denaturiert. Die Menge an PCR-Produkt wurde dabei in Abhängigkeit von der Signalintensität nach der

Agarosegelelektrophorese (s.o.) abgeschätzt. Zusätzlich wurden 0,25 µl des der Analyse entsprechenden Längenstandards hinzugefügt (Protokolldetails finden sich im Anhang A). Bei jedem Lauf der Kapillarelektrophorese wurde mindestens eine Allel-Leiter mitgeführt. Allel-Leitern beinhalten eine Vielzahl der in einer zu untersuchenden Population vorkommenden Allele und werden bei der Auswertung genutzt, um mögliche Laufunterschiede während der Kapillarelektrophorese zu identifizieren (z.B. durch Temperaturschwankungen im Raum). Abweichungen können bei der Auswertung durch manuelle Anpassung des Analyse-Panels berücksichtigt werden (s.u.).

Mit Hilfe der GeneMapper™ Software v5.0 (Applied Biosystems™) erfolgte die Alleldetermination automatisiert. Zunächst wurden dafür die Längenstandards jeder Probe auf Richtigkeit überprüft und, wenn erforderlich, manuell korrigiert. Die korrekte Zuordnung des Längenstandards bildet die Basis für die genaue Fragmentlängenberechnung jeder Probe. Im Anschluss wurde die mitgeführte Allel-Leiter in das für die jeweilige Untersuchung spezifische Analyse-Panel geladen und die Allele auf Deckung überprüft. Abweichungen wurden im Panel ggf. manuell angepasst, wodurch anschließend die automatisierte Alleldetermination der Proben ermöglicht wurde. Die Ergebnisse der Fragmentlängenanalyse werden in Elektropherogrammen dargestellt. Die DNA-Fragmente werden hier gemäß ihrer Fluoreszenzfarbmarkierung als farbige Peaks in unterschiedlichen Farbspuren dargestellt (die Anzahl der Farbspuren ist abhängig vom verwendeten STR-Kit). Über die Position der Peaks auf der X-Achse kann ein direkter Rückschluss auf die Fragmentlänge in Basenpaaren (bp) gezogen werden. Die Höhe der Peaks ist von der gemessenen Lichtemission abhängig und wird in *relative fluorescence units* (rfu) darstellt. Die gemessene Emission korreliert dabei direkt mit der Menge an erzeugtem Amplifikationsprodukt während der PCR. Auch wenn die Alleldetermination automatisiert erfolgt, mussten alle Allel-Benennungen manuell überprüft werden, um tatsächliche Allele von eventuellen Artefakten (z.B. überamplifizierte Stotterartefakte, *split*-Peaks oder auch *pull-up*-Peaks) abzugrenzen (z.B. Schultes 1997; Hummel 2003; Butler 2005). Die Aufnahme der Allele orientierte sich an den Richtlinien der *German Stain Commission* (Deutsche Spurenkommission, Schneider et al. 2009). Unsichere Allele, z.B. durch einen überamplifizierten Vor- bzw. Nachstotterer wurden in einfachen Klammern notiert. Doppelte Klammern wurden bei den Allelen verwendet, die entweder sehr klein (i.d.R. unter 100 rfu) oder auch ohne offensichtlichen Vorstotterer aufgetreten sind. Die Konsensusgenotyp-Bestimmungen erfolgten auf Basis der Einzelamplifikationsergebnisse. Als sicheres Ergebnis wurden die Allele aufgenommen, die in mindestens zwei Einzelamplifikationen aus unterschiedlichen Extrakten nachgewiesen werden konnten. Allele, die nur in einer Amplifikation auftraten, wurden in einfachen Klammern im Konsensus notiert. Einzelamplifikationsergebnisse, die in doppelten Klammern aufgenommen wurden, wurden bei der Bestimmung des Genotyps nicht berücksichtigt.

SEQUENZIERUNG UND SEQUENZAUSWERTUNG

Für den Nachweis pathogenspezifischer Sequenzen kann bei positiven Signalen nach der Agarosegelelektrophorese der amplifizierte DNA-Abschnitt auf seine genaue Basenabfolge analysiert werden. In dieser Arbeit wurde eine direkte Sequenzierung mit Hilfe der *Taq-Cycle Sequencing Reaction* (nach Sanger et al. 1977) durchgeführt. Die PCR-Produkte mussten dafür zunächst aufgereinigt werden, um diese von übrigen Bestandteilen der PCR, wie der *Taq*-Polymerase, nicht inkorporierten Desoxyribonukleosid-Triphosphaten (dNTPs) und Primern sowie Bestandteilen des verwendeten Mastermixes zu trennen. Die Aufreinigung erfolgte enzymatisch mit Hilfe von ExoSAP-IT™ Express PCR Product Cleanup (Applied Biosystems™) nach den Protokollvorgaben des Herstellers. Die anschließende Sequenzierung mit dem BigDye™ Terminator-Kit (Applied Biosystems™) wurde nur in *forward*-Richtung (Verwendung des *forward*-/*upper*-Primers) mit 20 µl Reaktionsvolumen und variierenden DNA-Einsatzmengen durchgeführt (Protokolldetails sowie die *Cycling*-Parameter finden sich im Anhang A). Im Mastermix sind neben den dNTPs auch fluoreszenzfarbmarkierte Didesoxyribonukleosid-Triphosphate (ddNTPs) in einem herstellerspezifischen Verhältnis enthalten. Die ddNTPs der Basen Adenin (Didesoxyadenosintriphosphat, ddATP), Thymin (Didesoxythymidintriphosphat, ddTTP), Cytosin (Didesoxycytidintriphosphat, ddCTP) und Guanin (Didesoxyguanintriphosphat, ddGTP) besitzen unterschiedliche Fluoreszenzfarbmarkierungen, um sie bei der späteren Analyse unterscheiden zu können. Während der Sequenzier-PCR wird eine Kettenverlängerung durchgeführt, wann immer ein dNTP in den DNA-Einzelstrang eingebaut wird. Sobald jedoch ein ddNTP inkorporiert wird, kann durch eine fehlende Hydroxylgruppe am 3'-C-Atom der Didesoxyribose kein weiteres Nukleotid angelagert werden und die Synthese wird abgebrochen. Im Verlauf der Reaktion entstehen so DNA-Fragmente aller möglichen Längen (Primer+1 Base bis Primer+n Basen), die mit Hilfe des an der letzten Base gekoppelten Fluoreszenzfarbstoffes des ddNTPs detektiert und unterschieden werden können. Bevor die Produkte analysiert werden können, müssen diese erneut aufgereinigt werden. Im Produkt enthaltene ddNTPs, Primer, Polymerase und Mastermixbestandteile müssen entfernt werden, da diese die Analyse stören würden und zu Artefaktbildung im Elektropherogramm führen können. Die Aufreinigung der Sequenzierprodukte erfolgte entweder mit den NucleoSeq® *Spin-Columns* (Firma Macherey-Nagel) oder mit dem BigDye XTerminator™ Purification Kit (Applied Biosystems™) nach den Empfehlungen der Hersteller (Protokolldetails finden sich im Anhang A).

Nach der Analyse der Sequenzierprodukte im *Genetic Analyzer* (3500 Series, Applied Biosystems™) erfolgte die Auswertung mit der *Sequencing Analysis Software* v6.0 (SeqA, Applied Biosystems™). Die Sequenzabfolge wird über farbige Peaks (Adenin= grün, Thymin= rot, Cytosin= blau, Guanin= gelb) im Elektropherogramm dargestellt. Die Benennung der Basen erfolgt automatisiert gemäß

den Vorgaben der *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), muss jedoch manuell kontrolliert und in Einzelfällen korrigiert werden. War an einer Sequenzposition mehr als eine Base realisiert, so erfolgte die Benennung entsprechend der Empfehlungen der *International Union of Biochemistry and Molecular Biology* (IUB, Cornish-Bowden 1985), z.B. „R“ für die Basen „A“ und „G“. Die im Anschluss verwendeten Softwares *SeqMan™* (DNASTAR®) und *MegAlign™* (DNASTAR®) alignieren die untersuchten Sequenzen mit entsprechenden Referenzsequenzen und ermöglichen dadurch eine abschließende Auswertung. Die Sequenzausgabe erfolgt im FASTA-Format, über welches eine Datenbanksuche bei NCBI möglich war.

5.5 STATISTISCHE AUSWERTUNG

5.5.1 CHI-QUADRAT-TEST (χ^2 -TESTS)

Für die statistische Auswertung der morphologischen und molekulargenetischen Daten innerhalb der Serie Rödelheim sowie im Vergleich zu Referenzserien wurde der Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Tests, Pearson 1992) verwendet. In der Statistik gibt es zahlreiche Hypothesentests, deren Testprüfgröße χ^2 -verteilt ist:

- Im **Verteilungstest** wird geprüft, ob beobachtete Merkmale auf eine bestimmte Art verteilt sind
- Im **Unabhängigkeitstest** wird geprüft, ob zwei zu prüfende Merkmale stochastisch voneinander unabhängig sind
- Im **Homogenitätstest** wird geprüft, ob zwei oder mehrere Stichproben von Merkmalen einer identisch verteilten, also homogenen Grundgesamtheit angehören

Der χ^2 -Homogenitätstest findet in der statistischen Auswertung der in dieser Arbeit generierten morphologischen sowie molekulargenetischen Daten (autosomale Allelfrequenzen und Y-Haplogruppen) Anwendung. Hier wird überprüft, ob zwei oder mehrere Stichproben von Merkmalen X_1, \dots, X_m mit einem Stichprobenumfang von n_1, \dots, n_m einer homogenen Grundgesamtheiten angehören.

Die Nullhypothese (H_0) lautet dabei, dass die Merkmale X_1, \dots, X_m homogen sind, also einer identisch verteilten Grundgesamtheit angehören.

Die Alternativhypothese (H_1) beschreibt, dass mindestens zwei der Merkmale X_1, \dots, X_m unterschiedlich verteilt sind.

Der untersuchten Zufallsvariable oder auch dem Merkmal j , (z.B. Ausprägungsgrad einer pathologischen Veränderung, Allele eines STR-Systems, etc.) werden unterschiedliche Merkmalskategorien k (z.B. Stadium 1 bis 4, Allel 6 bis 9, etc.) zugewiesen (im Beispiel in Tabelle 4 ist $k=4$). Um die Nullhypothese prüfen zu können, werden die Ergebnisse der Beobachtungen je Stichprobe X_i (z.B. Alterskohorte, Population, etc.) und Merkmal j (z.B. Ausprägungsgrad einer pathologischen Veränderung, Allele eines STR-Systems, etc.) in eine Kreuztabelle eingetragen (Tabelle 4).

Tabelle 4: Exemplarische Kreuztabelle für die Durchführung eines χ^2 -Tests.

| Stichprobe X_i (= z.B. Alterskohorte) | Merkmal j (= z.B. Ausprägungsgrade) | | | | Summe |
|--|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|---------|
| | Stadium 1 | Stadium 2 | Stadium 3 | Stadium 4 | |
| X_1 | n_{11} | n_{12} | n_{13} | n_{14} | n_1^* |
| X_2 | n_{21} | n_{22} | n_{23} | n_{24} | n_2^* |
| X_3 | n_{31} | n_{32} | n_{33} | n_{34} | n_3^* |
| Summe | $n_{11}+n_{21}+n_{31}=n^*1$ | n^*2 | n^*3 | n^*4 | n |

Der χ^2 -Wert lässt sich über

$$\chi^2 = \sum_i \sum_j \frac{(\text{beobachtete Häufigkeit } (n_{ij}) - \text{erwartete Häufigkeit } (E_{ij}))^2}{\text{erwartete Häufigkeit } (E_{ij})}$$

berechnen, wobei die beobachtete Häufigkeit (n_{ij}) aus der Kreuztabelle direkt abgelesen werden kann und die erwartete Häufigkeit berechnet werden muss. Dafür werden die Zeilensummen n_i und Spaltensummen n_j multipliziert und im Anschluss durch die Stichprobengröße n geteilt:

$$E_{ij} = \frac{n_i * n_j}{n}$$

Der ermittelte χ^2 -Wert wird im Anschluss mit einem zugehörigen kritischen Wert verglichen, der in der χ^2 -Verteilungstabelle abgelesen werden kann. Der kritische Wert ist dabei ein Quantil aus der χ^2 -Verteilungstabelle, welcher aus der Anzahl der Freiheitsgrade (d_f) und dem Signifikanzniveau abgelesen werden kann. Übersteigt der χ^2 -Wert den kritischen Wert, gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen mindestens zwei Stichproben und die Nullhypothese kann abgelehnt werden.

Um den Homogenitätstest anwenden zu dürfen, müssen mehrere Kriterien erfüllt sein:

- Der Stichprobenumfang muss größer als $n=30$ sein
- Der Erwartungswert E_{ij} muss immer größer als 1 sein
- Der Erwartungswert E_{ij} muss in mindestens 80 % der Fälle $E_{ij}>5$ betragen

Werden diese Bedingungen nicht erfüllt, so müssen Merkmalkategorien zusammengefasst werden, bis die Bedingungen erfüllt werden.

Die Berechnung des χ^2 -Homogenitätstests erfolgte mit Hilfe des von Preacher (2001) entwickelten Online-Tools (<http://quantpsy.org/chisq/chisq.htm>). Neben dem χ^2 -Wert wird ebenfalls der p-Wert mit einem Signifikanzniveau von 5 % direkt ausgegeben. Darüber hinaus ist in der Berechnung des χ^2 -Homogenitätstests ebenfalls die Anwendung der Kontinuitätskorrektur nach Yates (1934) implementiert, die in Einzelfällen bei $E_{ij} < 5$ diese korrigiert.

5.5.2 BEURTEILENDE STATISTIK – ZWEISTICHPROBEN-TESTS

Die morphologisch und morphometrisch erhobenen Daten und die daraus errechneten Indices wurden auf signifikante Unterschiede geprüft, sowohl innerhalb der Serie aus Rödelheim als auch im Vergleich zu den unterschiedlichen Referenzserien. Die Basis dafür bildete die deskriptive Statistik (Mittelwert, Median und Standardabweichung). Die statistischen Berechnungen wurden vorrangig über die dem Test entsprechenden, von *Statistics Kingdom* implementierten, Online-Tools durchgeführt (<https://www.statskingdom.com/index.html>). Am Ende jeder Berechnung gibt das Online Tool einen Code in der Statistik-Programmiersprache R aus, der über die Benutzeroberfläche RStudio (Posit PBC) eingegeben werden kann, um die Berechnungen überprüfen zu können. Die R-Skripte sowie die entsprechenden Ergebnisausgaben finden sich im Ordner „Statistik“ auf der Daten-CD.

Grundsätzlich ist die Wahl eines angemessenen statistischen Testverfahrens von der Ausstattung der zugrundeliegenden Daten abhängig und es muss geprüft werden, ob Daten normalverteilt und varianzhomogen sind:

PRÜFUNG AUF NORMALVERTEILUNG (SHAPIRO-WILK-TEST)

Ob erhobene Daten normalverteilt vorliegen, kann mit dem Shapiro-Wilk-Test überprüft werden (<https://www.statskingdom.com/shapiro-wilk-test-calculator.html>). Der Signifikanztest überprüft die Nullhypothese (H_0), dass die Daten einer normalverteilten Grundgesamtheit entstammen, wohingegen die Alternativhypothese (H_1) besagt, dass keine Normalverteilung vorliegt.

PRÜFUNG AUF VARIANZHOMOGENITÄT (LEVENE-TEST)

Zur Prüfung, ob die Daten von zwei oder mehr Gruppen varianzhomogen vorliegen, kann der Levene-Test angewendet werden (https://www.statskingdom.com/230var_levenes.html). Der Signifikanztest überprüft die Nullhypothese (H_0), dass Varianzgleichheit der Daten innerhalb der unterschiedlichen Gruppen vorliegt, wohingegen die Alternativhypothese (H_1) besagt, dass mindestens ein Gruppenpaar heterogene Varianzen besitzt.

ZWEISTICHPROBEN-HYPOTHESENTESTS

Nach Abschluss der Prüfung auf Normalverteilung und Varianzhomogenität kann je nach Ergebnis ein anderer Zweistichproben-Hypothesentest angewendet werden.

- 1.) Liegen die Daten normalverteilt und varianzhomogen vor: Zweistichproben-t-Test für unabhängige Daten, parametrisch, Mittelwertvergleich zweier Stichproben (<https://www.statskingdom.com/140MeanT2eq.html>)
- 2.) Liegen die Daten normalverteilt, aber nicht varianzhomogen vor: Welch-t-Test für unabhängige Daten, parametrisch, Mittelwertvergleich zweier Stichproben (<https://www.statskingdom.com/150MeanT2uneq.html>)
- 3.) Liegen die Daten varianzhomogen, aber nicht normalverteilt vor: Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Daten, nichtparametrisch, Vergleich der gesamten verteilten Daten zweier Stichproben (bei symmetrischer Verteilung der Daten werden auch die Mediane verglichen) (https://www.statskingdom.com/170median_mann_whitney.html)

Unabhängig der gewählten Teststatistik wird die Nullhypothese (H_0) geprüft, dass die Daten der zu vergleichenden Gruppen einer gemeinsamen Grundgesamtheit entstammen, wohingegen die Alternativhypothese (H_1) das Gegenteil besagt, dass es zwischen beiden Gruppen einen signifikanten Unterschied gibt.

Bei allen statistischen Testverfahren wurde ein Signifikanzniveau $\alpha=0,05$ bestimmt.

5.5.3 REPRODUZIERBARKEIT DER MESSUNGEN

Insbesondere für die Vergleichbarkeit der erhobenen Messdaten ist die Reproduktion der Ergebnisse ein wichtiges Kriterium. Bei zehn Prozent der vermessenen Individuen wurde daher eine Wiederholungsmessung durchgeführt und auf Basis der Daten beider Messungen der *Technische Messfehler* (TEM, Norton und Olds 2000 nach Perini et al. 2005) des *Intra-Observer-Fehlers* (Messung durch eine:n Bearbeiter:in) berechnet.

Der absolute TEM ist die Standardabweichung zwischen der ersten Messung und der Wiederholungsmessung und errechnet sich wie folgt:

$$\text{Absoluter TEM} = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{2n}}$$

mit d = der Differenz zwischen der ersten und der Wiederholungsmessung, i = der Anzahl an gebildeten Differenzen und n = der Gesamtanzahl an Messungen.

Auf Basis des absoluten TEM kann auch der relative TEM bestimmt werden, welcher die Abweichungen zwischen der ersten und der Wiederholungsmessung in Prozent angibt:

$$\text{Relativer TEM} = \frac{\text{Absoluter TEM}}{\text{VAV}} * 100 \quad \text{und} \quad \text{VAV (variable average value)} = \frac{\sum x_i + y_i}{n},$$

wobei x_i und y_i die Daten der ersten und der Wiederholungsmessung sind.

Bei der Ermittlung des *Inter-Observer-Fehlers* (Messung durch mehrere Bearbeiter:innen) wurde für 25 Individuen diverser Skelettserien im Rahmen der Arbeit von Bütchorn (2022) analog vorgegangen.

5.5.4 ABWEICHUNGEN VOM HARDY-WEINBERG-GLEICHGEWICHT

Das Hardy-Weinberg-Gleichgewicht beschreibt, dass in einer idealen Population (große Individuenzahl, Panmixie, keine Selektion, keine Mutation, keine Migration) die Allel- und Genotyp-Frequenzen von Generation zu Generation konstant bleiben. Um zu überprüfen, ob die Genotypen der Individuen aus Rödelheim Abweichungen zum Hardy-Weinberg-Gleichgewicht zeigen, wurden die beobachteten und erwarteten Genotypen verglichen und auf Abweichungen geprüft. Dafür wurde der exakte Test nach der Markov-Chain-Methode mit 1.000.000 Schritten und 100.000 *dememorization steps* mit der Arlequin Software Version 3.5.2.2 (Computational and Molecular Population Genetics Lab, Excoffier und Lischer 2010) durchgeführt.

5.5.5 BERECHNUNG AUTOSOMALER ALLELFREQUENZEN UND POPULATIONSVERGLEICH

Für die Berechnung der autosomalen STR-Allelfrequenzen wurde zunächst die gesamte Anzahl an Allelen jedes STR-Systems bestimmt. Im Anschluss wurde für jedes Allel eine entsprechende Frequenz berechnet. Die Allelfrequenzen der Individuen aus Rödelheim wurden im Anschluss mit denen verschiedener Populationen aus Europa sowie mit denen der Referenzserie napoleonischer Soldaten aus Kassel über den χ^2 -Test (vgl. 5.5.1) verglichen. Die Frequenzdaten verschiedener europäischer Populationen wurden vorrangig aus der STRidER-Datenbank entnommen (<https://strider.online/frequencies>). Für die STR-Systeme D5S818 und D13S317 wurden die Daten der Datenbank pop.STR (http://spsmart.cesga.es/about.php?dataSet=strs_local) entnommen. Darüber hinaus wurden die Daten durch publizierte Allelfrequenzen der Populationen aus Russland (Stepanov et al. 2010) und Belgien (Decorte et al. 2006) für einzelne STR-Systeme ergänzt. Um die

Allelhäufigkeiten der Individuen aus Rödelheim mit denen anderer Populationen vergleichen zu können, wurde zunächst der Erwartungswert E jedes STR-Systems für die unterschiedlichen Populationen berechnet. Dafür wurden die Allelfrequenzen p mit der Anzahl erfolgreich typisierter Allele n der Serie Rödelheim multipliziert. In der Tabelle 5 ist exemplarisch die Berechnung für das STR-System D5S818 mit den Frequenzen einer russischen Population dargestellt.

Tabelle 5: Exemplarische Berechnung des Erwartungswerts im System D5S818 mit Allelfrequenzen einer russischen Referenzpopulation.

| D5S818 | </= 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | >/= 14 | Publikation |
|----------------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------------------|
| Russland | 0,06 | 0,101 | 0,316 | 0,354 | 0,152 | 0,018 | Stepanov et al. 2010) |
| Erwartungswert bei n=283 Allelen | 17 | 29 | 89 | 100 | 43 | 5 | |

Die Berechnung des χ^2 -Homogenitätstests erfolgte paarweise über das von Preacher (2001) entwickelten Online-Tool (<http://quantpsy.org/chisq/chisq.htm>).

5.5.6 BESTIMMUNG DER Y-HAPLOGRUPPEN UND POPULATIONSVERGLEICH

Für jeden Konsensus-Y-Haplotyp der Individuen aus Rödelheim wurde über einen Y-Haplogruppen-Prädiktor (Online-Tool, <https://www.nevgen.org/>) die jeweilige Haplogruppe bestimmt. In den Haplogruppenvergleich der Rödelheimer Serie mit anderen europäischen Populationen wurden nur die Haplogruppen mit einbezogen, die mit einer Vorhersagewahrscheinlichkeit von mindestens 80% bestimmt wurden. Die Haplogruppenverteilung diverser europäischer Populationen wurden der Online-Datenbank Eupedia (https://www.eupedia.com/europe/european_y-dna_haplogroups.shtml) entnommen.

Die Berechnung des χ^2 -Homogenitätstest erfolgte auch hier mit dem von Preacher (2001) entwickelten Online-Tool (<http://quantpsy.org/chisq/chisq.htm>).

5.5.7 Y-STRS UND ANALYSIS OF MOLECULAR VARIANCE (AMOVA)

Anders als bei der Auswertung autosomaler STRs ist der Vergleich von isolierten Allelfrequenzen einzelner Y-STRs mit denen anderer Populationen nicht zielführend. Vielmehr ist entscheidend, die molekulare Beziehung einzelner Allele unterschiedlicher Y-STR-Systeme beim Populationsvergleich

zu berücksichtigen, da diese gekoppelt als Haplotyp vererbt werden. Die *analysis of molecular variance* (AMOVA) wurde erstmals für mitochondriale Haplotypen angewendet und bietet die Möglichkeit, interindividuelle Haplotypvariabilität innerhalb einer Population von der Variabilität zu differenzieren, die durch die Zugehörigkeit zu einer anderen Population entsteht (Excoffier et al. 1992). Die AMOVA basiert dabei auf Wrights F-Statistik (Wright 1950) und bietet die Möglichkeit, genetische Distanzen zweier Haplotypen zu berechnen, welche sich durch die Anzahl sich trennender Mutationen ausdrückt. Grundlage bildet hier die *single-step-mutation*-Annahme (Ohta und Kimura 1973). Auf dieser Grundlage werden alle Haplotypen einer Population mit denen einer anderen Population verglichen und das Verhältnis der Inter-Populations-Varianz σ_a^2 zur gesamten molekularen Varianz σ^2 wird als Differentiationsindex ϕ_{ST} ausgegeben. Je niedriger der ϕ_{ST} -Wert ist, desto weniger differieren die Haplotypen und desto ähnlicher sind sich die untersuchten Populationen (z.B. Roewer et al. 1997, 2001). Da die ϕ -Statistik erstmals bei der Untersuchung von mt-DNA-Anwendung fand (Excoffier et al. 1992), wurde für den untersuchten Marker eine kontinuierliche Mutationsrate angenommen und auch Rückmutationen wurden bei der Modellentwicklung nicht berücksichtigt. Um den bidirektionalen Ein-Schritt-Mutationsmechanismus von Ohta und Kimura (1973) bei der Untersuchung von Mikrosatelliten besser zu berücksichtigen, führte Slatkin (1995) eine angepasste Form der ϕ -Werte, nämlich die R-Werte, ein.

Die AMOVA wurde über einen speziellen Zugang der Website <https://yhrd.org/> (Willuweit und Roewer 2015, mit freundlicher Bereitstellung des erweiterten Zugangs durch Prof. Dr. Lutz Roewer, Institut für Rechtsmedizin, Charité – Universitätsmedizin Berlin) berechnet. Das Webtool ermöglicht die Berechnung von paarweisen R_{ST} -Werten von maximal 10.000 Haplotypen diverser, in der Datenbank erfasster Populationen. Darüber hinaus bietet die Webseite die Möglichkeit, Vergleiche über die Ausgabe von p-Werten mit 10.000 Permutationen statistisch zu bewerten.

Die R_{ST} -Werte befinden sich in der Regel zwischen 0 und 1, wobei 1 für sich vollständig unterscheidende und 0 für identische Populationen steht. Bei sehr nah verwandten Populationen können die R_{ST} -Werte in einigen Fällen auch negativ werden.

6 ERGEBNISSE DER ANTHROPOLOGISCHEN UNTERSUCHUNGEN

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der anthropologischen Untersuchungen vorgestellt. Insbesondere die Ergebnisse der paläopathologischen Untersuchungen wurden im Rahmen diverser Examensarbeiten erhoben und fließen in die Zusammenstellung der Ergebnisse mit ein. Zusätzlich durchgeführte eigene statistische Berechnungen (bspw. Vergleiche paläopathologischer Veränderungen zwischen unterschiedlichen Alterskohorten, s.u.) im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden auf Basis der in den jeweiligen Examensarbeiten erhobenen Rohdaten durchgeführt. Die Tabellen, auf deren Grundlage berechnet wurde, finden sich im Ordner „Morphologie“ auf der Daten-CD dieser Arbeit.

6.1 ÜBERPRÜFUNG DER MINDESTINDIVIDUENZAHL UND DOKUMENTATION DER BEFUNDE

Bei der morphologischen Begutachtung der Befunde zeigte sich, dass die Skelette weitestgehend vollständig überliefert waren, wobei selbst sehr kleine Knochen, wie bspw. Fuß- und Handknochen, bei der sorgfältigen archäologischen Grabung individuenweise geborgen wurden. Lediglich einzelne Skelette aus den Grabgruben, die durch die Baugrubengrenzen gestört wurden (vgl. Abbildung 1, Stellen 6, 13-14, 17-18, 21-23, 27-29, 34, 37-39) oder durch Tiergänge gestört waren (Stellen 7-10, 12, 14, 17, 25 und 37), wurden vereinzelt unvollständig geborgen. Bei den Grabgruben, in denen sich typische Massenbestattungen fanden (Stellen 20, 27-30, 34-35 und 37-38) konnte eine höhere Durchmischung einzelner Knochen zwischen Individuen einer Grabgrube dokumentiert werden. Aus einer im Übergabeprotokoll aufgeführten Grabgrube (Stelle 16) wurden keine Knochen übergeben, da diese Grube nur angeschnitten wurde und kein Skelett gefunden wurde. Bei zwei Gräbern (Stelle 39 und 40) wurden die Knochen der Individuen als Konglomerat geborgen.

Die Knochen liegen überwiegend in einem sehr guten Erhaltungszustand vor, wobei nur wenige Skelette bzw. Skelettelemente (vorrangig spongiöse Knochen, mit einem geringeren Anteil an Kompakta wie Scapulae, Wirbel, Rippen und Beckenknochen) deutliche Anzeichen fortgeschrittener Dekomposition zeigen. Davon ausgenommen sind die Skelette aus den Gruben 37 und 38, die überwiegend deutlich schlechter erhalten waren. Postmortale Beschädigungen an den Knochen konnten bei zahlreichen Individuen nachgewiesen werden. Häufig konnten diese Defekte auch an besonders fragilen Knochen (bspw. Scapula, Wirbel, Rippen und Becken) gefunden werden. Darüber hinaus waren einige Diaphysen der Langknochen fragmentiert, die jedoch in der Regel

wieder zusammengeklebt werden konnten. Bei den Skeletten aus den Grabgruben der typischen Massenbestattungen und denen, die durch die Baugrube gestört wurden (vgl. oben), wiesen die Knochen einen höheren Fragmentierungsgrad auf und konnten auch nur in Ausnahmefällen geklebt werden.

Intensive Untersuchungen des Skelettmaterials erbrachten, dass die Mindestindividuenzahl des Skelettkollektivs von 204 (Hampel 2015) auf 213 Individuen korrigiert werden muss. Ursächlich für die höhere Anzahl an nachweisbaren Individuen sind vier Grabgruben (Stellen 22, 26, 39 und 40), aus denen die Skelette nicht individuenweise geborgen werden konnten, sondern es lag unter den durch die Archäolog:innen vergebenen Fundnummern jeweils ein Konglomerat an Knochen vor, aus welchem dann die Mindestindividuenzahl erweitert werden musste. Darüber hinaus konnten in der Grabgrube 38 zwei weitere Kieferfragmente identifiziert werden, die weder morphologisch noch molekulargenetisch einem bereits vorliegenden Befund zugeordnet werden konnten und somit die Mindestindividuenzahl um zwei erhöhte (Rö 38,X und Rö 38,6 II). Da zusätzlich in zwei größeren Grabgruben (Stelle 29 und 30) je zwei als Einzelindividuum aufgeführte Befunde (29,10/29,15 und 30,8/30,13) morphologisch und molekulargenetisch abgesichert unter einer Fundnummer zusammengeführt werden konnten, wurde die Mindestindividuenzahl auf 213 bestimmt.

Alle Skelettfunde wurden bereits während der archäologischen Grabung von einem Mitarbeiter des Denkmalamts der Stadt Frankfurt am Main *in situ* fotografisch dokumentiert. Nach der Reinigung der Knochen wurden die Skelette in anatomischer Lage ausgelegt und jeder Knochen in einem Befundbogen dokumentiert. Im Anschluss wurden jeweils eine Übersichtsaufnahme angefertigt (vgl. Datei „Anhang A-2“ auf der Daten-CD) und die biologischen Basisdaten des Individuums erhoben sowie die osteometrischen Untersuchungen durchgeführt. Darüber hinaus wurden Proben für die molekulargenetischen Untersuchungen entnommen. Die morphologische Untersuchung und fotografische Dokumentation von pathologischen und/oder anatomischen Besonderheiten erfolgte gesondert, vor allem im Rahmen diverser Bachelor- und Masterarbeiten (vgl. Kapitel 5).

6.2 REKRUTIERUNG UND TRUPPENZUSAMMENSETZUNG

6.2.1 GESCHLECHTERVERTEILUNG

Die morphologische Geschlechtsdiagnose ist vorrangig durch Beurteilung der funktionalitätsbedingten Merkmalsausprägung am Becken sowie an den geschlechtsdeterminierenden Merkmalen am Schädel durchgeführt worden (vgl. Kapitel 5.2.1). Im Rahmen der Arbeit von Lucas (2016) wurden zusätzlich zahlreiche morphometrische Untersuchungen bei 153 Skeletten angewendet, um eine metrische Geschlechtsbestimmung durchzuführen. Bei der Untersuchung konnte gezeigt werden, dass sich im Rödelheim-Kollektiv fast ausschließlich männliche Individuen finden lassen. Durch die Erweiterung der Untersuchungen auf das gesamte Kollektiv im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte das Geschlechterverhältnis bestätigt bzw. erweitert werden. Im Skelettkollektiv konnten nur wenige Individuen nachgewiesen werden, die aufgrund ihrer Morphologie sowie der allgemeinen Robustizität der Knochen eher weiblichen Individuen zugeordnet werden können (Spektrum der Robustizität am Beispiel des Femurs, Abbildung 8).



Abbildung 8: Je ein Femur der Individuen Rö 14,2 (morphologisch, morphometrisch und molekulargenetisch männlich), Rö 19,5 (morphologisch, morphometrisch männlich, molekulargenetisch weiblich), Rö 36 (morphologisch, morphometrisch und molekulargenetisch weiblich) und Rö 20,9 (morphologisch, morphometrisch weiblich, molekulargenetisch männlich). Foto: ©Lucas.

Mit Hilfe der Molekulargenetik konnten über die Amplifikation des Amelogenin-Markers die Geschlechtsbestimmungen abgesichert werden. Durch die allgemein sehr gute Überlieferung und DNA-Erhaltung konnten fast alle Individuen geschlechtsbestimmt werden. Im Kollektiv wurden 208 männliche und drei weibliche Individuen nachgewiesen (bei sechs Individuen konnte durch den schlechten DNA-Erhaltungszustand das morphologisch männlich bestimmte Geschlecht nicht abgesichert werden). Bei zwei Individuen konnte aufgrund der unvollständigen Überlieferungen und des schlechten Erhaltungszustands kein biologisches Geschlecht bestimmt werden (Tabelle A6 im Anhang A). Bei den Individuen Rö 36, Rö 19,4 und Rö 19,5 konnte kein Y-spezifisches Signal des Amelogenins amplifiziert werden, was auf ein weibliches Individuum hindeutet. Die nachfolgende Amplifikation der gonosomalen STR-Marker (Sexplex vgl. Einzelamplifikationen in Ordner „Molekulargenetik“ auf der Daten-CD) erbrachte heterozygote Ergebnisse in den X-STRs, was ein Beweis für das Vorhandensein von zwei X-Chromosomen und somit das Vorliegen eines weiblichen Individuums ist (Abbildung 9).

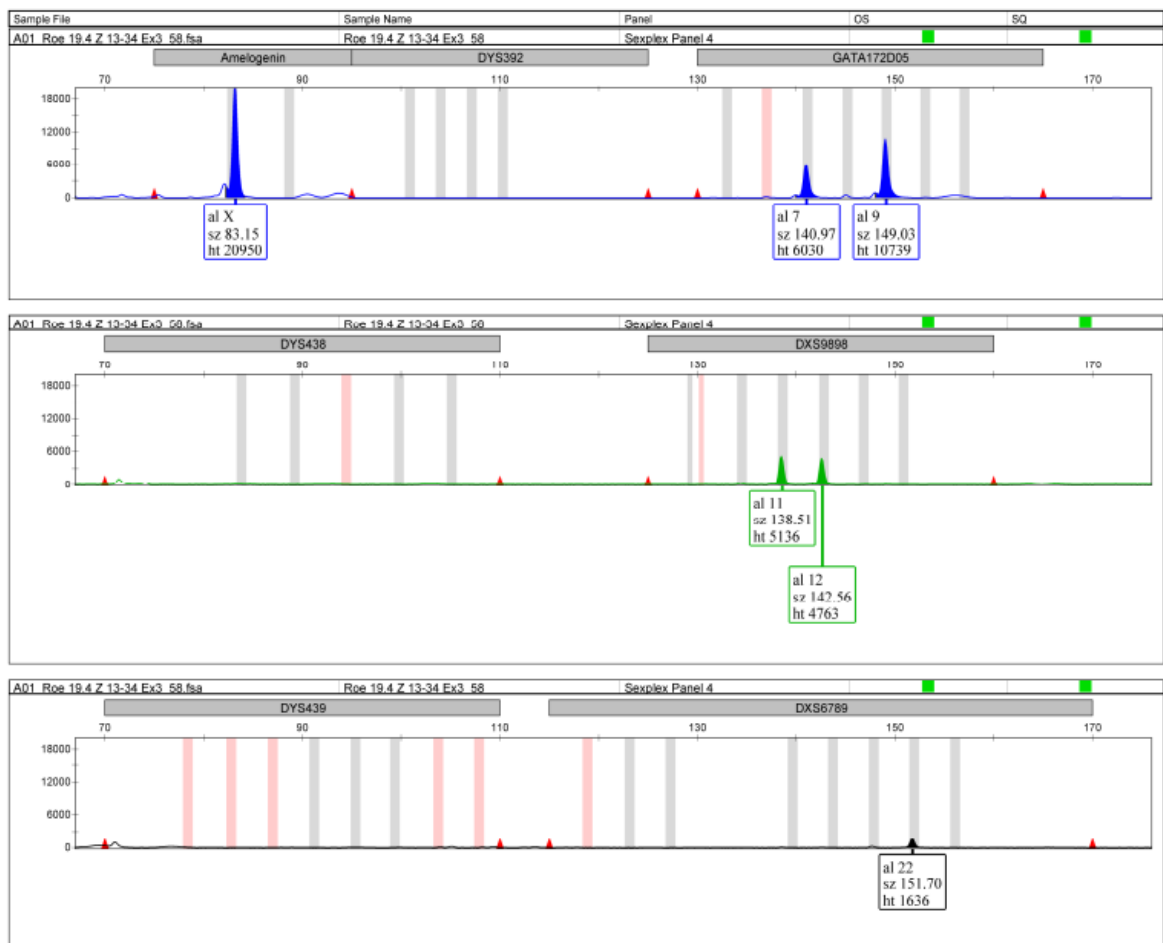


Abbildung 9: Ausschnitt aus dem Elektropherogramm einer Amplifikation gonosomaler STR-Marker des Individuum Rö 19,4 (Sexplex, PCR 58). Die heterozygoten Ergebnisse in den X-STRs und das Ausbleiben von Y-spezifischen Signalen beweist das Vorhandensein von zwei X-Chromosomen und bestätigten damit, dass es sich um ein weibliches Individuum handelt.

Interpretation

Das Geschlechterverhältnis weicht erwartungsgemäß stark von dem einer Normalbevölkerung ab, ist jedoch deckungsgleich mit anderen Fundstätten, die im militärischen Kontext stehen. Der Vergleich der Ergebnisse mit denen der Bestattungen napoleonischer Soldaten aus Kassel (Grumbkow 2013) und Vilnius (Signoli et al. 2004) (vgl. Kapitel 4.2) zeigt annähernd identische Geschlechterverteilungen, bei dem auch wenige Frauen im Befund nachgewiesen werden konnten (Abbildung 10). Und auch bei anderen Skelettfunden napoleonischer Soldaten, bspw. in Austerlitz (Horáčková und Vargová 1999) oder Leipzig (Teegen 2014; Westphalen 2016), konnten vereinzelt Frauen nachgewiesen werden.

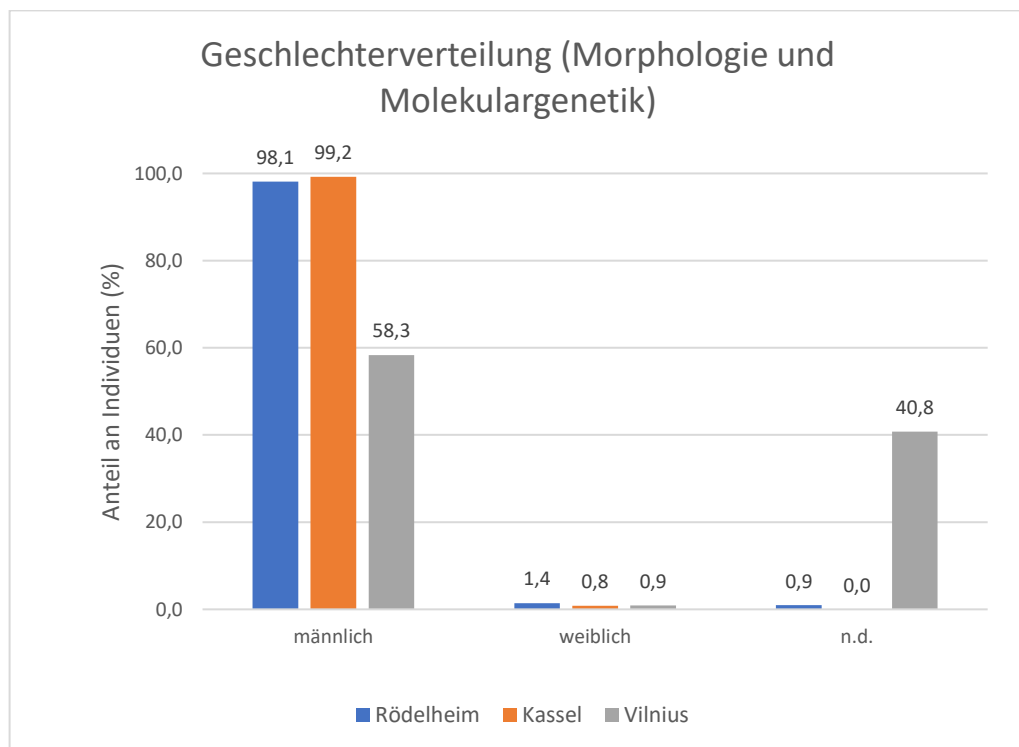


Abbildung 10: Geschlechterverteilung von drei Skelettserien napoleonischer Soldaten aus Rödelheim (blau), Kassel (orange) und Vilnius (grau). Das Geschlechterverhältnis aus den drei Serien ist annähernd deckungsgleich, da fast ausschließlich männliche Individuen bestimmt wurden. Die einzige Ausnahme bilden die nicht geschlechtsbestimmten Individuen, die in Vilnius mit circa 40% deutlich höher als in Rödelheim (<1 %) und Kassel (0 %) liegen.

In welchem Verhältnis die weiblichen Individuen aus Rödelheim zu den Soldaten innerhalb der Armee standen, kann anhand der anthropologischen Untersuchung nicht gesagt werden. Dass es sich um einheimische Frauen aus Rödelheim handelt, ist eher als unwahrscheinlich zu erachten. Zwar wurden die kranken Soldaten bei der zivilen Bevölkerung untergebracht und es gibt historische Berichte darüber, dass sich die Bewohner auch mit dem „Typhus“ ansteckten und

verstarben. Jedoch ist es äußerst unwahrscheinlich, dass die Zivilisten gemeinsam mit den Soldaten auf einem Notbestattungsplatz bestattet wurden, sondern sie eher regulär auf dem Stadtfriedhof niedergelegt wurden (persönliche Mitteilung Dr. Andrea Hampel). Daher ist es naheliegend, dass die Frauen fester Bestandteil der napoleonischen Armee waren und sie bspw. ihren Männern folgten oder als Marketenderinnen arbeiteten. Es ist ebenfalls möglich, dass die Frauen unter männlicher Identität in die Schlacht gezogen sind (vgl. Kapitel 2.1). Hinweise auf eine aktive Teilnahme in der Schlacht, der sich bspw. durch die Identifikation von Hiebverletzungen genähert werden könnte, konnten nicht gefunden werden (Rachel 2020).

Auch anhand der Bestattungssituation der drei Individuen kann kein Hinweis gefunden werden, ob sie eine gesonderte Position in der Armee eingenommen haben. Bei einem weiblichen Individuum (Rö 36), handelt es sich um eine der zwei Einzelbestattungen auf dem Grabungsareal, die im Sarg, als einziger Befund in Bauchlage bestattet wurde. Die beiden anderen Frauen wurden ebenfalls im Sarg, nebeneinander in derselben Grabgrube (Rö 19,4 und Rö 19,5) mit drei weiteren männlichen Individuen bestattet.

6.2.2 STERBEALTERSVERTEILUNG

Bei zahlreichen Individuen lagen verschiedene Epiphysen noch frei vor, was eine recht genaue Sterbealtersdiagnose ermöglichte. Bei den anderen Individuen wurde das Sterbealter vorrangig über die morphologische Beurteilung des ectocranialen Schädelnahtverschlusses und des Oberflächenreliefs der Schambeinsymphyse bestimmt. Bei einigen Individuen, die sehr unvollständig überliefert waren und bei welchen nur wenige Merkmale für eine genaue Sterbealtersdiagnose zur Verfügung standen, wie bspw. nur einige Knochen der unteren Extremität, wurde das Sterbealter sehr grob, teilweise auch altersklassenübergreifend, bestimmt. Die Altersdiagnose durch die mikroskopische Beurteilung der regelhaften Umbauprozesse in der Knochenmikrostruktur des Femurs wurde nicht standardmäßig durchgeführt. Bereits bei der Anfertigung erster mikroskopischer Dünnschnittpräparate wurde unter dem Mikroskop deutlich, dass die Mikrostruktur der Knochen durch die Aktivität von bodenlebenden Mikroorganismen zerstört wurde und somit keine zuverlässige Altersdiagnose zugelassen hätte (Abbildung 11).

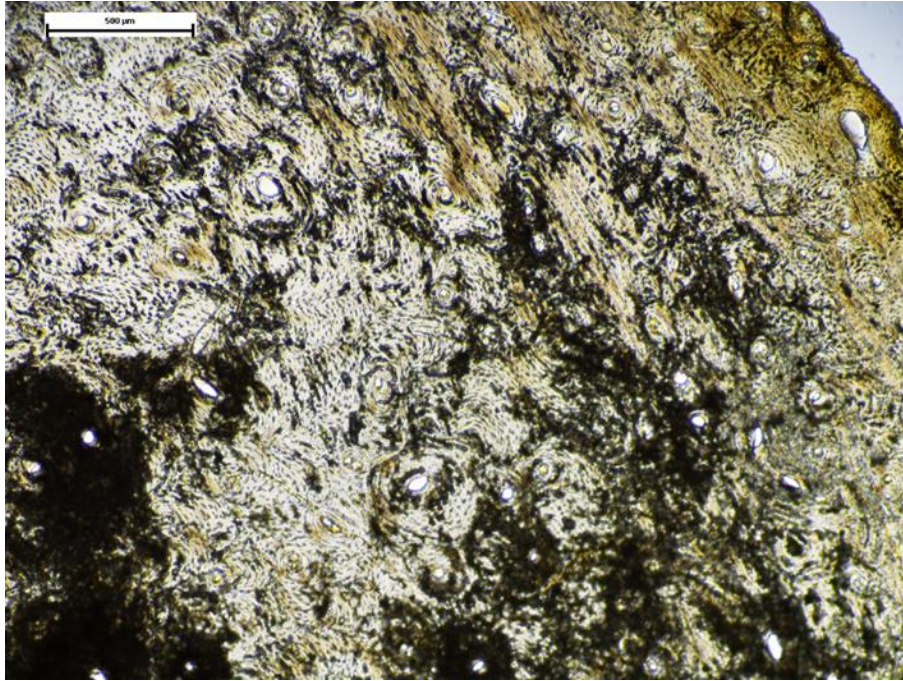


Abbildung 11: Mikroskopisches Bild eines Dünnschnittes aus der Femur-Diaphyse des Individuums Rö 12,1. Deutlich zu erkennen sind schwarze, blickdichte Areale, die das Produkt ausgedehnter Zerstörungsprozesse bodenlebender Mikroorganismen sind und eine genaue Sterbealtersdiagnose nahezu unmöglich machen (Maßstab 500 µm).

Bei 204 Individuen konnte das biologische Alter ermittelt werden (Abbildung 12, Tabelle A7 im Anhang mit Sterbetafel). Die Überreste von neun Individuen, deren Knochen entweder als Konglomerat geborgen wurden (Individuen Rö 39,1 bis Rö 39,4 und Rö 40,1 bis Rö 40,2) oder in einem sehr schlechten Überlieferungszustand vorlagen (Individuen Rö 26,2, Rö 38,X und Rö 38,6 II) konnten nicht altersbestimmt werden.

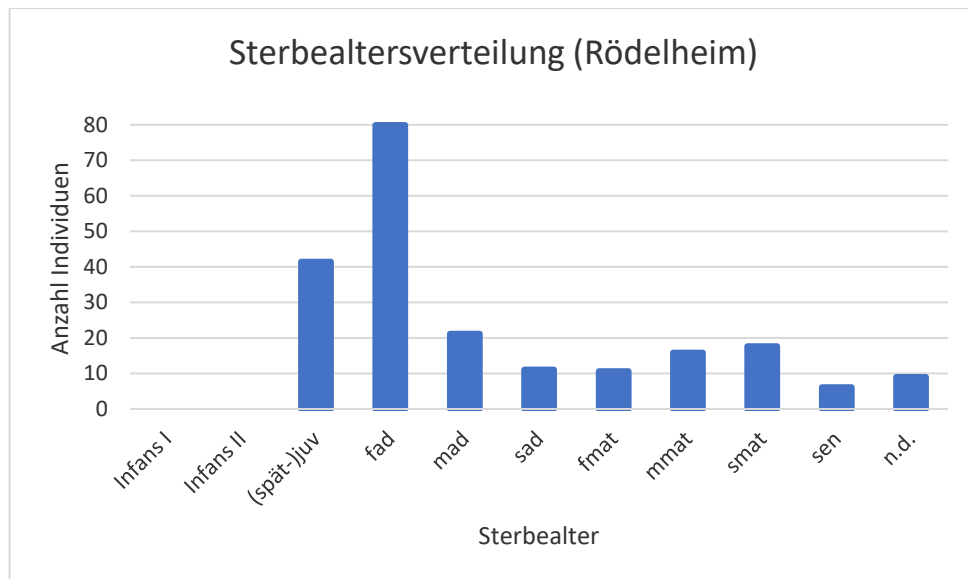


Abbildung 12: Sterbealtersverteilung der Individuen aus Rödelheim anhand morphologischer Untersuchungen. Wenn das festgestellte Sterbealter eines Individuums mehrere Altersklassen umfasst, so wurde das Individuum rechnerisch auf mehrere Altersklassen aufgeteilt (bspw. wurde bei einem Individuum „Maturitas“ bestimmt, wurden je 0,25 auf die Altersklassen „frühmat“ und „spätmat“ und 0,5 auf die Altersklasse „mittelmat“ addiert²⁸), daher ist die Individuenanzahl nicht immer ganzzahlig. Legende: juv= Juvenis, ad= Adultas, mat= Maturitas, sen= Senilis; f= früh, m= mittel, s= spät, n.d.=nicht determiniert.

Die Sterbealtersverteilung ist nicht gleichmäßig und zeigt, dass etwa 75 % der Individuen im (spät-)juvenilen (ca. 20 %) bis adulten (ca. 55 %) Alter verstorben sind (16 bis 40 Jahre), mit den meisten Verstorbenen (ca. 40 %) in der Altersklasse früh-adult (20 bis 27 Jahre). Die jüngsten Individuen (Rö 11,1 und Rö 30,20) sind bereits im frühen Juvenis, mit circa 14 Jahren, verstorben. Die übrigen Individuen sind im fortgeschrittenen Alter (älter als 40 Jahre) verstorben, wobei die ältesten Individuen im Senilis verstorben sind (60+ Jahre).

Interpretation

Ein Vergleich mit den Referenzskelettserien aus Kassel und Vilnius hat gezeigt, dass es deutliche Unterschiede hinsichtlich der Sterbealtersverteilung gibt (Abbildung 13). Der allgemeine Trend, dass die Soldaten überwiegend in der frühadulten Altersklasse verstarben, ist identisch. Das war nach den Rekrutierungskriterien auch zu erwarten, denn alle Franzosen zwischen 20 und 25 Jahren waren prinzipiell wehrpflichtig und in der Armee stellten den größten Anteil Männer zwischen 18 und 30 (Mayer 2011) bzw. 35 Jahren (Haythornthwaite 1979). Jedoch konnten in Kassel und Vilnius

²⁸ Bei der Erstellung einer Sterbetafel gibt es keine klar definierte, allgemeingültige Methode, zu welchen Anteilen die jeweiligen Subaltersklassen in die Berechnung einfließen sollten. Einige Autor:innen bevorzugen, die Altersspannen einheitlich, also zu gleichen Teilen auf alle Subaltersklassen, aufzuteilen (z.B. Storch 2020). Andere Autor:innen schlagen vor, die Anteile entsprechend einer Gauß-Verteilung, in der mittlere Werte mehr Gewichtung erhalten, über die Subaltersklassen zu verteilen (Grosskopf 2004). An letzterer Methode wurde sich auch im Rahmen dieser Arbeit orientiert.

deutlich weniger juvenile Individuen (8-10 %) oder Individuen älter als 40 Jahre (ca. 1-2 %) nachgewiesen werden (Signoli et al. 2004; Grumbkow 2013). Der Vergleich der Sterbealtersverteilungen über den χ^2 -Quadrat Test zeigt zwischen den drei Serien signifikante Unterschiede (Rödelheim vs. Kassel: $\chi^2=59,568$, $p= 0$, $d_f=4$; Rödelheim vs. Vilnius: $\chi^2=107,238$, $p=0$, $d_f=4$; Kassel vs. Vilnius: $\chi^2=12,929$, $p=0,0116$, $d_f=4$).

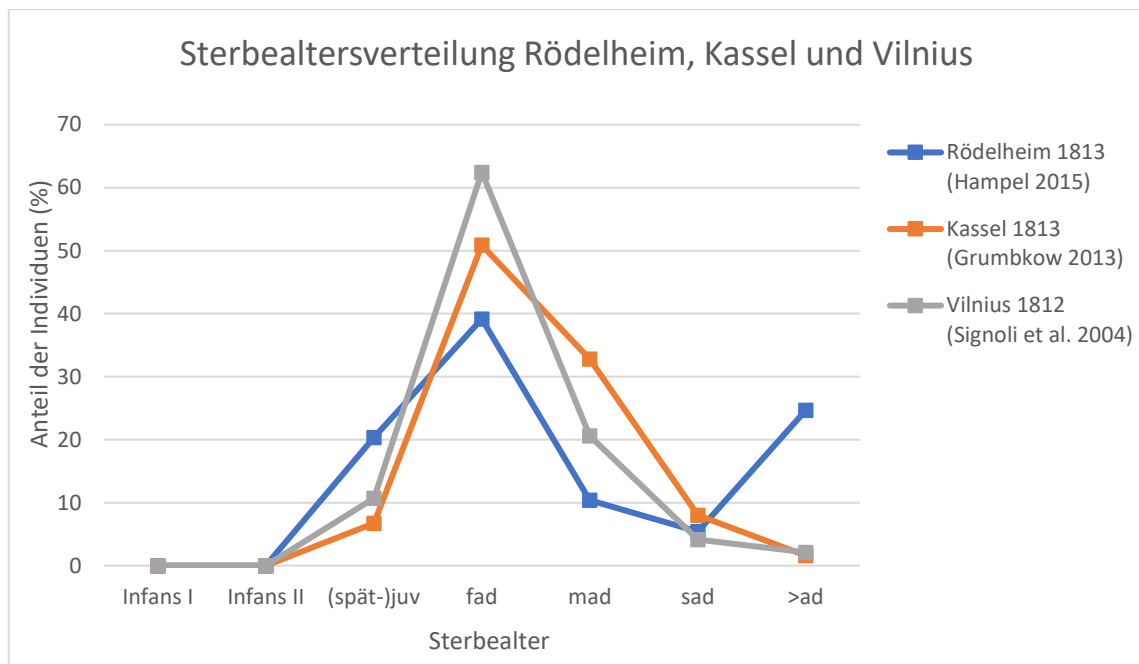


Abbildung 13: Sterbealtersverteilung der Individuen aus Rödelheim, Kassel und Vilnius. Für die bessere Veranschaulichung wurden die Altersklassen Maturitas und Senilis in „>ad“ zusammengefasst. Legende: juv= Juvenis, ad= Adultas; f= früh, m= mittel, s= spät.

Dieser Befund legt nahe, dass die Rekrutierungsstrategie zwischen den Truppenangehörigen, die in Rödelheim, Kassel und Vilnius verstarben, unterschiedlich waren. Die 1812 in Vilnius verstorbenen Individuen wurden für den Russlandfeldzug verpflichtet oder kämpften bereits zuvor für Napoleon. Sie wurden in einer Zeit rekrutiert, in der große Teile des kontinentalen Europas von Napoleon beherrscht wurden und ihm somit viele Ressourcen zum Aufstellen seiner Armee zur Verfügung standen. Er rekrutierte nicht nur in Frankreich nach den Wehrpflichtskriterien, sondern Napoleon verpflichtete unter seiner Macht stehende Länder dazu, Kontingente an Soldaten für seine Feldzüge zur Verfügung zu stellen. Das führte dazu, dass die meisten Soldaten, zumindest in kriegsarmen Jahren, allgemeinen nicht so jung waren. Der missglückte Russlandfeldzug hatte die fast vollständige Eliminierung der Grande Armée zur Folge. Für die im Folgejahr beginnenden Befreiungskriege, an denen die Individuen der Serien Kassel und Rödelheim wahrscheinlich teilnehmen sollten bzw. teilgenommen haben, musste eine zahlenmäßig starke neue Grande

Armée aufgestellt werden. Zeitgleich fielen zahlreiche Verbündete von Napoleon ab, was dazu führte, dass er kaum ausländische Kontingente an Soldaten erhielt und vermehrt in Frankreich rekrutieren musste. Die neuen Rekruten waren jedoch überwiegend kaum ausgebildet, sehr jung und körperlich nicht belastbar (Haythornthwaite 1979). Darüber hinaus wurden auch Männer eingezogen, die aufgrund körperlicher Mängel zuvor ausgemustert worden waren (Röhrig 2008). Napoleon umging dabei das Wehrpflichtsalter, indem er Konskriptionskontingente aus den folgenden Jahren vorzog, um seine Armee schnell zu stärken (Lossau 1845a). Der Anteil junger Soldaten in der Armee, insbesondere in verlustreichen Jahren, war also häufig höher (vgl. Tabelle A8 im Anhang A). Diese Beobachtungen wurden auch bei 69 Bestattungen von der Schlacht bei Wagram (1809) gemacht. Bei den Untersuchungen wurden fast die Hälfte der Individuen auf ein Sterbealter von unter 20 Jahren bestimmt (Grabmayer und Binder 2021). Die Autorinnen begründeten, dass es nur knapp sechs Wochen vor der Schlacht zu sehr verlustreichen Gefechten in der Schlacht bei Aspern und Essling kam und Napoleon die gefallenen Soldaten durch junge, unerfahrene Rekruten ersetzte. Dies ist ein möglicher Erklärungsansatz, warum die Skelettserie Rödelheim so viele junge Individuen aufweist. Dies legen auch Skelettfunde der Leipziger Völkerschlacht nahe, bei denen das Alter der Hälfte der Individuen auf unter 20 Jahre bestimmt wurden (Teegen 2014; Westphalen 2016). Warum dieses Sterbealtersverhältnis jedoch nicht bei der Skelettserie aus Kassel gefunden werden konnte, obwohl die Individuen wahrscheinlich in einem ähnlichen Zeitraum eingezogen wurden und somit entsprechende Rekrutierungskriterien wie für die Individuen der Serie Rödelheim (und Leipzig) geherrscht haben müssten, bleibt unklar. Die Recherchen des Historikers v. Klobuczynski (nach Grumbkow 2013) ergaben, dass der Bruder Napoleons, Jérôme, französische Truppen zum Schutz nach Kassel beorderte. Es ist möglich, dass die Soldaten, die in Kassel verstarben, in einer Region Frankreichs rekrutiert wurden, in der noch ausreichend wehrpflichtige Männer in der Reserve zur Verfügung standen, und keine Konskriptionskontingente vorgezogen werden mussten, um deutlich jüngere Männer verpflichten zu können. Es ist natürlich auch gut möglich, dass auf dem Gelände rund um das Grabungsareal in Kassel noch mehr im Lazarett verstorbene Individuen bestattet wurden und sich dort auch mehr jüngere Individuen befinden, sodass das „Defizit“ an jungen Soldaten also nur ein Stichprobenartefakt darstellt.

Die jüngsten Individuen aus Rödelheim verstarben im frühen Juvenis, mit circa 14 Jahren. Dies erscheint im ersten Moment als ein extrem junges Alter, um in die Armee eingezogen zu werden, aber nach den Recherchen von Haythornthwaite (1979) kam es im Jahr 1813 vermehrt zur Rekrutierung jugendlicher Soldaten im Alter von 15 bis 16 Jahren, die auch die „Marie-Louises“ genannt wurden.

EXKURS: BILDEN VON ALTERSKOHORTEN

Die Unterschiede in der Sterbealtersverteilung der Skelettserie Rödelheim, insbesondere im Vergleich zu den Serien Kassel und Vilnius, ließ die Vermutung zu, dass die Rekrutierungsstrategie für die Individuen des Skelettkollektivs Rödelheim eine andere war. Um dieser Vermutung noch besser nachgehen zu können, wurde sich entschieden, die Individuen der Serie gemäß ihrem Alter in verschiedene Alterskohorten aufzuteilen. Im Anschluss können ausgewählte Fragestellungen nicht nur über das gesamte Kollektiv ausgewertet werden, sondern die Individuen auch zwischen den unterschiedlichen Altersstufen verglichen werden. Insgesamt wurden drei Alterskohorten gebildet: juvenile Individuen (N=49), adulte Individuen (N=115) und Individuen, die älter als adult sind (N=38). Für einzelne Fragestellungen wurden die adulten und älteren Individuen auch als eine Gruppe, die erwachsenen Individuen (N=153) zusammengefasst. Die nicht altersbestimmten Individuen (N=8) wurden beim Vergleich der Alterskohorten nicht berücksichtigt. Alle Individuen mit ihrer Zuordnung in die entsprechende Alterskohorte können der Tabelle A15 im Anhang A entnommen werden.

6.2.3 KÖRPERHÖHE

Für die Ermittlung der Körperhöhe wurden die Langknochen Femur, Tibia, Humerus und Radius der Individuen vermessen, über die Formel von Pearson (1899) die Körperhöhe rekonstruiert und mit dem jeweiligen Schätzfehler von $\pm 3-4$ cm angegeben (Tabelle A9 im Anhang A). Bei den zwei frühjuvenilen Individuen (Rö 11,1 und Rö 30,20) lagen alle Epiphysen unverknöchert vor. Es wurde daher die Maximallänge der Langknochen ermittelt und die Körperhöhe über die Formel von Telkka et al. (1962) für subadulte Individuen berechnet. Für 171 Individuen konnte die Körperhöhe rekonstruiert werden, wobei die beiden frühjuvenilen Individuen bei der Berechnung der durchschnittlichen Körperhöhe nicht berücksichtigt wurden. Für die übrigen 169 Individuen (Männer und Frauen) im Skelettkollektiv konnte eine durchschnittliche Körperhöhe von $166 \text{ cm} \pm 3-4 \text{ cm}$ ($SD=4,62$) ermittelt werden (die durchschnittliche Körperhöhe männlicher Individuen ist ebenfalls $166 \pm 3-4 \text{ cm}$, $SD=4,55$). Wobei der Größenunterschied zwischen dem kleinsten (153 cm) und größten Individuum (183 cm) 30 Zentimeter beträgt (Abbildung 14 zeigt exemplarisch die Spannweite am Beispiel der Femora des größten und eines der kleinsten Individuen im Kollektiv). Für die weiblichen Individuen konnte eine durchschnittliche Körperhöhe von $159 \pm 3-4 \text{ cm}$ ($SD=3,61$) ermittelt werden.



Abbildung 14: Gegenübergestellt sind die beiden Oberschenkelknochen des größten Individuums im Skelettkollektiv (rechts: Rö 14,2 mit einer rekonstruierten Körperhöhe von $183 \pm 3-4$ cm, F1-Maß= 557 mm) im Vergleich zu denen eines der kleinsten Individuen (links: Rö 35,9 mit einer rekonstruierten Körperhöhe von $155 \pm 3-4$ cm, F1-Maß= 388 mm).

Interpretation

Die für das Skelettkollektiv ermittelte durchschnittliche Körpergröße entspricht den Erwartungen für eine mitteleuropäische Population männlicher Individuen des 19. Jahrhunderts (Siegmund 2010). Und auch in einer Zusammenfassung von Rekrutierungsdaten des frühen 19. Jahrhunderts in Europa wird bspw. für Frankreich eine Körperhöhe von 166 cm angegeben (Komlos 1994). Für weibliche Individuen gibt Siegmund (2010) eine durchschnittliche Größe von circa 155 cm an, damit liegt die Körperhöhe der Frauen im Skelettkollektiv über dem Referenzwert. Insbesondere eine der Frauen (Rö 19,5) ist mit einer Körperhöhe von $163 \pm 3-4$ cm deutlich über dem Durchschnittswert.

Die Körperhöhe kann im Allgemeinen hinweisgebend sein, ob ein Individuum in der Kindheit, bspw. durch Mangelernährung oder Krankheit, viele Stressperioden erleben musste, denn diese können die maximale Körperhöhe negativ beeinflussen (Goodman 1991). Daher kann es von Interesse sein, die durchschnittlichen Körperhöhen von napoleonischen Soldaten zu unterschiedlichen Zeitpunkten ihrer Rekrutierung zu vergleichen, um mögliche Hinweise darauf zu finden, dass nach dem Russlandfeldzug eher nach Quantität und nicht mehr nach Qualität rekrutiert wurde bzw. werden konnte. Ein erster statistischer Vergleich konnte zwischen den Serien Rödelheim (N=166,

\bar{x} =166 cm, SD=4,5487), Kassel (N=57, \bar{x} =167 cm, SD=4,9187) und Vilnius (N=179, \bar{x} =168 cm, SD=4,2764) durchgeführt werden²⁹ (Abbildung 15), da für diese Serie alle Körperhöhen und nicht nur Durchschnittswerte der Serien zur Verfügung standen (ein großer Dank geht dabei an Prof. Dr. Rimantas Jankauskas, der für die Berechnungen die gesamten Langknochenmaße der Individuen aus Vilnius zur Verfügung gestellt hat).

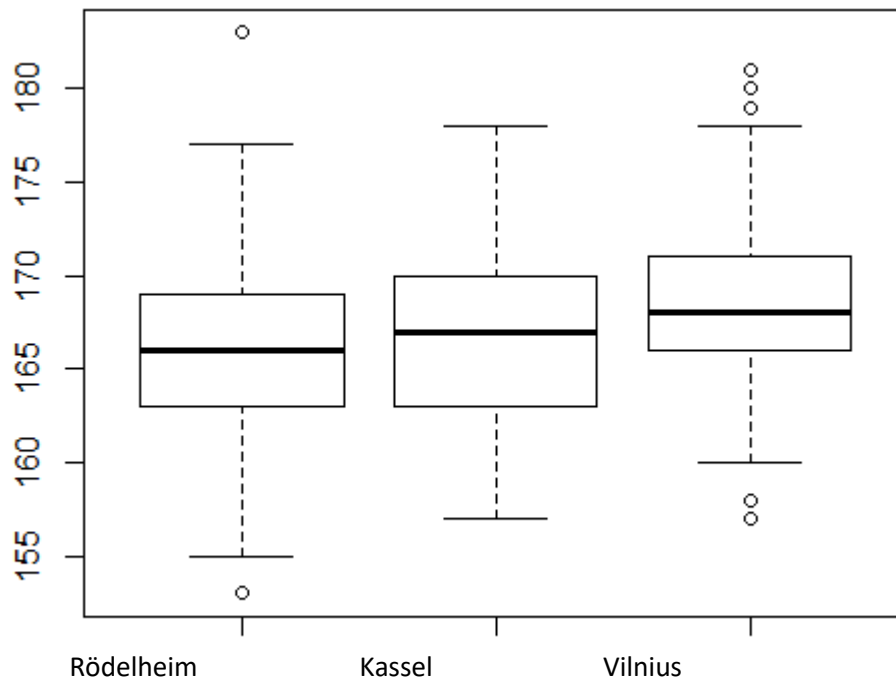


Abbildung 15: Box plot der Körperhöhenverteilungen der Serien Rödelheim (N=166, \bar{x} =166 cm, SD=4,5487), Kassel (N=57, \bar{x} =167 cm, SD=4,9187) und Vilnius (N=179, \bar{x} =168 cm, SD=4,2764). X-Achse: berechnete Körperhöhe, Y-Achse: unterschiedliche Serien. Abgebildet sind die Minimal- und Maximalwerte, die Quartile 1 und 3 sowie der Median. Ausreißer sind als Kreise dargestellt.

Der Vergleich der jeweiligen Mittel- und Medianwerte zeigt, dass die Serien Abweichungen in ihren berechneten Körperhöhen zeigen (Abbildung 15). Die Individuen aus der Serie Rödelheim sind mit einer durchschnittlichen Körperhöhe von 166 cm die kleinsten, gefolgt von Kassel mit 167 cm und Vilnius mit 168 cm. Um diese Beobachtung auf Signifikanz zu prüfen, wurden unterschiedliche Hypothesentests durchgeführt. Für die Wahl des Hypothesentests wurden die Daten auf Varianzhomogenität und Normalverteilung geprüft. Über den Levene-Test konnte eine Varianzhomogenität der drei Serien festgestellt werden ($p=0,4663$, $F=0,7643$, 95% region of

²⁹ Im Vergleich wurden die Körperhöhen der weiblichen Individuen nicht berücksichtigt. Zwar ist nicht klar, in welchem Verhältnis die Frauen zu den Soldaten standen, jedoch kann mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit gesagt werden, dass die Frauen nicht wie die männlichen Soldaten rekrutiert wurden.

acceptance: $[-\infty : 3,0183]$). Die Prüfung auf Normalverteilung ergab, dass die Daten der Serien Rödelheim und Kassel normalverteilt sind, die der Serie Vilnius aber nicht (Shapiro-Wilk Test, Rödelheim: $p=0,2189$, $W=0,9889$, Kassel: $p=0,1173$, $W=0,9667$, Vilnius: $p=0,008256$, $W=0,979$). Daher konnten Rödelheim und Kassel über den Zweistichproben-t-Test, Rödelheim und Vilnius bzw. Kassel und Vilnius über den Mann-Whitney-U-Test verglichen werden. Der Vergleich der ermittelten Körperhöhen der männlichen Individuen aus Rödelheim und Kassel ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Serien ($p=0,2798$, $t=-1,0835$, $d_f=221$, 95% *region of acceptance*: $[-2,1780737 : 0,6327344]$), was bedeutet, dass die durchschnittliche Körperhöhe der Individuen beider Serien ungefähr gleich ist. Anders ist es im Vergleich mit der Skelettserie Vilnius: sowohl die Individuen der Serie Rödelheim ($p=0,000013$, $Z=4,361$, 95% *region of acceptance*: $[-1,96:1,96]$) als auch die Individuen aus dem Massengrab Kassel ($p=0,0223$, $Z=2,2852$, 95% *region of acceptance*: $[-1,96:1,96]$) zeigen hier signifikante Unterschiede zu den Individuen aus Vilnius. In beiden Fällen ist es wahrscheinlicher, dass ein zufällig ausgewähltes Individuum aus der Serie Vilnius eine höhere Körpergröße hat, als ein Individuum aus Rödelheim oder Kassel. Ein Vergleich mit den Körperhöhen weiterer publizierter Skelettserien napoleonischer Soldaten, bspw. aus Zürich und Schaffhausen, Aspern und Essling oder Wagram sowie Skelettserien in anderen militärischen Kontexten, bspw. Snakehill und Marchettigasse, erweckt den Eindruck, dass die Individuen der Serie Rödelheim (und Kassel) in der Regel eine deutlich geringere durchschnittliche Körperhöhe aufweisen (vgl. durchschnittliche Körperhöhen in Tabelle 6).

Tabelle 6: Durchschnittliche Körperhöhen von Individuen aus unterschiedlichen militärischen Kontexten und Zeitstellungen.

| Fundstätte | Zeitstellung | Körperhöhe (\bar{x}) in cm | Referenz |
|-------------------------|----------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Zürich/ Schaffhausen | 1799/1800 | 170 | Meyer 2003; Cooper 2006 |
| Aspern/ Essling | 1809 | 173,8 | Quade und Binder 2018 |
| Wagram | 1809 | 172,7 | Grabmayer und Binder 2021 |
| Snakehill | 1812 (Amerika) | 175,6 | Pfeiffer und Williamson 1991 |
| Marchettigasse | Ende 18 Jhd. | 173,2 | Binder 2008 |

Die Ergebnisse sind jedoch vorsichtig zu interpretieren, da für die Ermittlung der Körperhöhen andere Schätzformeln verwendet wurden als in der vorliegenden Arbeit, was zu einer nicht unerheblichen Schwankung zwischen den berechneten Körperhöhen führen kann. In den seltensten Fällen werden osteometrische Datensätze der Öffentlichkeit zugänglich gemacht, somit

ist eine Neuberechnung der Körperhöhen, um eine bessere Vergleichbarkeit zu erreichen, in der Regel nicht möglich. Am Beispiel von Snakehill konnte die Körperhöhe für 31 Individuen exemplarisch nach vier unterschiedlichen, in der anthropologischen Bearbeitung häufig angewendeten Schätzformeln (Pearson 1899; Trotter und Gleser 1958; Nainys 1972 nach Jankauskas 2007; Olivier et al. 1978) berechnet und verglichen werden (Tabelle A10 im Anhang A). Dabei zeigte sich, dass die Körperhöhe im Vergleich zu Pearson (1899) um bis zu 6 cm abweichen kann, am größten waren die Differenzen unter Anwendung der Formel nach Trotter-Gleser (1958). Ähnliche Schwankungen konnten auch durch Jankauskas (2007) beobachtet werden. Darüber hinaus ist bei der Berechnung der Körperhöhe immer der Standardfehler zu berücksichtigen. Mit diesem Wissen im Hinterkopf ist der Unterschied in der durchschnittlichen Körperhöhe zwischen Rödelheim (und Kassel) und den Referenzserien nicht mehr so groß. Im Vergleich zu Snakehill (korrigiert nach Pearson (1899), $\bar{x}=170$ cm, $SD=4,414802$) sind die Unterschiede zu Rödelheim aber dennoch signifikant (Mann-Whitney-U-Test, $p=0,0017$, $Z=-3,1466$, 95% *region of acceptance*: [-1,96 : 1,96]), zu Vilnius aber nicht (Mann-Whitney-U-Test, $p=0,1713$, $Z=-1,368$, 95% *region of acceptance*: [-1,96 : 1,96]). In der Gesamtschau scheinen die Individuen aus den Skelettkollektiven Rödelheim und Kassel tatsächlich im Durchschnitt kleiner zu sein, als Individuen aus militärischen Kontexten anderer Zeitstellungen. Insbesondere der Vergleich mit Vilnius ist interessant, da zum einen die Körperhöhe über dieselbe mathematische Formel geschätzt wurde, wie es auch bei den Serien Rödelheim und Kassel durchgeführt wurde, und zum anderen sind in Vilnius die Individuen gestorben, die noch vor Napoleons Machtverlust rekrutiert wurden. Die in Vilnius bestatteten Soldaten sind signifikant größer als die Individuen, die erst nach dem Russlandfeldzug rekrutiert wurden und in Rödelheim und Kassel starben. Dies kann als ein Hinweis darauf gesehen werden, dass die Rekrutierung tatsächlich vor dem Russlandfeldzug 1812 anders war als danach. Die historischen Quellen besagen, dass die Soldaten eher nach der Quantität ausgewählt wurden (werden mussten) und Individuen, die in der Hochphase der napoleonischen Armee nicht eingezogen wurden, nach dem Russlandfeldzug doch verpflichtet wurden. Der hohe Anteil von juvenilen Individuen hat keinen Einfluss auf die geringere durchschnittliche Körperhöhe in Rödelheim, da nur Knochen vermessen wurden, die einen vollständigen Epiphysenanschluss gezeigt haben und somit das Längenwachstum der Individuen abgeschlossen war.

6.2.4 ERFASSUNG ALLGEMEINER ROBUSTIZITÄT

Die allgemeine Robustizität des postkranialen Skeletts der Individuen kann als Maß für die körperliche Leistungsfähigkeit der jungen Männer herangezogen werden. Es wurden ausgewählte Messstrecken nach Martin (1928) erfasst und verschiedene Robustizitätsindices (Clavicula Längen-Dicken-Index, Humerus Längen-Dicken-Index, Femur Robustizitätsindices und Robustizitätsindex des Caput femoris sowie die Femurform im Diaphysenquerschnitt) berechnet. Analoge Messungen wurden im Rahmen der Arbeit von Bütchorn (2022) an der Skelettserie Kassel durchgeführt. Der technische Messfehler (TEM) im Intra- und Inter-Observer-Vergleich der Messungen wurde berechnet (Intra-Observer-Vergleich Rödelheim im Rahmen dieser Arbeit, Inter-Observer-Vergleich im Rahmen der Arbeit von Bütchorn 2022) und die relativen und absoluten TEMs sind nach Messstrecke gegliedert im Anhang A (Tabelle A11) aufgeführt (alle Rohdaten finden sich in der Datei „TEM Intra-Observer Rödelheim“ im Ordner „Osteometrie“ auf der Daten-CD). Die berechneten Indices sowie die Maße der distalen Humerusepiphyse (H4) und der proximalen Tibiaepiphyse (T3) der Individuen der Skelettserie Rödelheim wurden mit den Daten der Individuen aus dem Massengrab Kassel im Rahmen der vorliegenden Arbeit statistisch verglichen. Beim Vergleich der Serien wurden nur erwachsene Individuen berücksichtigt. Die Femurform im Diaphysenquerschnitt, also der Quotient aus dem sagittalen und transversalen Durchmesser der Diaphysenmitte, wurde darüber hinaus zwischen den juvenilen und erwachsenen Individuen des Rödelheimer Skelettkollektivs verglichen.

Für die Wahl eines geeigneten statistischen Testverfahrens wurden alle Messwerte und berechneten Indices zwischen den Stichproben auf Varianzhomogenität sowie Normalverteilung geprüft. Über den Levene-Test konnte bei allen zu vergleichenden Stichproben Varianzhomogenität bestätigt werden. Die Prüfung auf Normalverteilung erfolgte über den Shapiro-Wilk-Test (Ergebnisse der Tests im Ordner „Statistik“ auf der Daten-CD). Basierend auf den Ergebnissen erfolgte die statistische Auswertung über den t-Test (normalverteilte Daten) oder den Mann-Whitney-U-Test (nicht normalverteilte Daten). Die Ergebnisse der Vergleiche sind in Tabelle 7 dargestellt. Die vollständigen Messergebnisse der Individuen der Serie Rödelheim finden sich im Ordner „Osteometrie“ auf der Daten-CD, die Messdaten der Individuen aus Kassel können der Arbeit von Bütchorn (2022) entnommen werden. Die berechneten Indices sowie die Maße der exemplarisch verglichenen distalen Humerusepiphyse (H4) und der proximalen Tibiaepiphyse (T3) sind in Tabelle A12 im Anhang A abgebildet (die gesamten Rohdaten sind auf der Daten-CD im Ordner „Osteometrie“ einsehbar).

Die statistische Auswertung der Robustizitätsindices zeigte keine statistischen Unterschiede zwischen den Individuen aus Rödelheim und Kassel (Tabelle 7). Lediglich beim Femur-

Robustizitätsindex nach Wescott (2006), der nicht die Knochenlänge, sondern das Körpergewicht (maximaler Durchmesser des *Caput femoris* als Proxy für das Körpergewicht) in die Indexbildung mit einbezieht, liegt der p-Wert nahe am Signifikanzniveau. Aus den Mittelwerten der jeweiligen Indices ist jedoch erkennbar, dass die Werte bei den Individuen der Skelettserie Rödelheim in fast allen Fällen (mit Ausnahme des Humerus Längen-Dicken-Index) höher sind, als bei den Individuen aus dem Massengrab Kassel.

Table 7: Robustizitätsindices der Individuen der Serien Rödelheim und Kassel. Angegeben sind jeweils der Mittelwert, der Median und die Standardabweichung sowie die gewählte Teststatistik und der p-Wert. Abkürzungen: N=Stichprobengröße, SD=Standardabweichung, M-W-U-Test=Mann-Whitney-U-Test, t-Test=Zweistichproben-t-Test.

| Index | Serie | N | Mittelwert | Median | SD | Teststatistik | p-Wert |
|--|-----------|-----|------------|--------|-------|---------------|----------|
| Clavicula Längen-Dicken-Index | Rödelheim | 93 | 26,3 | 26,2 | 2,6 | t-Test | p=0,1004 |
| | Kassel | 5 | 24,4 | 24,3 | 1,3 | | |
| Humerus Längen-Dicken-Index | Rödelheim | 110 | 19,6 | 19,6 | 1,6 | M-W-U-Test | P=0,5088 |
| | Kassel | 6 | 19,9 | 20,0 | 0,9 | | |
| Femur Robustizitätsindex (Herrmann et al. 1990) | Rödelheim | 116 | 12,4 | 12,4 | 0,8 | M-W-U-Test | p=0,0966 |
| | Kassel | 8 | 11,8 | 11,9 | 0,7 | | |
| Femur Robustizitätsindex (Wescott 2006) | Rödelheim | 124 | 118,2 | 117,6 | 7,5 | t-Test | p=0,0526 |
| | Kassel | 27 | 115,1 | 115,6 | 6,8 | | |
| Robustizitätsindex des Caput femoris | Rödelheim | 113 | 21,2 | 21,3 | 1,0 | M-W-U-Test | p=0,1924 |
| | Kassel | 9 | 20,7 | 20,7 | 0,7 | | |
| Femurform im Diaphysenquerschnitt (Wescott 2006) | Rödelheim | 128 | 1,038 | 1,037 | 0,100 | t-Test | p=0,9658 |
| | Kassel | 49 | 1,037 | 1,054 | 0,080 | | |

Ein Vergleich der Messwerte der distalen Humerusepiphyse (H4) und proximalen Tibiaepiphyse (T4) beider Serien zeigte, dass die Individuen der Serie Rödelheim bei beiden Messstrecken eine größere Heterogenität und Spannweite der Messwerte zeigen. Bei der H4 variieren die Werte bei den Individuen der Serie Rödelheim zwischen 55 mm und 74 mm, aus dem Massengrab Kassel zwischen 59 mm und 69 mm. Bei der Strecke T3 ist der Unterschied nicht so deutlich ausgeprägt und die Maße bei den Individuen aus dem Kollektiv Rödelheim variieren zwischen 67 mm und 86 mm, aus der Serie Kassel zwischen 69 mm und 82 mm (Abbildung 16).

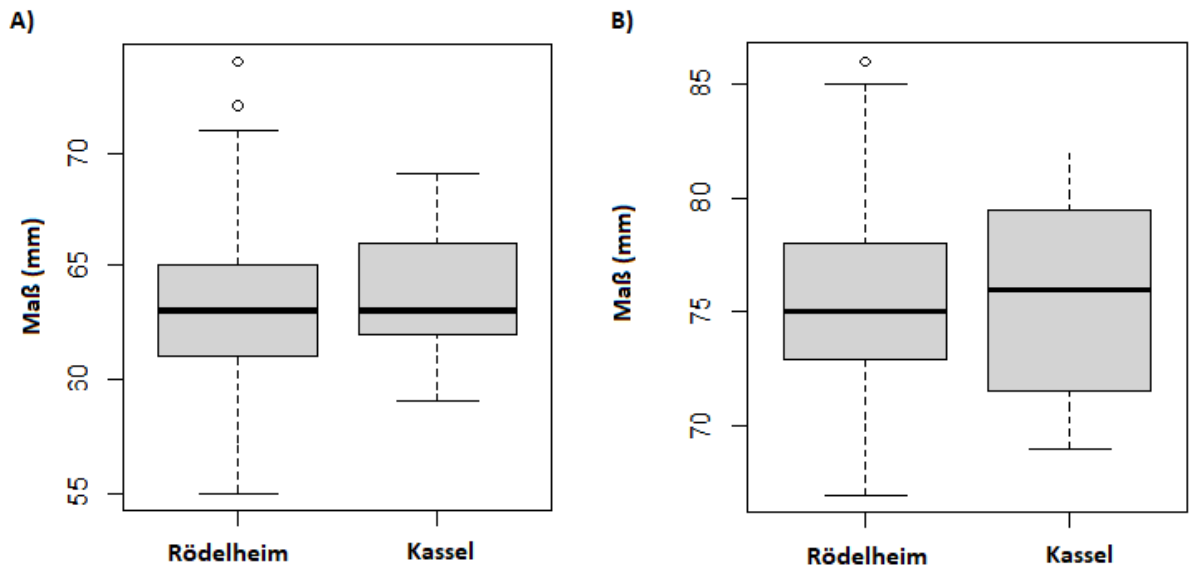


Abbildung 16: Box plot der Maße A) distale Humerusepiphyse (H4) der Serien Rödelheim (N=121, \bar{x} =63,1 mm, SD=3,4 mm) und Kassel (N=30, \bar{x} =62,5 mm, SD=2,6 mm) und B) proximale Tibiaepiphyse (T3) der Serie Rödelheim (N=120, \bar{x} =75,5 mm, SD=3,8 mm) und Kassel (N=8, \bar{x} =75,4 mm, SD=4,4 mm). Abgebildet sind die Minimal- und Maximalwerte, die Quartile 1 und 3 sowie der Median. Ausreißer sind als Kreise dargestellt.

Ein statistischer Vergleich der Messwerte zeigte, dass die Individuen der Serie Rödelheim zwar höhere Mittelwerte (H4: \bar{x} =63,1 und T3: \bar{x} =75,5) als die der Kassler Serie (H4: \bar{x} =62,5 und T3: \bar{x} =75,4) aufweisen, diese Unterschiede jedoch nicht signifikant sind (Tabelle 8).

Tabelle 8: Ausgewählte Epiphysenmaße der Individuen der Serien Rödelheim und Kassel. Angegeben sind jeweils der Mittelwert, der Median und die Standardabweichung sowie die gewählte Teststatistik und der p-Wert. Abkürzungen: N=Stichprobengröße, SD=Standardabweichung, M-W-U-Test=Mann-Whitney-U-Test.

| Maß | Serie | N | Mittelwert (mm) | Median (mm) | SD (mm) | Teststatistik | p-Wert |
|------------------------------|-----------|-----|-----------------|-------------|---------|---------------|----------|
| distale Humerusepiphyse (H4) | Rödelheim | 121 | 63,1 | 63 | 3,4 | M-W-U-Test | P=0,4278 |
| | Kassel | 30 | 62,5 | 63,3 | 2,6 | | |
| proximale Tibiaepiphyse (T3) | Rödelheim | 119 | 75,5 | 75 | 3,8 | M-W-U-Test | p=0,9444 |
| | Kassel | 8 | 75,4 | 75,8 | 4,4 | | |

In einer letzten Untersuchung wurde der Index der Femurform im Diaphysenquerschnitt nach Wescott (2006) zwischen den erwachsenen (N=128, \bar{x} =1,038, \bar{x} =1,037) und juvenilen Individuen (N=45, \bar{x} =1,055, \bar{x} =1,069) der Skelettserie Rödelheim verglichen. Bei beiden Alterskohorten konnte ein Quotient größer 1 ermittelt werden, was bedeutet, dass die Femurdiaphysen im Querschnitt antero-posterior vergrößert sind. Der Mittelwert der Indices ist bei den juvenilen Individuen höher als bei den Individuen der erwachsenen Alterskohorte. Über den Mann-Whitney-U-Test konnten signifikante Unterschiede zwischen den Individuen beider Alterskohorten ermittelt werden (p=0,04951, Z=-1,9642, 95% region of acceptance: [-1.96 : 1.96]).

Interpretation

Sowohl der Vergleich der Robustizitätsindices als auch die Ergebnisse der Epiphysenvergleiche deuten darauf hin, dass die Individuen der Skelettserie Rödelheim robuster erscheinen als die Individuen aus dem Massengrab Kassel. Die Unterschiede waren aber nicht groß genug, um signifikant zu sein. Eine höhere Robustizität der unteren Extremitätenknochen wird im Zusammenhang mit der Lokomotion interpretiert (Grupe et al. 2015). Der Zusammenhang zwischen mechanischer Belastung und der Anpassungsreaktion des Knochens wird im Wesentlichen durch das „Wolffsche Gesetz“ (nach Wolff 1928) beschrieben. Am Femur wirken beispielsweise bei starker mechanischer Belastung durch den zunehmenden Muskelzug höhere Biegekräfte auf den Knochen, die vor allem in antero-posteriore Richtung wirken (z.B. Morrison 1970). Als Resultat der Belastung, wie sie bspw. durch Bewegungen mit erhöhter Geschwindigkeit hervorgerufen wird, verändert sich der Querschnitt des Femurschafts von rund zu einem antero-posterior verlängerten Querschnitt, bei einer zeitgleichen Zunahme der Robustizität (zusammengefasst z.B. in Wescott 2006 und Grupe et al. 2015). Eine höhere Robustizität der Knochen wird also häufig mit einer höheren Aktivität in Zusammenhang gebracht (z.B. Larsen 1995). Der Einfluss hoher mechanischer Belastung mit gleichzeitiger Zunahme der Robustizität kann aber nicht immer bestätigt werden, insbesondere wenn Außenmaße und nicht Kompaktamaße des Knochens verwendet werden (Pearson und Lieberman 2004; Wescott 2006). Darüber hinaus haben Knochen zwar die Möglichkeit, sich auf höhere mechanische Belastung anzupassen, aber es gibt diverse andere Faktoren, wie bspw. das Alter, Geschlecht und genetische Disposition des Individuums, die einen Einfluss auf die Art und das Ausmaß der Anpassung des Knochens nehmen (zusammengefasst in bspw. in Wescott 2006 und Grupe et al. 2015). Daher sind die Unterschiede in der Robustizität zwischen den Individuen beider Serien nur sehr vorsichtig zu interpretieren. Erschwerend kommt hinzu, dass durch die schlechte Überlieferung der Knochen der Kasseler Individuen die Stichprobe nur sehr klein ist (zwischen N=5 und N=49) und der Fehler unter Umständen sehr hoch sein kann. Darüber hinaus scheint es große Unterschiede der allgemeinen Robustizität zwischen Populationen zu geben (Wescott 2006), was insbesondere bei der Bewertung der Ergebnisse der Individuen aus Rödelheim problematisch sein kann, da es sich hier nicht um eine Population eines gemeinsamen Ursprungs zu handeln scheint (vgl. Kapitel 6.2.6).

Beim Vergleich der Femurform des Diaphysenquerschnitts nach Wescott (2006) konnte bei den juvenilen Individuen eine höhere antero-posteriore Vergrößerung der Femurdiaphyse im Vergleich zu denen der erwachsenen Individuen der Serie Rödelheim festgestellt werden. Die Unterschiede waren signifikant. Dies deutet auf eine höhere mechanische Belastung bei den juvenilen Individuen hin. Jedoch sind Knochen im Kindes- und Jugendalter wesentlich anpassungsfähiger und reagieren schneller auf mechanische Belastung, als es Knochen erwachsener Individuen tun (z.B. Pearson und

Lieberman 2004). Daher ist es möglich, dass die Individuen beider Alterskohorten ähnliche Aktivitätsmuster aufwiesen, sich die Knochen der erwachsenen Individuen aber nicht so schnell morphologisch anpassen konnten. Darüber hinaus sind natürlich auch bei diesem Vergleich die o.g. Populationsunterschiede zu berücksichtigen.

Ein Vergleich der Ergebnisse mit osteometrischen Daten weiterer Skelettserien napoleonischer Soldaten war nicht möglich, da keine umfangreichen osteometrischen Daten publiziert vorliegen. Osteometrische Untersuchungen beschränken sich bei der routinemäßigen anthropologischen Basisdiagnostik in der Regel auf die Vermessung der Langknochen für die Ermittlung der Körperhöhe. Umfassende Vermessungen des postkranialen Skeletts sind zeit- und somit kostenintensiv, und werden daher nur selten für komplette Skelettserien durchgeführt. Somit ist die Verfügbarkeit erhobener Messdaten begrenzt. Der Vergleich erhobener Messdaten mit denen von Referenzserien wäre erstrebenswert gewesen, um einen Eindruck darüber zu gewinnen, ob sich die Robustizität der Individuen im Verlauf der napoleonischen Ära verändert hat. Dies hätte Rückschlüsse ermöglicht, die Rekrutierungsstrategie zu unterschiedlichen Zeitstellungen näher zu beleuchten. Ein Vergleich hätte bspw. zeigen können, ob Individuen, die nach dem Russlandfeldzug rekrutiert wurden (Skelettserien Rödelheim und Kassel), eine geringere allgemeine Robustizität aufweisen, als die Individuen, die in der Hochphase der napoleonischen Herrschaft rekrutiert wurden. Dies hätte weitere Hinweise geben können, ob nach dem Russlandfeldzug tatsächlich eher nach der Quantität rekrutiert wurde und nicht mehr nur die Männer in ausgezeichneter körperlicher Verfassung rekrutiert wurden (Forrest 2006; Mayer 2011; Wilkin und Wilkin 2015). Durch die in der vorliegenden Arbeiten erhobenen umfangreichen osteometrischen Daten an Individuen der Skelettserien Rödelheim und Kassel wurde ein Grundstein gelegt, um zukünftige Untersuchungen, die sich mit der allgemeinen Robustizität von Soldaten der napoleonischen Armee oder Soldaten anderer militärischer Kontexte beschäftigen, zu ermöglichen.

6.2.5 FREIKAUFEN DER WOHLHABENDEN BÜRGER AUS DEM MILITÄRDIENTST

LINEAREN SCHMELZHYPOPLASIE (LEH)

Die historischen Quellen geben an, dass sich die wohlhabenden Bürger aus dem Militärdienst befreien konnten, in dem sie einen Stellvertreter für sich in die Armee schickten. Daher waren es vor allem Mitglieder der schwächeren sozialen Schicht, die an die Front zogen (Elting 1997; Mayer 2011). Der Frage, ob sich das Freikaufen der wohlhabenden Bevölkerungsschicht aus dem Militärdienst auch an den Skeletten der Individuen aus Rödelheim nachweisen lässt, soll sich über die Untersuchung des Auftretens und des Ausprägungsgrades linearer Schmelzhypoplasien (Linear

enamel hypoplasia, LEH) genähert werden. Dafür wurden im Rahmen von zwei Examensarbeiten (Meyer-Delvendahl 2021; Rachel 2022) die LEHs an den Skeletten der Serie Rödelheim aufgenommen. Darüber hinaus dokumentierte Rachel (2022) zusätzlich die LEH an Zähnen der Individuen aus dem Massengrab Kassel (Grumbkow 2013). Meyer-Delvendahl (2021) konnte im Rahmen ihrer Arbeit feststellen, dass insbesondere die juvenilen Individuen einen höheren durchschnittlichen Ausprägungsgrad der LEH zeigten. Auf Basis der aufgenommenen Daten von Rachel (2022) konnte dieses im Rahmen der vorliegenden Arbeit statistisch bestätigt werden. In der Berechnung wurden nur Individuen berücksichtigt, die einen Ausprägungsgrad der maximalen LEH von mindestens 2 aufwiesen (vgl. Kapitel 5.2.3.2, Abbildung 17). Die durchschnittlichen Ausprägungsgrade der LEH wurden für die juvenilen ($N=44$, $\bar{x}=2,477$), die adulten ($N=107$, $\bar{x}=2,159$) und die älteren Individuen (maturen und senilen, $N=34$, $\bar{x}=1,912$) berechnet und über den Mann-Whitney-U-Test auf signifikante Unterschiede geprüft. Der statistische Vergleich der adulten mit den älteren Individuen zeigt keine signifikanten Unterschiede ($p=0,2056$, $Z=1,2658$, 95% region of acceptance: $[-1,96 : 1,96]$). Die juvenilen Individuen hingegen zeigen einen höheren durchschnittlichen Ausprägungsgrad der LEH, welcher sowohl zu den adulten ($p=0,0049$, $Z=2,8152$, 95% region of acceptance: $[-1,96 : 1,96]$) als auch den älteren Individuen ($p=0,0033$, $Z=2,9341$, 95% region of acceptance: $[-1,96 : 1,96]$) signifikant unterschiedlich ist.



Abbildung 17: Unterschiedliche Schweregrade der linearen Schmelzhypoplasien (LEH). A) Incisivi der Mandibula des Individuums Rö 29,8 mit LEHs des Schweregrads 2. B) Molaren der Maxilla des Individuums KS-Mx-HRL-4 mit LEHs des Schweregrads 3. C) Canini der Mandibula des Individuums Rö 30,18 mit LEHs des Schweregrads 4. Foto: ©Rachel.

Rachel (2022) stellte bei ihren Untersuchungen der LEHs an den Skeletten der Individuen aus Rödelheim ($N=192$) und Kassel ($N=170$) fest, dass die Individuen der Serie Rödelheim generell eine höhere Frequenz an LEHs zeigen. Insgesamt konnte Rachel (2022) bei fast 90 % der Individuen LEHs mit einem Schweregrad von mindestens 2 diagnostizieren, bei den Individuen der Referenzserie aus Kassel waren es nur circa die Hälfte der Individuen. Ein Vergleich der Häufigkeiten mit anderen Referenzserien napoleonischer Soldaten aus Aspern (Binder und Quade 2018) und Vilnius (Palubeckaitė-Miliauskienė et al. 2006) zeigte darüber hinaus, dass die Individuen der Serie

Rödelheim generell eine deutlich höhere Frequenz an LEHs aufweisen. Die gesamten Serien napoleonischer Soldaten zeigten im Vergleich zu Referenzserien anderer militärischer Hintergründe, bspw. aus Amerika (Sledzik und Sandberg 2002) oder dem ersten Weltkrieg (Palubeckaitė-Miliauskienė und Jankauskas 2007), generell mehr LEHs.

Interpretation

Rachel (2022) begründete dies vorrangig mit den Lebensbedingungen in Frankreich im 18. Jahrhundert. Ausgehend von einem wirtschaftlichen Aufschwung folgte eine Zeit, die durch den „Pacte de Famine“ geprägt war, eine Verschwörungstheorie, laut der die Lebensmittel zugunsten der wohlhabenderen Bürger den armen Menschen vorenthalten wurden. Begünstigt wurde der Glaube an diese Theorie durch Engpässe in der Versorgung, da zahlreiche Ernteausfälle im Verlauf des 18. Jahrhunderts und ein zeitgleich starker Anstieg der französischen Population zu explodierenden Preisen für Lebensmittel, vor allem beim Getreide, führten (Kaplan 1982; Andress 1999; Kuhn 2018). Insbesondere für Mitglieder der ärmeren Bevölkerung hatte dies gravierende Folgen, da sie sich hauptsächlich von Getreideprodukten ernährten (Hufton 1974; Kaplan 1982). Als Konsequenz folgten viele Hungerperioden in Europa, welche von verschiedenen Autor:innen im Hinblick auf die höhere LEH Frequenz bei den napoleonischen Soldaten als eine mögliche Ursache diskutiert werden (Binder 2008; Binder und Quade 2018; Rachel 2022). Um die Frage zu beantworten, warum die Individuen der Skelettserie Rödelheim aber die mit Abstand höchsten Frequenzen an LEHs im Serienvergleich der napoleonischen Soldaten zeigen, gab Rachel (2022) verschiedene mögliche Ursachen an: die Individuen der Skelettserien napoleonischer Soldaten stammen aus unterschiedlichen Zeitstellungen der napoleonischen Ära und wurden somit auch zu unterschiedlichen Zeiten rekrutiert. Insbesondere in Napoleons Hochphase der Macht, um den Zeitpunkt der Schlacht bei Aspern, hatte er ein großes Kontingent an Männern, die er für seine Armee rekrutieren konnte. Es wurden nach den o.g. Wehrpflichtskriterien rekrutiert und nur die körperlich leistungsfähigsten Männer wurden in die Armee aufgenommen. Diese Tatsache würde die sehr niedrigen LEH Frequenzen bei den Individuen der Skelettserie Aspern (Binder und Quade 2018) erklären. Die Individuen des Massengrabes aus Vilnius (Signoli et al. 2004; Palubeckaitė-Miliauskienė et al. 2006) wurden ebenso vor dem Russlandfeldzug rekrutiert, zeigen jedoch im Vergleich zu den Soldaten aus Aspern auch deutlich mehr LEHs. Rachel (2022) gibt hierfür keine Erklärung, denkbar wäre jedoch, dass der hohe Anteil ausländischer Soldaten in der napoleonischen Armee während der Russlandkampagne zu einer Verzerrung der LEH-Frequenz geführt hat. Die verstorbenen Männer wurden in allen Regionen Europas, teilweise auch ohne Wehrpflichtskriterien, verpflichtet (bspw. war die körperliche Konstitution oder das Alter bei Rekruten aus der Schweiz nur von untergeordneter Wichtigkeit, *Internetquelle 2*) und somit wurden nicht nur die körperlich fittesten Soldaten eingezogen. Palubeckaitė-Miliauskienė et al. (2006)

betonen aber, dass die Frequenz und der Ausprägungsgrad der LEH bei den Individuen aus Vilnius im Vergleich zu Referenzpopulationen mit geringerem sozioökonomischem Status aus Florenz (Moggi-Cecchi et al. 1994) und einer „normalen“ Stadtbevölkerung aus Vilnius (Palubeckaitė et al. 2002) relativ gering ist. Dies kann sowohl dafür sprechen, dass die Individuen der Serie Vilnius in ihrer Kindheit bessere Lebensbedingungen hatten und dadurch mit weniger Stressperioden konfrontiert waren, aber auch dass es genau umgekehrt war und die Individuen eine Population mit hohem Stress und einer höheren Kindersterblichkeit repräsentieren. Die niedrige Frequenz der LEH würde nach dem „osteologischen Paradoxon“ (Wood et al. 1992) daraus resultieren, dass die Kinder, die durch hohen psychischen oder physischen Stress LEHs ausgebildet hätten, bereits während ihrer Kindheit verstarben (Palubeckaitė-Miliauskienė et al. 2006). Für die Individuen aus dem Massengrab Kassel wurde laut eines Historikers rekonstruiert, dass 1813 elsässische und luxemburgische Truppen nach Kassel beordert wurden und die Soldaten nach der Niederlage Napoleons in der Stadt verstarben. Ob die Individuen erst zu den Befreiungskriegen rekrutiert wurden oder bereits davor, kann auf Basis der anthropologischen Untersuchungen nicht gesagt werden. Sicher ist jedoch, dass die Individuen der Serie Kassel deutliche Unterschiede in bspw. der Sterbealtersverteilung zeigen (vgl. Kapitel 6.2.2), woraus abgeleitet wurde, dass es unterschiedliche Rekrutierungskriterien zwischen den Soldaten der beiden Serien gab. Der niedrige Anteil LEHs kann auch bei den Individuen aus Kassel durch die von Palubeckaitė-Miliauskienė et al. (2006) beschriebenen Ursachen begründet werden. Darüber hinaus kann der hohe Anteil LEHs bei den Individuen aus Rödelheim ebenfalls dafür sprechen, dass für die Befreiungskriege die Individuen nur noch nach Quantität ausgewählt wurden und die fittesten Individuen bereits in den Jahren davor eingezogen worden waren. Der hohe Anteil LEHs kann natürlich auch in den häufiger diagnostizierten LEHs mit schwereren Ausprägungsgraden bei den juvenilen Individuen aus Rödelheim begründet sein. Im Rahmen ihrer Examensarbeit begründete Meyer-Delvendahl (2021) den hohen durchschnittlichen Ausprägungsgrad der LEHs bei den juvenilen Individuen mit ihrem Geburtszeitraum Ende des 18. Jahrhundert, also genau in der Zeit der französischen Revolution, in der es zu starken Schwankungen in der Lebensmittelversorgung in der Bevölkerung kam. Insbesondere Menschen eines niedrigeren sozialen Standes wurden in der Zeit benachteiligt, was zu einem erhöhten Stress während der Kindheit und somit vermehrten Ausbildung von LEHs geführt haben kann. Auch Binder (2008) erklärte den hohen Anteil der LEHs bei Individuen aus einer Skelettserie aus Wien mit einem niedrigeren sozialen Stand. Jedoch müsste der allgemein niedrige soziale Stand bei Mitgliedern der napoleonischen Armee zu jedem Zeitpunkt der Rekrutierung erkennbar werden, denn es war eine gängige Praxis, dass sich die reicheren Mitglieder der Gesellschaft bei der Konskription freikaufte und den Militärdienst eher Bauern, Tagelöhner und Handwerker antraten (Elting 1997; Mayer 2011). Insbesondere zum Ende der napoleonischen Ära

wurde es aber zunehmend schwieriger und vor allem teurer, einen Stellvertreter zu engagieren und häufig mussten auch die wohlhabenderen Bürger den Militärdienst antreten (Wilkin und Wilkin 2015). Das würde im Umkehrschluss bedeuten, dass eher zum Ende der napoleonischen Ära auch die sozial privilegierteren Männer in der Armee verpflichtet waren und der hohe Anteil an LEHs also eher durch das oben beschriebene „osteologische Paradoxon“ erklärt werden kann.

Nicht zu vernachlässigen ist natürlich auch die nicht standardisierte Datenaufnahme und Auswertung der LEHs an den unterschiedlichen Skelettserien, die zu einem Bias geführt haben könnten (Rachel 2022).

SKELETTMANIFESTE MANGELERKRANKUNGEN IN DER KINDHEIT UND JUGEND

Die Skelette wurden auf skelettmanifeste Anzeichen langandauernder Mangelkrankungen untersucht, um weitere Hinweise auf einen möglichen niedrigeren sozialen Stand und daraus abgeleitet ein entbehrensreiches Leben der Individuen aus Rödelheim zu finden (Michehl 2020). Im Fokus der Untersuchungen standen dabei zwei Avitaminosen: Skorbut und Osteomalazie.

Bei der Skorbut bzw. der Möller-Barlow-Krankheit, wie sie bei Kindern genannt wird, handelt es sich um eine Krankheit, die durch einen langanhaltenden Vitamin C-Mangel hervorgerufen wird. Die Avitaminose führt neben einer gestörten Kollagen- und Osteoidbildung zu einer gesteigerten Knochenresorption und Blutungsbereitschaft des Organismus (Aufderheide und Rodríguez-Martín 1998). Am Knochen zeigt sich Skorbut in Form hämorrhagischer Knochenneubildungen auf den Knochenoberflächen, da subperiostale Hämatome knöchern umgebaut werden. Zeichen der Krankheit sind am häufigsten im Orbitadach, am Schädel, dem Kiefer oder den Diaphysen der Langknochen zu identifizieren (Ortner 2003; Waldron 2009).

Bei den Individuen aus Rödelheim konnte bei insgesamt vier Individuen Anzeichen einer vorherrschenden Skorbut bzw. Möller-Barlow-Krankheit gefunden werden. Dabei waren drei Individuen aus der erwachsenen Alterskohorte (Rö 6,1; Rö 24,4 und Rö 24,5) und ein juveniles Individuum (Rö 30,20) betroffen. Alle Individuen zeigten an den Langknochen, insbesondere der Tibia und Fibula, starke hämorrhagische Knochenneubildungen (Abbildung 18).



Abbildung 18: Tibiae des Individuums Rö 24,4 (rechts makroskopische Aufnahme des Diaphysenausschnitts) mit starken hämorrhagischen Knochenneubildungen auf den Knochenoberflächen der Diaphysen. Als mögliche Ursache kann hier die Avitaminose Skorbut angesprochen werden, die zu subperiostalen Blutungen und einer Hämatombildung geführt hat, welche im weiteren Verlauf knöchern umgebaut wurden.

Die Osteomalazie bzw. Rachitis im Kindesalter ist das Resultat eines Mangels an Vitamin D. Das charakteristischste Anzeichen dieser Erkrankung ist die zum Teil starke Verformung der Langknochen (Ortner 2003). Die Avitaminose kann entweder durch eine verminderte Exposition mit UV-Licht oder eine zu geringe Vitamin D-Zufuhr über die Nahrung hervorgerufen werden. Die Konsequenz eines langanhaltenden Vitamin D-Mangels ist eine Störung des Calcium- und Phosphorverhältnis im Blut. Calcium wird nicht mehr ausreichend in den Knochen eingebaut bzw. wird teilweise auch aus dem Knochen freigesetzt, um den Mangelzustand im Blut auszugleichen, was zu einer verminderten Knochenmineralisation führt (Aufderheide und Rodríguez-Martín 1998).

Im Rödelheimer Skelettkollektiv konnten sieben Individuen identifiziert werden, die aufgrund ihrer teils stark verformten Langknochen unter Verdacht stehen, an einer Osteomalazie bzw. Rachitis erkrankt zu sein (Abbildung 19). Vier der Individuen sind im Erwachsenenalter verstorben (Rö 27,10; Rö 29,12, Rö 35,1 und Rö 38,10), drei Individuen waren noch juvenil (Rö 11,4, Rö 27,11 und Rö 30,20).



Abbildung 19: Knochen der unteren Extremität (Femora, Tibiae und Fibulae) des Individuums Rö 30,20. Deutlich zu erkennen sind die stärker gebogenen Tibiae (insbesondere der linken Seite), die auf die Mangelkrankung Rachitis hindeuten. Darüber hinaus konnten an den Knochen des Individuums zahlreiche hämorrhagische Knochenneubildungen identifiziert werden, die auf eine zusätzlichen Vitamin C Mangel (Skorbut bzw. Möller-Barlow-Krankheit) hindeuten. Foto: @Michehl.

Interpretation

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass insgesamt zehn Individuen (~5 %) Spuren der Avitaminosen Skorbut oder Osteomalazie gezeigt haben, bei einem Individuum konnten Hinweise auf beide Erkrankungen gefunden werden. Die betroffenen Individuen waren ungefähr zu gleichen Teilen in der juvenilen und erwachsenen Alterskohorte vertreten. Bei den Soldaten der Skelettserie aus Wagram (Grabmayer und Binder 2021) wurde bei ungefähr der Hälfte der Individuen skelettmanifeste Hinweise auf eine Rachitis gefunden. Hier wurden jedoch kleinmaschigere Veränderungen am sternalen Ende der Rippen beurteilt, welche bei den Skeletten der Serie Rödelheim nicht systematisch aufgenommen wurden. Daher ist es möglich, dass der Anteil Rachitisverdächtiger Individuen in Rödelheim deutlich höher sein kann. Dennoch zeigen die Funde, dass zumindest einige Individuen eine entbehrensreiche Kindheit und Jugend erlebt haben, in der sie über einen längeren Zeitraum an Mangelerscheinungen wichtiger Vitamine gelitten haben, die zu skelettmanifesten Veränderungen geführt haben.

DEGENERATIVE VERÄNDERUNGEN AN DER WIRBELSÄULE ODER DEN GROßEN GELENKEN

Weitere Hinweise auf einen möglichen ärmeren sozialen Stand der Individuen der Skelettserie Rödelheim sollte über die Erfassung altersuntypischer degenerativer Veränderungen an der Wirbelsäule und den großen Gelenken gefunden werden. Im Rahmen der Examensarbeit von Frye (2018) wurden 24 spät-juvenil bis früh-adulte Individuen der Skelettserie Rödelheim sowie zehn Individuen aus den Referenzskelettserien Inden und Göttingen anhand der Bewertungsbögen von Schultz (1988) in Bezug auf den Gelenkstatus und die Wirbelsäulenveränderungen befundet. Im Rahmen der Arbeit konnte gezeigt werden, dass bei der Untersuchung der großen Gelenke der Individuen aus Rödelheim die ausgeprägtesten Zeichen physischen Stresses im Bereich des distalen Sprunggelenks (durchschnittlicher Schweregrad rechts: $\bar{x}=1,6$, links $\bar{x}=1,5$) und des Hüftgelenks (durchschnittlicher Schweregrad rechts $\bar{x}=1,6$, links $\bar{x}=1,6$) gefunden werden konnten. Der Vergleich mit den Individuen der Referenzserie Campus zeigte, dass die Individuen des Skelettkollektivs Rödelheim signifikant stärkere degenerative Veränderungen im Bereich des Ellenbogen-, proximalen Handgelenks sowie des rechten Schultergelenks aufwiesen. Im Vergleich zu Individuen aus Inden konnten signifikant stärker ausgeprägte degenerative Veränderungen im linken Schultergelenk sowie dem distalen Sprunggelenk gefunden werden. Die untersuchten Veränderungen der Wirbelbögen und Wirbelkörper ergaben, dass die Wirbelbögen in der Regel stärker von degenerativen Veränderungen betroffen sind als die Wirbelkörper. Im Vergleich zu den Individuen aus den Referenzserien konnten bei den Individuen aus Rödelheim in der Regel ausgeprägtere degenerative Veränderungen mit signifikanten Unterschieden festgestellt werden, insbesondere im Bereich der unteren Brust- und der gesamten Lendenwirbelsäule (Abbildung 20).



Abbildung 20: Zwei Thorakalwirbel des Individuums Rö 29,13 mit deutlichen degenerativen Veränderungen im ventralen Bereich der Wirbelkörper, die schon fast zur vollständigen Überbrückung der Wirbel geführt haben. Foto: ©Michehl.

Im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) wurden weitere Wirbelsäulenpathologien aufgenommen, die insbesondere Aufschluss über das Aktivitätsmuster der Soldaten geben sollten (vgl. Kapitel 6.3). Darüber hinaus wurden aber auch Anzeichen unspezifischer Wachstumsstörungen an den Wirbelkörpern aufgenommen, welche sich als tiefe, rinnenartige Impressionen im Bereich des ventralen Wirbelkörpers zeigen (Abbildung 21). Die Ursachen dieser Störung sind bislang noch nicht abschließend geklärt und allgemeine Stressperioden während des Wachstums werden als wahrscheinliche Ursache diskutiert (persönliche Mitteilung Dr. Jan Nováček). Bei insgesamt circa 25 % (11/46 Individuen) der befundeten juvenilen und etwa 10 % (12/131) der erwachsenen Individuen konnten diese Wachstumsstörungen beobachtet werden (eine statistische Auswertung war nicht möglich, da keine Varianzhomogenität der Daten vorgelegen hat).



Abbildung 21: Unspezifische Wachstumsstörung an einem Wirbel des Individuums Rö 28,1. Deutlich zu erkennen sind die tiefen, rillenartigen Impressionen im Bereich des ventralen Wirbelkörpers. Foto: ©Frye.

Interpretation

Im Rahmen der Arbeit von Frye (2018) konnte gezeigt werden, dass die Individuen der Serie Rödelheim in der Regel ausgeprägtere degenerative Veränderungen an den großen Gelenken und den Wirbeln aufweisen. Die Unterschiede zu den Individuen aus der Skelettserie Inden waren weniger stark ausgeprägt, als zu denen der Serie Campus. Die Autorin begründete dieses mit möglichen ähnlichen Aktivitäten, denen die Individuen der Serien Inden und Rödelheim

nachgegangen sind. Bei den Individuen der Campuserie handelt es sich um Mitglieder einer städtischen Bevölkerung, die vermutlich Tätigkeiten nachgegangen sind, die physisch nicht so beanspruchend waren. Bei den Individuen aus Inden hingegen liegen Kirchenbucheinträge vor, aus denen hervorgeht, dass sie in der Landwirtschaft, der Mühle bzw. der Fabrik gearbeitet haben und sie somit vermutlich stärkerer physischer Belastung ausgesetzt waren. Personen dieser Berufsgruppen gehörten in Frankreich eher der ärmeren Bevölkerungsschicht an und stellten nach historischen Angaben den größten Anteil in der napoleonischen Armee (Elting 1997; Mayer 2011). Ableitungen zum sozialen Stand anhand der degenerativen Veränderungen sind jedoch in diesem Fall nicht ratsam. Frye (2018) merkte zum einen an, dass die Stichprobengröße insbesondere der Referenzserien zu gering war, und zum anderen, dass die Gesamtschau der Ergebnisse (insbesondere die signifikanten Unterschiede der degenerativen Veränderungen im Sprunggelenk) eher darauf hindeuten, dass die Individuen durch die Lebensweise in der Armee, bspw. das andauernde Marschieren mit schwerem Gepäck, höherer physischer Belastung ausgesetzt waren. Dies maskiert mögliche altersuntypische degenerative Veränderungen, die Hinweise auf eine entbehrungsreiche Kindheit und einen ärmeren sozialen Stand geben könnten.

Die deutliche höhere Frequenz der identifizierten Wachstumsstörungen im Bereich der Wirbelkörper bei den juvenilen Individuen im Vergleich zu den erwachsenen Individuen ist auffällig und deutet darauf hin, dass die juvenilen Individuen mehr Stressperioden während der Wachstumsphase erlebt haben, als die erwachsenen Individuen. Die Erklärungen dafür sind ähnlich wie bei der Interpretation der hohen Frequenz der linearen Schmelzhypoplasien bei den juvenilen Individuen (vgl. oben). Eine mögliche Erklärung ist, dass die Individuen einem niedrigeren sozialen Stand angehörten und deshalb erhöhtem Stress während der Kindheit ausgesetzt waren, welcher zu den Wachstumsdefekten geführt hat. Es ist jedoch auch denkbar, dass der vergleichsweise hohe Anteil der aufgenommenen Wachstumsstörungen bei den juvenilen Individuen ein Artefakt darstellt. Die Ringapophysen der Wirbelkörperdeckplatten verknöchern erst im Verlauf der juvenilen bis frühadulten Altersklasse genau dort, wo auch die unspezifischen Wachstumsdefekte auf den Deckplatten liegen. Es ist gut möglich, dass die erwachsenen Individuen ähnliche Stressperioden erlitten haben, die zu unspezifischen Wachstumsstörungen geführt haben, sich an den Wirbelkörpern aber nur wenige Hinweise dafür finden, da durch das Anwachsen der Ringapophyse die Defekte maskiert wurden.

6.2.6 REKRUTIERUNG IN EUROPA

Um zu überprüfen, ob die Individuen eine gemeinsame regionale Herkunft haben, sie also in einer gemeinsamen Region Europas rekrutiert wurden, wurden die molekulargenetischen Ergebnisse der autosomalen und Y-chromosomalen Untersuchungen ausgewertet. Darüber hinaus sollen die Ergebnisse mit der Referenzserie aus Kassel (Grumbkow 2013) sowie den verschiedenen Alterskohorten in Rödelheim verglichen werden, um mögliche Hinweise auf Unterschiede in der Rekrutierungsstrategie und Truppenzusammensetzung der Skelettkollektive zu identifizieren.

6.2.6.1 AUSWERTUNG AUTOSOMALER ALLELFREQUENZEN

Die allgemein sehr gute DNA-Erhaltung ermöglichte bei 136 Individuen die Generierung von vollständigen genetischen Fingerabdrücken (Abbildung 22). Der Erhaltungszustand war grundsätzlich besser, wenn die DNA aus Zahnwurzeln gewonnen wurde. Bei 17 Individuen konnte ein deutlich schlechterer DNA-Erhalt beobachtet werden, der zu vermehrten allelic dropouts in den STR-Systemen geführt hat. Bei den übrigen 60 Individuen wurden annähernd vollständige genetische Fingerabdrücke generiert (Tabelle A13 im Anhang A, Einzelamplifikation im Ordner „Molekulargenetik“ auf der Daten-CD).

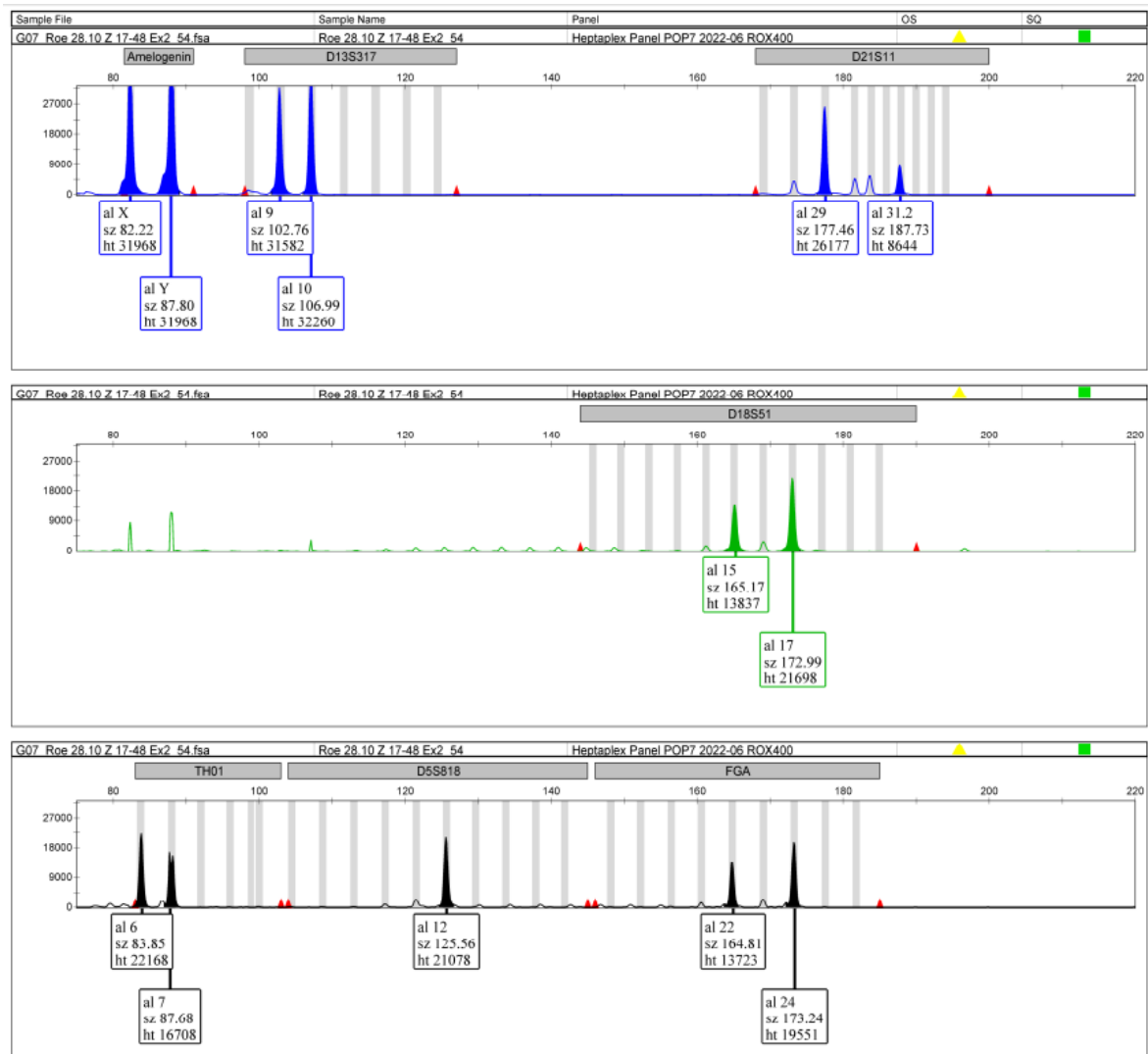


Abbildung 22: Ausschnitt aus dem Elektropherogramm einer Amplifikation autosomaler STR-Marker des Individuums Rö 28,10 (Heptaplex, PCR 54). Im Elektropherogramm können in fünf von sechs STR-Systemen heterozygote Ergebnisse beobachtet werden. Im Amelogeninmarker wurden zwei Fragmente amplifiziert (XY, männlich).

Die Genotypen der Individuen aus Rödelheim wurden auf Abweichungen zum Hardy-Weinberg-Gleichgewicht (HWE, *Hardy-Weinberg equilibrium*) untersucht. Dafür wurde die beobachtete und erwartete Heterozygotie ermittelt und auf Abweichungen zum HWE mit der Arlequin Software Version 3.5.2.2 (Computational and Molecular Population Genetics Lab, Excoffier und Lischer 2010) geprüft (Konsensusfingerabdrücke im Anhang A Tabelle A13). Mit Ausnahme von D18S51 sind die p-Werte der untersuchten STR-Systeme relativ niedrig. Jedoch konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden und die Individuen der Skelettserie Rödelheim können als eine Stichprobe von männlichen Individuen einer Population angesehen werden (Tabelle 9).

Tabelle 9: Beobachtete und erwartete Heterozygotie bei den Individuen aus Rödelheim. In keinem der sechs STR-Systeme zeigt sich eine Abweichung zum Hardy-Weinberg-Gleichgewicht ($p > 0,05$).

| STR-System | Berücksichtigte Genotypen | Heterozygotie | | p-Wert ($p > 0,05$) | Standardabweichung |
|----------------|---------------------------|---------------|----------|-----------------------|--------------------|
| | | beobachtet | erwartet | | |
| D13S317 | 184 | 0,86413 | 0,79293 | 0,17124 | 0,0004 |
| D21S11 | 164 | 0,90244 | 0,8528 | 0,15529 | 0,00023 |
| D18S51 | 173 | 0,89017 | 0,87622 | 0,87539 | 0,00024 |
| TH01 | 182 | 0,83516 | 0,77859 | 0,27497 | 0,00059 |
| D5S818 | 159 | 0,81761 | 0,7199 | 0,11634 | 0,00032 |
| FGA | 179 | 0,92179 | 0,85645 | 0,11708 | 0,00022 |

Auf Basis der Konsensusfingerabdrücke wurden die Allelfrequenzen der autosomalen STR-Systeme über die gesamten Individuen aus Rödelheim berechnet. Dafür wurden alle identischen Allele pro STR-System gezählt und die Frequenz, gemessen an der Gesamtzahl amplifizierter Allele pro STR-System, berechnet (Tabelle A14 im Anhang A). Homozygote Ergebnisse wurden auch als diese aufgenommen, wenn der genetische Fingerabdruck des Individuums vollständig amplifiziert werden konnte und auch längere STR-Systeme heterozygote Ergebnisse brachten. Unsichere, nicht reproduzierbare Ergebnisse, wurden bei der Berechnung der Allelfrequenzen nicht berücksichtigt.

Die Allelfrequenzen der einzelnen Allele innerhalb der STR-Systeme sind relativ gleichmäßig verteilt. Die häufigsten Allele in der Population sind die Allele 11 und 12 in D13S317, Allele 9.3 in TH01 sowie die Allele 11 und 12 in D5S818, die jeweils mit über 30 % in der Population vertreten sind.

Im nächsten Schritt wurden die Allelfrequenzen der Individuen aus Rödelheim mit denen anderer europäischer Populationen sowie dem Skelettkollektiv aus Kassel (Grumbkow 2013) verglichen. Die Allelfrequenzen der Populationen für die Systeme D18S51, D21S11 und FGA wurden, wenn nicht anders ausgewiesen, aus der STR-Datenbank STRidER (<https://strider.online/>, Bodner et al. 2016) zusammengetragen. Für die Systeme D5S818 und D13S317 wurden die Häufigkeiten vorrangig der Datenbank pop.STR (<http://spsmart.cesga.es/popstr.php>) entnommen. Mit Hilfe der Allelfrequenzen wurde ein Erwartungswert auf n erfolgreich amplifizierte Allele berechnet und die Häufigkeiten im Anschluss über χ^2 -Test verglichen. Allele mit geringer Häufigkeit wurden in Gruppen zusammengefasst, um den Bedingungen für den χ^2 -Test gerecht zu werden. Die Nullhypothese beschreibt dabei die Annahme, dass die beiden zu vergleichenden Populationen einer gemeinsamen Grundgesamtheit bzw. Herkunftsregion angehören.

D5S818

Für das System D5S818 wurden die in Tabelle 10 aufgeführten Allelfrequenzen ermittelt. Im Skelettkollektiv Rödelheim wurden insgesamt 283 Allele im STR-System amplifiziert. Darauf basierend wurde für jede Population der Erwartungswert für jedes Allel ermittelt.

Tabelle 10: Allelverteilung unterschiedlicher europäischer Populationen, der Individuen aus dem Massengrab Kassel und der Skelettserie Rödelheim (grün hinterlegt) im STR-System D5S818. In der ersten Zeile jeder Population ist die Allelfrequenz (basierend auf der Anzahl Allele, die hinter der Population in Klammern aufgeführt ist), in der zweiten Zeile der Erwartungswert bei N=283 amplifizierten Allelen gelistet.

| Population | </=9 | 10 | 11 | 12 | 13 | >/=14 | Referenz |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------------------|
| Belgien (N=198) | 0,043 | 0,051 | 0,376 | 0,338 | 0,179 | 0,013 | Decorte et al. 2006 |
| | 12 | 14 | 106 | 96 | 51 | 4 | |
| Frankreich (N=28) | 0,018 | 0,036 | 0,339 | 0,375 | 0,196 | 0,036 | pop.STR, 30.01.2023 |
| | 5 | 10 | 96 | 106 | 55 | 10 | |
| Italien, Nord (N=12) | 0,042 | 0,083 | 0,333 | 0,292 | 0,25 | 0 | pop.STR, 30.01.2023 |
| | 12 | 23 | 94 | 83 | 71 | 0 | |
| Spanien, Nordwest (N=194) | 0,036 | 0,085 | 0,32 | 0,366 | 0,18 | 0,013 | pop.STR, 30.01.2023 |
| | 10 | 24 | 91 | 104 | 51 | 4 | |
| Schweden (N=311) | 0,03 | 0,043 | 0,371 | 0,387 | 0,159 | 0,01 | pop.STR, 30.01.2023 |
| | 8 | 12 | 105 | 110 | 45 | 3 | |
| Russland (N=386) | 0,06 | 0,101 | 0,316 | 0,354 | 0,152 | 0,018 | Stepanov et al. 2010 |
| | 17 | 29 | 89 | 100 | 43 | 5 | |
| Massengrab Kassel (N=248) | 0,004 | 0,057 | 0,387 | 0,391 | 0,149 | 0,012 | Grumbkow 2013 |
| | 1 | 16 | 110 | 111 | 42 | 3 | |
| Rödelheim | 0,046 | 0,060 | 0,368 | 0,350 | 0,159 | 0,018 | Im Rahmen dieser Arbeit berechnet |
| | 13 | 17 | 104 | 99 | 45 | 5 | beobachtete Anzahl (N=283) |

Der Vergleich der Häufigkeiten der Skelettserie Rödelheim und dem Massengrab Kassel ($p=0,0380$, $\chi^2=11,773$, $d_f=5$) sowie der Population aus Italien ($p=0,0178$, $\chi^2=13,679$, $d_f=5$) unterscheiden sich signifikant. Alle anderen Populationen zeigen keine signifikanten Unterschiede ($p>0,13$).

D13S317

Für das System D13S317 wurden die in Tabelle 11 aufgeführten Allelfrequenzen ermittelt. Im Skelettkollektiv Rödelheim wurden insgesamt 363 Allele im STR-System amplifiziert. Darauf basierend wurde für jede Population der Erwartungswert für jedes Allel ermittelt.

Tabelle 11: Allelverteilung unterschiedlicher europäischer Populationen, der Individuen aus dem Massengrab Kassel und der Skelettserie Rödelheim (grün hinterlegt) im STR-System D13S317. In der ersten Zeile jeder Population ist die Allelfrequenz (basierend auf der Anzahl Allele, die hinter der Population in Klammern aufgeführt ist), in der zweiten Zeile der Erwartungswert bei N=363 amplifizierten Allelen gelistet.

| Population | </=8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | >/=14 | Referenz |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------|
| Belgien (N=198) | 0,111 | 0,086 | 0,078 | 0,313 | 0,283 | 0,086 | 0,043 | Decorte et al. 2006 |
| | 40 | 31 | 28 | 114 | 103 | 31 | 16 | |
| Frankreich (N=28) | 0,107 | 0,161 | 0,071 | 0,250 | 0,304 | 0,089 | 0,018 | pop.STR |
| | 39 | 58 | 26 | 91 | 110 | 32 | 7 | |
| Italien, Nord (N=12) | 0,083 | | 0,167 | 0,500 | 0,125 | 0,125 | | pop.STR |
| | 30 | | 61 | 182 | 45 | 45 | | |
| Spanien, Nordwest (N=194) | 0,144 | 0,046 | 0,044 | 0,322 | 0,235 | 0,160 | 0,049 | pop.STR |
| | 52 | 17 | 16 | 117 | 85 | 58 | 18 | |
| Schweden (N=311) | 0,113 | 0,082 | 0,077 | 0,283 | 0,305 | 0,093 | 0,047 | pop.STR |
| | 41 | 30 | 28 | 103 | 111 | 34 | 17 | |
| Russland (N=386) | 0,149 | 0,084 | 0,079 | 0,345 | 0,205 | 0,080 | 0,058 | Stepanov et al. 2010 |
| | 54 | 30 | 29 | 125 | 74 | 29 | 21 | |
| Kassel (N=252) | 0,119 | 0,068 | 0,068 | 0,278 | 0,318 | 0,119 | 0,032 | Grumbkow 2013 |
| | 43 | 25 | 25 | 101 | 115 | 43 | 12 | |
| Rödelheim | 0,110 | 0,080 | 0,050 | 0,311 | 0,306 | 0,096 | 0,047 | Im Rahmen dieser Arbeit berechnet |
| | 40 | 29 | 18 | 113 | 111 | 35 | 17 | beobachtete Anzahl (N=363) |

Die Häufigkeiten im System D13S317 der Individuen aus Rödelheim zeigen signifikante Unterschiede zu den Populationen aus Frankreich ($p=0,007$, $\chi^2=17,812$, $d_f=6$), Italien ($p=0,000$, $\chi^2=116,146$, $d_f=6$), Spanien ($p=0,0291$, $\chi^2=14,049$, $d_f=6$) und Russland ($p=0,0336$, $\chi^2=13,664$, $d_f=6$). Keine signifikanten Abweichungen zeigten sich hingegen zu Belgien, Schweden und dem Massengrab Kassel ($p>0,68$).

D18S51

Für das System D18S51 wurden die in Tabelle 12 aufgeführten Allelfrequenzen ermittelt. Im Skelettkollektiv Rödelheim wurden insgesamt 347 Allele im STR-System amplifiziert. Darauf basierend wurde für jede Population der Erwartungswert für jedes Allel ermittelt.

Tabelle 12: Allelverteilung unterschiedlicher europäischer Populationen, der Individuen aus dem Massengrab Kassel und der Skelettserie Rödelheim (grün hinterlegt) im STR-System D18S51. In der ersten Zeile jeder Population ist die Allelfrequenz (basierend auf der Anzahl Allele, die hinter der Population in Klammern aufgeführt ist), in der zweiten Zeile der Erwartungswert bei N=347 amplifizierten Allelen gelistet.

| Population | </= 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | >/= 20 | Referenz |
|---------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-----------------------------------|
| Belgien (N=206) | 0,024 | 0,148 | 0,153 | 0,163 | 0,146 | 0,102 | 0,121 | 0,083 | 0,041 | 0,019 | STRidER |
| | 8 | 51 | 53 | 56 | 51 | 35 | 42 | 29 | 14 | 7 | |
| Frankreich (N=208) | 0,022 | 0,144 | 0,130 | 0,166 | 0,147 | 0,139 | 0,099 | 0,077 | 0,046 | 0,031 | STRidER |
| | 8 | 50 | 45 | 58 | 51 | 48 | 34 | 27 | 16 | 11 | |
| Deutschland (N=662) | 0,022 | 0,144 | 0,133 | 0,152 | 0,165 | 0,122 | 0,120 | 0,072 | 0,035 | 0,035 | STRidER |
| | 8 | 50 | 46 | 53 | 57 | 42 | 42 | 25 | 12 | 12 | |
| Polen (N=206) | 0,017 | 0,095 | 0,112 | 0,148 | 0,167 | 0,184 | 0,109 | 0,104 | 0,029 | 0,034 | STRidER |
| | 6 | 33 | 39 | 51 | 58 | 64 | 38 | 36 | 10 | 12 | |
| Russland (N=386) | 0,027 | 0,082 | 0,112 | 0,149 | 0,177 | 0,163 | 0,124 | 0,083 | 0,040 | 0,042 | Stepanov et al. 2010 |
| | 9 | 28 | 39 | 52 | 61 | 57 | 43 | 29 | 14 | 15 | |
| Spanien (N=453) | 0,012 | 0,160 | 0,132 | 0,170 | 0,160 | 0,132 | 0,094 | 0,050 | 0,045 | 0,044 | STRidER |
| | 4 | 56 | 46 | 59 | 56 | 46 | 33 | 17 | 16 | 15 | |
| Schweden (N=425) | 0,014 | 0,138 | 0,121 | 0,199 | 0,139 | 0,118 | 0,106 | 0,072 | 0,047 | 0,047 | STRidER |
| | 5 | 48 | 42 | 69 | 48 | 41 | 37 | 25 | 16 | 16 | |
| Kassel (N=232) | 0,042 | 0,154 | 0,129 | 0,146 | 0,163 | 0,125 | 0,083 | 0,075 | 0,033 | 0,050 | Grumbkow 2013 |
| | 14 | 54 | 45 | 51 | 56 | 43 | 29 | 26 | 12 | 17 | |
| Rödelheim | 0,040 | 0,170 | 0,147 | 0,133 | 0,156 | 0,150 | 0,104 | 0,043 | 0,029 | 0,029 | Im Rahmen dieser Arbeit berechnet |
| | 14 | 59 | 51 | 46 | 54 | 52 | 36 | 15 | 10 | 10 | beobachtete Anzahl (N=347) |

Die Allelhäufigkeiten des Skelettkollektiv Rödelheim unterscheiden sich signifikant zu denen aus Polen ($p=0,007$, $\chi^2=22,673$, $d_f=9$), Russland ($p=0,0106$, $\chi^2=21,497$, $d_f=9$) und Schweden ($p=0,0375$, $\chi^2=17,802$, $d_f=9$). Zu den anderen Populationen konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden ($p>0,17$).

D21S11

Für das System D21S11 wurden die in Tabelle 13 aufgeführten Allelfrequenzen ermittelt. Im Skelettkollektiv Rödelheim wurden insgesamt 301 Allele im STR-System amplifiziert. Darauf basierend wurde für jede Population der Erwartungswert für jedes Allel ermittelt.

Tabelle 13: Allelverteilung unterschiedlicher europäischer Populationen, der Individuen aus dem Massengrab Kassel und der Skelettserie Rödelheim (grün hinterlegt) im STR-System D21S11. In der ersten Zeile jeder Population ist die Allelfrequenz (basierend auf der Anzahl Allele, die hinter der Population in Klammern aufgeführt ist), in der zweiten Zeile der Erwartungswert bei N=301 amplifizierten Allelen gelistet.

| Population | </=27 | 28/28.2 | 29/29.2 | 30 | 30.2 | 31 | 31.2 | 32 | 32.2 | >/=33 | Referenz |
|---------------------|-------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------|
| Belgien (N=206) | 0,024 | 0,148 | 0,248 | 0,240 | 0,027 | 0,087 | 0,092 | 0,017 | 0,092 | 0,024 | STRidER |
| | 7 | 45 | 75 | 72 | 8 | 26 | 28 | 5 | 28 | 7 | |
| Frankreich (N=208) | 0,034 | 0,178 | 0,183 | 0,250 | 0,034 | 0,079 | 0,096 | 0,007 | 0,103 | 0,036 | STRidER |
| | 10 | 54 | 55 | 75 | 10 | 24 | 29 | 2 | 31 | 11 | |
| Deutschland (N=662) | 0,042 | 0,152 | 0,208 | 0,224 | 0,041 | 0,078 | 0,090 | 0,017 | 0,106 | 0,042 | STRidER |
| | 13 | 46 | 63 | 67 | 12 | 23 | 27 | 5 | 32 | 13 | |
| Polen (N=206) | 0,032 | 0,194 | 0,175 | 0,218 | 0,068 | 0,073 | 0,068 | 0,017 | 0,112 | 0,044 | STRidER |
| | 9 | 58 | 53 | 66 | 20 | 22 | 20 | 5 | 34 | 13 | |
| Russland (N=386) | 0,023 | 0,176 | 0,191 | 0,242 | 0,079 | 0,067 | 0,070 | 0,009 | 0,104 | 0,038 | Stepanov et al. 2010 |
| | 7 | 53 | 57 | 73 | 24 | 20 | 21 | 3 | 31 | 11 | |
| Spanien (N=454) | 0,033 | 0,118 | 0,205 | 0,272 | 0,030 | 0,057 | 0,119 | 0,012 | 0,112 | 0,040 | STRidER |
| | 10 | 35 | 62 | 82 | 9 | 17 | 36 | 4 | 34 | 12 | |
| Schweden (N=425) | 0,039 | 0,186 | 0,186 | 0,256 | 0,051 | 0,081 | 0,074 | 0,011 | 0,081 | 0,032 | STRidER |
| | 12 | 56 | 56 | 77 | 15 | 24 | 22 | 3 | 24 | 10 | |
| Kassel (N=232) | 0,043 | 0,168 | 0,220 | 0,216 | 0,043 | 0,065 | 0,103 | 0,022 | 0,073 | 0,047 | Grumbkow 2013 |
| | 13 | 51 | 66 | 65 | 13 | 19 | 31 | 7 | 22 | 14 | |
| Rödelheim | 0,040 | 0,156 | 0,219 | 0,256 | 0,040 | 0,063 | 0,060 | 0,027 | 0,090 | 0,050 | Im Rahmen dieser Arbeit berechnet |
| | 12 | 47 | 66 | 77 | 12 | 19 | 18 | 8 | 27 | 15 | beobachtete Anzahl (N=301) |

Im System D21S11 konnten keine signifikanten Unterschiede der Allelhäufigkeiten zwischen dem Skelettkollektiv Rödelheim und anderen Populationen beobachtet werden ($p > 0,26$).

FGA

Für das System FGA wurden die in Tabelle 14 aufgeführten Allelfrequenzen ermittelt. Im Skelettkollektiv Rödelheim wurden insgesamt 344 Allele im STR-System amplifiziert. Darauf basierend wurde für jede Population der Erwartungswert für jedes Allel ermittelt.

Tabelle 14: Allelverteilung unterschiedlicher europäischer Populationen, der Individuen aus dem Massengrab Kassel und der Skelettserie Rödelheim (grün hinterlegt) im STR-System FGA. In der ersten Zeile jeder Population ist die Allelfrequenz (basierend auf der Anzahl Allele, die hinter der Population in Klammern aufgeführt ist), in der zweiten Zeile der Erwartungswert bei N=344 amplifizierten Allelen gelistet.

| Population | </=18 | 19/19.2 | 20/20.2 | 21/21.2 | 22/22.2 | 23/23.2 | 24/24.2 | 25/25.2 | >= 26 | Referenz |
|---------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-----------------------------------|
| Belgien (N=206) | 0,012 | 0,070 | 0,150 | 0,175 | 0,180 | 0,170 | 0,141 | 0,061 | 0,041 | STRidER |
| | 4 | 24 | 52 | 60 | 62 | 58 | 48 | 21 | 14 | |
| Frankreich (N=208) | 0,007 | 0,058 | 0,135 | 0,209 | 0,183 | 0,156 | 0,137 | 0,087 | 0,029 | STRidER |
| | 2 | 20 | 46 | 72 | 63 | 54 | 47 | 30 | 10 | |
| Deutschland (N=662) | 0,018 | 0,078 | 0,143 | 0,184 | 0,189 | 0,151 | 0,130 | 0,080 | 0,027 | STRidER |
| | 6 | 27 | 49 | 63 | 65 | 52 | 45 | 28 | 9 | |
| Polen (N=206) | 0,015 | 0,085 | 0,148 | 0,180 | 0,233 | 0,124 | 0,119 | 0,073 | 0,024 | STRidER |
| | 5 | 29 | 51 | 62 | 80 | 43 | 41 | 25 | 8 | |
| Russland (N=386) | 0,081 | 0,123 | 0,165 | 0,252 | 0,142 | 0,130 | 0,083 | 0,019 | 0,005 | Stepanov et al. 2010 |
| | 28 | 42 | 57 | 87 | 49 | 45 | 29 | 7 | 2 | |
| Spanien (N=453) | 0,013 | 0,091 | 0,138 | 0,175 | 0,172 | 0,143 | 0,153 | 0,084 | 0,030 | STRidER |
| | 5 | 31 | 47 | 60 | 59 | 49 | 53 | 29 | 10 | |
| Schweden (N=425) | 0,028 | 0,053 | 0,174 | 0,180 | 0,185 | 0,136 | 0,141 | 0,074 | 0,028 | STRidER |
| | 10 | 18 | 60 | 62 | 64 | 47 | 49 | 25 | 10 | |
| Kassel (N=234) | 0,013 | 0,060 | 0,129 | 0,177 | 0,172 | 0,155 | 0,177 | 0,082 | 0,035 | Grumbkow 2013 |
| | 4 | 21 | 44 | 61 | 59 | 53 | 61 | 28 | 12 | |
| Rödelheim | 0,009 | 0,047 | 0,125 | 0,186 | 0,172 | 0,177 | 0,169 | 0,084 | 0,032 | Im Rahmen dieser Arbeit berechnet |
| | 3 | 16 | 43 | 64 | 59 | 61 | 58 | 29 | 11 | beobachtete Anzahl (N=344) |

Die Allelhäufigkeiten des Skelettkollektiv Rödelheim unterscheiden sich signifikant zu denen aus Russland ($p=0,000$, $\chi^2=69,957$, $d_f=8$). Zu den anderen Populationen konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden ($p>0,06$), wobei der p-Wert im Vergleich zur Population aus Polen nahe am Signifikanzniveau lag ($p=0,0602$, $\chi^2=14,945$, $d_f=8$).

TH01

Für das System TH01 wurden die in Tabelle 15 aufgeführten Allelfrequenzen ermittelt. Im Skelettkollektiv Rödelheim wurden insgesamt 374 Allele im STR-System amplifiziert. Darauf basierend wurde für jede Population der Erwartungswert für jedes Allel ermittelt.

Tabelle 15: Allelverteilung unterschiedlicher europäischer Populationen, der Individuen aus dem Massengrab Kassel und der Skelettserie Rödelheim (grün hinterlegt) im STR-System TH01. In der ersten Zeile jeder Population ist die Allelfrequenz (basierend auf der Anzahl Allele, die hinter der Population in Klammern aufgeführt ist), in der zweiten Zeile der Erwartungswert bei N=374 amplifizierten Allelen gelistet.

| Population | </= 6 | 7 | 8 | 9 | >/= 9.3 | Referenz |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|---------|-----------------------------------|
| Belgien (N=206) | 0,216 | 0,187 | 0,121 | 0,150 | 0,325 | STRidER |
| | 81 | 70 | 45 | 56 | 122 | |
| Frankreich (N=208) | 0,240 | 0,159 | 0,120 | 0,183 | 0,298 | STRidER |
| | 90 | 59 | 45 | 68 | 111 | |
| Deutschland (N=662) | 0,228 | 0,148 | 0,139 | 0,175 | 0,309 | STRidER |
| | 85 | 55 | 52 | 66 | 116 | |
| Polen (N=206) | 0,206 | 0,153 | 0,085 | 0,214 | 0,342 | STRidER |
| | 77 | 57 | 32 | 80 | 128 | |
| Russland (N=386) | 0,231 | 0,152 | 0,097 | 0,186 | 0,334 | Stepanov et al. 2010 |
| | 86 | 57 | 36 | 70 | 125 | |
| Spanien (N=454) | 0,253 | 0,172 | 0,106 | 0,191 | 0,279 | STRidER |
| | 95 | 64 | 40 | 71 | 104 | |
| Schweden (N=425) | 0,196 | 0,191 | 0,092 | 0,158 | 0,364 | STRidER |
| | 73 | 71 | 34 | 59 | 136 | |
| Kassel (N=252) | 0,206 | 0,198 | 0,115 | 0,143 | 0,337 | Grumbkow 2013 |
| | 77 | 74 | 43 | 53 | 126 | |
| Rödelheim | 0,193 | 0,152 | 0,147 | 0,182 | 0,326 | Im Rahmen dieser Arbeit berechnet |
| | 72 | 57 | 55 | 68 | 122 | beobachtete Anzahl (N=374) |

Der Vergleich der Allelhäufigkeiten des Skelettkollektivs Rödelheim zeigt keine signifikanten Unterschiede zu den anderen Populationen ($p > 0,09$).

Interpretation

Der Ergebnisse des Vergleichs der Allelhäufigkeiten zeigen in keine eindeutige Richtung und es können keine schlüssigen Aussagen im Hinblick auf eine mögliche gemeinsame Herkunft der Individuen aus Rödelheim getroffen werden. Je nachdem welches STR-System betrachtet wird, konnten signifikante Unterschiede zu diversen Populationen über Europa verteilt gefunden werden. In den Systemen D18S51 und FGA waren Unterschiede zu den ost- bzw. nordeuropäischen Populationen aus Russland (D18S51 und FGA), Polen (D18S51, FGA nahe des Signifikanzniveaus)

und Schweden (D18S51) festzustellen. Bei D13S317 konnten signifikante Unterschiede zu fast allen Populationen ermittelt werden. Bei den anderen Systemen wurden nur wenige (Russland und Massengrab Kassel in D5S818) oder keine signifikanten Unterschiede (D21S11 und TH01) beobachtet. Die Allelfrequenzen und Heterozygotenraten der Genotypen sprechen dafür, dass es sich bei den Individuen aus Rödelheim um eine zufällige Stichprobe einer gemeinsamen Population handelt. Jedoch zeigt sich bei der Berechnung des HWE, dass die beobachtete Heterozygotie der Genotypen in allen Fällen die erwartete Heterozygotie übersteigt und die p-Werte bis auf im System D18S51 relativ niedrig sind ($p < 0,11-0,27$). Möglicherweise deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass die Individuen der Serie Rödelheim keinen gemeinsamen regionalen Ursprung haben, sondern dass die Individuen, zumindest zu einem gewissen Teil, aus mehreren Regionen Europas stammen.

6.2.6.2 AUSWERTUNG Y-CHROMOSOMALER STRs

Die allgemein sehr gute DNA-Erhaltung der Individuen aus Rödelheim, in Kombination mit der sehr guten Performance des Argus Y-28 QS Kit (Firma Qiagen) bei aDNA Proben (Abbildung 23), führten bei fast der Hälfte der Individuen zu annähernd vollständigen Y-Haplotypen (Tabelle 16 und Einzelamplifikationen im Ordner „Molekulargenetik“ auf der Daten-CD). Bei nur sieben Individuen konnten keine Allele amplifiziert werden.

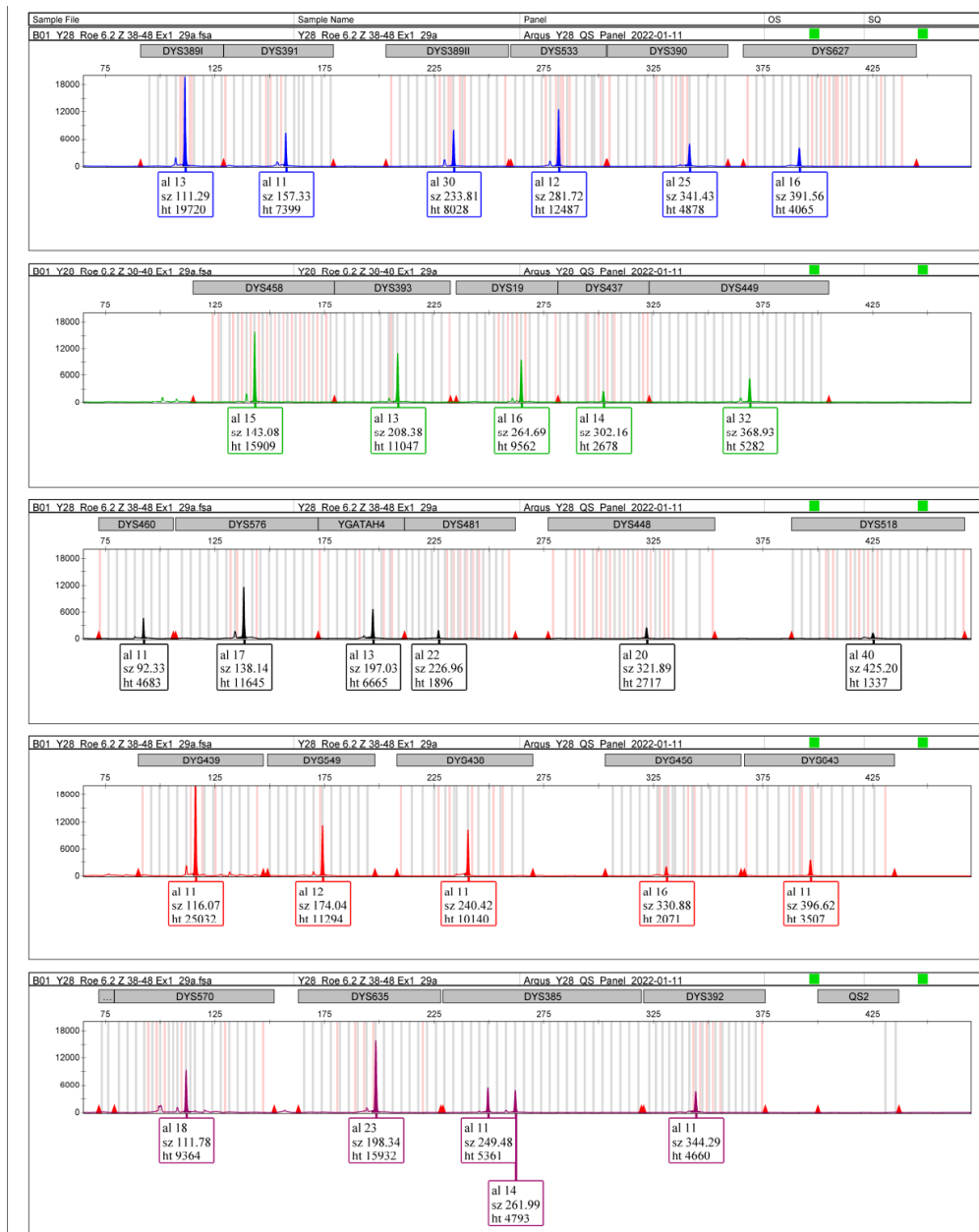


Abbildung 23: Elektropherogramm eines vollständigen Y-Haplotyps der Probe Rö 6,2 nach Amplifikation mit dem Argus Y-28 QS Kit (Firma Qiagen). Deutlich zu erkennen ist der bei der Untersuchung degradierter DNA charakteristische ski-slope Effekt, bei dem die kürzeren DNA-Fragmente stärkere Produktintensitäten zeigen, die mit zunehmender Länge immer schwächer werden.

Bereits bei der Untersuchung der autosomalen STRs zeigte sich, dass die DNA-Erhaltung grundsätzlich schlechter war, wenn die DNA nicht aus Zahnwurzeln gewonnen wurde. Dies spiegelte sich auch bei der Amplifikation der Y-STRs wieder: DNA-Extrakte, aus denen bereits während der Untersuchung der autosomalen STRs nur lückenhafte genetische Fingerabdrücke generiert werden konnten, zeigten ähnliche Ergebnisse bei den Y-STRs. Außerdem konnten insbesondere bei den langen STR-Systemen vermehrt *allelic dropouts* beobachtet werden, bspw. im System *DYS643* konnte bei 49 % der untersuchten Individuen kein Allel amplifiziert werden. Für

die weiteren Untersuchungen wurde sich auf die STR-Systeme des *minimal Haplotypes* (DYS19, DYS389I/II, DYS390, DYS391, DYS392, DYS393, DYS385a/b) sowie die Systeme DYS437, DYS438 und DYS439 beschränkt, da das Argus Y-28 QS Kit erst seit dem Jahr 2021 kommerziell erhältlich ist und somit die Datenlage in den Datenbanken für zahlreiche der Y-STR-Systeme noch sehr schwach ist.

Tabelle 16: Konsensus Y-Haplotypen der Individuen aus der Skelettserie Rödelheim und die mittels eines Y-Haplogruppen-Prädiktors vorhergesagte Haplogruppe (Hg., <https://www.nevgen.org/>) mit Wahrscheinlichkeit (W.). Aus Platzgründen wurde auf das „DYS“ vor jedem STR-System verzichtet. Rote Schrift: Haplogruppen, die mit einer Wahrscheinlichkeit von unter 80 % vorhergesagt wurden. Blaue Schrift: Allele, die bei der Haplogruppenbestimmung nicht mit einbezogen wurden. ()=nicht reproduzierte Allele, die bei der Haplogruppenbestimmung dennoch mit einbezogen wurden. Abgebildet sind nur die DYS-Systeme, die für die Haplogruppenvorhersage genutzt wurden (minimal Y-Haplotyp + DYS437, DYS438, DYS439). Die Amplifikationsergebnisse der übrigen DYS-Systeme befinden sich im Ordner „Molekulargenetik“ auf der beigegefügten Daten-CD.

| Individuum (Rö,xx) | 389I | 391 | 389II | 390 | 393 | 19 | 437 | 439 | 438 | 385 | | 392 | Hg. | W. |
|--------------------|------|------|-------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|---------|
| 6,1 | 12 | 10 | (28) | (23) | 13 | 14 | (16) | 12 | (10) | 12 | 14 | (11) | I1 | 65.55% |
| 6,2 | 13 | 11 | 30 | 25 | 13 | 16 | 14 | 11 | 11 | 11 | 14 | 11 | R1a | 100,00% |
| 6,3 | 14 | 10 | 32 | 23 | 14 | 16 | 14 | 12 | 10 | 15 | 15 | 12 | I2a* | 99.73% |
| 6,4 | 14 | 11 | 30 | 24 | 13 | 14 | 15 | 12 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 99.99% |
| 7,1 | (13) | 12 | (29) | 25 | 13 | 14 | (15) | 12 | 12 | 11 | 14 | (13) | R1b | 100,00% |
| 7,2 | (13) | 11 | (29) | - | (13) | (16) | (14) | 10 | (11) | (10) | (14) | (11) | R1a | 99.19% |
| 7,3 | 14 | 10 | 32 | 24 | 13 | 14 | 15 | 13 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100,00% |
| 7,4 | 14 | 10 | (31) | 24 | 13 | 14 | 15 | 12 | 12 | 12 | 14 | 13 | R1b | 99.83% |
| 8,1 | 13 | 11 | 30 | 25 | 13 | 16 | 14 | 10 | 11 | 11 | 14 | 11 | R1a | 99.83% |
| 8,2 | 13 | 10 | 29 | 25 | 13 | 17 | 14 | 12 | 11 | 11 | 14 | 11 | R1a | 96.66% |
| 8,3 | 14 | 9 | 31 | (24) | 12 | 14 | 15 | 13 | 9 | 13 | 18 | 11 | J2a* | 99.94% |
| 8,4 | 13 | 11 | 29 | 24 | 13 | 14 | 15 | 11 | 13 | 11 | 15 | 13 | R1b | 100,00% |
| 9,1 | 14 | 10 | 30 | 25 | 13 | 16 | 14 | 12 | 11 | 11 | 15 | 11 | C2b1 | 96,15% |
| 9,2 | 14 | 11 | 31 | 25 | 13 | 15 | 14 | 10 | 12 | 12 | 14 | 11 | R1a | 99,85% |
| 9,3 | 13 | 11 | 29 | 25 | 13 | 14 | 15 | 11 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100,00% |
| 10,1 | 14 | 9 | 32 | 25 | 14 | 13 | 14 | 12 | 10 | 16 | 18 | 11 | E1b1b* | 100,00% |
| 10,2 | 14 | 12 | 29 | 24 | 13 | 15 | 15 | 12 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100,00% |
| 10,3 | 13 | 11 | 31 | 22 | 13 | (15) | 14 | 12 | 9 | 13 | 14 | 11 | J2a1 | 99,88% |
| 10,4 | 14 | 10 | (31) | (25) | (13) | (13) | 14 | 13 | 10 | 16 | 18 | (11) | E1b1b | 99,97% |
| 11,1 | 14 | 10 | 30 | 25 | (12) | 14 | 16 | 11 | 10 | 14 | 16 | 11 | J2a1 | 99,99% |
| 11,2 | 13 | 11 | 29 | 23 | 13 | 14 | 15 | 12 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100% |
| 11,3 | 13 | 10 | (29) | 25 | 13 | (16) | (14) | 11 | 11 | 11 | 14 | 11 | R1a | 100% |
| 11,4 | 12 | 8 | 30 | (23) | 13 | (13) | - | 12 | (10) | 17 | 18 | (11) | E1b1b | 99,99% |
| 12,1 | 13 | 10 | 29 | 24 | 13 | 16 | 14 | 11 | 11 | 11 | 14 | 11 | R1a | 98,96% |
| 12,2 | 13 | 10 | 29 | 25 | 13 | 15 | 14 | 10 | 11 | 11 | (14) | 11 | R1a | 99,86% |
| 12,3 | 13 | (11) | (29) | 25 | (13) | - | 14 | (11) | (11) | 11 | 14 | - | R1a | 95,36% |
| 12,4 | 13 | 11 | 28 | 23 | 12 | 14 | 14 | 11 | 10 | 13 | 16 | (11) | J1a* | 95,01% |
| 13,1 | 13 | 11 | 29 | (24.1) | (12) | 15 | (15) | 13 | 12 | 11 | 17 | (12) | R1b | 88,55% |
| 13,2 | (12) | - | (29) | (22) | (13) | (15) | (16) | 13 | (10) | 13 | 14 | - | G2a2* | 93,58% |
| 14,1 | (13) | - | (29) | - | - | (15) | - | - | - | - | - | - | n.d. | - |

| Individuum (Rö,xx) | 389I | 391 | 389II | 390 | 393 | 19 | 437 | 439 | 438 | 385 | | 392 | Hg. | W. |
|-----------------------|------|------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|---------|
| 14,2 | 13 | 11 | 31 | 24 | 13 | 14 | 15 | 13 | 12 | 11 | 15 | 13 | R1b | 100,00% |
| 14,3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | n.d. | - |
| 14,4 | 13 | 11 | 29 | 24 | 13 | 15 | 15 | 12 | 12 | 11 | 15 | 13 | R1b | 99,92% |
| 15,1 | 12 | 10 | 28 | 24 | 12 | 15 | 16 | 14 | 9 | 14 | 16 | 11 | J2b* | 99,74% |
| 15,2 | 13 | 11 | 30 | 24 | 13 | 13 | 14 | 11 | 10 | 16 | 18 | 11 | E1b1b | 99,99% |
| 15,3 | 13 | 10 | (30) | - | 13 | 17 | - | 11 | 11 | 10 | 14 | (11) | R1a | 99,99% |
| 17,1 | 13 | 12 | 31 | 24 | 13 | 16 | 15 | 12 | 10 | 14 | 16 | 11 | I2a* | 99,81% |
| 17,2 | 13 | 10 | 29 | 26 | 13 | 16 | (14) | 11 | (10) | 11 | 14 | 11 | R1a | 97,40% |
| 18,1 | 12 | 10 | 28 | 23 | 14 | 14 | 16 | 12 | 10 | 13 | 13 | 11 | I1 | 65,85% |
| 18,2 | 12 | 10 | 28 | (22) | 13 | 14 | 16 | 11 | 10 | 13 | 14 | - | I1 | 99,64% |
| 18,3 | 13 | 11 | 29 | 24 | 13 | 14 | 14 | 12 | 12 | 11 | 15 | 13 | R1b | 99,88% |
| 18,4 | 14 | 11 | 32 | 24 | 13 | 17 | 14 | 11 | 11 | 11 | 14 | 11 | R1a | 99,85% |
| 19,1 | 13 | 11 | 29 | 23 | 13 | 14 | 15 | 13 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100% |
| 19,2 | 13 | 11 | 29 | 25 | 13 | 15 | 14 | 11 | 11 | 11 | 15 | 11 | R1a | 99,32% |
| 19,3 | 12 | 10 | - | (22) | (13) | (14) | (16) | 11 | 10 | 13 | 14 | - | I1 | 98,17% |
| 20,1 | 13 | 10 | (29) | (25) | (13) | (15) | 15 | (13) | (12) | (11) | 14 | - | R1b | 92,72% |
| 20,2 | 12 | 10 | 28 | (22) | 14 | 14 | (16) | 12 | 10 | 14 | 14 | 11 | I1 | 43,53% |
| 20,3 | 13 | 10 | 29 | (24) | 13 | (14) | (15) | (13) | 12 | 11 | 14 | (13) | R1b | 100,00% |
| 20,4 | 13 | (11) | 29 | (24) | (13) | (14) | 15 | 12 | (13) | 11 | (14) | (13) | R1b | 100,00% |
| 20,5 | 13 | 10 | 29 | (24) | (13) | (15) | 15 | 11 | 12 | 11 | 14 | (13) | R1b | 100,00% |
| 20,6 | (13) | (11) | - | - | - | (14) | (15) | (11) | - | (11) | (14) | - | R1b | 98,76% |
| 20,7 | (13) | (10) | (29) | - | - | 14 | (15) | (12) | - | (11) | - | - | R1b | 50,72% |
| 20,8 | (13) | (11) | (29) | (25) | 13 | (14) | 15 | 12 | 12 | 11 | 14 | (13) | R1b | 100,00% |
| 20,9 | 13 | 10 | 31 | (24) | 13 | 13 | 14 | 12 | - | (17) | 18 | (11) | E1b1b | 100,00% |
| 21,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | n.d. | - |
| 21,2 | (12) | (10) | - | (22) | (13) | (14) | (16) | (12) | (10) | (13) | (15) | (11) | I1 | 88,61% |
| 22,1 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | n.d. | - |
| 22,X | (12) | (10) | - | - | (14) | (14) | - | (11) | (10) | (13) | (14) | - | G2a2* | 57,19% |
| 23,1 | - | - | - | - | - | - | - | (11) | - | - | - | - | n.d. | - |
| 23,2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | n.d. | - |
| 23,3 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | n.d. | - |
| 23,4 | - | (10) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | n.d. | - |
| 24,1 | 13 | 10 | 30 | 23 | 14 | 15 | 14 | 10 | 10 | 11 | 15 | 14 | N1a1 | 99,45% |
| 24,2 | 14 | 10 | 30 | 25 | 13 | 16 | 14 | 10 | 11 | 11 | 14 | 11 | R1a | 99,80% |
| 24,3 | 13 | 10 | 29 | 23 | 13 | 14 | 15 | 12 | 12 | 11 | 15 | 13 | R1b | 100,00% |
| 24,4 | 13 | 10 | 29 | 24 | 13 | 14 | 15 | 13 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100% |
| 24,5 | 13 | 11 | 31 | 24 | 13 | 15 | 15 | 12 | 10 | 14 | 15 | 11 | I2a* | 99,87% |
| 25,1 | 13 | 10 | (31) | 25 | (13) | 13 | (14) | 12 | 10 | 17 | 18 | (11) | E1b1b | 100,00% |
| 25,2 | 14 | 11 | 32 | - | 13 | (17) | 14 | 11 | 11 | 11 | (14) | - | R1a | 99,78% |
| 25,3 | 13 | 11 | 29 | (23) | (13) | 14 | (15) | 12 | 12 | (11) | (14) | (13) | R1b | 100,00% |
| 25,4 | 13 | 10 | 29 | 24 | 13 | 14 | 15 | 12 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100% |
| 25,5 | 14 | 10 | (29/30) | (24) | 13 | 17 | 14 | 10 | 11 | 11 | 14 | 11 | R1a | 99,97% |
| 25,6 | 13 | 10 | 30 | 25 | 13 | 17 | 14 | 10 | 11 | 10 | 14 | 11 | R1a | 100% |
| 26,1 | (13) | (10) | (29) | (24) | (13) | (14) | (14) | (12) | (12) | (11) | (14) | (13) | R1b | 85,62% |

| Individuum (Rö,xx) | 389I | 391 | 389II | 390 | 393 | 19 | 437 | 439 | 438 | 385 | | 392 | Hg. | W. |
|-----------------------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|---------|
| 26,2 | (13) | (11) | (30) | 23 | - | (13) | - | 12 | - | (16) | (18) | - | E1b1b | 88,36% |
| 27,1 | 13 | 11 | (28) | (24) | 13 | 14 | (15) | (12) | - | 11 | 14 | (13) | R1b | 99,98% |
| 27,2 | 13 | 11 | 29 | 22 | 13 | 14 | 15 | 12 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 99,99% |
| 27,3 | (14) | (11) | - | - | (13) | - | 15 | (12) | (13) | (11) | (14) | (13) | R1b | 99,80% |
| 27,4 | 13 | 11 | (29) | (25) | - | 14 | 14 | 12 | 12 | 11 | (14) | - | R1b | 99,63% |
| 27,5 | 13 | 11 | 29 | 24 | 14 | 14 | 15 | 12 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100,00% |
| 27,6 | 13 | 11 | (29) | - | (13) | 14 | (15) | 12 | 12 | 11 | (14) | (13) | R1b | 99,98% |
| 27,7 | 13 | - | (30) | - | - | (13) | - | 13 | - | - | - | - | E1b* | 65,70% |
| 27,8 | 13 | 11 | - | (24) | (13) | 13 | (15) | 13 | (12) | (12) | 14 | (13) | R1b | 97,75% |
| 27,9 | 12 | 11 | (28) | - | (13) | (14) | (15) | 13 | (13) | (11) | - | - | R1b | 99,67% |
| 27,10 | (13) | 11 | (29) | (23) | 13 | (14) | (15) | (12) | (12) | (11) | (13) | (13) | R1b | 97,57% |
| 27,11 | (13) | 11 | - | - | - | - | - | (12) | 12 | (11) | 14 | - | R1b | 94,15% |
| 27,12 | 14 | 11 | (32) | - | (13) | 17 | 14 | (10) | 11 | (11) | 14 | - | R1a | 99,99% |
| 27,13 | (13) | (11) | - | - | (13) | - | - | (11) | - | (14) | - | - | n.d. | - |
| 28,1 | 14 | (11) | 30 | 24 | - | 14 | (15) | 12 | (12) | 11 | 14 | 13 | R1b | 99,99% |
| 28,2 | (13) | - | - | - | (13) | - | - | - | - | - | - | - | n.d. | - |
| 28,3 | (12) | 11 | (29) | 23 | (13) | 14 | 15 | 12 | 12 | 13 | 14 | 13 | R1b | 99,17% |
| 28,4 | 13 | 11 | 30 | 24 | 13 | 14 | 14 | 12 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100,00% |
| 28,5 | (12) | (10) | (28) | - | (13) | - | - | 11 | (10) | (14) | - | - | I1 | 50,27% |
| 28,6 | 13 | 11 | 29 | (23) | 13 | 14 | 15 | 12 | 12 | 11 | 14 | (13) | R1b | 100,00% |
| 28,7 | 14 | 11 | 30 | (24) | 13 | 14 | 15 | 12 | 11 | (11) | 15 | - | R1b | 99,12% |
| 28,8 | 13 | 11 | 28 | (24) | (13) | 14 | 15 | 12 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100,00% |
| 28,9 | 13 | 11 | 29 | 24 | 13 | 14 | 15 | 12 | 12 | 11 | 14 | (13) | R1b | 99,99% |
| 28,10 | (13) | 11 | (29) | - | (13) | - | - | 12 | 12 | (11) | 15 | (13) | R1b | 99,33% |
| 28,11 | 12 | (11) | (28) | (24) | 13 | - | 15 | 12 | 12 | 11 | 15 | (13) | R1b | 99,98% |
| 28,12 | 14 | 11 | (31) | 25 | (13) | (14) | 14 | 13 | - | (11) | (14) | - | R1b | 80,34% |
| 29,1 | 13 | 11 | 29 | (23) | 13 | 14 | 15 | 13 | 12 | 11 | 15 | 13 | R1b | 100,00% |
| 29,2 | (13) | 11 | - | - | - | - | - | (12) | 12 | (11) | 15 | - | R1b | 96,37% |
| 29,3 | - | - | - | - | (13) | - | - | 12 | (11) | - | - | (14) | Q | 91,40% |
| 29,4 | 13 | 11 | 30 | 23 | 12 | 14 | 14 | 11 | 10 | 13 | 19 | 11 | J1a* | 99,89% |
| 29,5 | (13) | (10) | (29) | (25) | (13) | (14) | - | 12 | 12 | (11) | - | - | R1b | 98,87% |
| 29,6 | 13 | 11 | 29 | - | 13 | (15) | - | 11 | 12 | 11 | (14) | (13) | R1b | 99,21% |
| 29,7 | 13 | 11 | 29 | (22) | 13 | - | 14 | 13 | 9 | 13 | 14 | - | J2a* | 63,90% |
| 29,8 | 13 | 10 | 29 | - | - | - | (15) | 13 | 12 | 11 | 14 | - | R1b | 98,07% |
| 29,9 | 13 | 10 | (29) | - | (13) | (14) | - | 12 | - | (11) | (14) | - | R1b | 90,95% |
| 29,10_15 | 13 | 10 | 29 | 25 | 12 | 14 | 15 | 12 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100% |
| 29,11 | 13 | (10) | (29) | - | (12) | 14 | (15) | (12) | (12) | (11) | 15 | - | R1b | 99,88% |
| 29,12 | 13 | 10 | 29 | - | (13) | 14 | 15 | 12 | 13 | 11 | 16 | 13 | R1b | 99,98% |
| 29,13 | 12 | 10 | 29 | 22 | 14 | 15 | 16 | 12 | 10 | 15 | 16 | 11 | G2a1* | 84,57% |
| 29,14 | 12 | (10) | - | - | (14) | (15) | (15) | 11 | (10) | (15) | - | - | G2a2* | 76,15% |
| 29,16 | 13 | 10 | 29 | (24) | - | 14 | (15) | 11 | (12) | (11) | - | (13) | R1b | 99,98% |
| 30,1 | 13 | 10 | 30 | 24 | 13 | 14 | 14 | 13 | 10 | 15 | 16 | (11) | E1b1b | 94,87% |
| 30,2 | 13 | 11 | 30 | (24) | (12) | 14 | (15) | 12 | 12 | 12 | - | - | R1b | 97,16% |
| 30,3 | 13 | 11 | 29 | 24 | 13 | 14 | (15) | 11 | 12 | (14) | - | (13) | R1b | 98,52% |

| Individuum (Rö,xx) | 389I | 391 | 389II | 390 | 393 | 19 | 437 | 439 | 438 | 385 | | 392 | Hg. | W. |
|-----------------------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|--------|---------|
| 30,4 | - | (11) | - | (24) | (13) | (16) | (14) | - | (11) | (11) | (14) | - | R1a | 95,76% |
| 30,5 | 13 | 11 | 29 | (24) | 13 | (14) | 15 | 13 | 14 | 11 | 14 | (13) | R1b | 100,00% |
| 30,6 | (13) | 12 | (30) | (25) | (13) | - | (14) | 11 | 11 | (11) | - | (11) | R1a | 97,28% |
| 30,7 | (13) | (10) | - | - | 12 | - | (14) | (11) | (10) | 14 | - | (12) | n.d. | - |
| 30,8_13 | 13 | 12 | 28 | 23 | 13 | 14 | 15 | 11 | 12 | 11 | 13 | 13 | R1b | 99,73% |
| 30,9 | 14 | 10 | 30 | 24 | 13 | 13 | 14 | 10 | 10 | 16 | 17 | 11 | E1b1b | 97,63% |
| 30,10 | 13 | 11 | 29 | 24 | 13 | 14 | 15 | 11 | 12 | 11 | 11 | 13 | R1b | 100,00% |
| 30,11 | (12) | 10 | (29) | - | (14) | (16) | (16) | 12 | 10 | (15) | - | - | G2a1* | 90,93% |
| 30,12 | 13 | (10) | (30) | (24) | (12) | (13) | - | (12) | - | (16) | - | - | E1b1b | 96,24% |
| 30,14 | (13) | (11) | (29) | (24) | (13) | - | (15) | (12) | (12) | (11) | (14) | (13) | R1b | 99,71% |
| 30,15 | 13 | 9 | 30 | (26) | (14) | 14 | (14) | 11 | 10 | (12) | 13 | (11) | C1a2 | 83,26% |
| 30,16 | 14 | (11) | - | - | - | - | - | - | (12) | (11) | - | - | n.d. | - |
| 30,17 | 14 | 10 | 30 | (25) | 13 | 14 | 15 | 12 | 13 | 11 | (14) | - | R1b | 99,99% |
| 30,18 | (13) | 11 | (29) | - | - | (14) | (15) | 12 | (12) | 11 | - | - | R1b | 99,28% |
| 30,19 | 13 | 11 | 29 | (24) | 13 | 14 | 15 | 12 | 12 | 11 | 11 | 12 | R1b | 100,00% |
| 30,20 | (13) | (10) | (29) | - | - | - | - | 11 | 9 | (14) | - | (13) | T | 99,85% |
| 31,1 | 12 | 10 | 28 | 22 | 13 | 15 | 16 | 11 | 10 | 14 | 15 | 12 | G1* | 66,83% |
| 31,2 | 12 | 10 | 28 | (28) | 13 | 14 | 17 | 11 | 10 | 13 | 14 | 11 | I1 | 99,82% |
| 31,3 | 13 | 12 | 29 | (23) | 13 | 14 | 15 | 13 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100,00% |
| 31,4 | (13) | (10) | (29) | (25) | 13 | 14 | (15) | (12) | 12 | (11) | 14 | (13) | R1b | 100,00% |
| 32,1 | 13 | 10 | (29) | 24 | 13 | 14 | (15) | 12 | 13 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100,00% |
| 32,2 | 12 | 10 | 29 | 22 | 14 | 15 | 16 | 11 | 10 | 14 | 14 | 11 | G2a2b* | 86,94% |
| 32,3 | (12) | 10 | - | - | - | - | - | 12 | (10) | 14 | 15 | - | G2a2b* | 78,44% |
| 32,4 | 12 | 10 | (30) | - | 14 | 15 | 16 | 11 | 10 | 14 | 15 | 11 | G2a* | 99,80% |
| 33,1 | 13 | 10 | 29 | 26 | 13 | 15 | 14 | 11 | 11 | 11 | 14 | 11 | R1a | 99,43% |
| 34,1 | 13 | (10) | 30 | 22 | (14) | - | (14) | 11 | (10) | 16 | - | - | E1b1* | 70,44% |
| 34,2 | 13 | 11 | 29 | 25 | 14 | 14 | 14 | 12 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 99,64% |
| 34,3 | 13 | 11 | 30 | (24) | 13 | 14 | 15 | 12 | 12 | (12) | 14 | 13 | R1b | 99,78% |
| 34,4 | (13) | 10 | (29) | (24) | 13 | 14 | 15 | 12 | (12) | 12 | (14) | - | R1b | 99,51% |
| 34,5 | (13) | 11 | (30) | - | 13 | (14) | - | 12 | - | 11 | 14 | (13) | R1b | 99,95% |
| 34,6 | 12 | 10 | (29) | (25) | (13) | (14) | (15) | 11 | 12 | (11) | (14) | - | R1b | 99,85% |
| 34,7 | 13 | 10 | 30 | (22) | 13 | 15 | 16 | 12 | 10 | 12 | 14 | 11 | G2a2* | 99,22% |
| 34,8 | 13 | 10 | 31 | (25) | 13 | (14) | 15 | 11 | 12 | 11 | 14 | (13) | R1b | 99,95% |
| 34,9 | 13 | 10 | 31 | 24 | 12 | 14 | 15 | 12 | 9 | 13 | 16 | 11 | J2a* | 98,65% |
| 34,10 | - | (11) | - | - | - | (14) | - | - | 12 | - | - | - | n.d. | - |
| 34,11 | 13 | 11 | 29 | 24 | 13 | (14) | (15) | 14 | 12 | 11 | (15) | 13 | R1b | 100,00% |
| 34,12 | 13 | 12 | 29 | (24) | 13/14 | 14 | 15 | 12 | 12 | (11) | 14 | (13) | R1b | 100,00% |
| 34,13 | 12 | 10 | 27 | (23) | (13) | 15 | (15) | 11 | 10 | (12) | - | (11) | I2a* | 87,14% |
| 34,14 | 13 | 10 | 29 | (24) | 13 | 13 | 15 | 12 | (12) | 11 | 14 | (13) | R1b | 99,98% |
| 34,15 | 12 | 11 | 27 | (25) | 13 | 14 | 15 | 11 | 12 | 11 | 14 | (13) | R1b | 100,00% |
| 34,16 | 13 | 11 | 30 | - | 13 | 14 | 15 | 12 | 12 | 11 | 14 | (14) | R1b | 100,00% |
| 34,17 | 12 | 10 | (29) | (23) | (13) | - | - | 11 | (10) | (14) | - | - | G2a* | 86,59% |
| 35,1 | 12 | 10 | 29 | 22 | 14 | 16 | 16 | 11 | 10 | 13 | 14 | (12) | G2a2* | 98,76% |
| 35,2 | 13 | 11 | 29 | 23 | 12 | 14 | 14 | 11 | 10 | 13 | 18 | 11 | J1a* | 97,53% |

| Individuum (Rö,xx) | 389I | 391 | 389II | 390 | 393 | 19 | 437 | 439 | 438 | 385 | | 392 | Hg. | W. |
|-----------------------|------|------|-------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|--------|---------|
| 35,3 | 13 | 11 | 29 | 24 | 13 | 14 | 14 | 12 | 12 | 14 | 15 | 13 | R1b | 99,12% |
| 35,4 | 13 | 10 | 29 | 24 | 13 | 14 | 15 | 13 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100,00% |
| 35,5 | (13) | (11) | - | (24) | - | - | (15) | - | (12) | (11) | (15) | - | R1b | 99,95% |
| 35,6 | 13 | 10 | - | 24 | (12) | 14 | (14) | 13 | 12 | 11 | 14 | - | R1b | 99,84% |
| 35,7 | (13) | 11 | (29) | (24) | 13 | - | - | 12 | 12 | 11 | 14 | - | R1b | 99,74% |
| 35,8 | 12 | 9 | 28 | (22) | 15 | (15) | 16 | 11 | 12 | 14 | 15 | - | G2a2b* | 95,85% |
| 35,9 | 13 | 11 | 29 | (24) | 13 | 15 | 14 | 12 | 12 | 13 | 14 | (13) | R1b | 91,43% |
| 35,10 | (13) | (11) | - | - | - | - | - | 12 | 12 | - | - | - | n.d. | - |
| 35,11 | 12 | 10 | 28 | (24) | (13) | 14 | 15 | 12 | 12 | 11 | 15 | (13) | R1b | 100,00% |
| 35,12 | 13 | 10 | (29) | (23) | 12 | 14 | 15 | 11 | 9 | 15 | 18 | (11) | J2a1 | 98,86% |
| 35,13 | (13) | 10 | - | (25) | (13) | 14 | 15 | (13) | (12) | 11 | 14 | - | R1b | 99,92% |
| 35,14 | 14 | 10 | 32 | 23 | 15 | (15) | 14 | 11 | 10 | 15 | - | 12 | I2a* | 99,99% |
| 35,15 | 13 | 10 | 29 | 24 | 13 | 14 | 15 | 12 | 12 | 12 | 14 | 13 | R1b | 99,71% |
| 35,16 | (13) | 11 | (29) | 24 | 13 | (14) | 15 | 14 | (12) | (11) | (14) | (13) | R1b | 100,00% |
| 35,17 | 13 | 11 | (29) | - | (13) | - | - | 13 | 12 | 11 | 13 | - | R1b | 94,14% |
| 35,18 | 13 | 11 | 29 | - | (13) | 15 | 15 | 12 | 12 | 12 | 15 | (14) | R1b | 99,00% |
| 37,1 | 13 | 11 | 29 | 24 | 13 | 14 | 15 | 12 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100,00% |
| 37,2 | 13 | 12 | 29 | (24) | 14 | 15 | 15 | 14 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 99,78% |
| 37,3 | 12 | 10 | 29 | 22 | (13) | 15 | (16) | 12 | 10 | 14 | - | (11) | G2a2* | 89,96% |
| 37,4 | 14 | 10 | 30 | - | - | (14) | 15 | 12 | - | (11) | (15) | (13) | R1b | 98,80% |
| 37,5 | (13) | (11) | (29) | - | - | - | - | (12) | - | 11 | (14) | - | R1b | 53,47% |
| 37,6 | 13 | 10 | 29 | (29) | - | (14) | - | 11 | (12) | (14) | - | (13) | R1b | 48,45% |
| 37,7 | 14 | (11) | 30 | - | - | - | (15) | (12) | (12) | (13) | - | - | R1b | 82,05% |
| 37,8 | 13 | 11 | (29) | (24) | (13) | (14) | - | 12 | 12 | (11) | 15 | - | R1b | 99,97% |
| 37,9 | (13) | 11 | (29) | (24) | 13 | (14) | 15 | 12 | (12) | (11) | (14) | - | R1b | 99,99% |
| 37,10 | (13) | 10 | (29) | - | 13 | 14 | 15 | 12 | 11 | (14) | - | (13) | Q | 95,86% |
| 37,11 | 13 | 11 | 29 | 25 | 13 | 15 | 15 | 12 | 12 | 11 | (15) | 13 | R1b | 99,93% |
| 37,12 | 13 | (11) | (29) | - | - | 14 | (15) | (12) | - | (15) | - | - | J2a1 | 64,15% |
| 38,X | - | (10) | - | - | - | - | - | (12) | - | (14) | - | - | n.d. | - |
| 38,1 | 12 | 10 | 28 | (23) | 13 | (14) | 16 | (12) | (10) | - | - | (11) | I1 | 98,08% |
| 38,2 | 13 | 10 | 29 | 23 | (12) | 16 | 15 | 12 | 9 | 12 | 16 | 11 | J2a1 | 93,31% |
| 38,3 | 14 | 10 | 30 | 23 | 13 | 14 | 16 | 11 | 11 | 11 | 15 | (13) | R1b | 84,69% |
| 38,4 | 12 | 10 | (30) | 22 | (14) | 15 | 16 | 11 | 10 | 14 | 14 | 11 | G2a2* | 95,06% |
| 38,5 | (12) | - | - | - | - | - | - | (11) | - | (15) | - | - | n.d. | - |
| 38,6 I | - | (11) | - | (22) | - | - | - | (13) | - | (16) | - | - | n.d. | - |
| 38,6 II | (12) | - | - | - | - | - | - | (13.1) | - | (14) | - | - | n.d. | - |
| 38,7 | (13) | (11) | - | - | - | - | - | (12) | - | (11) | - | - | n.d. | - |
| 38,8 | (13) | - | - | - | (13) | - | - | (12) | - | - | - | - | n.d. | - |
| 38,9 | 14 | 10 | - | (23) | 14 | (10) | - | 11 | 10 | 15 | - | - | I2a* | 55,56% |
| 38,10 | (12) | (11) | (28) | (25) | (15) | (16) | (15) | 11 | 10 | (16) | 17 | - | I2a* | 97,66% |
| 38,11 | 13 | (10) | - | (24) | - | (14) | - | (12) | (13) | (11) | (13) | (11) | R1b | 55,55% |
| 38,12 | - | (11) | - | - | - | - | - | (11) | - | (15) | - | - | n.d. | - |
| 39,1 | 12 | 10 | 28 | 22 | 13 | 16 | 16 | 11 | 10 | 13 | 14 | 11 | I1 | 94,16% |
| 39,2 | 13 | 10 | (29) | - | (13) | 16 | 14 | 12 | (11) | 11 | 14 | (11) | R1a | 79,31% |

| Individuum (Rö,xx) | 389I | 391 | 389II | 390 | 393 | 19 | 437 | 439 | 438 | 385 | | 392 | Hg. | W. |
|--------------------|------|-----|-------|-----|-----|------|-----|-----|------|------|----|------|-----|---------|
| 39,3 | 12 | 11 | (28) | 23 | 13 | 15 | 15 | 12 | 12 | 12 | 14 | (13) | R1b | 98,27% |
| 39,4 | (13) | 11 | (31) | - | 12 | (13) | - | 12 | (12) | (11) | 14 | (13) | R1b | 99,97% |
| 40,1 | 13 | 10 | 29 | 23 | 13 | 14 | 15 | 11 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100,00% |
| 40,2 | 13 | 11 | 29 | 24 | 13 | 14 | 15 | 11 | 12 | 11 | 14 | 13 | R1b | 100,00% |

Die weitere statistische Auswertung erfolgte in zwei Schritten: 1. die Auswertung nach den vorhergesagten Haplogruppen und 2. nach den generierten Haplotypen.

Y-HAPLOGRUPPEN

Im Skelettkollektiv konnte für 171 Individuen eine Haplogruppe mit einer Wahrscheinlichkeit von über 80 %, für 96 Individuen sogar über 90 % vorhergesagt werden. Bei der Untersuchung konnten diverse (Sub-)Haplogruppen ermittelt werden, die sich in insgesamt 12 Haplogruppen zusammenfassen lassen (Tabelle 17 und vgl. Ordner „Molekulargenetik“ auf der Daten-CD). Als häufigste Haplogruppen im Skelettkollektiv wurden R1b (59,1 %) und R1a (12,3 %) identifiziert.

Tabelle 17: Verteilung der Haplogruppen in der Skelettserie Rödelheim.

| Haplogruppe | C | E1b1b* | G2a* | I1 | I2* | J1* | J2* | N1* | Q* | R1a | R1b | T* | Summe |
|-------------------|-----|--------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|-------|
| Anzahl Individuen | 2 | 10 | 12 | 6 | 6 | 3 | 7 | 1 | 1 | 21 | 101 | 1 | 171 |
| % | 1,2 | 5,8 | 7,0 | 3,5 | 3,5 | 1,8 | 4,1 | 0,6 | 0,6 | 12,3 | 59,1 | 0,6 | 100 |

Durch die geringen Häufigkeiten einiger Haplogruppen mussten diese für die weitere statistische Auswertung zusammengefasst werden, um die Bedingungen für den χ^2 -Test zu erfüllen. Davon betroffen waren die Haplogruppen I1 und I2* (zu „I“ zusammengefasst), J1* und J2* (zu „J“ zusammengefasst) sowie die Haplogruppen C, G2a*, N1, Q* und T* (zu „Andere“ zusammengefasst). Zusätzlich wurden die Haplogruppenfrequenzen zahlreicher europäischer (Sub-)Populationen aus der Datenbank Eupedia (https://www.eupedia.com/europe/european_ydna_haplogroups.shtml) und die Häufigkeiten der Individuen aus dem Massengrab Kassel (Grumbkow 2013) zusammengetragen. Darauf aufbauend wurden die Erwartungswerte der Haplogruppen über N=171 Individuen berechnet (Tabelle 18).

Table 18: Haplogruppenhäufigkeit unterschiedlicher europäischer Populationen, der Individuen aus dem Massengrab Kassel und der Skelettserie Rödelheim (grün hinterlegt). In der ersten Zeile jeder Population ist die Haplogruppenhäufigkeit (Stichprobengröße hinter der Population in Klammern aufgeführt), in der zweiten Zeile der Erwartungswert über N=171 Haplogruppen gelistet. Haplogruppenhäufigkeiten von Eupedia ergeben zusammen nicht immer 1 bzw. 100 %, da zum einen die auf Eupedia abgebildeten Frequenzen in 0,5-Schritten gerundet werden und zum anderen Frequenzen unter 0,25 % als 0 % ausgewiesen vorliegen.

| Population | Andere | I | J | E | R1a | R1b | Referenz |
|--------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------|
| Frankreich (N=2565) | 0,07 | 0,15 | 0,075 | 0,075 | 0,03 | 0,585 | Eupedia |
| | 12 | 26 | 13 | 13 | 5 | 100 | |
| - Elsass (N=102) | 0,11 | 0,12 | 0,09 | 0,1 | 0,03 | 0,55 | Eupedia |
| | 19 | 21 | 15 | 17 | 5 | 94 | |
| - Auvergne - Rhône-Alpes (N=100-250) | 0,135 | 0,045 | 0,115 | 0,125 | 0,055 | 0,525 | Eupedia |
| | 23 | 8 | 20 | 21 | 9 | 90 | |
| - Bretagne (N=115) | 0,02 | 0,135 | 0,03 | 0,005 | 0,005 | 0,8 | Eupedia |
| | 3 | 23 | 5 | 1 | 1 | 137 | |
| - Provence (N=100-250) | 0,105 | 0,07 | 0,095 | 0,105 | 0,05 | 0,58 | Eupedia |
| | 18 | 12 | 16 | 18 | 9 | 99 | |
| Niederlande (N=748) | 0,055 | 0,24 | 0,04 | 0,035 | 0,04 | 0,49 | Eupedia |
| | 9 | 41 | 7 | 6 | 7 | 84 | |
| Belgien (N=876) | 0,05 | 0,195 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,61 | Eupedia |
| | 9 | 33 | 9 | 9 | 7 | 104 | |
| Schweden (N=2206) | 0,105 | 0,42 | 0,025 | 0,03 | 0,16 | 0,215 | Eupedia |
| | 18 | 72 | 4 | 5 | 27 | 37 | |
| Deutschland (N= >1000) | 0,075 | 0,22 | 0,045 | 0,055 | 0,16 | 0,445 | Eupedia |
| | 13 | 38 | 8 | 9 | 27 | 76 | |
| - Ost (N=250-500) | 0,07 | 0,23 | 0,02 | 0,075 | 0,24 | 0,36 | Eupedia |
| | 12 | 39 | 3 | 13 | 41 | 62 | |
| - West (N=250-500) | 0,09 | 0,215 | 0,05 | 0,08 | 0,09 | 0,47 | Eupedia |
| | 15 | 37 | 9 | 14 | 15 | 80 | |
| - Süd (N=250-500) | 0,105 | 0,18 | 0,065 | 0,08 | 0,095 | 0,485 | Eupedia |
| | 18 | 31 | 11 | 14 | 16 | 83 | |
| Österreich (N=100-250) | 0,095 | 0,215 | 0,1 | 0,08 | 0,19 | 0 | Eupedia |
| | 16 | 37 | 17 | 14 | 32 | 55 | |
| Italien (Nord) (N= >1000) | 0,095 | 0,115 | 0,115 | 0,11 | 0,045 | 0,495 | Eupedia |
| | 16 | 20 | 20 | 19 | 8 | 85 | |
| Portugal (N=500-1000) | 0,095 | 0,065 | 0,125 | 0,14 | 0,015 | 0,56 | Eupedia |
| | 16 | 11 | 21 | 24 | 3 | 96 | |
| Spanien (N= >1000) | 0,055 | 0,07 | 0,11 | 0,07 | 0,02 | 0,69 | Eupedia |
| | 9 | 12 | 19 | 12 | 3 | 118 | |
| Polen (N=2740) | 0,065 | 0,16 | 0,025 | 0,035 | 0,575 | 0,125 | Eupedia |
| | 11 | 27 | 4 | 6 | 98 | 21 | |
| Russland (N= >1000) | 0,27 | 0,155 | 0,03 | 0,025 | 0,46 | 0,06 | Eupedia |
| | 46 | 27 | 5 | 4 | 79 | 10 | |
| Kassel (N=120) | 0,042 | 0,133 | 0,083 | 0,058 | 0,058 | 0,625 | Grumbkow 2013 |
| | 7 | 23 | 14 | 10 | 10 | 107 | |
| Rödelheim Gesamt (N=171) | 0,099 | 0,070 | 0,058 | 0,058 | 0,123 | 0,591 | Im Rahmen dieser Arbeit berechnet |
| | 16 | 12 | 10 | 10 | 21 | 102 | beobachtete Anzahl (N=171) |

Die Haplogruppenhäufigkeiten wurden im Anschluss statistisch ausgewertet. Die Ergebnisse des Vergleichs über den χ^2 -Test findet sich in Tabelle 19.

Tabelle 19: Ergebnisse des paarweisen Vergleichs der Haplogruppenhäufigkeiten der Skelettserie Rödelheim (N=171) mit anderen europäischen Populationen und den Individuen aus dem Massengrab Kassel über den χ^2 -Test mit den zugehörigen p-Werten ($d_f=5$).

| | χ^2 -Wert | p-Wert |
|--------------------------|----------------|--------|
| Frankreich | 16,360 | 0,006 |
| - Elsass | 15,621 | 0,008 |
| - Auvergne - Rhône-Alpes | 14,724 | 0,012 |
| - Bretagne | 45,009 | 0,000 |
| - Provence | 8,597 | 0,126 |
| Niederlande | 27,196 | 0,000 |
| Belgien | 18,906 | 0,002 |
| Schweden | 77,531 | 0,000 |
| Deutschland | 18,383 | 0,003 |
| - Ost | 34,809 | 0,000 |
| - West | 16,943 | 0,005 |
| - Süd | 11,638 | 0,040 |
| Österreich | 31,081 | 0,000 |
| Italien (Nord) | 15,319 | 0,009 |
| Portugal | 23,336 | 0,000 |
| Spanien | 19,730 | 0,001 |
| Polen | 112,531 | 0,000 |
| Russland | 132,765 | 0,000 |
| Kassel | 11,719 | 0,039 |

Der paarweise Vergleich der Haplogruppenhäufigkeiten der Skelettserie Rödelheim mit denen anderer europäischer Populationen und der Individuen aus dem Massengrab Kassel zeigte signifikante Unterschiede zu nahezu allen Populationen. Lediglich zur französischen Subpopulation der Provence konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden (grüne Markierung), der p-Wert ist mit 0,126 aber dennoch relativ gering. Die Subpopulation aus Deutschland – Süd ist mit einem p-Wert von 0,04 nahe am Signifikanzniveau (rosa Markierung).

Da im Vergleich zu anderen Serien napoleonischer Soldaten die Anzahl an im Jugendalter verstorbenen Individuen relativ hoch ist (vgl. Kapitel 6.2.2), wurde die Theorie aufgestellt, dass bei den Individuen aus Rödelheim eher Individuen zu finden sind, die nach dem Russlandfeldzug für die Befreiungskriege rekrutiert wurden. 1813 musste Napoleon eine zahlenmäßig starke neue Armee aufstellen, da seine Grande Armée während des Russlandfeldzugs nahezu vollständig eliminiert wurde. Da von Napoleon aber im Verlauf der Befreiungskriege immer mehr Verbündete abfielen,

konnte er vermutlich nur noch auf wenig Unterstützung aus dem Ausland zurückgreifen, sondern musste vermehrt in Frankreich rekrutieren. Dieser Änderung in der Rekrutierungsstrategie sollte sich auch in den Y-Haplogruppen und Haplotypen der Individuen widerspiegeln. In dieser Arbeit wurden daher Alterskohorten, also Subpopulationen der Skelettserie Rödelheim, gebildet (Tabelle A15 im Anhang A), um über die Vergleiche auf Haplogruppen- und Haplotypenebene mögliche statistische Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten zum gesamten Rödelheim-Kollektiv sowie zu diversen europäischen Populationen zu erhalten.

Die 171 erfolgreich typisierten Individuen wurden für die statistische Auswertung in die juvenilen (N=41) und erwachsenen Individuen (alle Individuen älter als juvenil, N=130) unterteilt. Darüber hinaus wurden die erwachsene Kohorte auch noch in die adulten (N=92) und älteren Individuen (maturen und senilen, N=33) unterteilt, um die Haplogruppenverteilungen zu bewerten. Eine umfassende statistische Auswertung war nicht in allen Fällen möglich (vgl. unten) und Vergleiche mussten auf einem deskriptiven Niveau bleiben.

Der Vergleich der Haplogruppenverteilungen wurde anschließend auf die unterschiedlichen Alterskohorten ausgeweitet. Die Haplogruppenverteilungen der unterschiedlichen Alterskohorten sind in Tabelle 20 aufgeführt. Über die Frequenzen der europäischen Referenzpopulationen (Tabelle 18) wurden die Erwartungswerte analog zum vorherigen Vergleich des gesamten Kollektivs berechnet (Tabelle A16 bis A19 im Anhang A). Die statistische Auswertung der Haplogruppenverteilungen erfolgte über den χ^2 -Test.

Tabelle 20: Haplogruppenverteilung und Haplogruppenhäufigkeit der unterschiedlichen Alterskohorten der Skelettserie Rödelheim. In der ersten Zeile jeder Kohorte ist die Haplogruppenhäufigkeit abgebildet, in der zweiten Zeile die Anzahl an Individuen.

| | Andere | I | J | E | R1a | R1b | Anzahl Individuen |
|------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| Rödelheim Juvenis | 0,049 | 0,000 | 0,122 | 0,073 | 0,024 | 0,732 | N=41 |
| | 2 | 0 | 5 | 3 | 1 | 30 | |
| Rödelheim Adultas | 0,130 | 0,076 | 0,022 | 0,065 | 0,130 | 0,576 | N=92 |
| | 12 | 7 | 2 | 6 | 12 | 53 | |
| Rödelheim Maturitas/Senilis | 0,061 | 0,121 | 0,091 | 0,030 | 0,242 | 0,424 | N=33 |
| | 2 | 4 | 3 | 1 | 8 | 14 | |
| Rödelheim erwachsen | 0,115 | 0,092 | 0,038 | 0,054 | 0,154 | 0,554 | N=130 |
| | 15 | 12 | 5 | 7 | 20 | 72 | |

Die Ergebnisse des Haplogruppenvergleichs über den χ^2 -Test der erwachsenen Individuen sind in Tabelle 21 aufgeführt:

Tabelle 21: Ergebnisse des paarweisen Vergleichs der Haplogruppenhäufigkeiten der erwachsenen Alterskohorte (N=130) der Skelettserie Rödelheim mit anderen europäischen Populationen und den Individuen aus dem Massengrab Kassel über den χ^2 -Test mit den zugehörigen p-Werten ($df=5$).

| | χ^2 -Wert | p-Wert |
|--------------------------|----------------|--------|
| Frankreich | 16,054 | 0,007 |
| - Elsass | 15,917 | 0,007 |
| - Auvergne - Rhône-Alpes | 17,395 | 0,004 |
| - Bretagne | 35,934 | 0,000 |
| - Provence | 11,961 | 0,035 |
| Niederlande | 19,904 | 0,001 |
| Belgien | 16,559 | 0,005 |
| Schweden | 48,22 | 0,000 |
| Deutschland | 9,335 | 0,096 |
| - Ost | 17,455 | 0,004 |
| - West | 10,326 | 0,067 |
| - Süd | 7,279 | 0,201 |
| Österreich | 19,089 | 0,002 |
| Italien (Nord) | 15,771 | 0,008 |
| Portugal | 26,286 | 0,000 |
| Spanien | 21,826 | 0,001 |
| Polen | 72,392 | 0,000 |
| Russland | 83,911 | 0,000 |
| Kassel | 13,114 | 0,022 |

Der paarweise Vergleich der Haplogruppenhäufigkeiten der erwachsenen Individuen aus Rödelheim mit denen anderer europäischer Populationen und dem Massengrab Kassel zeigte ebenfalls signifikante Unterschiede zu nahezu allen Referenzhaplogruppenhäufigkeiten. Werden die Haplogruppen ohne die juvenilen Individuen verglichen, bestehen auch signifikante Unterschiede zu den gesamten französischen Subpopulationen. Die größten Ähnlichkeiten weisen die erwachsenen Individuen zu den deutschen Haplogruppenverteilungen (ausgenommen Ostdeutschland) auf, mit dem höchsten p-Wert bei Süddeutschland (grüne Markierung).

Eine statistische Auswertung der Haplogruppenverteilung der juvenilen Individuen war aufgrund der zu geringen Stichprobengröße nicht möglich. Gleiches gilt für die Auswertung der maturen und senilen (älter adult) Individuen. Durch die geringen Häufigkeiten in einigen Haplogruppen, bspw. 0 in der Haplogruppe I, hätten Haplogruppen noch weiter zusammengefasst werden müssen, um diese über den χ^2 -Test oder einen anderen statistischen Test auswerten zu können. Dies hätte jedoch die Folge, dass die statistische Auswertung weniger Aussagekraft hätte, da sich unterschiedliche Haplogruppenverteilungen durch das Zusammenfassen gegenseitig maskieren

würden. Daher erfolgt eine Auswertung auf einem deskriptiven Niveau: besonders interessant sind beim Vergleich der Haplogruppenverteilungen zwischen den Alterskohorten die Häufigkeit der Haplogruppen R1a und R1b. In der juvenilen Alterskohorte gibt es nur ein Individuum, welches die Haplogruppe R1a (1/41) trägt, dafür über 73% (30/41) die Gruppe R1b. Bei den adulten Individuen besitzen ungefähr 13 % der Individuen die Haplogruppe R1a (12/92) und 58 % R1b (53/92). Bei den älteren Individuen sind es fast ein Viertel der Individuen mit der Gruppe R1a (8/33) und 42 % R1b (14/33). Kurz gesagt: je älter die verstorbenen Individuen waren, desto höher ist der Anteil R1a und desto geringer die Häufigkeit der Haplogruppe R1b. Die Haplogruppe R1a kommt in sehr hohen Frequenzen im Osten Europas vor und nimmt in westlicher Richtung immer weiter ab (Novelletto 2007). Die Häufigkeiten beider Haplogruppen haben dabei eine relativ scharfe Trennung in Mitteleuropa, deren Grenze in etwa an der Deutsch-Polnischen Grenze verläuft (Roewer et al. 2005). Auf die Individuen der Serie Rödelheim übertragen kann der hohe Anteil der Haplogruppe R1b bei der juvenilen Kohorte ein Indikator dafür sein, dass die Individuen weiter in Westeuropa, also westlich des Rheins, rekrutiert wurden. Bei den älteren Individuen deutet der höhere Anteil R1a darauf hin, dass es sich nicht ausschließlich um Individuen aus Westeuropa handelt, sondern die Rekrutierung möglicherweise weiter östlich des Rheins stattgefunden hat. Denkbar wäre, dass es sich bei den verstorbenen erwachsenen Individuen auch vermehrt um Soldaten der Rheinbundstaaten handelt und sich dadurch das höhere Vorkommen der Haplogruppe R1a erklärt. Diese Theorie stützt der statistische Haplogruppenvergleich der erwachsenen Individuen, bei dem die größten Ähnlichkeiten zu Subpopulationen aus Deutschland identifiziert wurden.

Y-HAPLOTYPEN

Die AMOVA Analyse zum Vergleich der Y-Haplotypen der Individuen aus Rödelheim mit denen zahlreicher europäischer Populationen erfolgte über die YHRD Datenbank (der Dank geht an Prof. Dr. Lutz Roewer, der für diese Arbeit einen erweiterten Zugang ermöglichte, um die AMOVA Analyse durchzuführen). Bei der Analyse wurden nur die Systeme verwendet, die den *minimal haplotype* bilden. Darüber hinaus wurden nur Individuen in die Analyse einbezogen, die in jedem dieser Systeme eine Allelausprägung aufwiesen. Unvollständige Haplotypen werden von der Software automatisch aussortiert, da fehlende Allele künstliche Distanzen zwischen den zu vergleichenden Populationen erzeugen. Die AMOVA Analyse konnte somit an 111 Individuen aus Rödelheim durchgeführt werden. Zusätzlich wurden die Haplotypen von 72 Individuen aus Kassel als eigenständige Population in die Analyse mit einbezogen (alle in die AMOVA Analyse einbezogenen Haplotypen können dem Ordner „Molekulargenetik“ auf der Daten-CD entnommen werden; im selben Ordner befindet sich eine von YHRD zusammengestellte Auflistung von

Publikationen, auf deren Basis die Haplotypen der zu vergleichenden Populationen in die Datenbank aufgenommen wurden).

Für die erste Analyse wurden elf europäische Populationen sowie das Massengrab Kassel mit den Haplotypen der Individuen der Skelettserie Rödelheim verglichen (Abbildung 24): Massengrab Kassel (Deutschland, N=72), Oberösterreich (Österreich, N=234), Wallonische Region (Wallon, Belgien, N=48), Toulouse (Frankreich, N=67), Leipzig (Deutschland, N=1114), Mainz (Deutschland, N=104), Piemont (Piedmont, Italien, N=203), Nordbrabant (Noord-Brabant, Niederlande, N=136), Warschau (Warsaw, Polen, N=495), Moskau (Moscow, Russland, N=85), Katalonien (Catalonia, Spanien, N=1415), Västerbotten (Schweden, N=41).

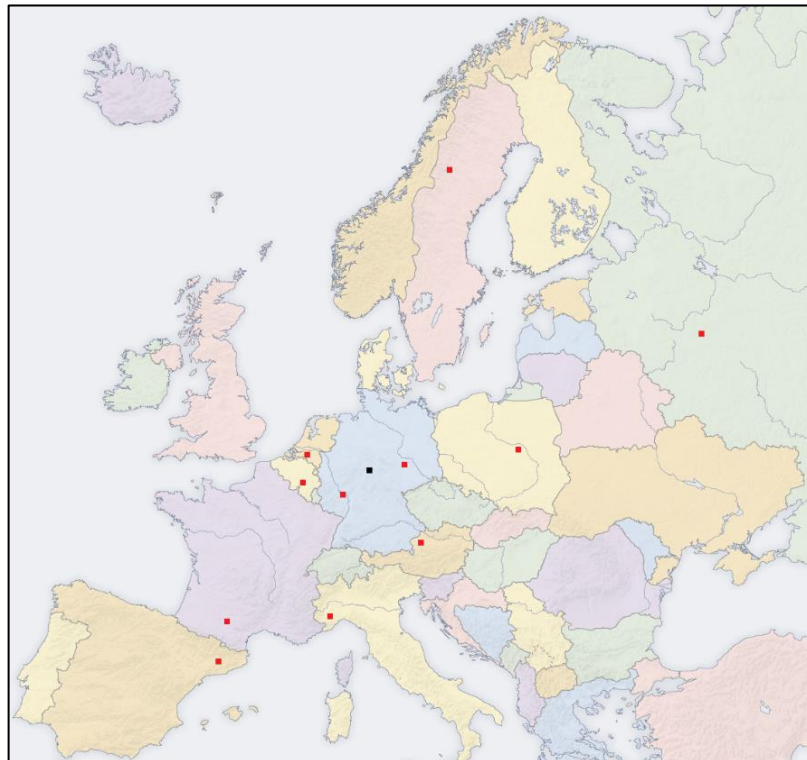


Abbildung 24: Ausgewählte Populationen über Europa (rote Punkte) und das Massengrab Kassel (schwarzer Punkt) für die erste AMOVA Analyse. Abbildung: Internetquelle 4, bearbeitet.

Das Ergebnis der AMOVA Analyse (mit 10.000 Permutationen) ist als Distanzmatrix in Tabelle 22 dargestellt.

Table 22: Ergebnis der AMOVA Analyse mit 10.000 Permutationen als Distanzmatrix (Europa und Individuen aus dem Massengrab Kassel). Unterhalb der Diagonalen sind die R_{ST} -Werte der Populationsvergleiche abgebildet, oberhalb der Diagonalen die dazugehörigen p-Werte (grün hervorgehoben die Populationsvergleiche mit der Serie aus Rödelheim). Fett bzw. kursiv markiert sind nicht signifikante Unterschiede zwischen den Populationen. Unterstrichene Werte markieren die Populationen, die den Individuen aus Rödelheim am ähnlichsten sind.

| Population | Rödelheim | Kassel | Ober- österreich | Walloon | Toulouse | Leipzig | Mainz | Piedmont | Noord- Brabant | Warsaw | Moscow | Catalonia | Väster- botten |
|----------------|----------------|---------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|--------|----------|-------------------|--------|--------|---------------|-------------------|
| Rödelheim | - | 0.1644 | 0.0039 | <u>0.9358</u> | <u>0.7152</u> | 0.1093 | 0.0465 | 0.0320 | 0.0338 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0942 | 0.0152 |
| Kassel | 0.0061 | - | 0.0005 | 0.5975 | 0.5684 | 0.0012 | 0.0029 | 0.0202 | 0.6888 | 0.0000 | 0.0000 | 0.7626 | 0.0041 |
| Oberösterreich | 0.0243 | 0.0491 | - | 0.0416 | 0.0295 | 0.0009 | 0.5758 | 0.0129 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.2328 |
| Walloon | -0.0118 | -0.0058 | 0.0212 | - | 0.9323 | 0.1465 | 0.1033 | 0.1549 | 0.3632 | 0.0000 | 0.0011 | 0.8031 | 0.0813 |
| Toulouse | -0.0058 | -0.0040 | 0.0174 | -0.0138 | - | 0.0392 | 0.1117 | 0.2859 | 0.2959 | 0.0000 | 0.0001 | 0.7361 | 0.0574 |
| Leipzig | 0.0043 | 0.0317 | 0.0133 | 0.0078 | 0.0124 | - | 0.0357 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0039 | 0.0000 | 0.0132 |
| Mainz | 0.0157 | 0.0455 | -0.0021 | 0.0153 | 0.0104 | 0.0087 | - | 0.0704 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0012 | 0.0001 | 0.1094 |
| Piedmont | 0.0151 | 0.0242 | 0.0133 | 0.0090 | 0.0015 | 0.0231 | 0.0094 | - | 0.0006 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.1148 |
| Noord-Brabant | 0.0146 | -0.0042 | 0.0480 | 0.0002 | 0.0014 | 0.0361 | 0.0505 | 0.0301 | - | 0.0000 | 0.0000 | 0.1786 | 0.0020 |
| Warsaw | 0.1058 | 0.1622 | 0.1340 | 0.1249 | 0.1474 | 0.0721 | 0.1320 | 0.1684 | 0.1727 | - | 0.0050 | 0.0000 | 0.0000 |
| Moscow | 0.0540 | 0.1248 | 0.0515 | 0.0697 | 0.0833 | 0.0208 | 0.0462 | 0.0852 | 0.1358 | 0.0241 | - | 0.0000 | 0.0004 |
| Catalonia | 0.0050 | -0.0039 | 0.0476 | -0.0067 | -0.0040 | 0.0324 | 0.0410 | 0.0248 | 0.0021 | 0.1637 | 0.1101 | - | 0.0032 |
| Västerbotten | 0.0402 | 0.0583 | 0.0042 | 0.0266 | 0.0258 | 0.0297 | 0.0146 | 0.0130 | 0.0575 | 0.1692 | 0.0851 | 0.0525 | - |

Aus der Distanzmatrix kann abgelesen werden, dass Rödelheim die geringste genetische Distanz zu den Populationen aus Walloon und Toulouse aufweist. Aber auch zum Massengrab Kassel sowie anderen Populationen aus Leipzig und Katalonien bestehen keine signifikanten Unterschiede. Aufbauend auf diesem Ergebnis wurden in einer zweiten Analyse weitere Populationen aus Mittel- und Westeuropa ausgewählt und mit Rödelheim verglichen: Deutschland (Hamburg, Leipzig, Mainz, Stuttgart), Frankreich (Toulouse, Strasbourg/Straßburg, Rennes, Paris, Marseille, Lyon, Lille, Clermont-Ferrand) und Belgien (Antwerpen, Brüssel, Leuven/Löwen, Limburg, Oost-Vlaanderen/Ostflandern, Vlaams-Brabant/Flämisch-Brabant, Walloon/Wallonische Region).

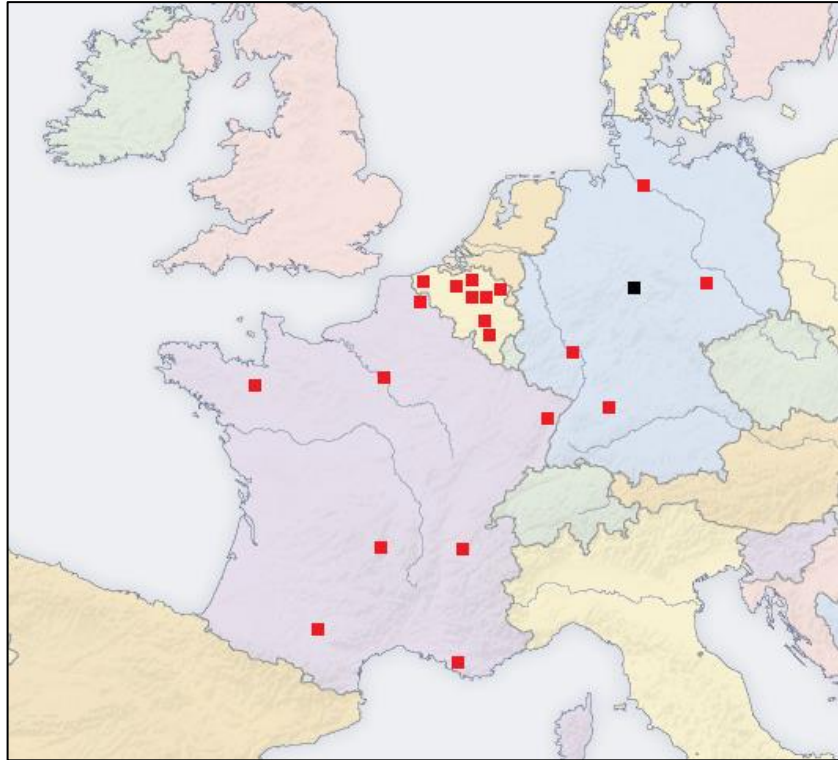


Abbildung 25: Ausgewählte Populationen über Mittel- und Westeuropa (rote Punkte) und das Massengrab Kassel (schwarzer Punkt) für die zweite AMOVA Analyse. Abbildung: Internetquelle 4, bearbeitet.

In der Distanzmatrix (Tabelle 23) zeigen sich weiterhin die geringsten genetischen Distanzen von Rödelheim zu den Populationen aus Walloon und Toulouse. Aber auch zu anderen Populationen aus Belgien, Frankreich und Deutschland sowie weiterhin zu dem Massengrab aus Kassel bestehen keine signifikanten Unterschiede.

| Population | Roedelheim | Kassel | Antw. | Bruss. | Leu-ven | Lim-burg | Oost-V. | Vlaams-B. | Wall-oon | West-V. | Cler-mont-F. | Lille | Lyon | Mar-seille | Paris | Renn-es | Stras-bourg | Tou-louse | Hamb-urg | Leipzig | Mainz | Stutt-gart |
|-------------------------|----------------|---------------|---------|---------------|---------------|---------------|---------|---------------|---------------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|---------------|
| Roedelheim (N=111) | - | 0.1646 | 0.0479 | 0.2675 | 0.3842 | 0.3809 | 0.0103 | 0.1274 | <u>0.9359</u> | 0.0016 | 0.3534 | 0.3316 | 0.0998 | 0.1591 | 0.0083 | 0.0000 | 0.1583 | <u>0.7173</u> | 0.0826 | 0.1100 | 0.0438 | 0.0666 |
| Kassel (N=72) | 0.0061 | - | 0.2380 | 0.2467 | 0.8582 | 0.1607 | 0.2292 | 0.4544 | 0.6022 | 0.4465 | 0.1268 | 0.5098 | 0.0604 | 0.2414 | 0.0040 | 0.0134 | 0.9937 | 0.5583 | 0.0166 | 0.0011 | 0.0036 | 0.0142 |
| Antwerpen (N=317) | 0.0090 | 0.0025 | - | 0.4082 | 0.4979 | 0.2589 | 0.3070 | 0.4075 | 0.4319 | 0.0165 | 0.3337 | 0.6389 | 0.1706 | 0.3188 | 0.0006 | 0.0000 | 0.1918 | 0.5436 | 0.0121 | 0.0000 | 0.0010 | 0.0025 |
| Brussels (N=127) | 0.0017 | 0.0027 | -0.0004 | - | 0.4722 | 0.9777 | 0.1080 | 0.7368 | 0.6593 | 0.0034 | 0.9612 | 0.7542 | 0.5279 | 0.7904 | 0.0650 | 0.0000 | 0.2517 | 0.9812 | 0.0248 | 0.0022 | 0.0585 | 0.0855 |
| Leuven (N=113) | -0.0002 | -0.0069 | -0.0012 | -0.0017 | - | 0.4547 | 0.2978 | 0.9079 | 0.7466 | 0.0946 | 0.3972 | 0.7726 | 0.1498 | 0.2444 | 0.0052 | 0.0009 | 0.8823 | 0.8517 | 0.0539 | 0.0019 | 0.0078 | 0.0330 |
| Limburg (N=149) | -0.0003 | 0.0058 | 0.0012 | -0.0060 | -0.0011 | - | 0.0653 | 0.5895 | 0.6791 | 0.0013 | 0.9208 | 0.5257 | 0.3139 | 0.4892 | 0.0183 | 0.0000 | 0.1751 | 0.9611 | 0.0170 | 0.0011 | 0.0401 | 0.0518 |
| Oost-Vlaanderen (N=198) | 0.0209 | 0.0030 | 0.0005 | 0.0057 | 0.0010 | 0.0077 | - | 0.2559 | 0.1913 | 0.0832 | 0.1095 | 0.4107 | 0.0462 | 0.2124 | 0.0002 | 0.0000 | 0.1277 | 0.2248 | 0.0020 | 0.0000 | 0.0008 | 0.0006 |
| Vlaams-Brabant (N=188) | 0.0054 | -0.0014 | -0.0003 | -0.0034 | -0.0049 | -0.0020 | 0.0012 | - | 0.5821 | 0.0121 | 0.4598 | 0.6192 | 0.1518 | 0.3593 | 0.0025 | 0.0000 | 0.4267 | 0.8944 | 0.0069 | 0.0001 | 0.0058 | 0.0061 |
| Walloon (N=48) | <u>-0.0118</u> | -0.0058 | -0.0013 | -0.0067 | -0.0080 | -0.0065 | 0.0064 | -0.0047 | - | 0.1347 | 0.5630 | 0.8356 | 0.2894 | 0.5077 | 0.0601 | 0.0058 | 0.7407 | 0.9315 | 0.3441 | 0.1426 | 0.1055 | 0.2843 |
| West-Vlaanderen (N=241) | 0.0269 | -0.0010 | 0.0085 | 0.0206 | 0.0060 | 0.0239 | 0.0049 | 0.0125 | 0.0095 | - | 0.0036 | 0.1008 | 0.0010 | 0.0333 | 0.0000 | 0.0006 | 0.1167 | 0.0415 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Clermont-Ferrand (N=89) | 0.0002 | 0.0091 | 0.0004 | -0.0075 | -0.0005 | -0.0064 | 0.0073 | -0.0013 | -0.0050 | 0.0271 | - | 0.8071 | 0.9394 | 0.7283 | 0.2251 | 0.0000 | 0.1273 | 0.9429 | 0.1627 | 0.0363 | 0.2750 | 0.5929 |
| Lille (N=70) | 0.0009 | -0.0026 | -0.0032 | -0.0058 | -0.0059 | -0.0025 | -0.0007 | -0.0036 | -0.0109 | 0.0080 | -0.0071 | - | 0.4986 | 0.6529 | 0.0538 | 0.0002 | 0.5241 | 0.8719 | 0.3467 | 0.0195 | 0.0731 | 0.2785 |
| Lyon (N=125) | 0.0081 | 0.0149 | 0.0028 | -0.0023 | 0.0055 | 0.0006 | 0.0103 | 0.0042 | 0.0024 | 0.0290 | -0.0072 | -0.0023 | - | 0.6534 | 0.3828 | 0.0000 | 0.0299 | 0.6016 | 0.1217 | 0.0069 | 0.2431 | 0.6438 |
| Marseille (N=45) | 0.0092 | 0.0052 | 0.0013 | -0.0086 | 0.0045 | -0.0029 | 0.0051 | -0.0002 | -0.0054 | 0.0230 | -0.0080 | -0.0069 | -0.0063 | - | 0.3352 | 0.0003 | 0.2209 | 0.8050 | 0.0668 | 0.0131 | 0.1694 | 0.1871 |
| Paris (N=199) | 0.0218 | 0.0353 | 0.0205 | 0.0087 | 0.0254 | 0.0134 | 0.0326 | 0.0226 | 0.0184 | 0.0563 | 0.0027 | 0.0136 | -0.0003 | 0.0006 | - | 0.0000 | 0.0002 | 0.0954 | 0.0011 | 0.0000 | 0.3455 | 0.0040 |
| Rennes (N=115) | 0.0582 | 0.0230 | 0.0534 | 0.0604 | 0.0396 | 0.0628 | 0.0522 | 0.0506 | 0.0445 | 0.0310 | 0.0829 | 0.0578 | 0.0898 | 0.0801 | 0.1122 | - | 0.0023 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Strasbourg (N=180) | 0.0043 | -0.0085 | 0.0019 | 0.0016 | -0.0047 | 0.0030 | 0.0041 | -0.0006 | -0.0069 | 0.0038 | 0.0059 | -0.0023 | 0.0131 | 0.0046 | 0.0335 | 0.0284 | - | 0.6527 | 0.0038 | 0.0000 | 0.0008 | 0.0006 |
| Toulouse (N=67) | <u>-0.0058</u> | -0.0040 | -0.0022 | -0.0095 | -0.0072 | -0.0083 | 0.0035 | -0.0070 | -0.0138 | 0.0148 | -0.0097 | -0.0093 | -0.0042 | -0.0106 | 0.0097 | 0.0582 | -0.0041 | - | 0.1527 | 0.0377 | 0.1160 | 0.3120 |
| Hamburg (N=275) | 0.0064 | 0.0179 | 0.0083 | 0.0109 | 0.0083 | 0.0112 | 0.0163 | 0.0139 | 0.0006 | 0.0225 | 0.0042 | 0.0006 | 0.0045 | 0.0138 | 0.0198 | 0.0768 | 0.0161 | 0.0054 | - | 0.0048 | 0.0186 | 0.1030 |
| Leipzig (N=1114) | 0.0043 | 0.0317 | 0.0234 | 0.0181 | 0.0191 | 0.0152 | 0.0379 | 0.0251 | 0.0078 | 0.0457 | 0.0098 | 0.0155 | 0.0133 | 0.0276 | 0.0219 | 0.0829 | 0.0282 | 0.0124 | 0.0074 | - | 0.0390 | 0.0000 |
| Mainz (N=104) | 0.0157 | 0.0455 | 0.0293 | 0.0126 | 0.0283 | 0.0142 | 0.0426 | 0.0278 | 0.0153 | 0.0724 | 0.0020 | 0.0145 | 0.0023 | 0.0088 | 0.0002 | 0.1353 | 0.0413 | 0.0104 | 0.0146 | 0.0087 | - | 0.0835 |
| Stuttgart (N=2454) | 0.0060 | 0.0182 | 0.0073 | 0.0046 | 0.0081 | 0.0051 | 0.0154 | 0.0090 | 0.0021 | 0.0270 | -0.0020 | 0.0014 | -0.0016 | 0.0054 | 0.0093 | 0.0765 | 0.0160 | 0.0006 | 0.0018 | 0.0089 | 0.0052 | - |

Tabelle 23: Ergebnis der AMOVA-Analyse mit 10.000 Permutationen als Distanzmatrix (Mitte-/Westeuropa und Individuen aus dem Massengrab Kassel). Unterhalb der Diagonalen sind die R_s-Werte der Populationsvergleiche abgebildet, oberhalb der Diagonalen die dazugehörigen p-Werte (grün hervorgehoben die Populationsvergleiche mit der Serie aus Rödelheim). Fett bzw. kursiv markiert sind nicht signifikante Unterschiede zwischen den Populationen. Unterstrichene Werte markieren die Populationen, die den Individuen aus Rödelheim am ähnlichsten sind.

Die Haplotypen der juvenilen und erwachsenen Alterskohorten wurden in gleicher Weise verglichen. Auch bei der AMOVA wurden Individuen mit unvollständigen Haplotypen von der Analyse ausgeschlossen. Die AMOVA der erwachsenen Individuen (N=90) zeigte ein ähnliches Ergebnis, wie die Untersuchung des gesamten Skelettkollektivs. Auch bei den erwachsenen Individuen wurde die geringste genetische Distanz zu der Population aus Walloon identifiziert, die genetische Distanz zu der Population zu Toulouse ist ebenfalls gering, jedoch höher als im Vergleich des gesamten Rödelheim-Kollektivs. Darüber hinaus gab es keine signifikanten Unterschiede zu zahlreichen Populationen aus Belgien und Frankreich. Im Vergleich zur AMOVA des gesamten Skelettkollektivs zeigen die erwachsenen Individuen höhere Ähnlichkeiten zu den deutschen Subpopulationen aus Hamburg, Leipzig und Stuttgart (Tabelle A20 im Anhang A). Die AMOVA der Haplotypen der juvenilen Individuen zeigen keine signifikanten Unterschiede zu nahezu jeder Vergleichspopulation, wobei die geringsten genetischen Distanzen zu den belgischen Population Brüssel und Limburg sowie den französischen Populationen aus Clermont-Ferrand, Marseille und Toulouse bestand. Ebenfalls relativ geringe genetische Distanzen konnten zum deutschen Mainz identifiziert werden (Tabelle A21 im Anhang A).

Die Haplogruppen- sowie Haplotypenverteilung der Individuen aus Rödelheim zeigen grundsätzlich in dieselbe Richtung. Betrachtet man die Haplogruppen des gesamten Skelettkollektivs, zeigen sich zu fast allen Vergleichspopulationen signifikante Unterschiede. Zu der Vergleichspopulation aus der Provence in Frankreich konnten dennoch Ähnlichkeiten gefunden werden, und auch zur Population aus Süddeutschland lag der p-Wert nahe des Signifikanzniveaus. Auf der Ebene der Haplotypen konnten die größten Ähnlichkeiten zu Populationen aus Walloon und Toulouse identifiziert werden. Beim Vergleich der Haplogruppenverteilungen über die einzelnen Alterskohorten konnten sehr unterschiedliche Häufigkeiten der Haplogruppen R1a und R1b gefunden werden: je älter die Individuen im Kollektiv, desto häufiger der Anteil R1a in der Population. Dies deutet darauf hin, dass die juvenilen Individuen eher weiter westlich in Mitteleuropa, die älteren Individuen eher östlich des Rheins rekrutiert wurden. Möglich wäre, dass sich unter den erwachsenen Individuen vermehrt Soldaten der Rheinbundstaaten befinden und somit den höheren Anteil der Haplogruppe R1a erklären. Diese Theorie wird gestützt durch den χ^2 -Test der erwachsenen Individuen aus Rödelheim, bei dem die größten Ähnlichkeiten zu Subpopulationen aus Deutschland identifiziert wurden. Auch die Haplotypen zeigen ein ähnliches Bild: im Vergleich zum gesamten Kollektiv zeigen die erwachsenen Individuen auch in der AMOVA die geringsten genetischen Distanzen zur Population aus Walloon, aber auch höhere Ähnlichkeiten zu einigen deutschen Subpopulationen. Die juvenilen Individuen hingegen zeigen die höchsten Ähnlichkeiten zu Populationen aus Belgien und Frankreich sowie der deutschen Subpopulation aus Mainz.

Interpretation

Über den Vergleich der Y-Haplotypen und Y-Haplogruppen konnte gezeigt werden, dass die Individuen des Skelettkollektivs keinen gemeinsamen lokalen Ursprung haben. Zwar ist eine Herkunft aus dem westlichen Mitteleuropa eher wahrscheinlich, wobei es jedoch starke Unterschiede zwischen den verschiedenen Alterskohorten zu geben scheint. Bei den jüngeren Individuen scheint eine Herkunft westlich des Rheins wahrscheinlich, bei den erwachsenen Individuen scheinen auch Individuen in der Kohorte zu sein, die eher östlich des Rheins rekrutiert wurden. Möglich wäre es, dass es sich bei ihnen um Soldaten des Rheinbundes handelt.

6.3 TRUPPENBEWEGUNG

6.3.1 ANZEICHEN HOHER PHYSISCHER BELASTUNG

Die napoleonischen Soldaten zählten zu den Schnellsten ihrer Zeit. Die Männer marschierten andauernd quer durch Europa, wobei sie ihre gesamte Ausrüstung auf dem Rücken trugen. Im Rahmen der anthropologischen Bearbeitung der Individuen aus Rödelheim sollten skelettmanifeste Hinweise der hohen physischen Belastung nachgewiesen werden. Dafür wurden im Rahmen dieser Arbeit unspezifische periostale Reaktionen auf den Langknochendiaphysen der unteren Extremität aufgenommen. Darüber hinaus wurden Stressfrakturen an den Fußknochen, Knorpeldefekte (*Osteochondrosis dissecans*) und Eburnisationen an den Knochen der unteren Extremität, Enthesiopathien an den Claviculae sowie Abdrücke Schmorlscher Knorpelknötchen in den Wirbelkörperdeckplatten und verknöcherte Sehnenansätze des *Ligamentum flavum* an den Wirbelbögen systematisch im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) aufgenommen.

DEGENERATIVE VERÄNDERUNGEN AN DEN GROßEN GELENKEN UND WIRBELN

Die Ergebnisse der Untersuchung der degenerativen Veränderungen der großen Gelenke und Wirbel wurden bei der Auswertung berücksichtigt, um einen Eindruck über die physische Belastung der Soldaten zu erhalten. Wie im Kapitel 6.2.5 beschrieben zeigten die Individuen der Serie Rödelheim insbesondere im Bereich des unteren Sprunggelenks und der unteren Brust- und Lendenwirbelsäule stärkere degenerative Veränderungen, die auch im Vergleich zu den Individuen der Referenzserien Inden und Campus signifikant waren. Trotz der relativ kleinen Stichprobe an Individuen der verglichenen Referenzserien ist dies ein deutlicher Hinweis darauf, dass die Individuen des Kollektivs Rödelheim stärkerer physischer Belastung ausgesetzt waren. Diese Belastung scheint insbesondere im Bereich der unteren Extremität und der Wirbelsäule hoch gewesen zu sein, bspw. durch langanhaltendes Marschieren mit schwerem Gepäck auf dem Rücken (Frye 2018).

UNSPECIFISCHE PERIOSTALE REAKTIONEN

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die unspezifischen periostalen Reaktionen aufgenommen und ausgewertet, um weitere Anhaltspunkte für die starke körperliche Belastung der Individuen zu finden (Abbildung 26). Dafür wurden bei 192 Individuen die Langknochen der unteren Extremität untersucht. Bei insgesamt 122 bzw. 63,5 % der Individuen konnten streifige periostale Reaktionen unterschiedlicher Ausprägungen nachgewiesen werden, mit einem durchschnittlichen Ausprägungsgrad von $\bar{x}=1,15$. Bei der Auswertung konnte festgestellt werden, dass die erwachsenen Individuen weniger periostalen Reaktionen aufweisen als die juvenilen (~68 % vs.

~87%). Die Veränderungen auf den Langknochen der erwachsenen wiesen aber einen durchschnittlich schwereren Ausprägungsgrad als die der juvenilen Individuen auf. Ein statistischer Vergleich der durchschnittlichen Ausprägungsgrade der periostalen Reaktionen an den Langknochen zeigte, dass die erwachsenen Individuen ($n=146$, $\bar{x}=1,24$, $\tilde{x}=2$) schwerer von periostalen Reaktionen betroffen waren als die juvenilen Individuen ($n=46$, $\bar{x}=0,87$, $\tilde{x}=0,5$). Die Unterschiede waren signifikant (Mann-Whitney-U-Test: $p=0,0245$, $Z=-2,2487$, 95% region of acceptance: $[-1,96 : 1,96]$).



Abbildung 26: Tibia des Individuums Rö 30,5 mit unspezifischen, streifigen periostalen Reaktionen des Schweregrads 3 (links makroskopische Aufnahme des Diaphysenausschnitts).

ENTHESIOPATHIEN AN DEN CLAVICULAE

Im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) wurden die Enthesiopathien an den Ansatzstellen des *Ligamentum costoclaviculare* an den Claviculae der rechten ($N=154$) und linken ($N=157$) Körperseite untersucht (Abbildung 27). Die Autorin konnte bei 148 Individuen beide Claviculae beurteilen und stellte fest, dass nur 38 Individuen keine Enthesiopathien aufwiesen. Bei den übrigen Individuen konnte sie zeigen, dass die Entesen in der Mehrzahl der Fälle an beiden Claviculae gleich stark ausgeprägt waren. Eine Korrelation zwischen dem Alter der Individuen und dem Ausprägungsgrad der Enthesiopathien konnte nicht festgestellt werden.



Abbildung 27: Verschiedene Schweregrade von Enthesiopathien an der Ansatzstelle des *Ligamentum costoclaviculare* an der Clavicula. A) Schweregrad 1, B) Schweregrad 2, C) Schweregrad 2,5 und D) Schweregrad 3. Foto: ©Michehl.

Auf Basis der Daten von Michehl (2020) konnte ein durchschnittlicher Ausprägungsgrad der Enthesen der linken ($\bar{x}=1,25$) und rechten ($\bar{x}=1,32$) Seite ermittelt werden. Da bei der Untersuchung der periostalen Reaktion ein Unterschied zwischen den juvenilen und erwachsenen Individuen festgestellt wurde, wurde auch bei den Enthesiopathien statistisch auf Unterschiede zwischen den Individuen der zwei Alterskohorten geprüft. Exemplarisch wurde sich auf die Ausprägungsgrade der rechten Körperseite beschränkt. Die juvenilen Individuen ($n=40$, $\bar{x}=1,075$, $\bar{X}=1$) zeigten im Vergleich zu den erwachsenen Individuen ($n=125$, $\bar{x}=1,396$, $\bar{X}=1$) einen durchschnittlich schwächeren Ausprägungsgrad der Enthesen. Der Vergleich der Mediane über den Mann-Whitney-U-Test konnte zeigen, dass die Unterschiede aber nicht signifikant sind, dennoch nahe am Signifikanzniveau liegen ($p=0,09049$, $Z=-1,6928$, 95% region of acceptance: $[-1,96 : 1,96]$).

PATHOLOGIEN AN DEN FUßKNOCHEN (MARSCHFRAKTUREN, OSTEOCHONDROSIS DISSECANS UND EBURNISATIONEN)

Die Stressfrakturen an den Fußknochen wurden im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) untersucht. Bei 166 Individuen waren die Knochen des Fußskeletts so gut überliefert, dass sie in die Untersuchung mit einbezogen werden konnten. Insgesamt konnten 40 dieser Stressfrakturen identifiziert werden, 35 waren dabei an den Metatarsalia lokalisiert, sog. Marschfrakturen, und fünf an den Phalangen (Abbildung 28). Darüber hinaus wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Stressfrakturen und dem Alter festgestellt werden kann. Bei nahezu einem Zehntel (9,7 %) der untersuchten juvenilen Individuen konnten Stressfrakturen identifiziert werden, was im Vergleich zu den erwachsenen Individuen die geringste Häufigkeit darstellt. Am häufigsten konnten Marschfrakturen in der frühmaturen Altersklasse diagnostiziert werden (39,1 %). Die statistische Analyse ergab eine signifikante mittlere Korrelation zwischen dem Alter und dem Auftreten von Stressfrakturen (Michehl 2020).



Abbildung 28: Mittelfußknochen des Individuums Rö 28,5 mit einer Stressfraktur und Kallusbildung am 3. Metatarsus (Verdickung). Foto: ©Michehl.

Die Ergebnisse sind jedoch mit Einschränkungen zu betrachten, da nicht eindeutig geklärt werden konnte, ob die Autorin bei ihren Berechnungen tatsächlich alle Marschfrakturen berücksichtigt hat (vgl. Tabelle 5 und Tabelle 6 in Michehl (2020)). Darüber hinaus wurden bei einem Individuum (Rö 35,8) Marschfrakturen aufgenommen, die sich bei weiteren Untersuchungen als Frakturen in Folge (vermutlich) eines Unfalls herausstellten (multiple Frakturen der Tibia, Fibula und weiterer Fußknochen). Deshalb wurden das Auftreten von Stressfrakturen im Rahmen dieser Arbeit erneut ausgewertet und die Häufigkeiten zwischen den Individuen der unterschiedlichen Alterskohorten nochmals verglichen (juvenil: N=45, erwachsen: N=144). Bei den juvenilen Individuen konnten insgesamt 10 Stressfrakturen bei 8 von 45 Individuen nachgewiesen werden, was einer Frequenz von circa 18 % entspricht (17,78 %). Bei den erwachsenen Individuen konnten annähernd die gleichen Häufigkeiten ermittelt werden: von den 144 untersuchten Individuen wiesen 27 Individuen insgesamt 26,5 Stressfrakturen auf (Marschfrakturen der Metatarsalia wurden mit 1, Stressfrakturen der Phalangen wurden mit 0,5 in die Gesamtzahl mit eingerechnet), was einer Frequenz von circa 19 % (18,75 %) entspricht.

Bei den paläopathologischen Untersuchungen im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) wurde an zahlreichen Knochen Spuren von Knorpeldefekten in Form einer *Osteochondrosis dissecans* diagnostiziert. Diese waren in erster Linie an Knochen der unteren Extremität lokalisiert. Bei mehr als einem Drittel der Individuen (75 von 200) wurde mindestens ein Knorpeldefekt an den Knochen der unteren Extremität diagnostiziert, bei 36 Individuen konnten auch multiple Defekte nachgewiesen werden (122 Knorpeldefekte bei 200 Individuen, Abbildung 29). Dabei konnten keine großen Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Alterskohorten festgestellt werden (juvenile Individuen: 34,7 %, erwachsene Individuen: 38,4 %).

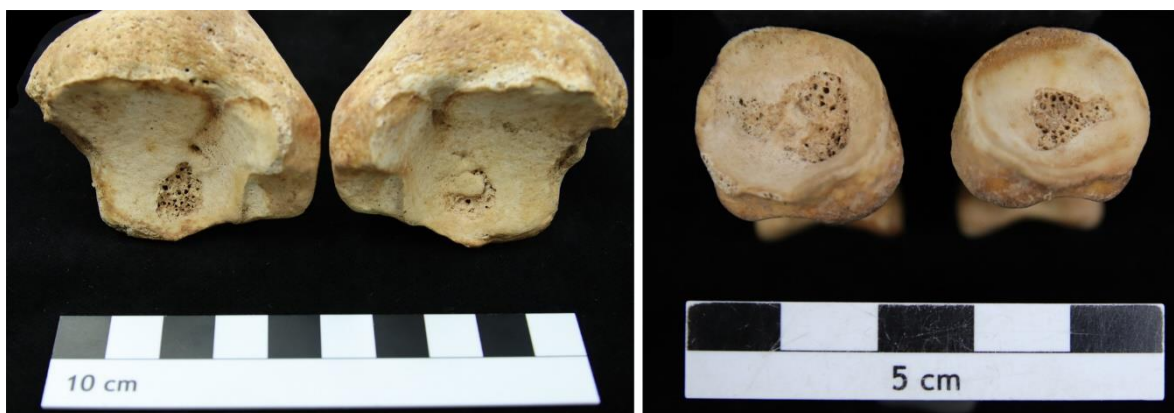


Abbildung 29: Bilateral diagnostizierte *Osteochondrosis dissecans* an den Tibiae des Individuums Rö 31,1 (links) und den Metatarsalia des Individuums Rö 25,6 (rechts). Foto: ©Michehl.

Darüber hinaus konnte bei zwei Individuen, Rö 9,2 und Rö 32,2, je eine Erburnisation im Bereich der distalen Epiphysen des ersten Metatarsus festgestellt werden (Abbildung 30).



Abbildung 30: Distale Epiphyse am ersten Metatarsus des Individuums Rö 32,2. Deutlich zu erkennen ist die glänzende, eburnierte Oberfläche. Foto: ©Michehl.

PATHOLOGIEN AN DER WIRBELSÄULE

Über die allgemeine Belastung auf der Wirbelsäule der Individuen der Serie Rödelheim sollen sowohl die von Frye (2018) aufgenommenen Daten der degenerativen Veränderungen, als auch das Auftreten von Abdrücken Schmorlscher Knorpelknötchen an den Wirbelkörpern sowie Verknöcherungen des *Ligamentum flavum* an den Wirbelböden Aufschluss geben.

Bei der Untersuchung auf Abdrücke Schmorlscher Knorpelknötchen durch Michehl (2020) konnten die Wirbel von 158 Individuen untersucht werden. Bei über der Hälfte der Individuen (89 von 158, 56 %) konnten Abdrücke Schmorlscher Knorpelknötchen unterschiedlicher Schweregrade diagnostiziert werden (Abbildung 31). Bei mindestens 13 Individuen waren die Schmorlschen Knorpelknötchen zu Lebzeiten soweit ausgeprägt, dass diese am dorsalen Rand des Wirbelkörpers durchbrachen und einen Bandscheibenvorfall hervorgerufen haben. Im Anschluss wurde geprüft, ob es eine Abhängigkeit zwischen dem Alter der Individuen und dem Auftreten der Pathologie gibt. Michehl (2020) stellte fest, dass das Auftreten der Abdrücke Schmorlscher Knorpelknötchen über die Altersklassen einer Gauß-Verteilung ähnelt, wobei die jungen Individuen häufiger Abdrücke schwererer Ausprägungsgrade aufweisen. Ein statistischer Zusammenhang konnte jedoch nicht festgestellt werden.



Abbildung 31: Abdrücke Schmorlscher Knorpelknötchen unterschiedlicher Schweregrade an Wirbeln des Individuums Rö 34,6. Foto: ©Michehl.

Eine Ossifikation des *Ligamentum flavum* unterschiedlicher Ausprägungsgrade an den Wirbelbögen konnte bei circa einem Drittel der untersuchten Individuen diagnostiziert werden (54 von 157 Individuen, 34,4 %, Michehl 2020), wobei die Verknöcherung in der Regel im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule lokalisiert waren (Michehl 2020). Die Ossifikation des *Ligamentum flavum* wurde nur in geringen Häufigkeiten bei jungen Individuen nachgewiesen. Die statistische Analyse konnte zeigen, dass es eine starke, signifikante Korrelation zwischen dem Auftreten der Verknöcherung des *Ligamentum flavum* und dem Alter der Individuen gibt. Ein Zusammenhang zwischen der Ossifikation des *Ligamentum flavum* und dem Auftreten von Abdrücken Schmorlscher Knorpelknötchen konnte nicht festgestellt werden.

Interpretation

Im Rahmen der anthropologischen Untersuchungen konnten zahlreiche pathologische Veränderungen gefunden werden, die Hinweise auf eine starke physische Belastung zu Lebzeiten der Individuen geben. Bereits die degenerativen Veränderungen der großen Gelenke und Wirbel wurden im Rahmen der Arbeit von Frye (2018) als Folge einer hohen körperlichen Belastung der jungen Individuen, insbesondere im Bereich der unteren Extremität, interpretiert.

Bei über 60 % der untersuchten Individuen (122 von 192) konnten unspezifische periostale Reaktionen auf den Knochenoberflächen der unteren Extremität nachgewiesen werden. Bei den juvenilen Individuen konnten zwar deutlich häufiger periostale Reaktionen festgestellt werden (~87 %), die Intensität der Veränderungen waren aber signifikant schwächer als bei den erwachsenen Individuen. Unspezifische periostale Reaktionen können Folge zahlreicher pathologischer Prozesse bspw. Mangelernährung oder Infektionserkrankungen sein, können aber auch durch ständige physische (Über-)Belastung der Knochen erklärt werden (z.B. Ortner 2003). Bei Untersuchungen an Individuen des Kassler Massengrabs waren die unspezifischen periostalen Reaktionen an den Tibiae die häufigste pathologische Veränderung (82,7 %, Grumbkow 2013). Ein direkter Vergleich der Häufigkeiten mit denen der Individuen aus Rödelheim ist jedoch schwierig, da die Daten von Grumbkow (2013) an einem Konglomerat an Knochen, nicht aber individuenweise erhoben werden konnten. Anders ist es bei Skeletten aus Aspern und Esslingen, bei denen circa ein Viertel der Individuen, also deutlich weniger als bei den Individuen aus Rödelheim, periostale Reaktionen aufwiesen (Quade und Binder 2018). Ein Vergleich in derselben Studie zeigte, dass periostale Reaktionen zwischen Individuen unterschiedlicher militärischer Hintergründe stark variieren können, bspw. Snakehill ~9 % (Pfeiffer und Williamson 1991, Amerika Zeitstellung 1812), Kaliningrad ~6 % (Dutour und Buzhilova 2014, napoleonische Armee 1812) und Marchettigasse 71 % (Binder 2008, theresianisch-josephinischen Armee 18. Jhd.). Quade und Binder (2018) begründeten dies vorrangig mit möglichen unterschiedlichen physischen Anforderungen an verschiedene (Sub-)Populationen von Soldaten, unterschiedlichem Krankheitsdruck oder einer Kombination aus mehreren Einflussfaktoren. Auch die fehlende Standardisierung bei der Datenaufnahme zwischen den Studien als Ursache unterschiedlicher Ergebnisse schlossen sie nicht aus. Sie kamen jedoch zu dem Schluss, dass die hohe physische Belastung der Soldaten sicher auch zu einem gewissen Teil Einfluss auf die periostalen Reaktionen hatte (Quade und Binder 2018). Abschließend kann also gesagt werden, dass von einer direkten Ableitung aus der Häufigkeit des Auftretens periostaler Reaktionen Abstand genommen werden sollte. Daher ist auch der höhere durchschnittliche Ausprägungsgrad der periostalen Reaktionen bei den erwachsenen Individuen aus Rödelheim im Vergleich zu den juvenilen Individuen schwierig zu interpretieren. Möglich ist natürlich, dass die Individuen mehr bzw. langanhaltenderen Stress ausgesetzt waren. Aber auch andere Einflussfaktoren sind möglich. Was aus dem Auftreten von periostalen Reaktionen bei Individuen aus Rödelheim aber zumindest abgeleitet werden kann ist, dass es Einflussfaktoren gab, die zu einer Entzündung des Periosts der Langknochen geführt haben. Eine andauernde physische (Über-)Belastung der unteren Extremität als eine der Ursachen, durch bspw. lange Truppenbewegungen und das Tragen von schlechtem Schuhwerk, kann zumindest plausibel angenommen werden.

Bei den Untersuchungen der Enthesiopathien konnte im Rahmen dieser Arbeit gezeigt werden, dass der durchschnittliche Ausprägungsgrad der Entesen bei den erwachsenen Individuen im Vergleich zu den juvenilen Individuen zwar höher ist, die Unterschiede aber nicht signifikant sind. Ähnliches konnte bereits durch Michehl (2020) gezeigt werden, denn sie konnte keine Korrelation zwischen dem Individualalter der Individuen und dem Ausprägungsgrad der Entesen feststellen (Michehl 2020). Die Autorin begründete ihr Ergebnis damit, dass die Individuen der Serie Rödelheim vermutlich eine ähnliche physische Belastung zu Lebzeiten erfahren haben und daher der Einfluss des Alters beim Ausprägungsgrad der Entesen vernachlässigt werden kann. Dagegen sprechen jedoch die Ergebnisse von Salega und Grosskopf (2022), die bei den Individuen aus der Serie Inden zumindest für das Auftreten einiger Entesen einen Zusammenhang zwischen dem Individualalter und der Stärke der Ausprägung finden konnte. Jedoch konnten sie keinen allgemeinen Zusammenhang zwischen dem Beruf und der Ausprägung von Entesen feststellen und begründeten dies mit unterschiedlichen Aktivitätsmustern, denen die Individuen im Leben nachgegangen sind. Michehl (2020) nutze für ihre Argumentation die Ergebnisse einer Studie von Milella et al. (2012), die an geschlechts-, alters- und berufsbekanntem Skeletten feststellen konnten, dass es zwar eine Abhängigkeit zwischen dem Alter des Individuums und dem Ausprägungsgrad der Enthesiopathie gibt, die Korrelation aber geringer ist, wenn die Individuen einem hohen, physischen Aktivitätslevel nachgingen (Milella et al. 2012, 2015). Die Ergebnisse sprechen also dafür, dass die Individuen der Serie Rödelheim einer höheren körperlichen Belastung ausgesetzt waren, die insbesondere auch auf den Schultergürtel gewirkt hat, bspw. durch das Tragen des mitgeführten Gepäcks auf dem Rücken. Ähnliche Veränderungen konnten auch bei den Skeletten anderer Soldaten der napoleonischen Ära beobachtet werden, bspw. bei den Individuen aus dem Massengrab Kassel, aus Wagram, Leipzig und Austerlitz (Grumbkow 2013; Teegen 2014; Westphalen 2016; Vymazalová et al. 2021; Grabmayer und Binder 2021).

Insgesamt konnte bei 35 Soldaten aus Rödelheim verheilte Frakturen im Bereich der Metatarsalia bzw. Fußphalangen diagnostiziert werden (18,5 %). Die Frakturen der Metatarsalia werden allgemein als Stress- bzw. Marschfrakturen angesprochen, weil sie das Resultat widerkehrender Mikrotraumata am Knochen sind, die durch hohe physische Belastung, bspw. durch langanhaltendes Marschieren, hervorgerufen werden (Bernstein et al. 1946; Weinfeld et al. 1997; Waldron 2009). In den historischen Quellen wird berichtet, dass auch Larrey, der Leibarzt Napoleons, über das vielfältige Auftreten von Frakturen der Fußknochen berichtet, die er Rekrutenbrüche nannte. Als Ursache nannte er, dass die Knochen der jungen Männer noch nicht ausgereift seien und deshalb für Gewaltmärsche noch nicht geeignet wären (Marchioni 2003 nach Muhlstein 2008). Und auch die Ergebnisse der anthropologischen Untersuchungen an Skeletten napoleonischer Soldaten konnten häufig das Auftreten von Marschfrakturen belegen (z.B. Dutour

und Buzhilova 2014; Quade und Binder 2018; Grabmayer und Binder 2021). Dabei sind die Häufigkeiten von Marschfrakturen innerhalb der Serien (soweit angegeben) mit den Frequenzen der Soldaten aus Rödelheim entweder vergleichbar oder liegen leicht darunter (Aspern: ~16 %, Wagram: ~10 %). Im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) wurde untersucht, ob das Alter mit dem Auftreten von Marschfrakturen korreliert. Moderne Studien an Soldaten der israelischen Armee haben gezeigt, dass junge Rekruten, die eher selten sportlich aktiv waren, eher von Marschfrakturen betroffen sind (Milgrom et al. 1994; Finestone und Milgrom 2008). Dieser Zusammenhang konnte bei den Individuen aus Rödelheim nicht festgestellt werden (Michehl 2020). Die Autorin argumentiert, dass es sich bei den jungen Soldaten möglicherweise um Mitglieder der ärmeren sozialen Schicht handelte, die bereits vor dem Militärdienst körperlich aktiv sein mussten und daher nicht so anfällig für das Auftreten von Stressfrakturen waren. Für die stärkere physische Aktivität im Kinder- und Jugendalter spricht auch, dass bei den Individuen aus Rödelheim ein relativ hoher Anteil von akzessorischen Knochen im Bereich des Fußskeletts identifiziert wurden (Michehl 2020). So begründete die Autorin, dass angenommen wird, dass das Einwirken von Mikrotraumata auf die Ossifikationszentren der betroffenen Knochenkerne, bspw. hervorgerufen durch physische Belastung, den knöchernen Anschluss an den Knochen verhindert (Schulthess Klinik 2023). Das hohe Auftreten von akzessorischen Knochen im Kollektiv kann also möglicherweise im Zusammenhang mit stärkerer körperlicher Belastung in der Kindheit und Jugend und somit einem ärmeren sozialen Stand interpretiert werden. Im Hinblick auf den hohen Anteil von Marschfrakturen bei den älteren Individuen führte sie aber auch an, dass es sich bei ihnen um Individuen handeln könnte, die vor dem Russlandfeldzug noch nicht rekrutiert wurden, bspw. Männer der wohlhabenderen Bevölkerungsschicht, die körperlich nicht so aktiv waren und somit eher anfällig für das Auftreten von Stressfrakturen waren.

Eine weitere Auffälligkeit bei der Untersuchung der Individuen aus Rödelheim war, dass das Auftreten von *Osteochondrosis dissecans* an den Gelenken der unteren Extremität mit über einem Drittel betroffener Individuen sehr hoch schien. Um die Häufigkeit aber abschließend bewerten zu können, fehlen umfassende Studien am archäologischen Material. Fußknochen sind häufig nicht bzw. nicht vollständig überliefert und wenn doch, werden sie in vielen Untersuchungen eher vernachlässigt. Dennoch gibt es auch bei Individuen anderer napoleonischer Skelettserien Berichte über das Auftreten von *Osteochondrosis dissecans* an den Gelenken (Meyer 2003; Cooper 2006; Vymazalová et al. 2021; Grabmayer und Binder 2021). Obwohl eine genetische Disposition bei der Entstehung einer *Osteochondrosis dissecans* eine Rolle spielt (z.B. Mann und Hunt 2005), ist bei über einem Drittel betroffener Individuen dies als alleiniger Grund eher als unwahrscheinlich zu erachten. Wahrscheinlicher ist auch hier, dass die andauernde mechanische (Über-)Belastung der Knochen der unteren Extremität zu wiederkehrende Mikrotraumata des Knorpels geführt haben

und im Weiteren der subchondrale Knochen geschädigt wurde (Aufderheide und Rodríguez-Martín 1998).

Veränderungen in Form von Schmorlscher Knorpelknötchen treten im höheren Alter gehäuft auf (Aufderheide und Rodríguez-Martín 1998). Die Individuen der Serie Rödelheim sind größtenteils deutlich jünger und dennoch weisen über der Hälfte der Individuen Abdrücke Schmorlscher Knorpelknötchen in den Deckplatten der Wirbelkörpern auf und zwar über die Altersklassen gleichmäßig verteilt (Michehl 2020). Die Autorin verglich die Häufigkeiten der Abdrücke Schmorlscher Knorpelknötchen mit den Ergebnissen einer Studie von Jiménez-Brobeil et al. (2012), die an Skeletten von Soldaten signifikant mehr Abdrücke Schmorlscher Knorpelknötchen fanden, als bei der Vergleichspopulation von Bauern. Michehl (2020) konnte bei den Individuen der Serie Rödelheim ähnliche Frequenzen feststellen. Abdrücke Schmorlscher Knorpelknötchen wurden auch an zahlreichen Skeletten napoleonischer Soldaten diverser Referenzskelettserien in teilweise ähnlichen Häufigkeiten diagnostiziert (Meyer 2003; Cooper 2006; Dutour und Buzhilova 2014; Westphalen 2016; Vymazalová et al. 2021; Grabmayer und Binder 2021). Beim Vergleich der Häufigkeiten der Ossifikationen des *Ligamentum flavum* an den Wirbelbögen konnte Michehl (2020) nur wenige Studien finden, die sich mit dem Auftreten, der Häufigkeit sowie der Entstehungsursache der Pathologie beschäftigen. Geber und Hammer (2018) untersuchten die Wirbelsäulen von Individuen aus einem Arbeitshaus des 19. Jahrhunderts, welche der untersten sozialen Schicht angehört haben sollen, auf Verknöcherungen vom *Ligamentum flavum*. Michehl (2020) verglich die Ergebnisse mit den Häufigkeiten bei den Individuen der Skelettserie Rödelheim und konnte ähnliche Frequenzen zu den Individuen aus dem Arbeitshaus feststellen. Das gehäufte Auftreten der Ossifikationen des *Ligamentum flavum* an den Wirbelbögen sowie die Abdrücke Schmorlscher Knorpelknötchen auf den Wirbelkörperdeckplatten der Individuen aus Rödelheim wurden dahingegen interpretiert, dass sie eine ähnliche hohe physische Belastung zu Lebzeiten erfahren haben, wie es auch die Individuen aus den Vergleichsstudien haben (Michehl 2020).

Ein weiterer systematischer Vergleich der paläopathologischen Veränderungen mit Ergebnissen anderer Studien an Skeletten napoleonischer Soldaten, insbesondere auch anderer Zeitstellungen, ist schwierig. Wie bereits angesprochen werden anthropologisch gewonnenen Daten nur sehr selten standardisiert aufgenommen, was einen detaillierten Vergleich mit anderen Serien nur in wenigen Fällen möglich macht. Dennoch ist zu sagen, dass die hier diagnostizierten pathologischen Veränderungen häufig an Skeletten napoleonischer Soldaten diagnostiziert werden können und mit der hohen physischen Belastung der Individuen begründet werden (Miquel-Feucht et al. 1999; Lunardini et al. 2002; Meyer 2003; Cooper 2006; Buzhilova et al. 2008; Shvedchikova 2012;

Grumbkow 2013; Teegen 2014; Westphalen 2016; Quade und Binder 2018; Vymazalová et al. 2021; Grabmayer und Binder 2021).

6.3.2 HINWEISE AUF TRUPPENZUGEHÖRIGKEIT (INFANTERIE, KAVALLERIE UND ARTILLERIE)

Im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) wurde versucht, morphologische Anhaltspunkte zur Unterscheidung verschiedener Truppenteile, insbesondere Infanterie und Kavallerie, zu finden. Die Autorin nahm bei ihren paläopathologischen Untersuchungen zusätzliche morphologische Veränderungen auf, die im Zusammenhang mit einer Reittätigkeit stehen. Hier sind vor allem facettenartige Veränderungen am Femurhals in Form einer Poirier-Facette (Reiterfacette) in Kombination mit starken Enthesen an den Muskelansätzen der Oberschenkeladduktoren sowie ausgeprägten Ossifikationen der Sehnenansätze des *Ligamentum flavum* an den Wirbelbögen und eher geringeren Ausprägungsgrade der Enthesen an den Sehnenansätzen für das *Ligamentum costoclaviculare* an den Claviculae zu erwarten. Bei den einfachen Fußsoldaten der Infanterie sind es dagegen eher die morphologischen Veränderungen der unteren Extremität, die auf eine hohe physische (Über-)Belastung hindeuten (vgl. Kapitel 6.3.1). Darüber hinaus wurde die im Rahmen der vorliegenden Arbeit rekonstruierte Körperhöhe mit in die Interpretation einbezogen. Nach den historischen Rekrutierungskriterien wurden die größten Männer in die Kavallerie oder die Garde impériale (Kaiserliche Garde) aufgenommen (Wilkin und Wilkin 2015). Für das Jahr 1812 gibt Weir (1997) eine Körperhöhe der eingezogenen Soldaten im Alter zwischen 20 und 21 Jahren von $\bar{x}=164$ cm an. Die unterschiedlichen Truppenteile hatten jedoch andere Anforderungen, so zitieren Buzhilova et al. (2008) eine persönliche Mitteilung, dass Männer der schweren Kavallerie in der Regel eine Körperhöhe von 178 cm, der Kaiserlichen Garde zwischen 173 und 178 cm, der Artillerie zwischen 165 und 169 cm aufwiesen und die einfachen Fußsoldaten selten über 169 cm waren. Im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) konnten keine eindeutigen Beweise gefunden werden, die dafür sprechen, dass einzelne Individuen sicher der Kavallerie zugeordnet werden können. Insgesamt konnten acht Individuen mit Reiterfacetten an den Femora identifiziert werden. Bei zwei Individuen (Rö 15,2 und Rö 18,3) konnten aber zusätzlich Stressfrakturen an den Fußknochen diagnostiziert werden, die eigentlich eher bei marschierenden Soldaten der Infanterie zu erwarten wären. Andererseits konnten bei zwei anderen Individuen mit Reiterfacette (Rö 9,1 und Rö 10,1) weitestgehend auch die anderen, bei einem Reiter zu erwartenden, morphologischen Veränderungen identifiziert werden (ausgeprägte Oberschenkeladduktoren, wenige Enthesen an den Claviculae und verknöcherte Bänder an den Wirbelbögen). Beide Individuen hatten eine geschätzte Körperhöhe von 169 cm, also etwas größer als die durchschnittliche Körperhöhe bei Individuen der Serie. Tatsächlich wurden bei sechs der

Individuen mit Reiterfacette Körperhöhen von weniger als 170 cm geschätzt, was bedeutet, dass ihre Körperhöhe zwischen 167 und 173 cm war, was gegen eine Zugehörigkeit zur Kavallerie spricht. Im Skelettkollektiv konnte bei 38 Individuen eine Körperhöhe von über 170 cm berechnet werden (ohne Standardfehler), davon war nur ein Individuen, mit einer ermittelten Körperhöhe von 183 cm, welches das Rekrutierungskriterium für die Kavallerie erfüllt hätte, selbst aber keine morphologischen Merkmale trug, die für eine reitende Tätigkeit gesprochen hätten. Die Ergebnisse sind aber nur vorsichtig zu interpretieren und Michehl (2020) kam in ihrer Arbeit zu dem Schluss, dass das Thema zu komplex ist, um im Rahmen ihrer Arbeit Antworten auf die Fragen zu erhalten. Darüber hinaus ist insbesondere die Verwendung der Körperhöhe als Proxy für die Truppenzugehörigkeit nur untergeordnet zu betrachten. Wie bereits im Kapitel 6.2.3 gezeigt werden konnte, ist die Zuverlässigkeit der Schätzungen der Körperhöhe abhängig von der Population, an der die Formeln entwickelt wurden, und es kann zu deutlichen Abweichungen der ermittelten Körperhöhe kommen. Trotzdem konnte bereits im Kapitel 6.2.3 gezeigt werden, dass die Soldaten der Serien Rödelheim und Kassel (Grumbkow 2013) geringere durchschnittliche Körperhöhen aufweisen, als bspw. die Individuen der Serie Vilnius (Signoli et al. 2004) und tatsächlich ist auch der Anteil Individuen größer als 170 cm bei den Individuen aus den Kollektiven Rödelheim (~17 %) und Kassel (~23 %) deutlich geringer als bei den Soldaten der Serie Vilnius (~32 %). Die geringere Anzahl Individuen größer 170 cm kann für ein Fehlen bzw. für einen geringeren Anteil an Soldaten der Kavallerie sprechen. Napoleon verlor während des Russlandfeldzugs große Teile seiner Kavallerie, ein Verlust, von dem er sich bis zu Ende seiner Herrschaft nicht mehr erholen konnte (Haythornthwaite 1979). Daher wäre es durchaus möglich, dass sich das auch bei den Skeletten der Individuen der Serien Rödelheim und Kassel widerspiegelt. Natürlich ist es aber genauso plausibel anzunehmen, dass es sich bei den in Vilnius Verstorbenen um Soldaten anderer Teile Europas handelte, die deutlich größer waren, als die „durchschnittlichen Franzosen“. Napoleon hatte vor dem Russlandfeldzug ein breites Repertoire an Wehrpflichtigen aus dem In- und Ausland, die für den Militärdienst eingezogen werden konnten und es wurden nur die körperlich Ausgezeichneten einberufen. Dies änderte sich erst nach dem Russlandfeldzug, was zu einer Reduktion der durchschnittlichen Körperhöhe in der napoleonischen Armee geführt haben könnte. Eindeutige Beweise gibt es dafür aber nicht, da vor 1815 die Körperhöhen der Soldaten nicht in jedem Distrikt und in jedem Jahr gleich aufgenommen wurde und Weir (1997) angibt, dass er für seine Berechnung der durchschnittlichen Körperhöhen mit Korrekturfaktoren arbeiten musste. Die große Spannweite der Körperhöhen der Individuen aus Rödelheim (30 cm) scheint darauf hinzudeuten, dass die Individuen unabhängig ihrer Größe in die Armee aufgenommen wurden. Welcher Truppe sie sich angeschlossen haben, scheint ohne Kenntnis der individuellen „life history“ der Individuen absehbar schwierig bis unmöglich beurteilbar zu sein. Es gibt zu viele

mögliche Einflussfaktoren auf bspw. Körperhöhe oder andere morphologische Veränderungen, die eindeutige Aussagen im Hinblick auf die Truppenzugehörigkeit nicht zulassen. Eine abschließende Untersuchung von Historikern, die möglicherweise genau rekonstruieren können, welche Personen in Rödelheim verstorben sind, könnten dazu beitragen, die morphologischen Ergebnisse in einen größeren Kontext zu stellen.

6.4 ERNÄHRUNG, HYGIENE UND GESUNDHEIT

6.4.1 ERNÄHRUNG

Die Versorgung mit Lebensmitteln in der napoleonischen Armee wurde vorrangig nach dem Wallensteiner Grundsatz organisiert (Röhrig 2008). Das Nahrungsangebot war also stark vom Angebot des Aufenthaltsortes abhängig. Im Idealfall aßen die Soldaten täglich Fleisch, Gemüse und stärkehaltige Lebensmittel wie Reis und Brot sowie auch exotischere Delikatessen. In ärmeren Regionen war eine vollwertige Ernährung aber selten und die Soldaten aßen eher einseitig Brot und Fleisch und tranken Wein, was aus ernährungsphysiologischer Sicht als mangelhaft beschrieben werden kann und in Anbetracht der körperlichen Belastung der Männer vollkommen unzureichend war (z.B. Haythornthwaite 1979; Forrest 2006; Mayer 2011). Der in der Armee wütende Hunger und die teils desolaten hygienischen Zustände auf zahlreichen Etappen der napoleonischen Feldzüge werden in zeitgenössischen Schilderungen deutlich (Wilkin und Wilkin 2015).

CRIBRA ORBITALIA, CRIBRA FEMORIS UND CRIBRA CRANII EXTERNA

Das Auftreten von porösen Veränderungen am Knochen (*Cribra orbitalia*, *Cribra femoris* und *Cribra cranii externa*) kann unterschiedliche Ursachen haben, jedoch werden unspezifische Stressfaktoren oder (ernährungsbedingter) Mangel an wichtigen Nährstoffen in der postkranialen Entwicklung als häufigste Ursache beschrieben (z.B. Stuart-Macadam 1985; Mangas-Carrasco und López-Costas 2021). Im Rahmen von zwei Examensarbeiten wurden an den Skeletten der Individuen aus Rödelheim Anzeichen möglicher *Cribra orbitalia* und *Cribra cranii externa* (Langenstein 2019) sowie *Cribra femoris* (Michehl 2020) aufgenommen, um Hinweise auf mögliche Mangelzustände in den erst kürzlich zurückliegenden Lebensumständen der Individuen zu erhalten. Langenstein (2019) untersuchte die Orbitae von Individuen der Serie Rödelheim, der Skelette aus dem Massengrab Kassel und der Referenzserie aus Inden (vgl. Kapitel 5.2.3.1) auf Anzeichen einer *Cribra orbitalia*. Bei 162 Individuen der Serie Rödelheim konnten die Orbitae untersucht werden. Bei fast dreiviertel der Individuen konnten Porositäten im Stadium 2 (27 %) und Stadium 3 (45 %) im Orbitadach diagnostiziert werden. Ausgeprägte Veränderungen in der Orbita (Stadium 4 und 5), die im Bewertungsschema nach Schultz (2001) als klassische *Cribra orbitalia* beschrieben werden (dort Stadium 2 und 3), konnten bei einem Viertel der Individuen nachgewiesen werden (Abbildung 32, links). Bei den Individuen aus Kassel (N=49) konnten ähnliche Frequenzen der Ausprägungsstadien zwei (16 %) und drei (41 %) beobachtet werden. Bei fast der Hälfte der Individuen (42 %) konnte eine klassische *Cribra orbitalia* festgestellt werden, was im Vergleich zu den Individuen der Serie Rödelheim deutlich höher ist. Für die Individuen der Serie Inden (N=24) konnte bei zwei Drittel der

Individuen keine Anzeichen einer *Cribra orbitalia* nachgewiesen werden. Nur drei Individuen im Kollektiv zeigten Veränderungen einer klassischen *Cribra orbitalia* (Langenstein 2019). Auf Basis der erhobenen Daten von Langenstein (2019) wurden die Ausprägungsgrade der *Cribra orbitalia* zwischen den juvenilen (N=40, \bar{x} =2,975, \check{x} =3) und erwachsenen (N=125, \bar{x} =3,104, \check{x} =3) Individuen untereinander verglichen. Über den Mann-Whitney-U-Test konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p=0,3185$, $Z= 0,9975$, 95% region of acceptance: [-1,96 : 1,96]). Um einen weiteren Proxy für mögliche Mangelzustände in den kürzlich zurückliegenden Lebensumständen zu erhalten, wurde im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) das Auftreten von *Cribra femoris* dokumentiert. Bei fast einem Drittel der Individuen (57 von 187) konnte eine *Cribra femoris* diagnostiziert werden, dabei waren annähernd 60 % der juvenilen Individuen (26 von 46 Individuen) und circa 20 % (31 von 141 Individuen) der erwachsenen Individuen betroffen (Abbildung 32, rechts). Ein offensichtlicher Zusammenhang zwischen dem Auftreten von *Cribra orbitalia* und *Cribra femoris* konnte nicht festgestellt werden, da nur bei circa einem Viertel der Individuen (26,06 %) mit *Cribra orbitalia* auch *Cribra femoris* nachgewiesen werden konnte.



Abbildung 32: Morphologisches Auftreten einer klassischen *Cribra orbitalia* (links, Stufe 5, Individuum Rö 12,3) und *Cribra femoris* (rechts, ohne Schweregrad, Individuum Rö 30,3). Foto *Cribra femoris*: ©Michehl.

Im Rahmen der Arbeit von Langenstein (2019) wurden auch Anzeichen einer *Cribra cranii externa* aufgenommen. Diese punktförmigen Porositäten am Ectocranium wurden bei fast allen untersuchten Individuen der Serie Rödelheim diagnostiziert (98 %). Etwas geringere Häufigkeiten konnten bei den Individuen aus dem Massengrab Kassel festgestellt werden (93 %). Der Autor verglich die Häufigkeiten mit Werten aus der Literatur und stellte fest, dass die Frequenzen deutlich über den Durchschnittswerten von 1-23 % der jeweiligen Referenzpopulationen liegen. Er schlussfolgerte daraus, dass es sich bei den Porositäten wahrscheinlich nicht um eine klassische

Cribrā cranii externa handelt. Wahrscheinlicher sei hier eine Entzündung der Kopfschwarte als Ursache für die Läsionen.

Aus diesem Grund wurden die ectocranialen Porositäten noch einmal systematisch in der Arbeit von Weiher (2022) aufgenommen, um einen besseren Eindruck über die hygienischen Bedingungen innerhalb der Armee zu erhalten (vgl. Kapitel 6.4.2).

Interpretation

Im Rahmen der anthropologischen Untersuchungen sollten Hinweise gefunden werden, um die Ernährungssituation innerhalb der Armee rekonstruieren zu können.

Poröse Läsionen im knöchernen Augenhöhlendach, am Ectocranium oder dem Femurhals können durch eine Vielzahl von Ursachen entstehen (vgl. unten), häufig sind sie aber Folge einer Anämie, Unterversorgung wichtiger Vitamine oder chronischer Entzündungen (z.B. Stuart-Macadam 1985; Ortner 2003; Wapler et al. 2004). Langenstein (2019) konnten bei seinen Untersuchungen feststellen, dass die Individuen aus dem Massengrab Kassel mit ungefähr 42 % einen deutlich höheren Anteil einer klassischen *Cribrā orbitalia* zeigen als die Individuen der Serie Rödelheim, wo nur circa ein Viertel der Individuen betroffen waren. Die Individuen beider Serien zeigten aber deutlich höhere Frequenzen der *Cribrā orbitalia* im Vergleich zu Individuen der Referenzserie Inden. Der Autor verglich seine Daten mit denen aus drei Vergleichsstudien (Caselitz 1986; Salvadei et al. 2001; Walker et al. 2009) und kam zu dem Schluss, dass die Individuen des Skelettkollektivs Rödelheim leicht über dem durchschnittlichen Ausprägungsgrad der *Cribrā orbitalia* lagen, die Individuen aus dem Massengrab Kassel aber deutlich darüber. Er begründete dieses damit, dass die Individuen in deutlich anderen Verhältnissen gelebt haben müssen und das hohe Maß an *Cribrā orbitalia* im Zusammenhang mit starker Unterversorgung wichtiger Nährstoffe, einem entbehrungsreichen Leben und schwerer körperlicher Belastung stehen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die Ergebnisse mit denen weiterer Studien verglichen. Bei den Vergleichsstudien konnten sehr unterschiedliche Häufigkeiten an *Cribrā orbitalia* gefunden werden: bei den Soldatenbestattungen aus der Marchettigasse wurden bei annähernd 45 % (44,8 %) der Individuen eine *Cribrā orbitalia* diagnostiziert (Binder 2008), was ungefähr der *Cribrā orbitalia* Häufigkeit der Individuen aus dem Massengrab Kassel entspricht. Bei den napoleonischen Soldaten der Fundstelle Aspern und Esslingen (Quade und Binder 2018) wurde bei deutlich weniger Individuen die Pathologie festgestellt. Nur bei einem Viertel der Individuen (23,3 %) konnte eine klassische *Cribrā orbitalia* diagnostiziert werden, also annähernd dieselbe Häufigkeit, wie bei den Individuen der Serie Rödelheim. Quade und Binder (2018) verglichen die Frequenzen der *Cribrā orbitalia* mit den Untersuchungsergebnissen weiterer Skelettserien wie den Individuen der Serie Snakehill (Soldaten, Pfeiffer und Williamson 1991), Chelsea Old Church

(höherer sozialer Stand, Cowie et al. 2008) und St Bride (niedriger sozialer Stand, Kausmally 2008) und konnten deutlich höhere Frequenzen an *Cribra orbitalia* bei den napoleonischen Soldaten feststellen. Quade und Binder (2018) kamen zu dem Schluss, dass die Ergebnisse zum einen darauf hindeuten können, dass einige der Soldaten der Serie Aspern und Esslingen während ihrer Kindheit an Nährstoffmangel (bspw. Vitamin B12), einer höheren Exposition an Pathogenen und/oder auch Durchfallerkrankungen ausgesetzt waren. Dies führte im Kindesalter zu einer Ausbildung der *Cribra orbitalia* und durch die langsameren Umbauprozesse der Knochen im höheren Alter persistierten die Defekte (z.B. Stuart-Macadam 1985; Walker et al. 2009). Auf der anderen Seite führten die Autorinnen an, dass sich ähnliche Läsionen auch im erwachsenen Alter als Folge von z.B. Anämie, einer Sinusitis, chronischen Entzündungen oder auch Infektionen an den Augen ausbilden können (Schultz 2001, 2003; Ortner 2003; Wapler et al. 2004). Quade und Binder (2018) stellten insbesondere die von Wapler et al. (2004) vorgeschlagenen Entzündungen der Augen als Ursache für die Porositäten in den Orbitae in den Vordergrund, da diese bspw. durch Rauch oder andere Luftverschmutzungen ausgelöst werden könnten, denen die Soldaten in der Armee häufig ausgesetzt waren. Auch bei den Individuen der Skelettserie Rödelheim können ähnliche Ursachen für das Auftreten der *Cribra orbitalia* in Betracht gezogen werden. Einen Unterschied im Schweregrad der Ausprägung gab es zwischen den juvenilen und erwachsenen Individuen nicht. Bei den Individuen der Serie Rödelheim konnten zusätzlich zur *Cribra orbitalia* ähnliche Häufigkeiten von *Cribra femoris* diagnostiziert werden. Obwohl der *Cribra femoris* erst in der letzten Dekade wissenschaftliches Interesse zukommt, sind die proximalen Gründe für die Ausbildung der Porositäten am Femurhals vermutlich ähnlich wie bei der *Cribra orbitalia*, darunter Stressphasen oder ernährungsbedingter Mangel in der postkranialen Entwicklung (Mangas-Carrasco und López-Costas 2021). Ähnliche Häufigkeiten der beiden porösen Veränderungen sprechen für eine gleiche Ätiologie (Mangas-Carrasco und López-Costas 2021). Zusätzlich wird die *Cribra femoris* aber auch als früher Tuberkulose-Marker diskutiert (Blondiaux et al. 2015). Ein Drittel der Individuen der Serie Rödelheim wiesen eine *Cribra femoris* auf, wovon nur 25 % der Individuen diese in Kombination mit einer *Cribra orbitalia* aufwiesen. Ähnliche Ergebnisse zeigt auch die Studie von Schats (2021), die bei circa 10-25 % *Cribra orbitalia* und *Cribra femoris* koexistent nachweisen konnten. Der hohe Anteil an *Cribra femoris* bei den juvenilen Individuen im Vergleich zu den erwachsenen ist auffällig, jedoch wurde bereits in anderen Studien gezeigt, dass es einen klaren Zusammenhang zwischen dem Auftreten von *Cribra femoris* und dem Individualalter gibt (Radi et al. 2013; Erkelens 2017; Schats 2021). Warum die Individuen aus dem Massengrab Kassel deutlich höhere Häufigkeiten der *Cribra orbitalia* zeigen, ist schwierig zu interpretieren. Langenstein (2019) argumentierte, dass in einer Studie von Hens et al. (2019) die höheren Frequenzen der *Cribra orbitalia* nach dem „osteologischen Paradoxon“ (Wood et al. 1992) mit der Überlebensfähigkeit in der Kindheit der

Individuen interpretiert wurde, da sie lange genug überlebt haben, um die Pathologie auszubilden (vgl. Kapitel 6.2.5). Unter dem „osteologischen Paradoxon“ würde dies darauf hinweisen, dass die Individuen aus dem Massengrab Kassel eine höhere Widerstandsfähigkeit in der Kindheit besessen haben, als die Individuen der Serie Rödelheim. Dies würde die These unterstützen, dass die Individuen der Serie Kassel vor dem Russlandfeldzug rekrutiert wurden, als Napoleon noch mehr Ressourcen zur Verfügung standen und er noch auf die körperlich fittesten Männer zurückgreifen konnte. Daraus abgeleitet könnte für die Individuen der Serie Rödelheim angenommen werden, dass diese erst nach dem Russlandfeldzug eingezogen wurden, und eine sozial schwächere Bevölkerungsschicht repräsentieren, die aufgrund ihres Gesundheitszustands vor dem Feldzug nicht eingezogen worden wären. Diese Sachlage sollte aber nur sehr vorsichtig interpretiert werden, da das Auftreten von Porositäten durch eine Vielzahl von Faktoren, in Kindheit oder im Erwachsenenalter, hervorgerufen werden kann und ohne eine genaue mikroskopische Untersuchung der von *Cribra* betroffenen Knochen, die Ursache nicht zuverlässig bestimmt werden können und sie daher nur als unspezifischer Stressmarker gewertet werden sollten (Steckel et al. 2005). Dennoch zeigen die hohen Häufigkeiten der *Cribra*-Varianten, dass die Individuen beider Serien physiologischem Stress ausgesetzt waren, welcher bspw. durch Nährstoffmangel, Infektions- und Durchfallerkrankungen, Parasitenbefall sowie chronische Entzündungen und Anämie hervorgerufen wurde.

KARIES UND PERIAPIKALE LÄSIONEN

Das Auftreten und die Häufigkeit von Kariesläsionen an den Zähnen der Individuen der Serien Rödelheim (N=192) und Kassel (N=170) wurden im Rahmen der Arbeit von Rachel (2022) aufgenommen. Rachel (2022) konnte bei fast jedem Individuum der Skelettserie Rödelheim (N=190, 99,48 %) an mindestens einem Zahn Kariesläsionen feststellen. Insgesamt konnten 3757 Kariesläsionen identifiziert werden, was einem Schnitt von 1,46 Defekten pro Zahn entspricht. Darüber hinaus konnte ermittelt werden, dass durchschnittlich die Hälfte der Zähne jedes Individuums von Karies betroffen waren (N=13,45 Zähne/Individuum, 50,26 %). Bei den Individuen aus dem Massengrab Kassel war die Kariesfrequenz mit etwas mehr als 90 % (N=146, 91,88 %) signifikant geringer als bei den untersuchten Skeletten aus Rödelheim ($p < 0,001$ %). Es konnten 714 Kariesläsionen diagnostiziert werden, was einer durchschnittlichen Anzahl von 1,3 Läsionen pro Zahn entspricht. Die Frequenz an von Karies betroffener Zähne war bei den Individuen aus dem Massengrab Kassel höher, jedoch waren die Unterschiede nicht signifikant (N=3,42 Zähne/Individuum, 60,18 %). Bei der Kariesintensität konnten zwischen den Individuen beider Serien ebenfalls keine signifikanten Unterschiede identifiziert werden (Rödelheim: 49,07 %, Kassel: 51,22 %). Rachel (2022) untersuchte den Zusammenhang von Individualalter der Individuen und

der Anzahl der Kariesläsionen: für die Individuen der Skelettserie Rödelheim konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen zunehmendem Alter und der Anzahl diagnostizierter Kariesläsionen gefunden werden ($p < 0,001$). Im weiteren unterteilte Rachel (2022) die diagnostizierten Kariesläsionen nach ihrer Lokalisation am Zahn, um diese noch näher zu klassifizieren (Abbildung 33).

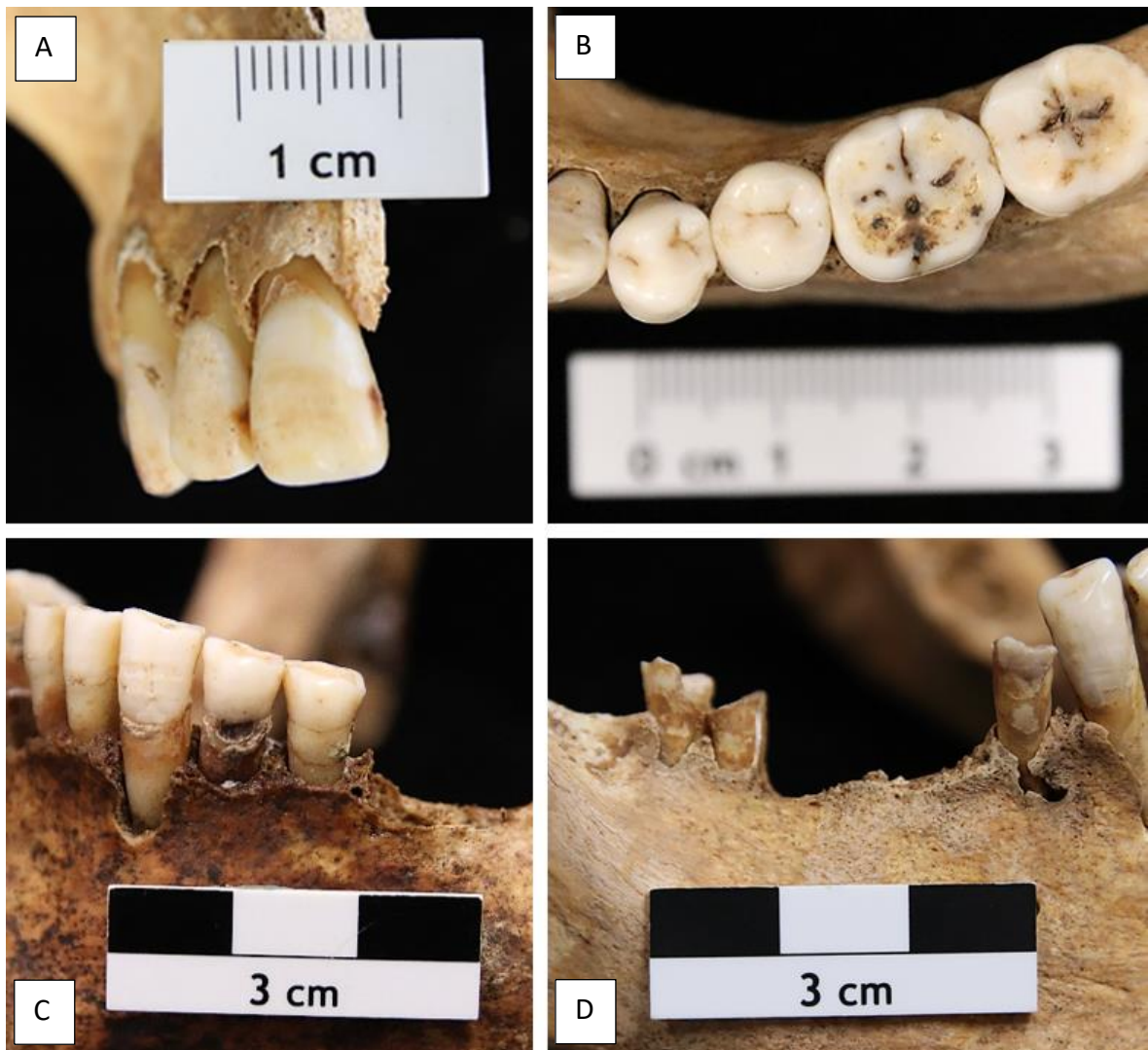


Abbildung 33: Darstellung der unterschiedlichen Kariestypen. A) Karies im Zahnzwischenraum, der durch die bräunliche Verfärbung an den Kontaktstellen zwischen den Zähnen 11 und 12 zu erkennen ist (Rö 18,2). B) Fissurenkaries auf der okklusalen Oberfläche der Zähne 36 und 37 (Rö 30,4). C) Wurzelkaries im bukkalen Bereich des Zahns 34 (KS-44). D) Ausgeprägte Karies an den Zähnen 44 und 48 (Rö 30,14), bei dem die Zahnkrone durch die Karies bereits vollständig zerstört wurde und nur noch Reste der Zahnwurzel im Kiefer sitzen. Fotos: ©Rachel.

In ihren Untersuchungen konnte sie mit über 90 % (92,85 %) fast ausschließlich koronalen Karies diagnostizieren. Wurzelkaries und ausgeprägte Karies, bei dem in der Regel der Zahn vollständig von der Karies zersetzt und nur noch die Zahnwurzelspitzen überliefert vorlag, konnte in 3,47 % bzw. 3,58 % der Fälle diagnostiziert werden. Bei den Zähnen der Individuen der Serien Rödelheim

und Kassel wurden überwiegend Läsionen in den Zahnzwischenräumen mesial (40,36 %) und distal (37,15 %) festgestellt. In 13,65 % der Fälle wurde Fissurenkaries identifiziert, bei dem die Karies meistens nur den Zahnschmelz schädigten (Stadium 2). Stärker ausgeprägte Karies, bei dem der Ursprung der Läsion nicht mehr rekonstruiert werden konnte (Stadium 4), wurde in nur 0,51 % der Fälle identifiziert.

Zahnstein wurde von Rachel (2022) bei fast allen untersuchten Individuen der Serien Rödelheim (98,95 %) und Kassel (95,63 %) an mindestens einem Zahn nachgewiesen. In annähernd 80 % (79,80 %) der Fälle war der Zahnstein supragingival lokalisiert und die Incisivi waren am häufigsten von Zahnstein betroffen (36,20 %). In den meisten Fällen handelte es sich um schwach ausgeprägten Zahnstein, der bei den Individuen aus dem Massengrab Kassel signifikant häufiger diagnostiziert werden konnte. Stärker ausgeprägter Zahnstein kam häufiger bei den Individuen der Serie Rödelheim vor, wobei beim mittleren Ausprägungsgrad ein signifikanter Unterschied zu den Individuen aus dem Kassler Kollektiv festgestellt werden konnte (Rödelheim: 3,21 %, Kassel: 2,75 %).

Abschließend verglich Rachel (2022) die Häufigkeit der unterschiedlichen Schweregrade der Kariesläsionen an den Zähnen der Individuen beider Skelettserien. Dabei stellte sie fest, dass bei zunehmenden Schweregrad der Karies die Häufigkeit der Läsionen bei den Individuen beider Serien abnimmt. Der Schweregrad 1 der Karies wurde an den Zähnen der Individuen aus dem Massengrab Kassel häufiger diagnostiziert (KS=73,23 % vs. Rö=68,46 %). Alle weiteren Schweregrade wurden bei den Zähnen der Individuen des Skelettkollektivs Rödelheim häufiger beobachtet.

Das Auftreten von periapikalen Läsionen wurde ebenfalls dokumentiert. Insgesamt konnten 86 periapikale Läsionen bei 47 Individuen (24,48 %) der Skelettserie Rödelheim diagnostiziert werden. Bei den Individuen aus dem Massengrab Kassel wurden 17 Läsionen bei 14 Individuen (8,28 %) identifiziert. Die Individuen beider Serien wiesen häufiger periapikale Läsionen in der Maxilla auf, wobei vorrangig der Kiefer im Bereich der Molaren (51,61 %) und Prämolaren (29,03 %) betroffen war (Rachel 2022).

Interpretation

Die Kariesläsionen entstehen durch bakterielle Verstoffwechslung von Kohlenhydraten, bei denen organische Säuren freigesetzt werden, die eine Demineralisation am Zahn bewirken (Hillson 1979; Larsen 1995, 1999; Grupe et al. 2015). Je nach Ausprägungsgrad der Kariesläsion (oder anderer Defekte der Krone), kann sich ein Zugang zur Pulpahöhle bilden. Über diese Eintrittsstelle gelangen Bakterien in den Zahnwurzelbereich, können periapikale Läsionen auslösen und bei fortschreitender Entzündung über das Blut verteilt werden. Folge sind Sekundärinfektionen oder eine Sepsis, die zum Tod des Individuums führen können (Alt 2009). Die Kariesanfälligkeit ist zu einem gewissen Teil von der genetischen Disposition eines Individuums abhängig, denn Kriterien wie die Festigkeit des Zahnschmelzes, die Speichelproduktion und die Zusammensetzung der Mundflora spielen eine Rolle in der Kariesentstehung. Nicht zuletzt ist es aber auch die Ernährung und Mundhygiene, die einen entscheidenden Einfluss nehmen (Wahl und Zink 2013). Durch die Einführung verarbeiteter landwirtschaftlicher Produkte, bspw. Mehl und Brot, kam es zu einem deutlichen Anstieg in der Kariesfrequenz bei archäologischen Funden, welche ihren Höhepunkt ab dem Ende des 18. und 19. Jahrhunderts zeigte (Mays 1998; Larsen 1999). Im Rahmen der Arbeit von Rachel (2022) konnten für die Individuen beider Skelettserien napoleonischer Soldaten hohe Kariesfrequenzen von über 90 % ermittelt werden (Rödelheim: 99,48, Kassel: 91,88 %). Die Autorin leitete daraus ab, dass ein möglicher Grund eine kohlenhydratreiche Ernährung der Individuen ist, da diese die Entstehung von Karies begünstigt. Im Umkehrschluss sprechen niedrigere Kariesfrequenzen für eine kohlenhydratärmere Ernährung bspw. durch mehr tierischen Produkten (Larsen 1999; Wahl und Zink 2013). Rachel (2022) gab an, dass sich die Ernährung der Normalbevölkerung in Frankreich im Grundsatz nicht von den historischen Überlieferungen der Ernährung der napoleonischen Soldaten unterschied, die sich weitestgehend aus Mehl, Brot, Zwieback und Fleisch zusammensetzte (Bernoulli 1943; Hufton 1974; Haythornthwaite 1979; Kaplan 1982; Forrest 2006; Mayer 2011; Quade und Binder 2018). Die hohen Zahnsteinfrequenzen können ebenfalls Hinweise auf die Ernährung der Soldaten geben. Die Entstehung von Zahnstein benötigt ein alkalisches Milieu in der Mundhöhle, damit am Zahn anhaftende Plaquebestandteile mineralisieren. Die hohen pH-Werte entsteht vorrangig bei der Verstoffwechslung von Proteinen. Rachel (2022) kam zu dem Schluss, dass die hohen Frequenzen von Zahnstein im Hinblick auf eine proteinreiche Ernährung interpretiert werden können (Hillson 1979; Lieverse 1999). Sie merkte jedoch an, dass viele Faktoren bei der Entstehung von Zahnstein eine Rolle spielen und die Frage nach der Ernährung der Soldaten ultimativ nur über die DNA-Analyse des Mikrobioms aus Zahnsteinproben rekonstruiert werden kann (Warinner et al. 2015; Weyrich et al. 2015). Zusätzlich zur Ernährung können eine schlechte Mundhygiene sowie ein geschwächtes Immunsystem die Entstehung von Karies und anderen Dentalpathologien begünstigen und somit waren die

napoleonischen Soldaten durch ihr entbehrungsreiches Leben generell anfälliger dafür (Palubeckaitė-Miliauskienė et al. 2006). Rachel (2022) schlussfolgerte, dass die nährstoffarme, kohlenhydratreiche Ernährung und das geschwächte Immunsystem, in Kombination mit den schlechten hygienischen Bedingungen, sicher Einfluss auf die hohen Kariesfrequenzen der Individuen der Serien Rödelheim und Kassel genommen haben. Die signifikant höheren Kariesfrequenzen und höhere Anzahl an Kariesläsionen bei den Individuen der Serie Rödelheim können laut Rachel (2022) nicht durch ein unterschiedliches Ernährungsverhalten begründet werden. Die Autorin vermutete eher, dass der schlechtere Überlieferungszustand der Skelette aus dem Massengrab Kassel zu einem Bias in der Kariesfrequenz geführt hat. Rachel (2022) verglich im Rahmen ihrer Arbeit die Kariesfrequenzen und Häufigkeiten periapikaler Läsionen mit denen verschiedener Referenzserien: zwei französische Referenzpopulationen aus Südfrankreich (mittlerer sozioökonomischer Stand, Perrin et al. 2022), eine Population aus England (niedriger sozioökonomischer Stand, Kausmally 2008) sowie Serien unterschiedlicher militärischer Kontexte, wie den Soldaten aus der Marchettigasse (Binder 2008) und denen aus dem ersten Weltkrieg (Palubeckaitė-Miliauskienė und Jankauskas 2007). Innerhalb der beiden Serien napoleonischer Soldaten (Kassel/Rödelheim) konnten die höchsten Kariesfrequenzen und Kariesintensitäten ermittelt werden. In den anderen Vergleichsserien konnten dagegen höhere Frequenzen periapikaler Läsionen und antemortalem Zahnverlust diagnostiziert werden, was die Autor:innen der Studien damit begründeten, dass die Kariesfrequenzen bei den untersuchten Individuen vermutlich höher waren und diese zu den Läsionen und dem intravitalen Zahnverlust geführt haben (Palubeckaitė-Miliauskienė und Jankauskas 2007; Perrin et al. 2022). Darüber hinaus verglich Rachel (2022) Häufigkeiten der Dentalpathologien mit denen anderer napoleonischer Skelettserien aus Aspern/Esslingen (Quade und Binder 2018), Zürich/Schaffhausen (Meyer 2003; Cooper 2006) und Vilnius (Palubeckaitė-Miliauskienė et al. 2006). Die Kariesfrequenzen waren bei den Individuen aller Vergleichsserien (mit Ausnahme der aus Zürich/Schaffhausen) relativ hoch, wobei auch hier bei den Individuen der Serie Rödelheim am häufigsten Karies diagnostiziert wurden. Rachel sowie die anderen Autor:innen der Vergleichsstudien sind sich einig, dass die hohen Kariesfrequenzen im Einklang mit der schlechten (Zahn-)Hygiene in der Armee stehen (Palubeckaitė-Miliauskienė et al. 2006; Grumbkow 2013; Quade und Binder 2018). Außerdem sprechen die hohen Karieshäufigkeiten ebenfalls für die bereits oben erwähnte ernährungsphysiologisch mangelhafte Ernährung aus vorrangig kohlenhydratreicher Nahrung und den allgemein schlechten Gesundheitszustand der Individuen, die sie anfälliger für Dentalpathologien machten (Bernoulli 1943; Hufton 1974; Haythornthwaite 1979; Kaplan 1982; Forrest 2006; Palubeckaitė-Miliauskienė et al. 2006; Mayer 2011; Quade und Binder 2018).

ZAHNABRASION UND HABITUELLE ZAHNABNUTZUNG

Die Zahnabrasion wurde ebenfalls im Rahmen der Arbeit von Rachel (2022) aufgenommen. Dabei unterschied sie zwischen der physiologisch normalen Zahnabrasion und der habituellen Zahnabnutzung. Vorrangig untersuchte sie an den Zähnen der Individuen der Serien Rödelheim und Kassel das Vorkommen von Pfeifenlücken, die durch das Halten des Tonpfeifenstiels zwischen den Zähnen entstehen (Schumacher und Schmidt 1976; Grupe et al. 2015), um Hinweise auf einen Tabakkonsum innerhalb der napoleonischen Armee zu bekommen. Darüber hinaus wurden die Zähne nach Anzeichen eines Bruxismus untersucht, um diese im Hinblick der psychischen und physischen Gesundheit zu interpretieren (vgl. Kapitel 6.4.3). Die Individuen der Skelettkollektive Rödelheim und Kassel zeigten bei den Stadien 1 bis 5 der Zahnabnutzung annähernd gleiche Häufigkeiten, wobei die meisten untersuchten Zähne das Zahnabnutzungsstadium 2 aufwiesen (Rödelheim: 45,49 %, Kassel: 42,23 %). Lediglich die hohen Abrasionsstadien 6 bis 8 wurden signifikant häufiger bei den Individuen aus dem Massengrab Kassel diagnostiziert. Bei den Individuen der Serie Rödelheim konnte eine durchschnittliche Zahnabrasion von 2,36 festgestellt werden und bei den Individuen aus dem Massengrab Kassel war es 2,55. Die Unterschiede waren aber nicht signifikant. Darüber hinaus konnte Rachel (2022) aber einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen dem zunehmenden Individualalter und dem Ausprägungsgrad der Zahnabrasion ermitteln.

Habituelle Zahnabnutzung in Form identifizierter Pfeifenlücken an den Zähnen konnte bei 36 Individuen der Serie Rödelheim und an nur fünf Individuen aus dem Massengrab Kassel nachgewiesen werden. Bei den betroffenen Individuen der Serie Rödelheim konnten zwischen einer und vier Pfeifenlücken diagnostiziert werden, die insgesamt 175 Zähne (3,44 %) betroffen haben (Abbildung 34). Bei den Individuen des Massengrabs Kassel waren es hingegen nur 19 Zähne (1,78 %). Der Unterschied war signifikant. Als zusätzlichen Hinweis auf möglichen Tabakkonsum wurden Verfärbungen an den Zähnen untersucht, die durch das Einlagern von Pigmenten aus Nikotin und Teer in die verschiedenen Zahnbestandteile auftreten (z.B. Ortner 2003; Manuel et al. 2010; Bertoldo et al. 2011). Hier wurde kein Unterschied zwischen den Individuen beider Serien gemacht, sondern die Häufigkeiten kombiniert betrachtet. An den Zähnen der Individuen beider Serien konnten unterschiedliche Verfärbungen von gelblich-braun (84,33 %), über schwärzlich (9,04 %) bis hin zu gräulich-blau (6,62 %) identifiziert werden.



Abbildung 34: Multiple Pfeifenlücken (Pfeile) an den Zähnen des Individuums Rö 18,1. Foto: ©Michehl.

Interpretation

Rachel (2022) untersuchte die Individuen der Skelettserien Rödelheim und Kassel auf Spuren an den Zähnen, die auf das Rauchen der Individuen hinweisen. Zum einen sind das die Pfeifenlücken an den Zähnen, zum anderen sind es Verfärbungen der Zahnbestandteile. Sie stellte bei ihren Untersuchungen der Zähne auf habituelle Zahnabrasionen fest, dass die Individuen der Serie Rödelheim deutlich mehr Pfeifenlücken aufwiesen, als es die Individuen aus dem Massengrab Kassel taten. Dies erklärte die Autorin vorrangig mit dem schlechten Überlieferungsstand der Skelette aus dem Kassler Skelettkollektiv, der zu einem Bias geführt haben könnte. Weiterhin merkte sie an, dass davon ausgegangen werden kann, dass auch deutlich mehr Individuen geraucht haben, die Ausbildung von Pfeifenlücken aber eine gewisse Zeit braucht, bis sich die Abrasionsspuren an den Zähnen offensichtlich zeigen (Forrest 2006). Sie verglich die Häufigkeiten der Pfeifenlücken mit denen anderer Serien und stellte fest, dass mit Ausnahme der Individuen der Funde in Deutsch-Wagram (Grabmayer und Binder 2021) in der Regel deutlich weniger Pfeifenlücken diagnostiziert wurden (Meyer 2003; Cooper 2006; Palubeckaitė-Miliauskienė et al. 2006). Darüber hinaus konnte Rachel (2022) weitere Abrasionsspuren an den Zähnen identifizieren, die sie möglicherweise mit dem Kauen von Tabak in Verbindung bringt. An 14 Individuen der Serie Rödelheim und einem Individuum aus dem Massengrab Kassel konnte sie verdächtige Abrasionen auf den Kauflächen der Molaren identifizieren, die gemeinsam mit Pfeifenlücken an den Kiefern auftraten. Sie begründete ihre Annahme damit, dass im Tabak selbst kleine Silica-Partikel enthalten

sind, die durch das Kauen des Tabaks zu starken Abrasionen an den Zähnen geführt haben könnten (Bowles et al. 1995). Rachel (2022) merkt aber kritisch an, dass die Abrasionen nicht immer auf den in Okklusion stehenden Molaren des Ober- und Unterkiefers gemeinsam zu finden waren. Nichtsdestotrotz konnte die Autorin zahlreiche Beweise finden, dass zumindest einige der Individuen geraucht haben. Dafür sprechen ebenfalls die zahlreichen Verfärbungen, die sowohl an den Zähnen selbst als auch am aufgelagerten Zahnstein nachgewiesen werden konnten.

6.4.2 HYGIENE

Die hygienischen Bedingungen waren innerhalb der Armee teils katastrophal. Die Soldaten berichteten regelmäßig in Briefen, dass sie wochenlang ihre Uniformen nicht ablegen durften (Mayer 2011; Wilkin und Wilkin 2015). Die tägliche Körperpflege war quasi unmöglich, da es weder Zugang zu Hygieneartikeln und sauberer Kleidung gab, noch stand Wasser für die Reinigung, Rasur oder das Waschen der Kleidung zur Verfügung (Haythornthwaite 1979; Mayer 2011; Binder und Quade 2018). Durch die schlechten Lebensbedingungen innerhalb der Armee fanden Parasiten und Bakterien einen geeigneten Nährboden, um sich rasant zwischen den Soldaten auszubreiten und Krankheiten auszulösen.

POROSITÄTEN AUF DEM ECTOCRANIUM

Bereits im Rahmen der Arbeit von Langenstein (2019) wurden bei fast allen Individuen der Skelettserien Rödelheim und Kassel mehr oder weniger stark ausgeprägte punktförmige Porositäten am Ectocranium festgestellt. Der Autor stellte die Vermutung auf, dass die Porositäten wahrscheinlich Folge einer Entzündung der Kopfschwarte waren. Um die Veränderungen noch besser einordnen zu können, wurden im Rahmen der Arbeit von Weiher (2022) die Schädel(-fragmente) der Individuen der Serien Rödelheim (N=114) und Kassel (N=34) erneut befundet und die Veränderungen nach Lokalisation und Schweregrad näher klassifiziert. Bei den Individuen der beiden Serien konnten ähnliche Häufigkeiten der Porositäten auf den Schädeln identifiziert werden. Nahezu jedes Individuum zeigte zumindest vereinzelte poröse Veränderungen auf der Schädelkalotte (Stadium 0). Die schwerwiegenderen Stadien konnten bei zwei Drittel der Individuen der Serie Rödelheim (67,33 %) und fast drei Viertel der Individuen aus dem Massengrab Kassel (73,65 %) diagnostiziert werden. Die Autorin konnte feststellen, dass die Individuen der Skelettserien Rödelheim und Kassel eine ähnliche Verteilung der Schweregrade an Läsionen am Schädeldach aufwiesen. Jedoch zeigten die Individuen des Massengrabs Kassel seltener keine bis schwach ausgeprägte Veränderungen am Schädeldach (Stadium 0, Rödelheim: ~33 % und Kassel ~26 %) und dafür häufiger stärkere Veränderungen (Stadium 2, Rödelheim: ~34 % und Kassel

~41 %). Das dritte Stadium wurde nur selten bei den Schädeln der Individuen identifiziert (Abbildung 35, Rödelheim: 5 % und Kassel: ~4 %). Die porösen Veränderungen waren insbesondere auf den *Ossa parietalia* und dem *Os occipitale* des Schädels lokalisiert. Auch Weiher (2022) kam zu dem Ergebnis, dass insbesondere die Lokalisation der Läsionen am Schädel dafür sprechen, dass sie durch eine Entzündung der Kopfschwarte in Folge eines Lausbefalls entstanden sein könnten. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die porösen Veränderungen am Schädel bei den juvenilen (N=24) und erwachsenen (N=87) Individuen der Serie Rödelheim verglichen. Dafür wurde auf Basis der Daten von Weiher (2022) für jedes Individuum der maximale Ausprägungsgrad der porösen Veränderung bestimmt. Bei den erwachsenen Individuen konnten deutlich häufiger poröse Veränderungen des Stadiums 3 diagnostiziert werden (erwachsen: N=15, juvenil: N=2). Dies bildete sich auch in den berechneten durchschnittlichen Schweregraden der Alterskohorten ab, bei denen die erwachsenen Individuen gegenüber den juvenilen im Schnitt stärker ausgeprägte Veränderungen zeigen (erwachsen: $\bar{x}=1,97$ vs. juvenil: $\bar{x}=1,5$). Eine statistische Prüfung auf Signifikanz war nicht möglich, da keine Varianzhomogenität der Daten beider Stichproben festgestellt wurde.



Abbildung 35: Porositäten mit maximalen Ausprägungsstadium 3 auf der Schädelkalotte des Individuums Rö 25,3 (rechts in der Vergrößerung). Foto: ©Weiher.

Mit Hilfe der Molekulargenetik sollten weitere Hinweise gefunden werden, die für einen Lausbefall der Individuen sprechen und somit weitere Einblicke in die hygienischen Bedingungen innerhalb der napoleonischen Armee bekommen zu können. Der Nachweis von Erregersequenzen der krankheitsauslösenden Bakterien des Typhus bzw. der typhusähnlichen Erkrankungen ist eine geeignete Methode, da die Kleiderlaus Vektor für einige der krankheitsauslösenden Pathogene ist.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde auf Basis der Daten von Weiher (2022) 17 Individuen der Skelettserie Rödelheim ausgewählt, die starke (Stadium 2) bis sehr starke (Stadium 3) poröse Veränderungen auf der Schädelkalotte aufwiesen. Von diesen Individuen wurden im Rahmen dieser Arbeit hergestellte DNA-Extrakte ausgewählt und molekulargenetische Erregernachweise durchgeführt (Ansatzpläne der PCRs finden sich im Ordner „Molekulargenetik“ auf der Daten-CD). Die PCR-Systeme wurden im Rahmen der Arbeiten von Grumbkow (2013) und Schröder (2013) entwickelt und amplifizieren Sequenzen der Erreger vom Typhus und den typhusähnlichen Erkrankungen (*B. quintana* und *R. prowazekii*, *S. typhi* und *S. paratyphi A*, *S. enterica* ohne *S. paratyphi A* und *B. recurrentis*).

Bei den drei PCRs zeigte sich, dass es durch die Ko-Amplifikation von (vermutlich vorrangig bodenlebender) Mikroorganismen-DNA zu zahlreichen unspezifischen Produkten unterschiedlicher Länge gekommen ist (Abbildung 36). Die unspezifischen Produkte lassen sich in den wenigsten Fällen sicher von möglichen spezifischen Produkten unterscheiden. So konnten bei der PCR 80 bei drei Individuen Banden spezifischer Länge identifiziert werden (grüne Sternchen), jedoch begleitet von zahlreichen unspezifischen Produkten, die eine direkte Sequenzierung unmöglich machen. Beim Erregernachweis von *B. quintana* (PCR 78) konnte aus den DNA-Extrakten von zwei Individuen (Rö 28,3 und Rö 34,11) je eine Bande ungefähr auf Höhe des spezifischen Produkts amplifiziert werden. Da keine weiteren unspezifischen Produkte ko-amplifiziert wurden, konnten die PCR-Produkte direkt sequenziert werden.

Die Sequenzierung und anschließende BLAST-Suche (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) widerlegte die Annahme, dass es sich um *B. quintana* spezifische DNA handelt. Die Sequenzen beider Produkte zeigten von der Positivkontrolle abweichende Basenabfolgen und ergaben kein Treffer in der Datenbankabfrage. Vermutlich handelt es sich bei den unspezifischen Produkten um vervielfältigte DNA bodenlebender Bakterien.

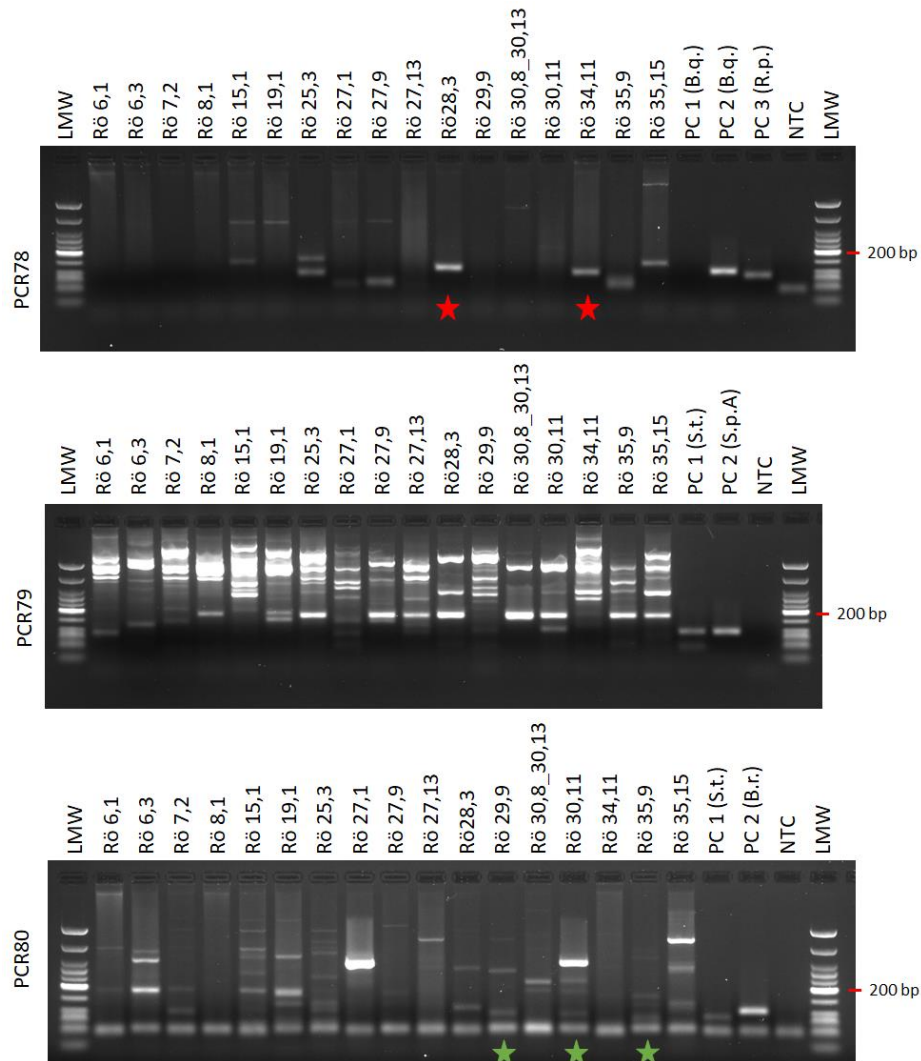


Abbildung 36: Ergebnis der PCR-Amplifikationen der PCR 78 (*B. quintana* und *R. prowazekii*), PCR 79 (*S. typhi* und *S. paratyphi A*) und PCR 80 (*S. enterica* ohne *S. paratyphi A* und *B. recurrentis*). In allen PCRs sind zahlreiche unspezifische Produkte über 50 bp lokalisiert. Mögliche pathogenspezifische Banden sind mit Sternchen markiert (rote Sternchen wurden für die Sequenzierung ausgewählt). Die Positivkontrollen (PC) mit DNA der PCR entsprechenden bakteriellen DNA (B.q.=*B. quintana*, R.p.=*R. prowazekii*, S.t.=*S. typhi*, S.p.A=*S. paratyphi A* und B.r.=*B. recurrentis*) zeigen nur die Banden pathogenspezifischer Länge (Ausnahme PC1 in der PCR78 ist ausgefallen), Negativkontrollen (No Template Control, NTC) zeigen keine Banden. Agarosegelelektrophoreseparameter: 8 µl PCR-Produkt mit 2 µl Loadingdye, 3 µl Längenstandard (LMW, Low Molecular Weight, New England Biolabs), Exposuretime: 140 ms.

Interpretation

Im Rahmen der Examensarbeit von Weiher (2022) wurden die ectocranialen Porositäten auf den Schädeln der Individuen der Serien Rödelheim und Kassel untersucht, um Hinweise auf einen möglichen chronischen Lausbefall der Individuen zu erhalten. Die Autorin konnte das von Langenstein (2019) beschriebene hohe Vorkommen der Porositäten bestätigen und auf den gesamten Schädeln mehr oder weniger stark ausgeprägte poröse Veränderungen nachweisen. Weiher (2022) zeigte mehrere Gründe auf, die zu porösen Veränderungen auf den Schädeln führen können: Infektionskrankheiten (Periostitis, Osteitis oder Osteomyelitis), die bspw. als Folge von

eingetragenen Bakterien durch offene Wunden ausgelöst wurden (z.B. Schultz 2001; Ortner 2003). Darüber hinaus zitierte sie eine Studie von Krause (1926), die einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten der o.g. Infektionskrankheiten und einer Typhuserkrankung feststellte. Das Auftreten von Infektionserkrankungen in Folge von Verletzungen oder dem Typhus beschreibt Weiher (2022) beides im militärischen Kontext als plausibel. Die entzündlichen Veränderungen an Schädeln mit Hiebverletzungen und offensichtlich Heilungsspuren konnte sie bestätigen (z.B. Individuum Rö 30,16). Als weitere mögliche Gründe für die porösen Veränderungen nannte Weiher (2022) noch Mangelkrankungen, wie bspw. Anämie oder Skorbut (Stuart-Macadam 1985; Ortner 2003), die ähnliche Läsionen auf den Knochen hervorrufen können. Aufgrund der Lokalisation und des Verteilungsmusters der Porositäten auf den Schädeln kam Weiher jedoch zu dem Schluss, dass eine Entzündung der Kopfschwarte, hervorgerufen durch einen chronischen Lausbefall der Individuen, die wahrscheinlichste Ursache ist. Die Läsionen wurden nur selten im Bereich vom *Os temporale* nachgewiesen. Hier setzt der *Musculus temporalis* an, der zwischen Schädel und Kopfschwarte zieht und somit Entzündungen der Kopfschwarte nicht direkt auf den Knochen übergreifen können. Die porösen Veränderungen konnten ebenfalls selten im Bereich vom *Os frontale* gefunden werden. Weiher (2022) argumentierte, dass das *Os frontale* weitestgehend nicht mit Haaren bedeckt ist und Läuse somit keine Möglichkeit haben, sich festzuhalten und einzunisten. Als letzten Punkt führt die Autorin an, dass die *Ossa parietalia* und das *Os occipitale* in der Regel mit Haaren bedeckt sind und die Soldaten häufig Kopfbedeckungen getragen haben. So wurden den Läusen ideale Lebensbedingungen geschaffen und das würde erklären, warum die meisten und ausgeprägtesten Veränderungen an diesen Knochen lokalisiert sind. Dass es allgemein in der napoleonischen Armee immer wieder Manifestationen von Läusen gab, konnten bereits andere Untersuchungen an Skeletten napoleonischer Soldaten zeigen (Raoult et al. 2006; Grumbkow et al. 2011). Auf Basis der Daten von Weiher (2022) wurden im Rahmen dieser Arbeit die porösen Veränderungen auf den Schädeln zwischen Individuen der juvenilen und erwachsenen Alterskohorten verglichen. Deutlich mehr erwachsene Individuen waren von schweren porösen Veränderungen auf dem Schädel betroffen und auch der durchschnittliche Ausprägungsgrad der Veränderungen war bei den erwachsenen höher als bei den juvenilen Individuen. Es ist möglich, dass die jüngeren Individuen gerade erst in die Armee eingezogen wurden und sie daher noch nicht sehr lange dem Ektoparasitenbefall ausgesetzt waren, um starke Veränderungen an der Schädelkalotte auszubilden. Die erwachsenen Individuen wurden möglicherweise schon zu einem früheren Zeitpunkt rekrutiert und waren so schon längere Zeit den katastrophalen hygienischen Bedingungen innerhalb der Armee ausgesetzt, um zahlreiche Entzündungen auf den Schädelkalotten auszubilden. Bei den Individuen aus dem Massengrab Kassel, bei dem deutlich weniger juvenile Individuen bestattet wurden, konnten deutlich mehr Porositäten schwererer

Ausprägungsgrade auf den Schädeln diagnostiziert werden. Ähnlich wie bei den erwachsenen Individuen der Serie Rödelheim ist es auch hier möglich, dass die Soldaten schon längere Zeit in der Armee verbrachten und daher einem höheren Parasitendruck ausgesetzt waren. Warum die juvenilen Individuen überhaupt entzündliche Veränderung auf den Schädelkalotten zeigen, ist nicht verwunderlich, da auch in der Zivilbevölkerung Läuse bereits seit tausenden Jahren allgegenwärtig waren (Araújo et al. 2000; Reinhard et al. 2013). Die molekulargenetischen Untersuchungen zum Erregernachweis zahlreicher Pathogene, die den Typhus bzw. typhusähnlichen Erkrankungen auslösen, blieb erfolglos, da keine pathogenspezifischen Sequenzen amplifiziert werden konnten. Die Auswertung nach der Agarosegelelektrophorese zeigte deutlich, dass die Primer zahlreiche unspezifische Produkte generiert haben. Diese sind durch unspezifische Bindungen der Primer, höchstwahrscheinlich an der ko-extrahierten DNA bodenlebender Mikroorganismen bzw. auch der humanen DNA des untersuchten Individuums. Die Primer wurden nach den Kriterien für ein gutes Primerdesign entwickelt (vgl. Hummel 2003). Die Spezifität wurde über den Vergleich der Primersequenzen mit Datenbank-Sequenzen zahlreicher Organismen gesichert (BLAST-Suche, <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>). Darüber hinaus wurde bei der Entwicklung des Primer-Systems zahlreiche Kontroll-PCRs durchgeführt, um die Spezifität der Primer in Anwesenheit von DNA unterschiedlicher Herkunft (menschliche DNA, Bodenproben, etc.) zu testen (Grumbkow 2013; Schröder 2013). Schon bei der Entwicklung der Primer-Systeme zeigte sich insbesondere für die Primer, die Erregersequenzen aus dem *Salmonella*-Komplex nachweisen sollen, dass es zur Generierung von zahlreichen unspezifischen Produkten kam. Jedoch konnte auch gezeigt werden, dass, sobald spezifische DNA im DNA-Extrakt vorhanden war, der Anteil unspezifischer Produkte deutlich abnahm bzw. diese gar nicht mehr nachgewiesen werden konnten. In den PCRs der vorliegenden Arbeit konnten einige Produkte augenscheinlich spezifischer Länge nachgewiesen werden (Abbildung 36 PCR 78, rote Sternchen und PCR 80, grüne Sternchen). Bei den Proben der PCR 78 konnte über die Sequenzierung keine Übereinstimmung mit *Bartonella quintana* spezifischer DNA gefunden werden. Die Datenbankabfrage konnte auch keinen anderen Organismus finden, für den die amplifizierte Sequenz spezifisch ist. Daher ist es wahrscheinlich, dass es sich dabei um DNA eines bislang nicht sequenzierten, bodenlebenden Bakteriums handelt. Die PCR-Produkte der PCR 80 waren immer begleitet von zahlreichen unspezifischen Produkten und konnten daher nicht direkt sequenziert werden. Aus den o.g. Erfahrungen von Grumbkow (2013) und Schröder (2013) ist es aber wahrscheinlich, dass es sich bei den Produkten eher um unspezifische Produkte handelt, deren Fragmentlänge zufällig der des spezifischen Produkts entspricht. Dass im Rahmen dieser Arbeit keine Beweise für die Anwesenheit von Krankheitserregern der Typhus bzw. typhusähnlichen Erkrankungen gefunden werden konnten bedeutet nicht, dass die Individuen nicht infiziert waren. Das Ausbleiben positiver Signale trotz

Anwesenheit humanpathogener DNA kann unterschiedliche Ursachen haben, die bereits in der Arbeit von Grumbkow (2013) den geringen Anteil positiver Nachweise möglicherweise erklären konnten: die Menge an Erreger-DNA im DNA-Extrakt kann schlicht zu gering sein, um nach der Amplifikation die Nachweisgrenze des Agarosegels zu überschreiten. Außerdem werden Primer an DNA-Sequenzen rezenter Bakterienstämme entwickelt und mit ebenfalls rezenten Positivkontrollen getestet. Durch das große Mutationspotenzial von Bakterien kann es bereits in kurzen Zeiträumen zu Mutationsereignissen kommen, die eine Bindung der Primer verhindert und somit zu falsch-negativen Ergebnissen führt.

Weitere PCRs mit DNA aus unterschiedlichen Extrakten und variierenden DNA-Einsatzmengen, Annealing-Temperaturen sowie Zyklenzahlen wären nötig, um möglicherweise doch Beweise für die Anwesenheit der Pathogene zu erhalten, wovon aber im Rahmen dieser Arbeit abgesehen wurden. Die Porositäten auf den Schädeln sowie die historischen Überlieferungen über die allgemein desaströsen hygienischen Zustände innerhalb der Armee und auch die Berichte aus den Kriegslazaretten des Jahres 1813 der Stadt Frankfurt (vgl. Kapitel 4.1, Wilbrand 1884), lassen die Diagnose des „Typhus“ naheliegend erscheinen.

DENTALPATHOLOGIE (KARIES UND PERIAPIKALE LÄSIONEN, ZAHNSTEIN, PARODONTOSE/PARODONTITIS, STOMATITIS)

Das Auftreten und die Häufigkeit von Dentalpathologien kann ebenfalls Aufschluss über die vorherrschenden hygienischen Bedingungen innerhalb der napoleonischen Armee geben. Bei fast allen Individuen aus dem Skelettkollektiv Rödelheim konnte an mindestens einem Zahn eine Kariesläsion identifiziert werden. Zusätzlich konnten bei einem Viertel der untersuchten Individuen periapikale Läsionen im Alveolarknochen festgestellt werden und fast alle Individuen waren von Zahnstein betroffen (vgl. Ergebnisse von Rachel (2022), Kapitel 6.4.1). Das Auftreten von Pathologien an den Zähnen wird durch die Aufnahme von bspw. kariogener Nahrung begünstigt, jedoch nimmt eine schlechte Zahn- und Mundhygiene einen entscheidenden Einfluss auf die Entstehung von Karies, Zahnstein und anderer Dentalpathologien (Herrmann et al. 1990; Hillson 1996, 2005; White und Folkens 2005; Grupe et al. 2015).

Die Parodontose konnte im Rahmen der Arbeit von Rachel (2022) an den Individuen der Serien Rödelheim (N=191) und Kassel (N=157) aufgenommen werden. Es konnten nur die Kieferknochen beurteilt werden, bei denen auch Zähne überliefert vorlagen. Bei nahezu jedem Individuum beider Serien konnte Parodontose an mindestens einem Zahn diagnostiziert werden (Rödelheim: 99,48 %, Kassel: 100 %). Bei den Individuen aus dem Massengrab Kassel waren die jeweiligen Häufigkeiten der Schweregrade 1 (Rödelheim: 68,09 %, Kassel: 70,43 %) und 2 (Rödelheim: 19,35, Kassel: 20,27 %) signifikant höher, als bei den Individuen aus dem Skelettkollektiv Rödelheim. Das

Stadium 3 konnte bei den Individuen aus Rödelheim signifikant häufiger festgestellt werden (Rödelheim: 4,02 %, Kassel: 3,55 %). Die Autorin konnte darüber hinaus feststellen, dass es einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem zunehmenden Alter der Individuen der Serie Rödelheim und dem Rückgang des Alveolarknochen gibt. Neben der Parodontose nahm Rachel (2022) auch entzündliche Veränderungen an den Kieferknochen auf. Bei fast 90 % der Individuen der Serie Rödelheim (N=171, 89,53 %) konnte eine Periodontitis am Knochen nachgewiesen werden. Das war signifikant häufiger als bei den Individuen aus dem Kassler Massengrab (N=92, 55,09 %). Bei den Kiefern der Kassler Individuen wurden die entzündlichen Veränderungen am häufigsten im Bereich der Prämolaren diagnostiziert (39,72 %). Bei den Individuen der Serie Rödelheim war der Knochen an den Incisivi am häufigsten betroffen (44,26 %).

Das Auftreten einer Stomatitis wurde ebenfalls im Rahmen der Arbeit von Rachel (2022) dokumentiert. Bei 59 Individuen des Rödelheimer Skelettkollektiv konnten entzündliche Veränderungen am harten Gaumen diagnostiziert werden. Bei den Individuen aus dem Massengrab Kassel waren 49 betroffen. Eine nähere Klassifizierung wurde in der Arbeit nicht durchgeführt.

Interpretation

Auf die Entstehung von Dentalpathologien und die Häufigkeiten, in denen sie auftreten, nehmen die hygienischen Bedingungen, insbesondere die Mundhygiene, maßgeblich Einfluss (Wahl und Zink 2013, vgl. Kapitel 6.4.1). Aus den hohen Frequenzen von Dentalpathologien können daher direkter Rückschlüsse auf die hygienischen Bedingungen innerhalb der Armee gezogen werden, in denen die Soldaten weder dauerhaften Zugang zu Wasser oder Hygieneprodukten hatten und auch die Zahnhygiene generell vernachlässigt wurde (Haythornthwaite 1979; Palubeckaitė-Miliauskienė et al. 2006; Binder 2008; Mayer 2011; Wilkin und Wilkin 2015; Binder und Quade 2018).

Rachel (2022) konnte bei ihren Untersuchungen zeigen, dass die Individuen der Serie Rödelheim bei der Mehrzahl der Dentalpathologien höhere Frequenzen aufwiesen als die Individuen aus dem Massengrab Kassel. Lediglich bei der Parodontose wiesen die Individuen beider Serien ähnliche Frequenzen auf. Parodontale Erkrankungen werden insbesondere durch Plaque und Zahnsteinanhaftungen an den Zähnen hervorgerufen, aber auch Zahnfehlstellungen, Mangelernährung, Infektionserkrankungen sowie der Konsum von Alkohol und Tabak können negativen Einfluss auf die Zahngesundheit nehmen (Brothwell 1972; Strohm und Alt 1998; Hobdell et al. 2003; Strauss et al. 2019). Rachel (2022) argumentiert, dass die Soldaten der Serien Rödelheim und Kassel den o.g. Risikofaktoren im Armeeleben ausgesetzt waren und diese somit die hohen Frequenzen parodontaler Erkrankungen erklären. Außerdem verwies sie auf Ergebnisse einer Studie von Wörner et al. (2021), die zum einen feststellen konnten, dass Soldaten mit posttraumatischen Belastungsstörungen häufiger von parodontale Erkrankungen betroffen sind

und zum anderen auch Raucher häufiger zu den Dentalpathologien neigen. Darüber hinaus spiegeln die hohen Frequenzen an Dentalpathologien den limitierten Zugang zu Hygieneprodukten und die generelle Vernachlässigung der Zahnhygiene wieder (Haythornthwaite 1979; Palubeckaitė-Miliauskienė et al. 2006; Mayer 2011; Quade und Binder 2018). Rachel verglich die Dentalpathologien mit Serien ziviler Bevölkerung aus Frankreich und England, Ergebnissen aus Studien an Individuen mit militärischem Hintergrund aus Österreich und Litauen sowie weiteren Skelettserien napoleonischer Soldaten (vgl. Kapitel 6.4.1). Ähnlich wie bei der Untersuchung der Karies und den periapikalen Läsionen zeigten die Individuen aus den militärischen Kontexten generell ausgeprägtere Zahnpathologien als die der zivilen Referenzpopulationen. Rachel (2022) konnte darüber hinaus feststellen, dass auch bei den anderen Dentalpathologien die Individuen der napoleonischen Armeen, mit Ausnahme der Individuen aus Zürich/Schaffhausen (Meyer 2003; Cooper 2006), hohe Frequenzen aufwiesen, was für Rachel (2022) und auch andere Autor:innen (z.B. Quade und Binder 2018) erneut mit der Ernährungssituation und den schlechten hygienischen Bedingungen in der Armee begründen. Die Individuen der Serie Rödelheim weisen bei fast allen Dentalpathologien die höchsten Frequenzen auf, was Rachel mit dem schlechteren Gesundheitszustand der Individuen begründete und möglicherweise Hinweise auf einen niedrigeren sozioökonomischen Stand gibt (Hobdell et al. 2003).

6.4.3 GESUNDHEIT

Die Mangelernährung, die physische Belastung und die desaströsen hygienischen Bedingungen innerhalb der Armee führten zu einer hohen psychischen Belastung und einem allgemein schlechten Gesundheitszustand der Soldaten, welcher einen Nährboden für eine Vielzahl von Parasiten und Krankheitserregern bot. Um einen Eindruck über den allgemeinen Gesundheitszustand der Soldaten zu erhalten, wurden Skelette auf Anzeichen verschiedener Infektionskrankheiten untersucht. Darüber hinaus wird im militärischen Kontext angenommen, dass die Individuen regelmäßig an interpersonellen Kämpfen teilgenommen haben. Um Hinweise auf kürzlich erlittener Gewalteinwirkung und deren mögliche medizinische Versorgung zu erhalten, sollen Traumata näher untersucht werden.

PSYCHISCHER STRESS

Bei der Untersuchung der Dentalpathologien nahm Rachel (2022) ebenfalls Anzeichen vom Bruxismus bei den Individuen der Serien Rödelheim und Kassel auf (Abbildung 37). Die Absplitterungen des Zahnschmelzes, vor allem im Bereich der Schneidezähne, konnten bei insgesamt 62 Individuen (17,66 %) nachgewiesen werden. Die Individuen aus Rödelheim zeigten

mit 27,22 % betroffener Individuen signifikant häufiger Anzeichen des Zähneknirschens im Vergleich zu den Individuen aus dem Massengrab Kassel (6,17 %).



Abbildung 37: Die Incisivi des Oberkiefers mit Anzeichen eines Bruxismus beim Individuum Rö 28,10. Deutlich zu erkennen sind kleine Frakturen in Form von Absplitterungen am Zahnschmelz (rote Kreise). Foto: ©Rachel, Maßstab 180° gedreht.

Interpretation

Rachel (2022) konnte bei zahlreichen Individuen Anzeichen eines Bruxismus diagnostizieren. Über das Zähneknirschen wird unwillkürlich Stress abgeleitet (Hillson 1996; Grupe et al. 2015) und bereits in anderen Studien, bspw. an den Zähnen von Veteranen aus dem Golfkrieg oder Soldaten mit einer posttraumatischen Belastungsstörung, wurde anteilig häufiger ein Bruxismus diagnostiziert, als bei den zivilen Kontrollgruppen (Carter und McKenzie 2020; Wörner et al. 2021). Da allgemein angenommen werden kann, dass die Lebensbedingungen innerhalb der Armee eine hohe physische und psychische Belastung für die Soldaten darstellte (Zamoyski 2012), findet Rachel (2022) es nicht überraschend, dass die Soldaten der Serien Rödelheim und Kassel Anzeichen des Zähneknirschens zeigen. Sie führt aber kritisch an, dass die Defekte im Zahnschmelz ebenso taphonomiebedingt sein können (Foley 2020).

INFEKTIONSERKRANKUNGEN

Im Rahmen der Arbeit von Rachel (2022) wurden nach Anzeichen respiratorischer Erkrankungen, insbesondere in den Kieferhöhlen der Individuen der Serie Rödelheim und Kassel, in Ausprägung einer chronischen Sinusitis untersucht. Bei insgesamt 73 Individuen des Skelettkollektivs Rödelheim konnten typische skelettmanifeste Veränderungen, bspw. kleine Platten, Stippchen oder poröse Veränderungen (Schultz 1993), auf der Knochenoberfläche diagnostiziert werden. Bei den Individuen aus dem Massengrab Kassel waren es 40 Individuen. Weitere Aussagen zu den serienspezifischen Häufigkeiten und Unterschieden können nicht getroffen werden, da die Autorin keine Aussagen darüber macht, bei wie viele Individuen die Kieferhöhlen untersucht werden konnten.

Eine morphologische Unterscheidung der Infektionskrankheiten Tuberkulose und Brucellose ist schwierig und sollte differentialdiagnostisch mit Hilfe molekulargenetischer Analysen immer abgesichert werden. Zwei Individuen (Rö 10,4 und Rö 15,3) der Serie Rödelheim zeigten deutliche morphologische Veränderungen an den Wirbelsäulen und den Rippen, die eine Infektion zu Lebzeiten der Individuen mit einer der Krankheiten wahrscheinlich macht. Im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) wurden die morphologischen Veränderungen an den Knochen der zwei Individuen systematisch aufgenommen: beim Individuum Rö 10,4 konnten zahlreiche, teils gravierende lytische Veränderungen im anterioren Bereich der Wirbelkörper nachgewiesen werden (Abbildung 38, A&B). Die kraniale Deckplatte des vierten Lendenwirbels war fast vollständig zerstört, was jedoch noch nicht zu einem vollständigen, für die Tuberkulose typischen Kollaps des Wirbelkörpers geführt hat (Krankheitsbild genannt Morbus Pott, Aufderheide und Rodríguez-Martín 1998). Der angrenzende dritte Lendenwirbel zeigte ebenfalls massive, rundliche Defekte anterior am Wirbelkörperend. Zusätzlich konnte an zahlreichen Rippen periostale Knochenneubildungen an den der Lunge zugewendeten Rippenoberflächen identifiziert werden (Abbildung 38, C).



Abbildung 38: Pathologische Veränderungen am Skelett des Individuums Rö 10,4. A) Lytische Strukturauslöschungen im anterioren Bereich des dritten und vierten Lendenwirbels. B) Blick auf die kraniale Deckplatte des vierten Lendenwirbels. C) periostale Knochenneubildungen an den der Lunge zugewendeten Rippenoberflächen. Fotos: ©Michehl.

Beim Individuum Rö 15,3 konnten ausgeprägte, bis zu 2 mm dicke Knochenneubildungen im Bereich der Hals- und Brustwirbelsäule, dem sternalen Enden der Claviculae und den der Wirbelsäule naheliegenden Rippenköpfen beobachtet werden. Letztere wiesen ebenfalls für eine Tuberkuloseerkrankung charakteristische, bohnenförmige lytische Strukturauslöschungen auf (Dangvard Pedersen et al. 2019, Abbildung 39).



Abbildung 39: Pathologische Veränderungen am Skelett des Individuums Rö 15,3. A) Hals- und obere Brustwirbel mit starken zapfenartigen Knochenneubildungen anterior an den Wirbelkörpern. Knochenneubildung und bohnenförmige, lytische Strukturauslöschungen im Bereich B) der sternalen Claviculae und C) der Rippenköpfe. Fotos: ©Michehl.

Weitere Knochenneubildungen konnten an zahlreichen Muskelansatzstellen der Langknochen, Metatarsalia und Metacarpalia identifiziert werden (Abbildung 40). In der Gesamtschau mit der Tuberkuloseerkrankung können diese Veränderungen Ausdruck eines Pierre-Marie-Bamberger Syndroms sein (persönliche Mitteilung Dr. Jan Nováček und Dr. Julia Gresky).



Abbildung 40: schalenartige Knochenneubildungen auf den Diaphysen der Metatarsalia von Individuum Rö 15,3. Foto: ©Michehl.

Neben den zwei Individuen, die ausgeprägte Anzeichen einer Tuberkulose- bzw. Brucelloseerkrankung aufwiesen, konnten darüber hinaus bei 26 Individuen isolierte periostale Knochenneubildungen an der viszeralen Seite der Rippenoberflächen identifiziert werden (Abbildung 41, links), die teilweise mikroskopisch im Rahmen einer Lehrveranstaltung von Dr. Jan Nováček paläopathologisch untersucht wurden. So konnte bspw. beim Individuum Rö 7,4 im mikroskopischen Bild deutliche Hinweise einer mehrschichtigen Knochenauflagerung nachgewiesen werden, die auf eine häufig wiederkehrende Entzündung des Rippenfells hindeuten, die auf den darunterliegenden Knochen übergegangen ist (Abbildung 41, rechts). Andere morphologische Charakteristika, die auf eine Tuberkuloseerkrankung hindeuten, wurden bei diesen Individuen nicht festgestellt. Abschließend wurden die pathologischen Veränderungen auf den Rippenoberflächen zwischen den Individuen der im Rahmen der vorliegenden Arbeit aufgeteilten Alterskohorten ausgewertet. Dabei konnten die Knochenneubildungen bei 22 erwachsenen Individuen (13,91 %) festgestellt werden, was deutlich häufiger als bei den juvenilen Individuen war (N=4, 8,16 %).

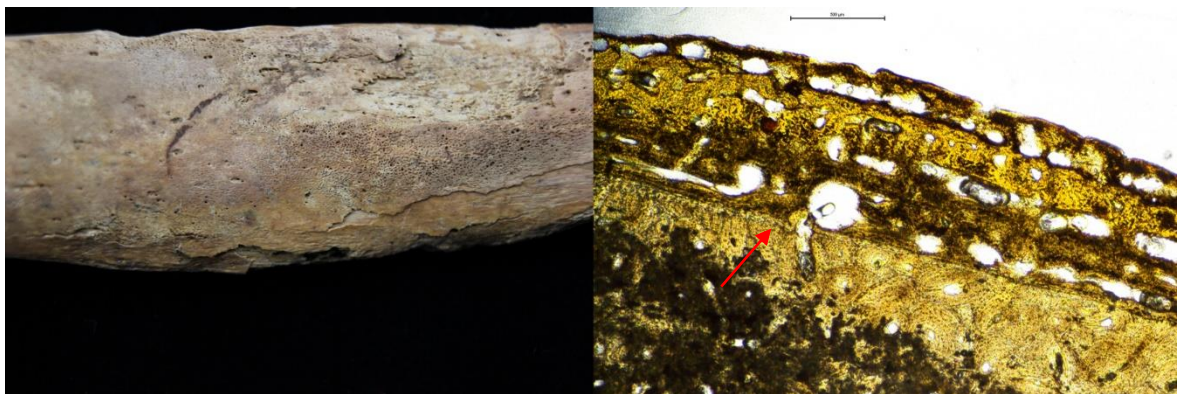


Abbildung 41: Knochenneubildung auf der viszeralen Seite einer Rippe des Individuums Rö 7,4. Links: Makroskopische Aufnahme der Auflagerung auf dem Knochen. Deutlich zu erkennen ist die fein-poröse Oberfläche. Rechts: Mikroskopische Aufnahme der Auflagerung. Zu erkennen ist die ursprüngliche Knochengrenze (Pfeil) sowie die Auflagerung, die vermutlich durch hämorrhagische Prozesse verursacht wurde. Es zeigen sich mindestens drei neugebildete Schichten, die auf eine häufig wiederkehrende Entzündung hindeuten. Plain light, 40xVergrößerung.

Mit Hilfe molekulargenetischer Methoden sollte im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) ein molekulargenetischer Erregernachweis über den *Mycobacterium-tuberculosis-complex* spezifischen *katG*-Locus erfolgen (Schüßler 2017). Dafür wurden die Individuen Rö 10,4 und Rö 15,3 sowie sechs weitere Individuen mit periostalen Veränderungen auf den Rippenoberflächen ausgewählt (Ansatzpläne der PCRs finden sich im Ordner „Molekulargenetik“ auf der Daten-CD). Für die PCR-Amplifikationen wurden zwei voneinander unabhängige DNA-Extrakte auf erregerspezifische Sequenzen untersucht. Zum einen waren das DNA-Extrakte, die aus

Zahnwurzelpulver hergestellt wurden (PCR 11). Für die zweite Amplifikation wurde DNA aus Knochen extrahiert, die morphologische Veränderungen aufwiesen, die mit einer Tuberkuloseerkrankung in Verbindung stehen können (Rippen, Knochenneubildung in Form einer Auflagerung auf der Rippenoberfläche oder Wirbel, PCR 16).

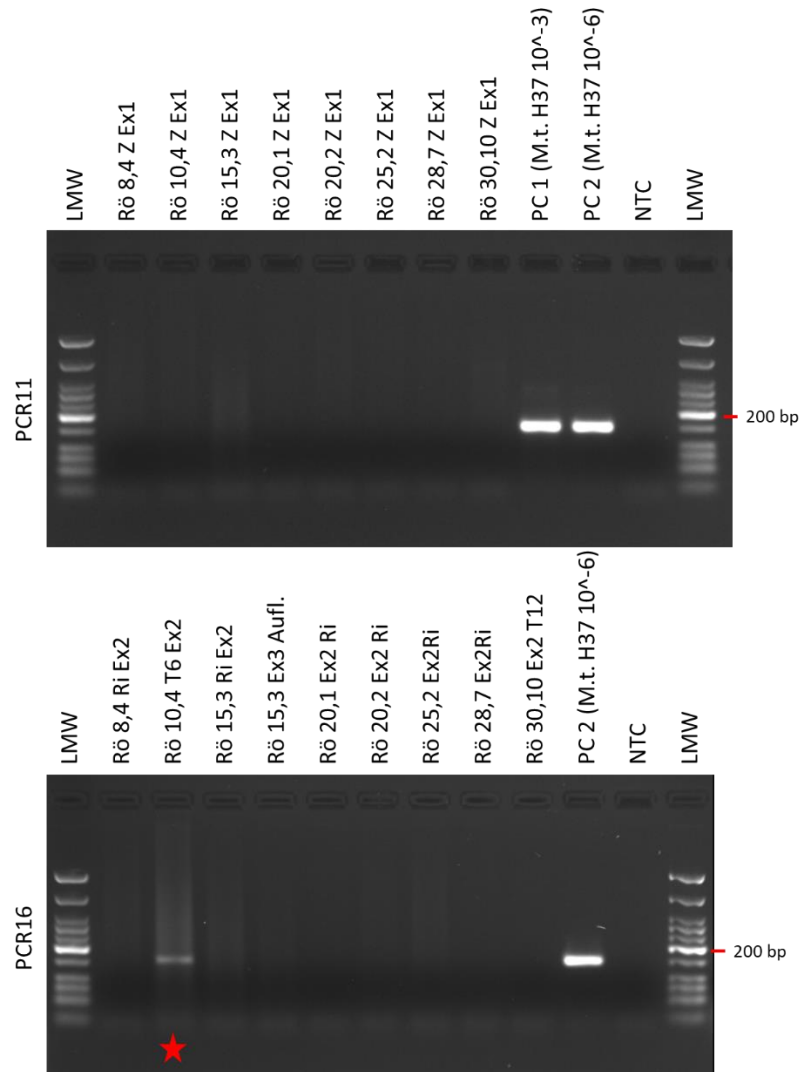


Abbildung 42: Ergebnis der PCR-Amplifikationen der PCR 11 und PCR 16 des Erregernachweises über den *Mycobacterium-tuberculosis-complex* spezifischen *katG*-Locus. Mögliche pathogenspezifische Bande ist mit einem Sternchen markiert (rotes Sternchen wurden für die Sequenzierung ausgewählt). Die Positivkontrollen (PC) mit DNA der *M. tuberculosis* DNA in unterschiedlichen Verdünnungen bakterieller DNA (*M.t.* 10^{-3} oder *M.t.* 10^{-6}), zeigen nur die Banden pathogenspezifischer Länge, Negativkontrollen (No Template Control, NTC) zeigen keine Banden. Abkürzungen: Z=Zahn, Ri=Rippe, Aufl.=Knochenneubildung in Form einer Auflagerung auf der Rippenoberfläche, T6/T12=Thorakalwirbel 6 bzw. 12. Agarosegelelektrophoreseparameter: 8 μ l PCR-Produkt mit 2 μ l LoadingDye, 3 μ l Längenstandard (LMW, Low Molecular Weight, New England Biolabs), Exposuretime 800 ms.

In der PCR 16 konnte für das Individuum Rö 10,4 (Thorakalwirbel 6) ein PCR-Produkt spezifischer Länge generiert werden (Abbildung 42, Sternchen). Eine Sequenzierung und anschließende BLAST-Suche (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) der Sequenzabfolge ergab eine 100 % Übereinstimmung mit *M. tuberculosis* Referenzsequenzen. Ein Alignment der Sequenz mit der Basenabfolge der Positivkontrolle und einer Referenzsequenz zeigte ebenfalls vollständige Übereinstimmungen (Abbildung 43). Eine Tuberkuloseerkrankung des Individuums Rö 10,4 konnte bestätigt werden. Jedoch war eine Reproduktion des Ergebnisses aus dem DNA-Extrakt aus Zahnwurzelpulver bislang nicht möglich.

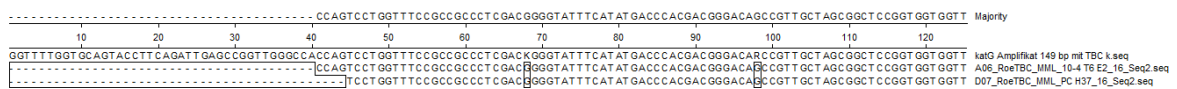


Abbildung 43: Alignment der Sequenzabfolge der Referenzsequenz *M. tuberculosis*-Komplex (erste Reihe), die Sequenz des PCR-Produkts aus dem DNA-Extrakt von Rö 10,4 (PCR 16, mittlere Reihe) sowie der Positivkontrolle H37 (PCR 16, untere Reihe). Abweichungen zur Referenzsequenz (schwarze Kästchen) resultieren aus zwei Ausprägungsmöglichkeiten der Basenabfolge im *M. tuberculosis*-Genom (K=Ketogruppe, Guanin oder Thymin; R=Purine, Guanin oder Adenin).

Im Rahmen der Arbeiten von Michehl (2020) und Rachel (2022) konnten die Individuen der Serie Rödelheim ebenfalls auf Anzeichen einer Syphiliserkrankung untersucht werden. Rachel (2022) konnte während ihrer Untersuchungen zwei Individuen (Rö 6,1 und Rö 20,1) identifizieren, deren ersten Molaren für kongenitale Syphilis typische Zahnschmelzbildungsstörungen aufwiesen (sog. *Mulberry molars*, Abbildung 44 A, Hillson 1996; Hillson et al. 1998; Ortner 2003). Darüber hinaus konnten weitere Schmelzdefekte an den Canini (Rö 6,1 und Rö 20,1) und den Incisivi (Rö 20,1) nachgewiesen werden. Michehl (2020) untersuchte die postkranialen Knochen und konnte periostale Knochenneubildungen insbesondere auf den Tibiae feststellen. Bei der venerischen Syphilis manifestieren sich pathologische Veränderungen erst im sekundär und tertiär Stadium der Krankheit am Skelett und äußert sich häufig in Form einer Periostitis an den Langknochen, insbesondere der Tibia (Aufderheide und Rodríguez-Martín 1998; Ortner 2003). Die durch die Syphilis ausgelösten periostale Reaktionen, insbesondere an den Langknochen ähneln morphologisch stark denen unspezifischer Knochenerkrankungen. Erst durch die mikroskopische Untersuchung von Dünnschnittpräparaten aus dem betroffenen Knochen können einige Charakteristika (Polsterbildung und Grenzstreifen) identifiziert werden, die insbesondere bei der Syphilis auftreten (Schultz 2003). Bei zahlreichen Individuen der Skelettserie Rödelheim konnten periostale Reaktionen diagnostiziert werden, welche aber weitestgehend mit der hohen physischen Belastung der Individuen interpretiert wurden (vgl. Kapitel 6.3.1). Bei einigen Individuen konnten neben den unspezifischen periostalen Reaktionen auch eine bilaterale Verdickung der Diaphysen

festgestellt werden (Rö 6,1, Rö 8,4, Rö 20,1, Rö 30,5 und Rö 35,7), die den Verdacht einer Syphiliserkrankung zuließen (Abbildung 44, B).



Abbildung 44: Beispiele von möglichen morphologischen Merkmalen, die für eine Syphiliserkrankung sprechen. A) Individuen Rö 6,1 (links) und Rö 20,1 (rechts) mit deutlichen Schmelzbildungsstörungen (u.a. sog. Mulberry molars), die Anzeichen einer kongenitalen Syphilis sind. B) Tibia des Individuums Rö 8,4 mit unspezifischen periostalen Reaktionen und bilateraler Verdickung der Diaphyse. Foto A: ©Rachel.

Von zwei Individuen (Rö 8,4 und Rö 30,5) wurden für die mikroskopische Differentialdiagnose Dünnschnittpräparate aus der pathologisch veränderten Skelettregion angefertigt und im Rahmen einer Lehrveranstaltung von Dr. Jan Nováček paläopathologisch untersucht. Im mikroskopischen Bild zeigten sich polsterähnliche Veränderungen an der Diaphyse (Abbildung 45, Pfeile), die häufig bei einer Syphiliserkrankung an den Langknochen nachgewiesen werden können (z.B. Schultz und Teschler-Nicola 1987; Schultz 2003). Eine weitere charakteristische Veränderung im mikroskopischen Bild ist der sog. Grenzstreifen, der sich als feine Linie zeigt und die ursprüngliche Diaphysengrenze darstellt (z.B. Schultz und Teschler-Nicola 1987; Schultz 2003). Der Grenzstreifen konnte im mikroskopischen Bild des Individuums Rö 8,4 nicht sicher nachgewiesen werden, da einzelne Mikrostrukturelemente des Knochens durch die zahlreichen, durch bodenlebende Mikroorganismen hervorgerufenen Bohrkanäle kaum sicher abgrenzbar sind.

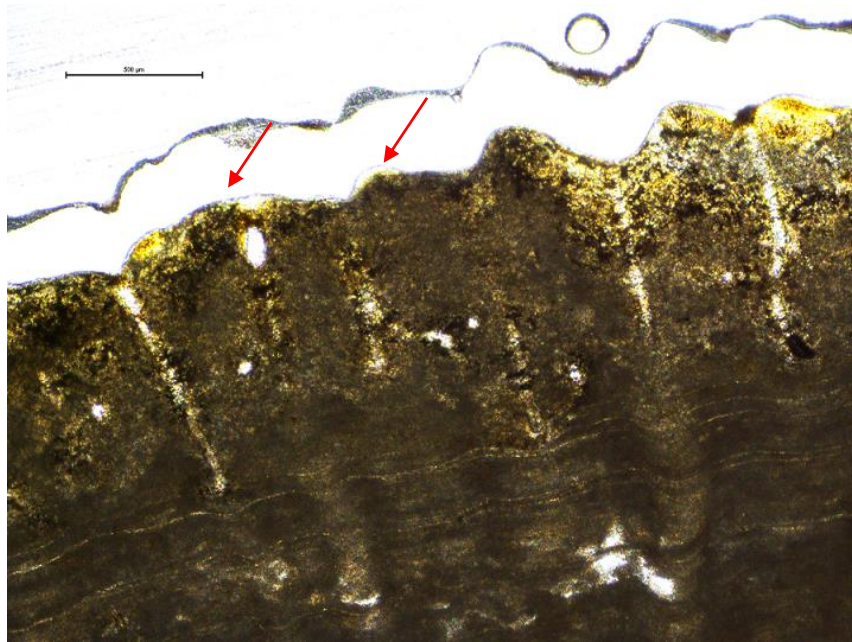


Abbildung 45: Mikroskopische Aufnahme eines Dünnschnittpräparats aus der Tibia-Diaphyse des Individuums Rö 8,4. Die Tibiae zeigten an der Knochenentnahmestelle bilaterale Anzeichen einer Periostitis und eine Verdickung der Diaphysen, die den Verdacht einer Syphiliserkrankung zuließen. Im mikroskopischen Bild zeigen sich polsterähnliche Veränderungen an der Diaphyse (Pfeile). Ein Grenzstreifen ist durch die zahlreichen, durch bodenlebende Mikroorganismen hervorgerufenen, Bohrkanäle nicht sicher abgrenzbar. Plain light, 40xVergrößerung.

Als weitere Infektionserkrankung zählt auch der Typhus bzw. die typhusähnlichen Erkrankungen, bei denen durch die historischen Quellen plausibel anzunehmen ist, dass die Individuen der Skelettserie Rödelheim an den Folgen einer dieser Krankheiten verstarben. Die Untersuchungsergebnisse wurden bereits in Kapitel 6.4.2 vorgestellt und sollen hier nur noch einmal umrissen werden. Der Typhus bzw. die typhusähnlichen Erkrankungen hinterlassen keine direkten Spuren am Skelett, einer Erkrankung kann sich dennoch genähert werden, indem morphologische Anzeichen eines möglichen vorherrschenden Lausbefalls untersucht werden. Dies geschah im Rahmen der Arbeiten von Langenstein (2019) und Weiher (2022), in dem der/die Autor:in bei fast allen Individuen der Skelettserie Rödelheim und Kassel poröse Veränderungen auf der Schädelkalotte unterschiedlicher Ausprägungsgrade nachweisen konnten. Diese Veränderungen waren überwiegend an den *Ossa parietalia* und dem *Os occipitale* lokalisiert. Diese Bereiche sind im Lebenden in der Regel durch Haare oder auch Kopfbedeckungen bedeckt, was einen idealen Lebensraum für die Kopflaus bietet und einen parasitären Befall der Individuen aus Rödelheim nahelegt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein molekulargenetischer Erregernachweis versucht, welcher jedoch zu keinem positiven Beweis für einen der untersuchten Erreger des Typhus bzw. der typhusähnlichen Erkrankungen führte.

Im Weiteren sollten die Skelette auf skelettmanifeste Anzeichen von Infektionserkrankungen untersucht werden, die im Zusammenhang mit der medizinischen (Wund-)Versorgung stehen. Hier

eignet sich insbesondere das Auftreten und die Häufigkeit der Osteomyelitis. Im Rahmen der Arbeit von Michehl (2020) konnten bei fünf Individuen Anzeichen einer möglichen Osteomyelitis diagnostiziert werden (Abbildung 46, Rö 7,4, Rö 27,1, Rö 33,1, Rö 35,7 und Rö 35,8).



Abbildung 46: Beispiele von Knochen mit möglichen osteomyelitischen Veränderungen an der Rippe des Individuums Rö 7,4 (oben) und an den Metacarpalia des Individuums Rö 27,1 (unten). Foto B: ©Michehl.

Bei drei der Individuen wurde molekulargenetisch versucht, den Erreger *Staphylococcus aureus* als einen der Hauptverursacher der Osteomyelitis nachzuweisen (Flux 2015; Flux et al. 2017, Ansatzpläne der PCRs finden sich im Ordner „Molekulargenetik“ auf der Daten-CD). Über die

Amplifikation des *S. aureus* spezifischen *nuc*-Locus konnte aus keinem der DNA-Extrakte der Individuen der Serie Rödelheim pathogenspezifische DNA nachgewiesen werden (Abbildung 47).

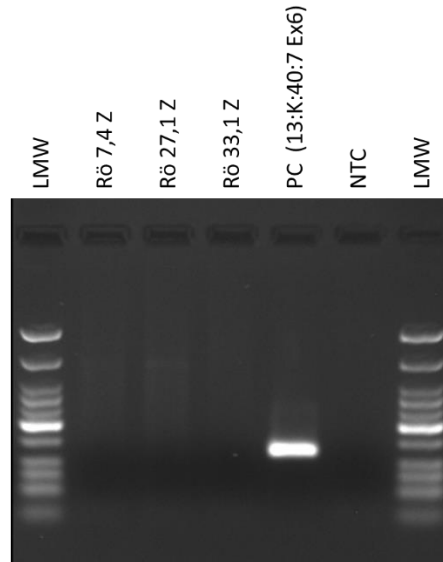


Abbildung 47: Ergebnis der PCR-Amplifikationen der PCR 13 des Erregernachweises über den *Staphylococcus aureus* spezifischen *nuc*-Locus. Aus keinem der DNA-Extrakte der Individuen der Serie Rödelheim konnte pathogenspezifische DNA nachgewiesen werden. Die Positivkontrollen (PC) mit DNA eines Individuums aus der anatomischen Sammlung, der nachweislich an *S. aureus* erkrankt war, zeigt nur die Banden pathogenspezifischer Länge, Negativkontrollen (No Template Control, NTC) zeigen keine Banden. Abkürzung: Z=Zahn. Agarosegelelektrophoreseparameter: 8 μ l PCR-Produkt mit 2 μ l Loadingdye, 3 μ l Längenstandard (LMW, Low Molecular Weight, New England Biolabs), Exposuretime 800 ms.

Interpretation

Bei der paläopathologischen Untersuchung der napoleonischen Soldaten konnten Hinweise auf zahlreiche Infektionserkrankungen gefunden werden. Dies waren zum einen die Krankheiten, die im direkten Zusammenhang mit der napoleonischen Armee bereits über die historischen Überlieferungen bekannt waren, bspw. die Osteomyelitis, respiratorische Erkrankungen, Typhus und die Syphilis (Wilbrand 1884; Lemaire 1999 nach Wilkin und Wilkin 2015; Fremont-Barnes und Fisher 2004; Wilkin und Wilkin 2015). Zum anderen waren es Krankheiten, deren Vorkommen in der Armee aufgrund ihrer generellen Häufigkeit innerhalb der Gesellschaft sowie ihrer Übertragungswege (enge räumliche Nähe der Soldaten, Verzehr von rohem Fleisch) plausibel annehmbar waren, bspw. Tuberkulose und Brucellose (Ortner 2003; Roberts und Manchester 2010; Zamojski 2012; Wilkin und Wilkin 2015).

Rachel (2022) konnte im Rahmen ihrer Untersuchungen bei 73 Individuen entzündliche Veränderungen in den Kieferhöhlen nachweisen, die auf eine chronische Sinusitis hindeuten. Die Soldaten der napoleonischen Armee mussten häufig während der Feldzüge biwakieren.

Insbesondere bei Kälte, Nässe, Schnee oder Eis waren sie schutzlos der Natur ausgesetzt und die Übernachtungen wurden zur Tortur (Blaze und Haythornthwaite 1995; Forrest 2006; Mayer 2011). Durch die allgemein schlechte körperliche Verfassung hatten die Soldaten Erkältungserkrankungen nichts entgegenzusetzen (Fremont-Barnes und Fisher 2004), sodass chronische Entzündungen der Nebenhöhlen plausibel anzunehmen sind. Außerdem wurden bereits in anderen Untersuchungen an Skeletten im militärischen Kontext Anzeichen chronischer Entzündung in den Nebenhöhlen diagnostiziert, bspw. bei den napoleonischen Soldaten der Serie Aspern/Esslingen (Quade und Binder 2018) und den Soldaten der Serie Marchettigasse (Binder 2008). Dennoch ist anzumerken, dass die entzündlichen Veränderungen in den Nasennebenhöhlen nicht nur auf respiratorische Erkrankungen zurückzuführen sind. Quade und Binder (2018) nennen andere Faktoren, die insbesondere bei der militärischen Lebensweise einflussnehmend sein können wie bspw. schlechte Luftqualität, Rauchexposition, Erkrankungen der Lunge, enge räumliche Nähe der Soldaten sowie schlechte hygienische Bedingungen und die schlechte Zahngesundheit (Merrett und Pfeiffer 2000; Slavin et al. 2005; Ovadnevaite et al. 2006; Roberts 2007). Bei 26 Individuen der Serie Rödelheim konnten ebenso poröse Veränderungen auf der viszeralen Seite der Rippenoberfläche nachgewiesen werden, die ebenfalls bei den Individuen der Serien Aspern und Marchettigasse (vgl. oben) nachgewiesen werden konnten. Auch diese pathologischen Veränderungen können einen Hinweis auf respiratorische Erkrankungen der unteren Atemwege, Pneumonie und andere unspezifische Lungenerkrankungen geben, aber auch Luftverschmutzungen können die entzündlichen Veränderungen auf den Rippenoberflächen begünstigen (z.B. Roberts et al. 1994; Quade und Binder 2018). Zusätzlich wurde ein Zusammenhang der Läsionen auf den Rippen und einer Tuberkuloseerkrankung der Lunge beschrieben (z.B. Aufderheide und Rodríguez-Martín 1998; Roberts et al. 1998; Ortner 2003; Roberts und Manchester 2010; Blondiaux et al. 2015; Dangvard Pedersen et al. 2019). Bei acht Individuen mit Auflagerungen auf den Rippenoberflächen sowie anderen morphologischen Anzeichen einer Tuberkuloseerkrankung wurde ein molekulargenetischer Erregernachweis über den *Mycobacterium-tuberculosis-complex* spezifischen *katG*-Locus durchgeführt. Bei dem Individuen Rö 10,4 konnte eine Infektion mit dem Pathogen bestätigt werden. Dieses Individuum zeigte auch die deutlichsten morphologischen Veränderungen mit großflächigen lytischen Strukturauslöschungen an den Wirbelkörpern, zusätzlich zu den Auflagerungen auf den viszeralen Seiten der Rippen (vgl. Abbildung 38). Bei den anderen Individuen konnte eine Tuberkuloseerkrankung nicht bestätigt werden. Jedoch gelten wie bei dem molekulargenetischen Erregernachweis des Typhus bzw. der typhusähnlichen Erkrankungen, dass ausbleibende Signale keinesfalls bedeuten, dass Individuen nicht infiziert waren (vgl. dazu die Interpretation im Kapitel 6.4.2). Natürlich kann nicht ausgeschlossen werden, dass die entzündlichen Veränderungen auf den Rippenoberflächen durch andere Faktoren hervorgerufen

wurden, denn bereits vergangene DNA Analysen konnten den Zusammenhang zwischen den Auflagerungen und einer Tuberkuloseerkrankung nicht in allen Fällen bestätigen (Mays et al. 2002). Dennoch kann gesagt werden, dass zumindest ein Individuum an der Tuberkulose erkrankt war, ob die Erkrankung jedoch todesursächlich war, das kann auf Basis der molekulargenetischen Ergebnisse nicht gesagt werden. Weitere genetische Untersuchungen an den Individuen der Serie Rödelheim könnten interessante Einblicke in den *Mycobacterium tuberculosis*-Bestand innerhalb der Armee bieten, insbesondere in Anbetracht der Tatsache, dass im frühen 19. Jahrhundert die Tuberkulose in einigen Regionen Europas zu den häufigsten Todesursachen zählte (Aufderheide und Rodríguez-Martín 1998). Im Hinblick auf die Knochenneubildungen auf den viszeralen Rippenoberflächen ist eine interessante Beobachtung, dass im Vergleich zu den erwachsenen Individuen deutlich weniger jugendliche Individuen die entzündlichen Veränderungen zeigen. Dies kann ein möglicher Hinweis sein, dass die jungen Individuen erst später rekrutiert wurden und daher noch nicht so lange den o.g. Faktoren, die die Knochenneubildungen auf den Rippenoberflächen auslösen, ausgesetzt waren.

An Individuen der Serie Rödelheim konnten Hinweise auf eine Infektion mit der Syphilis gefunden werden. Diese zeigten sich entweder als periostale Reaktionen, insbesondere an den Tibiae mit bilateraler Verdickung der Diaphysen (Michehl 2020), oder in Form von Schmelzbildungsstörungen an den Zahnkronen, bspw. Maulbeeren-Molaren (Rachel 2022). Die morphologischen Veränderungen am Zahnschmelz können als Ausdruck einer kongenitalen Syphilis gewertet werden (z.B. Hillson 1996; Hillson et al. 1998; Grupe et al. 2015). Da diese Syphilis-Variante von der Mutter auf ihr ungeborenes Kind übertragen wird, hat diese nichts mit der militärischen Lebensweise zu tun. Die periostalen Reaktionen sprechen dagegen eher für eine erworbene Syphilis (z.B. Ortner 2003; Grupe et al. 2015), woran sich die Individuen während ihres Militärdienstes angesteckt haben könnten. Durch die mikroskopische Untersuchung von zwei Tibiae von Individuen konnten deutliche Hinweise auf eine Syphiliserkrankung gefunden werden (Polsterbildung, vgl. oben). In den historischen Überlieferungen wird für den Anfang des 19. Jahrhunderts häufig über Syphiliserkrankungen in den französischen Militärlazaretten berichtet. Der Regimentsarzt Dr. Hahn bezeichnet es als „kolossalen Bestand“ (Wilbrand 1884). Da scheint es fast schon auffällig, dass nur bei sechs Individuen deutliche Anzeichen der Krankheit gefunden werden konnten. Jedoch ist anzumerken, dass durchaus bei zahlreichen Individuen der Serie Rödelheim periostale Reaktionen an den Diaphysen oder auch unspezifische Schmelzbildungsstörungen (Rachel 2022) gefunden werden konnten, diese jedoch morphologisch zu unspezifisch sind, um eindeutige Aussagen zur Ätiologie zu machen. Insbesondere die periostalen Reaktionen der Langknochen bei der Syphilis unterscheiden sich kaum zu denen unspezifischer Knochenerkrankungen (Schultz 2003). Daher ist es durchaus möglich, dass auch andere unspezifische periostale Reaktionen einer

Syphiliserkrankung zuzuschreiben sind. Darüber hinaus können bei der Syphilis erst im sekundären und tertiären Stadium überhaupt morphologische Veränderungen an den Knochen erkannt werden (z.B. Grupe et al. 2015). Somit ist eine deutlich höhere Verbreitung der Syphilis innerhalb der Armee durchaus plausibel anzunehmen. Die Soldaten hatten häufige Sexualkontakte und das Tragen von Kondomen als Präventionsmaßnahme gegen sexuell übertragbare Krankheiten war noch nicht geläufig (Wilkin und Wilkin 2015). Eindeutige Belege für die Syphiliserkrankungen der Soldaten könnte ein molekulargenetischer Erregernachweis ermöglichen (z.B. Schuenemann et al. 2018; Majander et al. 2020), wurde im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht durchgeführt.

Mögliche osteomyelitische Veränderungen wurden an den Knochen von fünf Individuen diagnostiziert. Krankheitsauslösenden Bakterien (z.B. Staphylokokken, Streptokokken oder Mykobakterien) können über offene Wunden, bspw. nach Hiebverletzungen oder durch offene Brüche in den Körper gelangen oder sie werden mit dem Blutkreislauf aus anderen infizierten Regionen des Körpers, bspw. Entzündungen an den Zähnen oder respiratorische Erkrankungen, durch die Volkmann- und Havers-Kanäle in den Knochens transportiert (z.B. Hoch et al. 2009; Roberts und Manchester 2010). Bei den o.g. Faktoren ist plausibel anzunehmen, dass die Soldaten innerhalb der Armee denen regelmäßig ausgesetzt waren. Daher merkt auch Michehl (2020) an, dass die Anzahl an möglichen Osteomyelitiserkrankungen gering erscheint. Jedoch ist anzumerken, dass bei einer progressiven Osteomyelitis in präantibiotischer Zeit die Amputation der betroffenen Gliedmaße häufig das einzige Mittel war, um die Infektion zu bekämpfen (Grupe et al. 2015). Dies wurde auch in den Lazaretten der napoleonischen Armee regelhaft durchgeführt (Larrey 1813; Elting 1997; Welling et al. 2010). Zeichen amputierter Gliedmaßen, wie sie bei anderen Serien napoleonischer Soldaten identifiziert werden konnten (Horáčková und Vargová 1999; Buzhilova et al. 2008; Vymazalová et al. 2021), wurden bei keinem Individuum der Serie Rödelheim diagnostiziert. Dies liegt wahrscheinlich daran, dass es sich bei dem Bestattungsort Rödelheim nicht um den eines Militärlazaretts handelt, wo die Individuen medizinisch versorgt worden wären. Außerdem können bei einer chronischen Osteomyelitis die Erreger ins Blut übergehen, sich im gesamten Körper ausbreiten und zu einer tödlichen Sepsis führen (Waldron 2009; Roberts und Manchester 2010). Über die Molekulargenetik konnte eine *Staphylococcus aureus* Infektion nicht bestätigt werden, aber erneut ist die Abwesenheit eines positiven Signals in der PCR kein Beweis dafür, dass keine Infektion mit dem Pathogen vorlag (vgl. Kapitel 6.4.2 und 6.4.3 oben).

TRAUMATA

Weiterhin wurden die Skelette auf Traumata am postkranialen Skelett und dem Schädel untersucht (Michehl 2020; Rachel 2020). Michehl (2020) konnte 43 Frakturen an Knochen des postkranialen Skeletts diagnostizieren (Abbildung 48).



Abbildung 48: Einige Beispiele an Frakturen der Knochen des postkranialen Skeletts. A) Kollabierter Thorakalwirbel (T12) mit knöchern umgebautem Hämatom am anterioren Bereich des Wirbelkörpers (Individuums Rö 15,2). B) Tibia und Fibula Fraktur des Individuums Rö 35,8. Beide Knochen sind im leichten Versatz wieder zusammengewachsen. C) multiple verheilte Frakturen an den Rippen und D) Fraktur des Handgelenks (Radius distal und Os scaphoid) des Individuums Rö 18,1. Fotos A/C/D: ©Michehl.

Zahlreiche weitere Traumata wurden durch scharfe Gewalt bzw. in einem Fall durch einen möglichen Streifschuss hervorgerufen. Frakturen am postkranialen Skelett wurden bei insgesamt 37 Individuen nachgewiesen. Am häufigsten wurden diese an Radius und/oder Ulna (N=8, davon 3 mögliche Parierfrakturen, Abbildung 49) diagnostiziert (Michehl 2020).



Abbildung 49: Mögliche verheilte Parierfraktur an der linken Ulna des Individuums Rö 31,1. Foto: ©Michehl.

Weitere Traumata befanden sich an den Rippen (N=7), den Femora (N=6) und den Handknochen (N=6). Die übrigen Frakturen verteilten sich auf andere Knochen des postkranialen Skeletts (je drei Frakturen an den Fußknochen ohne Stressfrakturen, den Claviculae und Wirbelbögen sowie je eine Fraktur am Fußgelenk, einer Tibia, einem Wirbelkörper, einem Becken und einer Patella). Alle Frakturen waren vollständig verheilt. Die Autorin konnte feststellen, dass die meisten Frakturen bei den älteren Individuen des Skelettkollektivs diagnostiziert werden konnten.

Michehl (2020) konnte Spuren scharfer Gewalt fünf Mal an Knochen des postkranialen Skeletts identifizieren. Davon waren vier Verletzungen an den Phalangen der Hand und eine an einem Humerus lokalisiert (Abbildung 50).



Abbildung 50: Zwei Beispiele von Verletzungen an den Phalangen der Hand, die durch scharfe Gewalt zugefügt wurden (links: Rö 29,7, rechts: Rö 30,2). Fotos © Michehl.

Die übrigen Verletzungen waren am Schädel lokalisiert und wurden im Rahmen der Arbeit von Rachel (2020) aufgenommen und näher klassifiziert. Rachel konnte bei 31 Individuen insgesamt 51 Schädelverletzungen nachweisen (N=175 untersuchte Individuen). 18 Individuen wiesen dabei eine einzelne Schädelverletzung auf. Die übrigen Individuen zeigten multiple Läsionen, wobei das Individuum Rö 30,18 mit fünf Defekten die meisten Traumata aufwies. In über 80 % (80,39 %) der Fälle wurden die Traumata durch halbscharfe Gewalt als Hiebverletzung zugefügt (Abbildung 51, A&B). Nur in einem Fall wurde eine Verletzung durch einen möglichen Streifschuss hervorgerufen (Abbildung 51, C). Am häufigsten wurden die Traumata im Bereich der *Ossa parietalia* und am *Os frontale* diagnostiziert.

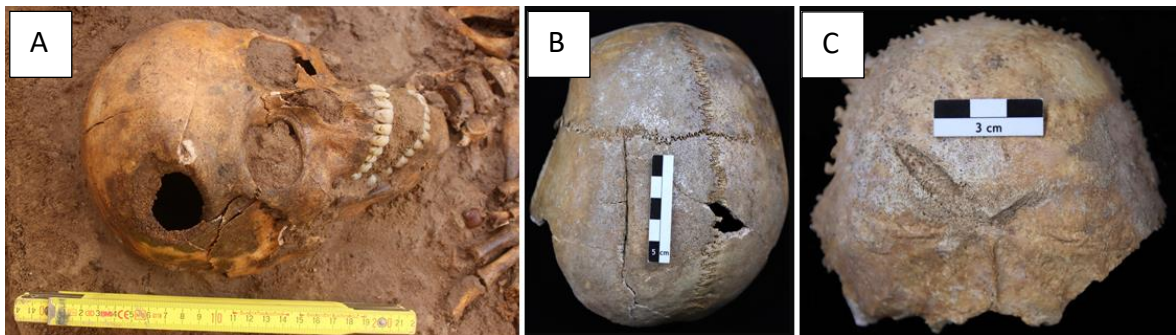


Abbildung 51: Beispiele von Schädelverletzungen an Individuen der Serie Rödelheim. Alle Verletzungen zeigen Heilungsspuren, wurden also zumindest eine gewisse Zeit überlebt. A) In situ Aufnahme des Individuums Rö 29,5 mit großer Hiebverletzung und Knochenabtrennung am rechten *Os frontale*. B) Schnittverletzung am linken *Os parietale* des Individuums Rö 35,16. C) Mögliche Streifschussverletzung am *Os occipitale* des Individuums Rö 28,12. Foto A: ©Denkmalamt Frankfurt am Main, zugeschnitten; Foto B/C: ©Michehl.

Alle Schädeltraumata sind prä mortal entstanden, da die Knochen unterschiedlich weit fortgeschrittene Heilungsspuren aufwiesen.

Interpretation

Michehl (2020) konnte über 40 Frakturen an Knochen des postkranialen Skeletts nachweisen, welche alle als antemortal eingestuft werden konnten. Einige dieser Frakturen waren bereits vollständig verheilt, sodass eine zeitliche Eingrenzung des Entstehungszeitraums nicht genau erfolgen konnte. Die Autorin merkte an, dass der Zeitpunkt der Fraktur mindestens mehrere Monate zurück lag, aber auch nicht ausgeschlossen werden kann, dass diese bereits vor dem Militärdienst entstanden sein könnten. Somit lassen gut verheilten Frakturen auch nur indirekt Rückschlüsse auf die medizinische Versorgung innerhalb der Armee zu. Im Heilungsprozess von Frakturen bspw. der Langknochen können unterschiedliche Komplikationen wie Infektion, Nekrose, fehlende knöcherne Überbrückung der Knochenfragmente oder auch Knochendeformation

auftreten (z.B. Ortner 2003). Insbesondere die letzten beiden Komplikationen können Hinweise auf die medizinische Versorgung von Individuen geben, da das nicht erfolgte Verheilen von Frakturen oder das schiefe Verknöchern von Bruchstellen durch nicht ausreichende Fixierung und physischen Stress auf den Kallus begünstigt wird (z.B. Ortner 2003; Grupe et al. 2015). Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass vollständig zusammengeheilte und relativ gerade ausgerichtete Frakturen einen Hinweis geben können, dass die Verletzten zumindest rudimentär ärztlich versorgt wurden, die Knochen fixiert wurden und die frakturierten Knochen weitestgehend vor Belastungen geschont wurden (Abbildung 52). Ob diese Versorgung innerhalb der Armee oder bereits vor dem Militärdienst durchgeführt wurde, kann nicht gesagt werden.



Abbildung 52: Gut verheilte Femurfraktur des Individuums Rö 10,1, mit leichtem Versatz der Diaphyse.

Michehl (2020) konnte zahlreiche Frakturen an den Knochen jugendlicher Individuen identifizieren. Sie merkte an, dass bei archäologischen Funden Diagnosen von Frakturen an Knochen juveniler Individuen eher selten sind. Durch die hohe Elastizität der Knochen brechen die Knochen häufig nur einseitig (*greenstick*-Fraktur), bleiben dadurch gerade ausgerichtet und durch die schnellen Stoffwechselforgänge verheilen Frakturen sehr schnell, sodass diese nahezu vollständig verschwinden (Roberts und Manchester 2010). Dennoch konnte Michehl (2020) auch bei juvenilen Individuen zahlreiche Frakturen diagnostizieren, was sie mit einem möglichen erhöhtem Unfallrisiko im Militäralltag begründete. Insbesondere Verletzungen durch Stürze vom Pferd oder auch Probekämpfe zwischen den Soldaten zählen zu möglichen Risikofaktoren für die Entstehung von Frakturen, wobei natürlich die Gefahr auf dem Schlachtfeld weiter erhöht war (Nicklisch et al. 2017).

Hinweise auf die Teilnahme an (mindestens) einem Kampf konnte bereits Michehl (2020) feststellen. Verletzungen an den Unterarmen und Phalangen können Hinweise auf Abwehrverletzungen geben (Nicklisch et al. 2017). Michehl konnte an drei linken Ulnae je eine verheilte Fraktur identifizieren, die allgemein als mögliche Parierfrakturen angesprochen werden können (Grupe et al. 2015). Darüber hinaus konnte sie Schnittverletzungen an den Phalangen der Hände einiger Individuen diagnostizieren, die möglicherweise durch das Abwehren einer scharfen Waffe entstanden sein können.

Ebenfalls deutliche Hinweise auf die Teilnahme einer Schlacht bzw. eines Kampfes konnte Rachel (2020) über ihre Untersuchung der Schädelverletzungen geben. In über 80 % der Fälle wurden Hiebverletzungen identifiziert, die vermutlich durch Klingengewaffen zugefügt wurden und somit eher durch zwischenmenschliche Gewalt erklärt werden können (Kranioti 2015). Nur fünf dieser Verletzungen waren penetrierend, welche Rachel (2020) so interpretierte, dass beim Zufügen der Verletzung die Absicht vorlag, das Individuum handlungsunfähig zu machen bzw. es zu töten (Constantinescu et al. 2017). Bei den nicht penetrierenden Verletzungen konnte sie nicht ausschließen, dass diese auch ohne ernstzunehmende Tötungsabsicht zugefügt wurden, bspw. in Probekämpfen. Sie fügte jedoch kritisch hinzu, dass insbesondere bei den Schädelverletzungen mit Heilungsspuren nicht mehr eindeutig geklärt werden kann, ob die Verletzung ursprünglich penetrierend war. Klar war jedoch, dass keine der Verletzungen unmittelbar zum Tode des Individuums geführt hat, da Heilungsspuren am Knochen erst nach circa ein bis zwei Wochen morphologisch diagnostizierbar sind (Cooper 2011; Grupe et al. 2015). Einige Verletzungen waren so weit verheilt, dass die Gewaltform nicht mehr abschließend geklärt werden konnte, daher schlussfolgerte Rachel (2020), dass die Verletzungen bereits längere Zeit zurück lagen. Warum alle Verletzungen prämortaler Natur waren, begründete die Autorin damit, dass die Individuen mit schwerwiegenderen Verletzungen vermutlich auf dem Schlachtfeld verstarben oder zur medizinischen Versorgung in ein Lazarett gebracht wurden. Daher werden bei archäologischen Funden napoleonischer Soldaten, die mit einem Schlachtfeld assoziiert sind, bspw. Aspern/Esslingen, Leipzig oder auch Wagram (Teegen 2014; Westphalen 2016; Binder und Quade 2018; Grabmayer und Binder 2021), in der Regel perimortale Verletzungen diagnostiziert.

Ob die erst kürzlich erlittenen Verletzungen der Individuen der Serie Rödelheim in der Schlacht bei Hanau (30./ 31. Oktober 1813), bei der Leipziger Völkerschlacht (16.-19. Oktober 1813) oder einer anderen kriegerischen Auseinandersetzung entstanden sind, kann nicht eindeutig geklärt werden, da zu der Zeit Schlachten in zeitlich kurzen Abständen voneinander stattfanden. Natürlich kann auch jede andere Form interpersoneller Gewalt zu den Verletzungen geführt haben (Rachel 2020).

Eindeutige Hinweise auf die medizinische Versorgung konnten auch bei den Schädelverletzungen nicht gefunden werden. Grumbkow (2013) konnte bei den Individuen aus dem Massengrab Kassel an zwei Individuen Zeichen einer Trepanation, also einem chirurgischen Eingriff, bei dem die Schädelkalotte abgetragen wurde, diagnostizieren und somit Rückschlüsse auf die medizinische Versorgung der Soldaten geben. Jedoch starben die Individuen aus dem Massengrab Kassel in einem Lazarett, wo sie vermutlich chirurgisch versorgt wurden und dann am Typhus verstarben. Bei den Individuen der Serie Rödelheim konnten solche Hinweise nicht gefunden werden, jedoch legen die Ausprägungen einiger Schädelverletzungen nahe, bspw. die Schädelverletzung des Individuums RÖ 29,5 (Abbildung 51), dass die Wunden zumindest abgedeckt wurden, um die Blutung zu stoppen. Die Frage, ob dieses durch das medizinische Personal oder die Soldaten selbst durchgeführt wurde, muss an dieser Stelle unbeantwortet bleiben.

7 DAS GESAMTPROJEKT

Durch dieses Projekt konnte gezeigt werden, dass über eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit aus den Fachdisziplinen Archäologie, Geschichtswissenschaften und historischer Anthropologie umfangreiche Informationen gewonnen werden können, um ein detailliertes Bild der Lebensbedingungen von Individuen aus vergangener Zeit zu schaffen. Ausgehend vom Denkmalamt Frankfurt am Main (unter der Leitung von Dr. Andrea Hampel) wurden die Voraussetzungen geschaffen, dass am Institut für Historische Anthropologie und Humanökologie (Georg-August-Universität Göttingen), unter Koordination von Dr. Birgit Großkopf, in zahlreichen Examensarbeiten und dieser Dissertation umfangreiche morphologische, morphometrische und molekulargenetische Daten erhoben werden konnten. Die Ergebnisse der gesamten Einzeluntersuchungen konnten im Rahmen der hier vorliegenden Arbeit zusammengeführt werden, um ein vollumfassendes Bild über die in Frankfurt-Rödelheim verstorbenen Soldaten zu schaffen sowie ihr entbehrensreiches Leben zu rekonstruieren. Den Abschluss des Projekts bildete die Wiederbestattung der Individuen.

Bereits im Jahr 2019 wurde auf Initiative der damaligen Konsulin Mme Pascale Trimbach, symbolisch ein Individuum der Skelettserie Rödelheim bestattet und ein Gedenkstein auf dem Südfriedhof der Stadt Frankfurt am Main errichtet. Am 2. November 2022 wurden die übrigen Soldaten unter Koordination der amtierenden Generalkonsulin Mme Dr. Ilde Gorguet und mit Anteilnahme einer deutsch-französischen Delegation bestattet (Abbildung 53).



Abbildung 53: Einige Eindrücke der Ankunft der in Särgen gebetteten Individuen auf dem Südfriedhof Frankfurt am Main sowie der Gedenkfeier am 2. November 2022. A) Übergabe der Särge durch die Bundeswehr Niedersachsen auf dem Südfriedhof. B) Falten der Trikolore zur Übergabe an die Vertreter:innen der französischen Delegation (C). D) Letzter Sarg vor seiner Wiederbestattung bei der Gedenkfeier am 2. November 2022 auf dem Südfriedhof Frankfurt am Main. Fotos A-C: ©Hauptmann Jens Heimann.

Auf der Gedenkfeier versammelten sich Vertreter:innen vom Denkmalamt Frankfurt am Main, dem Consulat général de France à Francfort & Le Souvenir Français – Officiel, der Georg-August-Universität Göttingen, dem Volksbund Deutsche Kriegsgräberfürsorge e. V., der Bundeswehr in Niedersachsen, der Bundeswehr in Hessen, der Légion étrangère und dem Grünflächenamt sowie zahlreichen Gästen, die zu Ehren der Soldaten Anteil nahmen. Im Rahmen dieser Ehrengedenkfeier wurde den in Frankfurt am Main verstorbenen Individuen ein würdevoller Abschied bereitet (für Interessenten bietet auch Christina Lehr für RheinMainTV eine kurze Berichterstattung, <https://www.youtube.com/watch?v=dOzD-PdsVII>, 12/2022). Durch die enge interdisziplinäre Zusammenarbeit konnten umfangreiche Informationen zum Leben und Sterben in der napoleonischen Armee gewonnen werden, sodass ihr Andenken nicht verloren geht (Abbildung 54).



Abbildung 54: Reenactors der Légion de Mayence e. V. in historischer Bekleidung bzw. Uniform zum Andenken an die in Frankfurt verstorbenen Soldaten der Grande Armée.

8 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die menschlichen Überreste von mehr als 200 napoleonischen Soldaten, die im Stadtteil Rödelheim (Frankfurt am Main) 2015 archäologisch geborgen wurden, umfassend anthropologisch untersucht. Ziel der Untersuchung war es, Napoleons Rekrutierungsstrategie und Truppenzusammensetzung, Truppenbewegung sowie die Ernährungssituation, hygienische Bedingungen, Gesundheit und medizinische Versorgung der Soldaten nachzuvollziehen. Hierfür wurden biologische Korrelate an den Skeletten analysiert und dokumentiert. Dieses Vorhaben wurde durch den sehr guten Überlieferungszustand der Individuen unterstützt, so dass zahlreiche morphologische, morphometrische und molekulargenetische Untersuchungen möglich waren.

Die morphologischen und morphometrischen Untersuchungen wurden für die Erhebung der biologischen Basisdaten (Geschlecht, Alter, Körperhöhe, Robustizität) durchgeführt, um eine Beschreibung der demographischen Strukturen zu erlauben. Die Geschlechtsdiagnose wurde dabei durch die molekulargenetische Untersuchung über den geschlechtsspezifischen Amelogeninmarker und gonosomale Short Tandem Repeats (STRs) unterstützt. Im Skelettkollektiv wurden erwartungsgemäß überwiegend männliche Individuen, die im jugendlichen oder jungen Erwachsenenalter gestorben waren, nachgewiesen.

Durch die genetischen Untersuchungen konnten auf Basis autosomaler Allelfrequenzen sowie Y-chromosomaler Haplotypen und Y-Haplogruppenverteilungen zentrale Hinweise gefunden werden, dass es sich bei den Individuen der Skelettserie Rödelheim nicht ausschließlich um Franzosen handelte. Innerhalb der unterschiedlichen Alterskohorten (jugendliche und erwachsene Individuen), deuteten die Untersuchungsergebnisse der Y-chromosomalen Haplotypen und Y-Haplogruppen weiterhin auf Änderungen der Rekrutierungsstrategie und Truppenzusammensetzung zu Zeiten der Befreiungskriege hin. Die Ergebnisse legen nahe, dass die älteren Individuen vermehrt auch östlich des Rheins rekrutiert wurden, sich unter ihnen bspw. auch zahlreiche Soldaten der damals noch verbündeten Rheinbundstaaten befanden. Die jugendlichen Individuen wurden hingegen eher ausschließlich westlich des Rheins rekrutiert. Historisch überliefert ist, dass es nach den hohen Verlusten im Russlandfeldzug zu einer Erweichung des Rekrutierungsregimes kam und auch deutlich jüngere Männer den Wehrdienst antreten mussten. Insbesondere die jugendlichen Soldaten könnten als „letztes Aufgebot“ im Kaiserreich Frankreich rekrutiert worden sein, da Napoleon Maßnahmen ergriff, zum Schluss jeden für den Militärdienst zu verpflichten, ungeachtet seiner Tauglichkeit. Dafür spricht zum einen die relativ geringe Körperhöhe von 166 cm im Kollektiv, die zwar dem europäischen Durchschnittswert entspricht,

aber im Vergleich zu den durchschnittlichen Körperhöhen einer Vielzahl anderer Skelettserien napoleonischer Soldaten relativ gering erscheint. Zum anderen spricht auch die hohe Anzahl von Individuen mit linearer Schmelzhypoplasien (über 90 %) und Anzeichen von Avitaminosen, bspw. Skorbut und Osteomalazie, die bei einigen Individuen identifiziert werden konnten, für ein entbehrensreiches Leben vor und während des Lebens in der Armee.

Die Schnelligkeit der Armee und die besonderen körperlichen Herausforderungen der typisch napoleonischen Truppenbewegungen bilden sich durch Stressmarker am Skelett ab. Die altersuntypischen degenerativen Veränderungen, insbesondere an Gelenken der unteren Extremität und der Wirbelsäule, die Enthesiopathien an den Claviculae sowie die an fast zwei Drittel der Individuen diagnostizierten unspezifischen periostalen Reaktionen an den Langknochen der unteren Extremität belegen eine starke körperliche Belastung, bspw. durch langes Marschieren mit schwerem Gepäck. Dies wird durch die zahlreichen Stressmarker der Fußknochen unterstützt, die sich entweder als Frakturen der Mittelfuß- oder Zehenknochen zeigten, oder an einem Drittel der Individuen durch Anzeichen von Knorpeldefekten (*Osteochondrosis dissecans*) an Knochen der unteren Extremität in Erscheinung traten. Auffällig war dabei, dass die erwachsenen Individuen in der Regel schwerer von den Pathologien betroffen waren als die juvenilen. Dies deutet darauf hin, dass die erwachsenen Individuen möglicherweise schon deutlich länger innerhalb der Armee lebten, so dass sich die Pathologien deutlich schwerer ausprägten.

Die Ernährungssituation, die hygienischen Bedingungen und der Gesundheitszustand innerhalb der napoleonischen Armee können aus heutiger Sicht als mangelhaft beschrieben werden. Länger wählender Hunger und Nährstoffmangel, unzureichende Körperhygiene und ein schlechter allgemeiner Gesundheitszustand der Soldaten zeigen sich am Skelett. Ebenso lassen sich Hinweise auf Traumata und Schädelverletzungen sowie deren medizinische Versorgung finden. Bei einem Viertel der Individuen konnte eine klassische *Cribra orbitalia* und bei fast einem Drittel der Soldaten eine *Cribra femoris* diagnostiziert werden, beides morphologische Veränderungen, die häufig durch vielfältige Stressphasen oder ernährungsbedingten Mangel wichtiger Nährstoffe in der Entwicklung ausgelöst werden können, bspw. durch eine einseitige Ernährung. Fast jedes Individuum des Skelettkollektivs wies mindestens eine Kariesläsion auf, deren Entstehung durch die Aufnahme kohlenhydratreicher Nahrung gemeinsam mit einer schlechten Mundhygiene begünstigt wird. Ähnlichen Ursachen erklären auch die ebenfalls gehäuft auftretenden anderen Dentalpathologien, bspw. Zahnstein und Stomatitis. Für die schlechten hygienischen Bedingungen können die entzündlichen Veränderungen auf den Schädelkalotten bei zwei Drittel der untersuchten Individuen ebenfalls hinweisgebend sein, da sie auf einen Lausbefall der Soldaten hindeuten. Daraus abgeleitet werden die historischen Überlieferungen gestützt, dass die in Rödelheim

bestatteten Individuen sich mit dem Typhus bzw. einer typhusähnlichen Erkrankung ansteckten und daran starben. Molekulargenetisch konnte diese These jedoch bislang nicht bestätigt werden. Weitere Infektionserkrankungen, die im direkten Zusammenhang mit infizierten Verletzungen (Osteomyelitis) oder dem generellen Leben in der Armee stehen, bspw. der Syphilis oder Tuberkulose, konnten an einigen Skeletten morphologisch identifiziert und in Einzelfällen mikroskopisch bzw. molekulargenetisch bestätigt werden. Eine Vielzahl gut verheilter Frakturen am postkranialen Skelett deuten auf eine zumindest rudimentäre medizinische Versorgung der Individuen hin. Ob dieses im militärischen Kontext oder bereits zu einem früheren Zeitpunkt geschah, ist an den Knochen nicht ablesbar. Mögliche Parierfrakturen an drei linken Ellen, Schnittverletzungen an Hand- und einem Oberarmknochen sowie Hiebverletzungen an Schädeln von über 30 Individuen können als Ausdruck interpersoneller Gewalt gedeutet werden. Keine dieser Verletzungen war offensichtlich todesursächlich. Einige Verletzungen waren vollständig verheilt, sodass keine Rückschlüsse zum Entstehungszeitpunkt gezogen werden konnten. Andere zeigten deutliche Heilungsspuren, sodass die Verletzungen mindestens eine Woche zurückgelegen haben müssen, was auf eine Teilnahme der Individuen an den Schlachten der Befreiungskriege hindeutet.

Geschichtliche Überlieferungen haben häufig ihren Ursprung in Einzelschilderungen aus Soldatenbriefen, in denen Männer ihren Alltag in der napoleonischen Armee beschreiben. Im Rahmen dieser Arbeit wurde gezeigt, dass diese teils subjektiven Wahrnehmungen einzelner Männer zum Leben in der Armee durchaus generalisiert werden können. Am Skelettkorrelat konnten durch die paläopathologischen Untersuchungen zahlreiche Hinweise gefunden werden, dass die Soldaten ein entbehrungsreiches Leben gelebt haben, in dem sie von Hunger und Mangelzuständen, schlechten hygienischen Bedingungen sowie andauernder (Über-)Belastung betroffen waren. Der allgemein schlechte Gesundheitszustand und das Auftreten zahlreicher Infektionskrankheiten scheinen ein generelles Problem innerhalb der napoleonischen Armee gewesen zu sein, was auch bereits in anderen Studien gezeigt wurde.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnten darüber hinaus über die genetischen Analysen unsere Kenntnisse über die Rekrutierungsstrategie Napoleons nach dem Russlandfeldzug naturwissenschaftlich untermauert werden. So konnten eindeutige Hinweise gefunden werden, dass die geschichtlichen Überlieferungen zutreffen, dass Napoleon 1813 deutlich jüngere Männer bzw. Jugendliche verpflichtete, um die großen personellen Verluste aus dem Russlandfeldzug auszugleichen. Durch die molekulargenetischen Daten kann darüber hinaus belegt werden, dass er die jugendlichen Individuen wohl fast ausschließlich im Kerngebiet Frankreichs rekrutierte, wohingegen die älteren Soldaten seiner „Stammarmee“ eine höhere Diversität der genetischen Profile aufweisen, die eine Rekrutierung auch weiter östlich, bspw. bei seinen damaligen

Verbündeten der Rheinbundstaaten, nahelegt. Somit konnte die vorliegende Arbeit nicht nur die geschichtlichen Überlieferungen zum Leben in der napoleonischen Armee bestätigen, sondern sie um Informationen hinsichtlich der biogeographischen Herkunft der Individuen entscheidend erweitern.

9 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | |
|--|-----|
| Abbildung 1: Grabungsplan der Fundstelle Roe01 Mitte und Roe01 Nord. Plan: ©Denkmalamt Frankfurt am Main, abgezeichnet von Benkhoff (2019)..... | 40 |
| Abbildung 2: Einzelbestattung des Individuums Rö 24,3 in Rückenlage. Foto: ©Denkmalamt Frankfurt am Main, zugeschnitten | 40 |
| Abbildung 3: Die in situ-Situation zeigt die ungeordnete Lage der neun Individuen im Massengrab Rö Stelle 20. Foto: ©Denkmalamt Frankfurt am Main, zugeschnitten..... | 41 |
| Abbildung 4: Heptaplex-Systems (Seidenberg 2016). Abbildung: ©Mazanec (2022)..... | 79 |
| Abbildung 5: Sexplex-Systems (Flux unveröffentlich; Lucas 2016). Abbildung: ©Mazanec (2022) | 81 |
| Abbildung 6: Y-Dekaplex-Systems (Grumbkow 2013; Seidenberg 2016). Abbildung: ©Mazanec (2022) | 83 |
| Abbildung 7: Schematische Darstellung des Investigator Argus Y-28 QS Kit der Firma Qiagen. Abbildung: ©Mazanec nach Qiagen (2021)..... | 84 |
| Abbildung 8: Spektrum der Robustizität am Beispiel des Femurs. Foto: ©Lucas | 99 |
| Abbildung 9: Elektropherogramm einer Amplifikation gonosomaler STR-Marker | 100 |
| Abbildung 10: Geschlechterverteilung von drei Skelettserien napoleonischer Soldaten | 101 |
| Abbildung 11: Mikroskopisches Bild eines Dünnschnittes aus der Femur-Diaphyse des Individuums Rö 12,1. | 103 |
| Abbildung 12: Sterbealtersverteilung der Individuen aus Rödelheim | 104 |
| Abbildung 13: Sterbealtersverteilung der Individuen aus Rödelheim, Kassel und Vilnius | 105 |
| Abbildung 14: Oberschenkelknochen des größten und kleinsten Individuums im Skelettkollektiv | 108 |
| Abbildung 15: Box plot der Körperhöhenverteilungen der Serien Rödelheim, Kassel und Vilnius | 109 |
| Abbildung 16: Box plot der Maße A) distale Humerusepiphyse (H4) der Serien Rödelheim und Kassel | 114 |
| Abbildung 17: Schweregrade der linearen Schmelzhypoplasien. Foto: ©Rachel | 117 |
| Abbildung 18: Tibiae des Individuums Rö 24,4 mit starken hämorrhagischen Knochenneubildungen | 121 |
| Abbildung 19: Knochen der unteren Extremität (Femora, Tibiae und Fibulae) des Individuums Rö 30,20 (Rachitis). Foto: ©Michehl..... | 122 |
| Abbildung 20: Thorakalwirbel mit deutlichen degenerativen Veränderungen. Foto ©Michehl | 123 |
| Abbildung 21: Unspezifische Wachstumsstörung an einem Wirbel. Foto ©Frye | 124 |
| Abbildung 22: Elektropherogramm autosomaler STR-Marker..... | 127 |

Abbildung 23: Elektropherogramm Y-Haplotyps nach Amplifikation mit dem Argus Y-28 QS Kit (Firma Qiagen) 136

Abbildung 24: Ausgewählte Populationen über Europa für die erste AMOVA Analyse. ©CC BY-SA 3.0, GNU-Lizenz für freie Dokumentation, Version 1.2 148

Abbildung 25: Ausgewählte Populationen über Mittel- und Westeuropa für die zweite AMOVA Analyse. ©CC BY-SA 3.0, GNU-Lizenz für freie Dokumentation, Version 1.2 150

Abbildung 26: Unspezifischen, streifigen periostalen Reaktionen 155

Abbildung 27: Verschiedene Schweregrade von Enthesiopathien. ©Michehl 155

Abbildung 28: Stressfraktur und Kallusbildung am 3. Metatarsus. Foto ©Michehl 156

Abbildung 29: Osteochondrosis dissecans. ©Michehl 157

Abbildung 30: Eburnisierte Oberfläche. Foto ©Michehl 158

Abbildung 31: Abdrücke Schmorlscher Knorpelknötchen. Foto ©Michehl 159

Abbildung 32: Cribra orbitalia und Cribra femoris. Foto Cribra femoris ©Michehl 168

Abbildung 33: Darstellung der unterschiedlichen Kariestypen. Fotos ©Rachel 172

Abbildung 34: Multiple Pfeifenlücken. Foto ©Michehl 177

Abbildung 35: Porositäten auf der Schädelkalotte. Foto ©Weiher 179

Abbildung 36: Ergebnis der PCR-Amplifikationen der PCR78 (B. quintana und R. prowazekii), PCR79 (S. typhi und S. paratyphi A) und PCR 80 (S. enterica ohne S. paratyphi A und B. recurrentis) 181

Abbildung 37: Die Incisivi des Oberkiefers mit Anzeichen eines Bruxismus. Foto ©Rachel, Maßstab 180° gedreht 187

Abbildung 38: Pathologische Veränderungen am Skelett des Individuums Rö 10,4. Fotos ©Michehl 189

Abbildung 39: Pathologische Veränderungen am Skelett des Individuums Rö 15,3. Fotos ©Michehl 190

Abbildung 40: Schalenartige Knochenneubildungen auf Metatarsalia. Foto ©Michehl 190

Abbildung 41: Knochenneubildung auf der viszeralen Seite einer Rippe 191

Abbildung 42: Ergebnis der PCR-Amplifikationen der PCR 11 und PCR 16 des Erregernachweises über den Mycobacterium-tuberculosis-complex spezifischen katG-Locus 192

Abbildung 43: Alignment der Sequenzabfolge der Referenzsequenz M. tuberculosis-Komplex (erste Reihe), die Sequenz des PCR-Produkts aus dem DNA-Extrakt von Rö 10,4 (PCR 16, mittlere Reihe) sowie der Positivkontrolle H37 (PCR 16, untere Reihe) 193

Abbildung 44: Morphologischen Merkmalen, die für eine Syphilis-Erkrankung sprechen. Foto A ©Rachel. 194

Abbildung 45: Mikroskopische Aufnahme Verdacht einer Syphiliserkrankung 195

Abbildung 46: Beispiele von Knochen mit möglichen osteomyelitischen Veränderungen Foto B ©Michehl 196

Abbildung 47: Ergebnis der PCR-Amplifikationen der PCR 13 des Erregernachweises über den Staphylococcus aureus spezifischen nuc-Locus. 197

Abbildung 48: Einige Beispiele an Frakturen der Knochen des postkranialen Skeletts. Fotos A/C/D ©Michehl 201

Abbildung 49: Mögliche verheilte Parietfraktur an der linken Ulna. Foto ©Michehl 202

Abbildung 50: Zwei Beispiele von Verletzungen an den Phalangen der Hand, die durch scharfe Gewalt zugefügt wurden. Fotos ©Michehl 202

Abbildung 51: Beispiele von Schädelverletzungen an Individuen der Serie Rödelheim. Fotos A: ©Denkmalamt Frankfurt am Main, zugeschnitten; B/C: ©Michehl 203

Abbildung 52: Gut verheilte Femurfraktur, mit leichtem versatz der Diaphyse 204

Abbildung 53: Einige Eindrücke der Ankunft der in Säрге gebetteten Individuen auf dem Südfriedhof Frankfurt am Main sowie der Gedenkfeier am 2. November 2022. Fotos A-C © Hauptmann Jens Heimann 207

Abbildung 54: Reenactors der Légion de Mayence e. V. in historischer Bekleidung bzw. Uniform zum Andenken an die in Frankfurt verstorbenen Soldaten der Grande Armée..... 208

10 TABELLENVERZEICHNIS

| | |
|---|-----|
| Tabelle 1: Fundplätze von Skeletten napoleonischer Soldaten..... | 47 |
| Tabelle 2: Kontrollproben von Bakterien | 48 |
| Tabelle 3: Merkmale am Becken und Schädel (inkl. Unterkiefer) für die morphologische Geschlechtsdiganose (Herrmann et al. 1990)..... | 52 |
| Tabelle 4: Exemplarische Kreuztabelle für die Durchführung eines χ^2 -Tests | 91 |
| Tabelle 5: Exemplarische Berechnung des Erwartungswerts im System D5S818 mit Allelfrequenzen einer russischen Referenzpopulation | 95 |
| Tabelle 6: Durchschnittliche Körperhöhen von Individuen aus unterschiedlichen militärischen Kontexten und Zeitstellungen | 110 |
| Tabelle 7: Robustizitätsindices der Individuen der Serien Rödelheim und Kassel | 113 |
| Tabelle 8: Ausgewählte Epiphysenmaße der Individuen der Serien Rödelheim und Kassel | 114 |
| Tabelle 9: Beobachtete und erwartete Heterozygotie bei den Individuen aus Rödelheim | 128 |
| Tabelle 10: Allelverteilung unterschiedlicher europäischer Populationen, den Individuen aus dem Massengrab Kassel und der Skelettserie Rödelheim im STR-System D5S818 | 129 |
| Tabelle 11: Allelverteilung unterschiedlicher europäischer Populationen, den Individuen aus dem Massengrab Kassel und der Skelettserie Rödelheim im STR-System D13S317 | 130 |
| Tabelle 12: Allelverteilung unterschiedlicher europäischer Populationen, den Individuen aus dem Massengrab Kassel und der Skelettserie Rödelheim im STR-System D18S51 | 131 |
| Tabelle 13: Allelverteilung unterschiedlicher europäischer Populationen, den Individuen aus dem Massengrab Kassel und der Skelettserie Rödelheim im STR-System D21S11 | 132 |
| Tabelle 14: Allelverteilung unterschiedlicher europäischer Populationen, den Individuen aus dem Massengrab Kassel und der Skelettserie Rödelheim im STR-System FGA..... | 133 |
| Tabelle 15: Allelverteilung unterschiedlicher europäischer Populationen, den Individuen aus dem Massengrab Kassel und der Skelettserie Rödelheim im STR-System TH01 | 134 |
| Tabelle 16: Konsensus Y-Haplotypen der Individuen aus der Skelettserie Rödelheim und die vorhergesagten Haplogruppen | 137 |
| Tabelle 17: Verteilung der Haplogruppen in der Skelettserie Rödelheim | 142 |
| Tabelle 18: Haplogruppenhäufigkeit unterschiedlicher europäischer Populationen, der Individuen aus dem Massengrab Kassel und der Skelettserie Rödelheim | 143 |
| Tabelle 19: Ergebnisse des paarweisen Vergleichs der Haplogruppenhäufigkeiten der Skelettserie Rödelheim (N=171) mit anderen europäischen Populationen und den Individuen aus dem Massengrab Kassel über den χ^2 -Test mit den zugehörigen p-Werten (d=5) | 144 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle 20: Haplogruppenverteilung und Haplogruppenhäufigkeit der unterschiedlichen Alterskohorten der Skelettserie Rödelheim | 145 |
| Tabelle 21: Ergebnisse des paarweisen Vergleichs der Haplogruppenhäufigkeiten der erwachsenen Alterskohorte (N=130) der Skelettserie Rödelheim mit anderen europäischen Populationen und den Individuen aus dem Massengrab Kassel über den χ^2 -Test mit den zugehörigen p-Werten ($df=5$) | 146 |
| Tabelle 22: Ergebnis der AMOVA Analyse mit 10.000 Permutationen als Distanzmatrix (europäische Populationen) | 149 |
| Tabelle 23: Ergebnis der AMOVA Analyse mit 10.000 Permutationen als Distanzmatrix (west-/mitteleuropäische Populationen)..... | 151 |

11 LITERATURVERZEICHNIS

- Acsádi G, Nemeskéri J** (1970) *History of Human Life Span and Mortality*. Akadémiai Kiadó
- Adler C-P** (1998) *Knochenkrankheiten: Diagnostik makroskopischer, histologischer und radiologischer Strukturveränderungen des Skeletts*, 2. Aufl. edition. Springer, Berlin Heidelberg
- Adlow E** (2015) *Napoleon in Italy, 1796-1797*. Wagram Press
- Alt K** (2009) Zähne als Spuren der Vergangenheit. *Zahnärztliche Mitteilungen* 36–44
- Alt KW, Türp JC, Wächter R** (1998) Periapical Lesions — Clinical and Anthropological Aspects. In: Alt KW, Rösing FW, Teschler-Nicola M (Hrsg) *Dental Anthropology: Fundamentals, Limits and Prospects*. Springer, Vienna, S 247–276
- Altfelix L** (2020) Recording of the obliteration status of the epiphysis in a series of French Soldiers, Evaluation of the data with regards to age estimation and their suitability as stress indicators. Masterarbeit Universität Göttingen
- Andress D** (1999) *French society in revolution 1789–1799*, 1. edn. Manchester University Press, Manchester
- Araújo A, Ferreira LF, Guidon N, et al** (2000) Ten Thousand Years of Head Lice Infection. *Parasitology Today* 16:269. [https://doi.org/10.1016/S0169-4758\(00\)01694-X](https://doi.org/10.1016/S0169-4758(00)01694-X)
- Athey TW** (2005) Haplogroup Prediction from Y-STR Values Using an Allele- Frequency Approach. *J Genet Geneal* 1:1-7
- Aufderheide AC, Rodríguez-Martín C** (1998) *The Cambridge Encyclopedia of Human Paleopathology*, Reissue edition. Cambridge University Press, Cambridge
- Ballantyne KN, Ralf A, Aboukhalid R, et al** (2014) Toward male individualization with rapidly mutating y-chromosomal short tandem repeats. *Hum Mutat* 35:1021–1032. <https://doi.org/10.1002/humu.22599>
- Benkhoff K** (2019) STR-basierte Analysen an Skeletten aus unterschiedlichen estattungssituationen zur Ermittlung des DNA-Degradierungsgrades. Bachelorarbeit Universität Göttingen
- Bernoulli R** (1943) *Geschichte der Soldatenernährung der militärisch wichtigen Völker Europas*. <https://doi.org/10.5169/SEALS-18431>
- Bernstein A, Childers MA, Archer MC, et al** (1946) March fractures of the foot. *The American Journal of Surgery* 71:355–362. [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(46\)90275-9](https://doi.org/10.1016/0002-9610(46)90275-9)
- Bertoldo CE, Miranda D, Souza-Junior E, et al** (2011) Surface hardness and color change of dental enamel exposed to cigarette smoke. *Int J Dent Clin* 3:1–4
- Binder M** (2008) *Der Soldatenfriedhof in der Marchettigasse in Wien. Die Lebensbedingungen einfacher Soldaten in der thesesianisch-josephinischen Armee anhand anthropologischer Untersuchungen*. Monografien der Stadtarchäologie Wien 4, Wien

- Binder M, Quade L** (2018) Death on a Napoleonic battlefield - Peri-mortem trauma in soldiers from the Battle of Aspern 1809. *Int J Paleopathol* 22:66–77.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2018.05.007>
- Bingham DA** (1884a) *A Selection from the Letters and Despatches of the First Napoleon. With Explanatory Notes - Volume 1.* Chapman and Hall, London
- Bingham DA** (1884b) *A Selection from the Letters and Despatches of the First Napoleon. With Explanatory Notes - Volume 2.* Chapman and Hall, London
- Bingham DA** (1884c) *A Selection from the Letters and Despatches of the First Napoleon. With Explanatory Notes - Volume 3.* Chapman and Hall, London
- Blaze E, Haythornthwaite PJ** (1995) *Life in Napoleon's Army: The Memoirs of Captain Elzear Blaze, New ed of 1850 ed Edition.* Greenhill Books, London : Mechanicsburg, PA, U.S.A
- Blondiaux J, de Broucker A, Colard T, et al** (2015) Tuberculosis and survival in past populations: A paleo-epidemiological appraisal. *Tuberculosis (Edinb)* 95 Suppl 1:S93–S100.
<https://doi.org/10.1016/j.tube.2015.02.002>
- Bodner M, Bastisch I, Butler JM, et al** (2016) Recommendations of the DNA Commission of the International Society for Forensic Genetics (ISFG) on quality control of autosomal Short Tandem Repeat allele frequency databasing (STRidER). *Forensic Sci Int Genet* 24:97–102.
<https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2016.06.008>
- Bowles WH, Wilkinson MR, Wagner MJ, Woody RD** (1995) Abrasive particles in tobacco products: a possible factor in dental attrition. *J Am Dent Assoc* 126:327–331; quiz 348.
<https://doi.org/10.14219/jada.archive.1995.0176>
- Brothwell DR** (1972) *Digging Up Bones: The Excavation, Treatment and Study of Human Skeletal Remains, 2nd edn.* British Museum (Natural History)
- Bruce RB, Dickie I, Kiley K, et al** (2008) *Fighting Techniques of the Napoleonic Age 1792 - 1815: Equipment, Combat Skills, and Tactics, First Edition.* Thomas Dunne Books, New York
- Buchez P-J-B** (2019) *Histoire Parlementaire de la Révolution Française, ou Journal des Assemblées Nationales, Depuis 1789 Jusqu'en 1815, Vol. 5: Contenant la Narration des ... des Principales Sociétés Populaires, Et P.* Forgotten Books
- Budenz R** (1979) *Rödelheim. Aus der Geschichte eines Frankfurter Stadt- teiles.* Frankfurt a. M.
- Bütehorn H** (2022) *Erfassung von ausgewählten Robustizitätsmarkern am postcranialen Skelett bei Individuen aus Hanau und Kassel.* Bachelorarbeit Universität Göttingen
- Butler JM** (2005) *Forensic DNA Typing - 2nd Edition.* Elsevier Academic Press, Burlington, London
- Butler JM** (2014) *Advanced Topics in Forensic DNA Typing: Interpretation, 1. edn.* Academic Press
- Buzhilova A, Rigeade C, Shvedchikova T, Dutour O** (2008) The Discovery of a Mass Grave of Napoleon's Great Army in Kaliningrad (formerly Königsberg), Russian Federation: preliminary results and interpretations. *Vers une anthropologie des catastrophes» Actes des 9e journées anthropologiques de Valbonne Editions apdca, Antibes* P 375-383

- Carter K, McKenzie CT** (2020) Bruxism and Stress Among Veterans With Gulf War Illness. *Mil Med* usaa374. <https://doi.org/10.1093/milmed/usaa374>
- Caselitz P** (1986) Ernährungsmöglichkeiten und Ernährungsgewohnheiten prähistorischer Bevölkerungen. *British Archaeological Reports Oxford Ltd, Oxford, England*
- Constantinescu M, Gavrilă E, Greer S, et al** (2017) Fighting to the Death: Weapon Injuries in a Mass Grave (16th–17th Century) from Bucharest, Romania. *International Journal of Osteoarchaeology* 27:106–118. <https://doi.org/10.1002/oa.2450>
- Cooper C** (2006) Soldaten von 1799/1800: Massengräber aus Zürich und Schaffhausen
- Cooper C** (2011) Forensisch-anthropologische und traumatologische Untersuchungen an den menschlichen Skeletten aus der spätmittelalterlichen Schlacht von Dornach (1499 n. Chr.). *Johannes Gutenberg-Universität Mainz*
- Cornish-Bowden A** (1985) Nomenclature for incompletely specified bases in nucleic acid sequences: recommendations 1984. *Nucleic Acids Res* 13:3021–3030
- Cowie R, Bekvalac J, Kausmally T** (2008) Late 17th- to 19th-century burial and earlier occupation at All Saints, Chelsea old church, Royal Borough of Kensington and Chelsea. *Museum of London Archaeology Service, London*
- Csányi B, Bogács-Szabó E, Tömöry G, et al** (2008) Y-chromosome analysis of ancient Hungarian and two modern Hungarian-speaking populations from the Carpathian Basin. *Ann Hum Genet* 72:519–534. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.2008.00440.x>
- Dangvard Pedersen D, Milner GR, Kolmos HJ, Boldsen JL** (2019) The association between skeletal lesions and tuberculosis diagnosis using a probabilistic approach. *International Journal of Paleopathology* 27:88–100. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2019.01.001>
- Decorte R, Verhoeven E, Vanhoutte E, et al** (2006) Allele Frequency Data for 19 Short Tandem Repeats (PowerPlex® 16 and FFFI) in a Belgian Population Sample. *Journal of Forensic Sciences* 51:436–437. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2006.00089.x>
- Dihlmann W** (1987) Gelenke - Wirbelverbindungen: Klinische Radiologie einschliesslich Computertomographie - Diagnose, Differentialdiagnose. *Thieme, Stuttgart New York*
- Dutour O, Buzhilova A** (2014) Palaeopathological study of napoleonic mass graves discovered in Russia. In: Knüsel C, Smith M (Hrsg) *The Routledge Handbook of the Bioarchaeology of Human Conflict*. *Routledge, Abingdon, S 511–524*
- Elting JRR** (1997) *Swords Around A Throne: Napoleon's Grande Armée*, Da Capo Press edition. *Da Capo Press, New York*
- Erkelens CJ** (2017) The Question of Cribra Femora - Examining the Cause of Cribra Femora in a Dutch Archaeological and Medical Skeletal Collection. *Bachelorarbeit Universität Göttingen, University Leiden*
- Euskirchen A, Hartmann L, Mazanec J, et al** (2021) The influence of sample quantity and lysis parameters on the success of ancient DNA extraction from skeletal remains. *Biotechniques* 71:376–381. <https://doi.org/10.2144/btn-2020-0169>

- Excoffier L, Lischer HEL** (2010) Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Resources* 10:564–567. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02847.x>
- Excoffier L, Smouse PE, Quattro JM** (1992) Analysis of Molecular Variance Inferred from Metric Distances among DNA Haplotypes: Application to Human Mitochondrial DNA Restriction Data. *Genetics* 131:479–491
- Ferembach D, Schwindezky I, Stoukal M** (1980) Recommendation for Age and Sex Diagnoses of Skeletons. *Journal of Human Evolution* 9:517–549
- Finestone A, Milgrom C** (2008) How stress fracture incidence was lowered in the Israeli army: a 25-yr struggle. *Med Sci Sports Exerc* 40:S623-629. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181892dc2>
- Flux AL** (2015) PCR based detection of *Staphylococcus aureus* sequences from skeletal material with osteological evidence of an osteomyelitis infection. Masterarbeit Universität Göttingen
- Flux AL, Mazanec J, Strommenger B, Hummel S** (2017) *Staphylococcus aureus* Sequences from Osteomyelitic Specimens of a Pathological Bone Collection from Pre-Antibiotic Times. *Diversity* 9:43. <https://doi.org/10.3390/d9040043>
- Foley AJ** (2020) The daily grind: Assessing bruxism as a potential indicator of stress in archaeological human remains. *Journal of Archaeological Science* 117:105117. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2020.105117>
- Forrest A** (1989) *Conscripts and Deserters - The Army and French Society during the Revolution and Empire*. Oxford University Press, New York, Oxford
- Forrest A** (2006) *Napoleon's Men - The Soldiers of the Revolution and Empire*. Hambledon Continuum, London, New York
- Fremont-Barnes G** (2010) *Napoleon Bonaparte: The background, strategies, tactics and battlefield experiences of the greatest commanders of history: Gregory Fremont-Barnes, Illustrated Edition*. Osprey Publishing, Oxford ; Long Island City, NY
- Fremont-Barnes G, Fisher T** (2004) *The Napoleonic Wars: The Rise And Fall Of An Empire*. Osprey Publishing, Oxford
- Frischalowski M** (2022) Genetische Diversität in der Lichtensteinhöhle - Ableitungen zur Demographie und Interpretationen zu sozialen Strukturen sowie Bestattungssitten in einer bronzezeitlichen Bevölkerung. Dissertation Universität Göttingen
- Frischalowski M, Seidenberg V, Grosskopf B, et al** (2015) Molekulargenetische Untersuchung des Verwandtschaftsverhältnisses von möglichen Mutter-Kind-Bestattungen aus dem frühneuzeitlichen Eldagsen. In: *Nachrichten aus Niedersachsens Urgeschichte*. S 193–206
- Frye A** (2018) Biological aging and multifactorial stress markers on the skeletons of Napoleonic soldiers. Masterarbeit Universität Göttingen
- Fu Y, Xie C, Xu X, et al** (2009) Ancient DNA analysis of human remains from the Upper Capital City of Kublai Khan. *Am J Phys Anthropol* 138:23–29. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20894>

- Geber J, Hammer N** (2018) Ossification of the Ligamentum Flavum in a Nineteenth-Century Skeletal Population Sample from Ireland: Using Bioarchaeology to Reveal a Neglected Spine Pathology. *Sci Rep* 8:9313. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27522-x>
- Ghon A** (1912) *Der primäre Lungenherd bei der Tuberkulose der Kinder*. Urban & Schwarzenberg
- Goodman** (1991) Health, adaptation, and maladaptation in past societies. In: Bush H, Zvelebil M (Hrsg) *Health in Past Societies: Biocultural interpretations of human skeletal remains in archaeological contexts*. BAR Publishing
- Grabmayer H, Binder M** (2021) Das geringste Übel war der Tod - Untersuchungen an den Soldaten von Wagram. In: Binder M, Konik S, Stagl A (Hrsg) *Leben und Tod auf dem Schlachtfeld: Archäologie entlang der S8-Trasse im Marchfeld*. Phoibos-Vlg, Wien, S 78–101
- Grosskopf B** (2004) *Leichenbrand Biologisches und kulturhistorisches Quellenmaterial zur Rekonstruktion vor- und frühgeschichtlicher Populationen und ihrer Funeralpraktiken*. Dissertation Universität Göttingen
- Grumbkow P von** (2013) *Das Leben in der napoleonischen Armee - interdisziplinäre Untersuchung eines Massengrabs aus Kassel, Hessen*. Dissertation Universität Göttingen
- Grumbkow P von, Zipp A, Seidenberg V, et al** (2011) Brief communication: evidence of Bartonella quintana infections in skeletons of a historical mass grave in Kassel, Germany. *Am J Phys Anthropol* 146:134–137. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21551>
- Grupe G, Christiansen K, Schröder I, Wittwer-Backofen U** (2012) Anthropologie. In: Grupe G, Christiansen K, Schröder I, Wittwer-Backofen U (Hrsg) *Anthropologie: Einführendes Lehrbuch*. Springer, Berlin, Heidelberg, S 1–2
- Grupe G, Harbeck M, McGlynn GC** (2015) *Prähistorische Anthropologie*. Springer Spektrum, Berlin Heidelberg
- Haendcke E** (1933) Beiträge zur Hygiene in der Armee Napoleons I. *Sudhoffs Archiv für Geschichte der Medizin* Bd. 26, H. 1:47–64
- Hampel A** (2015) Gräber der napoleonischen Befreiungskriege in Frankfurt a. M.-Rödelheim. Kriegsrelikte des frühen 19. Jahrhunderts im Frankfurter Stadtgebiet. In: *Hessen Archäologie 2015 Jahrbuch für Archäologie und Paläontologie in Hessen*. hessenARCHÄOLOGIE des Landesamtes für Denkmalpflege Hessen. Theiss-Verlag
- Haythornthwaite PJ** (1979) *Weapons & Equipment Of The Napoleonic Wars*. Cassell
- Hens SM, Godde K, Macak KM** (2019) Iron deficiency anemia, population health and frailty in a modern Portuguese skeletal sample. *PLOS ONE* 14:e0213369. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213369>
- Herre F** (2006) *Napoleon: Eine Biographie*. Hugendubel, Kreuzlingen/München
- Herrmann B, Grupe G, Hummel S, et al** (1990) *Prähistorische Anthropologie: Leitfaden der Feld- und Labormethoden*. Springer-Verlag, Heidelberg
- Hillson S** (1979) Diet and dental disease. *World Archaeology* 11:147–162. <https://doi.org/10.1080/00438243.1979.9979758>

- Hillson S** (1996) *Dental Anthropology*. Cambridge University Press
- Hillson S** (2005) *Teeth* Second Edition, 2. edn. Cambridge University Press, New York
- Hillson S** (2008) Dental pathology. In: Katzenberg MA, Saunders SR (Hrsg) *Biological Anthropology of the Human Skeleton*, 2nd edition. JOHN WILEY & SONS INC, Hoboken, N.J
- Hillson S, Grigson C, Bond S** (1998) Dental defects of congenital syphilis. *Am J Phys Anthropol* 107:25–40. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(199809\)107:1<25::AID-AJPA3>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(199809)107:1<25::AID-AJPA3>3.0.CO;2-C)
- Hobdell MH, Oliveira ER, Bautista R, et al** (2003) Oral diseases and socio-economic status (SES). *Br Dent J* 194:91–96; discussion 88. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4809882>
- Hoch B, Klein M, Schiller A** (2009) Bones and Joints. In: Rubin E, Reisner H (Hrsg) *Essentials of Rubin's Pathology* (fifth edition). Lippincott Williams & Wilkins Wolters Kluwer Health, Baltimore Philadelphia
- Horáčková L, Vargová L** (1999) Bone remains from a common grave pit from the Battle of Austerlitz (anthropology and paleopathology). *International Journal of Paleopathology*
- Hufton OH** (1974) *The Poor of Eighteenth-century France 1750-1789*. Clarendon Press
- Hummel S** (2003) *Ancient DNA Typing. Methods, Strategies and Applications*. Springer-Verlag, Heidelberg, New York
- Jankauskas R** (2007) *Military Stature Variation During the 19TH Century: Napoleonic Versus German Soldiers of World WAR1*
- Jiménez-Brobeil S, Roca-Rodriguez M, Al OI, du Souich P** (2012) Vertebral pathologies and related activity patterns in two mediaeval populations from Spain. *Coll Antropol* 36:1019–1025
- Kaplan SL** (1982) The Famine Plot Persuasion in Eighteenth-Century France. *Transactions of the American Philosophical Society* 72:1–79. <https://doi.org/10.2307/1006370>
- Kausmally T** (2008) *Farringdon: St. Bride's Lower site Churchyard*. Museum of London, London
- Kayser M, Caglià A, Corach D, et al** (1997) Evaluation of Y-chromosomal STRs: a multicenter study. *International Journal of Legal Medicine* 110:125–133. <https://doi.org/10.1007/s004140050051>
- King TE, Fortes GG, Balaesque P, et al** (2014) Identification of the remains of King Richard III. *Nat Commun* 5:5631. <https://doi.org/10.1038/ncomms6631>
- Kitchin PA, Szotyori Z, Fromholc C, Almond N** (1990) Avoidance of false positives. *Nature* 344:201–201. <https://doi.org/10.1038/344201a0>
- Komlos J** (1994) *Stature, Living Standards, and Economic Development: Essays in Anthropometric History*. University of Chicago Press, Chicago, London
- Kranioti EF** (2015) Forensic investigation of cranial injuries due to blunt force trauma: current best practice. *RRFMS* 5:25–37. <https://doi.org/10.2147/RRFMS.S70423>

- Krause P** (1926) ÜBER POSTTYPHÖSE KNOCHENERKRANKUNGEN UND IHRE RÖNTGENDIAGNOSE. *Acta Radiologica* os-7:81–90. <https://doi.org/10.1177/028418512600700111>
- Kuhn A** (2018) Die Französische Revolution. In: Henke-Bockschatz G (Hrsg) *Garde impériale*. Philipp Reclam jun. GmbH & Co. KG, Stuttgart
- Kwok S** (1990) Procedures to minimize PCR-product carry-over. In: Innis M, Gelfand D, Sninsky J, White T (Hrsg) *PCR protocols: A guide to methods and applications*. Academic Press, San Diego
- Langenstein J** (2019) Beurteilung der gesundheitlichen Verfassung napoleonischer Soldaten anhand des Auftretens von Cibra orbitalia. Bachelorarbeit Universität Göttingen
- Larrey DJ** (1813) *Medizinisch-chirurgische Denkwürdigkeiten aus seinen Feldzügen, Band 1. Für deutsche Aerzte und Wundärzte aus dem Französischen übersetzt und mit Anmerkungen gebleitet von dem Verfasser der Recepte und Kurarten der besten Aerzte jeder Zeit*. Leipzig
- Larsen CS** (1995) Biological Changes in Human Populations with Agriculture. *Annual Review of Anthropology* 24:185–213. <https://doi.org/10.1146/annurev.an.24.100195.001153>
- Larsen CS** (1999) *Bioarchaeology: Interpreting Behavior from the Human Skeleton*. Cambridge University Press
- Lemaire J-F** (1999) *La médecine napoléonienne*. NOUVEAU MONDE, Paris
- Lieverse AR** (1999) Diet and the aetiology of dental calculus. *International Journal of Osteoarchaeology* 9:219–232. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1212\(199907/08\)9:4<219::AID-OA475>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1212(199907/08)9:4<219::AID-OA475>3.0.CO;2-V)
- Lossau JF** (1845a) *Erster Theil. Feldzug in Italien 1796/7, in Ägypten 1798/9 und 1800 in Deutschland und Italien. Mit Karten und Plänen*. Herder'sche Verlagsbuchhandlung, Karlsruhe und Freiburg
- Lossau JF** (1845b) *Charakteristik der Kriege Napoleons: Feldzüge der Jahre 1805, 1806, 1807 und 1808, zweiter Teil*. Herder'sche Verlagsbuchhandlung
- Lossau JF** (1845c) *Charakteristik Der Kriege Napoleons: Feldzüge Der Jahre 1809 Und 1812, Volume 3*. Herder'sche Verlagsbuchhandlung
- Lucas C** (2016) Comparison of morphological and molecular sex determination on skeletons from a mass grave of the Napoleon army from Frankfurt-Rödelheim. Masterarbeit Universität Göttingen
- Lunardini A, Rollo F, Fornaciari G** (2002) Bone lesions from the ossuary of the Napoleonic battle of Marengo, Northern Italy (14th June 1800). *Journal of Paleopathology* 14:69–75
- Majander K, Pfrengle S, Kocher A, et al** (2020) Ancient Bacterial Genomes Reveal a High Diversity of *Treponema pallidum* Strains in Early Modern Europe. *Current Biology* 30:3788–3803.e10. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.07.058>
- Mangas-Carrasco E, López-Costas O** (2021) Porotic hyperostosis, cribra orbitalia, femoralis and humeralis in Medieval NW Spain. *Archaeol Anthropol Sci* 13:169. <https://doi.org/10.1007/s12520-021-01432-y>

- Mann RW, Hunt DR** (2005) *Photographic Regional Atlas of Bone Disease: A Guide to Pathologic and Normal Variations in the Human Skeleton*, 3. edn. Charles C Thomas Pub Ltd, Springfield, Illinois
- Manuel ST, Abhishek P, Kundabala M** (2010) Etiology of tooth discoloration- a review. *Nigerian Dental Journal* 18:56–63. <https://doi.org/10.4314/ndj.v18i2>
- Marchioni J** (2003) *Place à Monsieur Larrey, chirurgien de la garde impériale*. Actes Sud, Paris
- Martin R** (1928) *Lehrbuch der anthropologie*, 2. Auflage. Fischer, Jena
- Mayer KJ** (2011) *Napoleons Soldaten*. Primus Verlag, Darmstadt
- Mays S** (1998) *The Archaeology of Human Bones*. Routledge, London ; New York
- Mays S, Fysh E, Taylor GM** (2002) Investigation of the link between visceral surface rib lesions and tuberculosis in a Medieval skeletal series from England using ancient DNA. *Am J Phys Anthropol* 119:27–36. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10099>
- Mazanec J** (2022) *Identifikation – Von der Speziesbestimmung bis zur Identitätsfeststellung mit Hilfe von ancient DNA-Analysen*. Dissertation Universität Göttingen
- Melchior L, Kivisild T, Lynnerup N, Dissing J** (2008) Evidence of Authentic DNA from Danish Viking Age Skeletons Untouched by Humans for 1,000 Years. *PLoS One* 3:e2214. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0002214>
- Merrett DC, Pfeiffer S** (2000) Maxillary sinusitis as an indicator of respiratory health in past populations. *Am J Phys Anthropol* 111:301–318. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(200003\)111:3<301::AID-AJPA2>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(200003)111:3<301::AID-AJPA2>3.0.CO;2-0)
- Meyer C** (2003) Osteological evidence for the Battles of Zürich, 1799: a glimpse into soldiery of the past. *International Journal of Osteoarchaeology* 13:252–257. <https://doi.org/10.1002/oa.683>
- Meyer-Delvendahl A-M** (2021) *Untersuchung der Schmelzhypoplasien an den Zähnen einer Skelettserie napoleonischer Soldaten aus Frankfurt-Rödelheim*. Bachelorarbeit Universität Göttingen
- Michehl M** (2020) *Description of selected pathologies on skeletons from the Napoleonic War*. Masterarbeit Universität Göttingen
- Milella M, Cardoso FA, Assis S, et al** (2015) Exploring the relationship between enthesal changes and physical activity: a multivariate study. *Am J Phys Anthropol* 156:215–223. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22640>
- Milella M, Giovanna Belcastro M, Zollikofer CPE, Mariotti V** (2012) The effect of age, sex, and physical activity on enthesal morphology in a contemporary Italian skeletal collection. *Am J Phys Anthropol* 148:379–388. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22060>
- Milgrom C, Finestone A, Shlamkovitch N, et al** (1994) Youth is a risk factor for stress fracture. A study of 783 infantry recruits. *J Bone Joint Surg Br* 76:20–22

- Minard C** (1869) Carte de Charles Minard de 1869 montrant le nombre d'hommes au sein de l'armée de Napoléon lors de la campagne de Russie de 1812, leurs mouvements, ainsi que les températures rencontrées lors du retour. Lithographie, 62 × 30 cm.
- Miquel-Feucht M, Polo-Cerdá M, Villalaín-Blanco J** (1999) Anthropological and paleopathological studies of a mass execution during the war of independence in Valencia, Spain (1808-1812). *Journal of Paleopathology* 15–23
- Moggi-Cecchi J, Pacciani E, Pinto-Cisternas J** (1994) Enamel hypoplasia and age at weaning in 19th-century Florence, Italy. *Am J Phys Anthropol* 93:299–306.
<https://doi.org/10.1002/ajpa.1330930303>
- Morrison JB** (1970) The mechanics of the knee joint in relation to normal walking. *Journal of Biomechanics* 3:51–61. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(70\)90050-3](https://doi.org/10.1016/0021-9290(70)90050-3)
- Muhlstein A** (2008) *Der Brand von Moskau: Napoleon in Rußland*. Insel Verlag, Frankfurt am Main, Leipzig
- Mullis KB, Faloona FA** (1987) Specific synthesis of DNA in vitro via a polymerase-catalyzed chain reaction. *Methods Enzymol* 155:335–350. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)55023-6](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)55023-6)
- Nainys J** (1972) Identifikacija ličnosti po proksimal'nym kostiam konečnostei. Vilnius
- Nakahori Y, Takenaka O, Nakagome Y** (1991) A human X-Y homologous region encodes „amelogenin“. *Genomics* 9:264–269. [https://doi.org/10.1016/0888-7543\(91\)90251-9](https://doi.org/10.1016/0888-7543(91)90251-9)
- Neugebauer KV** (1993) *Grundzüge der deutschen Militärgeschichte: Band 1: Historischer Überblick*. Rombach Druck- und Verlagshaus, Freiburg
- Nicklisch N, Ramsthaler F, Meller H, et al** (2017) The face of war: Trauma analysis of a mass grave from the Battle of Lützen (1632). *PLoS One* 12:e0178252.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178252>
- Norton K, Olds T** (Hrsg) (2000) *Antropometrica*. Biosystem, Rosario
- Novelletto A** (2007) Y chromosome variation in Europe: Continental and local processes in the formation of the extant gene pool. *Annals of Human Biology* 34:139–172.
<https://doi.org/10.1080/03014460701206843>
- Ohta T, Kimura M** (1973) A model of mutation appropriate to estimate the number of electrophoretically detectable alleles in a finite population. *Genet Res* 22:201–204.
<https://doi.org/10.1017/s0016672300012994>
- Olivier G, Aaron C, Fully G, Tissier G** (1978) New estimations of stature and cranial capacity in modern man. *Journal of Human Evolution* 7:513–518. [https://doi.org/10.1016/S0047-2484\(78\)80020-7](https://doi.org/10.1016/S0047-2484(78)80020-7)
- Ortner DJ** (2003) *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*. Academic Press, San Diego, London
- Ovadnevaite J, Kvietkus K, Marsalka A** (2006) 2002 summer fires in Lithuania: impact on the Vilnius city air quality and the inhabitants health. *Sci Total Environ* 356:11–21.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.04.013>

- Owen WB** (1936) The Diagnosis and Treatment of Osteomyelitis. *Ann Surg* 103:1007–1014
- Palubeckaitė Ž, Jankauskas R, Boldsen J** (2002) Enamel hypoplasia in Danish and Lithuanian Late Medieval/Early Modern samples: a possible reflection of child morbidity and mortality patterns. *International Journal of Osteoarchaeology* 12:189–201.
<https://doi.org/10.1002/oa.607>
- Palubeckaitė-Miliauskienė Ž, Jankauskas R** (2007) DENTAL STATUS OF TWO MILITARY SAMPLES: SOLDIERS OF NAPOLEON'S GREAT ARMY AND GERMAN SOLDIERS IN WORLD WAR I. *Papers on Anthropology* XVI:222–236
- Palubeckaitė-Miliauskienė Ž, Jankauskas R, Ardagna Y, et al** (2006) Dental Status of Napoleon's Great Army's (1812) Mass Burial of Soldiers in Vilnius: Childhood Peculiarities and Adult Dietary Habits. *International Journal of Osteoarchaeology* 16:355–365.
<https://doi.org/10.1002/oa.846>
- Pearson K** (1899) Mathematical Contributions to the Theory of Evolution. V. On the Reconstruction of the Stature of Prehistoric Races. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character* 192:169–244
- Pearson K** (1992) On the Criterion that a Given System of Deviations from the Probable in the Case of a Correlated System of Variables is Such that it Can be Reasonably Supposed to have Arisen from Random Sampling. In: Kotz S, Johnson NL (Hrsg) *Breakthroughs in Statistics: Methodology and Distribution*. Springer, New York, NY, S 11–28
- Pearson OM, Lieberman DE** (2004) The aging of Wolff's „law“: ontogeny and responses to mechanical loading in cortical bone. *Am J Phys Anthropol Suppl* 39:63–99.
<https://doi.org/10.1002/ajpa.20155>
- Perini TA, de Oliveira GL, Ornellas J, de Oliveira F** (2005) Technical error of measurement in anthropometry. *Rev Bras Med Esporte* 11:5
- Perrin M, Schmitt A, Ardagna Y** (2022) From early to late modern societies (late 16th - early 20th century): Shifts in dental health status in two populations from southeastern France. *Ann Anat* 239:151843. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2021.151843>
- Pfeiffer S, Williamson RE** (1991) Snake Hill: An Investigation of a Military Cemetery from the War of 1812. Dundurn
- Pfitzinger H, Ludes B, Mangin P** (1993) Sex determination of forensic samples: co-amplification and simultaneous detection of a Y-specific and an X-specific DNA sequence. *Int J Legal Med* 105:213–216. <https://doi.org/10.1007/BF01642796>
- Pollard T** (2021) These spots of excavation tell: using early visitor accounts to map the missing graves of waterloo. *Journal of Conflict Archaeology* 16:75–113.
<https://doi.org/10.1080/15740773.2021.2051895>
- Price M** (2015) *Napoleon: Der Untergang*. Siedler Verlag, München
- Qiagen** (2010) *QIAvac 24 Plus Handbook – For vacuum processing of QIAGEN® spin columns*. Qiagen

- Qiagen** (2014) EZ1® DNA Investigator® Handbook – For automated purification of DNA from forensic and biosecurity samples using EZ1 instruments. Qiagen
- Qiagen** (2021) Investigator® Argus Y-28 QS Handbook - For multiplex amplification of 27 Y-chromosomal STR loci with Quality Sensor. Qiagen
- Quade L, Binder M** (2018) Life on a Napoleonic battlefield: A bioarchaeological analysis of soldiers from the Battle of Aspern, Austria. *Int J Paleopathol* 22:23–38. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2018.03.006>
- Rachel H** (2020) Analyse der Schädeltraumata napoleonischer Soldaten aus Rödelheim, Hessen. Bachelorarbeit Universität Göttingen
- Rachel H** (2022) Examination and comparison of dental pathologies in skeletal remains of Napoleonic soldiers. Masterarbeit Universität Göttingen
- Radi N, Mariotti V, Riga A, et al** (2013) Variation of the anterior aspect of the femoral head-neck junction in a modern human identified skeletal collection. *American Journal of Physical Anthropology* 152:261–272. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22354>
- Raoult D, Dutour O, Houhamdi L, et al** (2006) Evidence for louse-transmitted diseases in soldiers of Napoleon’s Grand Army in Vilnius. *J Infect Dis* 193:112–120. <https://doi.org/10.1086/498534>
- Reinhard KJ, Ferreira LF, Bouchet F, et al** (2013) Food, parasites, and epidemiological transitions: A broad perspective. *International Journal of Paleopathology* 3:150–157. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2013.05.003>
- Remba SJ, Varon J, Rivera A, Sternbach GL** (2010) Dominique-Jean Larrey: the effects of therapeutic hypothermia and the first ambulance. *Resuscitation* 81:268–271. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2009.11.010>
- Roberts CA** (2007) A bioarcheological study of maxillary sinusitis. *American Journal of Physical Anthropology* 133:792–807. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20601>
- Roberts CA, Boylston A, Buckley L, et al** (1998) Rib lesions and tuberculosis: the palaeopathological evidence. *Tubercle and Lung Disease* 79:55–60. <https://doi.org/10.1054/tuld.1998.0005>
- Roberts CA, Lucy D, Manchester K** (1994) Inflammatory lesions of ribs: an analysis of the Terry Collection. *Am J Phys Anthropol* 95:169–182. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330950205>
- Roberts CA, Manchester K** (2010) *The Archaeology of Disease*, 3rd edition. The History Press, Stroud Gloucestershire
- Roewer L, Croucher PJP, Willuweit S, et al** (2005) Signature of recent historical events in the European Y-chromosomal STR haplotype distribution. *Hum Genet* 116:279–291. <https://doi.org/10.1007/s00439-004-1201-z>
- Roewer L, Kayser M, Dieltjes P, et al** (1997) Analysis of Molecular Variance (AMOVA) of Y-Chromosome-Specific Microsatellites in Two Closely Related Human Populations. *Human Molecular Genetics* 6:828–828. <https://doi.org/10.1093/hmg/6.5.828>

- Roewer L, Krawczak M, Willuweit S, et al** (2001) Online reference database of European Y-chromosomal short tandem repeat (STR) haplotypes. *Forensic Sci Int* 118:106–113. [https://doi.org/10.1016/s0379-0738\(00\)00478-3](https://doi.org/10.1016/s0379-0738(00)00478-3)
- Röhrig JJ** (2008) „Ich schwöre es!“ Unter der Fahne des ersten Napoleon.: Jugendgeschichte des Hunsrückers Dorfschullehrers Johann Jakob Röhrig, von ihm selbst erzählt. Fachverlag Amon, Engelskirchen
- Rossbach A, Alt K** (2008) Anthropologische Untersuchungen von Skelettfunden auf dem Universitätsgelände Kassel (Abschlussbericht). Institut für Anthropologie, Johannes Gutenberg- Universität Mainz (, Mainz
- Ruiz Linares A, Nayar K, Goldstein DB, et al** (1996) Geographic clustering of human Y-chromosome haplotypes. *Ann Hum Genet* 60:401–408. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1996.tb00438.x>
- Saiki RK, Scharf S, Faloona F, et al** (1985) Enzymatic amplification of beta-globin genomic sequences and restriction site analysis for diagnosis of sickle cell anemia. *Science* 230:1350–1354. <https://doi.org/10.1126/science.2999980>
- Salega S, Grosskopf B** (2022) Evaluation of enthesal changes in a modern identified skeletal collection from Inden (Germany). *International Journal of Osteoarchaeology* 32:86–99. <https://doi.org/10.1002/oa.3046>
- Salvadei L, Ricci F, Manzi G** (2001) Porotic hyperostosis as a marker of health and nutritional conditions during childhood: studies at the transition between Imperial Rome and the Early Middle Ages. *Am J Hum Biol* 13:709–717. <https://doi.org/10.1002/ajhb.1115>
- Sanger F, Nicklen S, Coulson AR** (1977) DNA sequencing with chain-terminating inhibitors. *Proc Natl Acad Sci U S A* 74:5463–5467. <https://doi.org/10.1073/pnas.74.12.5463>
- Schats R** (2021) Cribrotic lesions in archaeological human skeletal remains. Prevalence, co-occurrence, and association in medieval and early modern Netherlands. *International Journal of Paleopathology* 35:81–89. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2021.10.003>
- Schmidt D** (2004) Entwicklung neuer Markersysteme für die ancient DNA-Analyse. Erweiterung des molekulargenetischen Zugangs zu kultur- und sozialgeschichtlichen Fragestellungen der Prähistorischen Anthropologie. Dissertation Universität Göttingen
- Schmidt D, Hummel S, Herrmann B** (2003) Brief communication: multiplex X/Y-PCR improves sex identification in aDNA analysis. *Am J Phys Anthropol* 121:337–341. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10172>
- Schmidt T, Hummel S, Herrmann B** (1995) Evidence of contamination in PCR laboratory disposables. *Naturwissenschaften* 82:423–431. <https://doi.org/10.1007/BF01133677>
- Schneider PM, Fimmers R, Keil W, et al** (2009) The German Stain Commission: recommendations for the interpretation of mixed stains. *Int J Legal Med* 123:1–5. <https://doi.org/10.1007/s00414-008-0244-4>
- Schröder J** (2013) Detection of different pathogens relevant in the context of historical typhoid fever from the early modern skeletal series of Kassel, Hesse. Masterarbeit Universität Göttingen

- Schuenemann VJ, Lankapalli AK, Barquera R, et al** (2018) Historic *Treponema pallidum* genomes from Colonial Mexico retrieved from archaeological remains. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 12:e0006447. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006447>
- Schultes T** (1997) Zuordnung isolierter Skelettelemente mittels Typisierung von alter DNA. Diplomarbeit Universität Göttingen
- Schulthess Klinik** (2023) Traumatisiertes Os trigonum. <https://www.schulthess-klinik.ch/de/fusschirurgie/traumatisiertes-os-trigonum>. Accessed 12 März 2023
- Schultz M** (1988) Methoden der Licht- und Elektronenmikroskopie. In: Knussmann R (Ed.) *Anthropologie: Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen. Band I, 1 Wesen und Methoden der Anthropologie*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/New York, S 698–730
- Schultz M** (1993) Spuren unspezifischer Entzündungen an prähistorischen Schädeln. Ein Beitrag zur Paläopathologie. In: *Anthropologische Gesellschaft Basel (Hrsg) Anthropologische Beiträge Bd.4*
- Schultz M** (2001) Paleohistopathology of bone: a new approach to the study of ancient diseases. *Am J Phys Anthropol Suppl* 33:106–147. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10024.abs>
- Schultz M** (2003) Light Microscopic Analysis in Skeletal Paleopathology. In: Ortner DJ (Hrsg) *Identification of Pathological Conditions in Human Skeletal Remains*. Academic Press, San Diego, London
- Schultz M, Teschler-Nicola M** (1987) Krankhafte Veränderungen an den Skeletten aus dem Karner der St. Martins-Kirche in Klosterneuburg, Niederösterreich Teil I-IV. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien Serie A für Mineralogie und Petrographie, Geologie und Paläontologie, Anthropologie und Prähistorie* 89:225–311
- Schumacher G-H, Schmidt H** (1976) *Anatomie und Biochemie der Zähne*. Fischer
- Schüßler S** (2017) PCR based detection of *Mycobacterium tuberculosis* complex from skeletal material with osteological evidence of an tuberculosis infection. Masterarbeit Universität Göttingen
- Seidenberg V** (2016) Ein bronzezeitlicher Familienclan als genetisches Archiv – Morphologisch-paläogenetische Bearbeitung des Skelettkollektivs aus der Lichtensteinhöhle. Dissertation Universität Göttingen
- Seidenberg V, Schilz F, Pfister D, et al** (2012) A new miniSTR heptaplex system for genetic fingerprinting of ancient DNA from archaeological human bone. *Journal of Archaeological Science* 39:3224–3229
- Shvedchikova T** (2012) Remains of soldiers of Napoleon's Army in Borodino: bioarchaeological approach to the study the osteological material - Abstracts of 18th Annual Meeting of EAA, 29th of August-1st of September 2012
- Siegmund F** (2010) *Die Körpergröße der Menschen in der Ur- und Frühgeschichte Mitteleuropas und ein Vergleich ihrer anthropologischen Schätzmethode*, 1. edn. BoD – Books on Demand, Norderstedt

- Signoli M, Ardagna Y, Adalian P, et al** (2004) Discovery of a mass grave of Napoleonic period in Lithuania (1812, Vilnius). *Comptes Rendus Palevol* 3:219–227.
<https://doi.org/10.1016/j.crv.2004.02.003>
- Simoni L, Calafell F, Pettener D, et al** (2000) Geographic Patterns of mtDNA Diversity in Europe. *Am J Hum Genet* 66:262–278
- Skandalakis PN, Lainas P, Zoras O, et al** (2006) „To afford the wounded speedy assistance“: Dominique Jean Larrey and Napoleon. *World J Surg* 30:1392–1399.
<https://doi.org/10.1007/s00268-005-0436-8>
- Slatkin M** (1995) A measure of population subdivision based on microsatellite allele frequencies. *Genetics* 139:457–462. <https://doi.org/10.1093/genetics/139.1.457>
- Slavin RG, Spector SL, Bernstein IL, et al** (2005) The diagnosis and management of sinusitis: a practice parameter update. *J Allergy Clin Immunol* 116:S13-47.
<https://doi.org/10.1016/j.jaci.2005.09.048>
- Sledzik P, Sandberg L** (2002) The effects of nineteenth-century military service on health. In: *The Backbone of History: Health and Nutrition in the Western Hemisphere*. Cambridge University Press, S 185–207
- Smith BH** (1984) Patterns of molar wear in hunger-gatherers and agriculturalists. *Am J Phys Anthropol* 63:39–56. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330630107>
- Steckel RH, Larsen CS, Sciulli PW, Walker PL** (2005) *The Global History of Health Project. Data Collection Codebook*
- Stepanov V, Melnikov A, Lash-Zavada A, et al** (2010) Genetic variability of 15 autosomal STR loci in Russian populations. *Legal medicine (Tokyo, Japan)* 12:256–8.
<https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2010.05.006>
- Storch S** (2020) Die Skelette vom Gräberfeld Stolpe. In: Biermann F, Kersting T, Roskoschinski P (Hrsg) *Das slawische Gräberfeld von Stolpe und die früh- bis hochmittelalterlichen Bestattungssitten zwischen Ucker und Oder*. Universität Wrocław, Wrocław
- Strauss F-J, Espinoza I, Stähli A, et al** (2019) Dental caries is associated with severe periodontitis in Chilean adults: a cross-sectional study. *BMC Oral Health* 19:278.
<https://doi.org/10.1186/s12903-019-0975-2>
- Strohm TF, Alt KW** (1998) Periodontal Disease — Etiology, Classification and Diagnosis. In: Alt KW, Rösing FW, Teschler-Nicola M (Hrsg) *Dental Anthropology: Fundamentals, Limits and Prospects*. Springer, Vienna, S 227–246
- Stuart-Macadam P** (1985) Porotic hyperostosis: Representative of a childhood condition. *American Journal of Physical Anthropology* 66:391–398.
<https://doi.org/10.1002/ajpa.1330660407>
- Szilvássy J** (1988) Altersdiagnose am Skelett. In: Knussmann R (Hrsg) *Anthropologie. Handbuch der vergleichenden Biologie des Menschen*. 1. Teil. Fischer, Stuttgart, New York

- Teegen W-R** (2014) Ein Massengrab napoleonischer Zeit aus Leipzig II: erste Untersuchungen zur Anthropologie und Paläopathologie. In: Eickhoff S, Schopper F (Hrsg) Schlachtfeld und Massengrab Spektren interdisziplinärer Auswertung von Ort und Gewalt. Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege und Archäologisches Landesmuseum, Wünsdorf, S 385–391
- Telkka A, Palkama A, Virtama P** (1962) Estimation of stature from radiographs of long bones in children. *Ann Med Exp Biol Fenn* 40:91–96
- Trotter M, Gleser GC** (1958) A re-evaluation of estimation of stature based on measurements of stature taken during life and of long bones after death. *Am J Phys Anthropol* 16:79–123. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330160106>
- von Segur (General Graf) L-P** (1835) Geschichte Napoleons und der großen Armee im Jahre 1812. Heinrich Hoff, Mannheim
- Vymazalová K, Vargová L, Horáčková L, et al** (2021) Soldiers fallen in the Battle of Austerlitz. *Archaeol Anthropol Sci* 13:204. <https://doi.org/10.1007/s12520-021-01445-7>
- Wahl J, Zink A** (2013) Karies, Pest und Knochenbrüche: Was Skelette über Leben und Sterben in alter Zeit verraten. wbg Theiss in Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Stuttgart
- Waldburg-Truchsess F-LV** (1815) Nouvelle relation de l'itinéraire de Napoléon, de Fontainebleau à l'île d'Elbe. Hachette Bnf, Paris
- Waldron T** (2009) Palaeopathology. Cambridge University Press
- Walker PL, Bathurst RR, Richman R, et al** (2009) The causes of porotic hyperostosis and cribra orbitalia: A reappraisal of the iron-deficiency-anemia hypothesis. *American Journal of Physical Anthropology* 139:109–125. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21031>
- Wapler U, Crubézy E, Schultz M** (2004) Is cribra orbitalia synonymous with anemia? Analysis and interpretation of cranial pathology in Sudan. *Am J Phys Anthropol* 123:333–339. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10321>
- Warinner C, Speller C, Collins MJ** (2015) A new era in palaeomicrobiology: prospects for ancient dental calculus as a long-term record of the human oral microbiome. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 370:20130376. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0376>
- Weiher L** (2022) Erfassung und Bewertung ectocranialer Porositäten an Schädeln napoleonischer Soldaten der Skelettserien Rödelheim, Hanau und Kassel. Bachelorarbeit Universität Göttingen
- Weinfeld SB, Haddad SL, Myerson MS** (1997) METATARSAL STRESS FRACTURES. *Clinics in Sports Medicine* 16:319–338. [https://doi.org/10.1016/S0278-5919\(05\)70025-9](https://doi.org/10.1016/S0278-5919(05)70025-9)
- Weir D** (1997) Economic Welfare and Physical Well-Being in France, 1750-1990. In: Health and Welfare during Industrialization. University of Chicago Press, S 161–200
- Welling DR, Burris DG, Rich NM** (2010) The influence of Dominique Jean Larrey on the art and science of amputations. *J Vasc Surg* 52:790–793. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2010.02.286>

- Wescott DJ** (2006) Effect of mobility on femur midshaft external shape and robusticity. *American Journal of Physical Anthropology* 130:201–213. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20316>
- Westphalen T** (2016) Die Archäologie der Völkerschlacht bei Leipzig 1813. In: Dimitrieva M, Karl L (Hrsg) *Das Jahr 1813, Ostmitteleuropa und Leipzig*. Böhlau Verlag, Köln, S 205–212
- Weyrich LS, Dobney K, Cooper A** (2015) Ancient DNA analysis of dental calculus. *Journal of Human Evolution* 79:119–124. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2014.06.018>
- White TD, Folkens PA** (2005) *The Human Bone Manual, Illustrated Edition*. Academic Press, Amsterdam; Boston
- Wilbrand L** (1884) *Die Kriegs-Lazarethe von 1792-1815 und der Kriegstyphus zu Frankfurt a. M.* K. Th. Völcker's Verlag, Frankfurt a.M.
- Wilkin B, Wilkin R** (2015) *Fighting for Napoleon: French Soldiers' Letters 1799-1815*. Pen & Sword Books Ltd, Barnsley South Yorkshire
- Willms J** (2005) *Napoleon Eine Biographie*. C.H. Beck oHG, München
- Willuweit S, Roewer L** (2015) The new Y Chromosome Haplotype Reference Database. *Forensic Sci Int Genet* 15:43–48. <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2014.11.024>
- Wittmeier P, Hummel S** (2022) Agarose gel electrophoresis to assess PCR product yield: comparison with spectrophotometry, fluorometry and qPCR. *Biotechniques* 72:155–158. <https://doi.org/10.2144/btn-2021-0094>
- Wolff J** (1928) *Das Gesetz der Transformation der Knochen*. Hirschwald, Berlin
- Wood JW, Milner GR, Harpending HC, et al** (1992) The Osteological Paradox: Problems of Inferring Prehistoric Health from Skeletal Samples [and Comments and Reply]. *Current Anthropology* 33:343–370
- Wörner F, Eger T, Simon U, Wolowski A** (2021) Periodontal Disease and Tooth Wear in a Sample of German Soldiers with Posttraumatic Stress Disorder. *Oral Health Prev Dent* 19:449–456. <https://doi.org/10.3290/j.ohpd.b1993989>
- Wright S** (1950) The genetical structure of populations. *Ann Eugen* 166:247–249. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1949.tb02451.x>
- Yates F** (1934) Contingency Tables Involving Small Numbers and the χ^2 Test. Supplement to the *Journal of the Royal Statistical Society* 1:217–235. <https://doi.org/10.2307/2983604>
- Zamoyski A** (2012) *1812. Napoleons Feldzug in Russland*, 10. edn. C.H.Beck, München

INTERNETQUELLE 1: <https://www.osservatoreromano.va/de/news/2021-05/napoleon-und-der-mythos-von-rom.html>, abgerufen am 19.01.2023

INTERNETQUELLE 2: <https://staatsarchiv.lu.ch/schaufenster/quellen/Soldaten>, abgerufen am 03.01.2023

INTERNETQUELLE 3: <https://www.dw.com/de/waterloo-wurden-tausende-tote-soldaten-zu-d%C3%BCnger-verbatim/a-62379642> , abgerufen am 05.01.2023

INTERNETQUELLE 4:

https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Europe_countries_map_de.png#/media/Datei:Europe_countries_map.png , abgerufen am 01.02.2023

12 ANHANG A

Tabelle A1: Aufnahmebogen für die osteometrischen Untersuchungen zu Erfassung allgemeiner Robustizität und Rekonstruktion der Körperhöhe. Gelb hinterlegte Maße wurden im Rahmen dieser Arbeit und in der Arbeit von Bütehorn (2022) verwendet und zwischen den Serien verglichen.

| Skelettserie | | | |
|----------------|---|------------------------------|-------------|
| Individuum | | | |
| Skelettelement | Name | Maß (nach Martin 1928) | Maß (mm) |
| Clavicula | Größte Länge der Clavicula (Messbrett) | (1) | |
| | Umfang der Mitte (Maßband) | (6) | |
| Humerus | Größte Länge des Humerus (Messbrett) | (1) | |
| | ganze Länge (Messbrett) | (2) | |
| | Obere Epiphysenbreite (Messbrett) | (3) | |
| | Untere Epiphysenbreite (Gleitzirkel) | (4) | |
| | Kleinster Umfang der Diaphyse (Maßband) | (7) | |
| | Größter transversaler Durchmesser des Caput (Gleitzirkel) | (9) | |
| | Größter sagittaler Durchmesser des Caput (Gleitzirkel) | (10) | |
| Radius | Größte Länge des Radius (Messbrett) | (1) | |
| | Funktionelle Länge (Tasterzirkel) | (2) | |
| | Kleinster Umfang (Maßband) | (3) | |
| Ulna | Funktionelle Länge (Tasterzirkel) | (2) | |
| | Umfang der Ulna (Maßband) | (3) | |
| Femur | Größte Länge des Femur (Messbrett) | (1) | |
| | Ganze Länge des Femur in "natürlicher" Stellung (Messbrett) | (2) | |
| | Sagittaler Durchmesser der Diaphysenmitte (Gleitzirkel) | (6) | |
| | Transversaler Durchmesser der Diaphysenmitte (Gleitzirkel) | (7) | |
| | Umfang der Diaphysenmitte (Maßband) | (8) | |
| | Oberer transversaler Diaphysendurchmesser (Gleitzirkel) | (9) | |
| | Oberer sagittaler Diaphysendurchmesser (Gleitzirkel) | (10) | |
| | Vertikaler Durchmesser des Collum (Gleitzirkel) | (15) | |
| | Sagittaler Durchmesser des Collum (Gleitzirkel) | (16) | |
| | Umfang des Collum (Maßband) | (17) | |
| | Vertikaler Durchmesser des Caput (Gleitzirkel) | (18) | |
| | Transversaler Durchmesser des Caput (Gleitzirkel) | (19) | |
| Patella | Größte Höhe der Patella (Gleitzirkel) | (1) | |
| | Größte Breite der Patella (Gleitzirkel) | (2) | |
| Tibia | Ganze Länge der Tibia (Messbrett) | (1) | |
| | Länge der Tibia (Messbrett) | (1b) | |
| | Größte proximale Epiphysenbreite der Tibia (Messbrett) | (3) | |
| | Sagittaler Durchmesser im Niveau des Foramen nutricium (Gleitzirkel) | (8a) | |
| | Transversaler Durchmesser im Niveau des Foramen nutricium (Gleitzirkel) | (9a) | |
| | Kleinster Umfang der Diaphyse (Maßband) | (10b) | |

PROTOKOLL MANUELLE EXTRAKTION „18+2“ (18 h – 37 °C + 2 h – 56 °C) MIT PHENOL/CHLOROFORM

(QIAvac 24 Plus-System, Qiagen)

Lyse

- 0,15-0,25 g Knochen-/Zahnpulver mit 3900 µl EDTA + 100 µl Proteinase K versetzen, FalconTube mit Parafilm® versiegeln
- Inkubation bei 37 °C (Heizofen) für 18 h unter Rotation
- weitere 50 µl Proteinase K hinzufügen
- Inkubation bei 56 °C (Heizofen) für 2 h unter Rotation
- mit 50 µl SDS versetzen, bei 65 °C für 5 min unter Rotation inkubieren
- Lysat für 3 Minuten bei 3300 rcf abzentrifugieren

Phenol/Chloroform-Aufreinigung

- Lysat in 3 ml Phenol überführen (Feststoffübertrag vermeiden)
- 6 min bei RT unter Rotation invertieren, dann 10 min bei 56 °C stehen lassen zur Phasentrennung
- Phenol abnehmen, 4,5 ml Chloroform dazu geben
- 6 min bei RT unter Rotation invertieren, dann 10 min bei 56 °C stehen lassen zur Phasentrennung
- wässrige Phase in Aufreinigung einsetzen (Chloroformübertrag vermeiden!)

Aufreinigung / Extraktion im QIAvac mit MinElute™ Säulchen

- 16 ml PB-Buffer (Qiagen) in Eppendorf LoBind Tubes (groß) + 100 µl Natriumacetatlösung (pH-Wert-Senkung)
- 3,5-4 ml Lysat hinzugeben, manuell mischen, 1 min bei 3300 rcf zentrifugieren
- MinElutes™ mit Connectoren auf QIAvac aufbringen, Trichter für große Volumina aufstecken
- Vakuum aufbauen (-800 mbar)
- PB/Lysat-Gemisch in den Trichteraufsatz überführen, per Vakuum durchziehen lassen, Trichter entfernen
- 700 µl PE-Buffer (Qiagen) in MinElute™ pipettieren, 5 min inkubieren, Puffer per Vakuum entfernen, Waschen 2x wiederholen
- MinElutes™ in Collection Tube überführen und 1 min bei 13.000 rpm zentrifugieren
- MinElutes™ auf 2 ml Cups stecken und mind. 15 min mit geöffnetem Deckel stehen lassen (Ethanol vollständig abdampfen lassen!)

Elution

- H₂O (Ambion) auf 56°C erhitzen
- 20 µl H₂O auf MinElute™-Membran pipettieren (5 min inkubieren lassen; ggf. Inkubation im Thermoblock bei 56 °C)
- 1 min bei 13.000 rpm zentrifugieren
- Elution 2x wiederholen
- ~55 µl Extrakt bis zur weiteren Verwendung bei -20 °C lagern

PROTOKOLL MANUELLE EXTRAKTION „18“ (18 h – 56 °C) MIT PHENOL/CHLOROFORM

(QIAvac 24 Plus-System, Qiagen)

Lyse

- 0,15-0,25 g Knochen-/Zahnpulver mit 3900 µl EDTA + 100 µl Proteinase K versetzen, FalconTube mit Parafilm® versiegeln
- Inkubation bei 56 °C (Heizofen) für 18 h unter Rotation
- mit 50 µl SDS versetzen, bei 65 °C für 5 min unter Rotation inkubieren
- Lysat für 3 Minuten bei 3300 rcf abzentrifugieren

Phenol/Chloroform-Aufreinigung

- Lysat in 3 ml Phenol überführen (Feststoffübertrag vermeiden)
- 6 min bei RT unter Rotation invertieren, dann 10 min bei 56 °C stehen lassen zur Phasentrennung
- Phenol abnehmen, 4,5 ml Chloroform dazu geben
- 6 min bei RT unter Rotation invertieren, dann 10 min bei 56 °C stehen lassen zur Phasentrennung
- wässrige Phase in Aufreinigung einsetzen (Chloroformübertrag vermeiden!)

Aufreinigung / Extraktion im QIAvac mit MinElute™ Säulchen

- 17,5 ml PB-Buffer (Qiagen) in Eppendorf LoBind Tubes (groß) + 3,5 ml Lysat hinzugeben, manuell mischen, 1 min bei 3300 rcf zentrifugieren
- MinElutes™ mit Connectoren auf QIAvac aufbringen, Trichter für große Volumina aufstecken
- Vakuum aufbauen (-800 mbar)
- PB/Lysat-Gemisch in den Trichteraufsatz überführen, per Vakuum durchziehen lassen, Trichter entfernen
- 700 µl PE-Buffer (Qiagen) in MinElute™ pipettieren, 5 min inkubieren, Puffer per Vakuum entfernen, Waschen 2x wiederholen
- MinElutes™ in Collection Tube überführen und 1 min bei 13.000 rpm zentrifugieren
- MinElutes™ auf 2 ml Cups stecken und mind. 15 min mit geöffnetem Deckel stehen lassen (Ethanol vollständig abdampfen lassen!)

Elution

- H₂O (Ambion) auf 56°C erhitzen
- 20 µl H₂O auf MinElute™-Membran pipettieren (5 min inkubieren lassen; ggf. Inkubation im Thermoblock bei 56 °C)
- 1 min bei 13.000 rpm zentrifugieren
- Elution 2x wiederholen
- ~55 µl Extrakt bis zur weiteren Verwendung bei -20 °C lagern

PROTOKOLL AUTOMATISIERTE EXTRAKTION

(BioRobot® EZ1® Advanced, Qiagen)

DNA-Extraktion aus Mundschleimhautabstrichen (menschliche Kontrollproben)

- Wattetupfer an Wangeninnenseite intensiv reiben
- Watte von Tupfer in 2 ml Cup abstreifen oder Ende abschneiden
- 400-500 µl G2-Puffer zugeben
- 5 µl Proteinase K (Qiagen) zugeben
- im Thermoblock bei 56 °C bei 300 rpm für 1-2 h inkubieren
- 200 µl Überstand in SampleTubes überführen und in EZ1® Extraktion einsetzen
- Extraktion mittels *Investigator Card* nach dem *Trace-Protokoll* mit dem *Investigator-Kit*
- Elutionsvolumen 100 µl (in Wasser oder TE-Puffer)
- Lagerung Extrakte bei -20 °C

PCR HEPTAPLEX

(nach Seidenberg et al. 2012 verändert: geänderte Fluoreszenzfarbmarkierung Amelogenin + geänderte Primer-Konzentrationen)

Tabelle A2: Primer-Set Heptaplex.

| Primer | Fluoreszenzfarbstoff | AK (µM) | µM/PCR | µl/PCR | Primer-Sequenzen 5'→3' |
|----------------|----------------------|---------|--------|--------|------------------------------|
| D13S317_up | 6-FAM | 20 | 0,16 | 0,2 | CTAACGCCTATCTGTATTTACAAATA |
| D13S317_low | | 20 | 0,16 | 0,2 | AGCCCCAAAAGACAGACAGA |
| D21S11_up | 6-FAM | 20 | 0,24 | 0,3 | CAATCCCCCAAGTGAATTGC |
| D21S11_low | | 20 | 0,24 | 0,3 | GGAGGTAGATAGACTGGATAGATAGAC |
| Amelogenin_up | 6-FAM | 20 | 0,1 | 0,125 | CCTGGGCTCTGTAAAGAATAGTG |
| Amelogenin_low | | 20 | 0,1 | 0,125 | AGCTGATGGTAGGAAGTGTAAAT |
| D18S551_up | HEX | 50 | 0,28 | 0,14 | CACTGCACTTCACTCTGAGTGAC |
| D18S551_low | | 50 | 0,28 | 0,14 | GTGTGTGGAGATGTCTTACAATAACA |
| TH01_up | NED | 20 | 0,12 | 0,15 | GCCTGTTCTCCCTTATTC |
| TH01_low | | 20 | 0,12 | 0,15 | ATTCCGAGTGCAGGTCACAG |
| D5S818_up | NED | 50 | 0,15 | 0,075 | GGTATCCTTATGTAATATTTGAAGAT |
| D5S818_low | | 50 | 0,15 | 0,075 | ATCATAGCCACAGTTTACAACATT |
| FGA_up | NED | 50 | 0,32 | 0,16 | AATAAAATTAGGCATATTTACAAGCTAG |
| FGA_low | | 50 | 0,32 | 0,16 | ATTGCTGAGTGATTTGTCTGTAATTG |

Legende: AK: Arbeitskonzentration, µM/PCR: Mikromolarität in der PCR, µl/PCR: Einsatzmenge im 25 µl Reaktionsansatz

Mastermix-Zusammensetzung:

| Master-Mix | 1x |
|------------------------------------|--------------|
| Multiplex 2x PCR Kit plus (Qiagen) | 12,5 µl |
| Primer-Set | 2,3 µl |
| H ₂ O | 0-10,2 µl |
| DNA | Max. 10,2 µl |
| Vol. | 25 µl |

Cycling-Parameter:

| | |
|--------------------|---------------|
| 95 °C 5 min | |
| 94 °C 1 min | 59 °C 2,5 min |
| 60 °C 45 min | |
| 10 °C 10 min | |
| i. d. R. 40 Zyklen | |

PCR SEXPLEX

(nach Schmidt et al. 2003 verändert (Flux unveröffentlicht, Lucas 2016): zusätzliche Systeme/Austausch + geänderte Konzentrationen

Tabelle A3: Primer-Set Sexplex.

| Primer | Fluoreszenz-farbstoff | AK (µM) | µM/PCR | µl/PCR | Primer-Sequenzen 5'→3' |
|----------------|-----------------------|---------|--------|--------|--------------------------------|
| Amelogenin_up | 6-FAM | 20 | 0,04 | 0,05 | CCTGGGCTCTGTAAAGAATAGTG |
| Amelogenin_low | | 20 | 0,04 | 0,05 | AGCTGATGGTAGGAACTGTAAAT |
| DYS392_up | | 20 | 0,2 | 0,25 | CAAGAAGGAAAACAAATTTTT |
| DYS392_low | 6-FAM | 20 | 0,2 | 0,25 | GGATCATTAAACCTACCAATC |
| GATA172D05_up | 6FAM | 20 | 0,24 | 0,3 | CAGGTGGTTAGTGGTGTGGT |
| GATA172D05_low | | 20 | 0,24 | 0,3 | TCTGGGTTTATACCCCAAATAAT |
| DYS438_up | HEX | 20 | 0,2 | 0,25 | GAATAGTTGAACGGTAAACAGTATATTT |
| DYS438_low | | 20 | 0,2 | 0,25 | GAGTGAACTCCATTTCAAATAGAA |
| DXS9898_up | HEX | 20 | 0,12 | 0,15 | CACACCTACAAAAGCTGAGATATA |
| DXS9898_low | | 20 | 0,12 | 0,15 | CATCCAGATAGACAGATCAATAGATT |
| DYS439_up | NED | 50 | 0,1 | 0,05 | GGAGACAGATAGATGATAAATAGAAGAT |
| DYS439_low | | 50 | 0,1 | 0,05 | ACCATCATCTCTTTACTTATACTTTCTATC |
| DXS6789_up | NED | 20 | 0,12 | 0,15 | GTTGGTACTTAATAAACCTCTTTT |
| DXS6789_low | | 20 | 0,12 | 0,15 | GGATCCCTAGAGGGACAGAA |

Legende: AK: Arbeitskonzentration, µM/PCR: Mikromolarität in der PCR, µl/PCR: Einsatzmenge im 25 µl Reaktionsansatz

Mastermix-Zusammensetzung:

| | |
|------------------------------------|--------------|
| Master-Mix | 1x |
| Multiplex 2x PCR Kit plus (Qiagen) | 12,5 µl |
| Primer-Set | 2,4 µl |
| H ₂ O | 0-10,1 µl |
| DNA | Max. 10,1 µl |
| Vol. | 25 µl |

Cycling-Parameter:

| | | | |
|--------------|---------------|-------------|----------------------|
| 95 °C 5 min | | | |
| 94 °C 1 min | 55 °C 1,5 min | 72 °C 1 min | 10 Zyklen |
| 94 °C 1 min | 50 °C 1,5 min | 72 °C 1 min | 30 Zyklen |
| 60 °C 45 min | | | |
| 10 °C 10 min | | | (i. d. R. 40 Zyklen) |

PCR Y-DECAPLEX

(nach Grumbkow 2013 verändert: geänderte Fluoreszenzfarbmarkierungen)

Tabelle A4: Primer-Set Y-Decaplex.

| Primer | Fluoreszenzfarbstoff | AK (µM) | µM/PCR | µl/PCR | Primer-Sequenzen 5'→3' |
|----------------|----------------------|---------|--------|--------|-----------------------------------|
| DYS19up_deca | 6-FAM | 50 | 0,15 | 0,075 | CTGAGTTTCTGTTATAGTGTITTTTAAATATAT |
| DYS19lo_deca | | 50 | 0,15 | 0,075 | ATGGGTTAAGGAGAGTGTCACTATAT |
| DYS385up_deca | VIC | 50 | 0,4 | 0,2 | AGAGAAAGAGGAAAGAGAAAGAAAG |
| DYS385lo2_deca | | 50 | 0,4 | 0,2 | AAAAATAATCTATCTATTCCAATTACATAGTC |
| DYS389up_deca | 6-FAM | 50 | 0,4 | 0,2 | ATCCAACCTCATCTGTATTATCTATGT |
| DYS389lo_deca | | 50 | 0,4 | 0,2 | GACTGCTAGATAAATAGATAGATTGATAGAG |
| DYS390up_deca | NED | 50 | 0,2 | 0,1 | CATTTTGGTACCCCATAAATATATTC |
| DYS390lo2_deca | | 50 | 0,2 | 0,1 | AGCAATGTGTATACTCAGAAACAAG |
| DYS391up_deca | PET | 50 | 0,2 | 0,1 | CTCTGTGTATCTATTTCATTCAATCATA |
| DYS391lo_deca | | 50 | 0,2 | 0,1 | AAATTGCCATAGAGGGATAGGTAG |
| DYS392up_deca | PET | 50 | 0,2 | 0,1 | CTACCAATCCCATTCCTTAGTAAA |
| DYS392lo_deca | | 50 | 0,2 | 0,1 | AAGGAAAACAAATTTTTTCTTGTA |
| DYS393_up | NED | 50 | 0,15 | 0,075 | GTGGTCTTCTACTTGTGTCAATAC |
| DYS393_low | | 50 | 0,15 | 0,075 | AAAACCTCAAGTCCAAAAAATGAGG |
| DYS437up_deca | PET | 50 | 0,25 | 0,125 | AGTGATCCTCCTACCTCAGTCTC |
| DYS437lo_deca | | 50 | 0,25 | 0,125 | ACCACAGATAAATATCATTATAGATAA |
| DYS438up_deca | VIC | 50 | 0,2 | 0,1 | GAATAGTTGAACGGTAAACAGTATATTT |
| DYS438lo_deca | | 50 | 0,2 | 0,1 | GAGTGAAACTCCATTTCAAATAGAA |
| DYS439up_deca | NED | 50 | 0,1 | 0,05 | GGAGACAGATAGATGATAAATAGAAGAT |
| DYS439lo_deca | | 50 | 0,1 | 0,05 | ACCATCATCTCTTTACTTATACTTTCTATC |

Legende: AK: Arbeitskonzentration, µM/PCR: Mikromolarität in der PCR, µl/PCR: Einsatzmenge im 25 µl Reaktionsansatz

Mastermix-Zusammensetzung:

| | |
|------------------------------------|------------|
| Master-Mix | 1x |
| Multiplex 2x PCR Kit plus (Qiagen) | 12,5 µl |
| Primer-Set | 2,25 µl |
| Ammoniumsulfat (30 mM) | 0,25 µl |
| H ₂ O | 0-10 µl |
| DNA | Max. 10 µl |
| Vol. | 25 µl |

Cycling-Parameter:

| | | | |
|--------------|---------------|-------------|----------------------|
| 95 °C 5 min | | | |
| 94 °C 1 min | 62 °C 1,5 min | 70 °C 1 min | 10 Zyklen |
| 90 °C 1 min | 59 °C 1,5 min | 70 °C 1 min | 30 Zyklen |
| 60 °C 45 min | | | |
| 10 °C 10 min | | | (i. d. R. 40 Zyklen) |

PCR INVESTIGATOR ARGUS Y-28 QS

(Qiagen 2021)

Fluoreszenzmarkierung (Primersequenzen und Konzentrationen vom Hersteller nicht angegeben):

- 6-FAM™: DYS389-I, DYS391, DYS389-II, DYS533, DYS390, DYS643
- BTG: DYS458, DYS393, DYS19, DYS437, DYS449
- BTY: DYS460, DYS576, YGATAH4, DYS481, DYS448, DYS518
- BTR2: DYS439, DYS549, DYS438, DYS456
- BTP: QS1, DYS570, DYS635, DYS385, DYS392, DYS627, QS2

Mastermix-Zusammensetzung (25 µl Ansatz):

| Master-Mix | 1x |
|--------------------------------|-----------|
| Fast reaction mix 3.0 (Qiagen) | 7,5 µl |
| Primer mix (Qiagen) | 2,5 µl |
| H ₂ O | 7,5 µl |
| DNA | 7,5 µl |
| Vol. | 25 µl |

Mastermix-Zusammensetzung (12,5 µl Ansatz):

| Master-Mix | 1x |
|--------------------------------|-----------|
| Fast reaction mix 3.0 (Qiagen) | 3,75 µl |
| Primer mix (Qiagen) | 1,25 µl |
| H ₂ O | 0 µl |
| DNA | 7,5 µl |
| Vol. | 12,5 µl |

Cycling-Parameter:

| | | |
|-----------------------|----------------------|-------------|
| 96 °C 12 min | | |
| 96 °C 10 sec | 61,5 °C 1 min 25 sec | 72 °C 5 sec |
| 68 °C 5 min | | |
| 60 °C 5 min | | |
| 10 °C 10 min | | |
| (i.d.R. 30 40 Zyklen) | | |

PCR-PATHOGENNACHWEIS

Tabelle A5: Übersichtstabelle der Primer für die Erregernachweise.

| Pathogen | Primer | Primer-Sequenz 5' → 3' | Annealing-Temperatur (°C) | Referenz |
|--|-------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| <i>Staphylococcus aureus</i> | nuc up | GGCAATTGTTTCAATATTACTTATAG | 46 | Flux 2015; Flux et al. 2017 |
| | nuc low | TTGAAACTACAACCTAAAGTTAACACTAA | | |
| <i>Mycobacterium tuberculosis</i> Complex | katG up | GGTTTTGGTGCAGTACCTTCAGATTGA | 60 | Schübler 2016 |
| | katG low | CGAGCAACACCCACCCATTACAGA | | |
| <i>Bartonella quintana</i> | hbpE up | AGGCTGCAGATGTAATAGTTC | 56 | Grumbkow 2013; Schröder 2013 |
| | hbpE low | ATCTGTCTCCAAATAAAAAG | | |
| <i>Rickettsia prowazekii</i> | dnaA up | GCAAGTGATAGAATCACCTACTAA | 56 | Grumbkow 2013; Schröder 2013 |
| | dnaA low | TACATCAAGTGTGAAACGATA | | |
| <i>Salmonella typhi</i> / paratyphi A / weltevreden | STY0312 up | GGGCTTGCCGAGACACAG | 54 | Grumbkow 2013; Schröder 2013 |
| | STY0312 low | TTAAGGCCTCGTCCATAAAAAC | | |
| <i>S. enterica</i> spec. (kein paratyphi A/ weltevreden) | STY0316 up | AGGAGGGGAATATCTCACTGG | 54 | Grumbkow 2013; Schröder 2013 |
| | STY0316 low | TGATCCCGTACAGACTGGTTATC | | |
| <i>Borellia recurrentis</i> | recN up | TTATTTGGTTACAAAATTAAGATGATG | 54 | Grumbkow 2013; Schröder 2013 |
| | recN low | CCTAAAAAATAAACACGCTCTAAACTCA | | |

Mastermix-Zusammensetzung:

| Master-Mix | 1x |
|---|--------------|
| AmpliAq Gold 360 MasterMix (Applied Biosystems) | 12,5 µl |
| upper Primer | 0,5 µl |
| lower Primer | 0,5 µl |
| H ₂ O | 0-11,5 µl |
| DNA | Max. 11,5 µl |
| Vol. | 25 µl |

Cycling-Parameter:

| | | |
|----------------|------------|-------------|
| 95 °C 10 min | | |
| 95 °C 0,5 min | * °C 1 min | 72 °C 1 min |
| 72 °C 7 min | | |
| 10 °C 10 min | | |
| (40-50 Zyklen) | | |

*je nach Erregernachweis variierende Annealing-Temperatur (vgl. Tabelle A5)

PROTOKOLL AGAROSEGEL-ELEKTROPHORESE***2,5 %iges Agarose-Gel (nach Hummel 2003)***

- Kleine Kammer Horizon® (5x8 cm): 1 g Agarose, 40 ml 1× TBE-Puffer, 1,5 µl EtBr
 - Große Kammer Horizon® 1060 BD (11x14 cm): 2 g Agarose, 80 ml 1× TBE-Puffer, 3 µl EtBr
 - Kleine Kammer G&P (8×10 cm): 1,5 g Agarose, 60 ml 1× TBE-Puffer, 2,25 µl EtBr
 - Große Kammer G&P (15×17 cm): 3 g Agarose, 120 ml 1× TBE-Puffer, 4,5 µl EtBr
-
- Agarose in TBE-Puffer unter Rühren auf Heizplatte aufkochen
 - Zugabe von Ethidiumbromid und zur Vermischung schwenken
 - in Kammer/ Schlitten gießen, Luftblasen entfernen, Kämmen für Taschen setzen
 - nach Aushärtung (mind. 30 min) mit TBE-Puffer dünn überschichten, Kämmen ziehen

Gel beladen

- 8 µl PCR-Produkt mit 2 µl Loading Dye (Bromphenolblau-Saccharose-Gemisch) vermischen und in Tasche pipettieren
- pro Kamm mind. eine DNA-Leiter (3 µl Low molecular weight Ladder, New England Biolabs®) für Fragmentlängenabschätzung
- Laufzeit ca. 30 min bei 100 V (kleine Gele) bis 110 V (große Gele)

Dokumentation

- Gel Jet Imager & Analyzer mit Software IntasGel Capture, Intas
- Gel Stick Touch mit Software Intas GDS Touch, Intas

PROTOKOLL FRAGMENTLÄNGENANALYSE

Für die Analyse im Genetic Analyzer müssen die amplifizierten DNA-Fragmente einzelsträngig vorliegen. Um diesen Zustand zu stabilisieren, werden die PCR-Produkte in Hi-Di™ Formamid denaturiert. Die Menge an PCR-Produkt wurde dabei in Abhängigkeit der Signalintensität nach der Agarosegelelektrophorese abgeschätzt. Die Einsatzmenge in die Kapillarelektrophorese variiert zwischen 0,1 µl und 2 µl.

- →12 µl Hi-Di™ Formamid + 0,25 Size Standard* in die Wells der 96-Platte des Genetic Analyzer (Applied Biosystems™)
- PCR-Produkt zufügen (0,1-2 µl)
- Pro Lauf/jede dritte Injektion 1× Allel-Leiter (entsprechend des STR-Kits; 0,5 µl)
- Zentrifugation 30 s bei 2.000 rcf
- 2 bis 5 min bei 95 °C im Thermocycler denaturieren, auf 4 °C abkühlen lassen oder auf Eis stellen

*der verwendete Size Standard ist abhängig vom verwendeten STR-Kit:

- In der Arbeitsgruppe entwickelte autosomale STR-Kits (Heptaplex, Sexplex) → GeneScan™-400HD ROX™ oder GeneScan™-500 ROX™ Size Standard (GA kalibriert mit DS-30 Matrix Standard Kit – Dye Set D)
- In der Arbeitsgruppe entwickeltes Y-STR-Kit (Y-Decaplex) → GeneScan™-600 LIZ™ Size Standard (GA kalibriert mit DS-33 Matrix Standard Kit – Dye Set G5)
- Investigator Argus Y-28 QS Kit (Qiagen) → BTO 550 size standard (GA kalibriert mit BT6 Matrix Standard Kit – Dye Set BT6)

PROTOKOLLE AUFREINIGUNGEN UND SEQUENZIER-PCR
Aufreinigung der PCR-Produkte

→ mittels ExoSAP-IT™ Express PCR Product Cleanup (Applied Biosystems™):

- 5 µl PCR-Product + 2 µl ExoSAP-IT Express (in 0,5 µl Cup), je nach Bedarf Mengen verdoppeln
- Thermocycler: 37 °C für 4 min, 80 °C für 1 min, auf 4 °C abkühlen
- Produkt auf Eis weiter prozessieren
- Gewünschte Menge in Sequenzierung einsetzen
- Restliches Produkt bei -20 °C aufbewahren

Sequenzier-PCR

→ mittels BigDye® Terminator v1.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems™):

- BDT auf Eis pipettieren!

Mastermix-Zusammensetzung:

| Mastermix | 1× |
|---------------------|-----------|
| Seq Buffer (5×) | 4 µl |
| BDT | 2 µl |
| Primer (10 µM)* | 0,3 µl |
| H ₂ O | 0-13,7 µl |
| aufger. PCR Produkt | 13,7µl |
| Vol. | 20 µl |

Cycling-Parameter:

| | | |
|--------------|-----------|---------------|
| 96 °C 10 min | | |
| 96 °C 10 s | 50 °C 5 s | 60 °C 2,5 min |
| 10 °C Soak | | |
| 25 Zyklen | | |

*Primer up oder low

AUFREINIGUNG DER SEQUENZIERPRODUKTE**1. Aufreinigung über nucleoSEQ® Säulchen (Macherey-Nagel):**

- Festsitzen der Verschlussstopfen überprüfen
- Säulchen bei 2700 rpm für 30 s zentrifugieren
- 600 µl HPLC-Wasser zugeben und vortexen, Luftblasen durch leichtes Klopfen entfernen
- ca. 2 h bei RT aufquellen lassen
- Entfernen des Verschlussstopfens, 2700 rpm 2 min zentrifugieren
- Sammelgefäß mit H₂O verwerfen
- Säule auf ein 2 ml Cup stecken
- Sequenzierprodukt tropfenweise auf die Mitte der Gelmatrix auftragen, ohne die Säule zu berühren
- Bei 2700 rpm 6 min zentrifugieren
- gesamtes Eluat in Seq-Analyse im Genetic Analyzer einsetzen

2. Aufreinigung über BigDye XTerminator™ Purification Kit (Applied Biosystems™):

- Mastermix aus jeweils 20 µl BigDye XTerminator™ Solution und 90 µl SAM™ Solution für alle Proben herstellen (möglichst große Spitzen nehmen, da kleine Spitzen durch SAM-Solution verstopfen können!)
- Sequenzierprodukt jeweils mit 110 µl Mastermix XT-SAM vermischen (ständiges Vermischen, da SAM-Solution sehr schnell sedimentiert!)
- Cups 30 min bei 2.600 rpm im Eppendorf MixMate™ rütteln lassen
- 2 min bei 1000 rcf zentrifugieren
- 15 µl Überstand in Kapillarelektrophorese im Genetic Analyzer einsetzen (Rest im Kühlschrank oder Gefrierschrank aufbewahren)

Tabelle A6: Ergebnisse der morphologischen und molekulargenetischen Geschlechtsdiagnose (und auf der Folgeseite).

| Individuum (Rö_xx) | Geschlecht (morphologisch) | Geschlecht (molekulargenetisch) | Individuum (Rö_xx) | Geschlecht (morphologisch) | Geschlecht (molekulargenetisch) | Individuum (Rö_xx) | Geschlecht (morphologisch) | Geschlecht (molekulargenetisch) |
|--------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 6,1 | n.d. | männlich | 25,3 | eher männlich | männlich | 32,3 | tendenziell männlich | männlich |
| 6,2 | männlich | männlich | 25,4 | eher männlich | männlich | 32,4 | tendenziell männlich | männlich |
| 6,3 | tendenziell männlich | männlich | 25,5 | männlich | männlich | 33,1 | tendenziell männlich | männlich |
| 6,4 | tendenziell männlich | männlich | 25,6 | eher männlich | männlich | 34,1 | tendenziell männlich | männlich |
| 7,1 | männlich | männlich | 26,1 | n.d. | männlich | 34,2 | eher männlich | männlich |
| 7,2 | eher männlich | männlich | 26,2 | tendenziell männlich | männlich | 34,3 | eher männlich | männlich |
| 7,3 | eher männlich | männlich | 27,1 | tendenziell männlich | männlich | 34,4 | tendenziell männlich | männlich |
| 7,4 | männlich | männlich | 27,2 | männlich | männlich | 34,5 | männlich | männlich |
| 8,1 | eher männlich | männlich | 27,3 | eher männlich | männlich | 34,6 | männlich | männlich |
| 8,2 | eher männlich | männlich | 27,4 | tendenziell männlich | männlich | 34,7 | eher männlich | männlich |
| 8,3 | tendenziell männlich | männlich | 27,5 | tendenziell männlich | männlich | 34,8 | eher männlich | männlich |
| 8,4 | eher männlich | männlich | 27,6 | tendenziell männlich | männlich | 34,9 | eher männlich | männlich |
| 9,1 | eher männlich | männlich | 27,7 | eher männlich | männlich | 34,10 | eher männlich | männlich |
| 9,2 | tendenziell männlich | männlich | 27,8 | eher männlich | männlich | 34,11 | eher männlich | männlich |
| 9,3 | eher männlich | männlich | 27,9 | tendenziell männlich | männlich | 34,12 | tendenziell männlich | männlich |
| 10,1 | eher männlich | männlich | 27,10 | eher männlich | männlich | 34,13 | tendenziell männlich | männlich |
| 10,2 | eher männlich | männlich | 27,11 | männlich | männlich | 34,14 | eher männlich | männlich |
| 10,3 | eher männlich | männlich | 27,12 | eher männlich | männlich | 34,15 | tendenziell männlich | männlich |
| 10,4 | tendenziell männlich | männlich | 27,13 | eher männlich | männlich | 34,16 | männlich | männlich |
| 11,1 | männlich | männlich | 28,1 | eher männlich | männlich | 34,17 | tendenziell männlich | männlich |
| 11,2 | männlich | männlich | 28,2 | eher männlich | männlich | 35,1 | eher männlich | männlich |
| 11,3 | eher männlich | männlich | 28,3 | tendenziell männlich | männlich | 35,2 | männlich | männlich |
| 11,4 | eher männlich | männlich | 28,4 | tendenziell männlich | männlich | 35,3 | männlich | männlich |
| 12,1 | tendenziell männlich | männlich | 28,5 | eher männlich | männlich | 35,4 | männlich | männlich |
| 12,2 | eher männlich | männlich | 28,6 | eher männlich | männlich | 35,5 | tendenziell männlich | männlich |
| 12,3 | tendenziell männlich | männlich | 28,7 | tendenziell männlich | männlich | 35,6 | eher männlich | männlich |
| 12,4 | tendenziell männlich | männlich | 28,8 | tendenziell männlich | männlich | 35,7 | männlich | männlich |
| 13,1 | tendenziell männlich | männlich | 28,9 | männlich | männlich | 35,8 | eher männlich | männlich |
| 13,2 | eher männlich | n.d. (X/-) | 28,10 | tendenziell männlich | männlich | 35,9 | tendenziell männlich | männlich |
| 14,1 | eher männlich | n.d. (X/-) | 28,11 | eher männlich | männlich | 35,10 | eher männlich | männlich |
| 14,2 | eher männlich | männlich | 28,12 | eher männlich | männlich | 35,11 | tendenziell männlich | männlich |
| 14,3 | tendenziell männlich | n.d. (X/-) | 29,1 | eher männlich | männlich | 35,12 | eher männlich | männlich |
| 14,4 | tendenziell männlich | männlich | 29,2 | tendenziell männlich | männlich | 35,13 | tendenziell männlich | männlich |
| 15,1 | eher männlich | männlich | 29,3 | tendenziell männlich | männlich | 35,14 | weiblich | männlich |
| 15,2 | männlich | männlich | 29,4 | eher männlich | männlich | 35,15 | männlich | männlich |
| 15,3 | männlich | männlich | 29,5 | tendenziell männlich | männlich | 35,16 | eher männlich | männlich |
| 17,1 | eher männlich | männlich | 29,6 | tendenziell männlich | männlich | 35,17 | männlich | männlich |
| 17,2 | eher männlich | männlich | 29,7 | eher männlich | männlich | 35,18 | tendenziell männlich | männlich |

| Individuum (Rö_xx) | Geschlecht (morphologisch) | Geschlecht (molekular-genetisch) | Individuum (Rö_xx) | Geschlecht (morphologisch) | Geschlecht (molekular-genetisch) | Individuum (Rö_xx) | Geschlecht (morphologisch) | Geschlecht (molekular-genetisch) |
|--------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|--------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 18,1 | männlich | männlich | 29,8 | eher männlich | männlich | 36 | tendenziell weiblich | weiblich |
| 18,2 | eher männlich | männlich | 29,9 | eher männlich | männlich | 37,1 | eher männlich | männlich |
| 18,3 | eher männlich | männlich | 29,10_29,15 | männlich | männlich | 37,2 | männlich | männlich |
| 18,4 | tendenziell männlich | männlich | 29,11 | tendenziell männlich | n.d. (X/-) | 37,3 | männlich | männlich |
| 19,1 | eher männlich | männlich | 29,12 | tendenziell männlich | männlich | 37,4 | männlich | männlich |
| 19,2 | eher männlich | männlich | 29,13 | eher männlich | männlich | 37,5 | tendenziell männlich | männlich |
| 19,3 | männlich | männlich | 29,14 | eher männlich | männlich | 37,6 | männlich | männlich |
| 19,4 | tendenziell weiblich | weiblich | 29,16 | eher männlich | männlich | 37,7 | tendenziell männlich | männlich |
| 19,5 | tendenziell männlich | weiblich | 30,1 | tendenziell männlich | männlich | 37,8 | männlich | männlich |
| 20,1 | männlich | männlich | 30,2 | männlich | männlich | 37,9 | männlich | männlich |
| 20,2 | eher männlich | männlich | 30,3 | tendenziell männlich | männlich | 37,10 | männlich | männlich |
| 20,3 | eher männlich | männlich | 30,4 | eher männlich | männlich | 37,11 | eher männlich | männlich |
| 20,4 | tendenziell männlich | männlich | 30,5 | tendenziell männlich | männlich | 37,12 | tendenziell männlich | männlich |
| 20,5 | eher männlich | männlich | 30,6 | tendenziell männlich | männlich | 38,X | n.d. | männlich |
| 20,6 | männlich | männlich | 30,7 | eher männlich | männlich | 38,1 | tendenziell männlich | männlich |
| 20,7 | eher männlich | männlich | 30,8_30,13 | tendenziell männlich | männlich | 38,2 | eher männlich | männlich |
| 20,8 | tendenziell männlich | männlich | 30,9 | tendenziell männlich | männlich | 38,3 | tendenziell männlich | männlich |
| 20,9 | tendenziell weiblich | männlich | 30,10 | eher männlich | männlich | 38,4 | tendenziell männlich | männlich |
| 21,1 | n.d. | männlich (-/Y) | 30,11 | tendenziell männlich | männlich | 38,5 | tendenziell männlich | männlich |
| 21,2 | tendenziell männlich | männlich | 30,12 | tendenziell männlich | männlich | 38,6 I | tendenziell männlich | männlich |
| 22,1 | n.d. | n.d. (X/-) | 30,14 | tendenziell männlich | männlich | 38,6 II | n.d. | männlich (-/Y) |
| 22,X | n.d. | männlich | 30,15 | eher männlich | männlich | 38,7 | tendenziell männlich | n.d. |
| 23,1 | n.d. | männlich | 30,16 | tendenziell männlich | männlich | 38,8 | tendenziell männlich | männlich |
| 23,2 | n.d. | n.d. | 30,17 | eher männlich | männlich | 38,9 | männlich | männlich |
| 23,3 | n.d. | männlich (-/Y) | 30,18 | eher männlich | männlich | 38,10 | tendenziell männlich | männlich |
| 23,4 | n.d. | männlich | 30,19 | eher männlich | männlich | 38,11 | tendenziell männlich | männlich |
| 24,1 | eher männlich | männlich | 30,20 | tendenziell männlich | n.d. (X/-) | 38,12 | tendenziell männlich | männlich |
| 24,2 | eher männlich | männlich | 31,1 | eher männlich | männlich | 39,1 | n.d. | männlich |
| 24,3 | eher männlich | männlich | 31,2 | eher männlich | männlich | 39,2 | n.d. | männlich |
| 24,4 | tendenziell männlich | männlich | 31,3 | eher männlich | männlich | 39,3 | n.d. | männlich |
| 24,5 | eher männlich | männlich | 31,4 | tendenziell männlich | männlich | 39,4 | n.d. | männlich |
| 25,1 | tendenziell männlich | männlich | 32,1 | eher männlich | männlich | 40,1 | n.d. | männlich |
| 25,2 | eher männlich | männlich | 32,2 | männlich | männlich | 40,2 | n.d. | männlich |

Table A7: Ergebnisse der morphologischen Sterbealtersbestimmung und Sterbetafel (und auf den Folgeseiten).
 Legende: juv= juvenil, ad= adult, mat= matur; f= früh, m= mittel, s= spät, n.d.= nicht determiniert.

| Individuum (Rö_xx) | Alter (morphologisch) | Infans I | Infans II | (spät-)juv | fad | mad | sad | fmat | mmat | smat | sen | n.d. |
|--------------------|-----------------------|----------|-----------|------------|------|-----|------|------|------|------|-----|------|
| 6,1 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 6,2 | smat-sen | | | | | | | | | 0,5 | 0,5 | |
| 6,3 | mat | | | | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | |
| 6,4 | mat | | | | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | |
| 7,1 | mmat-smat | | | | | | | | 0,5 | 0,5 | | |
| 7,2 | mad | | | | | 1 | | | | | | |
| 7,3 | sen | | | | | | | | | | 1 | |
| 7,4 | mad-sad | | | | | | 0,5 | 0,5 | | | | |
| 8,1 | fad-mad | | | | 0,5 | 0,5 | | | | | | |
| 8,2 | mat | | | | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | |
| 8,3 | sjuv-fad | | | 0,5 | 0,5 | | | | | | | |
| 8,4 | mad-sad | | | | | | 0,5 | 0,5 | | | | |
| 9,1 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 9,2 | sen | | | | | | | | | | 1 | |
| 9,3 | mad-sad | | | | | | 0,5 | 0,5 | | | | |
| 10,1 | mad | | | | | 1 | | | | | | |
| 10,2 | mat | | | | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | |
| 10,3 | mat | | | | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | |
| 10,4 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 11,1 | fjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 11,2 | smat | | | | | | | | | 1 | | |
| 11,3 | fad-mad | | | | 0,5 | 0,5 | | | | | | |
| 11,4 | sjuv-fad | | | 0,5 | 0,5 | | | | | | | |
| 12,1 | smat | | | | | | | | | 1 | | |
| 12,2 | smat | | | | | | | | | 1 | | |
| 12,3 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 12,4 | sjuv-fad | | | 0,5 | 0,5 | | | | | | | |
| 13,1 | mat | | | | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | |
| 13,2 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 14,1 | mat | | | | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | |
| 14,2 | sen | | | | | | | | | | 1 | |
| 14,3 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 14,4 | sad-fmat | | | | | | 0,5 | 0,5 | | | | |
| 15,1 | mat | | | | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | |
| 15,2 | fmat-mmat | | | | | | | 0,5 | 0,5 | | | |
| 15,3 | fad-mad | | | | 0,5 | 0,5 | | | | | | |
| 17,1 | mat | | | | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | |
| 17,2 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 18,1 | mat | | | | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | |
| 18,2 | ad | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | | | | |
| 18,3 | mmat-smat | | | | | | | | 0,5 | 0,5 | | |

| Individuum (Rö_xx) | Alter (morphologisch) | Infans I | Infans II | (spät-)juv | fad | mad | sad | fmat | mmat | smat | sen | n.d. |
|-----------------------|-----------------------|----------|-----------|----------------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| 18,4 | sad-fmat | | | | | | 0,5 | 0,5 | | | | |
| 19,1 | fad-mad | | | | 0,5 | 0,5 | | | | | | |
| 19,2 | smat | | | | | | | | | 1 | | |
| 19,3 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 19,4 | mat | | | | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | |
| 19,5 | smat | | | | | | | | | 1 | | |
| 20,1 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 20,2 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 20,3 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 20,4 | juv | | | 1 | | | | | | | | |
| 20,5 | ad | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | | | | |
| 20,6 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 20,7 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 20,8 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 20,9 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 21,1 | ad | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | | | | |
| 21,2 | mmat-smat | | | | | | | | 0,5 | 0,5 | | |
| 22,1 | erwachsen (>fad) | | | | | 0,1 | 0,15 | 0,25 | 0,25 | 0,15 | 0,1 | |
| 22,X | ad | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | | | | |
| 23,1 | erwachsen | | | | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | |
| 23,2 | erwachsen | | | | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | |
| 23,3 | mat | | | | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | |
| 23,4 | mat | | | | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | |
| 24,1 | mmat-smat | | | | | | | | 0,5 | 0,5 | | |
| 24,2 | smat-fsen | | | | | | | | | 0,5 | 0,5 | |
| 24,3 | mat | | | | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | |
| 24,4 | sad-mat | | | | | | 0,5 | 0,5 | | | | |
| 24,5 | mat | | | | | | | 0,25 | 0,5 | 0,25 | | |
| 25,1 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 25,2 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 25,3 | mmat-smat | | | | | | | | 0,5 | 0,5 | | |
| 25,4 | sen | | | | | | | | | | 1 | |
| 25,5 | mmat | | | | | | | | 1 | | | |
| 25,6 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 26,1 | erwachsen | | | | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | |
| 26,2 | n.d. | | | | | | | | | | | 1 |
| 27,1 | erwachsen (>fad) | | | | | 0,1 | 0,15 | 0,25 | 0,25 | 0,15 | 0,1 | |
| 27,2 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 27,3 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 27,4 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 27,5 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 27,6 | mad | | | | | 1 | | | | | | |
| 27,7 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 27,8 | fad | | | | 1 | | | | | | | |

| Individuum (Rö_xx) | Alter (morphologisch) | Infans I | Infans II | (spät-)juv | fad | mad | sad | fmat | mmat | smat | sen | n.d. |
|--------------------|-----------------------|----------|-----------|------------|-----|-----|------|------|------|------|-----|------|
| 27,9 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 27,10 | sad-fmat | | | | | | 0,5 | 0,5 | | | | |
| 27,11 | sjuv-fad | | | 0,5 | 0,5 | | | | | | | |
| 27,12 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 27,13 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 28,1 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 28,2 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 28,3 | erwachsen (>fad) | | | | | 0,1 | 0,15 | 0,25 | 0,25 | 0,15 | 0,1 | |
| 28,4 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 28,5 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 28,6 | sad | | | | | | 1 | | | | | |
| 28,7 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 28,8 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 28,9 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 28,10 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 28,11 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 28,12 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 29,1 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 29,2 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 29,3 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 29,4 | fad-mad | | | | 0,5 | 0,5 | | | | | | |
| 29,5 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 29,6 | sjuv-fad | | | 0,5 | 0,5 | | | | | | | |
| 29,7 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 29,8 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 29,9 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 29,10_29,15 | >fad | | | | | 0,1 | 0,15 | 0,25 | 0,25 | 0,15 | 0,1 | |
| 29,11 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 29,12 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 29,13 | mad | | | | | 1 | | | | | | |
| 29,14 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 29,16 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 30,1 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 30,2 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 30,3 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 30,4 | fad-mad | | | | 0,5 | 0,5 | | | | | | |
| 30,5 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 30,6 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 30,7 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 30,8_30,13 | sjuv | | | 1 | | | | | | | | |
| 30,9 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 30,10 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 30,11 | fad | | | | 1 | | | | | | | |
| 30,12 | sjuv-fad | | | 0,5 | 0,5 | | | | | | | |

Tabelle A9: Rekonstruierte Körperhöhe auf Basis der Langknochenmaße H1, R1, F1 und T1 nach Pearson (1899) sowie die gemittelte Körperhöhe der gesamten Knochen und auf Basis der Langknochenmaße der unteren Extremität (und auf den Folgeseiten). Die letzte Spalte gibt die Körperhöhe an, die für die Berechnungen in der vorliegenden Arbeit verwendet wurden (der gemittelten Körperhöhe auf Basis der Maße der unteren Extremität, wurde den Vorzug gegeben, da diese besser mit der Körperhöhe korreliert). Grüne Markierung: frühjuvenile Individuen, Körperhöhe nach Telkka et al. 1962; rote Schrift: weibliche Individuen.

| Individuum (Rö_xx) | Humerus Körperhöhe (Pearson 1899) | Radius Körperhöhe (Pearson 1899) | Femur Körperhöhe (Pearson 1899) | Tibia Körperhöhe (Pearson 1899) | Körperhöhe kombiniert | Körperhöhe untere Extremität | Körperhöhe für Berechnung |
|--------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------|
| 6,1 | 177,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 177 | 0 | 177 |
| 6,2 | 165,71 | 162,79 | 168,63 | 165,15 | 166 | 167 | 167 |
| 6,3 | 170,19 | 166,06 | 168,73 | 170,14 | 169 | 169 | 169 |
| 6,4 | 164,70 | 169,66 | 0,00 | 170,14 | 168 | 170 | 170 |
| 7,1 | 171,64 | 168,35 | 171,08 | 169,90 | 170 | 170 | 170 |
| 7,2 | 164,70 | 163,77 | 169,67 | 165,86 | 166 | 168 | 168 |
| 7,3 | 165,56 | 166,39 | 170,98 | 164,91 | 167 | 168 | 168 |
| 7,4 | 164,12 | 163,12 | 165,15 | 159,45 | 163 | 162 | 162 |
| 8,1 | 163,83 | 163,77 | 169,85 | 168,00 | 166 | 169 | 169 |
| 8,2 | 165,56 | 157,89 | 167,41 | 165,03 | 164 | 166 | 166 |
| 8,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 168,71 | 169 | 169 | 169 |
| 8,4 | 164,99 | 163,45 | 164,97 | 163,72 | 164 | 164 | 164 |
| 9,1 | 166,72 | 167,70 | 170,61 | 167,76 | 168 | 169 | 169 |
| 9,2 | 158,91 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 159 | 0 | 159 |
| 9,3 | 167,59 | 169,99 | 169,85 | 170,85 | 170 | 170 | 170 |
| 10,1 | 168,75 | 167,70 | 169,29 | 168,71 | 169 | 169 | 169 |
| 10,2 | 168,75 | 167,37 | 168,91 | 168,95 | 168 | 169 | 169 |
| 10,3 | 174,10 | 170,97 | 166,09 | 173,70 | 171 | 170 | 170 |
| 10,4 | 167,01 | 0,00 | 168,35 | 0,00 | 168 | 168 | 168 |
| 11,1 | 0,00 | 149,40 | 0,00 | 0,00 | 149 | 0 | 0 |
| 11,2 | 172,65 | 172,93 | 175,21 | 175,84 | 174 | 176 | 176 |
| 11,3 | 171,64 | 167,05 | 168,63 | 166,58 | 168 | 168 | 168 |
| 11,4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 12,1 | 165,56 | 164,43 | 167,13 | 165,39 | 166 | 166 | 166 |
| 12,2 | 0,00 | 170,64 | 172,11 | 173,23 | 172 | 173 | 173 |
| 12,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 161,82 | 0 | 162 | 162 |
| 12,4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 168,83 | 0 | 169 | 169 |
| 13,1 | 161,80 | 161,81 | 163,84 | 162,06 | 162 | 163 | 163 |
| 13,2 | 167,30 | 166,06 | 166,66 | 162,66 | 166 | 165 | 165 |
| 14,1 | 0,00 | 0,00 | 174,27 | 166,81 | 171 | 171 | 171 |
| 14,2 | 179,74 | 173,59 | 186,02 | 180,00 | 180 | 183 | 183 |
| 14,3 | 0,00 | 0,00 | 165,15 | 157,78 | 0 | 161 | 161 |
| 14,4 | 169,33 | 170,32 | 172,96 | 170,50 | 171 | 172 | 172 |
| 15,1 | 170,19 | 165,90 | 172,11 | 173,70 | 170 | 173 | 173 |
| 15,2 | 167,01 | 163,94 | 170,04 | 164,20 | 166 | 167 | 167 |
| 15,3 | 166,14 | 163,77 | 170,32 | 165,86 | 167 | 168 | 168 |
| 17,1 | 165,85 | 167,21 | 168,91 | 168,95 | 168 | 169 | 169 |

| Individuum (Rö_xx) | Humerus Körperhöhe (Pearson 1899) | Radius Körperhöhe (Pearson 1899) | Femur Körperhöhe (Pearson 1899) | Tibia Körperhöhe (Pearson 1899) | Körperhöhe kombiniert | Körperhöhe untere Extremität | Körperhöhe für Berechnung |
|-----------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| 17,2 | 0,00 | 0,00 | 168,35 | 165,63 | 167 | 167 | 167 |
| 18,1 | 164,12 | 164,92 | 166,75 | 164,44 | 165 | 166 | 166 |
| 18,2 | 165,13 | 166,06 | 168,73 | 165,39 | 166 | 167 | 167 |
| 18,3 | 166,43 | 167,54 | 170,42 | 167,76 | 168 | 169 | 169 |
| 18,4 | 166,14 | 163,77 | 0,00 | 0,00 | 165 | 0 | 165 |
| 19,1 | 171,06 | 169,34 | 170,04 | 167,76 | 170 | 169 | 169 |
| 19,2 | 164,41 | 161,81 | 165,25 | 164,68 | 164 | 165 | 165 |
| 19,3 | 168,02 | 164,43 | 165,06 | 168,00 | 166 | 167 | 167 |
| 19,4 | 0,00 | 153,10 | 155,31 | 156,74 | 155 | 156 | 156 |
| 19,5 | 0,00 | 0,00 | 162,51 | 163,09 | 163 | 163 | 163 |
| 20,1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 20,2 | 0,00 | 166,72 | 163,84 | 161,59 | 164 | 163 | 163 |
| 20,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 20,4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 20,5 | 165,56 | 0,00 | 165,91 | 164,20 | 165 | 165 | 165 |
| 20,6 | 169,33 | 168,35 | 169,67 | 172,04 | 170 | 171 | 171 |
| 20,7 | 167,30 | 162,30 | 166,28 | 164,44 | 165 | 165 | 165 |
| 20,8 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 20,9 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 21,1 | 0,00 | 0,00 | 163,09 | 163,25 | 163 | 163 | 163 |
| 21,2 | 0,00 | 170,32 | 173,43 | 175,37 | 173 | 174 | 174 |
| 22,1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 168,48 | 0 | 168 | 168 |
| 22,X | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 23,1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 172,99 | 0 | 173 | 173 |
| 23,2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 167,76 | 0 | 168 | 168 |
| 23,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 167,05 | 0 | 167 | 167 |
| 23,4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 171,68 | 0 | 172 | 172 |
| 24,1 | 166,00 | 165,08 | 168,54 | 166,10 | 166 | 167 | 167 |
| 24,2 | 173,38 | 168,03 | 167,22 | 172,75 | 170 | 170 | 170 |
| 24,3 | 162,53 | 161,16 | 163,65 | 161,11 | 162 | 162 | 162 |
| 24,4 | 164,12 | 161,16 | 158,57 | 162,77 | 162 | 161 | 161 |
| 24,5 | 169,91 | 165,74 | 171,73 | 166,81 | 169 | 169 | 169 |
| 25,1 | 160,36 | 160,18 | 162,33 | 160,64 | 161 | 161 | 161 |
| 25,2 | 159,34 | 162,79 | 162,33 | 161,82 | 162 | 162 | 162 |
| 25,3 | 167,88 | 165,08 | 173,99 | 170,38 | 169 | 172 | 172 |
| 25,4 | 164,99 | 164,76 | 164,97 | 164,20 | 165 | 165 | 165 |
| 25,5 | 0,00 | 0,00 | 166,09 | 163,01 | 165 | 165 | 165 |
| 25,6 | 162,67 | 163,45 | 164,97 | 160,64 | 163 | 163 | 163 |
| 26 | 0,00 | 0,00 | 159,14 | 156,95 | 158 | 158 | 158 |
| 27,1 | 163,68 | 165,41 | 165,62 | 165,63 | 165 | 166 | 166 |
| 27,2 | 0,00 | 0,00 | 166,85 | 169,19 | 168 | 168 | 168 |
| 27,3 | 156,59 | 0,00 | 163,18 | 160,87 | 160 | 162 | 162 |

| Individuum (Rö_xx) | Humerus Körperhöhe (Pearson 1899) | Radius Körperhöhe (Pearson 1899) | Femur Körperhöhe (Pearson 1899) | Tibia Körperhöhe (Pearson 1899) | Körperhöhe kombiniert | Körperhöhe untere Extremität | Körperhöhe für Berechnung |
|-----------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| 27,4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 162,30 | 0 | 162 | 162 |
| 27,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 27,6 | 173,38 | 0,00 | 171,92 | 170,62 | 172 | 171 | 171 |
| 27,7 | 165,56 | 0,00 | 167,60 | 164,44 | 166 | 166 | 166 |
| 27,8 | 163,25 | 160,83 | 168,54 | 165,15 | 164 | 167 | 167 |
| 27,9 | 164,70 | 160,83 | 171,45 | 166,58 | 166 | 169 | 169 |
| 27,10 | 177,14 | 176,37 | 172,86 | 173,70 | 175 | 173 | 173 |
| 27,11 | 170,77 | 0,00 | 177,37 | 176,08 | 175 | 177 | 177 |
| 27,12 | 164,70 | 167,05 | 167,03 | 170,38 | 167 | 169 | 169 |
| 27,13 | 162,67 | 162,14 | 163,46 | 164,20 | 163 | 164 | 164 |
| 28,1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 28,2 | 165,56 | 165,08 | 167,79 | 166,81 | 166 | 167 | 167 |
| 28,3 | 163,25 | 165,41 | 169,29 | 171,09 | 167 | 170 | 170 |
| 28,4 | 158,33 | 159,69 | 159,51 | 160,64 | 160 | 160 | 160 |
| 28,5 | 169,04 | 0,00 | 169,20 | 167,29 | 169 | 168 | 168 |
| 28,6 | 169,62 | 168,03 | 170,98 | 170,50 | 170 | 171 | 171 |
| 28,7 | 165,27 | 165,41 | 166,09 | 163,49 | 165 | 165 | 165 |
| 28,8 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 28,9 | 164,70 | 164,92 | 166,28 | 163,25 | 165 | 165 | 165 |
| 28,10 | 173,67 | 168,35 | 171,64 | 174,89 | 172 | 173 | 173 |
| 28,11 | 168,46 | 166,23 | 167,22 | 164,91 | 167 | 166 | 166 |
| 28,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 161,11 | 0 | 161 | 161 |
| 29,1 | 165,56 | 165,74 | 169,48 | 166,34 | 167 | 168 | 168 |
| 29,2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 29,3 | 170,77 | 164,43 | 173,33 | 167,76 | 169 | 171 | 171 |
| 29,4 | 163,68 | 161,16 | 161,96 | 162,06 | 162 | 162 | 162 |
| 29,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 29,6 | 163,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 164 | 0 | 164 |
| 29,7 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 167,53 | | 168 | 168 |
| 29,8 | 161,37 | 161,49 | 164,97 | 160,16 | 162 | 163 | 163 |
| 29,9 | 155,72 | 158,54 | 159,61 | 152,80 | 157 | 156 | 156 |
| 29,10_29,15 | 162,09 | 163,45 | 165,91 | 165,39 | 164 | 166 | 166 |
| 29,11 | 160,93 | 0,00 | 0,00 | 162,54 | 162 | 163 | 163 |
| 29,12 | 157,75 | 159,52 | 159,89 | 158,50 | 159 | 159 | 159 |
| 29,13 | 173,81 | 171,63 | 174,46 | 174,06 | 173 | 174 | 174 |
| 29,14 | 161,22 | 160,18 | 163,09 | 162,54 | 162 | 163 | 163 |
| 29,16 | 164,70 | 168,03 | 170,04 | 169,07 | 168 | 170 | 170 |
| 30,1 | 171,06 | 168,68 | 171,73 | 166,58 | 170 | 169 | 169 |
| 30,2 | 157,17 | 157,23 | 161,21 | 155,41 | 158 | 158 | 158 |
| 30,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 30,4 | 161,51 | 165,41 | 164,87 | 162,77 | 164 | 164 | 164 |
| 30,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |

| Individuum (Rö_xx) | Humerus Körperhöhe (Pearson 1899) | Radius Körperhöhe (Pearson 1899) | Femur Körperhöhe (Pearson 1899) | Tibia Körperhöhe (Pearson 1899) | Körperhöhe kombiniert | Körperhöhe untere Extremität | Körperhöhe für Berechnung |
|-----------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| 30,6 | 167,88 | 0,00 | 170,23 | 0,00 | 169 | 170 | 170 |
| 30,7 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 163,84 | 0 | 164 | 164 |
| 30,8_30,13 | 0,00 | 164,59 | 0,00 | 0,00 | 164 | 0 | 164 |
| 30,9 | 163,54 | 161,81 | 165,72 | 166,34 | 164 | 166 | 166 |
| 30,10 | 161,08 | 163,45 | 161,96 | 156,60 | 161 | 159 | 159 |
| 30,11 | 160,64 | 158,54 | 161,21 | 161,82 | 161 | 162 | 162 |
| 30,12 | 163,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 163 | 0 | 163 |
| 30,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 30,15 | 164,12 | 162,14 | 165,34 | 163,49 | 164 | 164 | 164 |
| 30,16 | 160,64 | 157,56 | 157,16 | 159,33 | 159 | 158 | 158 |
| 30,17 | 170,48 | 168,68 | 168,82 | 172,04 | 170 | 170 | 170 |
| 30,18 | 170,19 | 166,39 | 172,67 | 169,66 | 170 | 171 | 171 |
| 30,19 | 163,10 | 163,28 | 162,90 | 163,96 | 163 | 163 | 163 |
| 30,20 | 146,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 146 | 0 | 0 |
| 31,1 | 164,12 | 164,10 | 167,22 | 164,20 | 165 | 166 | 166 |
| 31,2 | 162,09 | 161,81 | 163,27 | 160,40 | 162 | 162 | 162 |
| 31,3 | 167,30 | 165,08 | 169,85 | 168,71 | 168 | 169 | 169 |
| 31,4 | 0,00 | 0,00 | 163,46 | 164,08 | 164 | 164 | 164 |
| 32,1 | 161,51 | 162,47 | 164,97 | 170,62 | 165 | 168 | 168 |
| 32,2 | 166,43 | 166,06 | 169,85 | 169,55 | 168 | 170 | 170 |
| 32,3 | 0,00 | 166,56 | 0,00 | 170,38 | 168 | 170 | 170 |
| 32,4 | 0,00 | 0,00 | 166,47 | 160,64 | 164 | 164 | 164 |
| 33,1 | 166,72 | 165,08 | 0,00 | 0,00 | 166 | 0 | 166 |
| 34,1 | 161,22 | 161,16 | 163,46 | 158,50 | 161 | 161 | 161 |
| 34,2 | 165,56 | 165,08 | 163,74 | 0,00 | 165 | 164 | 164 |
| 34,3 | 166,43 | 166,06 | 170,23 | 166,46 | 167 | 168 | 168 |
| 34,4 | 166,14 | 167,70 | 173,43 | 169,66 | 169 | 172 | 172 |
| 34,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 34,6 | 161,22 | 163,77 | 167,22 | 164,68 | 164 | 166 | 166 |
| 34,7 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 34,8 | 162,38 | 160,34 | 167,03 | 164,91 | 164 | 166 | 166 |
| 34,9 | 171,64 | 175,55 | 168,91 | 172,28 | 172 | 171 | 171 |
| 34,10 | 161,08 | 163,45 | 161,96 | 156,60 | 161 | 159 | 159 |
| 34,11 | 160,07 | 161,81 | 164,59 | 163,49 | 162 | 164 | 164 |
| 34,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 166,81 | | 167 | 167 |
| 34,13 | 161,22 | 161,16 | 165,53 | 164,44 | 163 | 165 | 165 |
| 34,14 | 0,00 | 165,74 | 164,97 | 0,00 | 165 | 165 | 165 |
| 34,15 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 163,25 | 0 | 163 | 163 |
| 34,16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 34,17 | 158,91 | 156,25 | 161,58 | 158,50 | 159 | 160 | 160 |
| 35,1 | 175,26 | 171,63 | 171,55 | 168,24 | 172 | 170 | 170 |
| 35,2 | 160,36 | 164,10 | 164,21 | 161,11 | 162 | 163 | 163 |

| Individuum (Rö_xx) | Humerus Körperhöhe (Pearson 1899) | Radius Körperhöhe (Pearson 1899) | Femur Körperhöhe (Pearson 1899) | Tibia Körperhöhe (Pearson 1899) | Körperhöhe kombiniert | Körperhöhe untere Extremität | Körperhöhe für Berechnung |
|-----------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| 35,3 | 162,96 | 166,72 | 163,65 | 166,34 | 165 | 165 | 165 |
| 35,4 | 172,80 | 170,64 | 175,68 | 172,04 | 173 | 174 | 174 |
| 35,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 35,6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 35,7 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 35,8 | 164,41 | 166,06 | 171,17 | 0,00 | 167 | 171 | 171 |
| 35,9 | 153,84 | 156,58 | 154,25 | 155,88 | 155 | 155 | 155 |
| 35,10 | 157,75 | 162,14 | 165,25 | 163,25 | 162 | 164 | 164 |
| 35,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 163,25 | 0 | 163 | 163 |
| 35,12 | 163,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 163 | 0 | 163 |
| 35,13 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 35,14 | 159,78 | 156,25 | 161,02 | 154,93 | 158 | 158 | 158 |
| 35,15 | 164,41 | 161,16 | 164,59 | 161,82 | 163 | 163 | 163 |
| 35,16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 35,17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 35,18 | 158,91 | 157,72 | 163,18 | 154,70 | 159 | 159 | 159 |
| 36 | 156,44 | 156,27 | 158,81 | 157,33 | 157 | 158 | 158 |
| 37,1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 37,2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 37,3 | 0,00 | 0,00 | 160,64 | 0,00 | 0 | 161 | 161 |
| 37,4 | 156,01 | 0,00 | 160,64 | 159,21 | 159 | 160 | 160 |
| 37,5 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 161,82 | 0 | 162 | 162 |
| 37,6 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 37,7 | 161,95 | 0,00 | 167,41 | 0,00 | 165 | 167 | 167 |
| 37,8 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 37,9 | 167,59 | 0,00 | 172,67 | 169,90 | 170 | 171 | 171 |
| 37,10 | 160,93 | 161,49 | 161,58 | 161,59 | 161 | 162 | 162 |
| 37,11 | 163,25 | 164,43 | 167,22 | 166,58 | 165 | 167 | 167 |
| 37,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 152,80 | 0 | 153 | 153 |
| 38,1 | 163,54 | 165,08 | 165,53 | 165,86 | 165 | 166 | 166 |
| 38,2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 38,3 | 162,67 | 157,89 | 164,78 | 0,00 | 162 | 165 | 165 |
| 38,4 | 164,12 | 161,16 | 167,22 | 165,63 | 165 | 166 | 166 |
| 38,5 | 166,72 | 0,00 | 162,24 | 163,61 | 164 | 163 | 163 |
| 38,6 | 165,56 | 164,10 | 170,70 | 0,00 | 167 | 171 | 171 |
| 38,7 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 38,8 | 0,00 | 160,34 | 0,00 | 0,00 | 160 | 0 | 160 |
| 38,9 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 38,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 38,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 38,12 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 39,1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |

| Individuum (Rö_xx) | Humerus Körperhöhe (Pearson 1899) | Radius Körperhöhe (Pearson 1899) | Femur Körperhöhe (Pearson 1899) | Tibia Körperhöhe (Pearson 1899) | Körperhöhe kombiniert | Körperhöhe untere Extremität | Körperhöhe für Berechnung |
|--------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------|
| 39,2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 39,3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 39,4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 40,1 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 40,2 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |

Tabelle A10: Rekonstruierte Körperhöhe von Individuen des Fundplatzes Snakehill (Pfeiffer 1991, Saunders 1991) mit vier unterschiedlichen Schätzformeln.

| Snakehill (Individuum) | Snakehill F1-Maß | Snakehill, berechnete Körperhöhe in cm | | | |
|------------------------|------------------|--|-----------------------|---------------|----------------|
| | | Pearson (1899) | Trotter-Gleser (1958) | Nainys (1972) | Olivier (1978) |
| 1 | 463 | 168 | 172 | 171 | 170 |
| 2 | 466 | 169 | 172 | 172 | 171 |
| 4 | 474 | 170 | 174 | 174 | 173 |
| 5 | 437 | 163 | 165 | 165 | 164 |
| 7 | 447 | 165 | 168 | 167 | 167 |
| 8 | 470 | 170 | 173 | 173 | 172 |
| 10 | 458 | 167 | 170 | 170 | 169 |
| 13 | 465 | 169 | 172 | 171 | 171 |
| 14 | 496 | 175 | 179 | 179 | 178 |
| 15 | 508 | 177 | 182 | 181 | 181 |
| 16 | 513 | 178 | 184 | 182 | 182 |
| 17 | 467 | 169 | 173 | 172 | 171 |
| 19 | 464 | 169 | 172 | 171 | 171 |
| 20 | 482 | 172 | 176 | 175 | 175 |
| 21 | 507 | 177 | 182 | 181 | 181 |
| 23 | 479 | 171 | 175 | 175 | 174 |
| 24 | 457 | 167 | 170 | 170 | 169 |
| 26 | 465 | 169 | 172 | 171 | 171 |
| 27 | 427 | 162 | 163 | 163 | 162 |
| 28 | 445 | 165 | 167 | 167 | 166 |
| 29 | 486 | 173 | 177 | 176 | 176 |

Table A11: Absoluter und relativer TEM beim Intra-Observer-Vergleich (Serie Rödelheim) und Inter-Observer-Vergleich (Bütehorn 2022) für eine Auswahl genommener Messstrecken.

| Messstrecke | Intra-Observer-Vergleich | | | Inter-Observer-Vergleich (Bütehorn 2021) | | |
|-------------|--------------------------|--------------------|-------------------|--|--------------------|-------------------|
| | Anzahl Vergleiche | Absoluter TEM (mm) | relativer TEM [%] | Anzahl Vergleiche | Absoluter TEM (mm) | relativer TEM [%] |
| C1 | 14 | 2,2 | 1,69 | 15 | 0,5 | 0,33 |
| C6 | 17 | 1,2 | 3,34 | 30 | 0,9 | 2,39 |
| H1 | 19 | 1,6 | 0,48 | 20 | 0,3 | 0,10 |
| H3 | 18 | 0,6 | 1,06 | 22 | 0,3 | 0,56 |
| H4 | 18 | 0,7 | 1,09 | 19 | 0,2 | 0,29 |
| H7 | 23 | 2,0 | 3,12 | 39 | 0,6 | 0,97 |
| R1 | 13 | 2,1 | 0,84 | 10 | 0,5 | 0,19 |
| F1 | 14 | 0,6 | 0,13 | 19 | 0,3 | 0,06 |
| F2 | 14 | 0,6 | 0,14 | 18 | 0,2 | 0,05 |
| F6 | 17 | 1,0 | 3,65 | 34 | 1,5 | 5,38 |
| F7 | 18 | 0,4 | 1,64 | 37 | 1,4 | 5,35 |
| F18 | 17 | 0,8 | 1,64 | 29 | 1,6 | 3,38 |
| F19 | 17 | 0,4 | 0,81 | 26 | 1,5 | 3,10 |
| T1 | 19 | 1,5 | 0,41 | 18 | 2,4 | 0,65 |
| T3 | 17 | 1,5 | 1,89 | 22 | 0,6 | 0,83 |

Table A12: Berechnete Robustizitätsindices der Individuen der Skelettserie Kassel (Grumbkow 2013, Daten aus Bütehorn 2022) und der Serie Rödelheim (und Folgeseiten). Grüne Zellen kennzeichnen Indices, die nicht in der Berechnung berücksichtigt wurden, da sie auf Knochenmaßen ohne vollständigen Epiphysenanschluss basieren. Abkürzungen: KS-Hu.=isolierter Humerus ohne zugeordnetes Individuum, KS=Kassel.

| | Maß H4 | Maß T3 | Clavicula Längen-Dicken-Index | Humerus Längen-Dicken-Index | Femur Robustizitäts-index (Herrmann 1990) | Robustizitäts-index des Caput femoris | Femur-Robustizitäts-index (Wescott 2006) | Femur-Form |
|-------|--------|--------|-------------------------------|-----------------------------|---|---------------------------------------|--|------------|
| KS-01 | | | | | | | | |
| KS-02 | 59 | 74 | | | | | | 1,07692308 |
| KS-03 | | | | | | | | |
| KS-04 | | | | | | | | |
| KS-05 | 66 | | | | | | | |
| KS-06 | | | | | | | | |
| KS-07 | | | | | | | | |
| KS-08 | 62 | | | 19 | | | 117 | 1,12727273 |
| KS-09 | | | 26 | | | | | |
| KS-10 | | | | | | | | |
| KS-11 | | | | | | | | |
| KS-12 | | | | | | | | |
| KS-13 | 66 | | | | | | | |
| KS-14 | | | | | | | | |
| KS-15 | | | 23 | | | | | 1,10714286 |
| KS-16 | | | | | | | | |
| KS-17 | | | | | | | | 1,125 |
| KS-18 | 63 | | | | | | | |

| | Maß H4 | Maß T3 | Clavicula Längen- Dicken-Index | Humerus Längen- Dicken-Index | Femur Robustizitäts- index (Herrmann 1990) | Robustizitäts- index des Caput femoris | Femur- Robustizitäts- index (Wescott 2006) | Femur-Form |
|--------|--------|--------|--------------------------------------|------------------------------------|--|--|---|------------|
| KS-61 | | | | | | | | |
| KS-63 | | | | | | | 116 | 0,89655172 |
| KS-64 | | | | | | | 116 | 0,98181818 |
| KS-65 | 62 | | | | | | | 1,07142857 |
| KS-66 | | | | | | | | 1 |
| KS-67 | | | | | | | | |
| KS-68 | | | | | | | | |
| KS-69 | | 69 | | | | | | |
| KS-70 | | | | | | | | |
| KS-71 | | | | | | | | 1,05555556 |
| KS-72 | | 80 | | | | | | 1,05357143 |
| KS-73 | | | | | | | 120 | 1,03571429 |
| KS-74 | 63 | | | | | | | |
| KS-75 | | 72 | | | | | | 0,98214286 |
| KS-76 | | | | | | | | 0,96610169 |
| KS-77 | | 71 | | | | | | 0,92727273 |
| KS-78 | 63 | | | | | | 101 | 1,04 |
| KS-79 | 64 | | | | | | | 1,07407407 |
| KS-80 | 61 | | | | | | | 1,09433962 |
| KS-81 | | | | | | | 116 | 1,09433962 |
| KS-82 | | | | | | | | 0,96428571 |
| KS-83 | | | | | | | | |
| KS-84 | | | | | | | 110 | 1,0754717 |
| KS-85 | | | | | | | | |
| KS-86 | 65 | | | | | | | 1,1 |
| KS-87 | | | | | | | | |
| KS-88 | 65 | | | | | | | 1,11538462 |
| KS-89 | | | | | | | | 1,08695652 |
| KS-90 | | | | | | | | |
| KS-91 | | | | | | | | |
| KS-92 | | | | | | | | 1 |
| KS-93 | | | | | | | | |
| KS-94 | | | | | | | | |
| KS-95 | | | | | | | | |
| KS-96 | 69 | | | | | | | |
| KS-97 | 65 | | | | | | | |
| KS-99 | | | | | | | | |
| KS-100 | | | | | | | | |
| KS-101 | | | | | | | | |
| KS-102 | | | | | 12 | 21 | 117 | 1,05172414 |
| KS-103 | | | | | | | | |
| KS-104 | | | | | | | | |
| KS-Hu | 61 | | | | | | | |

| | Maß H4 | Maß T3 | Clavicula Längen- Dicken-Index | Humerus Längen- Dicken-Index | Femur Robustizitäts- index (Herrmann 1990) | Robustizitäts- index des Caput femoris | Femur- Robustizitäts- index (Wescott 2006) | Femur-Form |
|------------|--------|--------|--------------------------------------|------------------------------------|--|--|---|------------|
| Mittelwert | 62,5 | 75,4 | 24,4 | 19,9 | 11,8 | 20,7 | 115,1 | 1,037 |
| Median | 63,3 | 75,8 | 24 | 20 | 12 | 21 | 116 | 1,054 |
| SD | 2,6 | 4,4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 7 | 0,080 |
| 6,1 | 71 | | | 18 | | | | |
| 6,2 | 66 | 78 | 27 | 22 | 14 | 24 | 118 | 1,03225806 |
| 6,3 | 66 | 75 | 29 | 19 | 12 | 21 | 119 | 0,9 |
| 6,4 | 61 | 77 | 24 | 19 | | | 117 | 1,17647059 |
| 7,1 | 69 | 82 | | 19 | 12 | 22 | 116 | 1,26923077 |
| 7,2 | 62 | 86 | 25 | 19 | 12 | 22 | 106 | 1,07692308 |
| 7,3 | | 75 | 24 | 18 | 11 | 20 | 106 | 1,08333333 |
| 7,4 | 63 | 76 | 27 | 20 | 13 | 23 | 114 | 0,86666667 |
| 8,1 | 67 | 81 | 32 | 21 | 12 | 22 | 112 | 0,8852459 |
| 8,2 | 59 | 74 | 26 | 20 | 13 | 20 | 122 | 1,01754386 |
| 8,4 | 64 | 75 | | 19 | 11 | 22 | 107 | 0,74137931 |
| 9,1 | 65 | 79 | 28 | 21 | 13 | 21 | 122 | 1 |
| 9,2 | 62 | | | 22 | | | | |
| 9,3 | 69 | 79 | | 21 | | | | |
| 10,1 | 62 | 72 | 26 | 18 | | | | |
| 10,2 | 61 | 75 | 24 | 19 | 13 | 22 | 115 | 1,08928571 |
| 10,3 | 71 | 86 | | 20 | 14 | 24 | 115 | 1 |
| 10,4 | 62 | 79 | 23 | 18 | 11 | 20 | 113 | 1,125 |
| 11,2 | 66 | 80 | 22 | 19 | 12 | 20 | 118 | 1,09259259 |
| 11,3 | 65 | 80 | | | 12 | 23 | 110 | 1,11111111 |
| 12,1 | 65 | 75 | 27 | 20 | | | | |
| 12,2 | 65 | | | | | | | |
| 13,1 | 65 | 71 | 31 | 20 | 13 | 21 | 124 | 0,94915254 |
| 13,2 | 68 | 78 | | 20 | 13 | 22 | 117 | 0,88709677 |
| 14,1 | | 75 | | | 11 | 22 | 102 | 1,03703704 |
| 14,2 | 72 | | 22 | 18 | 11 | 22 | 103 | 1,25925926 |
| 14,3 | | 76 | | | 13 | 22 | 120 | 1,05454545 |
| 14,4 | | 78 | | | 12 | 20 | 120 | 1,13207547 |
| 15,1 | 62 | | 26 | 18 | 13 | 20 | 127 | 0,921875 |
| 15,2 | 69 | 76 | 27 | 20 | 14 | 22 | 125 | 0,91176471 |
| 15,3 | 62 | 73 | 24 | 18 | | | | |
| 17,1 | 64 | 72 | 27 | 20 | 13 | 20 | 126 | 0,98305085 |
| 17,2 | | 70 | 25 | | 12 | | | 1 |
| 18,1 | 64 | 78 | 25 | 19 | 15 | 21 | 143 | 0,83333333 |
| 18,2 | 68 | | | 20 | 13 | 21 | 124 | 1,03333333 |
| 18,3 | 64 | 76 | | 20 | 14 | 22 | 130 | 0,89855072 |
| 18,4 | 65 | | | 20 | | | 132 | 0,9516129 |
| 19,1 | 65 | 79 | 28 | 21 | 13 | 21 | 126 | 1,03448276 |
| 19,2 | 64 | 74 | 26 | 21 | 13 | 21 | 131 | 0,90322581 |
| 19,3 | 64 | 75 | 24 | 21 | 14 | 21 | 130 | 1,06896552 |

| | Maß H4 | Maß T3 | Clavicula Längen- Dicken-Index | Humerus Längen- Dicken-Index | Femur Robustizitäts- index (Herrmann 1990) | Robustizitäts- index des Caput femoris | Femur- Robustizitäts- index (Wescott 2006) | Femur-Form |
|-------|--------|--------|--------------------------------------|------------------------------------|--|--|---|------------|
| 20,2 | 64 | 75 | | | 13 | 23 | 113 | 0,96428571 |
| 20,5 | 63 | 79 | 26 | 20 | 12 | 23 | 113 | 0,94736842 |
| 20,6 | 62 | | 28 | | 13 | 21 | 129 | 1 |
| 20,7 | 61 | 78 | 29 | | 13 | 22 | 122 | 1,25 |
| 21,1 | | 77 | | | | | | |
| 21,2 | 70 | 85 | | | 15 | 22 | 133 | 1,203125 |
| 22,1 | | | | | | | | |
| 22,X | | | | | | | | |
| 23,1 | | | | | | | | |
| 23,2 | | | | | | | | |
| 23,3 | | 86 | | | | | | |
| 23,4 | | 76 | | | | | | |
| 24,1 | 63 | | | 19 | 13 | 21 | 121 | 1,125 |
| 24,2 | 66 | 80 | | 18 | 13 | 22 | 117 | 1,05263158 |
| 24,3 | 57 | 77 | 26 | 19 | 13 | 20 | 128 | 1,03703704 |
| 24,4 | 65 | 70 | 24 | 21 | 14 | 22 | 127 | 1,07407407 |
| 24,5 | 60 | 75 | 22 | 17 | 11 | 20 | 114 | 1,01886792 |
| 25,1 | 58 | 73 | 29 | 23 | 13 | 21 | 128 | 1,19230769 |
| 25,2 | 58 | 67 | 24 | 19 | 13 | 21 | 125 | 1,11538462 |
| 25,3 | 65 | 76 | 26 | 19 | 12 | 20 | 125 | 1,06896552 |
| 25,4 | 66 | 77 | 24 | 19 | 13 | 22 | 123 | 0,93333333 |
| 25,5 | | 76 | | | 13 | 22 | 123 | 0,96666667 |
| 25,6 | 63 | 71 | 26 | 19 | 12 | 20 | 124 | 1,05660377 |
| 26 | | 74 | | | | | 127 | 1,09615385 |
| 27,1 | 61 | 71 | | 19 | 12 | 21 | 112 | 1,01923077 |
| 27,2 | 61 | 75 | 28 | | | | | |
| 27,3 | 60 | | 28 | 22 | 13 | 23 | 112 | 1,05660377 |
| 27,6 | | 80 | 29 | | 12 | 21 | 117 | 1,18518519 |
| 27,8 | 63 | 76 | 28 | 19 | 12 | 21 | 113 | 1,01818182 |
| 27,9 | 62 | 75 | 25 | 19 | 11 | 20 | 108 | 1 |
| 27,10 | | 79 | 21 | | 11 | 21 | 108 | 0,96428571 |
| 27,12 | 62 | 77 | 26 | 19 | 12 | 20 | 120 | 0,96428571 |
| 27,13 | 63 | | 27 | 20 | 13 | 22 | 115 | 1,03703704 |
| 28,2 | 61 | 78 | 23 | 18 | 11 | 22 | 104 | 1,04 |
| 28,3 | | 75 | 28 | 21 | 12 | 22 | 113 | 1,01754386 |
| 28,4 | 60 | 72 | 24 | 19 | 13 | 22 | 121 | 1,07692308 |
| 28,5 | 58 | 73 | 23 | 18 | 11 | 19 | 113 | 0,96153846 |
| 28,6 | 70 | 81 | | 21 | 12 | 22 | 113 | 0,96666667 |
| 28,7 | 62 | 73 | | 20 | 13 | 21 | 122 | 1,07407407 |
| 28,9 | 65 | 77 | 26 | 21 | 12 | 24 | 104 | 1 |
| 28,10 | 63 | 74 | 25 | 18 | 12 | 19 | 125 | 1,23076923 |
| 28,11 | 61 | 79 | | 19 | 13 | 21 | 126 | 0,90322581 |
| 29,1 | | 78 | 29 | 19 | 11 | 21 | 110 | 0,89285714 |

| | Maß H4 | Maß T3 | Clavicula Längen- Dicken-Index | Humerus Längen- Dicken-Index | Femur Robustizitäts- index (Herrmann 1990) | Robustizitäts- index des Caput femoris | Femur- Robustizitäts- index (Wescott 2006) | Femur-Form |
|-------------|--------|--------|--------------------------------------|------------------------------------|--|--|---|------------|
| 29,3 | 62 | 75 | 26 | 12 | 12 | 20 | 124 | 1,38 |
| 29,4 | 59 | 70 | 28 | 12 | | | 120 | 0,83928571 |
| 29,8 | 60 | 74 | 31 | 19 | 12 | 21 | 113 | 0,96153846 |
| 29,9 | 64 | 75 | 30 | 22 | 12 | 22 | 109 | 1,02083333 |
| 29,10_29,15 | 65 | | 31 | 21 | 12 | 23 | 105 | 0,98148148 |
| 29,12 | 58 | 67 | 26 | 21 | 13 | 22 | 117 | 1,01923077 |
| 29,13 | 64 | 73 | 29 | 19 | 13 | 20 | 130 | 1,11864407 |
| 29,14 | 61 | 74 | 28 | 21 | 12 | 21 | 115 | 1,12 |
| 29,16 | 68 | 76 | 24 | 19 | 11 | 20 | 111 | 1 |
| 30,1 | 61 | 77 | | | 11 | 20 | 108 | 1 |
| 30,2 | 60 | 72 | | 20 | 12 | 22 | 109 | 0,92307692 |
| 30,4 | 64 | 76 | | 22 | 12 | 22 | 116 | 0,96428571 |
| 30,6 | 63 | 74 | 26 | 18 | 12 | 21 | 113 | 1,03703704 |
| 30,9 | 62 | 80 | 23 | 19 | 12 | 21 | 116 | 1,18367347 |
| 30,10 | 62 | 74 | 27 | 20 | 13 | 23 | 110 | 1,03846154 |
| 30,11 | 61 | 76 | 26 | 20 | | 22 | | |
| 30,15 | 63 | 75 | 25 | 19 | | | 131 | 1,14545455 |
| 30,17 | 62 | 79 | 28 | 20 | 13 | 20 | 131 | 1,10169492 |
| 30,18 | 64 | 75 | 25 | 19 | 12 | 21 | 114 | 1,19230769 |
| 30,19 | 61 | 73 | 27 | 18 | 12 | 22 | 109 | 1,08333333 |
| 31,1 | 74 | 85 | | 22 | 14 | 23 | 120 | 1,06666667 |
| 31,2 | 61 | 77 | | 19 | 13 | 21 | 121 | 0,96428571 |
| 31,3 | 64 | 78 | | 18 | | | | 1,03333333 |
| 32,1 | 61 | 73 | | 18 | 14 | 21 | 129 | 1,12280702 |
| 32,2 | 68 | 78 | | 21 | 14 | 22 | 123 | 1,0483871 |
| 32,3 | | | | | | | 119 | 1,07407407 |
| 32,4 | | 73 | 30 | | 12 | 20 | 117 | 1 |
| 33,1 | 63 | | | 20 | | | | |
| 34,1 | 62 | 76 | 27 | 23 | | | | |
| 34,3 | 64 | 80 | 23 | 20 | 12 | 21 | 111 | 1,01818182 |
| 34,4 | 62 | | 25 | 21 | 12 | 19 | 124 | 1,11111111 |
| 34,5 | 64 | 78 | | | 12 | 22 | 111 | 1,01785714 |
| 34,6 | 62 | 75 | 24 | 19 | 12 | 21 | 113 | 1,12 |
| 34,8 | 63 | 72 | 28 | 20 | | | 112 | 1,04 |
| 34,9 | 67 | 77 | | 20 | 13 | 21 | 131 | 0,921875 |
| 34,10 | 62 | 74 | 27 | 20 | 13 | 23 | 110 | 1,03846154 |
| 34,11 | 61 | 70 | 26 | | 12 | 20 | 117 | 1,02 |
| 34,13 | 56 | 72 | 28 | | 12 | | | 1,20833333 |
| 34,14 | 65 | 71 | | | | | 113 | 1,07692308 |
| 34,16 | 64 | | | | | | | |
| 34,17 | 55 | 69 | 27 | 20 | 13 | | 129 | 0,92857143 |
| 35,1 | 66 | | 26 | 19 | 13 | 22 | 125 | 1,11666667 |
| 35,2 | 63 | 76 | 28 | 21 | 13 | 22 | 118 | 1,13207547 |

| | Maß H4 | Maß T3 | Clavicula Längen- Dicken-Index | Humerus Längen- Dicken-Index | Femur Robustizitäts- index (Herrmann 1990) | Robustizitäts- index des Caput femoris | Femur- Robustizitäts- index (Wescott 2006) | Femur-Form |
|------------|--------|--------|--------------------------------------|------------------------------------|--|--|---|------------|
| 35,3 | 65 | 72 | 34 | 22 | 13 | 22 | 119 | 1,07407407 |
| 35,4 | 70 | 81 | 28 | 20 | | | 116 | 1,01666667 |
| 35,6 | 61 | 74 | 25 | 20 | 11 | 20 | 112 | 1,06122449 |
| 35,8 | 67 | | 29 | 21 | 12 | 21 | 121 | 1,08928571 |
| 35,9 | 59 | 68 | 28 | 21 | 13 | 22 | 121 | 0,8 |
| 35,10 | 61 | 75 | 21 | 20 | 12 | 21 | 116 | 1,08 |
| 35,14 | 57 | 69 | 26 | 18 | 11 | 20 | 120 | 0,88461538 |
| 35,15 | 59 | 74 | 24 | 20 | 13 | 22 | 116 | 1,03571429 |
| 35,17 | 61 | | | 19 | 11 | 20 | 114 | 1,01886792 |
| 35,18 | 58 | 73 | 28 | 21 | 12 | 21 | 118 | 1,03846154 |
| 37,1 | 61 | | | | | | | |
| 37,3 | | | | | 14 | 22 | 127 | 1,11111111 |
| 37,4 | | | | | 12 | 22 | 111 | 1,04 |
| 37,6 | | 74 | | | 12 | 20 | 122 | 0,93103448 |
| 37,7 | | | | | | | 115 | 1,16 |
| 37,10 | 68 | 79 | 27 | 21 | 13 | 24 | 109 | 0,96428571 |
| 37,11 | 60 | 72 | 27 | 20 | 12 | 20 | 124 | 1,15384615 |
| 38,1 | 62 | 73 | 19 | 20 | 12 | | 118 | 0,96296296 |
| 38,3 | | 68 | | | 12 | 20 | 121 | 1,01923077 |
| 38,4 | | 74 | 29 | | | | | 1,1372549 |
| 38,5 | | | | | 12 | 22 | 113 | 1,08 |
| 38,6 | | | | 20 | 12 | 20 | 118 | 1,2 |
| 38,7 | | | | | | | | |
| 38,8 | 60 | | | | | | | |
| 38,9 | | | | | | | | |
| 38,10 | | | | | | | | 1,07692308 |
| | | | | | | | | |
| Mittelwert | 63,1 | 75,5 | 26,3 | 19,6 | 12,4 | 21,2 | 118,2 | 1,03831104 |
| Median | 63,0 | 75,0 | 26,2 | 19,6 | 12,4 | 21,3 | 117,6 | 1,03703704 |
| SD | 3,4 | 3,8 | 2,6 | 1,6 | 0,8 | 1,0 | 7,5 | 0,09999901 |
| 8,3 | 61 | 78 | 27 | | | | 116 | 1,16 |
| 11,1 | | | | | | | | 1,04545455 |
| 11,4 | | 75 | | 17 | 12 | 21 | 112 | 1,2 |
| 12,3 | 51 | 69,5 | 23 | | | | 159 | 0,59090909 |
| 12,4 | | | | | | | 124 | 1 |
| 20,1 | 60 | 73 | | | | | 113 | 1,11538462 |
| 20,3 | 62 | | | | | | | 1,15384615 |
| 20,4 | | | | | | | | 1,26190476 |
| 20,8 | | | | | | | 98 | 1,09090909 |
| 20,9 | | | 22 | | | | 108 | 1,04545455 |
| 27,4 | 59,5 | | | | | | 116 | 0,89285714 |
| 27,5 | 64 | | 25 | | | | 122 | 1,06896552 |
| 27,7 | 63 | 80 | | 19 | | | | |

Tabelle A13: Konsensusfingerabdrücke der Individuen aus Rödelheim (und Folgeseiten, Einzelamplifikationsergebnisse im Ordner Molekulargenetik auf Daten-CD). ()=nicht reproduzierte Allele.

| Individuum (Rö_xx) | Amelogenin | | D13S317 | | D21S11 | | D18S51 | | TH01 | | D5S818 | | FGA | |
|-----------------------|------------|---|---------|------|--------|--------|--------|------|------|-------|--------|------|------|----|
| | X | Y | | | | | | | | | | | | |
| 6,1 | X | Y | 8 | 13 | 30 | 32 | 12 | 13 | 7 | 9 | 11 | 12 | 20 | 23 |
| 6,2 | X | Y | 11 | 12 | 31 | 33.2 | 15 | 16 | 7 | 9.3 | 8 | 11 | 20 | 21 |
| 6,3 | X | Y | 9 | 11 | 31 | 32 | 12 | 19 | 6 | 9.3 | 9 | 11 | 19 | 25 |
| 6,4 | X | Y | 12 | 12 | 28 | 32 | 13 | 16 | 7 | 9 | 11 | 12 | 21 | 22 |
| 7,1 | X | Y | 9 | 12 | 29 | 30 | 15 | 19 | 6 | 9.3 | 12 | 12 | 21 | 23 |
| 7,2 | X | Y | 8 | 11 | 30 | 32.2 | 11 | 13 | 6 | 9.3 | 11 | 12 | 21 | 24 |
| 7,3 | X | Y | 11 | 13 | 29 | 32 | 12 | 13 | 7 | 9.3 | 11 | 12 | 21 | 25 |
| 7,4 | X | Y | 11 | 12 | 30 | 31 | 12 | 17 | 7 | 9.3 | (11) | 12 | 21 | 24 |
| 8,1 | X | Y | 10 | 11 | 27 | 30 | 11 | 14 | 8 | 9 | 10 | 11 | 20 | 21 |
| 8,2 | X | Y | 11 | 14 | 30 | 30.2 | 13 | 14 | 9.3 | 9.3 | 11 | 11 | 21 | 24 |
| 8,3 | X | Y | 11 | 12 | (28) | 29 | 11 | 13 | 9.3 | 9.3 | 13 | 13 | 20 | 22 |
| 8,4 | X | Y | 12 | 14 | 28 | 29 | 14 | 17 | 8 | 9.3 | 11 | 12 | 22 | 24 |
| 9,1 | X | Y | 8 | 12 | 29 | 31.2 | 14 | 18 | 9 | 9 | 12 | 13 | 20 | 23 |
| 9,2 | X | Y | 12 | 13 | 30.2 | 31.2 | 18 | 18 | 6 | 8 | 11 | 11 | 19 | 22 |
| 9,3 | X | Y | 12 | 12 | 28 | 31.2 | 13 | 14 | 7 | 9.3 | 11 | 12 | 19 | 24 |
| 10,1 | X | Y | 11 | 12 | 29 | 30 | 15 | 16 | 6 | 9.3 | 12 | 13 | 21 | 22 |
| 10,2 | X | Y | 11 | 13 | 32.2 | 33 | 16 | 18 | 6 | 9.3 | 11 | 12 | 22 | 28 |
| 10,3 | X | Y | 10 | 11 | 30 | 31.2 | 13 | 15 | 9 | 9.3 | 11 | 11 | 22 | 22 |
| 10,4 | X | Y | 11 | 12 | 29 | 30 | 12 | 14 | 9.3 | 9.3 | 11 | 12 | 22 | 24 |
| 11,1 | X | Y | 11 | 12 | 28 | 29 | 12 | 12 | 7 | 8 | 11 | 12 | 20 | 22 |
| 11,2 | X | Y | 8 | 11 | 30 | 30 | 13 | 15 | 6 | 8 | 11 | 13 | 21 | 24 |
| 11,3 | X | Y | 8 | 12 | 28 | 29 | 13 | 14 | 6 | 8 | 10 | 13 | 19 | 24 |
| 11,4 | X | Y | 8 | 12 | 28 | 30 | 12 | 18 | 7 | 7 | 11 | 12 | 20 | 20 |
| 12,1 | X | Y | 9 | 11 | 29 | 31 | 13 | 17 | 6 | 9.3 | 11 | 12 | 20 | 21 |
| 12,2 | X | Y | 9 | 9 | 30.2 | 33.2 | 14 | 19 | 8 | 9.3 | 13 | 13 | 24 | 25 |
| 12,3 | X | Y | 11 | 11 | (29) | (34.2) | (14) | (20) | (9) | 9.3 | 12 | 12 | 20 | 23 |
| 12,4 | X | Y | 11 | (12) | (28) | 30 | 13 | (22) | 8 | (9.3) | 11 | 12 | 23 | 24 |
| 13,1 | X | Y | 11 | 12 | 29 | 31.2 | 14 | - | 6 | 7 | 11 | 13 | 22 | 24 |
| 13,2 | X | - | (9) | 14 | 29 | - | 15 | 16 | 7 | 9.3 | 12 | - | 18 | 22 |
| 14,1 | (X) | - | (12) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 14,2 | X | Y | 9 | 10 | 28 | 29 | 13 | 19 | 7 | 9.3 | 11 | 13 | 22 | 23 |
| 14,3 | (X) | - | - | - | - | - | - | - | (7) | - | - | - | - | - |
| 14,4 | X | Y | 11 | 12 | 28 | 29 | 16 | 16 | 6 | 7 | 12 | 14 | 22 | 24 |
| 15,1 | X | Y | 11 | 12 | 30.2 | - | 11 | 12 | 6 | 9 | 12 | 12 | 24 | 24 |
| 15,2 | X | Y | 8 | 12 | 28 | 29 | 19 | 20 | 7 | 9.3 | 12 | 13 | 18 | 25 |
| 15,3 | X | Y | 8 | 11 | 28 | 30 | 11 | 16 | 9 | 9.3 | 11 | (12) | 21 | 23 |
| 17,1 | X | Y | 11 | 12 | 30 | 30.2 | 13 | 16 | 9 | 9.3 | 11 | 13 | 21 | 22 |
| 17,2 | X | Y | 9 | 9 | 29 | 30 | 13 | 16 | 9 | 9.3 | 11 | 11 | 22 | 23 |
| 18,1 | X | Y | 8 | 10 | 30 | 31 | 14 | 16 | 9.3 | 9.3 | 11 | 12 | 20 | 25 |
| 18,2 | X | Y | 9 | 14 | 30 | 33.2 | 15 | 17 | 8 | 9 | 11 | 13 | (17) | 21 |
| 18,3 | X | Y | 10 | 14 | 30 | 30 | 15 | 18 | 7 | 9.3 | 10 | 11 | 20 | 23 |
| 18,4 | X | Y | 10 | 11 | 28 | 28 | 13 | 15 | 9 | 9.3 | 11 | 13 | 21 | 22 |

| Individuum (Rö_xx) | Amelogenin | | D13S317 | | D21S11 | | D18S51 | | TH01 | | D5S818 | | FGA | |
|-----------------------|------------|-----|---------|------|--------|--------|--------|------|-------|-------|--------|------|------|------|
| | X | Y | 9 | 12 | 29 | 31 | 12 | 15 | 9 | 9.3 | 11 | 12 | 19 | 26 |
| 19,1 | X | Y | 9 | 12 | 29 | 31 | 12 | 15 | 9 | 9.3 | 11 | 12 | 19 | 26 |
| 19,2 | X | Y | 12 | 13 | 27 | 30 | 15 | 15 | 9 | 9.3 | 12 | 12 | 21 | 22 |
| 19,3 | X | Y | 12 | 13 | 27 | (32) | 14 | 15 | 8 | 9 | 9 | 10 | 22 | 24 |
| 19,4 | X | X | 12 | 13 | 29 | 30.2 | 13 | 13 | 6 | 8 | 11 | 12 | 23 | 24 |
| 19,5 | X | X | 9 | 13 | (28) | 35.2 | 13 | 19 | 7 | 9.3 | 10 | 14 | 20 | 24 |
| 20,1 | X | Y | 11 | 12 | 30 | - | 15 | - | 6 | 9 | 10 | 12 | 20 | 21 |
| 20,2 | X | Y | 8 | 12 | 29 | 29 | 12 | 13 | 7 | 8 | 11 | 12 | 20 | 25 |
| 20,3 | X | Y | 11 | 13 | (28) | 32.2 | 14 | 17 | 8 | 8 | 11 | 12 | 24 | 24 |
| 20,4 | X | (Y) | 11 | 14 | (29) | 31 | 12 | 15 | 6 | 9.3 | (11) | 13 | 21 | (22) |
| 20,5 | X | Y | 12 | 13 | 33.2 | - | 15 | (19) | 9.3 | - | (12) | - | 20 | (24) |
| 20,6 | (X) | Y | 11 | 12 | 28 | (30) | 13 | 14 | 6 | 9 | (12) | - | (22) | (24) |
| 20,7 | X | Y | 12 | - | 32.2 | - | 16 | - | 6 | 9 | - | - | 20 | 21 |
| 20,8 | X | Y | (9) | 12 | 28 | - | 14 | - | 6 | - | 11 | (12) | (22) | 23 |
| 20,9 | X | Y | 11 | 12 | 30 | 30.2 | 11 | 12 | 9.3 | 9.3 | 11 | 13 | 21 | 22 |
| 21,1 | - | (Y) | (12) | - | - | - | - | - | (9.3) | - | - | - | - | - |
| 21,2 | X | Y | 8 | 13 | 28 | 32.2 | 16 | 16 | 6 | 7 | (12) | (13) | 20 | 21 |
| 22,1 | (X) | - | - | - | (28) | - | (13) | - | (7) | - | (11) | - | - | - |
| 22,X | X | Y | 8 | 12 | 27 | 30 | 14 | 16 | 9 | 9 | 11 | (12) | 21 | 22 |
| 23,1 | (X) | (Y) | (8) | (12) | (29) | (31.2) | - | - | (7) | (9.3) | - | - | (24) | (25) |
| 23,2 | - | - | - | - | - | - | - | - | (7) | - | - | - | - | - |
| 23,3 | - | (Y) | (8) | (11) | (27) | (28) | - | - | 8 | (9) | - | - | 21 | - |
| 23,4 | (X) | (Y) | (11) | (12) | (28) | - | (14) | - | (6) | (9.3) | - | - | - | - |
| 24,1 | X | Y | 8 | 10 | 30 | 33.2 | 15 | 15 | 8 | 9.3 | 12 | 13 | 22 | 24 |
| 24,2 | X | Y | 12 | 12 | 28 | 28 | 13 | 19 | 6 | 9.3 | 12 | 13 | 23 | 23 |
| 24,3 | X | Y | 11 | 12 | 30 | 30 | 16 | 18 | 8 | 9.3 | 10 | 12 | 23 | 24 |
| 24,4 | X | Y | 12 | 13 | 29 | 30 | 13 | 17 | 9 | 9.3 | 11 | 13 | 23 | 26 |
| 24,5 | X | Y | 11 | 13 | 28 | 32 | 13 | 14 | 7 | 9.3 | 11 | 11 | 19 | 20 |
| 25,1 | X | Y | 11 | - | 29 | - | 12 | 20 | 6 | 7 | 11 | - | 21 | 24 |
| 25,2 | X | Y | 8 | 11 | 29 | 30 | 18 | 19 | 9 | 9.3 | 10 | 11 | 21 | 24 |
| 25,3 | X | Y | 11 | 12 | 28 | 29 | 12 | 15 | 6 | 9.3 | 13 | - | 20 | 26 |
| 25,4 | X | Y | 8 | 8 | 30 | 30 | 13 | 15 | 8 | 9 | 11 | 11 | 22 | 25 |
| 25,5 | X | Y | 11 | 12 | 29 | 31 | 11 | 14 | 9.3 | 9.3 | (12) | - | 21 | 23 |
| 25,6 | X | Y | 11 | 11 | 30 | 32.2 | 15 | 17 | 9.3 | 9.3 | 11 | 13 | 22 | 24 |
| 26,1 | (X) | (Y) | (13) | (13) | (28) | (30) | (12) | (15) | (6) | (7) | (11) | (13) | (21) | (23) |
| 26,2 | X | Y | 8 | (15) | 28 | 30 | 15 | 17 | 9 | 9.3 | (10) | 11 | 21 | 22 |
| 27,1 | X | Y | 8 | 14 | (31.2) | 34.2 | (10) | 17 | 9.3 | 9.3 | 11 | (12) | 22 | 24 |
| 27,2 | X | Y | 11 | 12 | 32.2 | 32.2 | 16 | 17 | 6 | 7 | 10 | (13) | 22 | 24 |
| 27,3 | X | Y | (11) | (12) | (29) | - | 16 | - | (9) | 9.3 | (13) | - | (18) | 20 |
| 27,4 | X | Y | 8 | 11 | 30 | 31 | 11 | 12 | 6 | 8 | 11 | 12 | (22) | 23 |
| 27,5 | X | Y | 11 | 12 | 29 | 30 | 13 | 16 | 9 | (9.3) | 11 | 12 | 21 | 24 |
| 27,6 | X | Y | 11 | 12 | 30 | 30.2 | 12 | 13 | 6 | 9.3 | (12) | - | 25 | - |
| 27,7 | X | Y | 10 | 14 | 31.2 | - | (16) | 18 | 8 | 9.3 | (12) | 13 | 21 | 24 |
| 27,8 | X | Y | 11 | 12 | (27) | 30 | 13 | 14 | 9 | 9.3 | (13) | - | 19 | 22 |
| 27,9 | X | Y | 8 | 11 | 31.2 | 32.2 | 14 | - | 9.3 | 9.3 | (11) | 13 | 23 | 23 |

| Individuum (Rö_xx) | Amelogenin | | D13S317 | | D21S11 | | D18S51 | | TH01 | | D5S818 | | FGA | |
|-----------------------|------------|-----|---------|------|--------|--------|--------|------|------|-------|--------|------|--------|--------|
| | X | Y | 11 | (13) | (30) | (30.2) | 12 | 15 | 8 | 9 | 12 | (14) | (24) | 25 |
| 27,10 | X | Y | 11 | (13) | (30) | (30.2) | 12 | 15 | 8 | 9 | 12 | (14) | (24) | 25 |
| 27,11 | X | Y | (12) | (13) | (29) | (31.2) | 13 | (14) | 7 | 9 | (13) | - | 21 | 25 |
| 27,12 | X | Y | 12 | 12 | 30 | 32.2 | 12 | 17 | (8) | 9.3 | (11) | 13 | 21 | 25 |
| 27,13 | X | (Y) | (11) | 13 | (29) | - | (15) | - | (6) | (9.3) | - | - | (22) | (23) |
| 28,1 | X | Y | 10 | 14 | (27) | 28 | 13 | (17) | 6 | (9.3) | 10 | (12) | 22 | - |
| 28,2 | (X) | (Y) | (8) | (13) | (32.2) | - | (15) | - | (6) | - | (11) | - | (23) | (24) |
| 28,3 | X | Y | 11 | 11 | 28 | - | 12 | 13 | 8 | 9.3 | 11 | 11 | 20 | 21 |
| 28,4 | X | Y | 11 | 12 | 29 | 32.2 | 12 | 17 | 7 | 9.3 | 11 | 12 | 22 | 23 |
| 28,5 | X | Y | 10 | 12 | 30 | (31) | 17 | - | 6 | - | 11 | - | 20 | - |
| 28,6 | X | Y | 11 | 11 | 30 | 31 | 15 | 16 | 6 | 9.3 | 12 | 13 | 23 | 24 |
| 28,7 | X | Y | 12 | 12 | 28 | 32.2 | 12 | 14 | 8 | 8 | 12 | 12 | 22 | 24 |
| 28,8 | X | Y | 12 | - | 30 | (32.2) | 15 | 16 | 8 | 9.3 | (9) | 12 | (22) | 23 |
| 28,9 | X | Y | 12 | 13 | 28 | 31 | 15 | 17 | 7 | 9.3 | 11 | 11 | 23 | 25 |
| 28,10 | X | Y | 9 | 10 | 29 | (31.2) | 15 | 17 | 6 | 7 | 12 | (13) | 22 | 24 |
| 28,11 | X | Y | 8 | 12 | 28 | 29 | 12 | - | (7) | (9) | 11 | 12 | 23 | 24 |
| 28,12 | X | Y | 11 | 13 | 29 | 32.2 | 13 | 14 | 9 | 9.3 | 11 | 13 | (22) | 25 |
| 29,1 | X | Y | 11 | 14 | 28 | 29 | 16 | 17 | 6 | 8 | 11 | 11 | 22 | 23 |
| 29,2 | (X) | Y | 11 | (15) | (29) | - | 13 | 15 | 9.3 | - | - | - | 24 | - |
| 29,3 | X | Y | (8) | (12) | (30) | - | 15 | (17) | (6) | (9.3) | (12) | - | (20) | - |
| 29,4 | X | Y | 11 | 11 | 29 | 29 | 12 | 19 | 9 | 9 | 12 | 12 | 20 | 25 |
| 29,5 | X | Y | (8) | - | (27) | (28) | (12) | - | 7 | 9 | (9) | 11 | 19 | (21) |
| 29,6 | X | Y | 11 | 12 | (29) | 32.2 | (12) | (13) | 6 | 8 | (11) | (13) | (24.2) | 25 |
| 29,7 | X | (Y) | 9 | 11 | (30) | 31 | 14 | 17 | 6 | 8 | 11 | 12 | 20 | 26 |
| 29,8 | X | Y | 8 | 11 | 30 | - | 12 | 16 | 9 | 9.3 | (11) | 12 | 21 | 23 |
| 29,9 | X | Y | 11 | 11 | (29) | - | 11 | 20 | 9.3 | 9.3 | 9 | (11) | 22.2 | 24 |
| 29,10 (29,15) | X | Y | 11 | 11 | 26 | 32.2 | 13 | 15 | 9.3 | 9.3 | 11 | 12 | 20 | 25 |
| 29,11 | X | - | 12 | (13) | 29 | (30.2) | 14 | - | 6 | 9 | 12 | - | (21) | 23 |
| 29,12 | X | Y | 12 | 13 | 29 | 32.2 | 13 | 14 | 7 | 9.3 | 11 | 11 | 19 | 19 |
| 29,13 | X | Y | 8 | 12 | 30 | 30 | 12 | 12 | 6 | 7 | 11 | 12 | 23 | 26 |
| 29,14 | X | Y | 11 | 12 | (32.2) | - | 14 | - | 8 | 9.3 | (12) | 13 | 20 | 24 |
| 29,16 | X | Y | 11 | 13 | 29 | 30 | 12 | 16 | 6 | 9.3 | 11 | 13 | 21 | 24 |
| 30,1 | X | Y | 11 | 12 | 29 | 32.2 | 13 | 20 | 7 | 9 | 8 | 11 | 20 | 22 |
| 30,2 | X | Y | 10 | 12 | 29 | 30 | 15 | 18 | 9 | 9.3 | 12 | - | 22 | 22 |
| 30,3 | X | Y | 11 | 12 | 29 | - | 14 | 16 | 7 | 9 | 11 | (12) | 22 | 24 |
| 30,4 | X | (Y) | (8) | 11 | - | - | (17) | - | 9.3 | - | - | - | (23) | - |
| 30,5 | X | Y | 9 | 11 | 29 | 31.2 | 11 | 18 | 6 | 9.3 | 9 | 11 | 22 | 24 |
| 30,6 | X | Y | (8) | 11 | (29) | 30 | (12) | (14) | - | - | (10) | - | 19.2 | (24) |
| 30,7 | X | Y | 11 | 12 | - | - | 12 | - | 9 | 9.3 | (12) | - | (21) | (23) |
| 30,8 (30,13) | X | Y | 9 | 14 | 28 | 32.2 | 12 | 16 | 7 | 9 | 11 | 14 | 21 | 22 |
| 30,9 | X | Y | 11 | 12 | 29 | 30 | 13 | 18 | 8 | 9.3 | 11 | 12 | 21 | 23 |
| 30,10 | X | Y | 9 | 11 | 31.2 | 32.2 | 12 | 15 | 8 | 9 | 12 | 13 | 23 | 24 |
| 30,11 | X | Y | 11 | 12 | 30 | 31 | 15 | 17 | 7 | 8 | (13) | - | 24 | 25 |
| 30,12 | (X) | (Y) | (14) | - | 28 | (29) | 16 | - | (6) | (9) | (12) | - | (20) | - |
| 30,14 | X | Y | 11 | 12 | - | - | (12) | (18) | 7 | (9) | (11) | (12) | (21) | (23.2) |

| Individuum (Rö_xx) | Amelogenin | | D13S317 | | D21S11 | | D18S51 | | TH01 | | D5S818 | | FGA | |
|-----------------------|------------|---|---------|------|--------|--------|--------|------|------|-------|--------|------|------|------|
| | X | Y | | | | | | | | | | | | |
| 30,15 | X | Y | 12 | 13 | 28 | 30 | 14 | 17 | 8 | 9.3 | (12) | 13 | 23 | 24 |
| 30,16 | X | Y | 11 | (12) | - | - | (13) | (16) | 6 | (7) | (12) | - | (19) | 23 |
| 30,17 | X | Y | 9 | 11 | 28 | 29 | 13 | 14 | 6 | 9 | 10 | (13) | 24 | - |
| 30,18 | X | Y | 11 | 12 | 30 | 32.2 | 16 | 17 | 9 | 9.3 | 13 | - | (21) | 23 |
| 30,19 | X | Y | 11 | 12 | 30 | 30.2 | 11 | 15 | 9 | 9.3 | 9 | 12 | 21 | 25 |
| 30,20 | X | - | (13) | - | 30 | - | (16) | - | 6 | (9.3) | (12) | - | (24) | - |
| 31,1 | X | Y | 11 | 12 | (28) | (29) | 15 | 16 | 9 | 9.3 | 11 | 11 | (22) | 25 |
| 31,2 | X | Y | 10 | 12 | 29 | 29 | (14) | (15) | 9 | 9 | 12 | 12 | 23 | 26 |
| 31,3 | X | Y | 11 | 11 | 28 | 29 | 13 | 14 | 9.3 | 9.3 | 8 | 13 | 23 | 23 |
| 31,4 | X | Y | 8 | 11 | 30 | - | 12 | 16 | 7 | (9.3) | 13 | 13 | 23 | 25 |
| 32,1 | X | Y | 8 | 12 | 30 | 32.2 | 14 | 16 | 7 | 9.3 | 12 | 13 | 20 | 22 |
| 32,2 | X | Y | 12 | 12 | 29 | 30 | 15 | 20 | 6 | 6 | 10 | 11 | 19 | 21 |
| 32,3 | X | Y | 11 | (14) | (30) | (31.2) | 13 | 15 | 7 | - | 12 | 12 | 18 | 23.2 |
| 32,4 | X | Y | 9 | 11 | 27 | 32.2 | 12 | 16 | 7 | 9 | 12 | 13 | 20 | 21 |
| 33,1 | X | Y | 13 | 13 | 27 | 28 | 12 | 16 | 9.3 | 9.3 | 12 | 12 | 20 | 26 |
| 34,1 | X | Y | 9 | 11 | (29) | 31 | 12 | 17 | 6 | 9 | 9 | 12 | 23 | 26 |
| 34,2 | X | Y | 8 | 11 | 29 | 29 | 14 | 16 | 7 | 9 | 12 | 12 | 19 | 21 |
| 34,3 | X | Y | 12 | 12 | 30 | 34.2 | 14 | 14 | 6 | 8 | 12 | 12 | 23 | 26 |
| 34,4 | X | Y | 9 | 12 | 28 | 29 | 14 | 16 | 9 | 9.3 | 13 | - | 20 | 24 |
| 34,5 | X | Y | 8 | 11 | 30 | - | 17 | 17 | 8 | 8 | (11) | (13) | 23 | 25 |
| 34,6 | X | Y | 8 | (12) | 28 | 30 | 12 | 20 | 7 | 8 | 12 | (13) | 23 | - |
| 34,7 | X | Y | 8 | 11 | 29 | 29 | 17 | 17 | 6 | 9 | 9 | 11 | 22.2 | 25 |
| 34,8 | X | Y | 13 | 13 | 30 | 33.2 | 12 | 12 | 6 | 8 | 12 | 13 | 20 | 23 |
| 34,9 | X | Y | 8 | 11 | 29 | 31.2 | 15 | 15 | 6 | 9.3 | 11 | 12 | 21 | 23 |
| 34,10 | X | Y | (8) | 11 | (28) | - | 14 | (22) | 6 | 9.3 | (12) | - | (18) | (20) |
| 34,11 | X | Y | 10 | 13 | 28 | 29 | 12 | (22) | 7 | 9 | 11 | (14) | 21 | 25 |
| 34,12 | X | Y | 8 | 9 | 31.2 | 32 | 12 | 13 | 7 | 9.3 | (9) | (11) | 20 | 25 |
| 34,13 | X | Y | 12 | 13 | 28 | 30 | 16 | 17 | 9 | 9 | 10 | 11 | 21 | 23 |
| 34,14 | X | Y | 9 | 12 | 29 | 30 | 12 | 14 | 7 | 9.3 | 12 | (13) | 23 | 24 |
| 34,15 | X | Y | 12 | 14 | 30 | 30 | 16 | 21 | 7 | 9 | 12 | 14 | 22 | 23 |
| 34,16 | X | Y | 11 | 12 | 28 | 29 | 14 | 17 | 7 | 9 | 11 | 12 | 21 | 23 |
| 34,17 | X | Y | 11 | 13 | 29 | 31.2 | 12 | (14) | 7 | 9.3 | 10 | 11 | 21 | 23 |
| 35,1 | X | Y | 9 | 11 | 28 | 30 | 12 | 16 | 9 | 9 | 11 | 12 | 20 | 22 |
| 35,2 | X | Y | 12 | 14 | (30.2) | 31.2 | 15 | 16 | 9.3 | 9.3 | 11 | 11 | 21 | 23 |
| 35,3 | X | Y | 8 | 11 | (30) | 31 | 12 | 13 | 6 | 8 | 12 | 12 | 19 | 22 |
| 35,4 | X | Y | 11 | 12 | 30.2 | 31.2 | 10 | 15 | 6 | 8 | 11 | 12 | 21 | 22 |
| 35,5 | X | Y | 9 | 12 | (30.2) | 32.2 | 12 | - | 8 | 9 | (11) | - | (24) | 25 |
| 35,6 | X | Y | 11 | 14 | 32.2 | 32.2 | 15 | 16 | 7 | 8 | 8 | 13 | 20 | 21 |
| 35,7 | X | Y | 11 | 13 | 28 | - | 12 | 20 | 6 | 9 | (13) | - | 23 | - |
| 35,8 | X | Y | 9 | 12 | 29 | 31.2 | 13 | 15 | 8 | 8 | 10 | 11 | 23 | 24 |
| 35,9 | X | Y | 12 | 13 | 29 | 30 | 12 | 15 | 8 | 9.3 | 10 | 12 | 21 | 22 |
| 35,10 | X | Y | 11 | 12 | (28) | 29 | 11 | (14) | 6 | 9.3 | - | - | (20) | 22 |
| 35,11 | X | Y | (10) | 11 | 29 | (30) | 14 | 15 | 7 | 9.3 | 11 | 12 | 22 | 24 |
| 35,12 | X | Y | 11 | 13 | 27 | 30 | 12 | 15 | 6 | 9.3 | 11 | (12) | 20 | 22 |

| Individuum (Rö_xx) | Amelogenin | | D13S317 | | D21S11 | | D18S51 | | TH01 | | D5S818 | | FGA | |
|-----------------------|------------|-----|---------|------|--------|--------|--------|------|------|-------|--------|------|------|------|
| | X | Y | 12 | 14 | (29) | (30) | 14 | 16 | 6 | (7) | (11) | (12) | 21 | 24 |
| 35,13 | X | Y | 12 | 14 | (29) | (30) | 14 | 16 | 6 | (7) | (11) | (12) | 21 | 24 |
| 35,14 | X | Y | 10 | 12 | 31 | 33.2 | 15 | 16 | 6 | 9 | 11 | 12 | 20 | 23 |
| 35,15 | X | Y | 8 | 13 | 30 | 31.2 | 13 | 13 | 6 | 9 | 11 | 12 | 21 | 25 |
| 35,16 | X | Y | 8 | 12 | (29) | (30) | 12 | 14 | 7 | 9.3 | - | - | 20 | 23 |
| 35,17 | X | Y | 12 | 12 | 29 | 32 | 12 | 14 | 6 | 9.3 | (11) | - | 20 | 23 |
| 35,18 | X | Y | 11 | 12 | 26.2 | 30 | 12 | 15 | 6 | 7 | 12 | 13 | 21 | 24 |
| 36 | X | X | 11 | 12 | 30 | 31 | 10 | 17 | 6 | 7 | 11 | 12 | 22 | 24 |
| 37,1 | X | Y | 12 | 12 | 28 | 33.2 | 12 | 12 | 6 | 7 | 12 | 12 | 24 | 24 |
| 37,2 | X | Y | 8 | 12 | 30 | 30.2 | 15 | 15 | 9 | 9.3 | 11 | 12 | 23 | 25 |
| 37,3 | X | Y | 12 | 14 | (29) | 30 | 15 | 16 | 6 | 8 | 11 | 12 | 21 | (22) |
| 37,4 | X | Y | 12 | 13 | 28 | 28 | 13 | 17 | 9 | 9.3 | 11 | (12) | 21 | 21 |
| 37,5 | X | Y | 8 | (12) | 30 | - | 19 | - | 8 | - | (12) | | (23) | - |
| 37,6 | X | Y | 12 | 14 | (29) | (31.2) | 13 | 17 | 8 | 9.3 | (12) | - | 22 | 22 |
| 37,7 | X | Y | 12 | - | - | - | (17) | (18) | 7 | 9 | 12 | - | (21) | 22 |
| 37,8 | X | Y | 9 | 11 | 27 | 30.2 | 13 | 17 | 8 | 9.3 | 11 | 13 | (19) | 24 |
| 37,9 | X | Y | 9 | 11 | 28 | - | 17 | 17 | 6 | 7 | 13 | 13 | (21) | (23) |
| 37,10 | X | Y | 10 | 11 | (29) | (32.2) | 12 | 16 | 6 | 6 | (10) | - | 20 | 24 |
| 37,11 | X | Y | 12 | 13 | 28 | 33.2 | 12 | 14 | 6 | 9 | 9 | 11 | 22 | 23 |
| 37,12 | X | Y | 8 | 13 | 32.2 | (33.2) | 13 | (17) | 7 | 9.3 | (11) | 12 | (23) | (24) |
| 38,X | (X) | Y | 8 | (9) | (29) | (33) | (14) | - | 6 | 8 | - | - | (19) | (22) |
| 38,1 | (X) | (Y) | (11) | (14) | (24.2) | (27) | (12) | (15) | (9) | - | (11) | - | (22) | (23) |
| 38,2 | X | Y | 8 | 10 | 29 | 33.2 | 12 | 14 | 9 | 9.3 | 11 | 12 | 21 | 24 |
| 38,3 | X | Y | 11 | 12 | 27 | 30 | 15 | 22 | 8 | 9.3 | 10 | (11) | 23 | 24 |
| 38,4 | X | Y | 11 | 13 | 31 | 31.2 | 13 | 16 | 7 | 9.3 | 11 | 12 | 20 | 22 |
| 38,5 | X | Y | 10 | (12) | (30) | - | 16 | - | 6 | 9.3 | - | - | (22) | 24 |
| 38,6 I | X | Y | 12 | - | - | - | 14 | (16) | 7 | 8 | (11) | 13 | 20 | 23 |
| 38,6 II | - | (Y) | (10) | - | (27) | - | (19) | - | 6 | (9.3) | (10) | - | 22 | - |
| 38,7 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 38,8 | X | Y | (10) | 12 | 29 | - | 15 | 16 | 8 | 9.3 | (12) | (13) | (21) | (22) |
| 38,9 | X | Y | 11 | 12 | 28 | 29 | 14 | 16 | 9.3 | 9.3 | (12) | (13) | 25 | 26 |
| 38,10 | X | Y | (10) | 11 | 28 | 31 | 16 | 18 | 7 | 9.3 | 11 | 12 | (21) | 22.2 |
| 38,11 | X | Y | 12 | 12 | 31.2 | (32.2) | 13 | 18 | 6 | 9.3 | 11 | - | 21 | 21 |
| 38,12 | X | (Y) | 11 | 12 | (30) | - | 12 | - | 6 | 9.3 | 12 | - | 21 | 23 |
| 39,1 | X | Y | 9 | 11 | 28 | 32.2 | 16 | 16 | 6 | 9 | 11 | 12 | 21 | 24 |
| 39,2 | X | Y | 12 | 13 | 27 | 30 | 17 | 18 | 6 | 8 | 11 | (12) | 21 | 22 |
| 39,3 | X | Y | 11 | 12 | 29 | 30 | 12 | 12 | 9.3 | 9.3 | 11 | 12 | 21 | 21 |
| 39,4 | X | Y | 11 | 11 | (29) | - | 15 | 20 | 6 | 9.3 | 9 | (12) | 21 | 24 |
| 40,1 | X | Y | 9 | 12 | 29 | 32 | 14 | 17 | 8 | 9.3 | 12 | 13 | 19 | 23 |
| 40,2 | X | Y | 8 | 12 | 30 | 34.2 | 16 | 17 | 9.3 | 9.3 | 12 | 14 | 19 | 25 |

Table A15: Morphologisch gebildete Alterskohorten innerhalb der Skelettserie Rödelheim. Die grün hinterlegten Individuen konnte aufgrund der zu schlechten DNA-Erhaltung nicht in die Berechnung der Haplogruppenverteilung mit einbezogen werden. Individuen, deren Y-Haplotypen in der AMOVA Analyse berücksichtigt wurden finden sich im Ordner Molekulargenetik - AMOVA auf der Daten-CD.

| juvenil | | erwachsen | | | | adult | | | | >adult | n.d. |
|---------|---------|-----------|---------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|
| (Rö_xx) | (Rö_xx) | I(Rö_xx) | (Rö_xx) | (Rö_xx) | (Rö_xx) | (Rö_xx) | (Rö_xx) | (Rö_xx) | (Rö_xx) | (Rö_xx) | (Rö_xx) |
| 8,3 | 30,8_13 | 6,1 | 20,2 | 28,9 | 34,11 | 6,1 | 25,1 | 29,13 | 35,2 | 6,2 | 38,X |
| 11,1 | 30,12 | 6,2 | 20,5 | 28,10 | 34,13 | 7,2 | 25,2 | 29,14 | 35,3 | 6,3 | 38,6 II |
| 11,4 | 30,14 | 6,3 | 20,6 | 28,11 | 34,14 | 7,4 | 25,6 | 29,16 | 35,6 | 6,4 | 39,1 |
| 12,3 | 30,16 | 6,4 | 20,7 | 29,1 | 34,16 | 8,1 | 26,1 | 30,1 | 35,8 | 7,1 | 39,2 |
| 12,4 | 30,20 | 7,1 | 21,1 | 29,3 | 34,17 | 8,4 | 26,2 | 30,2 | 35,9 | 7,3 | 39,3 |
| 20,1 | 31,4 | 7,2 | 21,2 | 29,4 | 35,1 | 9,1 | 27,1 | 30,4 | 35,10 | 8,2 | 39,4 |
| 20,3 | 34,2 | 7,3 | 22,1 | 29,8 | 35,2 | 9,3 | 27,2 | 30,6 | 35,14 | 9,2 | 40,1 |
| 20,4 | 34,7 | 7,4 | 22,X | 29,9 | 35,3 | 10,1 | 27,3 | 30,9 | 35,15 | 10,2 | 40,2 |
| 20,8 | 34,12 | 8,1 | 23,1 | 29,10_15 | 35,4 | 10,4 | 27,6 | 30,10 | 35,17 | 10,3 | |
| 20,9 | 34,15 | 8,2 | 23,2 | 29,12 | 35,6 | 11,3 | 27,8 | 30,11 | 35,18 | 11,2 | |
| 27,4 | 35,5 | 8,4 | 23,3 | 29,13 | 35,8 | 13,2 | 27,9 | 30,17 | 37,1 | 12,1 | |
| 27,5 | 35,7 | 9,1 | 23,4 | 29,14 | 35,9 | 14,3 | 27,10 | 30,18 | 37,3 | 12,2 | |
| 27,7 | 35,11 | 9,2 | 24,1 | 29,16 | 35,10 | 14,4 | 27,12 | 30,19 | 37,4 | 13,1 | |
| 27,11 | 35,12 | 9,3 | 24,2 | 30,1 | 35,14 | 15,3 | 27,13 | 31,2 | 37,6 | 14,1 | |
| 28,1 | 35,13 | 10,1 | 24,3 | 30,2 | 35,15 | 17,2 | 28,2 | 32,1 | 37,7 | 14,2 | |
| 28,8 | 35,16 | 10,2 | 24,4 | 30,4 | 35,17 | 18,2 | 28,3 | 32,4 | 37,10 | 15,1 | |
| 28,12 | 37,2 | 10,3 | 24,5 | 30,6 | 35,18 | 18,4 | 28,4 | 33,1 | 37,11 | 15,2 | |
| 29,2 | 37,5 | 10,4 | 25,1 | 30,9 | 37,1 | 19,1 | 28,5 | 34,1 | 38,1 | 17,1 | |
| 29,5 | 37,8 | 11,2 | 25,2 | 30,10 | 37,3 | 19,3 | 28,6 | 34,3 | 38,4 | 18,1 | |
| 29,6 | 37,9 | 11,3 | 25,3 | 30,11 | 37,4 | 20,2 | 28,7 | 34,4 | 38,5 | 18,3 | |
| 29,7 | 37,12 | 12,1 | 25,4 | 30,15 | 37,6 | 20,5 | 28,9 | 34,5 | 38,6 I | 19,2 | |
| 29,11 | 38,2 | 12,2 | 25,5 | 30,17 | 37,7 | 20,6 | 28,10 | 34,6 | 38,7 | 21,2 | |
| 30,3 | 38,11 | 13,1 | 25,6 | 30,18 | 37,10 | 20,7 | 28,11 | 34,8 | 38,8 | 23,3 | |
| 30,5 | 38,12 | 13,2 | 26,1 | 30,19 | 37,11 | 21,1 | 29,1 | 34,10 | 38,9 | 24,1 | |
| 30,7 | | 14,1 | 26,2 | 31,1 | 38,1 | 22,1 | 29,3 | 34,11 | 38,10 | 24,2 | |
| | | 14,2 | 27,1 | 31,2 | 38,3 | 22,X | 29,4 | 34,13 | | 24,3 | |
| | | 14,3 | 27,2 | 31,3 | 38,4 | 23,1 | 29,8 | 34,14 | | 24,5 | |
| | | 14,4 | 27,3 | 32,1 | 38,5 | 23,2 | 29,9 | 34,16 | | 25,3 | |
| | | 15,1 | 27,6 | 32,2 | 38,6 I | 23,4 | 29,10_15 | 34,17 | | 25,4 | |
| | | 15,2 | 27,8 | 32,3 | 38,7 | 24,4 | 29,12 | 35,1 | | 25,5 | |
| | | 15,3 | 27,9 | 32,4 | 38,8 | | | | | 30,15 | |
| | | 17,1 | 27,10 | 33,1 | 38,9 | | | | | 31,1 | |
| | | 17,2 | 27,12 | 34,1 | 38,10 | | | | | 31,3 | |
| | | 18,1 | 27,13 | 34,3 | | | | | | 32,2 | |
| | | 18,2 | 28,2 | 34,4 | | | | | | 32,3 | |
| | | 18,3 | 28,3 | 34,5 | | | | | | 34,9 | |
| | | 18,4 | 28,4 | 34,6 | | | | | | 35,4 | |
| | | 19,1 | 28,5 | 34,8 | | | | | | 38,3 | |
| | | 19,2 | 28,6 | 34,9 | | | | | | | |
| | | 19,3 | 28,7 | 34,10 | | | | | | | |

Tabelle A16: Haplogruppenhäufigkeit unterschiedlicher europäischer Populationen, den Individuen aus dem Massengrab Kassel und der juvenile Alterskohorte (N=41) der Skelettserie Rödelheim (grün hinterlegt). Die Haplogruppenhäufigkeit (Stichprobengröße hinter der Population in Klammern aufgeführt) können der Excel-Tabelle im Ordner Molekulargenetik - Haplogruppen auf der Daten-CD entnommen werden. Aufgeführt sind die Erwartungswerte über N=41 Haplogruppen. Haplogruppenhäufigkeiten der Referenzpopulationen ergeben nicht immer N=41, da sie auf Frequenzdaten von Eupedia basieren, welche zusammen nicht immer 1 bzw. 100 % ergeben, da zum einen die auf Eupedia abgebildeten Frequenzen in 0,5-Schritten gerundet werden und zum anderen Frequenzen unter 0,25 % als 0 % ausgewiesen vorliegen.

| | Andere | I | J | E | R1a | R1b |
|-------------------------------------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|
| Frankreich (N=2565) | 3 | 6 | 3 | 3 | 1 | 24 |
| Elsass (N=102) | 5 | 5 | 4 | 4 | 1 | 23 |
| Auvergne - Rhône-Alpes (N=100-250) | 6 | 2 | 5 | 5 | 2 | 22 |
| Bretagne (N=115) | 1 | 6 | 1 | 0 | 0 | 33 |
| Provence (N=100-250) | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 24 |
| Niederlande (N=748) | 2 | 10 | 2 | 1 | 2 | 20 |
| Belgien (N=876) | 2 | 8 | 2 | 2 | 2 | 25 |
| Schweden (N=2206) | 4 | 17 | 1 | 1 | 7 | 9 |
| Deutschland (N= >1000) | 3 | 9 | 2 | 2 | 7 | 18 |
| Ost (N=250-500) | 3 | 9 | 1 | 3 | 10 | 15 |
| West (N=250-500) | 4 | 9 | 2 | 3 | 4 | 19 |
| Süd (N=250-500) | 4 | 7 | 3 | 3 | 4 | 20 |
| Österreich (N=100-250) | 4 | 9 | 4 | 3 | 8 | 13 |
| Italien (Nord) (N= >1000) | 4 | 5 | 5 | 5 | 2 | 20 |
| Portugal (N=500-1000) | 4 | 3 | 5 | 6 | 1 | 23 |
| Spanien (N= >1000) | 2 | 3 | 5 | 3 | 1 | 28 |
| Polen (N=2740) | 3 | 7 | 1 | 1 | 24 | 5 |
| Russland (N= >1000) | 11 | 6 | 1 | 1 | 19 | 2 |
| Kassel (N=120) | 2 | 5 | 3 | 2 | 2 | 26 |
| Rödelheim juvenil (N=41) | 2 | 0 | 5 | 3 | 1 | 30 |

Tabelle A17: Haplogruppenhäufigkeit unterschiedlicher europäischer Populationen, den Individuen aus dem Massengrab Kassel und der adulten Alterskohorte (N=92) der Skelettserie Rödelheim (grün hinterlegt). Die Haplogruppenhäufigkeit (Stichprobengröße hinter der Population in Klammern aufgeführt) können der Excel-Tabelle im Ordner Molekulargenetik - Haplogruppen auf der Daten-CD entnommen werden. Aufgeführt sind die Erwartungswerte über N=92 Haplogruppen. Haplogruppenhäufigkeiten der Referenzpopulationen ergeben nicht immer N=92, da sie auf Frequenzdaten von Eupedia basieren, welche zusammen nicht immer 1 bzw. 100 % ergeben, da zum einen die auf Eupedia abgebildeten Frequenzen in 0,5-Schritten gerundet werden und zum anderen Frequenzen unter 0,25 % als 0 % ausgewiesen vorliegen.

| | Andere | I | J | E | R1a | R1b |
|-------------------------------------|--------|----|----|----|-----|-----|
| Frankreich (N=2565) | 6 | 14 | 7 | 7 | 3 | 54 |
| Elsass (N=102) | 10 | 11 | 8 | 9 | 3 | 51 |
| Auvergne - Rhône-Alpes (N=100-250) | 12 | 4 | 11 | 12 | 5 | 48 |
| Bretagne (N=115) | 2 | 12 | 3 | 0 | 0 | 74 |
| Provence (N=100-250) | 10 | 6 | 9 | 10 | 5 | 53 |
| Niederlande (N=748) | 5 | 22 | 4 | 3 | 4 | 45 |
| Belgien (N=876) | 5 | 18 | 5 | 5 | 4 | 56 |
| Schweden (N=2206) | 10 | 39 | 2 | 3 | 15 | 20 |
| Deutschland (N= >1000) | 7 | 20 | 4 | 5 | 15 | 41 |
| Ost (N=250-500) | 6 | 21 | 2 | 7 | 22 | 33 |
| West (N=250-500) | 8 | 20 | 5 | 7 | 8 | 43 |
| Süd (N=250-500) | 10 | 17 | 6 | 7 | 9 | 45 |
| Österreich (N=100-250) | 9 | 20 | 9 | 7 | 17 | 29 |
| Italien (Nord) (N= >1000) | 9 | 11 | 11 | 10 | 4 | 46 |
| Portugal (N=500-1000) | 9 | 6 | 12 | 13 | 1 | 52 |
| Spanien (N= >1000) | 5 | 6 | 10 | 6 | 2 | 63 |
| Polen (N=2740) | 6 | 15 | 2 | 3 | 53 | 12 |
| Russland (N= >1000) | 25 | 14 | 3 | 2 | 42 | 6 |
| Kassel (N=120) | 4 | 12 | 8 | 5 | 5 | 58 |
| Rödelheim adult (N=92) | 12 | 7 | 2 | 6 | 12 | 53 |

Tabelle A18: Haplogruppenhäufigkeit unterschiedlicher europäischer Populationen, den Individuen aus dem Massengrab Kassel und der matur/senil Alterskohorte (N=33) der Skelettserie Rödelheim (grün hinterlegt). Die Haplogruppenhäufigkeit (Stichprobengröße hinter der Population in Klammern aufgeführt) können der Excel-Tabelle im Ordner Molekulargenetik - Haplogruppen auf der Daten-CD entnommen werden. Aufgeführt sind die Erwartungswerte über N=33 Haplogruppen. Haplogruppenhäufigkeiten der Referenzpopulationen ergeben nicht immer N=33, da sie auf Frequenzdaten von Eupedia basieren, welche zusammen nicht immer 1 bzw. 100 % ergeben, da zum einen die auf Eupedia abgebildeten Frequenzen in 0,5-Schritten gerundet werden und zum anderen Frequenzen unter 0,25 % als 0 % ausgewiesen vorliegen.

| | Andere | I | J | E | R1a | R1b |
|-------------------------------------|--------|----|---|---|-----|-----|
| Frankreich (N=2565) | 2 | 5 | 2 | 2 | 1 | 19 |
| Elsass (N=102) | 4 | 4 | 3 | 3 | 1 | 18 |
| Auvergne - Rhône-Alpes (N=100-250) | 4 | 1 | 4 | 4 | 2 | 17 |
| Bretagne (N=115) | 1 | 4 | 1 | 0 | 0 | 26 |
| Provence (N=100-250) | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 19 |
| Niederlande (N=748) | 2 | 8 | 1 | 1 | 1 | 16 |
| Belgien (N=876) | 2 | 6 | 2 | 2 | 1 | 20 |
| Schweden (N=2206) | 3 | 14 | 1 | 1 | 5 | 7 |
| Deutschland (N= >1000) | 2 | 7 | 1 | 2 | 5 | 15 |
| Ost (N=250-500) | 2 | 8 | 1 | 2 | 8 | 12 |
| West (N=250-500) | 3 | 7 | 2 | 3 | 3 | 16 |
| Süd (N=250-500) | 3 | 6 | 2 | 3 | 3 | 16 |
| Österreich (N=100-250) | 3 | 7 | 3 | 3 | 6 | 11 |
| Italien (Nord) (N= >1000) | 3 | 4 | 4 | 4 | 1 | 16 |
| Portugal (N=500-1000) | 3 | 2 | 4 | 5 | 0 | 18 |
| Spanien (N= >1000) | 2 | 2 | 4 | 2 | 1 | 23 |
| Polen (N=2740) | 2 | 5 | 1 | 1 | 19 | 4 |
| Russland (N= >1000) | 9 | 5 | 1 | 1 | 15 | 2 |
| Kassel (N=120) | 1 | 4 | 3 | 2 | 2 | 21 |
| Rödelheim älter adult (N=33) | 1 | 4 | 3 | 1 | 8 | 14 |

Tabelle A19: Haplogruppenhäufigkeit unterschiedlicher europäischer Populationen den Individuen aus dem Massengrab Kassel und der erwachsenen Alterskohorte (N=130) der Skelettserie Rödelheim (grün hinterlegt). Die Haplogruppenhäufigkeit (Stichprobengröße hinter der Population in Klammern aufgeführt) können der Excel-Tabelle im Ordner Molekulargenetik - Haplogruppen auf der Daten-CD entnommen werden. Aufgeführt sind die Erwartungswerte über N=130 Haplogruppen. Haplogruppenhäufigkeiten der Referenzpopulationen ergeben nicht immer N=130, da sie auf Frequenzdaten von Eupedia basieren, welche zusammen nicht immer 1 bzw. 100 % ergeben, da zum einen die auf Eupedia abgebildeten Frequenzen in 0,5-Schritten gerundet werden und zum anderen Frequenzen unter 0,25 % als 0 % ausgewiesen vorliegen.

| | Andere | I | J | E | R1a | R1b |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Frankreich (N=2565) | 9 | 20 | 10 | 10 | 4 | 76 |
| Elsass (N=102) | 14 | 16 | 12 | 13 | 4 | 72 |
| Auvergne - Rhône-Alpes (N=100-250) | 18 | 6 | 15 | 16 | 7 | 68 |
| Bretagne (N=115) | 3 | 18 | 4 | 1 | 1 | 104 |
| Provence (N=100-250) | 14 | 9 | 12 | 14 | 7 | 75 |
| Niederlande (N=748) | 7 | 31 | 5 | 5 | 5 | 64 |
| Belgien (N=876) | 7 | 25 | 7 | 7 | 5 | 79 |
| Schweden (N=2206) | 14 | 55 | 3 | 4 | 21 | 28 |
| Deutschland (N= >1000) | 10 | 29 | 6 | 7 | 21 | 58 |
| Ost (N=250-500) | 9 | 30 | 3 | 10 | 31 | 47 |
| West (N=250-500) | 12 | 28 | 7 | 10 | 12 | 61 |
| Süd (N=250-500) | 14 | 23 | 8 | 10 | 12 | 63 |
| Österreich (N=100-250) | 12 | 28 | 13 | 10 | 25 | 42 |
| Italien (Nord) (N= >1000) | 12 | 15 | 15 | 14 | 6 | 64 |
| Portugal (N=500-1000) | 12 | 8 | 16 | 18 | 2 | 73 |
| Spanien (N= >1000) | 7 | 9 | 14 | 9 | 3 | 90 |
| Polen (N=2740) | 8 | 21 | 3 | 5 | 75 | 16 |
| Russland (N= >1000) | 35 | 20 | 4 | 3 | 60 | 8 |
| Kassel (N=120) | 5 | 17 | 11 | 8 | 8 | 81 |
| Rödelheim erwachsen (N=130) | 14 | 12 | 5 | 7 | 20 | 72 |

| Population | Rödelheim | Kassel | Antw. | Bruss. | Leuven | Limburg | Oost-V. | Vlaams-B. | Walloon | West-V. | Clermont-F. | Lille | Lyon | Marseille | Paris | Rennes | Strasbourg | Toulouse | Hamburg | Leipzig | Mainz | Stuttgart |
|-------------------------|----------------|---------------|---------|---------------|---------------|---------------|---------|---------------|---------------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------|---------------|
| Rödelheim (N=90) | - | 0.1223 | 0.0462 | 0.1832 | 0.2736 | 0.2189 | 0.0062 | 0.0683 | 0.8339 | 0.0015 | 0.2439 | 0.2738 | 0.0863 | 0.1024 | 0.0113 | 0.0000 | 0.1202 | 0.4801 | 0.1560 | 0.2799 | 0.0436 | 0.0789 |
| Kassel (N=72) | 0.0091 | - | 0.2313 | 0.2636 | 0.8670 | 0.1637 | 0.2285 | 0.4591 | 0.6006 | 0.4441 | 0.1278 | 0.5137 | 0.0624 | 0.2299 | 0.0035 | 0.0138 | 0.9953 | 0.5660 | 0.0177 | 0.0013 | 0.0026 | 0.0153 |
| Antwerpen (N=317) | 0.0106 | 0.0025 | - | 0.4090 | 0.4946 | 0.2551 | 0.3107 | 0.4089 | 0.4212 | 0.0162 | 0.3368 | 0.6378 | 0.1740 | 0.3219 | 0.0009 | 0.0000 | 0.1900 | 0.5359 | 0.0123 | 0.0000 | 0.0013 | 0.0026 |
| Brussels (N=127) | 0.0050 | 0.0027 | -0.0004 | - | 0.4797 | 0.9757 | 0.1150 | 0.7394 | 0.6635 | 0.0056 | 0.9626 | 0.7615 | 0.5269 | 0.7873 | 0.0657 | 0.0000 | 0.2484 | 0.9802 | 0.0265 | 0.0019 | 0.0614 | 0.0828 |
| Leuven (N=113) | 0.0021 | -0.0069 | -0.0012 | -0.0017 | - | 0.4564 | 0.2912 | 0.9064 | 0.7541 | 0.0939 | 0.3983 | 0.7700 | 0.1494 | 0.2403 | 0.0040 | 0.0003 | 0.8823 | 0.8526 | 0.0549 | 0.0026 | 0.0070 | 0.0335 |
| Limburg (N=149) | 0.0032 | 0.0058 | 0.0012 | -0.0060 | -0.0011 | - | 0.0622 | 0.5978 | 0.6822 | 0.0011 | 0.9191 | 0.5282 | 0.3240 | 0.4936 | 0.0174 | 0.0000 | 0.1810 | 0.9584 | 0.0203 | 0.0024 | 0.0441 | 0.0515 |
| Oost-Vlaanderen (N=198) | 0.0254 | 0.0030 | 0.0005 | 0.0057 | 0.0010 | 0.0077 | - | 0.2549 | 0.1876 | 0.0796 | 0.1037 | 0.4217 | 0.0460 | 0.2117 | 0.0002 | 0.0000 | 0.1293 | 0.2166 | 0.0038 | 0.0000 | 0.0007 | 0.0003 |
| Vlaams-Brabant (N=188) | 0.0100 | -0.0014 | -0.0003 | -0.0034 | -0.0049 | -0.0020 | 0.0012 | - | 0.5807 | 0.0119 | 0.4574 | 0.6288 | 0.1576 | 0.3715 | 0.0028 | 0.0002 | 0.4265 | 0.9011 | 0.0044 | 0.0000 | 0.0048 | 0.0059 |
| Walloon (N=48) | -0.0103 | -0.0058 | -0.0013 | -0.0067 | -0.0080 | -0.0065 | 0.0064 | -0.0047 | - | 0.1311 | 0.5471 | 0.8272 | 0.2878 | 0.5057 | 0.0605 | 0.0059 | 0.7369 | 0.9338 | 0.3476 | 0.1349 | 0.1012 | 0.2806 |
| West-Vlaanderen (N=241) | 0.0285 | -0.0010 | 0.0085 | 0.0206 | 0.0060 | 0.0239 | 0.0049 | 0.0125 | 0.0095 | - | 0.0038 | 0.1046 | 0.0008 | 0.0310 | 0.0000 | 0.0006 | 0.1172 | 0.0445 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Clermont-Ferrand (N=89) | 0.0032 | 0.0091 | 0.0004 | -0.0075 | -0.0005 | -0.0064 | 0.0073 | -0.0013 | -0.0050 | 0.0271 | - | 0.8054 | 0.9432 | 0.7209 | 0.2240 | 0.0000 | 0.1326 | 0.9429 | 0.1624 | 0.0390 | 0.2758 | 0.5953 |
| Lille (N=70) | 0.0029 | -0.0026 | -0.0032 | -0.0058 | -0.0059 | -0.0025 | -0.0007 | -0.0036 | -0.0109 | 0.0080 | -0.0071 | - | 0.4994 | 0.6574 | 0.0520 | 0.0000 | 0.5233 | 0.8734 | 0.3494 | 0.0220 | 0.0681 | 0.2795 |
| Lyon (N=125) | 0.0101 | 0.0149 | 0.0028 | -0.0023 | 0.0055 | 0.0006 | 0.0103 | 0.0042 | 0.0024 | 0.0290 | -0.0072 | -0.0023 | - | 0.6470 | 0.3880 | 0.0000 | 0.0327 | 0.6062 | 0.1180 | 0.0059 | 0.2484 | 0.6453 |
| Marseille (N=45) | 0.0142 | 0.0052 | 0.0013 | -0.0086 | 0.0045 | -0.0029 | 0.0051 | -0.0002 | -0.0054 | 0.0230 | -0.0080 | -0.0069 | -0.0063 | - | 0.3311 | 0.0006 | 0.2168 | 0.8072 | 0.0715 | 0.0146 | 0.1695 | 0.1725 |
| Paris (N=199) | 0.0228 | 0.0353 | 0.0205 | 0.0087 | 0.0254 | 0.0134 | 0.0326 | 0.0226 | 0.0184 | 0.0563 | 0.0027 | 0.0136 | -0.0003 | 0.0006 | - | 0.0000 | 0.0002 | 0.0997 | 0.0012 | 0.0001 | 0.3460 | 0.0050 |
| Rennes (N=115) | 0.0617 | 0.0230 | 0.0534 | 0.0604 | 0.0396 | 0.0628 | 0.0522 | 0.0506 | 0.0445 | 0.0310 | 0.0829 | 0.0578 | 0.0898 | 0.0801 | 0.1122 | - | 0.0014 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Strasbourg (N=180) | 0.0065 | -0.0085 | 0.0019 | 0.0016 | -0.0047 | 0.0030 | 0.0041 | -0.0006 | -0.0069 | 0.0038 | 0.0059 | -0.0023 | 0.0131 | 0.0046 | 0.0335 | 0.0284 | - | 0.6573 | 0.0032 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0009 |
| Toulouse (N=67) | -0.0023 | -0.0040 | -0.0022 | -0.0095 | -0.0072 | -0.0083 | 0.0035 | -0.0070 | -0.0138 | 0.0148 | -0.0097 | -0.0093 | -0.0042 | -0.0106 | 0.0097 | 0.0582 | -0.0041 | - | 0.1498 | 0.0415 | 0.1207 | 0.3321 |
| Hamburg (N=275) | 0.0044 | 0.0179 | 0.0083 | 0.0109 | 0.0083 | 0.0112 | 0.0163 | 0.0139 | 0.0006 | 0.0225 | 0.0042 | 0.0006 | 0.0045 | 0.0138 | 0.0198 | 0.0768 | 0.0161 | 0.0054 | - | 0.0044 | 0.0190 | 0.1082 |
| Leipzig (N=1114) | 0.0012 | 0.0317 | 0.0234 | 0.0181 | 0.0191 | 0.0152 | 0.0379 | 0.0251 | 0.0078 | 0.0457 | 0.0098 | 0.0155 | 0.0133 | 0.0276 | 0.0219 | 0.0829 | 0.0282 | 0.0124 | 0.0074 | - | 0.0408 | 0.0000 |
| Mainz (N=104) | 0.0172 | 0.0455 | 0.0293 | 0.0126 | 0.0283 | 0.0142 | 0.0426 | 0.0278 | 0.0153 | 0.0724 | 0.0020 | 0.0145 | 0.0023 | 0.0088 | 0.0002 | 0.1353 | 0.0413 | 0.0104 | 0.0146 | 0.0087 | - | 0.0851 |
| Stuttgart (N=2454) | 0.0065 | 0.0182 | 0.0073 | 0.0046 | 0.0081 | 0.0051 | 0.0154 | 0.0090 | 0.0021 | 0.0270 | -0.0020 | 0.0014 | -0.0016 | 0.0054 | 0.0093 | 0.0765 | 0.0160 | 0.0006 | 0.0018 | 0.0089 | 0.0052 | - |

Tabelle A20: Ergebnis der AMOVA-Analyse der erwachsenen Alterskohorte mit 10.000 Permutationen als Distanzmatrix. Unterhalb der Diagonale sind die R_{ST} -Werte der Populationsvergleiche abgebildet, oberhalb der Diagonale die dazugehörigen p-Werte (grün hervorgehoben die Populationsvergleiche mit der Serie aus Rödelheim). Fett bzw. kursiv markiert sind nicht signifikante Unterschiede zwischen den Populationen. Zellen mit einer größeren Schrift markieren die Populationen, die den Individuen aus Rödelheim am ähnlichsten sind. Die in die Berechnung einbezogenen Haplotypen finden sich im Ordner Molekulargenetik-AMOVA.

| Population | Rödelheim | Kassel | Antw. | Bruss. | Leuven | Limburg | Oost-V. | Vlaams-B. | Walloon | West-V. | Clermont-F. | Lille | Lyon | Marseille | Paris | Rennes | Strasbourg | Toulouse | Hamburg | Leipzig | Mainz | Stuttgart |
|-------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|-------------|---------|---------|-----------|--------|--------|------------|----------|---------|---------|--------|-----------|
| Rödelheim (N=22) | - | 0.1704 | 0.1814 | 0.6259 | 0.3437 | 0.6571 | 0.1641 | 0.4484 | 0.4977 | 0.0202 | 0.6627 | 0.4111 | 0.4019 | 0.6288 | 0.2814 | 0.0025 | 0.2095 | 0.6935 | 0.1152 | 0.1458 | 0.4186 | 0.2937 |
| Kassel (N=72) | 0.0157 | - | 0.2322 | 0.2457 | 0.8599 | 0.1577 | 0.2257 | 0.4524 | 0.6050 | 0.4534 | 0.1261 | 0.5044 | 0.0583 | 0.2361 | 0.0035 | 0.0134 | 0.9949 | 0.5605 | 0.0195 | 0.0011 | 0.0029 | 0.0156 |
| Antwerpen (N=317) | 0.0122 | 0.0025 | - | 0.4167 | 0.4961 | 0.2476 | 0.3048 | 0.4046 | 0.4224 | 0.0156 | 0.3379 | 0.6353 | 0.1690 | 0.3132 | 0.0006 | 0.0000 | 0.1923 | 0.5315 | 0.0136 | 0.0000 | 0.0013 | 0.0025 |
| Brussels (N=127) | -0.0115 | 0.0027 | -0.0004 | - | 0.4762 | 0.9755 | 0.1147 | 0.7373 | 0.6687 | 0.0051 | 0.9610 | 0.7613 | 0.5381 | 0.7822 | 0.0621 | 0.0000 | 0.2552 | 0.9808 | 0.0275 | 0.0017 | 0.0615 | 0.0778 |
| Leuven (N=113) | 0.0008 | -0.0069 | -0.0012 | -0.0017 | - | 0.4540 | 0.2944 | 0.9078 | 0.7575 | 0.0960 | 0.3964 | 0.7664 | 0.1461 | 0.2464 | 0.0039 | 0.0004 | 0.8873 | 0.8548 | 0.0540 | 0.0017 | 0.0070 | 0.0355 |
| Limburg (N=149) | -0.0116 | 0.0058 | 0.0012 | -0.0060 | -0.0011 | - | 0.0659 | 0.5881 | 0.6797 | 0.0020 | 0.9219 | 0.5215 | 0.3259 | 0.4902 | 0.0229 | 0.0000 | 0.1873 | 0.9618 | 0.0165 | 0.0012 | 0.0406 | 0.0499 |
| Oost-Vlaanderen (N=198) | 0.0150 | 0.0030 | 0.0005 | 0.0057 | 0.0010 | 0.0077 | - | 0.2631 | 0.1906 | 0.0899 | 0.1118 | 0.4165 | 0.0476 | 0.2129 | 0.0003 | 0.0000 | 0.1299 | 0.2203 | 0.0033 | 0.0000 | 0.0008 | 0.0005 |
| Vlaams-Brabant (N=188) | -0.0046 | -0.0014 | -0.0003 | -0.0034 | -0.0049 | -0.0020 | 0.0012 | - | 0.5695 | 0.0100 | 0.4504 | 0.6175 | 0.1562 | 0.3668 | 0.0021 | 0.0002 | 0.4171 | 0.9002 | 0.0051 | 0.0000 | 0.0038 | 0.0062 |
| Walloon (N=48) | -0.0092 | -0.0058 | -0.0013 | -0.0067 | -0.0080 | -0.0065 | 0.0064 | -0.0047 | - | 0.1344 | 0.5587 | 0.8378 | 0.2875 | 0.5033 | 0.0631 | 0.0073 | 0.7290 | 0.9313 | 0.3477 | 0.1458 | 0.1043 | 0.2764 |
| West-Vlaanderen (N=241) | 0.0516 | -0.0010 | 0.0085 | 0.0206 | 0.0060 | 0.0239 | 0.0049 | 0.0125 | 0.0095 | - | 0.0039 | 0.1031 | 0.0012 | 0.0289 | 0.0000 | 0.0004 | 0.1119 | 0.0428 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Clermont-Ferrand (N=89) | -0.0130 | 0.0091 | 0.0004 | -0.0075 | -0.0005 | -0.0064 | 0.0073 | -0.0013 | -0.0050 | 0.0271 | - | 0.8082 | 0.9381 | 0.7174 | 0.2298 | 0.0000 | 0.1392 | 0.9363 | 0.1608 | 0.0381 | 0.2777 | 0.5930 |
| Lille (N=70) | -0.0030 | -0.0026 | -0.0032 | -0.0058 | -0.0059 | -0.0025 | -0.0007 | -0.0036 | -0.0109 | 0.0080 | -0.0071 | - | 0.4888 | 0.6498 | 0.0518 | 0.0002 | 0.5324 | 0.8719 | 0.3360 | 0.0243 | 0.0699 | 0.2846 |
| Lyon (N=125) | -0.0031 | 0.0149 | 0.0028 | -0.0023 | 0.0055 | 0.0006 | 0.0103 | 0.0042 | 0.0024 | 0.0290 | -0.0072 | -0.0023 | - | 0.6567 | 0.3745 | 0.0000 | 0.0326 | 0.6037 | 0.1222 | 0.0070 | 0.2421 | 0.6482 |
| Marseille (N=45) | -0.0142 | 0.0052 | 0.0013 | -0.0086 | 0.0045 | -0.0029 | 0.0051 | -0.0002 | -0.0054 | 0.0230 | -0.0080 | -0.0069 | -0.0063 | - | 0.3424 | 0.0007 | 0.2151 | 0.8022 | 0.0739 | 0.0123 | 0.1724 | 0.1865 |
| Paris (N=199) | 0.0046 | 0.0353 | 0.0205 | 0.0087 | 0.0254 | 0.0134 | 0.0326 | 0.0226 | 0.0184 | 0.0563 | 0.0027 | 0.0136 | -0.0003 | 0.0006 | - | 0.0000 | 0.0002 | 0.0957 | 0.0009 | 0.0000 | 0.3434 | 0.0049 |
| Rennes (N=115) | 0.1049 | 0.0230 | 0.0534 | 0.0604 | 0.0396 | 0.0628 | 0.0522 | 0.0506 | 0.0445 | 0.0310 | 0.0829 | 0.0578 | 0.0898 | 0.0801 | 0.1122 | - | 0.0016 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Strasbourg (N=180) | 0.0100 | -0.0085 | 0.0019 | 0.0016 | -0.0047 | 0.0030 | 0.0041 | -0.0006 | -0.0069 | 0.0038 | 0.0059 | -0.0023 | 0.0131 | 0.0046 | 0.0335 | 0.0284 | - | 0.6603 | 0.0047 | 0.0000 | 0.0011 | 0.0005 |
| Toulouse (N=67) | -0.0153 | -0.0040 | -0.0022 | -0.0095 | -0.0072 | -0.0083 | 0.0035 | -0.0070 | -0.0138 | 0.0148 | -0.0097 | -0.0093 | -0.0042 | -0.0106 | 0.0097 | 0.0582 | -0.0041 | - | 0.1554 | 0.0430 | 0.1219 | 0.3287 |
| Hamburg (N=275) | 0.0196 | 0.0179 | 0.0083 | 0.0109 | 0.0083 | 0.0112 | 0.0163 | 0.0139 | 0.0006 | 0.0225 | 0.0042 | 0.0006 | 0.0045 | 0.0138 | 0.0198 | 0.0768 | 0.0161 | 0.0054 | - | 0.0050 | 0.0185 | 0.0999 |
| Leipzig (N=1114) | 0.0158 | 0.0317 | 0.0234 | 0.0181 | 0.0191 | 0.0152 | 0.0379 | 0.0251 | 0.0078 | 0.0457 | 0.0098 | 0.0155 | 0.0133 | 0.0276 | 0.0219 | 0.0829 | 0.0282 | 0.0124 | 0.0074 | - | 0.0358 | 0.0000 |
| Mainz (N=104) | -0.0038 | 0.0455 | 0.0293 | 0.0126 | 0.0283 | 0.0142 | 0.0426 | 0.0278 | 0.0153 | 0.0724 | 0.0020 | 0.0145 | 0.0023 | 0.0088 | 0.0002 | 0.1353 | 0.0413 | 0.0104 | 0.0146 | 0.0087 | - | 0.0902 |
| Stuttgart (N=2454) | 0.0038 | 0.0182 | 0.0073 | 0.0046 | 0.0081 | 0.0051 | 0.0154 | 0.0090 | 0.0021 | 0.0270 | -0.0020 | 0.0014 | -0.0016 | 0.0054 | 0.0093 | 0.0765 | 0.0160 | 0.0006 | 0.0018 | 0.0089 | 0.0052 | - |

Tabelle A21: Ergebnis der AMOVA-Analyse der juvenilen Alterskohorte mit 10.000 Permutationen als Distanzmatrix. Unterhalb der Diagonale sind die R_{ST} -Werte der Populationsvergleiche abgebildet, oberhalb die Diagonale die dazugehörigen p-Werte (grün hervorgehoben die Populationsvergleiche mit der Serie aus Rödelheim). Fet bzw. kursiv markiert sind nicht signifikante Unterschiede zwischen den Populationen. Zellen mit einer größeren Schrift markieren die Populationen, die den Individuen aus Rödelheim am ähnlichsten sind. Die in die Berechnung einbezogenen Haplotypen finden sich im Ordner Molekulargenetik-AMOVA.

13 ANHANG B

EINHEITEN UND ABKÜRZUNGEN

| | |
|-----------------------|---|
| % | Prozent |
| & | und |
| = | gleich |
| °C | Grad Celsius |
| © | Copyright |
| & | und |
| ~ | ungefähr |
| ∞ | unendlich |
| < | kleiner |
| > | größer |
| A | IUB Code: Adenin |
| ad | adult |
| aDNA | engl. <i>ancient</i> DNA, alte DNA |
| AK | Arbeitskonzentration |
| Amelo | Amelogenin |
| AMELX | auf dem X-Chromosom gelegenes Amelogenin-Gen |
| AMELY | auf dem Y-Chromosom gelegenes Amelogenin-Gen |
| AMOVA | <i>analysis of molecular variance</i> |
| BDT | Big Dye® Terminator |
| BLAST | engl. Basic Local Alignment Tool |
| bp | Basenpaar(e) |
| <i>B. quintana</i> | <i>Bartonella quintana</i> |
| <i>B. recurrentis</i> | <i>Borrelia recurrentis</i> |
| bspw. | beispielsweise |
| bzw. | beziehungsweise |
| C | IUB Code: Cytosin |
| ca. | circa |
| cm | Zentimeter |
| cm ³ | Kubikzentimeter |
| CODIS | engl. Combined DNA Index System |
| ddNTP | Didesoxynukleosidtriphosphat |
| ddATP | Didesoxyadenosintriphosphat |
| ddCTP | Didesoxycytidintriphosphat |
| ddGTP | Didesoxyguanintriphosphat |
| ddTTP | Didesoxythymidintriphosphat |
| d _f | Anzahl der Freiheitsgrade |
| DNA | Desoxyribonukleinsäure, engl. <i>desoxyribonucleic acid</i> |
| dNTP | Desoxynukleosidtriphosphat |
| Dt. | Deutsche |
| EDTA | Ethylendiamintetraacetat |
| em | eher männlich |
| ew | eher weiblich |
| <i>et al.</i> | <i>et alii</i> , und andere |

| | |
|------------------------|---|
| etc. | <i>et cetera</i> |
| Ex | Extrakt |
| 6-FAM | 6-Carboxylfluorescein |
| g | Gramm |
| G | IUB Code: Guanin |
| ggf. | gegebenenfalls |
| h | Stunde(n) |
| HEX | 6-Carboxyl-2',4',7',4,7-Hexachlorofluorescein |
| Hg. | Haplogruppe |
| Hrsg. | Herausgeber |
| Hz | Hertz |
| HWE | <i>Hardy-Weinberg-Equilibrium</i> , Hardy-Weinberg-Gleichgewicht |
| i.d.R. | in der Regel |
| inkl. | inklusive |
| ISO | Internationale Organisation für Normung |
| IUB | International Union of Biochemistry and Molecular Biology |
| IUPAC | International Union of Pure and Applied Chemistry |
| JFB | Johann-Friedrich-Blumenbach Institut |
| Jhd. | Jahrhundert |
| juv | juvenil |
| <i>katG</i> | Gen-Locus zum Nachweis von <i>M. tuberculosis</i> |
| kg | Kilogramm |
| km | Kilometer |
| KS | Kassel |
| LEH | <i>Linear enamel hypoplasia</i> , linearer Schmelzhypoplasien |
| li | links |
| LIZ | oranger Fluoreszenzfarbstoff |
| m | männlich |
| M | Molar |
| mat | matur |
| max. | maximal |
| mbar | Millibar |
| mg | Milligramm |
| min | Minuten |
| MIZ | Mindestindividuenzahl |
| ml | Milliliter |
| ms | Millisekunde |
| m ² | Quadratmeter |
| MTBC | <i>Mycobacterium-tuberculosis-complex</i> |
| <i>M. tuberculosis</i> | <i>Mycobacterium-tuberculosis</i> |
| μl | Mikroliter |
| μm | Mikrometer |
| μM | Mikromolar |
| M-W-U-Test | Mann-Whitney-U-Test |
| N | Stichprobenumfang |
| n. a. | engl. <i>not analyzed</i> , nicht analysiert |
| n. d. | <i>non determinandum</i> , nicht determiniert |
| NCBI | National Center for Biotechnology Information |
| NED | 2'-Chloro-5'-fluoro-7',8'-benzo-1,4-dichloro-6-carboxyfluorescein |

| | |
|-------------------------------|---|
| Nr. | Nummer |
| nm | Nanometer |
| NRC | National Reference Center |
| <i>nuc</i> | Gen-Locus zum Nachweis von <i>S. aureus</i> |
| o.g. | oben genannt |
| p. a. | <i>pro analysi</i> , Reinheitsbezeichnung für besonders reine Chemikalien |
| PAR | Pseudoautosomale Region |
| PCR | engl. Polymerase Chain Reaction, Polymerasekettenreaktion |
| PET | roter Fluoreszenzfarbstoff |
| pg | Pikogramm |
| pH | <i>potentia hydrogenii</i> , Protonenaktivitätsexponent |
| POP | engl. Performance Optimized Polymer |
| QS | <i>Quality Sensor</i> |
| ® | amtlich registrierte Marke |
| R | IUB Code: Purin = G oder A |
| rcf | engl. <i>relative centrifugal force</i> , relative Zentripetalbeschleunigung |
| re | rechts |
| rfu | engl. <i>relative fluorescencet unit(s)</i> , Maß für die Signalintensität der Peaks im Elektropherogramm |
| RKI | Robert-Koch-Institut |
| ROE/ Rö | Rödelheim |
| ROX | 6-Carboxylrhodamin |
| <i>R. prowazekii</i> | <i>Rickettsia prowazekii</i> |
| rpm | engl. <i>rounds per minute</i> , Umdrehungen pro Minute |
| R _{St} / ϕ_{ST} | Differentiationsindex |
| RT | Raumtemperatur |
| s. | siehe |
| S. | Seite |
| <i>S. aureus</i> | <i>Staphylococcus aureus</i> |
| sec | Second(s), Sekunde(n) |
| sen | senil |
| SD | standard deviation, Standardabweichung |
| SDS | engl. sodium dodecylsulfate, Natriumdodecylsulfat |
| Seq | Sequenzierung |
| SNP | <i>single nucleotide polymorphism</i> |
| sog. | sogenannt |
| <i>spec.</i> | <i>Spezies</i> |
| STR | engl. <i>short tandem repeat</i> |
| <i>STRider</i> | <i>STRs for identity ENFSI Reference database</i> |
| <i>S. enterica sp.</i> | <i>Salmonella enterica spec.</i> |
| <i>S. paratyphi A</i> | <i>Salmonella paratyphi A</i> |
| s.o. | siehe oben |
| <i>ssp.</i> | <i>subspecies</i> |
| <i>S. typhii</i> | <i>Salmonella typhi</i> |
| s.u. | siehe unten |
| σ_a^2 | Inter-Populations-Varianz |
| σ^2 | molekularen Varianz |
| T | IUB Code: Thymin |
| Taq | <i>Thermus aquaticus</i> , Polymerase der PCR-Reaktion |

| | |
|-------------|---|
| TBE | Tris-Borat-EDTA-Puffer |
| TEM | Technische Messfehler |
| ™ | Trademark |
| tm | tendenziell männlich |
| tw | tendenziell weiblich |
| U | engl. units |
| u. a. | unter anderem |
| u.U. | unter Umständen |
| UV | Ultraviolet |
| V | Volt |
| VIC | 2'-Chloro-7'-phenyl-1,4-dichloro-6-carboxyfluorescein |
| vgl. | vergleiche |
| vs. | versus |
| w | weiblich |
| Y | IUB Code: Pyrimidin = C oder T |
| YHRD | <i>Y-Chromosome Haplotype Reference Database</i> |
| \bar{x} | Mittelwert |
| \tilde{x} | Median |
| z. B. | zum Beispiel |

VERWENDETE GERÄTE, CHEMIKALIEN, LÄNGENSTANDARDS, HILFSMITTEL UND EINWEGMATERIALIEN**Geräte**

3500 Series Genetic Analyzer, Applied Biosystems™
Demineralisierungsanlage TKA-Lab Reinstwassersystem, Thermo Scientific
Dentalsäge Handstück K-Powergrip 4941 mit Steuergerät 4965 und Fußschalter, KaVo Dental GmbH
DNA-Extraktor BioRobot® EZ1® Advanced, Qiagen
DNA Thermal Cycler Typ Mastercycler®, Eppendorf
DNA Thermal Cycler Typ Mastercycler® gradient, Eppendorf
DNA Thermal Cycler Typ Mastercycler® personal, Eppendorf
Elektrophoresekammern Horizon® 1060 BD (5x8 cm), Gibco BRL
Elektrophoresekammern Horizon® 1060 BD (11x14 cm), Gibco BRL
Elektrophoresekammern Midi large horizontal (15x17 cm), G&P Kunststofftechnik
Elektrophoresekammern Mini horizontal (8x10 cm) G&P Kunststofftechnik
Gel Jet Imager & Analyzer mit Software IntasGel Capture, Intas
Gel Stick Touch mit Software Intas GDS Touch, Intas
Heiz- und Magnetrührer IKAMAG® type RET, Janke & Kunkel GmbH u. CoKG, IKA®
Heiz- und Magnetrührer IKA® type RH basic 2, Janke & Kunkel GmbH u. CoKG, IKA®
Heiz- und Magnetrührer ROTILABO® MH 15, Roth
Heizofen Typ B5028, Heraeus
Heizofen Typ UFB 400, Memmert
Kugelschwingmühle Typ MM2 mit Mahlbechern, Retsch
Laborabzug, SAP Umwelttechnologie GmbH
MixMate®, Eppendorf
QIAvac 24 Plus-System inkl. entsprechender Aufsätze, Qiagen
Präzisionswaage excellence Typ E 1200 S, Sartorius
Präzisionswaage FPB 200, KERN
Rotator Typ 34528, Snijders
Spiegelreflexkamera EOS 550D, Canon
Stromversorgung Typ ST606 Electrophoresis Power Supply, Gibco BRL
Thermomixer comfort, Eppendorf
UV-bench DNA/RNA UV-Cleaner, UVT-S-AR
Varipetten® Typ 4810, Satz: 0,1-2,5 µl, 0,5-10 µl, 2-20 µl, 10-100 µl, 50-200µl, 100-1000 µl, 500-2500 µl, 1-10 ml, Eppendorf
Vortexer Lab Dancer, IKA®
Vortexer Vibrofix VF1 Electronic, Janke & Kunkel GmbH & Co. KG, IKA-Labortechnik
Wasser-Bi-Destillationsgerät 2102, GFL
Zentrifuge Mini-6K, LABOAO
Zentrifuge Typ 5415R, Eppendorf
Zentrifuge Typ 5430 mit Fixed-angle Rotor F-35-6-30 für 15 und 50 ml Falcon Tubes, Eppendorf
Zentrifuge Typ 5430 mit Swing-bucket Rotor A-2-MTP für Platten, Eppendorf

Chemikalien

1x TBE Puffer (TRIS-Borat-EDTA Puffer, Selbstherstellung): Borsäure Emsure® (Merck), EDTA Titriplex®III (Merck) und Tris Pufferan®, p. a. (Roth)

Agarose NEEO Ultra-Qualität, Roth

Alconox (Detergenz), Sigma-Aldrich

Ambion®Wasser, Invitrogen

AmpliAq Gold® 360 Master Mix, Applied Biosystems™

Anode Buffer Container (ABC) 3500 Series, Applied Biosystems™

Aqua bidestillata, eigene Herstellung

BigDye® Terminator v1.1 Cycle Sequencing Kit, Applied Biosystems™

BigDye® XTerminator™ Purification Kit, Applied Biosystems™

Bromphenolblauatriumsalz für Elektrophorese, Sigma-Aldrich

BTO 550 size standard, Qiagen

Cathode Buffer Container (CBC) 3500 Series, Applied Biosystems™

DS-30 Matrix Standard Kit (Dye Set D), Applied Biosystems™

DS-33 Matrix Standard Kit (Dye Set G5), Applied Biosystems™

EDTA UltraPure™ 0.5 M, pH 8.0, Invitrogen™

Ethanol absolut Emsure®, p.a., Merck

Ethanol 99 % vergällt mit MEK, BITREX®, IPA, ChemSolute

Ethidiumbromid, wässrige Lösung 1% (w/v), 10 mg/ml, Serva

EZ1® DNA Tissue Kit und Investigator Kit, Qiagen

ExoSAP-IT™ Express PCR Product Cleanup, Applied Biosystems™

GeneScan™-400HD ROX™ Size Standard, Applied Biosystems™

GeneScan™-500 ROX™ Size Standard, Applied Biosystems™

GeneScan™-600 LIZ™ Size Standard, Applied Biosystems™

Hi-Di™ Formamid, Fluka

Investigator Argus Y-28 QS Kit, Qiagen

Isopropanol p.a., Merck

Low Molecular Weight (LMW) DNA-Leiter, New England Biolabs®

Matrix Standard BT6, Qiagen

MinElute™ PCR Purification Kit, Qiagen

Natriumacetatpuffer, pH 5.2 ±0.1 bei 25 °C, Sigma-Aldrich

Natriumhypochlorit 12 % Cl, tech., Roth

NucleoSEQ® Spin-Columns, MACHEREY-NAGEL

Phenol Roti®-Phenol, Roth

POP-4™ Polymer for 3500/3500xL Genetic Analyzers, Applied Biosystems™

POP-7™ Polymer for 3500/3500xL Genetic Analyzers, Applied Biosystems™

Primer für laboreigene Multiplex-Amplifikationssysteme, fluoreszenz-farbmarkiert (6-FAM, HEX), TIB MOLBIOL Syntheselabor GmbH

Primer für laboreigene Multiplex-Amplifikationssysteme, fluoreszenz-farbmarkiert (6-FAM, VIC, NED, PET), Applied Biosystems™

Primer für laboreigene Singleplex-Amplifikation, unmodifiziert, TIB MOLBIOL Syntheselabor GmbH

Qiagen Multiplex 2x PCR Kit plus, Qiagen
Puffer G2, Puffer PB, Puffer PE, Qiagen
Proteinase K (600 mAnson-U/ml), Merck
Proteinase K (600 mAnson-U/ml), Qiagen
Saccharose für biochemische Zwecke, Merck
Sodiumdodecylsulfat (SDS) ≥ 98.5 %, Sigma-Aldrich
Trichlormethane/Chloroform Rotisolv®HPLC, Roth

Längenstandards

BTO 550 Size Standard, Qiagen (Größen in bp)

60 – 80 – 90 – 100 – 120 – 140 – 160 – 180 – 200 – 220 – 240 – 250 – 260 – 280 – 300 – 320 – 340 –
360 – 380 – 400 – 425 – 450 – 475 – 500 – 525 – 550

Low Molecular Weight (LMW) DNA-Leiter, New England Biolabs® (Größen in bp)

25 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 250 – 300 – 350 – 500 – 766

GeneScan™ 600 LIZ™, Applied Biosystems™ (Größen in bp)

20 – 40 – 60 – 80 – 100 – 114 – 120 – 140 – 160 – 180 – 200 – 214 – 220 – 240 – 250 – 260 – 280 –
300 – 314 – 320 – 340 – 360 – 380 – 400 – 414 – 420 – 440 – 460 – 480 – 500 – 514 – 530 – 540 – 560
– 580 – 600

GeneScan™ 400HD ROX™, Applied Biosystems™ (Größen in bp)

50 – 60 – 90 – 100 – 120 – 150 – 160 – 180 – 190 – 200 – 220 – 240 – 260 – 280 – 290 – 300 – 320 –
340 – 360 – 380 – 400

GeneScan™ 500 ROX™, Applied Biosystems™ (Größen in bp)

35 – 50 – 75 – 100 – 139 – 150 – 160 – 200 – 250 – 300 – 340 – 350 – 400 – 450 – 490 – 500

Einwegmaterialien und Hilfsmittel

3500 Genetic Analyzer 8-Capillary Array (36 cm), Applied Biosystems™

3500 Series Septa 96-Well, Applied Biosystems™

Dental-Diamantsägeblätter Typ Diaflex-T H 350 220, Horico

DNA LoBind Conical Tubes 50 ml, Eppendorf

Einmaluntersuchungshandschuhe Gentle Skin® sensitive, Meditrade®

Einmaluntersuchungshandschuhe Nitril®NextGen®, Meditrade®

Einmaluntersuchungshandschuhe NEO NITRIL™ 300, SHIELDskn CHEM

Eppendorf Reaktionsgefäße (0,5 ml) safe-lock, Eppendorf

Eppendorf Reaktionsgefäße (0,5 ml) safe-lock Forensic DNA Grade, Eppendorf

Eppendorf Reaktionsgefäße (2,0 ml) safe-lock, Eppendorf

Eppendorf Reaktionsgefäße (2,0 ml) safe-lock Forensic DNA Grade, Eppendorf
FalconTubes (15 ml), Sarstedt
FalconTubes (50 ml), Sarstedt
Kimwipes® Lite, Kinberley Clark®
MicroAmp® Optical 96-Well Reaction Plate, Applied Biosystems™
MinElute™ Spin Columns, Qiagen
OP-Gesichtsmasken Surgical face mask, FarStar® medical
OP-Haube Surgical hood, Mölnlycke Health Care, Inc.
Parafilm® M, Laboratory Film, American National Can™
Pipettenspitzen: blaue Spitzen 1 ml, Sarstedt
Pipettenspitzen: epT.I.P.S.® Standard 2,5 ml, Eppendorf
Pipettenspitzen: epT.I.P.S.® Standard 0,5-10 ml, Eppendorf
Pipettenspitzen: gelbe Spitzen 100 µl, Sarstedt
Pipettenspitzen: Standardtips 10 µl, Eppendorf
Pipettenspitzen: Quality Pipette Tips 0,1-10 µl, Sarstedt
Schutzbrille, CLARELLO
Wägebapier 9 x 11.5 cm, MACHEREY-NAGEL

VERWENDETE SOFTWARE, INTERNETSEITEN UND DATEIEN AUF DER BEIGEFÜGTEN CD

Software

3500 Series Data Collection Software v3.1, Life Technologies
DNASTAR® Lasergene®10 Core Suite v. 10.0.1 (3), DNASTAR Inc.: MegAlign™, SeqMan™, EditSeq™, PrimerSelect™
GeneMapper™ Software v5.0, Applied Biosystems™
Sequencing Analysis Software (SeqA) v6.0, Life Technologies
Arlequin Software Version 3.5.2.2
RStudio® (Posit PBC)

Internetseiten

https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PROGRAM=blastn&PAGE_TYPE=BlastSearch
<https://www.nevgen.org/>
<https://strider.online/frequencies>
http://spsmart.cesga.es/about.php?dataSet=strs_local
https://www.eupedia.com/europe/european_y-dna_haplogroups.shtml
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>
<http://www.yhrd.org>
<http://quantpsy.org/chisq/chisq.htm>
<https://www.statskingdom.com/index.html>

Dateien auf der beigefügten CD

PDF der Arbeit

Anhang A-2

Lebenslauf

Promovierendenerklärung

Ordner: Molekulargenetik

- Hepta_Konsensusfingerabdrücke.xlsx
- Hepta_Sexplex_Übersicht Einzelamplifikationen.xlsx
- PCR-Ansätze_Rödelheim.xlsx
- Y-Haplotypisierung_Einzelamplifikation_Konsensustabelle.xlsx
- Ordner Allelfrequenzen: „Y-Haplotypisierung_Einzelamplifikation_Konsensustabelle.xlsx“, „PopSTR_results_30-01-2023.csv“ und „STRidER_frequencies_2023-01-26.csv“ sowie Ordner „Arlequin“ mit Auswertungsdateien
- Ordner AMOVA
- Ordner Haplogruppen

Ordner: Morphologie

- Auswertung_Paläopathologie_Daten Michehl.xlsx
- Cribra Orbitalia_RödelheimKassel_Daten Langenstein.xls
- Ectocraniale Porosität - Rödelheim_Daten Weiher.xlsx
- Geschlecht-Altersverteilung Rödelheim_Referenzserien.xls
- Geschlechterverhältnis_Morphologie-Genetik.xlsx
- Rödelheim_Dentalpathologien Verschiedenes Daten Rachel.xlsx
- Rödelheim_LEH_Daten Rachel.xlsx

Ordner: Osteometrie

- Körperhöhe_Rödelheim_Vergleichsserien.xlsx
- Osteometrische Daten_Rödelheim.xlsx
- Robustizität_Kassel_Rödelheim.xlsx
- TEM Intra-Observer Rödelheim.xls

Ordner: Statistik

- Anhang R Skripte und Ergebnisausgaben.pdf
- Statistik_Levene.pdf
- R-File Levene Test.R
- R-File Statistische Tests

DANKSAGUNG

Ich möchte diese Danksagung nutzen, um mich an dieser Stelle bei allen zu bedanken, die mir diese Arbeit ermöglicht haben und mich in jeglicher Weise unterstützt haben. Sei es im Labor, am Schreibtisch oder im Privatleben. Danke, dass Ihr immer an mich geglaubt habt und die Verwirklichung der Arbeit überhaupt erst ermöglicht habt.

Ein großer Dank geht an Prof. Dr. Julia Oster und Prof Dr. Michael Klintschar, die sich der Betreuung und Prüfung dieser Arbeit freundlich und offen angenommen haben und mir die Durchführung ermöglicht haben.

Weiterhin danke ich meinem dritten Betreuer und sehr geschätzten Ex-Chef, Prof. Dr. Andreas Stumpner. Andreas, vielen Dank, dass Du mich während meines gesamten Promotionszeitraums immer unterstützt hast. Obwohl es mit der gemeinsamen Rente im Medizinerpraktikum nicht geklappt hat, werde ich die gemeinsamen Jahre immer in freudiger Erinnerung behalten.

Ein riesiger Dank gilt meiner Betreuerin dieses Projektes, Dr. Susanne Hummel. Ich werde vermutlich nie ausdrücken können, wie sehr ich Dir für Deine Zeit, Deine guten Ratschläge, Anregungen und Diskussionen danke, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Ich danke Dir für die unzähligen Gespräche im Innenhof, die aufmunternden Worte und dass Du immer alles getan hast, um mich zu unterstützen. Nicht zuletzt danke ich Dir, dass Du immer an mich geglaubt hast und mir, wenn ich wieder den Wald vor lauter Bäumen nicht gesehen habe, den richtigen Weg gezeigt hast.

Dr. Birgit Großkopf werde ich auch nie genug für die Betreuung und enorme Unterstützung während dieser Arbeit danken können. Seien es die zahlreichen Diskussionen, die Anmerkungen während des Schreibprozesses oder die kleinen Blumen und Zettelchen auf dem Schreibtisch, die einem immer wieder ein Lächeln ins Gesicht gezaubert haben. Vielen Dank, dass ich bei Dir immer ein offenes Ohr gefunden habe und Du immer die richtigen Worte der Aufmunterung hattest, am Arbeitsplatz, aber vor allem auch privat.

Ich danke Dr. Sven Bradler, als weiteres Mitglied meiner Prüfungskommission, aber auch als geschätzten Kollegen und Freund. Vielen Dank für die schöne Zeit im Mediziner-Praktikum, aber auch bei Dir mit Moni im Garten.

Ich danke allen Kolleg:innen und Kooperationspartner:innen im Projekt, Dr. Andrea Hampel, Christian Starke und der Firma Qiagen, Prof. Dr. Rimantas Jankauskas, Prof. Dr. Lutz Roewer, Dr. Jan Nováček, Kristina Scheelen-Nováček und Dr. Julia Gresky für ihre Zusammenarbeit in dem Projekt, ihre finanzielle Unterstützung in Form von Sachmitteln, den wissenschaftlichen Austausch sowie ihre Kooperationsbereitschaft. Christian, Dir möchte ich darüber hinaus für Dein Engagement, Deine freundliche und hilfsbereite Art danken und dass Du alles in Deiner Macht Stehende getan hast, um mir die Y-Haplotypisierung so zu ermöglichen.

Meinen Doktorschwestern Dr. Janine Mazanec und Dr. Marthe Frischalowski werde ich vermutlich auch niemals genug danken können. Keiner hat so gut verstanden, was diese besondere Zeit mit einem persönlich macht. Marthe, wie Du so schön geschrieben hast „Büronachbarin, Leidensgenossin, Freundin“, das kann ich nur bestätigen und zurückgeben. Danke Dir, für die gemeinsamen Jahre und dass ich immer auf Dich zählen konnte. Janine, ich denke, keiner kennt mich so gut wie Du und weiß, was diese Zeit für mich bedeutet hat. Ich danke Dir für Deine Freundschaft, dass Du mir immer beigestanden hast, in den schönsten, aber auch den dunkelsten Zeiten! Natürlich danke ich Dir auch dafür, dass du mir als menschliches Bildbearbeitungsprogramm bei den vielen großen und kleinen graphischen Problemen dieser Arbeit geholfen hast, ohne die diese Arbeit nur halb so hell geworden wäre.

Allen Mitarbeiter:innen in der Abteilung, damals wie heute, Marion Knierim-Grenzebach, Rita Füllgrabe, Dr. Verena Seidenberg, Patrick Wittmeier, Dr. Avinash Gupta, allen Hiwis und Studis der letzten Jahre, ein großes Dankeschön für all Eure großen und kleinen Dinge, um mich zu unterstützen im Labor, bei administrativen Dingen oder wenn einfach nur ein offenes Ohr gebraucht wurde. Vielen Dank für die vielen unvergesslichen Momente! Patrick, ich danke Dir von ganzem Herzen, dass Du mich in den letzten Wochen und Monaten im Korrekturlesen so unterstützt hast, obwohl Du vermutlich nur noch Zahlen und Buchstaben gesehen haben musst. Vor allem danke ich Dir aber auch für Deine Freundschaft. Yannick Ahlbrecht, Hannah Rachel und Alina Euskirchen. Danke Euch für die vielen gemeinsamen Mittagspausen in den letzten Monaten dieser Arbeit, die mich immer auf anderen Gedanken bringen konnten, die unvergesslichen Momente in der Abteilung, aber vor allem auch privat. Meiner neuen Büronachbarin Alina, frei nach dem Motto „na, wenn das mal kein ZSV wird...!“ wissen wir beide, was es bedeutet. Vielen Dank, dass du das verhindert hast!

Mein allergrößter Dank gilt natürlich meinen Freunden und meiner Familie. Chrissi, Annika und Sarah, ohne Euch bin ich nichts. Dick oder dünn, gesund oder krank, freudig oder traurig...Hauptsache gemeinsam weinen mit Wein! Danke, dass Ihr jetzt schon seit vielen Jahren an meiner Seite steht und dieses auch noch unzählige Jahre tun werdet. Marieke, ich danke Dir für Deine Freundschaft, die vielen aufmunternden Sprachnachrichten, Pakete mit Aufmerksamkeiten, die mir immer ein Lächeln ins Gesicht gezaubert haben und dass Du immer Verständnis für mich hast!

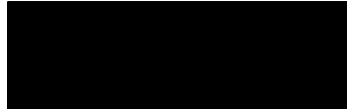
Mama, Birgit, Nils, Gabi, Jacob und Reiner. Ich kann nicht ausdrücken, wie dankbar ich Euch für Eure bedingungslose Liebe und Unterstützung bin. Danke, dass Ihr nie an mir und meinem Traum gezweifelt habt, obwohl ich mir selbst manchmal nicht mehr sicher war. Danke, Danke, Danke! Als letztes möchte ich *posthum* meinem Vater danken, dem ich auch diese Arbeit widme. Er hat immer an mich geglaubt, unterstützt wo immer er konnte, und wusste immer genau, dass ich meinen Weg gehen werde. Ich wünschte, Du könntest diesen Moment noch miterleben.

LEBENS LAUF

Persönliche Daten

Name: Anna Lena Flux MSc.

Anschrift:



Geburtsdatum: 18.09.1986

Geburtsort: 37154 Northeim

Promotion

01/2019 – 05/2023 Promotionsstudium im Basisprogramm der Georg-August University School of Science (GAUSS) an der Fakultät für Biologie und Psychologie, Georg-August-Universität Göttingen

Thema: Anthropologische Bearbeitung der Bestattungen napoleonischer Soldaten aus Frankfurt-Rödelheim zur Rekonstruktion der Lebensbedingungen in der Grande Armée

Beruflicher Werdegang

10/2015 – 12/2021 Wiederkehrende Tätigkeiten als Wissenschaftliche Hilfskraft zur Unterstützung der Forschung und Lehre (Institut für Historische Anthropologie und Humanökologie)

02/2016 – 12/2021 Wissenschaftliche Hilfskraft zur Bearbeitung von historischen Leichenbränden

04/2016 – 12/2021 Wissenschaftliche Hilfskraft zur Unterstützung der Lehre (Praktikumsbetreuung und Tutorium des Kurses Praktikum der Biologie für Studierende der Medizin)

10/2016 – 12/2021 Dozentin in der Übung SK.Bio.322 Brandbestattungen

10/2018 – 12/2021 Dozentin im Seminar B.Bio.111 Einführung in die Anthropologie

Publikationen

Zeitschriftenbeiträge

Flux AL, Mazanec J, Strommenger B, Hummel S (2017) *Staphylococcus aureus* Sequences from Osteomyelitic Specimens of a Pathological Bone Collection from Pre-Antibiotic Times. *Diversity* 2017, 9, 43.

Haller M, Callan K, Susat J, **Flux AL**, Immel A, Franke A, Herbig A, Krause J, Kupczok Anne, Fouquet G, Hummel S, Rieger D, Nebel A, Krause-Kyora B (2021) Mass Burial Genomics Reveals Outbreak of Enteric Paratyphoid Fever in the Late Medieval Trade City Lübeck. *SSRN Electronic Journal*, 10.2139/ssrn.3762113.

Taheri S, Yoshida T, Böker K, Foerster R, Jochim L, **Flux AL**, Grosskopf B, Lehmann W, Schilling A (2021) Investigating the Microchannel Architectures Inside the Subchondral Bone in Relation to Estimated Hip Reaction Forces on the Human Femoral Head. *Calcif Tissue Int* 109, 510–524

Flux AL, Schultz M and Hummel S (2022) Ancient DNA Analysis from Epoxy Resin Biodur® Embedded Bones. *BioTechniques*. 2022 73:3, 113-122

Nováček J, Mazanec J, Bretschneider A, **Flux AL**, Tannhäuser C, Hummel S (2022): Sex Determination using Archaeological, Anthropological, and Genetic Methods – a Comparative Study on a Merovingian Population from Gotha – Boilstädt. *Anthropologie (Brno)* 60, 2: 403-431.

Taheri S, Yoshida T, Böker OK, Foerster RH, Jochim L, **Flux AL**, Grosskopf B, Hawellek T, Lehmann W, Schilling AF (2023): Changes of the subchondral bone microchannel network in early osteoarthritis, Osteoarthritis and Cartilage. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.joca.2022.10.002>

Mazanec J, **Flux AL**, Hummel S (im Druck) Molekulargenetische Untersuchungen der Bestattungen des merowingerzeitlichen Gräberfeldes von Gotha-Boilstädt. In: Christian Tannhäuser (Hrsg.) *Das merowingerzeitliche Gräberfeld von Gotha-Boilstädt. Das Frühmittelalter in Thüringen 1. Weimarer Monographie zur Ur- und Frühgeschichte* 46.

Bretschneider A, Mazanec J, Wittmeier P, **Flux AL**, Schmidt D, Hummel S (in Revision) X-chromosomal STRs in aDNA kinship analysis. *Anthropologischer Anzeiger*

Buchbeiträge

Flux AL, Großkopf B (2018) Anthropologischer Bericht zu Knochenfunden am Niedersächsischen Landtag. *Hannoversche Geschichtsblätter* 72, 21-28.

Flux AL, Mazanec J und Grosskopf B (im Druck) Molekulargenetische Untersuchungen im Rahmen der Suche nach den Überresten von Graf Adolf von Nassau. Proben aus der Oldenburger St. Lamberti-Kirche und den Gräften aus Siegen und Dillenburg. In: *Oldenburger Forschungen*, Isensee Verlag.

Grosskopf B und **Flux AL** (im Druck) Anthropologische Untersuchungen im Rahmen der Suche nach den Überresten von Graf Adolf von Nassau. In: *Oldenburger Forschungen*, Isensee Verlag.

Konferenzbeiträge

Flux AL (mit Schultz M und Hummel S): Ancient DNA Analysis from Epoxy Resin Biodur® Embedded Bones. 3. Internationalen Kongress der Gesellschaft für Anthropologie (GfA) - 23.-27. September 2019

Mazanec J (mit **Flux AL**, Schüßler S, Krause-Kyora B, Strommenger B und Hummel S): Paleopathological collections as genetic archives. 13. Internationaler Kongress der Gesellschaft für Anthropologie (GfA). Göttingen, den 23.-27. Sept. 2019

Flux AL, Mazanec J und Grosskopf B: Molekulargenetische Untersuchungen im Rahmen der Suche nach den Überresten von Graf Adolf von Nassau. 27. März 2021: Internationale wissenschaftliche online-Tagung, Universität Oldenburg: „Suche nach den Überresten von Graf Adolf von Nassau (1540-1568) und die gräfliche Grablege in Oldenburg“

Studium

- 10/2009 – 09/2013 Bachelorstudiengang - Biologie, Georg-August-Universität Göttingen
Abschluss: Bachelor of Science (Note: 2,3)
Thema der Bachelorarbeit: „Rekonstruktion von Wirbelsäulen zur Erfassung degenerativer und pathologischer Prozesse in der frühneuzeitlichen Skelettserie – Kassel“ (Betreuerinnen: Dr. phil. Birgit Großkopf, Dr. rer. nat. Susanne Hummel)
- 10/2013 – 10/2015 Masterstudiengang - Biodiversity, Ecology and Evolution
Abschluss: Master of Science (Note: 1,2)
Thema der Masterarbeit: “PCR based detection of Staphylococcus aureus sequences from skeletal material with osteological evidence of an osteomyelitis infection” (Betreuer/in: Dr. rer. nat. Susanne Hummel, Dr. rer. nat. Oliver Piskurek)

Schulische Ausbildung

- 2006 – 2008 Allgemeine Hochschulreife (Prüfungsdatum: 23.06.2008) - Berufsbildende Schule - Fachgymnasium – Gesundheit und Soziales, 37574 Einbeck (Note: 2,2)