

# Nassauischer Verein für Naturkunde



## Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde



Band 144

Wiesbaden 2023

ISSN 0368-1254

**Nassauischer Verein  
für Naturkunde**



**Jahrbücher des  
Nassauischen Vereins  
für Naturkunde**

**Band 144**

**Wiesbaden 2023**

**ISSN 0368-1254**

## Titelbild



Pasterze am 15. Juli 2023

zum Beitrag von DR. A. KELLERER-PIRLBAUER & G. K. LIEB

© Nassauischer Verein für Naturkunde, Wiesbaden 2023

ISSN 0368-1254

**Für den sachlichen Inhalt der Beiträge sind die Autorinnen und Autoren allein verantwortlich.**

Herausgabe und Vertrieb:  
Nassauischer Verein für Naturkunde  
c/o Museum Wiesbaden  
Friedrich-Ebert-Allee 2, 65185 Wiesbaden  
e-Mail: [webmaster@naturkunde-online.de](mailto:webmaster@naturkunde-online.de)  
<http://www.naturkunde-online.de>

Schriftentausch / publication exchange / échange de publications:  
Hessische Landesbibliothek  
Rheinstraße 55/57, 65185 Wiesbaden  
Telefon: (0611) 9495-1816 Frau Jennifer Hale  
e-Mail: [jennifer.hale@hs-rm.de](mailto:jennifer.hale@hs-rm.de)

Schriftleitung:  
Prof. Dr. B. Toussaint  
65232 Taunusstein  
Telefon: (06128) 71737  
E-Mail: [b.toussaint@t-online.de](mailto:b.toussaint@t-online.de)

Satz: Prof. Dr. B. Toussaint, Taunusstein  
Druck und Verarbeitung: AC medienhaus GmbH, Wiesbaden  
Printed in Germany/Imprimé en Allemagne

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier

# Inhaltsverzeichnis

<b>Editorial</b> .....	5
<b>Wissenschaftliche Abhandlungen</b>	
ANDREAS KELLERER-PIRKLBAUER & GERHARD KARL LIEB Die klimagesteuerte Entwicklung von Gletschern und Permafrost seit der Mitte des 19. Jahrhunderts in den österreichischen Alpen .....	7
THOMAS VORDERBRÜGGE Klimawandel – Boden – Bodenschutz .....	37
MARIE-LOUISE FABER Bäume in historischen Parkanlagen im Klimawandel, dargestellt am Beispiel des Rudolf-Goethe-Parks in Geisenheim .....	73
JESSICA ALGENSTAEDT & RAINER DAMBECK Böden im Oberen Emsbachtal (Glashütten-Oberems, Hochtaunuskreis). Indikatoren der historischen Land- und Waldwirtschaft seit dem frühen Mittelalter.....	99
RÜDIGER WITTIG Pflasterritzen als Standorte der Verwilderung von Gartenpflanzen – Beispiele aus dem Taunus .....	123
KURT KOTRSCHAL Die seltsamen Tierbeziehungen der Menschen. Warum wir mit anderen Tieren leben wollen und können .....	133
ULRICH FLICK Neue Taxa der Gattung <i>Phaetonellus</i> NOVÁK, 1890 (Trilobita) aus dem Greifenstein-Kalk der Typlokalität sowie dem sog. Greifenstein-Kalk von Günterod .....	145
ULRICH FROMMER & HANS BAHMER Die Stechimmenfauna (Hymenoptera, Aculeata) des Botanischen Gartens der Universität Gießen im Vergleich mit einem innerstädtischen privaten Hausgarten .....	183

## Verein

HELMUT ARNOLD

Bericht über den Nassauischen Verein für Naturkunde (NVN) im Jahr 2022 .....	225
---------------------------------------------------------------------------------	-----

## Publikationen des NVN aus dem Jahr 2022

Jahrbücher des NVN, Bd. 143 (2022) .....	233
------------------------------------------	-----

## Buch-Rezensionen

J. TAUTZ (2021): Die Sprache der Bienen .....	235
I. STARKE-OTTICH & G. ZIZKA (2022): Wildnis in Frankfurt .....	237
G. ROSENDAHL & W. ROSENDAHL (Hrsg.) (2022): Eiszeit – Mensch. Natur. Klima .....	239
M. KLINKHARDT (2023): Fische. Anatomie, Physiologie, Lebensweise .....	241
W. MEYER (2023): Geologie rund um das Siebengebirge. Niederrheinische Bucht, Rheintal, Eifel, Bergisches Land, Westerwald .....	243
F. SCHLUNEGGER & PH. GAREFALAKIS (2023): Einführung in die Sedimentologie .....	245
W. KUHN (2023): Kochbuch der Erde .....	247

Die Herausgabe des Jahrbuches **144** wurde durch die großzügige finanzielle Unterstützung seitens des Kulturrechtes der Landeshauptstadt Wiesbaden ermöglicht, wofür der Nassauische Verein für Naturkunde dankt.

## **Werte Mitglieder des Nassauischen Vereins für Naturkunde, sehr geehrte Damen und Herren!**

Seit 1844 erscheint das Jahrbuch des Nassauischen Vereins für Naturkunde (bis 1866: Verein für Naturkunde im Herzogthum Nassau) bis auf Krisen- und Kriegszeiten jährlich und zumeist auf hohem und breitem naturkundlichem Niveau (vgl. [www.naturkunde-online.de](http://www.naturkunde-online.de)).

Unsere Jahrbücher dokumentieren in besonderer Weise das Selbstverständnis des Vereins und seiner Mitglieder, mit einer fachlich ausgewiesenen regelmäßigen Publikation das Interesse an der – keineswegs nur regionalen – Natur und an ihrer Erforschung zu wecken sowie die allgemeine naturkundliche Bildung zu fördern.

Die Jahrbücher bieten von Anfang an – auch vielen namhaften – Wissenschaftlern und Hobbyforschern aus dem Kreis der Vereinsmitglieder und von außerhalb ein Forum, ihre Arbeitsergebnisse aus allen Gebieten der Naturkunde und zu Umweltfragen den Vereinsmitgliedern und der Öffentlichkeit mitzuteilen. Dabei gehen wissenschaftliche Genauigkeit, anschauliche Darstellung und verständliche Ausdrucksweise zumeist Hand in Hand. Die Jahrbücher haben einen guten Ruf und werden von der Hessischen Hochschul- und Landesbibliothek in Wiesbaden auch international getauscht.

Vor diesem Hintergrund rufen der Schriftleiter und der Vorstand des Nassauischen Vereins für Naturkunde dazu auf, dieses fachliche Forum stärker als bisher zu nutzen. Die Jahrbücher sollen Plattform für naturkundliche Beiträge sein, die sich nicht ausschließlich auf Wiesbaden oder die ehemalige nassauische Region, sondern auch auf andere Bundesländer beziehen. Auch internationale Themen, ggf. auch in englischer Sprache, könnten interessieren. Nationale wie internationale Fachleute sind eingeladen, die Ergebnisse ihrer naturkundlichen Studien in den Jahrbüchern des Nassauischen Vereins für Naturkunde zu veröffentlichen. Die Texte sollten allerdings so geschrieben sein, dass sie auch von interessierten Laien verstanden werden. Auch das angestrebte Themenspektrum wird die Gesamtheit der Naturwissenschaften, durchaus unter Bezug auf aktuelle Fragestellungen wie u. a. Klimawandel, umfassen.

Ab 2015 kann um ein Jahr versetzt die digitale Version der Jahrbücher von der Homepage ([www.naturkunde-online.de](http://www.naturkunde-online.de)) des Nassauischen Vereins für Naturkunde heruntergeladen werden und steht somit einem großen Leserkreis zur Verfügung. Somit können Autoren für sich selbst und für ihr Anliegen werben. Für Rücksprachen steht zur Verfügung

Prof. Dr. Benedikt Toussaint

E-Mail: [b\\_toussaint@web.de](mailto:b_toussaint@web.de) oder [b.toussaint@t-online.de](mailto:b.toussaint@t-online.de)

Die acht Beiträge dieses Bandes beinhalten ein breites Themenspektrum. Der erste Beitrag befasst sich mit der klimagesteuerten Entwicklung von Gletschern und Permafrost in den österreichischen Alpen. Der zweite Beitrag ist dem Thema Boden und Bodenschutz gewidmet und macht deutlich, dass Klimaschutz und Bodenschutz zusammen betrachtet werden müssen. Auch der dritte Beitrag kommt am Klimawandel und seinen Auswirkungen auf Bäume im historischen, dem Denkmalschutz unterliegenden Rudolf-Goethe-Park in Geisenheim nicht vorbei. Der folgende Beitrag beleuchtet die Böden im Oberen Emstal bei Glashütten (Hochtaunuskreis), die Aussagen zur historischen Land- und Waldwirtschaft im Mittelalter zulassen. Der Taunus ist auch Gegenstand des fünften Beitrages, ein Botaniker befasst sich mit Pflasterritzen als Standorte verwilderter Gartenpflanzen. Im sechsten Beitrag wird aufgezeigt, wie aus dem Wolf der Hund wird und wie zwischen ihm und dem Menschen ein gutes Vertrauensverhältnis aufgebaut werden kann. Im siebten Beitrag wird von neu gefundenen Taxa einer Trilobiten-gattung im Greifensteiner-Kalk berichtet. Und schließlich kommt auch ein Hymenopterologe zu Wort, er dokumentiert die Stechimmenfauna in Gießen.

Auf diese Fachbeiträge folgt der Rechenschaftsbericht des Vereinsvorsitzenden für das Jahr 2022.

In der Rubrik „Neue Publikationen“ wird der im Jahr 2022 erschienene Band 143 des Jahrbuchs des Nassauischen Vereins für Naturkunde vorgestellt.

Der Band endet mit der Rezension von sieben empfehlenswerten Fachbüchern, die 2021, 2022 und 2023 erschienen sind.

Der vorliegende Band 144 unseres Jahrbuchs umfasst insgesamt sehr interessante 248 Seiten, die es allesamt verdienen, gelesen zu werden.

### **Invitation to external resp. foreign authors to publish in our annals**

In special cases English writing scientists are also invited to publish the results of their natural scientific studies in the annals of the Nassau Natural History Society. The authors have a wide range of contributions, but the publications should be written in a popular scientific way. The topics need not be directly related to Hesse and surrounding German countries; but should, if possible. The readers of the annals have great interest first of all in geo- and biosciences in a very broad sense – especially in connection with the climate change and its consequences. Please note that only scientifically substantiated articles on current topics are selected for publication.

Beginning with 2015, everybody can download – with a time lag of one year after the publication of the print annals of the Nassau Natural History Society – the digital version from its homepage (see [www.naturkunde-online.de](http://www.naturkunde-online.de)). Therefore, authors can advertise themselves and their concern.

For any questions please feel free to contact

Prof. Dr. Benedikt Toussaint ([b\\_toussaint@web.de](mailto:b_toussaint@web.de); [b.toussaint@t-online.de](mailto:b.toussaint@t-online.de))

# Die klimagesteuerte Entwicklung von Gletschern und Permafrost seit der Mitte des 19. Jahrhunderts in den österreichischen Alpen

ANDREAS KELLERER-PIRKLBAUER & GERHARD KARL LIEB

Klimageschichte, Gletscherrückzug, Permafrost, Alpen

**Kurzfassung:** Die Klimaentwicklung seit der Mitte des 19. Jahrhunderts, die den Höhepunkt einer kalten Phase innerhalb der Nacheiszeit repräsentiert, ist durch eine nur kurzfristig unterbrochene Erwärmung gekennzeichnet, die sich seit dem 20. Jahrhundert unter anthropogenen Einflüssen massiv verstärkt hat. Dadurch haben sich die Ausdehnung der Gletscher stark verringert, die Temperaturen im Permafrost erhöht und ganz allgemein viele Prozesse im Hochgebirge intensiviert. Der Beitrag zeigt die Veränderungen von Gletschern und Permafrost anhand von Messergebnissen aus langfristigen Monitoring-Programmen und interpretiert diese mit Blick auf ihre gesellschaftliche Relevanz.

## The climate-driven development of glaciers and permafrost since the middle of the 19<sup>th</sup> century in the Austrian Alps

Climate history, glacier recession, permafrost, European Alps

**Abstract:** The climate development since the middle of the 19<sup>th</sup> century, which represents the climax of a cold phase within the postglacial period, is characterized by warming with only short term interruptions. The temperature increase has massively intensified since the 20<sup>th</sup> century due to anthropogenic impact. As a result, the extent of glaciers has been greatly reduced, the temperatures in permafrost have increased and, in general, many processes in the high mountains have intensified. The article shows the changes in glaciers and permafrost based on measurement results from long-term monitoring programs and interprets them with regard to their social relevance.

### Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	8
2	Methodik .....	11
2.1	Grundsätzliches zur Methodik des Monitorings von Gletschern und Permafrost .....	11
2.2	Monitoring von Gletschern .....	12
2.3	Monitoring von Permafrost .....	14
3	Veränderungen der Gletscher .....	16
4	Veränderungen im Permafrost .....	19

5	Veränderungen von Gletschern und Permafrost im Beispielgebiet Großglockner/Pasterze .....	25
6	Diskussion .....	28
7	Fazit .....	31
8	Literatur .....	32

## 1 Einleitung

Gletscher und Permafrost sind in den letzten Jahrzehnten als „Ikonen des Klimawandels“ gleichsam in der Mitte der Gesellschaft angekommen. Kaum eine allgemein gehaltene Abhandlung über die Folgen des aktuellen Top-Themas „Klimawandel“, sei sie wissenschaftlich oder populär, verzichtet zur Veranschaulichung der Veränderungen auf einen Bildvergleich einer exemplarischen Gletscher-Landschaft an mindestens zwei Aufnahmetermi-  
nen – auch nicht der vorliegende Beitrag. In der Tat gibt es kein Naturphänomen, das auch nur annähernd so augenscheinlich die Wirkungen der globalen Erwärmung auf das Hochgebirge zeigen könnte. Diese Veränderungen der Gletschergeometrie sind schon seit der frühen Neuzeit bekannt und waren mit ein Grund für die Etablierung der Gletscherforschung im 19. Jahrhundert.

Permafrost, definitionsgemäß Untergrund, der langfristig auch im Sommer Temperaturen von 0 °C oder darunter aufweist, wurde als unsichtbares Naturphänomen in den Alpen erst in den letzten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts entdeckt und erforscht. Allerdings reichen Forschungen zu Permafrost-bezogenen Landschaftsformen (Blockgletscher, Kapitel 2.3) in der Schweiz bis in die 1910er-(CHAIX 1919) und in Österreich bis in die 1920er-Jahre (FINSTERWALDER 1928) zurück. Permafrost hat spätestens seit den frühen 2000er-Jahren zunehmend von sich reden gemacht, insbesondere durch Felsstürze (wie das in Kap. 6 thematisierte Ereignis vom Fluchthorn im Juni 2023). Heute werden Gletscher und Permafrost im Kontext des Klimawandels gerne in einem Atemzug genannt, aber dennoch selten zusammen erforscht. So gibt es bisher auch noch keine umfassende Studie, die die jüngsten Veränderungen von Gletschern und Permafrost in den Alpen gemeinsam betrachtet, sondern es werden auf dieser räumlichen Ebene die beiden Parameter separat behandelt (z. B. Gletscher: PAUL et al. 2020; Permafrost: BOECKLI et al 2012; Blockgletscher: KELLERER-PIRKLBAUER et al. 2018).

Gletscher und Permafrost sind in den österreichischen Alpen zwar nur auf limitierte, bezogen auf den Gesamtstaat kleine Flächen in den höchsten Lagen der Alpen begrenzt, spielen aber hier für die Gesamtheit der Naturprozesse eine zentrale Rolle. Abbildung 1 zeigt die aktuelle räumliche Verbreitung der beiden Phänomene, wobei die Darstellung der Gletscher exakter ist und auf einer inventarmäßigen Erhebung der Gletscher beruht, während man für den Permafrost (wegen dessen Unsichtbarkeit an der Oberfläche) auf eine Modellierung

von Wahrscheinlichkeiten des Auftretens angewiesen ist. Dabei ist die Farbskalisierung in Abbildung 1 so zu lesen, dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Permafrost umso größer ist, je kälter die Farbtöne sind. Die Gesamtfläche der Gletscher Österreichs umfasste mit Stand 2015/16 rund 350 km<sup>2</sup> (0,4 % der Staatsfläche; alpenweit 1807 km<sup>2</sup>; PAUL et al. 2020), für den Permafrost gelten rund 1600 km<sup>2</sup> (1,9 % der Staatsfläche; alpenweit 6200 km<sup>2</sup>; BÖCKLI et al. 2012) als aktuell beste Zahlen.

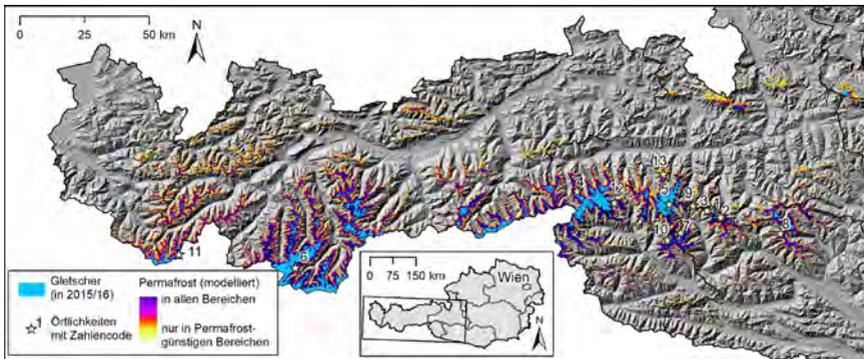


Abbildung 1: Verbreitung der Gletscher (PAUL et al. 2020) und Wahrscheinlichkeit des Vorkommens von Permafrost (BÖCKLI et al. 2012) in den österreichischen Alpen sowie die Lage aller im Text erwähnten Örtlichkeiten mit Monitoring-Aktivitäten (Zahlencode): 1 Hoher Sonnblick, 2 Goldbergkees, 3 Kleinfleisskees, 4 Venedigerkees, 5 Pasterze-Burgstall, 6 Hintereisferner, 7 Hinteres Langtalkar Blockgletscher, 8 Dösender Blockgletscher, 9 Fallbichl-Hochtor, 10 Tschadinhorn-Blockgletscher, 11 Südliches Fluchthorn, 12 Innerer Knorrkogel, 13 Kitzsteinhorn.

Figure 1: Distribution of glaciers (PAUL et al. 2020) and probability of permafrost occurrence (BÖCKLI et al. 2012) in the Austrian Alps as well as the position of all locations with monitoring activities mentioned in the text (numerical code): 1 Hoher Sonnblick, 2 Goldbergkees, 3 Kleinfleisskees, 4 Venedigerkees, 5 Pasterze-Burgstall, 6 Hintereisferner, 7 Hinteres Langtalkar rock glacier, 8 Dösen rock glacier, 9 Fallbichl-Hochtor, 10 Tschadinhorn rock glacier, 11 Southern Fluchthorn, 12 Innerer Knorrkogel, 13 Kitzsteinhorn.

Grundlage der Veränderungen von Gletschern und Permafrost sind, da es sich bei beiden um von bestimmten Klimabedingungen abhängige und somit klimasensitive Phänomene handelt, die langfristigen (über Jahrzehnte und längere Zeiträume erfolgenden) Schwankungen der klimatischen Bedingungen. Hierbei ist zwischen natürlichen Klimaschwankungen und dem anthropogenen Klimawandel seit der Industrialisierung zu unterscheiden. Erstere werden, je nach ihrer Zyklizität, von unterschiedlichen Variationen solarer Aktivität und der Erdbahnparameter ausgelöst und erklären etwa die Kalt-Warmzeit-Zyklen des Pleistozäns oder die Klimapendelungen des Holozäns. Zu diesen gehört eine im ausgehenden Mittelalter einsetzende Kältephase, die wegen der durch sie ausgelösten Gletschervorstöße auch „Kleine Eiszeit“ oder „Little Ice Age“ (LIA) genannt wird und ihr letztes Temperaturminimum in der Mitte des 19. Jahrhunderts erreichte (SCHÖNWIESE 2019).

Spätestens mit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts setzte ein deutlicher Erwärmungstrend ein, der im Wesentlichen noch aus natürlichem Antrieb begann, jedoch im 20. Jahrhundert zunehmend durch die im Treibhauseffekt begründete Klimawirksamkeit der bei menschlichen Aktivitäten freigesetzten Emissionen von  $\text{CO}_2$  und anderen Gasen überlagert wurde. Die atmosphärische  $\text{CO}_2$ -Konzentration ist von 280 ppm im Jahr 1750 auf 410 ppm im Jahr 2019 angestiegen, wobei diese Konzentration die höchste in den letzten zumindest zwei Millionen Jahren ist (IPCC 2023). Im Juli 2023 lag dieser Wert bei über 420 ppm (<https://keelingcurve.ucsd.edu>), Tendenz steigend.

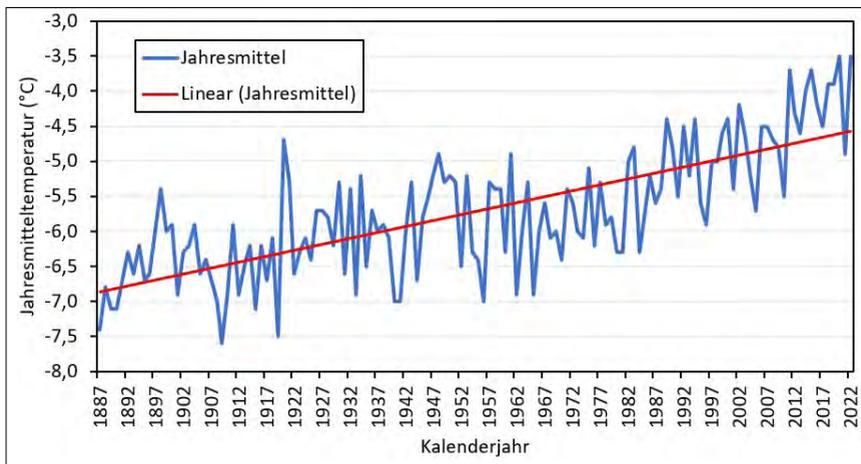


Abbildung 2: Jahresmittel der Lufttemperatur auf dem Hohen Sonnblick (3105 m; Hohe Tauern, Österreich) und linearer Trend der Temperaturen im Zeitraum 1887–2022 (Datengrundlage: GeoSphere Austria, HISTALP).

Figure 2: Mean annual values of air temperature (blue) at Hoher Sonnblick (3105 m; Hohe Tauern Range, Austria) and linear trend of temperature (red) in the period 1887–2022 (data source: GeoSphere Austria, HISTALP).

Aktuell geht das IPCC (2023) davon aus, dass die seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eingetretene Erwärmung zu etwa zwei Drittel hierauf zurückzuführen, also in diesem Ausmaß anthropogen bedingt ist. Da in dieser neoklimatologischen Periode bereits zahlreiche Temperatur-Messreihen zur Verfügung stehen – an der österreichischen Hochgebirgsstation Hoher Sonnblick seit Sommer 1886 (Abb. 2) – ist dieser Klimawandel im österreichischen Hochgebirge ausgezeichnet dokumentiert, weshalb die vorliegende Studie nur diesen Zeitraum behandelt. Abbildung 2 zeigt deutlich den Anstieg der Lufttemperatur im Zeitraum 1887–2022 nach Einzeljahren (mit starken Schwankungen) und als linearer Trend. Vergleicht man zwei sogenannte „Klimanormalperioden“ (d. h. 30-jährige Mittelwerte nach Richtlinien der World Meteorological Organisation), so ergibt sich für die Klimanormalperiode 1891–1920 ein Mittelwert von  $-6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , für jene

von 1991–2020 hingegen ein solcher von  $-4,7^{\circ}\text{C}$ , was einer Erwärmung von  $1,7^{\circ}\text{C}$  in 100 Jahren entspricht.

Während die Oberfläche von Gletschern unmittelbar an das atmosphärische Geschehen (mit den Hauptfaktoren Strahlung, Temperatur, Niederschlag und Wind) gekoppelt ist und Gletscher daher rasch auf Veränderungen in der Atmosphäre reagieren, ist dies bei Permafrost als Temperaturzustand des Untergrundes nicht der Fall. Im Winter wird die Permafrostschicht in der Regel durch die Schneedecke und im Sommer durch eine meist gut isolierende saisonale Auftauschicht von der Atmosphäre entkoppelt. Die Folge davon ist eine deutlich verzögerte Reaktion des Permafrosts auf klimatische Variationen. Aufgrund der schon erwähnten Tatsache des erst spät erwachenden Interesses an Permafrost, verbunden mit der Schwierigkeit, ein Untergrundphänomen zu beobachten, liegen über den Permafrost ungleich kürzere Zeitreihen vor, aus denen man seine Veränderungen beurteilen kann. Im Gegensatz zu den Gletschern gibt es systematisches Monitoring des Permafrosts erst seit den späten 2000er-Jahren (Kapitel 2).

Gesellschaftliches Interesse kommt der gegenständlichen Thematik nicht nur aufgrund der Tatsache zu, dass die raum-zeitlichen Variationen beider Phänomene Klimawandelfolgen und -indikatoren sind, sondern auch durch viele andere Aspekte. Unter diesen seien exemplarisch wasserwirtschaftliche Fragen in Zusammenhang mit dem Gletscherrückgang oder Naturgefahren wie die erwähnten Felsstürze – die sowohl mit zurückgehenden Gletscherflächen als auch mit Temperaturänderungen und Abschmelzen des Eises im Permafrost zusammenhängen können (Kapitel 6) – genannt. Für weitere Ausführungen zur gesellschaftlichen Relevanz von Eis in den Alpen wird auf LIEB & KELLERER-PIRKLBAUER (2019) verwiesen, worin sich auch Grundtatsachen zu Gletschern und Permafrost und den mit ihnen verbundenen Prozessen finden.

## **2 Methodik**

### **2.1 Grundsätzliches zur Methodik des Monitorings von Gletschern und Permafrost**

Da dieser Beitrag die langjährigen Veränderungen von Gletschern und Permafrost zum Inhalt hat, sind im Folgenden aus der Vielzahl an verfügbaren Methoden, mit denen man die beiden Phänomene erforschen kann, jene relevant, die sich zum Erfassen ebendieser Veränderungen eignen. Langfristige, durch methodische Standardisierung systematische Dauerbeobachtung von Vorgängen wird Monitoring genannt. Monitoring für die gegenständlichen Veränderungsprozesse beruht auf quantitativen Verfahren mit Messungen bestimmter Größen. Eine gewisse Sonderstellung hat fotografisches Monitoring inne, wie es aktuell durch automatische Kameras auch an vielen Gletschern (vielfach Webcams; z. B. am größ-

ten Gletscher in Österreich, der Pasterze: <https://grossglockner.panomax.com/>) und in Permafrostgebieten erfolgt. Hierbei handelt es sich nicht a priori um eine quantifizierende, sondern um eine visualisierende Methode, deren Produkte jedoch bei Bedarf auch quantitativ ausgewertet werden können (z. B. Webcam-Fotos Pasterze: KELLERER-PIRKLBAUER et al. 2021).

Für manche Naturphänomene haben sich – meist im Zuge der Etablierung der zugehörigen Wissenschaften im 19. Jahrhundert – Monitoringsysteme entwickelt, die von darauf spezialisierten Organisationen getragen werden, wofür die für das Monitoring der Witterung bzw. des Klimas zuständigen (halb)staatlichen Wetterdienste das wohl beste Beispiel darstellen (in Österreich: GeoSphere Austria <https://www.geosphere.at/>). Auch für das Monitoring der Gletscher fanden sich in den meisten Staaten Organisationen, die sich dieser Aufgabe annahmen. In Österreich war dies der Alpenverein, der mit einem stark rezipierten „Aufruf“ an seine Mitglieder 1891 einen Gletschermessdienst begründete (PATZELT 2018). Dieser erfüllt unter der Patronanz des Österreichischen Alpenvereins immer noch seine Aufgabe auf der Grundlage ehrenamtlicher Tätigkeit, aktuell unter der Leitung der beiden Autoren dieses Beitrags.

Im Gegensatz dazu steckt das Monitoring des Permafrosts in Österreich gewissermaßen erst in den Kinderschuhen (im Gegensatz etwa zur Schweiz; PERMOS 2023). Bislang gab es nur Einzelinitiativen wissenschaftlicher Organisationen, die an bestimmten Orten Permafrost-Monitoring auf der Grundlage unterschiedlicher Methoden betrieben. Eines von diesen Teams ist die vom Erstautor koordinierte Gruppe, in der Institute der Universität Graz und der Technischen Universität Graz sowie GeoSphere Austria kooperieren (LIEB et al. 2016). Durch den Erstautor erfolgte seit den 2000er-Jahren der Aufbau eines Netzwerks zum Monitoring von Bodentemperaturen in Permafrost-Gebieten der Niederen und Hohen Tauern, die Bewegung von Blockgletschern (Kapitel 2.3) wird schon seit den 1990er-Jahren jährlich im Nationalpark Hohe Tauern gemessen (KELLERER-PIRKLBAUER & KAUFMANN 2012). Dieser Nationalpark fördert seit 2018 diese Monitoring-Aktivitäten durch zwei verschiedene Programme und stellt damit erstmals – zumindest für ein größeres, repräsentatives Gebiet der österreichischen Alpen – die Dauerbeobachtung von Permafrost auf eine sichere Basis.

## 2.2 Monitoring von Gletschern

Beim Monitoring von Gletschern werden zwei verschiedene Aspekte der Veränderungen untersucht, und zwar zum einen die Variation der Gletschergeometrie und zum anderen der Massenumsatz. Das Monitoring von Gletschern wird international im Rahmen verschiedener Initiativen koordiniert betrieben, worüber das World Glacier Monitoring Service (WGMS mit Sitz in Zürich; <https://wgms.ch/>) leicht zugänglich aktuelle, weltweite Daten anbietet.



Abbildung 3: Fotografische Impressionen vom jährlichen Monitoring der Gletschergeometrie an der Pasterze und in ihrer Umgebung (Glocknergruppe, Hohe Tauern); (a) Maßbandmessung von fixen Punkten im Gletschervorfeld; (b) Traditionelle analoge Einmessung von Höhenpunkten mittels Tachymeter, mittlerweile ersetzt durch (c) differentielle GPS-Technologie (bzw. GNSS/Global Navigation Satellite Systems); (d) mit Zahlencode markierte Steine als Grundlage der Messung der Oberflächenbewegung; Fotos: Autoren.

Figure 3: Photographic impressions of the annual monitoring of glacier geometry at the Pasterze Glacier and its surroundings (Großglockner mountains, Hohe Tauern); (a) tape measurement from fixed points in the glacier forefield; (b) traditional analogous measurement of the elevation at specific points via tachymeter, now replaced by (c) differential GPS-technology (GNSS/Global Navigation Satellite Systems); (d) stones marked with numerical codes as a basis for measuring surface movement; photos: authors.

Die Geometrie wird als Länge, Fläche, Höhe der Eisoberfläche und/oder (wenn der Untergrund durch geophysikalische Erkundungen bekannt ist) des Volumens des Gletschers beschrieben. Die Erfassung der Veränderung dieser Größen ist bei der Länge weitaus am einfachsten und wird daher – in Österreich ebenso wie weltweit – an sehr vielen Gletschern durchgeführt. Wenn man von Gletschervorstoß oder -rückzug spricht, beziehen sich diese Begriffe in der Regel auf eine Zu- oder Abnahme der Länge, die ihrerseits entsprechende Veränderungen der Fläche repräsentieren. Die Messung ist an den meisten Gletschern mit einfachen Mitteln möglich, was erst deren hierbei übliche jährliche Durchführung ermöglicht (Abb. 3). Vom Österreichischen Gletschermessdienst werden derzeit an rund 90 Glet-

schern (ca. 10 % aller Gletscher in Österreich) jährliche Messungen der Längenänderung durchgeführt (LIEB & KELLERER-PIRKLBAUER 2023).

Der Massenumsatz besteht aus den „Einnahmen“ des Gletschers (Akkumulation von Schnee) und den „Ausgaben“ (Abschmelzung oder Ablation), die mit relativ aufwändigen Methoden im Gelände punktuell gemessen, auf die Gesamtfläche des Gletschers extrapoliert und schließlich als Massenbilanz einander rechnerisch gegenübergestellt werden. Man spricht von positiver Massenbilanz, wenn die Akkumulation über ein Gletscher-Haushaltjahr hinweg (1.10.–30.9. des Folgejahres) größer war als die Ablation. Mehrere positive Massenbilanzen führen in der Gletschergeometrie zur Zunahme der oben genannten Größen nach einer von Gletscher zu Gletscher unterschiedlichen Zeitspanne. Diese sogenannte Reaktionszeit korreliert mit der Gletschergröße, indem kleine Gletscher rascher als große reagieren. Die aktuell weltweit vorherrschenden negativen Massenbilanzen führen daher zum Schrumpfen der Gletscher (Gletscherschwund) und langfristig zu deren Verschwinden. Eine mit dem Massenumsatz in enger Beziehung stehende Größe ist die Oberflächenbewegung des Eises, die bei positiven Massenbilanzen höher als bei negativen ist, weshalb die Bewegung derzeit an fast allen Gletschern, an denen sie gemessen wird, abnimmt. Jährliche Massenbilanzen werden aktuell an 13 österreichischen Gletschern von unterschiedlichen Organisationen gemessen und an das World Glacier Monitoring Service gemeldet (<https://wgms.ch/latest-glacier-mass-balance-data/>).

### 2.3 Monitoring von Permafrost

Da Permafrost ein thermisches Phänomen des Untergrundes ist, bestehen Monitoring-Aktivitäten primär aus Messungen der Temperatur an der Erdoberfläche und/oder in unterschiedlichen Tiefen in seichten (bis 1 m) und tieferen Bohrlöchern. Dabei kommen hochauflösende digitale Registriergeräte (Miniatur-Temperatur-Datenlogger) zum Einsatz, die entweder einmal jährlich ausgelesen werden oder – im Falle direkter Funkverbindungen zwischen Messsensor und Operator – kontinuierlich überwacht werden können (z. B. <https://www.sonnblick.net>). Die Temperaturen selbst sind das Ergebnis der Energiebilanz, die sich aus dem Zusammenwirken unterschiedlicher Komponenten (Strahlungsbilanz sowie fühlbarer, latenter und Bodenwärmestrom, Schnee) ergibt. Aus empirischen Befunden ist bekannt, dass Jahresdurchschnittstemperaturen an der Oberfläche von 0 °C oder weniger die Existenz von Permafrost im Untergrund anzeigen. An schneereichen Permafrost-Standorten wird zudem das Temperaturgeschehen an der Oberfläche von dem der Luft (durch die isolierende Schneedecke) entkoppelt, sodass sich über Permafrost für Wochen und Monate unter der Schneedecke anhaltend konstante Temperaturen von -3 °C oder darunter einstellen (HAEBERLI 1973).

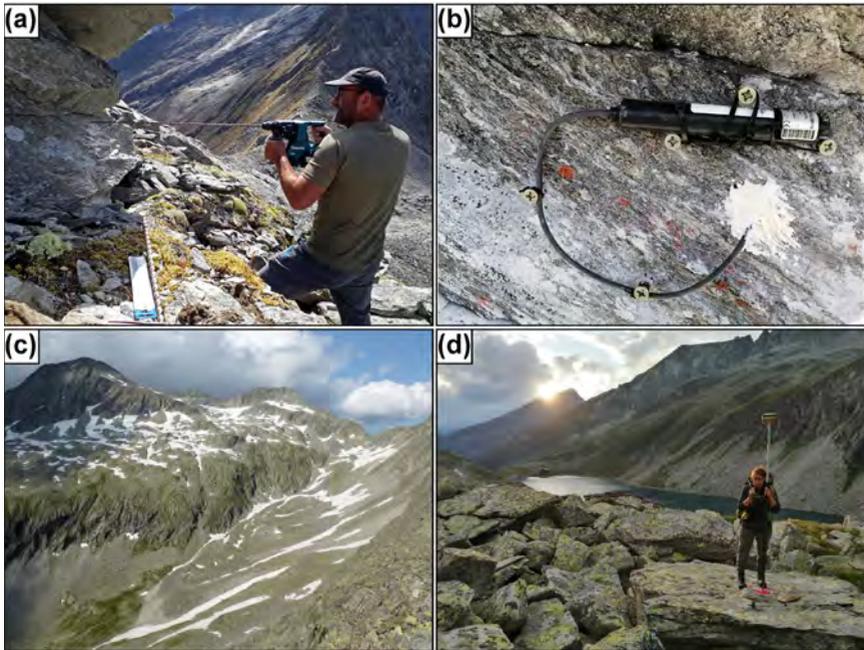


Abbildung 4: Fotografische Impressionen vom jährlichen Monitoring der Bodentemperatur an der Gipfelpyramide des Inneren Knorrkogels (Venedigergruppe, Hohe Tauern); (a) Einrichtung eines neuen seichten Permafrost-Bohrloches, welches in mehreren Tiefen automatisch Felstemperaturen aufzeichnet, (b) fertig eingerichteter Felstemperatursensor; sowie (c) vom Dösener Blockgletscher (Ankogelgruppe, Hohe Tauern; im Bild links: Säuleck, 3086 m) mit typischer Ausprägung und (d) Messungen der Oberflächenbewegung an diesem Blockgletscher mittels differentieller GPS-Technologie; Fotos: Autoren.

Figure 4: Photographic impressions of the annual monitoring of ground temperatures at the summit pyramid of the Innerer Knorrkogel (Venediger Mountains, Hohe Tauern Range); (a) installation of a new shallow permafrost borehole, which automatically records rock temperatures at different depths, (b) completed set up rock temperature sensor; as well as (c) of Dösen rock glacier (Ankogel Mountains, Hohe Tauern Range; left: Säuleck, 3086 m) with typical physiognomy and (d) measurement of surface movement at the same rock glacier using differential GPS-technology; photos: authors.

Temperaturen im Untergrund können nur dadurch ermittelt werden, indem man die Temperatursensoren in Bohrlöcher einbringt. Unter diesen kommt den „tiefen Bohrlöchern“ besondere Bedeutung zu, weil sie die Temperaturverhältnisse bis weit in den Permafrost-Körper hinein registrieren. Da die Jahresschwankung der Temperatur mit zunehmender Tiefe abnimmt (in 15–20 m Tiefe geht diese gegen Null), werden thermische Variationen aufgrund des unterschiedlichen Witterungscharakters von Einzeljahren herausgefiltert und langjährige Trends besser erkennbar. Des Weiteren können in Bohrlöchern auch andere geophysikalische Größen erhoben werden, was an den beiden in Österreich derzeit betriebenen Standorten mit tiefen Bohrlöchern (Sonnblick und Kitzsteinhorn,

beide in den Hohen Tauern) jedoch nur im geringen Umfang der Fall ist. Ebenso fehlt langfristiges Monitoring der Untergrundeigenschaften (z. B. des Eisgehalts mittels geoelektrischer Profile), weshalb in Kapitel 4 auf die Ergebnisse des Oberflächen-Temperatur-Monitorings in den Hohen Tauern zurückgegriffen wird.

Eisübersättigte Schuttkörper im Permafrost können bei ausreichenden Hangneigungen in Bewegung geraten und mit Geschwindigkeiten von in der Regel wenigen Zentimetern bis Metern pro Jahr Hänge hinunterkriechen. Solche Schuttkörper werden aktive Blockgletscher genannt, obwohl sie im Allgemeinen keine direkte genetische Beziehung zu Gletschern aufweisen (BARSCH 1996). Die Messung dieser Bewegung an der Oberfläche mit geodätischen Verfahren (Abb. 4) wurde an einigen dieser Blockgletscher schon vollzogen, bevor man überhaupt wusste, dass sie durch Deformation des Permafrost-Eises entstehen (PILLEWIZER 1938). An einigen aktiven Blockgletschern Österreichs liegen lange Messreihen vor – die geschlossensten wiederum aus dem von den Autoren betreuten Untersuchungsgebieten in den Hohen Tauern (PELLET et al. 2022).

### 3 Veränderungen der Gletscher

Für die österreichischen Alpen steht in Bezug auf das Monitoring der Gletschergeometrie die lange Datenreihe des Österreichischen Gletschermessdienstes (Kapitel 1) zur Verfügung (Abb. 5). Die Graphik zeigt für alle Einzeljahre den An-

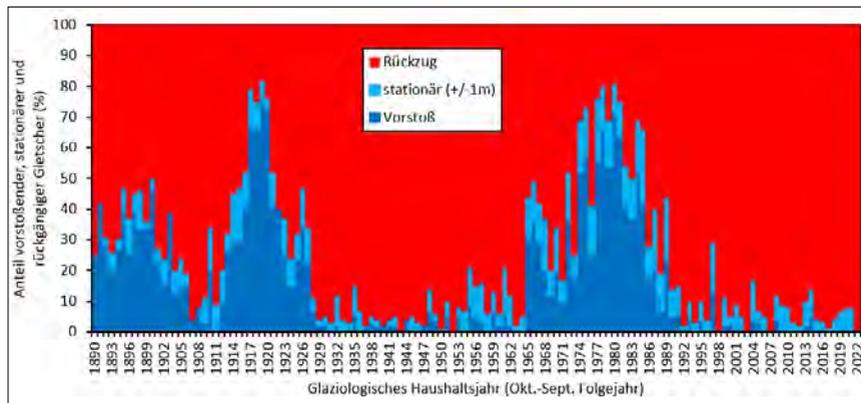


Abbildung 5: Jährlicher Anteil der vorstößenden, stationären und sich zurückziehenden Gletscher an allen beobachteten Gletschern in Österreich seit 1890 in Prozenten (Erläuterungen im Text; Datengrundlage: Österreichischer Gletschermessdienst; vgl. LIEB & KELLERER-PIRKLBAUER 2023).

Figure 5: Annual percentage of advancing, stationary and retreating glaciers of all observed glaciers in Austria since 1890 (explanations in the text; data source: Austrian Glacier Measurement Service; cf. LIEB & KELLERER-PIRKLBAUER 2023).

teil vorstoßender, stationärer und sich im Rückzug befindlicher Gletscher, von denen Messwerte zur Verfügung standen, und deren Differenzierung nach dem Gletscherverhalten, wobei man von stationärem Verhalten bei Längenänderungen innerhalb von +/-1 m spricht. Die Graphik verbirgt zwar, dass die Zahl der beobachteten Gletscher stark schwankt, was u. a. dem ehrenamtlichen Charakter des Messdienstes geschuldet ist. Dennoch erkennt man die für diesen Zeitraum typischen Entwicklungen: Während insgesamt die Anzahl der sich zurückziehenden Gletscher überwiegt und seit den 1990er-Jahren Vorstöße nur mehr seltene Ausnahmen sind oder überhaupt fehlen, fallen zwei Phasen mit deutlich erhöhten Anteilen vorstoßender Gletscher auf, und zwar um 1920 sowie zwischen 1965 und 1985.

Ergänzt um die vom Österreichischen Gletschermessdienst nicht erfasste Periode vor 1890 ergibt sich somit folgender Verlauf der jüngsten Gletschergeschichte:

- Unmittelbar nach dem Hochstand um 1850 begannen sich die Gletscher zurückzuziehen.
- In den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts wurden an einzelnen Gletschern auch Vorstöße registriert, was mit ein Grund für den in Kapitel 2.1 genannten „Aufruf“ war: Man mutmaßte, dass die Gletscher erneut – wie zuvor schon mehrfach in der Neuzeit – auf Hochstandsgröße anwachsen würden. Tatsächlich stießen zwischen 1890 und 1905 viele Gletscher vor, ihr Anteil blieb aber stets und meist deutlich unter 50 % (Daten der Einzeljahre in PATZELT 2018, Tab. 2.1). Daher erscheint es in der Ex-post-Betrachtung als diskussionswürdig, ob die Ausweisung eines in der älteren Literatur mitunter so bezeichneten „Vorstoßes von 1890“ überhaupt gerechtfertigt ist.
- Es folgten mehrere Jahre mit vorherrschendem Gletscherrückzug, bevor zwischen 1916 und 1920 mehr als die Hälfte der vermessenen und – wie entsprechende Moränen beweisen – viele weitere Gletscher vorstießen.
- Die zugrundeliegende kühle Phase dauerte jedoch nur kurz an, sodass ab den späten 1920er-Jahren wieder fast alle Gletscher im Rückzug waren. Diese markante Rückzugsphase war an eine positive Temperaturabweichung gebunden und sollte dreieinhalb Jahrzehnte andauern.
- Recht schlagartig stellte sich mit dem Haushaltsjahr 1965/66 eine Trendumkehr ein, die ab Mitte der 1970er-Jahre in acht Jahren mehr als 50 % der beobachteten Gletscher vorstießen ließ – das letzte dieser Jahre war das Haushaltsjahr 1983/84. Damit dauerte diese letzte Vorstoßperiode deutlich länger als jene um 1920.
- In der zweiten Hälfte der 1980er-Jahre nahm die Zahl der im Rückzug befindlichen Gletscher erneut rasch zu und sank mit Ausnahme der Haushaltsjahres 1996/97 nie mehr unter 80 %, ja lag meist deutlich über 90 % und in einigen Jahren bei 100 %, zuletzt im Haushaltsjahr 2021/22. Den Hintergrund dieser Entwicklung bildet, wie in Abbildung 2 klar ersichtlich ist, die anthropogen beschleunigte globale Erwärmung des Klimas (anthropogener Klimawandel).

Dass der Gletscherschwund sich seit dem ausgehenden 20. Jahrhundert noch verstärkt hat, ist der Abbildung 6 zu entnehmen. Diese zeigt das arithmetische Mittel aller registrierten Längenänderungen der österreichischen Gletscher seit 1960, also die Vorstoßphase von 1965 bis 1985 sowie die letzten Jahre davor und die gesamte Periode danach. Man erkennt zum einen, wie wenig des davor erfolgten Rückzugs die genannte Vorstoßphase kompensieren konnte, und zum anderen, dass die Rückzugswerte tendenziell ab den 1990er-Jahren zunahmen und im Haushaltsjahr 2002/03 erstmals im Mittel aller Gletscher über 20 m betragen, mehr als je zuvor, seit es Beobachtungen gibt. Bis 2022 gab es bereits fünf solcher Jahre mit einem neuen Maximalwert von -28,7 m im Haushaltsjahr 2021/22 (LIEB & KELLERER-PIRKLBAUER 2023). Dies ist umso bemerkenswerter, als die Gletscher ja wesentlich kleiner als früher und somit die registrierten Rückzugsbeträge in Bezug auf die Gesamtlängen der Gletscher relativ größer geworden sind.

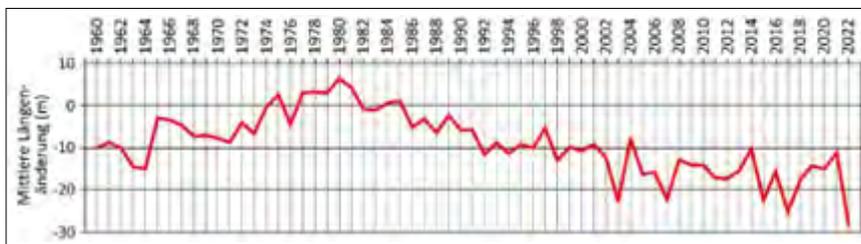


Abbildung 6: Mittlere Längenänderung der österreichischen Gletscher im Zeitraum 1960–2022. Der bisherige negative Maximalwert der mittleren Gletscherlängenänderung wurde im Haushaltsjahr 2021/22 mit -28,7 m/a erreicht (weitere Erläuterungen im Text; Datengrundlage: Österreichischer Gletschermessdienst).

Figure 6: Mean length variation of the Austrian glaciers in the period 1960–2022. So far, the negative maximum value of the mean change in glacier length was reached in 2021/22 at -28.7 m/a (further explanations in the text; data source: Austrian Glacier Measurement Service).

Diese Entwicklung führt in letzter Konsequenz zum Verschwinden von Gletschern, einem Prozess, der keineswegs neu ist, sondern dem bereits PASCHINGER (1959) eine spezielle Studie gewidmet hat. Hierzu sei angemerkt, dass der Gletscherschwund in vielen Fällen nicht direkt zum Verschwinden von ganzen Gletschern, sondern zum Eisfreiwerden von Felsgelände und zur Isolierung einzelner Eisflächen (Teilung von Gletschern in mehrere Teile) führt, die Zahl der Gletscher also langsamer abnimmt als deren Fläche. Regional kann kurzfristig trotz sich verringernder Gletscherflächen sogar die Zahl der Gletscher ansteigen. Hinzu kommt, dass vielfach Eisreste unter zunehmender Schuttbedeckung – oft oberflächlich visuell nicht mehr erkennbar – lange Zeit erhalten bleiben und es somit nur zu einem scheinbaren Verschwinden des Gletschereises kommt, das Eis jedoch unter der Schuttdecke durchaus konserviert wird (KELLERER-PIRKLBAUER et al. 2008; LIEB & KELLERER-PIRKLBAUER 2018). Dennoch kann kein Zweifel daran bestehen, dass sich die (österreichischen) Alpen in einem fortschreitenden Pro-

zess der Entgletscherung befinden, der Eisflächen aller Größen und Höhenlagen in gleicher Weise betrifft.

Diese Vorgänge werden schließlich auch in den ausgewählten, in Abbildung 7 gezeigten Massenbilanzzeitreihen veranschaulicht. Eindrucksvoll sieht man bei allen vier Gletschern die stark und in jüngster Zeit (mit Ausnahme von 2013/14) verstärkt nach unten weisenden Entwicklungen, die den anhaltenden Massenverlust belegen. Weder in Bezug auf die oben gezeigten Daten zu den Längenänderungen noch zu den Massenbilanzen ist eine Trendwende in Sicht (Kap. 6). Einige der österreichischen Gletscher weisen mittlerweile Massenbilanzdatenreihen von mehr als 50 Jahren auf. Beispielsweise wird am Hintereisferner in den Ötztaler Alpen seit 1953 die Massenbilanz, in jüngerer Vergangenheit sogar differenziert zwischen Sommer- und Winterbilanz, gemessen. Damit hat dieser Gletscher eine der längsten Messreihen global und gilt auch als globaler Referenzgletscher (WGMS 2021).

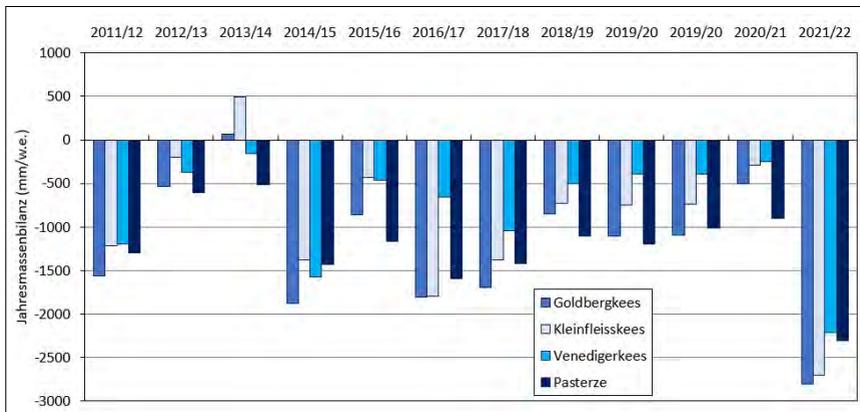


Abbildung 7: Jahresmassenbilanzen vier ausgewählter österreichischer Gletscher (Goldbergkees, Kleinfleisskees, Venedigerkees, Pasterze; alle in den Hohen Tauern) zwischen 2011/12 und 2021/22. Die Jahreswerte sind in mm Wasseräquivalent (mm w. e.) angegeben (Datengrundlage: WGMS)

Figure 7: Annual mass balances of four selected Austrian glaciers (Goldbergkees, Kleinfleisskees, Venedigerkees, Pasterze; all in the Hohe Tauern Range) between 2011/12 and 2021/22. The annual values are given in mm water equivalent (mm w. e.) (data source: WGMS)

## 4 Veränderungen im Permafrost

Wie schon erwähnt, liegen für den Permafrost nur relativ kurze Messreihen vor – für die Bodentemperaturverhältnisse erst seit Mitte der 2000er- und für die Blockgletscherbewegung immerhin seit Mitte der 1990er-Jahre. Mit Modellierungsansätzen für die Temperatur und Rekonstruktion der Bewegungsraten aus photogrammetrischen Daten sind jedoch auch vorsichtige Aussagen über die davor

liegenden Zeiträume möglich. Grundsätzlich ist anzumerken, dass dem bekannten Verlauf der Lufttemperatur (Abb. 2) folgend auch eine wenngleich verzögerte Erhöhung der Temperaturen im Untergrund stattfinden muss. Diese Erhöhung der Untergrundtemperaturen führt zu höheren Deformationsraten im Eis (wärmeres Eis verhält sich weniger starr als kaltes) und zu höheren Bewegungen der Blockgletscher. Dieser Effekt verstärkt sich in positiver Rückkoppelung dadurch, dass in wärmerem Untergrund auch mehr Wasser in flüssiger Form zirkuliert und somit erhöhter hydrostatischer Druck die Bewegung verstärkt.

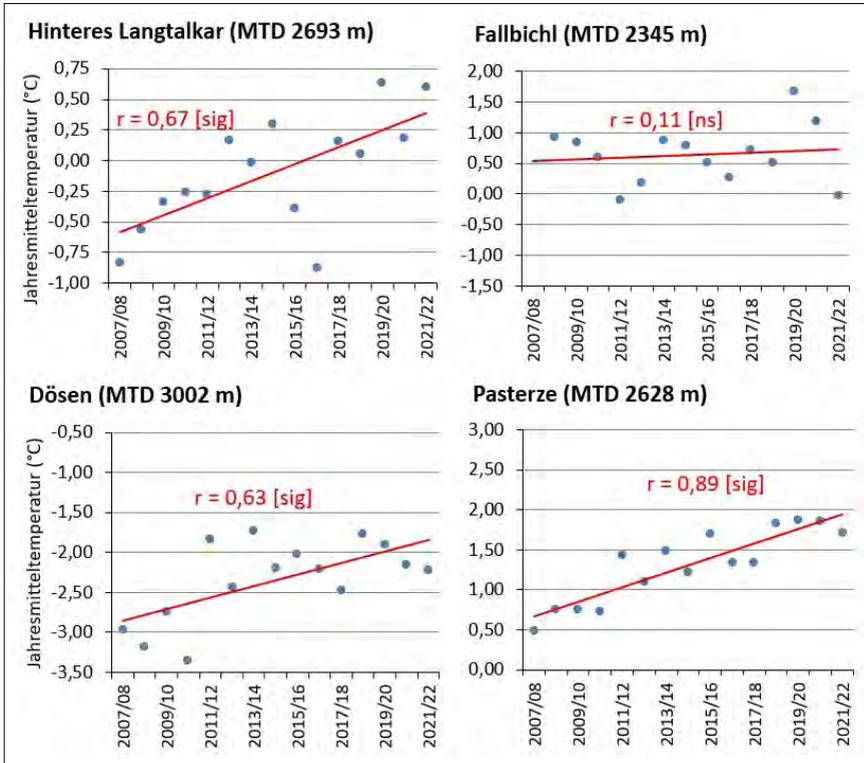


Abbildung 8: Jahresmitteltemperatur der Bodenoberfläche an vier ausgewählten Standorten (Lage in Abb. 1), jeweils für den Zeitraum 1.8.–31.7. des Folgejahres, für die Messjahre von 2007/08 bis 2021/22. Lineare Trends sowie entsprechende Korrelationskoeffizienten (sig = statistisch signifikante Erwärmung, ns = nicht signifikant) sind dargestellt (MTD = Miniatur-Temperatur-Datenlogger; weitere Erläuterungen im Text; eigene Messungen und Berechnungen).

Figure 8: Mean annual temperatures of the ground surface at four selected sites (for locations see Fig. 1), for the time span 1.8.–31.7. of the subsequent year in the period 2007/08–2021/22. Linear trends and corresponding correlation coefficients (sig = statistically significant warming, ns = not significant) are shown (MTD = miniature-temperature-datalogger; further explanations in the text; own measurements and calculations).

Aus dem über 100 Einzelmessstellen umfassenden, vom Erstautor betreuten Messnetz der Bodentemperaturen werden in Abbildung 8 exemplarisch die Jahresmittelwerte von vier Stationen gezeigt. Die Darstellungen lassen zum einen eine sehr starke Variabilität der Werte von Jahr zu Jahr erkennen, was nicht so sehr mit den Lufttemperaturen, sondern primär mit der Schneebedeckung an den Standorten zusammenhängt. Hierbei gilt die Regel, dass die späte Ausbildung einer Winterschneedecke durch starke effektive Ausstrahlung des Untergrundes diesen kühlt, ebenso wie eine späte Ausaperung des Standortes im Sommer dessen Erwärmung hintanhält. Die niedrigsten Jahrestemperaturen an der Oberfläche stellen sich in jenen Jahren ein, in denen die Winterschneedecke spät einsetzt, aber bis weit in den Sommer hinein andauert.

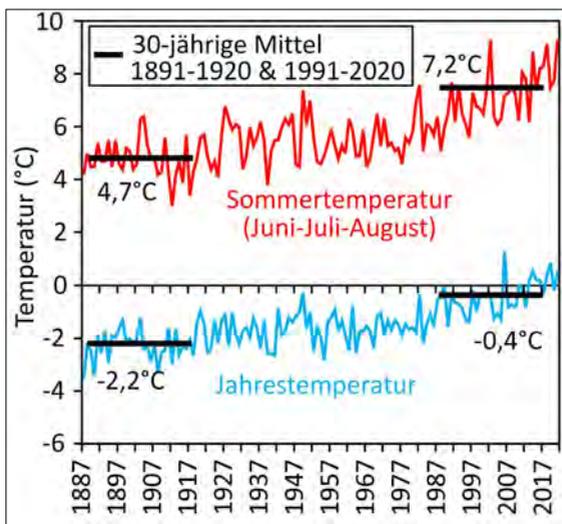


Abbildung 9: Gemessene (2010–2022) und rekonstruierte (1887–2009) Bodentemperaturen am Hochtor, Hohe Tauern – Jahresmittel- (unten) und Sommertemperatur (oben). Mittelwerte für die zwei Klimanormalperioden 1891–1920 und 1991–2020 sind zusätzlich angegeben (weitere Erläuterungen im Text; KELLERER-PIRKLBAUER & EULENSTEIN 2023, verändert).

Figure 9: Measured (2010–2022) and reconstructed (1887–2009) ground temperatures at Hochtor, Hohe Tauern Range – mean annual (below) and summer temperature (above). Mean values of the two climate normal periods 1891–1920 and 1991–2020 are additionally depicted (further explanations in the text; KELLERER-PIRKLBAUER & EULENSTEIN 2023, adapted).

Zum anderen ist an allen Standorten ein Erwärmungstrend erkennbar (lineare Trendgeraden und Korrelationskoeffizienten, beide in Rot, in Abbildung 8), der an den Standorten Hinteres Langtalkar, Dösen und Pasterze auch statistisch signifikant ist. Die erwartete Erwärmung des Untergrundes als Reaktion auf die langfristige Erwärmung der Atmosphäre im Alpenraum (siehe Abb. 2) ist damit belegt, wenngleich die Kürze der Datenreihe die Sicherheit der Aussage relativiert. Die Existenz von Permafrost ist nur am hoch gelegenen Standort Dösen

in allen Jahren sicher, am Standort Hinteres Langtalkar könnte innerhalb der Beobachtungsperiode der Permafrost verschwunden sein (Permafrost-Degradation), wenngleich dessen Reaktivierung nicht vollständig ausgeschlossen werden kann.

Für einen Standort an dem als historischem Verkehrsweg bedeutenden Passübergang des Hochtors (2576 m) wurde aus der Korrelation der Bodentemperatur und der Lufttemperatur der nur 10 km entfernten Station am Hohen Sonnblick (siehe Abb. 2) eine lange Bodentemperaturreihe rekonstruiert, die in Abbildung 9 zu sehen ist. Dies war möglich, da wegen der weitgehenden Schneefreiheit dieses Pass-Standes in der Zeitperiode 2010–2022 die Bodentemperatur am Hochtort mit der Lufttemperatur am Sonnblick sehr gut korreliert und somit die Entwicklung der Monatstemperatur bis ins Jahr 1887 zurück modelliert werden kann. Die berechnete Erwärmung der Bodenoberflächen zwischen zwei Klimareferenzperioden (1891–1920, 1991–2020) lässt einen Anstieg der mittleren jährlichen Bodenoberflächentemperatur um 1,8 °C und der mittleren sommerlichen Bodenoberflächentemperatur sogar um 2,5 °C erkennen. Die sommerliche Erwärmung ist somit deutlich stärker ausgeprägt als die jährliche Erwärmung, was mit früheren Arbeiten und Zukunftsszenarien übereinstimmt (KOTLARSKI et al. 2022). Für den Permafrost am Hochtort bedeutet dies, dass die aktuelle Entwicklung zur Permafrost-Degradation führt und möglicherweise der Standort bald nur mehr (zumindest oberflächlich) saisonalen Frost aufweisen wird (KELLERER-PIRKLBAUER & EULENSTEIN 2023).

Von den Ergebnissen der Messungen in tiefen Bohrlöchern ist vor allem die maximale Mächtigkeit der sommerlichen Auftauschicht (Auftautiefe, engl. „active layer“) von Interesse, welche nicht nur von der Seehöhe, sondern auch von der Beschaffenheit des Untergrundes abhängt. Die längste Datenreihe in Österreich liegt hierfür vom „Bohrloch 3“ am Hohen Sonnblick vor, weist aber wegen technischer Probleme Unterbrechungen auf, weshalb hieraus noch keine allgemeingültigen Aussagen abgeleitet werden können. Nichtsdestotrotz ist aber von den Langzeitbohrlochmessungen in den Schweizer Alpen bekannt, dass sich sowohl die Temperaturen im Permafrost als auch die saisonale Auftauschicht an der Oberfläche signifikant verändert haben, ausgeprägt einerseits als deutliche Erwärmung und andererseits als allgemeine Zunahme der Mächtigkeit der Auftauschicht (PERMOS 2023).

Zu den längsten Reihen von Bewegungsraten aktiver Blockgletscher in Österreich auf der Basis jährlicher direkter Messung gehören die beiden in Abbildung 10 dargestellten Blockgletscher, wobei bei einem der schnelle untere Bereich vom langsameren oberen Bereich unterschieden wird. Erkennbar ist an allen drei Blockgletschern eine gleichsinnige Variation der Bewegungsraten über die Zeit mit jeweils höheren Bewegungen etwa 1–2 Jahre nach wärmeren und vice versa geringeren Bewegungen nach kühleren Phasen, wie Vergleiche mit Lufttemperaturreihen zeigen. Im Jahr 2020/21 wurde an zwei der drei Datenreihen ein neu-

es historisches Hoch erzielt, bei der dritten Datenreihe wurden nur im Zeitraum 2014–2016 höhere Werte ermittelt. Die kalten, schneearmen Bedingungen im Winter 2021/22 sowie der trockene Sommer 2022 verursachten eine Abnahme der Geschwindigkeit im letzten Messjahr 2021/22.

Die Kurven sind in langfristiger Perspektive so zu interpretieren, dass der allmähliche Anstieg der Bewegungsraten nach dem Beginn der Messungen mit dem Anstieg der Lufttemperatur nach der kühleren Phase 1965–1985 erklärt werden kann. Nach dem ersten Peak in den frühen 2000er-Jahren verursachte die zwischenzeitlich etwas eingebremste globale Erwärmung (Hiatus des Langfristtrends; vgl. SCHÖNWIESE 2019: 71) auch in den Hochgebirgen Österreichs etwas permafrostgünstigere Bedingungen mit Verlangsamung der Kriechbewegung der Blockgletscher. Hierauf stiegen die Bewegungsraten wieder recht kontinuierlich bis 2015 an und sanken danach – als Folge einiger relativ permafrostgünstiger Winter (siehe oben) – wieder ab, bevor sie in den letzten Jahren auf neue Maxima stiegen.

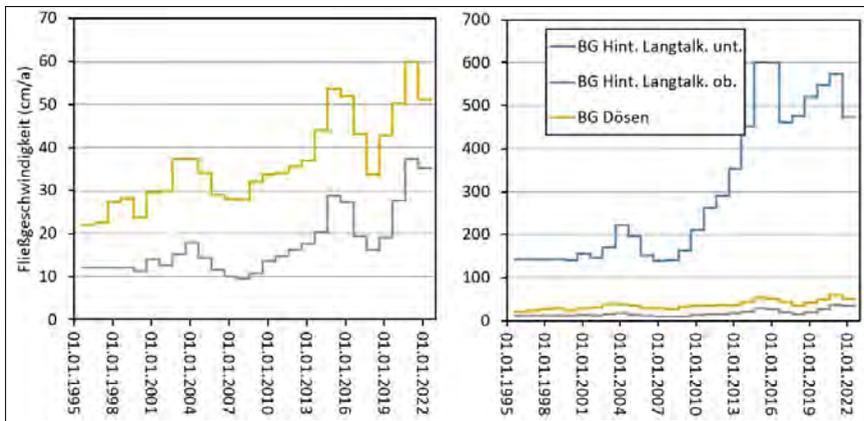


Abbildung 10: Mittlere Bewegungsraten ausgewählter Messpunkte an der Oberfläche zweier aktiver Blockgletscher (BG) – Hinteres Langtalkar (dort in der rechten Graphik unterschieden in oberen, langsameren und unteren, sehr schnellen Bereich) und Dösen – in den Hohen Tauern. Zu beachten ist die Gleichsinnigkeit der Veränderungen, was auf eine klimatische Steuerung hinweist (weitere Erläuterungen im Text; Daten: V. KAUFMANN; eigene Darstellung).

Figure 10: Mean movement rates of selected points at the surface of two active rock glaciers (BG) – Hinteres Langtalkar (there, in the right diagram a distinction is made between the upper, slower and the lower, very fast) and Dösen – in the Hohe Tauern Range. Note that the inter-annual changes are comparable at the two rock glaciers, which points to climatic control (further explanations in the text; data: V. KAUFMANN; own draft).

Ergänzt sei, dass eine allmählich steigende Zahl aktiver Blockgletscher ähnlich hohe oder höhere Bewegungsraten als in Abbildung 10 rechts dargestellt aufweist, und zwar bis zu mehreren Metern pro Jahr. Manche der Blockgletscher im Alpenraum beschleunigten sich in den letzten Jahrzehnten sogar so schnell, dass sie auseinander reißen und dabei Spalten und Abrissnischen bilden, wie beispielsweise

auch am Blockgletscher im Hinteren Langtalkar beobachtet wurde (AVIAN et al. 2005; SCHOENEICH et al. 2014).

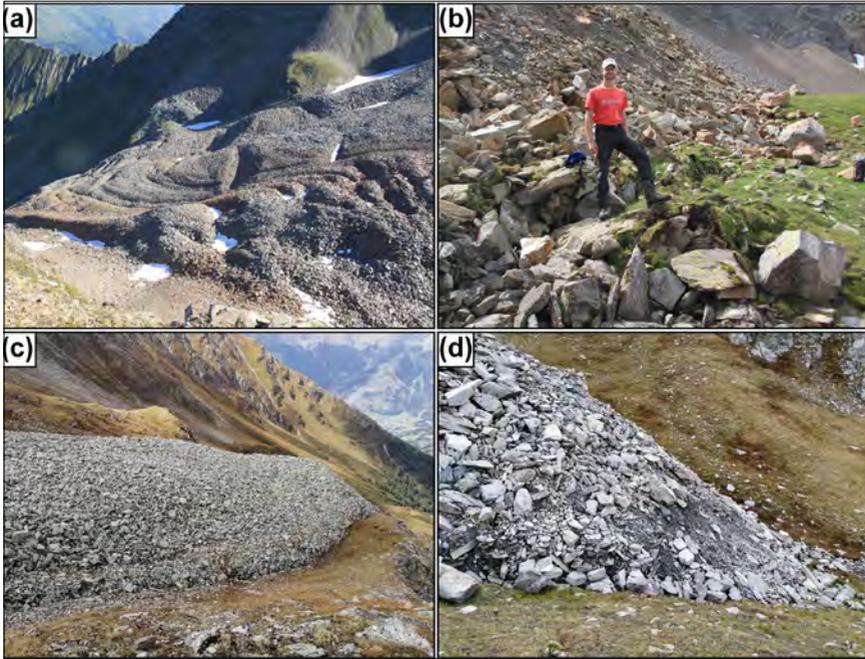


Abbildung 11: Zwei Beispiele aktuell hochaktiver, über alpine Rasen vorstoßender Blockgletscher in den Hohen Tauern – Blockgletscher im Hinteren Langtalkar: (a) Quer- und Längsspalten, welche die Fließstrukturen des Blockgletschers überprägen und Auflösungserscheinungen anzeigen, (b) Aufschiebung der alpinen Grasweide durch die Bulldozer-artige Wirkung der vorstoßenden Blockgletscherstirn; Tschadinhorn Blockgletscher: (c) aktiver Stirnbereich der über einer Steilstufe endet, (d) übersteilte Stirn mit Gesteinsmaterial unterschiedlicher Größe am Fuß; Fotos: Autoren.

Figure 11: Two examples of currently highly active rock glaciers advancing over alpine meadows in the Hohen Tauern Range – Hinteres Langtalkar rock glacier: (a) transversal and longitudinal crevasses remodeling the flow structures of the rock glacier which can be interpreted as signs of decay, (b) deformation of an alpine meadow caused by the bulldozer-like action of the advancing rock glacier front; Tschadinhorn rock glacier: (c) active rock glacier front ending above a steep slope, (d) oversteepened front with rocky material of different size at its foot; photos: authors.

Dadurch rücken diese Blockgletscher dynamisch talwärts vor und überschieben mit ihren aufgewölbten Stirnen den darunter sich ausbreitenden alpinen Rasen (Abb. 11). Dies wird aus der Kombination der genannten thermischen und dynamischen Veränderungen im eisreichen Permafrost mit großen Hangneigungen möglich. So etwa hat die Stirn des Blockgletschers im Hinteren Langtalkar seit den 1990er-Jahren eine Geländekante (Karschwelle) überwunden und gleitet seither – begleitet von gravitativen, bruchhaften Auflösungserscheinungen (unten) und Zerrspalten (oben) – einen steilen Hang hinunter. Die mit solchen Prozessen

verbundenen potenziellen Naturgefahren (AVIAN et al. 2009) werden in Kapitel 6 thematisiert.

## 5 Veränderungen von Gletschern und Permafrost im Beispielgebiet Großglockner/Pasterze

Ein (u. a. durch die Autoren) sehr gut sowohl in Hinblick auf Gletscher als auch auf Permafrost untersuchtes, für die österreichischen Alpen ikonisches Gebiet ist jenes um Österreichs höchsten Berg, den Großglockner (3797 m), und Österreichs größten Gletscher, die Pasterze (LIEB & SLUPETZKY 2011). Auch hier reicht die Erforschung der Gletscher ungleich weiter zurück als die des Permafrostes, und zwar bis weit ins 19. Jahrhundert. So ist die Ausdehnung der Pasterze beim Hochstand in der Mitte des 19. Jahrhunderts nicht nur durch Moränen nachverfolgbar und naturwissenschaftlich (dendrochronologisch) exakt auf 1852–1856 datiert (NICOLUSSI & PATZELT 2000), sondern es liegt neben bildlichen Quellen auch eine exakte Gletscherkarte – eine der ältesten alpenweit – für eine hochstandsnahe Ausdehnung vor. Besonders wichtig aber ist im vorliegenden Kontext der Beginn jährlicher Gletschermessungen durch F. Seeland bereits 1879, der eine Messreihe begründete, die seit damals in nur drei Jahren unterbrochen wurde (Abb. 12). Mit großer Wahrscheinlichkeit handelt es sich damit um die weltweit längste (auf realen jährlichen Messungen beruhende und nicht wie bei vielen anderen Gletschern später rekonstruierte) Datenreihe der Längenänderungen eines Gletschers. Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurde das jährlich durchgeführte Monitoring auch um Messungen der Höhenänderung und der Bewegung an der Gletscheroberfläche erweitert (Details in LIEB & KELLERER-PIRKLBAUER 2018 und KELLERER-PIRKLBAUER & BAUER 2021).

Die in der Abbildung 12 erkennbare Entwicklung weicht insofern von der in Kapitel 3 aufgezeigten insofern ab, als die Pasterze als sehr großer Gletscher (1852–56: 26,5 km<sup>2</sup>, 2019: 15,4 km<sup>2</sup>) die Vorstoßphasen anderer Gletscher nicht mitmachte, weil ihre Reaktionszeit länger als die Dauer der jeweils gletschergünstigen Klimaphasen war (ZUO & OERLEMANS 1997). Allein zwischen etwa 1910 und den 1930er-Jahren war der Rückgang deutlich verlangsamt (mit geringfügigen Vorstößen in einigen Jahren). Die gletschergünstige Phase zwischen 1965 und 1985 hingegen bewirkte an der Pasterze keinen Längengewinn, sehr wohl aber Massenzuwächse und hohe Bewegungsraten, die mit den entsprechenden Messungen dokumentiert wurden. Seit den späten 1980er-Jahren beschleunigte sich der Rückgang und ist spätestens seit der Jahrtausendwende von einem massiven Eiszerfall begleitet, der zuletzt den rund 40 ha großen Pasterzensee hat entstehen lassen und sich aktuell massiv weiter fortsetzt: Die Gletscherzunge ist auf dem Großteil ihrer aktuell noch rund 2,3 km<sup>2</sup> umfassenden Fläche in Zerfall und beginnt, ihre Eisverbindung mit ihrem im 3000 m-Niveau gelegenen Nährgebiet zu

verlieren (und solcherart zu einem nicht mehr aktiv ernährten Toteiskörper zu werden).

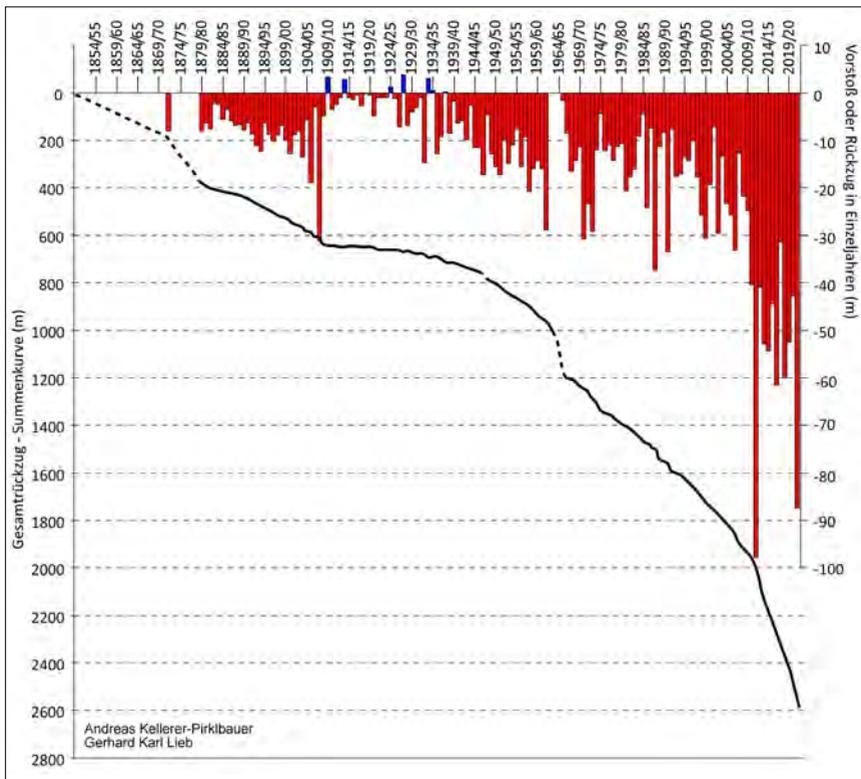


Abbildung 12: Längenänderungen der Pasterze nach Einzeljahren (Balken, y-Achse rechts) und aufsummiert (schwarze Linie, y-Achse links). Zu beachten ist, dass der letzte Vorstoß der Pasterze in den 1930er-Jahren stattfand (eigene Darstellung).

Figure 12: Length variations of Pasterze Glacier in single years (bars, y-axis right) and cumulative (black line, y-axis left). Note that the last advance of the glacier took place in the 1930ies (own draft).

Die Pasterze ist damit ein hervorragendes Beispiel für die fundamentalen Veränderungen des Landschaftsbildes im Hochgebirge in kurzer Zeit, was in Bildpaaren darzustellen – wie in Kapitel 1 schon erwähnt – zu einem geradezu standardisierten Stilmittel der Veranschaulichung von Klimawandelfolgen geworden ist (Abb. 13). Diese Veränderungen umfassen den schon erwähnten Eiszerfall, das Eisfreiwerden von Geländeteilen, die zunehmende Schuttbedeckung der Gletscherzunge, die Bildung von Bächen und Seen samt zugehörigen Sedimentationsprozessen, die Vegetationsukzession und die starke Umlagerung von Material, das seiner Stütze durch das abschmelzende Eis beraubt ist. Diese Umlagerung kann

durch unterschiedliche Prozesse erfolgen – im Lockermaterial meist durch Erosion und Murentätigkeit, im Fels durch Felsstürze.



Abbildung 13: Die Pasterze in Blickrichtung Westnordwest von der Franz-Josefs-Höhe aus gesehen (a) um 1920 (Foto: Archiv Grazer Geographie) und (b) Mitte Juli 2023 (Foto: Autoren). Diese „klassische“ Ansicht der Pasterze und des Großglockners veranschaulicht vor allem den Massenverlust der Gletscherzunge, die Vergrößerung des Gletschervorfeldes mit Seenbildung sowie die damit verbundene allgemeine Veränderung des Landschaftsbildes.

Figure 13: Pasterze Glacier seen in westnorthwest direction from the viewpoint Franz-Josefs-Höhe (a) around 1920 (photo: archive Graz Geography) and (b) in the middle of July 2023 (photo: authors). This „classic“ view of the Pasterze Glacier and Grossglockner primarily illustrates the mass loss of the glacier tongue, the expansion of the proglacial area with development of lakes as well as the associated general change in the landscape.

Die zuletzt genannten schwerkraftbedingten (gravitativen) Prozesse können sich auch aufgrund der Lockerung von zuvor durch Permafrosteis verfestigtem Substrat einstellen. Ganzjährig im Untergrund vorhandenes Eis wirkt bei tiefen Temperaturen stabilisierend (Eiszement) und kann nicht nur Schuttkörper (z. B. Blockgletscher), sondern auch Felswände und Grate zusammenhalten. Wie in Kapitel 4 dargelegt wird wärmeres Eis verformbarer und/oder durch eindringendes Wasser können die innere Reibung von Gesteinsmassen herabgesetzt und diese gravitativ mobilisiert werden, also etwa als Felsstürze niedergehen. Ein solches mehrphasiges Ereignis ist an der Pasterze für den Mittleren Burgstall, einen Felsgipfel am Rand des Gletschers, für den Zeitraum 2007–2008 dokumentiert und exakt ausgewertet worden (KAUFMANN et al. 2015; KELLERER-PIRKLBAUER et al. 2012 a). Das betroffene Areal ist bis heute noch nicht vollständig zur Ruhe gekommen und wird im Rahmen eines Projektes gemeinsam mit der GeoSphere Austria (M. Avian) weiter beobachtet.

Abbildung 14 zeigt die damit verbundenen Veränderungen der Oberflächenformen im Zeitraum 2006 bis 2008 sowie einen Standort für Bodentemperaturmonitoring am Gipfelplateau des Mittleren Burgstalls. Im Zeitraum 2007 bis 2022 veränderte sich dort die mittlere jährliche Bodentemperatur an der Oberfläche und in der Tiefe (10 und 55 cm) von überwiegend leicht negativ zu überwiegend positiv, was auf warme Permafrostbedingungen schließen lässt. Solche thermischen Bedingungen führen im Allgemeinen dazu, dass aktuell (gerade) noch

gefrorene Gesteinsmassen leichter deformiert werden können. Auch wenn hier die Bodentemperatur-Messreihe erst mit dem Ereignis begonnen wurde, besteht in Analogie zu Abbildung 9 kein Zweifel daran, dass das Substrat erst nach den 1980er- oder 1990er-Jahren jenes Temperaturniveau erreichte, das die Destabilisierung hervorrief. Das Beispiel zeigt das Zusammenwirken von einsinkenden Gletscheroberflächen, die die Wände nicht mehr stützen, und sich erwärmendem Permafrost, der auch das innere Gefüge von Felsflanken schwächt. Vorgänge in dieser oder ähnlichen Prozesskombinationen sind in den höchsten Lagen der (österreichischen) Alpen in Zukunft verstärkt zu erwarten.

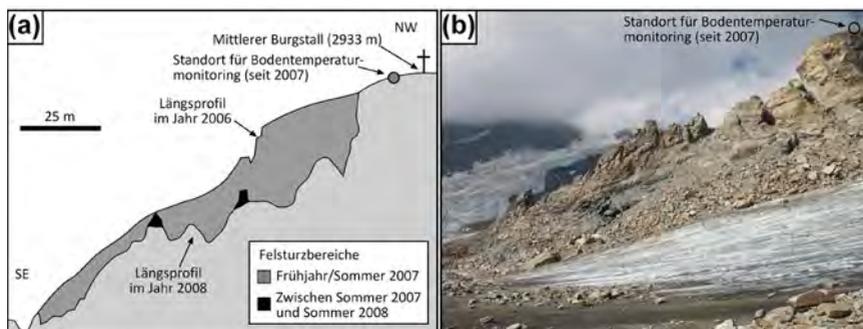


Abbildung 14: Felssturzgebiet Mittlerer Burgstall, Pasterzengebiet: (a) Längsprofil durch den Südgrat des Mittleren Burgstalls vor und nach den Felssturzereignissen von 2007–2008 und (b) eine Ansicht des verstürzten Grates von Osten aus gesehen. Langzeit-Bodentemperaturdaten vom Standort in der Abbildung zeigen deutliche Permafrost-Degradation im Zeitraum 2007–2022; Foto: Autoren.

Figure 14: Rock fall area Mittlerer Burgstall near the Pasterze Glacier: (a) Longitudinal profile through the southern crest of the Mittlerer Burgstall before and after the rock fall events of 2007–2008 and (b) a view of the collapsed crest from the east. Longterm surface temperature data at the site shown in the figure (circle) prove significant permafrost-degradation in the period 2007–2022; photo: authors.

## 6 Diskussion

Mit den präsentierten Ergebnissen liegen aussagekräftige quantitative Angaben über die Wirkungen des aktuellen Klimawandels auf Gletscher und Permafrost, zwei klimasensitiven abiotischen Prozessgruppen, in den (österreichischen) Alpen vor. Allerdings kann die Validität der Aussagen einerseits in Bezug auf die Repräsentativität der Stichprobe und andererseits auf die Relevanz der durch das Monitoring erfassten Größen hinterfragt werden. In Bezug auf den erstgenannten Einwand ist festzuhalten, dass die vom Gletschermessdienst erhobenen Längsänderungen sich auf alle vergletscherten Gebirgsgruppen Österreichs (und die Massenbilanz-Messungen zumindest auf die meisten) verteilen und auch Gletscher aller Größenklassen sowie unterschiedlicher Seehöhen umfassen. Auch

ist aus Einzelstudien bekannt, dass sich das Gletscherverhalten langfristig nicht grundlegend zwischen Gebirgsgruppen, ja nicht einmal zwischen Gletschern unterscheidet. Ebenso zeigen fernerkundungsgestützte, großflächige und inventarmäßige Aufnahmen der Vergletscherung (z. B. PAUL et al. 2020 für die gesamten Alpen), dass kein Grund besteht, an der Gültigkeit der getätigten Aussagen in Bezug auf den Gletscherschwund zu zweifeln.

Mitunter wird auch die Verwendung der Längenänderung als Proxy für die Änderung der Gletscherflächen kritisiert und angesichts der verfügbaren technischen Möglichkeiten die Verwendung von Fernerkundungsmethoden gefordert. Dem ist entgegenzuhalten, dass letztere technisch sowohl in Bezug auf die Aufnahme als auch auf die Auswertung aufwändig, somit teuer und nur in unregelmäßigen Zeitabständen für ein so großes Gebiet wie die österreichischen Alpen durchführbar sind. Hinzu kommt, dass es auch mit diesen Methoden schwierig ist, Gletscherbegrenzung (aufgrund von Schnee- oder Schuttbedeckung) exakt festzulegen, da immer größere Anteile der noch vorhandenen Gletscherflächen von sogenannten Obermoränen (oder supraglazialem Schutt) bedeckt werden, wie beispielsweise für die Pasterze gezeigt wurde (KELLERER-PIRKLBAUER et al. 2008; LIEB & KELLERER-PIRKLBAUER 2018; AVIAN et al. 2020). Die Erhebung der Längenänderung vor Ort durch sach- und ortskundige ehrenamtlich tätige Personen hat sich hingegen bewährt und liefert jahresscharf Daten, die gemittelt für ganz Österreich den Gletscherschwund ausreichend exakt (und in einer gut vorstellbaren Maßzahl) widerspiegeln.

Wünschenswert wären schließlich auch exakte Angaben zur Veränderung der (wasserwirtschaftlich relevanten) Volumenverluste der Gletscher. Wie schon erwähnt würde dies zum einen die exakte Kenntnis der Untergründe der Gletscher (Modellierungsansätze hierzu auf Basis von Eisradardaten einzelner Gletscher existieren; HELFRICHT et al. 2019) und zum anderen die exakte Ermittlung der Höhenänderungen der Gletscheroberfläche erfordern, die ebenfalls aufwändig ist und daher nur an wenigen Gletschern (z. B. Pasterze) gemessen wird. Auch hierbei gilt für mögliche Fernerkundungsverfahren die Einschränkung von Aufwand, Kosten und Unsicherheit der Abgrenzung und damit Quantifizierung von Gletscherflächen und -volumina, die Fernerkundungsansätzen inhärent sind (PAUL et al. 2020).

Für den Permafrost sind die verfügbaren Ergebnisse sowohl zeitlich durch kurze Reihen als auch örtlich eingeschränkt, weil kein die gesamten österreichischen Alpen abdeckendes Messnetz existiert. Jedoch besteht auch hierbei kein Grund, die Repräsentativität der – vornehmlich in den Hohen Tauern gewonnenen – Aussagen für die gesamten österreichischen Alpen (sowie für den gesamten Alpenbogen; KELLERER-PIRKLBAUER et al. 2018) in Frage zu stellen. In vielen gesamtalpinen Studien (z. B. MAIR et al. 2011; SCHOENEICH et al. 2014) hat sich gezeigt, dass sich die Prozesse im Permafrost alpenweit ähneln, inklusive der in den letzten Jahrzehnten beobachtbaren Tendenz vieler aktiver Blockgletscher

zu markanten Bewegungszunahmen (Kap. 4) in stärker geneigtem Gelände (z. B. ROER et al. 2008; SCOTTI et al. 2017). Dennoch sind gerade beim Permafrost auch Wissenslücken zu beklagen, die sich aus der geringen Zahl an tiefen Bohrlöchern in Österreich (maximale Tiefen in Österreich bis 30 m am Kitzsteinhorn; HARTMEYER et al. 2012) ergeben, weshalb kaum Aussagen über die Variabilität der Auftautiefe als zentrale Größe der Permafrost-Dynamik getätigt werden können. Nichtsdestoweniger kann aber auf Basis von Bohrlochdaten in anderen Teilen der Alpen sowie in den nordischen Ländern inklusive Spitzbergen gezeigt werden, dass sich zumindest seit der Jahrtausendwende die Permafrost-Temperaturen in 10 und 20 m Tiefe deutlich erhöht haben (NOETZLI et al. 2020).

In Bezug auf die gesellschaftliche Relevanz von Gletscherschwund und Permafrost-Degradation kommt den potenziell in diesen Prozessen begründeten Naturgefahren eine besondere Rolle zu. Natürliche Prozesse werden erst dadurch, dass sie Menschenleben oder Infrastruktur gefährden, zu (potenziellen) Naturgefahren. Somit hängt deren Ausmaß nicht nur von der Art, der Größe (Magnitude) und der Häufigkeit (Frequenz) der Ereignisse ab, sondern auch von soziökonomischen Faktoren wie der Anwesenheit von Menschen oder dem Wert der den Prozessen exponierten Artefakte (z. B. Gebäude). Hierbei kann für Österreich die Feststellung getroffen werden, dass die gegenständlichen Prozesse direkt nur hochgelegene, nicht dauernd besiedelte Flächen betreffen, die sich auf nur wenige Prozente der Staatsfläche konzentrieren – nur an ganz wenigen Stellen greifen diese Prozesse bis in Täler durch, wofür die Eislawinen vom Nördlichen Bockkarkees (Glocknergruppe, Salzburg) ein Beispiel darstellen (KELLERER-PIRKLBAUER et al. 2012 b). Allerdings können durch Folge- oder Kaskadenprozesse (z. B. Aufstau eines Gewässers durch eine Mure und nachfolgende Überschwemmung) auch tiefer gelegene und besiedelte Gebiete betroffen sein. Gefährdungen dieser Art sind jedoch in den höheren, steileren und in den Tälern vielfach dichter besiedelten Westalpen ungleich größer als in den österreichischen Alpen.

Hervorzuheben ist schließlich die positive Rückkoppelung von Gletscherschwund und Permafrost-Degradation in Bezug auf potenziell gefährliche Prozesse. Als ein aktuelles Beispiel hierfür zeigt Abbildung 15 den Felssturz, der sich am 11.06.2023 am Fluchthorn ereignete. Dieser erklärt sich in seiner Grundanlage zum einen aus dem Schwinden des die Flanke ursprünglich abstützenden Gletschers und zum anderen aus der Kopplung der Permafrost-Temperatur in den länger aperen Felsen an die wärmer gewordene Atmosphäre. Die beiden in Abbildung 15 gezeigten Bilder wurden eine Woche nach dem Ereignis aufgenommen. Vom Südgipfel des Fluchthorns hatten sich ca. 1 Million m<sup>3</sup> Gestein gelöst, wodurch sich die Gipfelhöhe um 19 m verringerte. Die Gesteinsmassen trafen ein feuchtes Gebiet mit einigen kleinen Seen, was dazu führte, dass Geröll und Wasser das Furtschöltal erreichten und ein Murgang flussabwärts entstand. Da das Ereignis in einem sehr entlegenen, nur gelegentlich von Alpinistinnen und Alpinisten

aufgesuchten Gebiet stattfand, gab es weder Menschenleben noch nennenswerte Schäden an Infrastruktur zu beklagen.

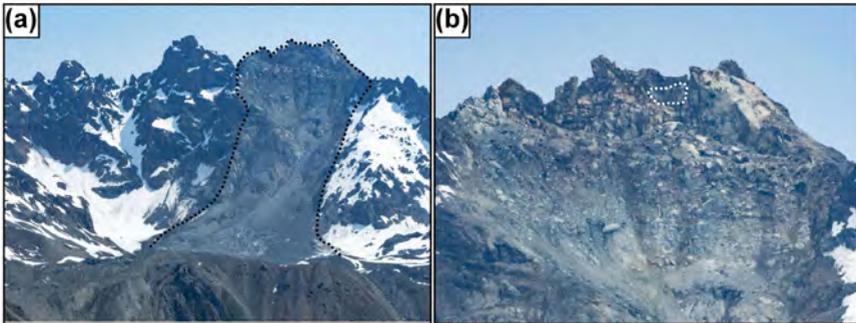


Abbildung 15: Blick von Westen auf Abrissbereich, Sturzbahn und Ablagerungsgebiet des Felssturzes vom 11.06.2023 am Südlichen Fluchthorn (Jamtal, Silvrettagruppe, Tirol). (a) Anrissbereich, worin sich die Gipfelhöhe von 3399 auf 3380 m verringerte, und Teile der Sturzbahn; (b) Zoomaufnahme mit markiertem Bereich des wahrscheinlichen Auftretens von massivem Permafrosteis; Fotos: M. Mergili.

Figure 15: View from the west to the detachment, transportation and deposition area of the rock fall at Southern Fluchthorn (Jamtal, Silvretta Mountains, Tyrol). (a) Detachment area, where the summit elevation was reduced from 3399 to 3380 m, and parts of the transportation area, (b) zoom image with marked area of probable occurrence of massive permafrost ice; photos: M. Mergili.

## 7 Fazit

Da Vorgänge dieser Art auch in stärker besuchten und bebauten Arealen bereits eingetreten und weiterhin zu erwarten sind (z. B. in Gletscherskigebieten oder bei Anlagen der Energiewirtschaft im Hochgebirge), wäre es falsch, aus dem Fallbeispiel den Schluss zu ziehen, dass die Naturgefahren zu vernachlässigen wären. Ganz im Gegenteil wird es durch das ungebremste, lokal auch verstärkte Fortschreiten von Gletscherschwund und Permafrost-Degradation zu einer Steigerung der Frequenz und Magnitude der in Rede stehenden Prozesse kommen – gerade auch in Gebieten bzw. Höhenlagen, in denen dies bisher noch nicht der Fall war. Verstärkend wirkt hierbei die in der wärmeren Atmosphäre gesteigerte Intensität von Starkregenereignissen als Auslöser von Massentransporten auch über größere Distanzen und in allen Höhenlagen. Es wird also durchaus zu einer gravierenden Veränderung der Relief- und Landschaftsdynamik kommen (HÄBERLI et al. 2019), wobei auch von neu entstehenden Landschaftselementen wie Seen weitere Gefahren ausgehen können, welche sich im Steilrelief der Alpen auch auf tiefere Lagen auswirken können.

Dennoch betreffen die in Rede stehenden Veränderungen, so gravierend sie sein mögen, primär hochgelegene Flächen, die nur einen kleinen Anteil der Staats-

fläche Österreichs ausmachen (Permafrost nach Kapitel 1 nur 1,9 %). Hochwertige Infrastrukturen können darüber hinaus durch in langen Zeiträumen entwickelte Strategien und Maßnahmen der Naturgefahren-Prävention geschützt werden. Mitunter diskutierte nachteilige Auswirkungen auf den für die österreichischen Alpen ökonomisch so wichtigen Tourismus werden sich in Grenzen halten: Von nicht mehr begehbaren Bergwegen und alpinen Routen in den von Gletscherschwund und Permafrost-Degradation betroffenen Hochlagen abgesehen, sind kaum Einbußen zu erwarten. Dies gilt ebenso für die acht österreichischen Gletscherskigebiete, die auch nach Einstellung des (sommerlichen) Skibetriebs attraktive Destinationen bleiben. Die hydrologischen Auswirkungen des Gletscherschwundes sind lokal und regional durch den Wegfall der Gletscherspende (samt sommerlichen Abflussspitzen) markant, beeinflussen den gesamtösterreichischen Wasserhaushalt bei den erwarteten geringen Veränderungen der jährlichen Niederschlagssummen (IPCC 2023) aber nur wenig. Auf die Trinkwasserversorgung der österreichischen Bevölkerung, die aus unterirdischen Aquiferen sichergestellt wird, hat der Gletscherschwund gar keinen nennenswerten Einfluss.

Auch wenn somit die Folgen des Gletscherschwundes und der Permafrost-Degradation für einen hoch entwickelten Staat wie Österreich, wenngleich mit erhöhten Kosten, beherrschbar bleiben dürften, seien doch zwei Postulate an den Schluss gestellt: Das eine richtet sich an die Politik, die noch viel ambitionierter als bisher den Klima- und Umweltschutz in alle Politikbereiche integrieren muss. Das andere besteht in der Forderung nach der Fortführung des Monitorings von Gletschern und Permafrost, dessen Ergebnisse weiterhin eine faktenbasierte Grundlage für politische Entscheidungen liefern müssen.

## 8 Literatur

- AVIAN, M., KAUFMANN, V. & LIEB, G.K. (2005): Recent and Holocene dynamics of a rock glacier system: The example of Langtalkar (Central Alps, Austria). – *Norsk Geogr. Tidsskr.*, **59**: 149–156.
- AVIAN, M., KELLERER-PIRKLBAUER, A. & BAUER, A. (2009): LiDAR for monitoring mass movements in permafrost environments at the cirque Hinteres Langtal, Austria, between 2000 and 2008. – *Nat. Hazard Earth Sys.*, **9**: 1087–1094.
- AVIAN, M., BAUER, C., SCHLÖGL, M., WIDHALM, B., GUTJAHR, K.H., PASTER, M., HAUER, C., FRIESSENBICHLER, M., NEUREITER, A., WEYSS, G., FLÖDL, P., SEIER, G. & SULZER, W. (2020): The status of earth observation techniques in monitoring high mountain environments at the example of Pasterze Glacier, Austria: data, methods, accuracies, processes, and scales. – *Remote Sens.*, **12**: 1251; Basel; doi.org/10.3390/rs12081251.
- BARSCHE, D. (1996): Rockglaciers. Indicators for the present and former geoecology in high mountain environments. – *Springer Series in Physical Environment*, **16**: 331; Berlin, Heidelberg, New York (Springer Verlag).
- BOECKLI, L., BRENNING, A., GRUBER, S. & NOETZLI, J. (2012): Permafrost distribution in the European Alps: calculation and evaluation of an index map and summary statistics. – *Cryosphere*, **6** (4): 807–820; doi.org/10.5194/tc-6-807-2012.

- CHAIX, A. (1919): Coulées de blocs (rock-glaciers, rock-streams) dans le parc national Suisse de la Basse-Engadine. – *Cr Séances Soc Phys Hist Nat Genève*, **36**: 12-15.
- FINSTERWALDER, S. (1928): Begleitworte zur Karte des Gepatschferners. – *Zeitschr. f. Gletscherkunde*, **16**: 20-41.
- HAEBERLI, W. (1973): Die Basis-Temperatur der winterlichen Schneedecke als möglicher Indikator für die Verbreitung von Permafrost in den Alpen. – *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, **9**: 221-227.
- HAEBERLI, W., OERLEMANS, J. & ZEMP, M. (2019): The future of alpine glaciers and beyond. – *Oxford Research Encyclopedia. Climate Science*: **36**; Oxford/USA (Oxford University Press); doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.769.
- HARTMEYER, I., KEUSCHNIG, M. & SCHROTT, L. (2012): A scale-oriented approach for the long-term monitoring of ground thermal conditions in permafrost-affected rock faces, Kitzsteinhorn, Hohe Tauern Range, Austria. – *Austrian J Earth Sci*, **105** (2): 128-139.
- HELFRICHT, K., HUSS, M., FISCHER, A. & OTTO, J.C. (2019): Calibrated Ice Thickness Estimate for All Glaciers in Austria. – *Frontiers in Earth Science*, **7**: 58; doi.org/10.3389/feart.2019.00068.
- IPCC (2023): Summary for Policymakers. – *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. LEE & J. ROMERO (eds.)], 1-34. IPCC, Geneva, Switzerland; doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.
- KAUFMANN, V., KELLERER-PIRKLBAUER, A., LIEB, G.K., SLUPETZKY, H. & AVIAN, M. (2015): Glaciological Studies at Pasterze Glacier (Austria) based on aerial photographs. – In: LI, J. & YANG, X. (Hrsg.): *Monitoring and Modeling of Global Changes: A Geomatics Perspective*. Springer Remote Sensing/Photogrammetry. – 173-198; Dordrecht (Springer); doi.org/10.1007/978-94-017-9813-6\_9.
- KELLERER-PIRKLBAUER, A. & BAUER, C. (2021): Von Bergspitzen zu Wüstenregionen: Ein Überblick über geomorphologische Forschungen an der Geographie der Universität Graz im Zeitraum 1886 bis 2021. – In: ČEDE, P., FLECK, D. & LIEB, G.K. (Hrsg.): *150 Jahre Grazer Geographie 1871–2021*. – *Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung*, **51**: 133-154.
- KELLERER-PIRKLBAUER, A. & EULENSTEIN, J. (2023): The summer heatwave in 2022 and its role in changing permafrost and periglacial conditions at a historic mountain pass in the Eastern Alps (Hochtor, Hohe Tauern Range, Austria). – *Permafrost and Periglacial Processes*; doi.org/10.1002/ppp.2205.
- KELLERER-PIRKLBAUER, A. & KAUFMANN, V. (2012): About the relationship between rock glacier velocity and climate parameters in central Austria. – *Austrian Journal of Earth Sciences*, **105** (2): 94-112.
- KELLERER-PIRKLBAUER, A., LIEB, G.K., AVIAN, M. & GSPURNING, J. (2008): The response of partially debris-covered valley glaciers to climate change: The example of the Pasterze Glacier (Austria) in the period 1964 to 2006. – *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, **90** (A/4): 269-285.
- KELLERER-PIRKLBAUER, A., AVIAN, M., LIEB, G.K. & CARRIVICK, J. (2012 a): Climate change and rock fall events in high mountain areas: numerous and extensive rock falls in 2007 at Mittlerer Burgstall, Central Austria. – *Geografiska Annaler Ser. B*, **94**: 59-78; doi.org/10.1111/j.1468-0459.2011.00449x.
- KELLERER-PIRKLBAUER, A., SLUPETZKY, H. & AVIAN M. (2012 b): Ice-avalanche impact landforms: the event in 2003 at the glacier Nördliches Bockkarkees, Hohe Tauern Range, Austria. – *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, **94/1**: 97-115. https://www.jstor.org/stable/41431041.
- KELLERER-PIRKLBAUER, A., DELALOYE, R., LAMBIEL, C., GÄRTNER-ROER, I., KAUFMANN, V., SCAPOZZA, C., KRAINER, K., STAUB, B., THIBERT, E., BODIN, X., FISCHER, A., HARTL, L., MORRA DI CELLA, U., MAIR, V., MARCER, M. & SCHOENEICH, P. (2018): Interannual variability of rock glacier flow velocities in the European Alps. – In: *5<sup>th</sup> European Conference on Permafrost – Book of Abstracts*. – 396-397; Chamonix, France.

- KELLERER-PIRKLBAUER, A., AVIAN, M., BENN D.I., BERNSTEINER, F., KRISCH, P. & ZIESLER, C. (2021): Buoyant calving and ice-contact lake evolution at Pasterze Glacier (Austria) in the period 1998–2019. – *The Cryosphere*, **15** (3): 1237–1258; doi.org/10.5194/tc-15-1237-2021.
- KOTLARSKI, S., GOBIET, A., MORIN, S., OLEFS, M., RAJCAK, J. & SAMACOÏTS, R. (2022): 21<sup>st</sup> century alpine climate change. – *Climate Dynamics*, **60**: 65–86. doi.org/10.1007/s00382-022-06303-3.
- LIEB, G.K. & KELLERER-PIRKLBAUER, A. (2018): Die Pasterze, Österreichs größter Gletscher, und seine langjährige Messreihe in einer Ära massiven Gletscherschwundes. – In: FISCHER, A., PATZELT, G., ACHRAINER, M., GROSS, G., LIEB, G.K., KELLERER-PIRKLBAUER, A. & BENDLER G. (2018): Gletscher im Wandel. 125 Jahre Gletschermessdienst des Alpenvereins. – 31–51; Berlin (Springer Spektrum).
- LIEB, G.K. & KELLERER-PIRKLBAUER, A. (2019): Das Eis und die Berge und warum sie untrennbar zusammengehören. – *Berg 2020* (Alpenvereinsjahrbuch „Zeitschrift Band 144“): 62–69; München, Innsbruck, Bozen.
- LIEB, G.K. & KELLERER-PIRKLBAUER, A. (2023): Gletscherbericht 2021/2022 – Sammelbericht über die Gletschermessungen des Österreichischen Alpenvereins im Jahr 2022. – *Bergauf* **2022** (03): 10–21; Innsbruck. [https://www.alpenverein.at/portal\\_wAssets/docs/service/presse/2023/Gletscherbericht-2021-22/Gletscherbericht\\_Bergauf\\_2\\_23.pdf](https://www.alpenverein.at/portal_wAssets/docs/service/presse/2023/Gletscherbericht-2021-22/Gletscherbericht_Bergauf_2_23.pdf).
- LIEB, G.K. & SLUPETZKY, H. (2011): Die Pasterze. Der Gletscher am Großglockner. – 158; Salzburg (Pustet Verlag).
- LIEB, G.K., KELLERER-PIRKLBAUER, A., KAUFMANN, V. & AVIAN, M. (2016): Das Grazer Permafrost-Monitoring-Netzwerk im Nationalpark Hohe Tauern (Österreich). – *Joannea Geol. Paläont.*, **12**: 9–16; Graz.
- MAIR, V., ZISCHG, A., LANG, K., TONIDNADEL, D., KRAINER, K., KELLERER-PIRKLBAUER, A., DELINE, P., SCHOENEICH, P., CREMONESE, E., POGLIOTTI, P., GRUBER, S. & BÖCKLI, L. (2011): PermaNET – Permafrost Long-term Monitoring network. Synthesebericht. – INTER-PRAEVENT Schriftenreihe 1, Report 3: 24; Klagenfurt.
- NICOLUSSI, K. & PATZELT, G. (2000): Untersuchungen zur holozänen Gletscherentwicklung von Pasterze und Gepatschferner (Ostalpen). – *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, **36**: 1–87.
- NOETZLI, J., CHRISTIANSEN, H.H., HRBACEK, F., ISAKSEN, K., SMITH, S.L., ZHAO, L. & STRELETSKIY, D.A. (2020): Permafrost thermal state. – In: BLUNDEN, J. & BOYER, T. (Hrsg.): State of the Climate in 2020. – *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **102** (8): Si–S42–44; doi.org/10.1175/2021BAMS-StateoftheClimate.1.
- PASCHINGER, V. (1959): Die verschwundenen Gletscher der Ostalpen (seit dem letzten Hochstand um 1850). – *Abhandlungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft*, **16**: 67; Wien.
- PATZELT, G. (2018): Die Längenmessungen des Alpenvereins an Ostalpengletschern. – In: FISCHER, A., PATZELT, G., ACHRAINER, M., GROSS, G., LIEB, G.K., KELLERER-PIRKLBAUER, A. & BENDLER G.: Gletscher im Wandel. 125 Jahre Gletschermessdienst des Alpenvereins. – 7–15; Berlin (Springer Spektrum).
- PAUL, F., RASTNER, P., AZZONI, R.S., DIOLAIUTI, G., FUGAZZA, D., LE BRIS, R., NEMEC, J., RABATEL, A., RAMUSOVIC, M., SCHWAIZER, G. & SMIRAGLIA, C. (2020): Glacier shrinkage in the Alps continues unabated as revealed by a new glacier inventory from Sentinel-2. – *Earth System Science Data*, **12**: 1805–1821; doi.org/10.5194/essd-12-1805-2020.
- PELLET, C., BODIN, X., CUSICANQUI, D., DELALOYE, R., KÄÄB, A., KAUFMANN, V., NOETZLI, J., THIBERT, E., VIVERO, S. & KELLERER-PIRKLBAUER, A. (2022): Cryosphere – Rock glacier velocity. – In: State of the Climate in 2021. – *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **103** (8): S43–S44; doi.org/10.1175/2022BAMSStateoftheClimate.1
- PERMOS (2023): Swiss Permafrost Bulletin 2022 (Hrsg.: NOETZLI, J. & PELLET, C.). – 22 S.; doi.org/10.13093/permos-bull-2023.

- PILLEWIZER, W. (1938): Photogrammetrische Gletscheruntersuchungen im Sommer 1938. – Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde, **9** (19): 367-372.
- ROER, I., HAEBERLI, W., AVIAN, M., KAUFMANN, V., DELALOYE, R., LAMBIEL, C. & KÄÄB, A. (2008): Observations and considerations on destabilizing active rock glaciers in the European Alps. – In: Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Permafrost. – 1505-1510; Fairbanks, Alaska.
- SCHOENEICH, P., BODIN, X., ECHELARD, T., KAUFMANN, V., KELLERER-PIRKLBAUER, A., KRY-SIECKI, J.-M. & LIEB, G.K. (2014): Velocity changes of rock glaciers and induced hazards. – In: LOLLINO, G., MANCONI, A., CLAGUE, J., SHAN, W. & CHIARLE, M. (Hrsg.): Engineering Geology for Society and Territory, **1**: 223-227; (Springer); doi.org/10.1007/978-3-319-09300-0\_42
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2019): Klimawandel kompakt. Ein globales Problem wissenschaftlich erklärt, 2. Auflage. – 132; Stuttgart (Gebr. Borntrager).
- SCOTTI, R., CROSTA, G.B. & VILLA, A. (2017): Destabilisation of creeping permafrost: the Plator Rock Glacier case study (Central Italian Alps). – Permafrost Periglacial Process, **28**: 224-236; doi.org/10.1002/ppp.1917.
- WGMS (2021): Global Glacier Change Bulletin No. 4 (2018-2019). – SC(WDS)/IUGG(IACS)/UNEP/UNESCO/WMO, [ZEMP, M., NUSSBAUMER, S. U., GÄRTNER-ROER, I., BANNWART, J., PAUL, F. & HOELZLE, M. (Hrsg.)]. – 278; Zürich (World Glacier Monitoring Service); doi.org/10.5904/wgms-fog-2021-05.
- ZUO, Z. & OERLEMANS, J. (1997): Numerical modelling of the historic front variation and the future behaviour of the Pasterze Glacier, Austria. – Ann. Glaciol., **24**: 234-241; doi.org/10.3189/S0260305500012234.

MMAG. DR. ANDREAS KELLERER-PIRKLBAUER  
AO. UNIV. PROF. MAG. DR. GERHARD KARL LIEB  
Institut für Geographie und Raumforschung  
Heinrichstraße 36  
A-8010 Graz  
andreas.kellerer@uni-graz.at  
gerhard.lieb@uni-graz.at

Manuskripteingang: 11. August 2023



# Klimawandel – Boden – Bodenschutz

THOMAS VORDERBRÜGGE

Klimawandel, Bodenschutz, Bodenfunktionen, Humus, Kohlenstoffbindung im Boden

**Kurzfasung:** In der aktuellen Diskussion zum Beitrag der Böden für den Klimaschutz stehen die Maßnahmen zum Schutz der Moore im Vordergrund. Ziel ist es hier vor allem, die Treibhausgasemissionen aus den Mooren durch Wiedervernässung und angepasste Nutzung so weit wie möglich zu reduzieren. Aufgabe (nicht nur) des Bodenschutzes ist es aber, **alle** Böden und ihre Funktionen für den Klimaschutz zu erhalten. Nur so können sie ihre vielfältigen Funktionen zum Ausgleich von Klimaextremen wie Hitze oder Sturzregen, zur Kühlung in Siedlungen, zur Sicherung der Biodiversität oder als Speicher für CO<sub>2</sub> erfüllen. Dazu bedarf es eines Schutzes vor Erosion, einer deutlichen Minderung der Umwidmung von Agrarflächen in Flächen für Siedlung, Infrastruktur sowie Logistik und der Umsetzung von Maßnahmen zum Verbleib von Niederschlagswasser in der Landschaft.

## Climate change – soil – soil protection

Climate change, soil protection, soil functions, organic matter, carbon sequestration

**Abstract:** In the current discussion on the contribution of soils to climate protection, the focus is on measures to protect peatlands. The aim here is primarily to reduce greenhouse gas emissions from peatlands as far as possible through rewetting and adapted use. However, the task (not only) of soil protection is to preserve **all** soils and their functions for climate protection. Only in this way they can fulfill their diverse functions of compensating for climate extremes such as heat or torrential rain, for cooling in settlements, for safeguarding biodiversity or as storage for CO<sub>2</sub>. This requires protection against erosion, a significant reduction in the conversion of agricultural land to land for settlement, infrastructure and logistics, and the implementation of measures to ensure that precipitation water remains in the landscape.

### Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	38
2	Klimawandel in Hessen und seine Wirkung auf die Böden und ihre Funktionen .....	39
3	Bodenschutz – Klimaschutz – Schutz der Bodenfunktionen .....	48
4	„System“ Boden und Klimawandel .....	49
5	Klimafunktion der Böden – Teilfunktion CO <sub>2</sub> -Speicherung in Form von Humus – „Vorrat – Verteilung – Aufbau – Erhalt“ ..	53
6	Erhalt von Humus in den Böden durch Bodenschutzvorsorge bei Planvorhaben .....	64
7	Erhalt von Humus – Niedermoorschutz .....	68
8	Literatur .....	70

## 1 Einleitung

Mit Inkrafttreten des „Hessischen Gesetzes zum Schutz der Natur und zur Pflege der Landschaft“ (Hessisches Naturschutzgesetz – HeNatG) vom 25.05.2023 (Hessischer Landtag 2023) wird erstmalig in einem Hessischen Umweltgesetz die „Klimafunktion der Böden“ angeführt. Allerdings mit den Einschränkungen, die durch § 2 Satz 1 des Gesetzes vorgegeben werden.

Er lautet: § 2 *Bewältigung der Folgen des Klimawandels*

*(1) Bei der Umsetzung von Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege sowie behördlichen Entscheidungen auf der Grundlage dieses Gesetzes sollen auch Klimaschutz und Klimaanpassung, auch unter Wahrung der Klimafunktion des Bodens, in besonderer Weise Berücksichtigung finden.*

Die originären gesetzlichen Grundlagen zum Schutz der Bodenfunktionen bilden das „Bundes-Bodenschutzgesetz“ (BBodSchG) sowie das „Hessische Gesetz zur Ausführung des Bundes-Bodenschutzgesetzes und zur Altlastensanierung“ (Hessisches Altlasten- und Bodenschutzgesetz – HAltBodSchG). Die „Klimafunktion der Böden“ wird in den beiden Gesetzen nicht speziell angeführt. Auch gibt es bisher keine eingeführte Methodik zur umfassenden Beschreibung bzw. zur Bewertung dieser Funktion. Es besteht also zwingend die Notwendigkeit, zunächst einmal die „Klimafunktion der Böden“ zu beschreiben und zu bewerten. Eine weitere Einschränkung im HeNatG besteht dadurch, dass es sich allein um die „Wahrung der Klimafunktion der Böden bei der Umsetzung von Maßnahmen des Naturschutzes bzw. der Landschaftspflege“ handelt.

Aber nicht nur Maßnahmen des Naturschutzes als Beitrag zum Klimaschutz, z. B. grundlegende Eingriffe in den Landschaftswasserhaushalt, können Auswirkungen auf die Bodenfunktionen haben. Auch Maßnahmen zum Schutz vor dem Klimawandel wie der Anbau von Energiepflanzen oder der Bau von Anlagen zur Gewinnung erneuerbarer Energie können Böden und ihre Funktionen nachhaltig beeinträchtigen. Andererseits sollen Böden durch ihre Eigenschaften und Funktionen gleichzeitig die Folgen des Klimawandels mindern. Sei es durch die Kühlung der näheren Umgebung, den Erhalt der Biodiversität, die Aufnahme und langfristige Bindung von CO<sub>2</sub> oder die „klimaneutrale“ Produktion von Nahrungsmitteln.

Mit der Verabschiedung des novellierten Naturschutzgesetzes besteht in Hessen also eine gesetzliche Pflicht, zunächst einmal die möglichen Folgen des Klimawandels auf die Bodeneigenschaften und die Bodenfunktionen zu beschreiben und zu bewerten, denn nur so kann bei Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege die Klimafunktion des Bodens entsprechend berücksichtigt werden. Noch wichtiger ist es aber, dass sich möglichst viele Menschen darin bewusst werden, welche außerordentliche Rolle die Böden bei der Bewältigung der Folgen des Klimawandels, vor allem lokal und regional, haben. Dazu sollen die folgenden Ausführungen einen Beitrag leisten.

## 2 Klimawandel in Hessen und seine Wirkung auf die Böden und ihre Funktionen

Für die später aufgezeigten Auswirkungen auf die Böden und ihre Funktionen wird hier von folgenden sechs allgemein anerkannten Annahmen für den Klimawandel in Hessen ausgegangen:

1. Anstieg der durchschnittlichen Jahrestemperatur,
2. Zunahme der jährlichen Sonnenscheindauer,
3. langjährige Verschiebung der mittleren Jahresniederschläge,
4. erhöhte Verdunstung während der Vegetationszeiten,
5. höhere Variabilität der Jahressummen der Grundwasserneubildung,
6. langanhaltende Trocken- und Dürreperioden.

### Anstieg der durchschnittlichen Jahrestemperatur mit deutlichen lokalen (innerstädtisch), regionalen und saisonalen Unterschieden

Bei Einhaltung des globalen +2 °C-Zieles wird für Hessen, im Vergleich zur Referenzperiode 1971–2000, für den Zeitraum 2071 bis 2100 von einem Anstieg von ca. 1,1 °C ausgegangen. Die Spannweite der Prognosen reicht von + 0,6 bis + 1,7 °C (HLNUG 2018). Inwieweit diese Prognosen Bestand haben werden, ist offen.

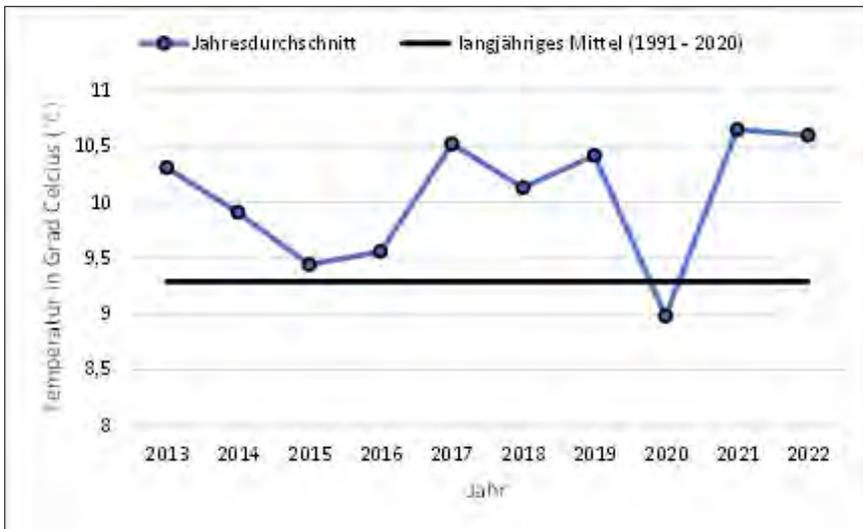


Abbildung 1: Verlauf der mittleren Jahrestemperatur in Hessen in den Jahren 2013 bis 2022 im Vergleich zur langjährigen mittleren Jahrestemperatur im Zeitraum 1991–2020; Quelle: DWD.

Figure 1: Mean annual temperature in Hesse in the years 2013 to 2022 compared to the long-term mean annual temperature in the period 1991–2020; source: DWD.

So lagen bereits die Durchschnittstemperaturen für den Zeitraum 2013 bis 2022, im Schnitt um 0,8 °C über der Referenztemperatur von 9,28 °C (HLNUG 2018). Die Abbildung 1 zeigt die Jahresdurchschnittstemperatur sowie als Bezug den Referenzwert für den Zeitraum der letzten 10 Jahre. In fünf der letzten zehn Jahre lag die Temperatur mit bis zu 1,36 °C sogar deutlich über dem erst für den Zeitraum 2071 bis 2100 prognostizierten Anstieg.

Eine Zunahme der Temperatur ist i. d. R. auch mit der Erhöhung der Bodentemperatur, vor allem in den oberen 30 bis 50 cm des Bodens, verbunden. Dies beschleunigt u. a. die Pflanzenentwicklung, die Nährstoffmobilisierung sowie mikrobielle Umsetzungsprozesse.



Abbildung 2: Sonderkulturanbau in Südhessen ohne Schutz der Oberböden vor hohen Temperaturen durch eine Vegetationsüberdeckung; Foto: T. Vorderbrügge.

Figure 2: Special crop cultivation in southern Hesse without protection of the topsoil from high temperatures by vegetation cover; photo: T. Vorderbrügge.

### Zunahme der jährlichen Sonnenscheindauer

Aber nicht nur die Zunahme der jährlichen Durchschnittstemperaturen ist für die Böden von Bedeutung, sondern auch die Sonnenscheindauer. Für den Zeitraum 1951 bis 2022 betrug die mittlere jährliche Sonnenscheindauer ca. 1.540 Stunden. Die Spanne liegt zwischen 1.247 Stunden im Jahr 1978 und 2.006 Stunden im Jahr 2003. Ein langjähriger Trend ist nicht zu erkennen. Erst ab 2011 deutet sich eine Zunahme der Sonnenscheindauer an, die nach 2018 noch ausgeprägter ist. Der mittlere Wert für den Zeitraum 2013 bis 2022 liegt bei 1.669 Stunden, also 120 Stunden mehr als im Vergleich zum langjährigen Mittel. Inwieweit sich dieser Trend fortsetzt und wie er sich auf die Bodeneigenschaften und -funktionen auswirken wird, kann man im Moment nur abschätzen.

Eine langanhaltende direkte Sonneneinstrahlung beeinflusst direkt den Oberboden. Das hat große Bedeutung für das Bodenleben, die Umsetzung der organischen Substanz oder den Wasserhaushalt dieser Schicht. Die direkte Einstrahlung

führt zudem zu einer schnellen Ab- und Austrocknung der Oberböden und damit zu einer höheren Anfälligkeit gegenüber Erosion, insbesondere Winderosion. Trockene Böden, insbesondere bei hohen Feinsand- und Humusgehalten, sind zudem schnell hydrophob, also wasserabweisend. Dadurch wird, insbesondere bei starken Niederschlägen in kurzer Zeit, die Infiltration des Niederschlagswassers behindert und der Oberflächenabfluss erhöht. Das gilt besonders für Böden mit Sonderkulturen wie Erdbeeren, Spargel oder Kartoffeln, bei denen die Oberfläche langanhaltend ohne großflächige Vegetationsbedeckung ist (Abb. 2).

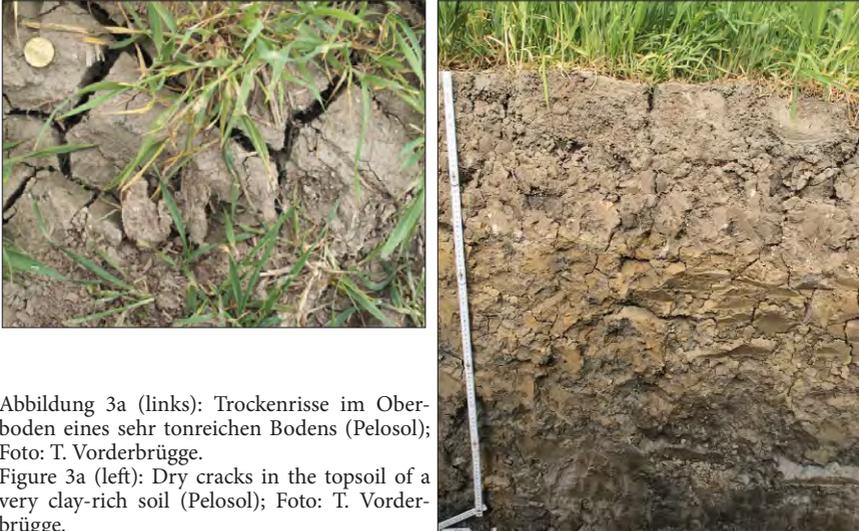


Abbildung 3a (links): Trockenrisse im Oberboden eines sehr tonreichen Bodens (Pelosol); Foto: T. Vorderbrügge.

Figure 3a (left): Dry cracks in the topsoil of a very clay-rich soil (Pelosol); Foto: T. Vorderbrügge.

Abbildung 3b (rechts): Trockenrisse bis in 70 cm Tiefe im Unterboden des Pelosols; Foto: T. Vorderbrügge.

Figure 3b (right): Dry cracks down to a depth of 70 cm in the subsoil of the pelosol; photo: T. Vorderbrügge.

Bei besonders tonreichen Böden wirkt sich eine langanhaltende Trockenheit völlig anders aus. Im Oberboden werden sehr breite Trockenrisse ausgebildet, die durchaus größere Tiefen erreichen. Im hier dargestellten Profil (Abb. 3) reichen einzelne Risse bis in 70 cm Tiefe. Kommt es dann zu starken Niederschlägen, versickert das Wasser sofort darin.

Folgen unter den tonigen Substraten sandige Ablagerungen (Abb. 4), wird das Wasser sehr schnell in größere Tiefen abgeleitet und steht den Pflanzen nicht mehr zur Verfügung.

Die Beispiele zeigen, dass der gleiche klimatische Einfluss auf Böden mit unterschiedlichen Eigenschaften, z. B. der Gehalt an Feinsand, Humus oder an Ton, völlig gegenteilige Folgen haben kann.

Da sich aber aktuell ein gewisser anhaltender (?) Trend in der jährlichen Zunahme der Sonnenscheindauer erst andeutet, gibt es noch keine eindeutigen Hin-

weise, welche Folgen für die Bodenfunktionen allein dieser Entwicklung zuzuschreiben sind.



Abbildung 4: Trockenrisse bis in 70 cm Tiefe in einem tonreichen Boden über einem sandigen Substrat; Foto: HLNUG.

Figure 4: Dry cracks down to a depth of 70 cm in a clay-rich soil over a sandy substrate; photo: HLNUG.

#### Langjährige Verschiebung der mittleren Jahresniederschläge

Erwartet wird eine langjährige Verschiebung der mittleren Jahresniederschläge. Die absolute Höhe der Jahresniederschläge in Hessen soll dabei aber weitgehend unverändert bleiben. Allerdings kann es zu deutlichen regionalen Unterschieden kommen. Prognostiziert wird eine Zunahme des Anteils der Winterniederschläge sowie eine Abnahme der Sommer- und Herbstniederschläge. Jedoch sind die aktuellen Beobachtungen nicht ganz in Deckung mit den Trenaussagen. So sind für die Zeitintervalle von 1961–1990 bzw. 1991–2020 für die Niederschlagsverteilung, im Vergleich zum langjährigen Mittel (1881–2000), zwei völlig unterschiedliche Entwicklungen zu beobachten, wie die folgende Tabelle 1 zeigt. Sie wurde von SCHÖNWIESE (2021) unverändert übernommen.

Tabelle 1: Beobachtete Klimatrends in Hessen (Flächenmittel); Quelle: DWD (2021).

Table 1: Observed climate trends in Hesse (area average); data source: DWD (2021)

Klimaelement	Zeitintervall	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Niederschlag	1881–2000	+17,2 %	-5,5 %	+4,1 %	+27,1 %	+9,2%
Niederschlag	1961–1990	+7,3 %	-24,5 %	+11,8 %	+28,2 %	+3,2 %
Niederschlag	1991–2020	-9,8 %	+0,1%	-40,9 %	-8,7 %	-14,0 %

Eine Umverteilung der Niederschläge in die Wintermonate hätte vor allem Bedeutung für flach- und mittelgründige oder steinige Böden mit ihrer geringen Speicherfähigkeit für die Niederschläge im Winterhalbjahr. Das Wasser versickert schnell und steht damit im folgenden Jahr der Vegetation nicht zur Verfügung.

#### Erhöhte Verdunstung während der Vegetationsperioden

Durch eine Zunahme der Temperatur im Sommer bei gleichzeitiger Abnahme der Sommerniederschläge kann man von einer erhöhten Verdunstung während der Vegetationsperioden ausgehen. Dadurch entsteht u. a. ein erhöhter Bedarf an Wasser für die Bewässerung und Beregnung, insbesondere beim Anbau von Sonderkulturen. Für das „Trockenjahr“ 2003 ging BERTHOLD (2010) für die Beregnung im Hessischen Ried von einem Wasserbedarf von ca. 35,5 Mio. m<sup>3</sup> aus. Für die Böden in den drei Kreisen Bergstraße, Darmstadt-Dieburg und Groß-Gerau errechnete er eine Beregnungsmenge von 52 bis 207 Liter pro m<sup>2</sup>. Dabei unterscheiden sich die Mengen je nach Landkreis, Bodeneigenschaften und Kultur deutlich. Auf das Jahr 2003 folgten in Hessen aber einige Jahre mit durchschnittlichen Niederschlägen, sodass der Bedarf an Wasser zur Beregnung in den Folgejahren sicherlich nicht so hoch war wie im Jahr 2003. Anders sieht es dann für den Zeitraum ab dem Jahr 2018 aus. Seitdem unterschritten die Niederschläge in Hessen die Jahresmittelwerte jährlich um bis zu 27 %. Damit stieg der Bedarf an Beregnungswasser vor allem in Südhessen kontinuierlich an.

#### Erhöhte Variabilität der Grundwasserneubildung

Kommt es nicht nur zu einer Umverteilung der Niederschläge im Jahresverlauf, sondern auch zu einer Abnahme, kann man von einer insgesamt höheren Variabilität der Jahressummen der Grundwasserneubildung ausgehen. Und zwar mit der Tendenz zu einer Abnahme der jährlichen Grundwasserneubildung. Dies führt zu einer zunehmenden Konkurrenz der Bedarfe an Trinkwasser bzw. an Beregnungswasser. Dies gilt vor allem in Regionen mit hoher Besiedlungsdichte bei gleichzeitigem Anbau von stark wasserzehrenden Sonderkulturen. So berechneten ZINKERNAGEL, WEINHEIMER, HERBST et al. (2022) für verschiedene Sonderkulturen

den Gesamtwasserbedarf u. a. für den Standort Geisenheim im Zeitraum März bis Ende Oktober. Der höchste mittlere Bedarf wurde für Rosenkohl berechnet, er liegt für den Zeitraum Mitte Mai bis Ende Oktober bei ca. 740 Liter je m<sup>2</sup>. Der mittlere Gesamtjahresniederschlag der Jahre 2000 bis 2022 lag für Geisenheim aber nur bei 532 Liter je m<sup>2</sup>, der durchschnittliche Niederschlag für den Zeitraum Mai bis Oktober eines Jahres lag sogar bei nur 304 Liter je m<sup>2</sup>. Gedeckt werden somit nur 40 % des mittleren Bedarfs. Der rechnerische Rest von 400 Liter je m<sup>2</sup> musste also durch Beregnung zugeführt werden, sofern die Böden nicht einen hohen Anteil der Winterniederschläge noch zur Verfügung stellen konnten. Ein erhöhter Bedarf an Beregnungswasser, insb. bei Privatgärten, ist häufig gleichzeitig mit dem Trockenfallen von kleineren Fließgewässern im Sommer verbunden. Dies führt zu Einschränkungen, bis hin zu Verboten, für die Entnahme von Wasser für Bewässerung von Kulturen oder in Privatgärten.

#### Langanhaltende Trocken- bzw. Dürreperioden

Sich jährlich wiederholende zu geringe Niederschläge erhöhen die Gefahr von langanhaltenden Trocken- bzw. Dürreperioden in den Frühsommer- und Sommermonaten. Dies ist besonders kritisch, wenn zu niedrige Sommerniederschläge mehrere Jahre aufeinander folgen, bzw. die Winterniederschläge nicht ausreichen, um die Vorjahresdefizite auszugleichen. Ertragsunsicherheit bei Getreide und deutliche Ertragsausfälle bei Hackfrüchten wie Mais, Zuckerrüben oder Kartoffeln sind die Folge. Auch einzelne höhere Tagesniederschläge im Herbst können die zu geringen Sommerniederschläge nicht ausgleichen. Die Abbildung 5 zeigt hierzu den Niederschlagsverlauf für den Zeitraum Juli 2021 bis Juli 2023. Blau dargestellt sind die Monate, in denen der Niederschlag den mittleren Monatsniederschlag des Zeitraums 1991 bis 2020 überschreitet. Rot dargestellt sind die Monate, in denen der Niederschlag die mittleren Monatswerte unterschreitet. Im Schnitt fielen im Zeitraum Juli 2021 bis Juli 2023 nur 6 mm weniger als im langjährigen Mittel. Aus Sicht des Bodenschutzes ist diese geringfügige absolute Abnahme der Niederschläge nicht relevant. Von großer Bedeutung sind hingegen die in schneller Abfolge ablaufenden starken Ausschläge der Unter- oder Überschreitung der langjährigen monatlichen Niederschlagsverteilung im Verlauf der Jahre. Zudem zeigt sich, dass auf die z. T. vier Monate andauernden Phasen von unterdurchschnittlichen Niederschlägen jeweils nur ein oder zwei Monate mit höheren Niederschlägen folgen. Höhere Niederschläge erfolgen zudem vor allem als Starkregen und nicht als „typischer Landregen“ über mehrere Tage hinweg, so z. B. in den Monaten Juli 2021, Februar und August 2022 oder März 2023. Auch lässt sich für diesen Zeitraum keine typische Periode ableiten, in der auch künftig mit langanhaltender Trockenheit zu rechnen ist. Waren es im Jahr 2021 die Monate September bis Dezember, so waren es im Jahr 2022 die Monate Mai bis August.

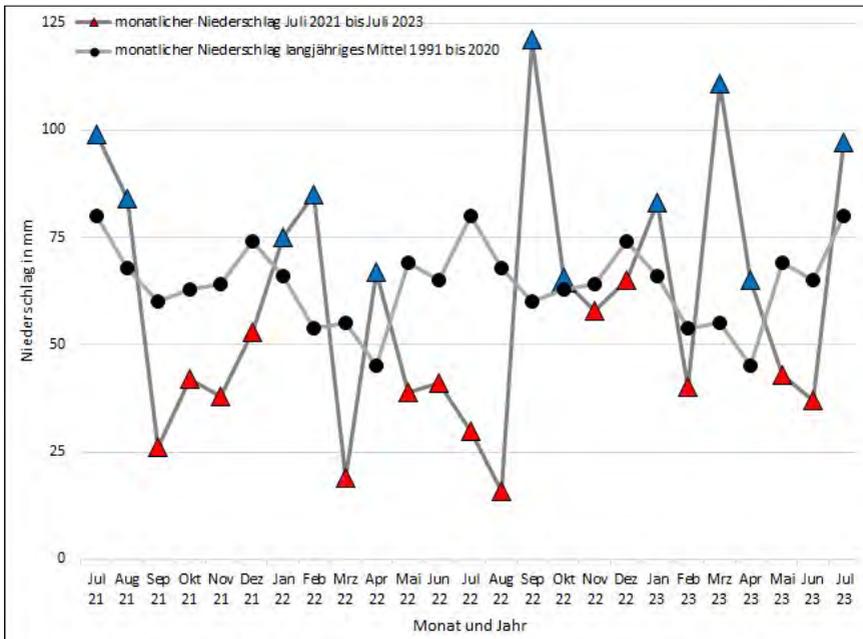


Abbildung 5: Mittlere Monatsniederschläge in Hessen für den Zeitraum Juli 2021 bis Juli 2023 im Vergleich zu den langjährigen mittleren Monatsniederschlägen im Zeitraum 1991–2020. HLNUG (2023 a); Quelle: DWD.

Figure 5: Monthly precipitation in Hesse (area average) for the period July 2021 to July 2023 compared to the long-term mean monthly precipitation in the period 1991–2020. HLNUG (2023 a); source: DWD.

Wenn sich die in der Abbildung dargestellten Muster künftig bestätigen, dann wird es für den Bodenschutz sehr schwer, diesem Wechsel angepasste Strategien zum Erhalt der Bodenfunktionen zu entwickeln.

So wurden sicherlich der Ab- und Umbau von Ernteresten und damit der Aufbau von Humus durch die Trockenheit im Herbst und Frühwinter 2021 beeinträchtigt. Man kann zudem davon ausgehen, dass die Starkniederschläge in den Monaten Juli 2021, September 2022 oder März 2023 lokal zu ausgeprägten Erosionsschäden und damit u. a. zu Humusverlusten geführt haben. Zusätzlich ist zu beachten, dass die in der Abbildung 5 dargestellten Verhältnisse „nur“ die mittleren Werte für Hessen wiedergeben. Regional und lokal dürfte es zu einer Vielzahl unterschiedlichster Abläufe kommen. Dies erschwert die Entscheidungen für ein klimaangepasstes Bodenmanagement.

Zudem können diese abrupten und kurzfristigen Wechsel von Trockenheit und sehr starken Niederschlägen in ihrer Wirkung durch die Böden nur schwer abgepuffert werden. Das führt zu einer extrem schnellen Abfuhr des Niederschlagswassers in der Vorflut, welche kurz darauf schnell wieder trockenfällt. Die Ab-

Abbildung 6 zeigt ein Gewässer, das drei Tage, nachdem durch einen Starkregen Schlamm und Kiese abgelagert wurden, wieder nahezu trockengefallen ist.

Die sehr hohen Niederschläge sind also nicht im Einzugsgebiet des Gewässers verblieben, um dann langsam abzufließen, sondern sind sofort und mit hoher Energie abgeflossen. Dadurch sind kurz danach nur noch vereinzelte kleine Reste an Bachwasser vorhanden.



Abbildung 6: Kleines trockenfallendes Fließgewässer wenige Tage nach Starkniederschlägen. Das Gewässerbett wurde durch die starken, schnell durchfließenden abgeführten Niederschläge mit Kiesen und Geröll überschüttet; Foto: T. Vorderbrügge.

Figure 6: Small watercourse drying out a few days after heavy rainfall. The bed of the watercourse was covered with gravel and debris due to the heavy, fast-flowing precipitation: photo: T. Vorderbrügge.

Die Ausführungen zeigen, dass es schwierig sein wird, Trends des Klimawandels und insbesondere seine Wirkungen auf die Böden zu quantifizieren, geschweige denn zu regionalisieren. Erschwerend kommt hinzu, dass die unterschiedlichen Ereignisse wie langanhaltende Dürre und Starkniederschläge lokal und regional durchaus gleichzeitig auftreten können.

Die bisher angeführten unterschiedlichen Ausprägungen und Trends des Klimawandels werden durch zahlreiche, bereits erfolgte lokale oder regionale Bodennutzungsentwicklungen (zunehmende Versiegelung, Verlust an Grünland) ergänzt oder überlagert, die die Folgen des Klimawandels auf die Bodenfunktionen deutlich verstärken. So wurden in Hessen im Zeitraum von 2001 bis 2022 ca. 24.700 ha (vor allem landwirtschaftlich genutzte Flächen) in Flächen für Siedlung und Verkehr umgewidmet („verbraucht“) (HLNUG 2023 b). Dies entspricht einer Fläche von 247 qkm und damit genau der aktuellen Flächengröße der Stadt Frankfurt a. M. mit 248 qkm. Unterstellt man, bezogen auf 1 m Tiefe, ein durchschnittliches Wasserspeichervermögen des Bodens von 200 l je m<sup>2</sup> bzw. 2.000 m<sup>3</sup> je ha, entsprechen die 247 qkm einem Speicherverlust an Wasser von 49.400.000 m<sup>3</sup>. Zur Größeneinordnung sei der jährliche Wasserverbrauch in der Stadt Frankfurt mit ca. 52.000.000 m<sup>3</sup> angeführt (Stadt Frankfurt am Main 2023).

Am nachhaltigsten spürbar sind die Folgen des Klimawandels flächenhaft vor allem für die Land- und Forstwirtschaft. Katastrophale Einzelereignisse wie Überschwemmungen im Ahrtal und entlang der Erft mit all ihren Folgen für die Anwohner oder Hitzestress mit ihren Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen sind hierbei selbstverständlich ausgenommen.

Während die Folgen des Klimawandels für die Forstwirtschaft aber anhand zahlreicher geschädigter Flächen für jedermann gut sichtbar sind, ist dies für den Bereich Landwirtschaft nicht so offensichtlich, da sie sich letztendlich vor allem in der Ertragshöhe bzw. -sicherheit abbilden.

Für jedermann nicht sichtbar sind die langfristigen Wirkungen des Klimawandels auf die Böden und ihre Funktionen. Ausnahmen bilden allein die sog. „Schlammfluten“, die häufig nach lokalen Starkregenereignissen durch kleinere Ortschaften in ländlichen Regionen fließen. So zählte das HLNUG an nur drei Tagen im September 2018 hessenweit 29 Starkregenereignisse (> 25 Liter je m<sup>2</sup> Niederschlag in 24 Stunden). Der höchste Wert für ein Einzelereignis im Jahr 2018 betrug 142 Liter je m<sup>2</sup> in 24 Stunden. Er wurde am 7. August an der Anlage „Kirchhain-Kläranlage“ gemessen. An dem Tag fielen ca. 24 % des Gesamtniederschlags 2018. Starkregenereignisse treten aber auch im Frühsommer auf (HLNUG 2019). So registrierte das HLNUG an nur einem Tag im Mai 2019 an 11 Orten in Hessen Niederschläge zwischen 70 und 112 Liter je m<sup>2</sup> in 24 Stunden (HLNUG 2020). Diese Ereignisse werden aber nur sehr selten überregional überhaupt wahrgenommen.

Letztendlich muss man davon ausgehen, dass die oben angeführten klimatischen Auswirkungen des Klimawandels überall in Hessen auftreten werden, wenn

auch in regional unterschiedlicher Ausprägung, aber durchaus mit überregionaler Auswirkung.

### **3 Bodenschutz – Klimaschutz – Schutz der Bodenfunktionen**

Das BBodSchG vom 17.03.1998 wurde vor 25 Jahren verabschiedet und war bis zur Verabschiedung des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) am 12.12.2019 das jüngste der Umweltgesetze.

Zweck des BBodSchG ist es, die Bodenfunktionen nachhaltig zu sichern oder wieder herzustellen. Böden sind hochkomplexe Systeme und erfüllen eine Vielzahl von Funktionen. Im Gesetz werden sie unterteilt in die sogenannten „natürlichen Funktionen“, die „Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte“ sowie die „Nutzungsfunktionen“. Im Zusammenhang mit dem Klimawandel ist die Funktion des Bodens als Archiv der Naturgeschichte besonders interessant.

So sind Böden auch das Ergebnis von bereits über Jahrtausende oder Jahrmillionen zurückliegenden klimatische Bedingungen. Der Einfluss dieser Bedingungen auf Gestein, Boden und Vegetation wird in Böden quasi „archiviert“ (BORK, H.-R. & BORK, H. 1987). Trotz ihrer großen Bedeutung wird auf diese Funktion aber hier im Weiteren nicht näher eingegangen, da sie vor allem eher zum grundsätzlichen Verständnis der klimatischen Veränderungen auf die Böden und ihre Funktionen beitragen. Die Archivfunktion als solche wird durch den Klimawandel zudem eher nicht beeinträchtigt. Eine Ausnahme gilt allerdings für organogene Böden wie die Moore.

In der aktuellen Diskussion zur Thematik „Klimawandel“ und „Boden“ stehen vor allem die „natürlichen Bodenfunktionen“ sowie die „Nutzungsfunktionen“ im Vordergrund. Die „natürlichen Bodenfunktionen“ werden gemäß BBodSchG aufgeteilt in:

- Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen,
- Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen,
- Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers.

Die Nutzungsfunktionen werden gemäß BBodSchG aufgeteilt in die Nutzung als:

- Rohstofflagerstätte,
- Fläche für Siedlung und Erholung,
- Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung,
- Standort für sonstige wirtschaftliche und öffentliche Nutzungen, Verkehr, Ver- und Entsorgung.

Die „Klimafunktion“ der Böden wird im BBodSchG als eigenständige Funktion nicht angeführt. Für die Beschreibung und Bewertung der Klimafunktion von Böden müsste deshalb die Rolle und Bedeutung jeder einzelnen Bodenfunktion für diese Fragestellung festgelegt werden. Dies gilt zum einen für die Darstellung der unterschiedlichen Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen durch den Klimawandel. Andererseits tragen die Böden, je nach Ausprägung der einzelnen Bodenfunktionen, auch zum Schutz vor den Folgen des Klimawandels bei. Diese müssten ebenfalls bewertet werden. Erwähnt sei hier die „Kühlungsfunktion“ der Böden mit ihrer herausragenden Bedeutung für die Gesundheit der Menschen im urbanen Raum. Zusätzlich sind aber auch die Wirkungen von Maßnahmen zum Schutz vor den Folgen des Klimawandels auf die Böden und ihre Funktionen zu betrachten. Insbesondere technische Maßnahmen im Bereich der erneuerbaren Energien oder der Umsetzung von Klimaschutz- und Renaturierungsmaßnahmen des Naturschutzes können durchaus mit Beeinträchtigungen von Bodenfunktionen verbunden sein. Hier ist es eine der Aufgaben des Bodenschutzes, mögliche Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen und Maßnahmen zur Vermeidung bzw. Minderung frühzeitig aufzuzeigen. Könnten doch einzelne Maßnahmen zum Schutz vor dem Klimawandel die Klimafunktion der Böden selbst wieder beeinträchtigen.

#### 4 „System“ Boden und Klimawandel

Böden sind hochkomplexe, durch Pflanzen und Tiere belebte dreidimensionale Systeme, bestehend aus den drei Phasen fest, flüssig und gasförmig. Im System Boden selbst sowie mit der direkten Umgebung findet ein ständiger Austausch von Energie, Stoffen und Wasser statt. Gleichzeitig läuft eine Vielzahl von biologischen und physikochemischen Prozessen im Boden ab. Dadurch befinden sich Böden in einem stetigen Wandel und nie in einem statischen Zustand. So können sich durchaus innerhalb weniger Minuten Eigenschaften und Prozesse im Boden gravierend ändern. Die vielfältige Rolle der Böden und der dort stattfindenden Prozesse im Zusammenhang mit dem Klimawandel lässt sich deshalb nur aufzeigen, wenn man einzelne Funktionen bzw. Eigenschaften und ihre Wechselwirkungen näher darstellt und erläutert.

Der bekannteste der auf und im Boden ablaufenden klimarelevanten Prozesse ist „Aufbau, Umsetzung, Erhalt und Abbau der organischen Substanz (Humus)“ durch die Bodenorganismen. Die Intensität dieser hochkomplexen Prozesse, die immer gleichzeitig ablaufen, wird wiederum sehr stark von den aktuellen physikalischen Bedingungen wie Energieflüsse (Temperaturausgleich), Gasaustausch oder Wassergehalt gesteuert. Zunehmende Wärme intensiviert die biologische Aktivität und damit auch die Umsetzung und den Abbau von Humus, da Humus der Energielieferant für die Bodenorganismen ist. Mit der Umsetzung können

wiederum andere Stoffe wie Stickstoff freigesetzt werden. Diese können, bei einer ungenügenden Aufnahme durch Pflanzen, wiederum mit dem Sickerwasser ausgewaschen werden. Ist es dagegen zu kalt und zu nass bzw. ist zu wenig Sauerstoff im Boden, reduziert sich die Aktivität der Bodenorganismen und damit der Abbau von organischen Resten wie Stroh und damit der weitere Aufbau von Humus.

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel gelingt es bisher nur, die grundsätzlichen, sich häufig gegenseitig beeinflussenden Prozesse und Zusammenhänge zu beschreiben. Es gibt z. Zt. aber keine Ansätze, wie man „pauschale“ Wirkungen des Klimawandels wie „zu warm“, „zu nass“ oder „zu trocken“ auf die Biodiversität und die durch das Bodenleben gesteuerten Prozesse hinreichend quantifizieren könnte (TIBBETT, FRASER & DUDDIGAN 2020). Erschwerend kommt hinzu, dass die Bodenorganismen durch ihre hohe Diversität in Gänze über ein großes Regenerationsvermögen verfügen. Konsens besteht allerdings darin, dass vor allem langanhaltende Phasen von Trockenheit, Nässe oder Hitze dieses Regenerationsvermögen zahlreicher Arten stark beeinträchtigen können. So können solche Phasen bei Regenwürmern, die eine extrem wichtige Funktion für den Humusaufbau oder für die Aufnahme von Niederschlagswasser haben, große Populationsschwankungen und Bestandsverluste verursachen (EHRMANN 2008; PLUM & FILSER 2005; WALTER, BRANDHUBER, BURMEISTER et al. 2016).



Abbildung 7: Ablagerung von mehreren Dezimeter mächtigen Sedimenten auf Grünlandböden in einer Aue nach Starkniederschlägen; Foto: T. Vorderbrügge.

Figure 7: Deposition of sediments several decimetres thick on grassland soils in a floodplain after heavy precipitation: photo: T. Vorderbrügge.

Wie ein kausaler Zusammenhang von Klimawandel, Bodenleben und Aufbau von Humus ausgestaltet sein könnte, wird im Folgenden beispielhaft skizziert.

Starkniederschläge können zu häufigeren und vor allem weiträumigeren Überflutungen führen (Abb. 7). Dabei können, je nach Gewässer, auch mit Schadstoffen oder Plastik belastete Sedimente auf der Bodenoberfläche abgelagert werden.

Die Ablagerung führt zunächst dazu, dass alle größeren luftführenden Hohlräume zugeschlammte und durch die Bodentiere erst wieder geöffnet werden müssen (EHRMANN 2021). Die Sedimente werden dabei durch Bodentiere, vor allem durch die Regenwürmer, aufgenommen und in tiefere Bodenschichten verlagert. Ob und wie sich die möglichen stofflichen Belastungen dann auf die Bodenlebewesen langfristig auswirken, ist vor allem für Plastik kaum erforscht (LÜGGER, KLEIN, SCHUHMACHER et al. 2023).

Insbesondere die Regenwürmer sind wiederum von großer Bedeutung für den Aufbau und die Verteilung bzw. Umverteilung von organischer Substanz im Boden. Mit dem Regenwurmkot werden gegenüber der Aufprallwirkung von Niederschlägen stabile und humusreiche Aggregate an die Bodenoberfläche gebracht (Abb. 8). Diese Aggregate sind damit zugleich Nahrungsgrundlage und Lebensraum für die kleineren Bodentiere.



Abbildung 8: Frischer, gegenüber Regentropfen stabiler Regenwurmkot auf einer verschlammten Bodenoberfläche; Foto: HLNUG.

Figure 8: Fresh earthworm faeces stable to raindrops on a sealed soil surface; photo: HLNUG.

Die große Anzahl an Regenwurmgingen bis in den Unterboden, je nach Boden und Nutzung bis zu mehreren 100 je m<sup>2</sup>, fördert den Gasaustausch und die Infiltration von Niederschlagswasser (Abb. 9). Damit werden wiederum die Lebensbedingungen der sonstigen Bodenlebewesen gesteuert und der Gasaustausch der Pflanzenwurzeln gesichert.



Abbildung 9: Markierte Regenwurmröhren in einem Lössboden in 40 cm Tiefe; Foto: T. Vorderbrügge.

Figure 9: Marked earthworm tubes in a loess soil at a depth of 40 cm; photo: T. Vorderbrügge.

Die Regenwurmgänge sind im Unterboden Hauptleitbahnen für die Pflanzenwurzeln. Die Pflanzenwurzeln erschließen sich so die nähere Umgebung der Leitbahnen und Bodentiefen von durchaus mehr als zwei bis drei Metern. Damit sichern sie die Wasser- und Nährstoffversorgung der Pflanzen. Die abgestorbenen Pflanzenwurzeln sind wiederum Energiequellen für andere Bodenlebewesen und Grundlage für den Aufbau von Humus im Unterboden bzw. Speicherung von  $\text{CO}_2$  aus der Atmosphäre (Abb. 10).

Diese kurzen Ausführungen zu den Wirkungen einer Sedimentablagerung nach Starkniederschlägen auf Bodenleben, Pflanzenwachstum und Aufbau bzw. Umsatz von Humus zeigen, dass die Klimafunktion der Böden nur beschrieben und bewertet werden kann, wenn man die durch den Klimawandel induzierten komplexen Prozesse und Zusammenhänge auf und im Boden beschreiben und somit auch bewerten kann. Gleichzeitig zeigt sich, dass vom Klimawandel immer mehrere der oben angeführten Bodenfunktionen gleichzeitig betroffen sind. In diesem Beispiel sind dies die „Lebensraumfunktion“ für Tiere und Pflanzen, die „Filter- und Pufferfunktion“ sowie die „Produktionsfunktion“ für die landwirtschaftliche Nutzung.

Schon allein der Humus ist gleichzeitig Energiequelle für Bioorganismen, Rückhalt von Nähr-, aber auch Schadstoffen sowie Lieferant von Nährstoffen für die Ackerkulturen. Die eigentlichen Klimafunktionen des Humus sind damit noch gar nicht erwähnt. Dazu gehören vor allem sein Einfluss auf den Temperaturhaushalt an der Bodenoberfläche und sein Vermögen für sandige Böden, die Speicherfähigkeit an Wasser zu erhöhen, aber auch die Möglichkeit, durch den

Aufbau von Humus der Atmosphäre  $\text{CO}_2$  zu entziehen. Zumindest in der aktuellen öffentlichen Diskussion scheint letztere die wichtigste Klimafunktion zu sein, die dem Humus und damit dem Boden zugeschrieben wird.



Abbildung 10: Getreidewurzeln in einer Regenwurmröhre im Unterboden einer Pararendzina aus Löss; Foto: T. Vorderbrügge.

Figure 10: Cereal roots in an earthworm tube in the subsoil of a calcaric Regosol of loess; photo: T. Vorderbrügge.

## 5 Klimafunktion der Böden – Teilfunktion $\text{CO}_2$ Speicherung in Form von Humus – „Vorrat – Verteilung – Aufbau – Erhalt“

Grundsätzlich muss es allen bewusst sein, dass alle Böden die „Klimafunktion“ erfüllen, allerdings in durchaus unterschiedlichem Ausmaß und mit unterschiedlichen „Schwerpunkten“. So haben Böden mit einer besonders ausgeprägten Kühlungsfunktion nicht zwingend gleichzeitig auch eine besondere Funktion für den Aufbau von Humus und der damit verbundenen Funktion als Senke für  $\text{CO}_2$ . Um also die im BBodSchG angeführten unterschiedlichen Funktionen eines jeden Bodens grundsätzlich beschreiben, bewerten und schützen zu können, untergliedert

der Bodenschutz eine Funktion immer in mehrere „Teilfunktionen“. Die Klimafunktion könnte man, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, z. B. in die folgenden Teilfunktionen aufteilen:

- Rückhalt von kurzfristig anfallenden großen Mengen an Niederschlagswasser in der Landschaft,
- Kühlung im urbanen Raum,
- Speicherung und Bereitstellung von Grundwasser zur Beregnung in Phasen mit zu geringen Niederschlägen
- Beitrag zur Ertragssicherheit von Kulturpflanzen trotz zu geringer Niederschläge während der Vegetationszeiten,
- Aufbau und Erhalt von Humus als Lebensgrundlage für die Bodenorganismen und als Senke für CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre.

Für die Bewertung der angeführten Teilfunktionen benötigt man entsprechende Kriterien oder Bodenkennwerte wie z. B. den pH-Wert, die Bodenart, das Speichervermögen für Wasser oder den Humusgehalt.

Es werden also immer mehrere Kriterien benötigt, um die „Klimafunktion“ bzw. die zugehörigen „Teilfunktionen“ umfassend bewerten zu können. Die wichtigsten Kriterien sind sicherlich das Speichervermögen an Wasser, eine hohe biologische Aktivität, der Vorrat an Humus sowie das Potential, CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre durch Humusaufbau langfristig zu binden.

Im Folgenden beschränkt sich der Beitrag hauptsächlich auf das Kriterium „Humus“. Ihm wird in der aktuellen Diskussion zum Klimawandel die größte Aufmerksamkeit gewidmet, da man davon ausgeht, dass ein großer Teil der klimarelevanten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Boden zu Humus umgewandelt und vor allem für einen sehr, sehr langen Zeitraum auch gespeichert werden könnte.

Aus Sicht des Bodenschutzes ergeben sich damit vier vorrangige Aufgaben:

- Identifikation und Bewertung von Böden mit überdurchschnittlichen Humusgehalten sowie Entwicklung von Maßnahmen zum Erhalt des Humus sowie zum Schutz vor gasförmigen Verlusten durch Abbau des Humus,
- Identifikation von Böden mit großem Potential zur langanhaltenden zusätzlichen Speicherung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre durch Aufbau von Humus,
- Bereitstellung von Informationen über die unterschiedliche Verteilung der Humusvorräte innerhalb von Bodenprofilen und zur Anpassung von Maßnahmen zum Humusaufbau,
- Sicherung dieser Böden in Planvorhaben vor Eingriffen, die zu nachhaltigen Beeinträchtigungen und Verlusten an Humus führen, sowie zur Minimierung der Folgewirkung von Eingriffen.

Der Humusgehalt kann in „Prozent“ oder in „Tonnen je Hektar“ angegeben werden. Für die Bestimmung in „Tonnen je ha“ werden zusätzlich die Angaben zum Anteil an Grobboden sowie zum Raumgewicht benötigt. Diese Angaben liegen i. d. R. nur punktuell, aber nie flächendeckend vor.



Abbildung 11a und b: Forstböden mit Laubabfall über schwarzem Humus- und mineralischem Horizont; Foto: HLNUG.

Figure 11 a and b: Forest soils with leaf litter over black humus and mineral horizon; photo: HLNUG.

Die Höhe des Humusgehaltes der Böden wird vor allem durch die Nutzung und den aktuellen Wasserhaushalt bestimmt. Die höchsten Humusgehalte werden allgemein für Forstböden erwartet. Die Daten der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald ergaben für eine Bodentiefe von 0 bis 90 cm einen mittleren Gehalt von ca. 200 t/ha, mit einer weiten Spanne von weniger als 30 bis zu mehr als 700 t/ha (WELLBROCK, BOLTE & FLESSA 2016). Bei Böden unter Forst unterliegen die Vegetationsreste wie Laubabfall oder Altholz einer vergleichsweise langsamen biologischen Umsetzung. Dadurch entsteht eine Auflage, die als Auflagehumus bezeichnet wird. Bereits in dieser Auflageschicht besteht eine große Spannweite der Humusgehalte. Nach WELLBROCK, BOLTE & FLESSA (2016) liegen sie zwischen 0,3 und 330 t/ha. Häufig stellt dieser den größten Anteil an Humus bei Forstböden dar. Die Abbildungen 11 a und b zeigen solch flachgründige Böden mit dem mehrere cm mächtigen schwarzen Humushorizont.

Bei Böden unter forstlicher Nutzung ist die Wirkung der Vegetation für den Humusaufbau deshalb anders zu betrachten als bei Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung. In letzteren werden die Vegetationsreste vor allem schnell biologisch und mechanisch eingearbeitet und umgesetzt, was zu einer anderen, vor allem gleichmäßigeren Verteilung des Humus in den oberen Horizonten führt. Die Humusgehalte in Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung sind dann aber nicht zwingend niedriger als in Böden unter forstlicher Nutzung.

Die bundesweite Studie zum Humusgehalt der Böden unter landwirtschaftlicher Bodennutzung ergab für eine Tiefe von 0 bis 90 cm einen mittleren Humusgehalt von 212 t/ha. Er liegt damit sogar um ca. 10 t über dem Vorrat der Forstböden. Für Böden unter Ackernutzung liegt er bei ca. 175 t/ha und bei Grünlandnutzung bei 345 t/ha. Die höheren Vorräte für Grünlandböden sind vor allem dadurch zu erklären, dass es sich dabei häufig um hydromorphe (grund- und staunässe geprägt) Böden und organogene Substrate (Moore und moorähnliche Böden) handelt (JACOBS, FLESSA, DON et al. 2018). Ähnlich wie bei den Waldböden sind die Humusgehalte für ackerbaulich genutzte Böden vor allem in dem häufig 30 cm mächtigen Bearbeitungshorizont durch eine weite Spanne gekennzeichnet. Bei den mineralischen Oberböden unter Acker reicht sie von ca. 60 bis ca. 150 t/ha. Bei den mineralischen Oberböden unter Grünland, hier ebenfalls auf die oberen 30 cm bezogen, liegt diese Spanne zwischen ca. 115 und ca. 190 t/ha.

Böden mit extrem hohen Gehalten an Humus sind bekanntermaßen aus organogenen Substraten bestehende Moore. Ihr Schutz bedeutet vor allem Schutz vor weiteren Abbau und den damit verbundenen gasförmigen Verlusten. Mineralische Böden mit überdurchschnittlichen Humusgehalten im Oberboden sind, bundesweit betrachtet, vor allem Podsole, Plaggenesche, Marschen, Gleye oder die tonreichen Pelosole. Die Humusgehalte im Oberboden liegen dort häufig zwischen 3,0 und 3,5 %, während bei anderen Böden die Gehalte häufig zwischen 1,5 und 2,5 % liegen. Diese Zahlen mögen auf den ersten Blick gering erscheinen, sie entsprechen aber 110 bis 150 t Humus je ha. In Hessen haben vor allem Gleye, Auenböden, Kolluvien und Pseudogleye die höchsten Humusgehalte (GLASNER & HELLER 2022)

In Deutschland werden im oberen Meter der landwirtschaftlich genutzten Böden derzeit insgesamt rund 4,3 Mrd. t Humus gespeichert (JACOBS, FLESSA, DON et al. 2018). Diese 4,3 Mrd. t Humus entsprechen ca. 9,1 Mrd. t CO<sub>2</sub>eq.

Um die beiden letzten Zahlen richtig einordnen zu können, sei die im Jahr 2022 in Deutschland emittierte Menge an Treibhausgasen von 746 Mio. t CO<sub>2</sub>eq gegenübergestellt. Sie entspricht bereits 8,2 % der im Ackerboden gespeicherten Menge an CO<sub>2</sub>. Rein rechnerisch entspricht somit die in landwirtschaftlich genutzten Böden gespeicherte Menge an CO<sub>2</sub>eq dem Ausstoß der Jahre 2012 bis 2022 mit insgesamt ca. 9,44 Mrd. t CO<sub>2</sub>eq (Umweltbundesamt 2023). Anders ausgedrückt, um die in Deutschland 2022 emittierte Menge an CO<sub>2</sub>eq in Form von Humus zu binden, hätten 351 Mio. t Humus gebildet werden müssen, ohne dass gleichzeitig Humus im Boden abgebaut und gasförmig verloren gegangen wäre.

Bezogen auf die Ackerfläche in Deutschland im Jahr 2021 von 11,6 Mio. ha bedeutet dies den Aufbau von ca. 32 t Humus je ha. Da Humus vor allem in den oberen 30 cm aufgebaut wird, muss auch die Menge an Humus, die zusätzlich aufzubauen ist, auf die oberen 30 cm bezogen werden. Für die Bundesrepublik beträgt der durchschnittliche Humusvorrat in den oberen 30 cm Ackerkrume ca. 105 t/ha. Das bedeutet, dass der Vorrat nahezu alle drei bis vier Jahre um jeweils

105 t erhöht werden müsste, um die bundesweiten Emissionen an Treibhausgasen vollständig zu kompensieren.

Die aktuelle Studie des Umweltbundesamtes geht für Deutschland allerdings von einem Minderungspotential durch Humusaufbau von nur 1,4 Mio. t CO<sub>2</sub>eq im Jahr aus (FRELH-LARSEN, RIEDEL, HOBEIKA et al. 2022). Dieses Potential wurde zudem für Acker- und (!) Grünlandnutzung berechnet. Dies entspricht theoretisch einem Aufbau von insgesamt ca. 0,66 Mio. t Humus im Jahr. Je ha berechneten die Autoren ein Minderungspotential von 0,42 t CO<sub>2</sub>eq im Jahr, dies entspricht ca. 0,19 t Humus je ha.

Diese Zahlen zeigen eindrücklich, dass im Grunde nur ca. 2 % der jährlichen Treibhausgasemissionen im Boden als zusätzlicher Humus gespeichert werden könnten

Da, wie bereits erwähnt, Humus aber stetig um- und abgebaut wird, kommt es aktuell auch zu ständigen Treibhausgasemissionen aus dem Boden. Die weithin bekannteste ist sicherlich der Abbau von organogenen Böden wie den Hochmooren oder den Nieder- und Anmooren, die vor allem in Auenlandschaften ausgebildet wurden. Ursache für den Verlust sind i. d. R. anthropogene Eingriffe in den Landschaftswasserhaushalt. Die Höhe der Emissionen aus den Böden beträgt im Schnitt 18 Mio. t CO<sub>2</sub>eq im Jahr. Der Anteil an den Gesamtemissionen liegt somit bei ca. 2 %. Im bereits oben angeführten Zeitraum von 2012 bis 2022 emittierten insgesamt ca. 214 Mio. t CO<sub>2</sub>eq aus den Böden. Dies entspricht einem gasförmigen Verlust von insgesamt 100 Mio. t Humus, also etwa 8,5 Mio. t Humus im Jahr. Es ist offensichtlich, dass diese Mengen nicht durch den Aufbau von Humus in mineralischen Böden kompensiert werden können. Deshalb ist es vorrangiges Ziel des bodenbezogenen Klimaschutzes, die Treibhausgas-Emissionen aus dem Boden so weit wie möglich zu reduzieren.

Hinzu kommt, dass aus Sicht des Grundwasserschutzes bestimmte Humusgehalte nicht überschritten werden sollten. So kann man davon ausgehen, dass bei einem Humusgehalt von 4 % in den oberen 30 cm ca. 18 t Stickstoff je ha im Humus gespeichert sind. Da Humus fortwährend auch abgebaut wird, werden zeitgleich entsprechende Mengen an Stickstoff freigesetzt. Wird dieser Stickstoff nicht von Pflanzen aufgenommen, besteht die große Gefahr, dass er ins Grundwasser transportiert wird. Man sollte deshalb bedenken, dass in den Böden, die jetzt schon überdurchschnittliche Humusgehalte aufweisen, nicht noch nennenswerte Mengen an Humus zusätzlich gespeichert werden sollten, zumal ein Humusaufbau immer mit einer Zufuhr von weiterem Stickstoff verbunden ist. Damit sollten sich aus Sicht des Bodenschutzes Maßnahmen zum Aufbau von Humus auf die Böden konzentrieren, die aktuell durch sehr geringe Gehalte nicht nur im Oberboden, sondern auch im Unterboden gekennzeichnet sind. Hierzu gehören bspw. Böden aus Rohlöss, wie sie z. B. auf den Rekultivierungsflächen des Braunkohle-tagebaus zu finden sind. Die Abbildung 12 zeigt solch ein Profil.



Abbildung 12: Auftragsboden aus Rohlöss mit sehr geringen Humusgehalten im Ober- und Unterboden; Foto: T. Vorderbrügge.

Figure 12: Technosol from loess with very low humus contents in the topsoil and subsoil; photo: T. Vorderbrügge.

Hierzu sollte man aber auch wissen, wie unterschiedlich Humus in den verschiedenen Böden verteilt ist, denn grundsätzlich ist es einfacher, den Humus im Boden zu erhalten als neuen Humus aufzubauen.

Grundlage für eine zielgenaue Maßnahmenumsetzung zum Aufbau von Humus sind deshalb Informationen zur räumlichen Verteilung bzw. Konzentration von Humus in den einzelnen Bodenprofilen.



Abbildung 13 a (links): Pseudogley aus Löss mit einem Humusvorrat von etwas mehr als 150 t je ha; Foto: HLNUG.

Abbildung 13 b (rechts): Kolluvium aus Löss mit einem Humusvorrat von etwas mehr als 200 t je ha; Foto: HLNUG.

Figure 13 a (left): Stagnogley of loess with a humus stock of slightly more than 150 t per ha; photo: HLNUG.

Figure 13 b (right): Loess colluvium with a humus stock of slightly more than 200 t per ha; photo: HLNUG.

Die bundesweite Erhebung der Vorräte an Humus im Boden ergab, dass im Schnitt ca. 60 % der Vorräte in den oberen 30 cm gespeichert werden. Bei einigen Böden werden aber nahezu 80 bis 90 % in den oberen 30 cm gespeichert. Ein typisches Beispiel hierfür zeigt die Abbildung 13 a. Das Profil liegt in einer Lösslandschaft in Nordhessen. Ab 38 cm Tiefe findet man Humus nur noch an den Aggregatoberflächen und in den Regenwurmgängern. Die scharfe Grenze in 38 cm Tiefe ist Ergebnis einer regelmäßigen Pflugarbeit. Der Erhalt des Humus wird also vor allem durch eine angepasste Bodenbearbeitung und regelmäßige Zufuhr an organischer Substanz gewährleistet.

Auf einer Fläche von einem ha sind in den oberen 38 cm nicht ganz 150 t Humus gespeichert, in den folgenden 70 cm nur noch ca. 5 t, insgesamt also mehr als 150 t. Im Vergleichsprofil (Abb. 13 b), das sich nur ca. 1,5 km vom ersten Profil entfernt befindet, ist der Humusgehalt in den oberen 40 cm deutlich geringer. Dies

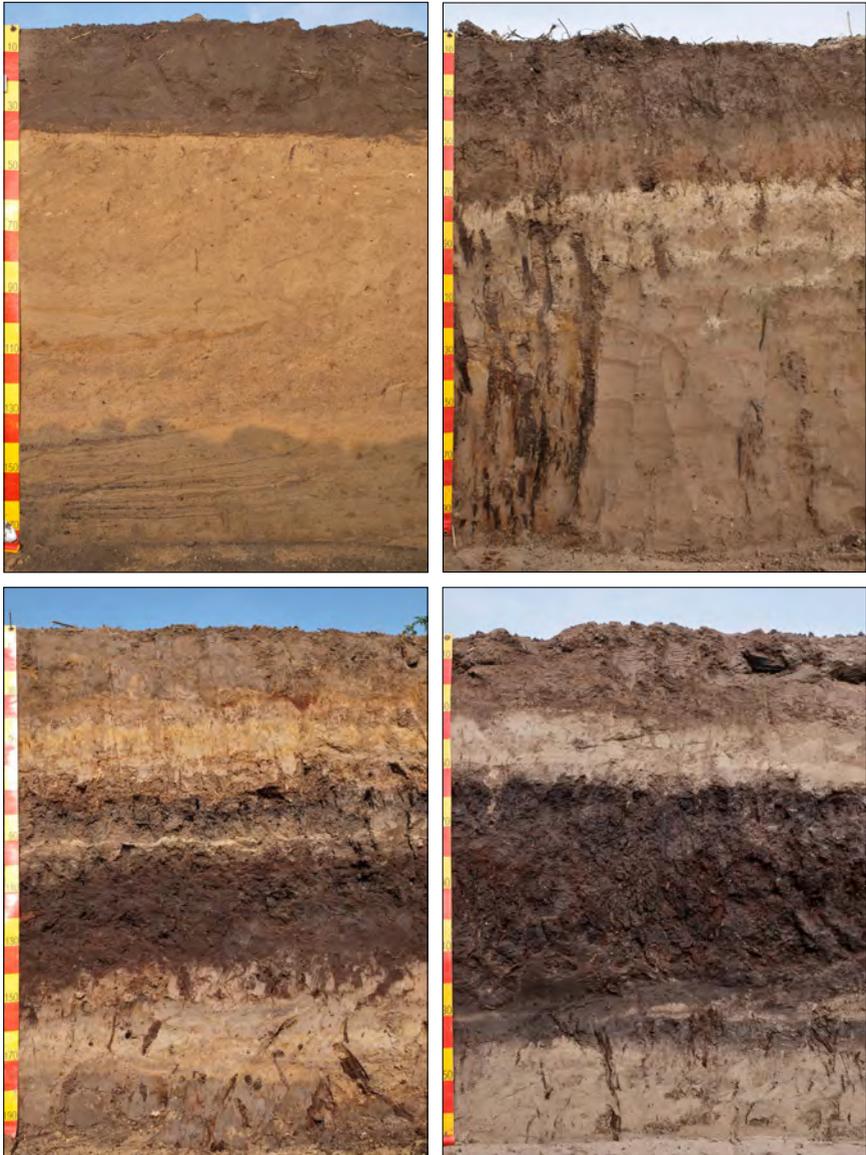


Abbildung 14 a bis 14 d (von links oben nach rechts unten): Verteilung von Humus in vier typischen Böden im Hessischen Ried; Fotos: HLNUG.

Figure 14 a until 14 d (from top left to bottom right): Distribution of humus in four typical soils in the Hessian Ried; photos: HLNUG.

ist an der Färbung zu erkennen. Hingegen ist der Humusgehalt im Unterboden deutlich höher. Während bei diesem Profil der Humusvorrat im Oberboden nur ca. 75 t/ha beträgt, sind es für den Unterboden ca. 127 t/ha. Insgesamt beträgt der Vorrat hier also ca. 200 t/ha und ist damit um ca. 50 t/ha größer als im linken Profil. Obwohl das rechte Profil auf den ersten Blick humusärmer scheint, ist der Vorrat doch insgesamt deutlich höher.

Die beiden Profile zeigen die beiden „Extrema“ der Humusverteilung innerhalb eines Profils in einer Lösslandschaft. Sie liegen zwischen „fast vollständig im Oberboden“ und „gleichmäßig verteilt über das gesamte Profil“. Die in der Abbildung 14 gezeigten Profile befinden sich in Südhessen in einem anderen Landschaftsraum, dem Hessischen Ried. Die vier Profile liegen ebenfalls nur wenige Kilometer voneinander entfernt und die jeweiligen klimatischen Bedingungen sind mehr oder weniger identisch. Aber auch hier zeigt die Humusverteilung im Profil wieder völlig unterschiedliche Muster. Zum einen die typische Konzentration im bearbeiteten Oberboden (Abb. 14 a) ähnlich wie im Profil der Abbildung 13 a. Im nächsten Profil (Abb. 14 b) ist der Humus zu großen Teilen ebenfalls in den oberen 30 cm zu finden. Allerdings folgt direkt darunter eine ebenfalls humose Schicht. Ab 70 cm sind ungleich verteilte humose Bereiche bis in 2 m Tiefe zu erkennen. Dabei handelt es sich um alte Wurzelbahnen, Regenwurmgänge und mit humosem Material verfüllte größere Tiergänge. Im dritten Profil (Abb. 14 c) lagert ebenfalls viel Humus im Oberboden, aber farblich deutlich schwächer ausgeprägt. Auffällig ist aber vor allem die dunkle Schicht in 100 cm bis 140 cm Tiefe. Hierbei handelt es sich um eine Lage aus Niedermoortorf, die aktuell aber nicht mehr im Bereich des Grundwassers liegt. Man kann also von einer ständigen Durchlüftung und damit einem Abbau des Torfs ausgehen. Im vierten Profil (Abb. 14 d) ist bereits ab 50 cm ein anmooriger Bereich, gefolgt von 50 cm Niedermoortorf, erkennen. Auch dieses Profil unterliegt aktuell nicht mehr dem Einfluss des Grundwassers.

Die in der Abbildung 15 dargestellten Profile liegen hingegen aktuell noch im Einflussbereich des Grundwassers. Zur Profilaufnahme wurden die Gruben leer geschöpft. In einem normalen Frühjahr liegt der Grundwasserspiegel zwischen 30 und 50 cm unter Flur.

Bei beiden Profilen liegt eine tonreiche mineralische Überdeckung von ca. 40 bis 50 cm Mächtigkeit auf den organogenen Substraten (Niedermoortorf). Die tiefschwarze Färbung der oberen 50 cm im linken Profil ist dadurch bedingt, dass hier im Laufe der Jahre immer wieder sehr humoses tonreiches Material durch Überflutung abgelegt wurde. Der hohe Tonanteil konserviert die organischen Bestandteile und schützt durch stabile Ton-Humusverbindungen vor raschem Abbau der organischen Substanz. Die mineralische Überdeckung im rechten Profil ist das Ergebnis von Bodenerosion. Auch hier schützt das immer wieder hochanstehende Grundwasser den Humus vor Umsetzung und Abbau. Der Niedermoortorf unterhalb der ca. 50 cm mächtigen mineralischen Auflage wird in beiden Profilen vor Umsetzung und gasförmige Verluste vor allem durch das hoch anstehende

Grundwasser geschützt. Die mineralische Überdeckung schützt also vor allem vor intensiver Austrocknung in Phasen von niedrigeren Grundwasserständen.



Abbildung 15 a (links) und 15 b (rechts): Verteilung von Humus in zwei typischen Böden im Hessischen Ried; Fotos: HLNUG.

Figure 15 a (left) and 15 b (right): Distribution of humus in two typical soils in the Hessian Ried; photos: HLNUG.

Die weitere Entwicklung des Niedermoores wurde durch die Veränderung des großräumigen Wasserregimes (und der Ablagerungsverhältnisse) gestoppt und von einer stetigen Überlagerung von mineralischem Material abgelöst. Damit verbunden war dann im Laufe der Zeit auch die Entwicklung einer anderen Vegetation. Man kann davon ausgehen, dass die Flächen nach ausreichender mineralischer Überdeckung zunächst als extensives Grünland genutzt wurden. Dadurch wurde eine typische Niedermoorvegetation aus Schilf, Seggen, Erlen oder Weiden zurückgedrängt. Inzwischen werden beide Profile als Acker genutzt. Einen weiteren Aufbau von Niedermooortorfen kann man somit ausschließen.

Die sechs Profile zeigen eindrucksvoll, dass standardisierte Maßnahmen zum Aufbau oder Erhalt von Humus als Maßnahme zum Klimaschutz ohne detaillierte Kenntnisse über die verschiedenen Böden, die jeweilige Humusverteilung innerhalb der Profile sowie den historischen und aktuellen Wasserhaushalt kaum zu Erfolg führen werden.

Aber nicht nur landwirtschaftlich genutzte Böden sind durch z. T. sehr hohe Humusgehalte gekennzeichnet. Böden, die im Kontext mit dem Klimawandel als mögliche Quelle von Treibhausgasen in Frage kommen, sind z. B. auch „Gartenböden“, vom Bodenkundler als „Hortisole“ bezeichnet. Die Abbildung 16 zeigt ei-



Abbildung 16 a – 16 c (von links oben nach links unten): Typischer Kleingarten sowie zwei typische Gartenböden in Ostwestfalen; Fotos: Geologischer Dienst NRW, A. Deppe.

Figure 16 a – 16 c (from top left to bottom left): Typical allotment garden and two typical Hor-tisole in East Westphalia; photos: Geological Survey NRW, A. Deppe

nen typischen Kleingarten und zwei typische Gartenböden in Ostwestfalen. Die beiden Gärten werden seit 100 bzw. mehr als 300 Jahren genutzt. In dieser Zeit

wurde in den oberen 60 bis 70 cm Humus aufgebaut, was gut an den farblichen Unterschieden zu erkennen ist. Am zweiten Profil ist auch sehr schön zu sehen, wie der Humus vor allem in den Regenwurmbahnen im Unterboden angereichert wurde. Die Vorräte an Humus in den beiden Böden liegen zwischen 300 und 450 t je ha, also doppelt so hoch wie in einem durchschnittlichen Ackerboden. So hohe Vorräte sind zwar nicht die Regel, aber die Werte zeigen, dass auch innerhalb oder direkt am Rande von Siedlungen Böden mit sehr hohen Humusgehalten anzutreffen sind.

Das letzte Beispiel zeigt, dass Maßnahmen zum Humuserhalt nicht nur im Bereich der landwirtschaftlichen Bodennutzung erforderlich sind, sondern z. B. auch im Bereich der Kleingärten. Gerade diese Böden haben zudem ein hohes Wasserspeichervermögen und dadurch eine sehr hohe Kühlungsfunktion für die nähere Umgebung der Flächen,

Um also die jeweilige Klimafunktion der unterschiedlichsten Böden beschreiben zu können und sie gemäß den Vorgaben des BBodSchG vor weiteren Verlusten zu schützen, benötigt man hinreichende Informationen zum Vorkommen und zur Verteilung in der Landschaft, zur aktuellen und historischen Nutzung, zum Gehalt an Humus sowie zur Verteilung des Humus innerhalb eines Bodenprofils.

## **6 Erhalt von Humus in den Böden durch Bodenschutzvorsorge bei Planvorhaben**

Da der Aufbau von zusätzlichem stabilem Humus im Grunde mengenmäßig ein nur sehr geringes Potential hat, ist im Hinblick auf den Klimawandel und die Bedeutung des Humus zum Schutz vor den Folgen des Klimawandels aus Sicht des Bodenschutzes vorrangig der Schutz vor weiteren Humusverlusten zu gewährleisten.

Klimatisch und anthropogen bedingte Ursachen für einen Humusverlust sind vor allem:

1. ein möglicherweise grundsätzlich erhöhter Humusabbau durch den prognostizierten Temperaturanstieg,
2. Eingriffe in den Wasserhaushalt insb. von Niedermooren z. B. durch Grundwasserabsenkung infolge eines erhöhten Beregnungsbedarfs, Baumaßnahmen oder durch die sogenannte „Entfesselung“ von Gewässern,
3. Starkniederschläge und erosiver Abtrag des humosen Oberbodenmaterials,
4. Oberbodenabtrag beim Bau von Infrastruktur, Siedlungs- und Gewerbeflächen und die daraus resultierenden Maßnahmen des Naturschutzes zur Aushagerung und der Erstellung und weiteren Entwicklung von sog. „Magerstandorten“.

Für die unter zwei bis vier angeführten Ursachen für Humusverluste und damit zusätzliche Freisetzung von Treibhausgasen werden zunächst einige Beispiele auf-

gezeigt. Die Abbildung 17 zeigt den freigelegten Uferbereich eines Kleingewässers mit humosem, fast anmoorigem Oberboden. Der Bereich wurde während starker Niederschläge unterspült. Das humose Oberbodenmaterial wurde z. T. schon abgeführt bzw. wird bei den nächsten stärkeren Niederschlägen fortgeschwemmt. Eine Ablagerung der Sedimente durch Überflutung der Böden im weiteren Verlauf der Aue war nicht möglich, sodass die Sedimente in die nächst größeren Gewässer eingetragen wurden.



Abbildung 17: Freigelegter, unterspülter Uferbereich eines Kleingewässers als Folge einer Entfesselung; Foto: T. Vorderbrügge.

Figure 17: Exposed, undercut bank area of a small water body as a result of an unleashing; photo: T. Vorderbrügge.

Der Verlust an humosen Oberbodenmaterial durch Erosion ist sicherlich die bekannteste Ursache. Die Abbildung 18 zeigt eine Ackerfläche nach Starkniederschlägen. Starkniederschläge bewirken u. a., dass die Bodenaggregate zerschlagen und vor allem die feineren Bodenteilchen wie Schluff und Humus abgeführt werden. Humus wird in den Bodenaggregaten fest an Tonteilchen gebunden. Werden diese Aggregate zerschlagen, wird der Humus noch leichter abgeführt bzw. ungleichmäßig auf der Bodenoberfläche verteilt.

Die etwas braunereren „Schlieren“ auf der Oberfläche zeigen die Bereiche, in denen mehr Ton und Humus abgelagert wurden, die helleren die Bereiche, in denen vor allem der Schluff abgelagert wurde. Diese Trennung von Humus, Ton und Schluff ist rein technisch nicht zu beheben.



Abbildung 18: Erosion nach Starkniederschlägen mit Trennung von Ton- und Humusteilchen als Folge der Zerschlagung von Bodenaggregaten; Foto: T. Vorderbrügge.  
Figure 18: Erosion after heavy precipitation with separation of clay and humus particles as a result of the break-up of soil aggregates; photo: T. Vorderbrügge.



Abbildung 19: Anlage eines Trockenbiotops für die „Blaüflügelige Ödlandschrecke“ (*Oedipoda caerulescens*; LINNAEUS, 1758) nach Abtrag des humosen Oberbodens und Auftrag von nicht standorttypischen Material in Wiesbaden; Foto: T. Vorderbrügge.  
Figure 19: Creation of a dry biotope for *Oedipoda caerulescens* after removal of the humus topsoil and application of non-site-typical material in Wiesbaden; photo: T. Vorderbrügge.

Für die Wirkung von Maßnahmen des Naturschutzes seien zwei Beispiele angeführt. Im Rahmen einer Ersatzmaßnahme für eine Versiegelung wurde als Ausgleich ein Habitat für die „Blaüflügelige Ödlandschrecke“ (*Oedipoda caerulescens*) angelegt. Hierfür wurde der natürlich gebildete und 30 cm mächtige Oberboden zunächst abgetragen sowie anschließend Blockschutt, Kies, Sand, Holz und stellenweise humoses Material aufgetragen (Abb. 19).

Hier muss man davon ausgehen, dass der Humus zum großen Teil mineralisiert wurde und entsprechend verloren gegangen ist. Nach Auftrag des Schotter wird mangels ausreichender Vegetation künftig nur extrem wenig Humus gebildet werden.

Neben der Anlage von Trockenbiotopen hat auch die Anlage von Feuchtbiotopen eine große Bedeutung als naturschutzfachliche Kompensationsmaßnahme zum Ausgleich oder Ersatz für den Flächenverlust in Folge von, ganz allgemein gesprochen, Baumaßnahmen.

Das Beispiel in Abbildung 20 zeigt die Anlage eines Kleingewässers auf der Fläche einer ehemaligen Kleingartenkolonie. Auch hier wurde der humose Oberboden vollständig abgetragen.



Abbildung 20: Anlage eines Kleingewässers nach Abtrag des Oberbodens; Foto: Ing. Büro N. Feldwisch.

Figure 20: Creation of a small water body after removal of the topsoil; photo: Ing. Büro N. Feldwisch.

Die Beispiele zeigen, dass das Thema Humus und Humuserhalt nicht nur auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen zu beachten ist, sondern auch auf den vermeintlich kleinen Garten- und Grünflächen im kommunalen Bereich, die ja durchaus hohe Vorräte an Humus enthalten können.

Eingriffe in den Oberboden finden aber hauptsächlich statt bei der Umwidmung von landwirtschaftlich genutzten Flächen in Flächen für Siedlung, Gewerbe und Infrastruktur, i. d. R. sind dies Flächen mit hochwertigen Böden und herausragender Funktionalität. EGGLESTON, BUENDIA, MIWA et al. (2006) gehen bei ihrer Berechnung der Emissionsinventare davon aus, dass ca. 20 % des auf diesen Flächen vorhandenen Humus freigesetzt werden. In der Fachliteratur belaufen sich diese Schätzungen auf eine Größenordnung zwischen 10 und 80 % (FELD-WISCH & KOUMANS 2023).

Zurzeit werden in Deutschland täglich ca. 55 ha Fläche umgewidmet, dies entspricht einer Fläche von ca. 20.000 ha pro Jahr. Unterstellt man einen durchschnittlichen Gehalt von 105 t Humus im Oberboden, handelt es sich um ca.

2.100.000 t Humus, die betroffen sind. Folgt man der Annahme von EGGLESTON, BUENDIA, MIWA et al. (2006), dass ca. 20 % gasförmig verloren gehen, entspräche dies einem jährlichen Verlust von 420.000 t Humus bzw. einer Treibhausgas-Emission von ca. 890.000 t CO<sub>2</sub>eq. Die entsprechenden Werte für Hessen, bei einer Flächenumwidmung von ca. 750 ha im Jahre, belaufen sich auf einen Humusverlust von 13.200 t bzw. einer Freisetzung von 28.000 t CO<sub>2</sub>eq.

Eine Flächenumwidmung führt aber nicht nur zu direkten Humusverlusten. Diese Flächen stehen auch für eine Speicherung von Humus nicht mehr zur Verfügung. Zusätzlich können, wie oben gezeigt, einzelne Kompensationsmaßnahmen durch den Naturschutz zu weiteren deutlichen Verlusten an Humus führen.

## 7 Erhalt von Humus – Niedermoorschutz

Ein herausragender Beitrag der Böden zum Schutz vor dem Klimawandel wird in der breiten Öffentlichkeit vor allem in ihrer Funktion als Kohlenstoffspeicher gesehen. Wie aber bereits oben gezeigt, ist das zusätzliche Speichervermögen von CO<sub>2</sub> im Boden durch den Aufbau von Humus mengenmäßig eng begrenzt. Die Maßnahmen, die das größte Potential zum Aufbau von Humus besitzen, sind in der Regel mit einem Nutzungswandel verbunden. Dazu gehören z. B. die Wiedervernässung, die Umwandlung von Ackerflächen in Grünlandflächen oder die Entwicklung von Agroforstsystemen (FRELIIH-LARSEN, RIEDEL, HOBEIKA et al. 2022). Alle Maßnahmen sind zudem mit Eingriffen in die Betriebsabläufe der Landwirtschaft verbunden. Eine Umnutzung von Ackerflächen in eine Grünlandnutzung bedeutet ja nicht zwingend, dass es für die Ernteprodukte auch einen entsprechenden Absatzmarkt gibt. Ein nennenswertes Potenzial für den Humusaufbau durch eine Umnutzung besitzen zudem nur die Flächen, die vor allem durch Eingriffe in den Wasserhaushalt wie der Absenkung des Grundwasserspiegels ackerfähig geworden sind. Solche Flächen sind häufig die mit Mineralböden überlagerten Niedermoore. Durch die Grundwasserabsenkung wurde statt einer Grünlandnutzung nun auf einigen z. B. der Anbau von Mais möglich. Die besondere Problematik einer Wiedervernässung von Niedermoorböden liegt aber in Hessen in der Form ihrer Verbreitung in der Landschaft. Der Auszug aus der Bodenkarte „Ried“ (Abb. 21) zeigt, dass die Niedermoore nicht als zusammenhängende Flächen, sondern vor allem in den alten Fluss Schleifen zu finden sind.

Ein Eingriff in den Wasserhaushalt mit dem Ziel des Grundwasseranstiegs auf eine Höhe, mit der das gesamte Niedermoor grundwassergesättigt wird, würde sich somit nicht nur auf die Flächen des Niedermoores, sondern auch direkt auf den Wasserhaushalt der benachbarten Flächen und damit auch auf die Bodenfunktionen dieser Flächen auswirken. Bei einer Planung entsprechender Maßnahmen sind aus Sicht des Bodenschutzes deshalb ihre Wirkung auf die umgebenden Böden und ihre Funktionen mit zu bewerten.

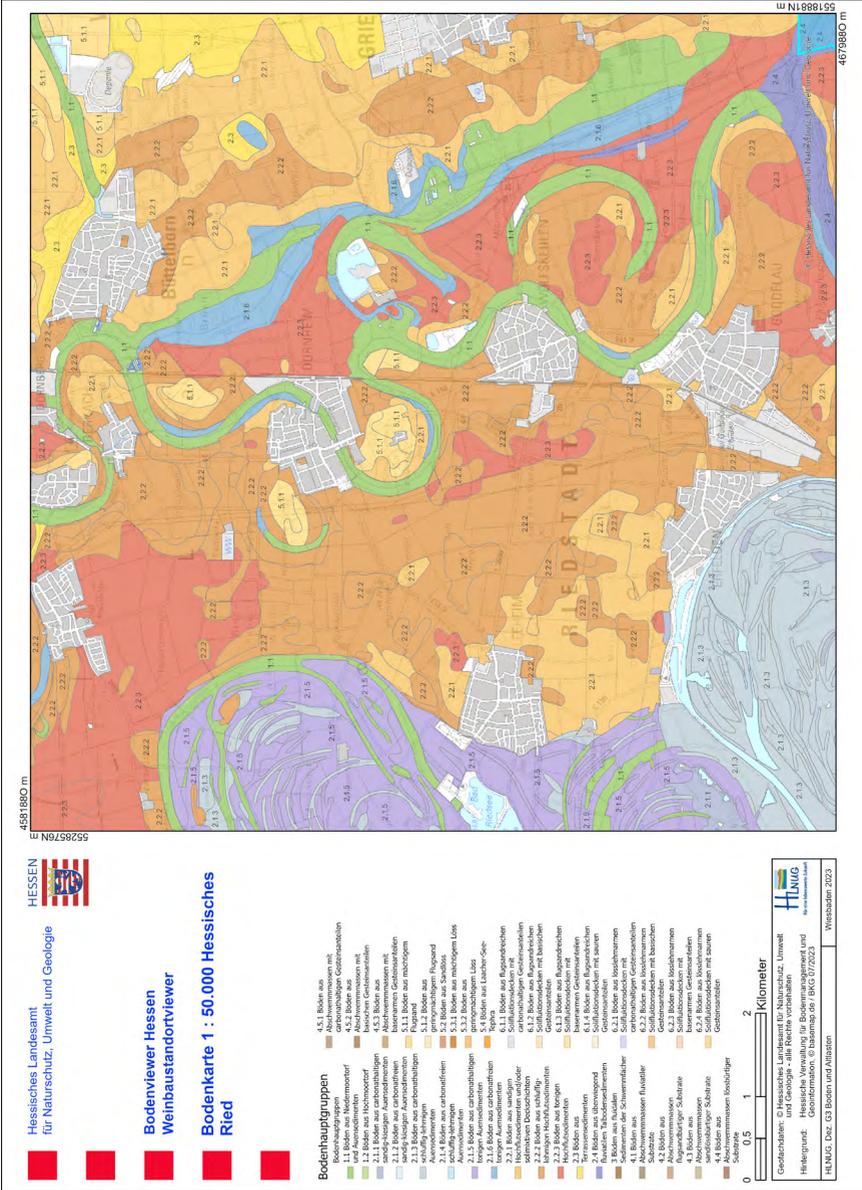


Abbildung 21: Bodenkarte Hessisches Ried., Maßstab 1:35.000 (Original in 1 : 50.000).  
 Figure 21: Soil Map Hessisches Ried, scale 1:35.000 (original 1 : 50.000).

Die Niedermoorfläche beträgt für Hessen ca. 5.000 ha, wobei es sich häufig um mineralisch überdeckte Niedermoor handelt. Die Klimaschutzfunktion der Wie-

dervernässung von Niedermooren beruht vorrangig nicht in einer zusätzlichen Senke von Treibhausgasen, sondern vor allem in der Reduktion der Gasemission. So geht man bei einem Anstieg des Grundwasserspiegels von 70 cm unter Flur auf nur noch 30 cm unter Flur von einer Minderung der Emissionen von 35 t CO<sub>2</sub>eq je ha und Jahr auf noch 25 t CO<sub>2</sub>eq je ha und Jahr aus (BERGHÖFER, COUWENBERG, DRÖSLER et al. 2015). Bei einem Grundwasserspiegel von nur noch 15 cm unter Flur betragen die Emissionen immer noch 10 t CO<sub>2</sub>eq je ha und Jahr. Würde man in Hessen das Grundwasser auf den 5.000 ha Niedermooren auf 15 cm unter Flur aufspiegeln, würden im Vergleich zu einem Grundwasserspiegel von 70 cm unter Flur rein rechnerisch jährlich maximal 125.000 t CO<sub>2</sub>eq weniger emittiert. Damit könnten lediglich 4 % der jährlichen Klimagasemissionen in Hessen kompensiert werden. Diese Menge entspricht der Freisetzung von Klimagasen durch den aktuellen Flächenverbrauch in Hessen innerhalb von vier bis fünf Jahren.

Die Beispiele zeigen, dass die Möglichkeiten, Böden als CO<sub>2</sub>-Senke zu nutzen, stark eingeschränkt sind, sie bewegen sich letztendlich in einer Größenordnung von 2 bis 4 % der jährlichen Treibhausgasemissionen. Da sich aber der Auf- und Abbau von Humus letztendlich auf ein Gleichgewicht einpendelt, ist das Potential der Böden, CO<sub>2</sub> zu speichern, limitiert.

## 8 Literatur

- BERGHÖFER, A., COUWENBERG, J., DRÖSLER, M., JENSEN, R., KANTELHARDT, J., LUTHARDT, V., PERMIEN, T., RÖDER, N., SCHALLER, L., SCHWEPPE-KRAFT, P., TANNEBERGER, F., TREPPEL, M. & S. WICHMANN (2015): Kapitel 5: Klimaschutz durch Wiedervernässung von kohlenstoffreichen Böden. – In: VON HARTJE, V., WÜSTEMANN, H. & BONN, A. (Hrsg.): Naturkapital Deutschland – TEEB DE (2015): Naturkapital und Klimapolitik – Synergien und Konflikte. – 124-147; Berlin, Leipzig (TU Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung).
- BERTHOLD, G. (2010): Klimawandel und Zusatzwasserbedarf im Hessischen Ried. – Jahresbericht des HLNUG **2009**: 63-72.
- BORK, H.-R. & BORK, H. (1987): Extreme jungholozäne hygrische Klimaschwankungen in Mitteleuropa und ihre Folgen. – *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **37**: 109-118; Hannover.
- Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) vom 17.03.1998 (BGBl, I, S. 502).
- DWD (Deut. Wetterdienst, 2021): [www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen](http://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen).
- EGGLESTON, H. S., BUENDIA, L., MIWA, K., NGARA, T. & TANABE, K. (eds.) (2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories): Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4 – Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 8.3.3.2: Settlements; 08\_V4\_Ch8\_Settlements\_final\_v2.doc (iges.or.jp). [letzte Abfrage 28.07.2023].
- EHRMANN, O. (2008): Auswirkungen des Klimawandels auf die Regenwürmer Baden-Württembergs – 64 S.; Karlsruhe (LUBW). [Internetausgabe 2012, aufgerufen am 28.06.2023]
- EHRMANN, O. (2021): Einfluss extremer Wetterereignisse auf die Population von Regenwürmern – Regenwürmer und Klimawandel. – *LOP*, **12/2021**: 38-43.
- FELDWISCH, N. & KOUMANS, C. (2023): Naturschutzfachliche Bodeneingriffe aus Sicht des Bodenschutzes. – In: *Natur in NRW*, **2023/2**: 14-19.
- FRELIH-LARSEN, A., RIEDEL, A., HOBEIKA, M., SCHEID, A., GATTINGER, A., NIETHER, W. & SIEMONS, A. (2022): Role of soils in climate change mitigation. – *Climate Change*, **56**: 88 S.

- GLASNER, B. & HELLER, CH. (2022): Organische Kohlenstoffvorräte landwirtschaftlich genutzter Böden Hessens – Ergebnisse der ersten deutschlandweiten „Bodenzustandserhebung Landwirtschaft“. – In: Boden und Altlasten – Nachrichten aus Hessen, Ausgabe 2022: S. 15-20.
- Hessischer Landtag (2023): Hessisches Gesetz zum Schutz der Natur und zur Pflege der Landschaft (Hessisches Naturschutzgesetz – HeNatG) GVBL – Gesetz und Verordnungsblatt von Hessen Nr. 18: 379-400. 00018.pdf (hessen.de). [letzte Abfrage 28.07.2023].
- HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie) (2018): Klimawandel in der Zukunft. – Klimawandel in Hessen<sup>4</sup>, 2: 24 S. Ausgabe\_02Klimawandel-in-der-Zukunft\_internet.pdf (hlnug.de). [letzte Abfrage 28.07.2023].
- HLNUG (2019): Hydrologie in Hessen (Gewässerkundlicher Jahresbericht 2018), 18: 81 S.
- HLNUG (2020): Hydrologie in Hessen (Gewässerkundlicher Jahresbericht 2019), 19: 81 S.
- HLNUG (2023 a): Klimaportal Hessen – Witterungsbericht; <https://klimaportal.hlnug.de/witterungsbericht>. [letzte Abfrage 05.08.2023]
- HLNUG (2023 b): Umweltindikatoren Hessen – Flächenverbrauch; <https://hlnug.de/themen/nachhaltigkeit-indikatoren/indikatorensysteme/umweltindikatoren-hessen/flaechenverbrauch>. [letzte Abfrage 05.08.2023].
- JACOBS, A., FLESSA, H., DON, A., HEIDKAMP, A., PRIETZ, R., DECHOW, R., GENSIOR, A., POEPLAU, C., RIGGERS, C., SCHNEIDER, F. et al. (2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. – Thünen Report, 64: 316 S.; Braunschweig (Johann Heinrich von Thünen-Institut).
- LÜGGER, K., KLEIN, B., SCHUHMACHER, N. & STEINICKE, CH. (2023): Bodenzustand hessischer Bach- und Flusssauen – Belastungen der Auenböden der Diemel. – Jahresbericht HLNUG 2022: 119-129.
- PLUM, N. M. & FILSER, J. (2005): Floods and drought: Response of earthworms and potworms (Oligochaeta: Lumbricidae, Enchytraeidae) to hydrological extremes in wet grasslands. – *Pedobiologia*, 49 (5): 443-453; doi:10.1016/j.pedobi.2005.05.004.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2021): Klimawandel im Industriezeitalter: global, Deutschland, Hessen. – *Jb. nass. Ver. Naturkde.*, 142: 113-130.
- Stadt Frankfurt am Main (2023): Wie viel Wasser wird in Frankfurt verbraucht? Trinkwasserversorgung Stadt Frankfurt am Main. [letzte Abfrage 28.07.2023]
- TIBBETT, M., FRASER, T. D. & DUDDIGAN, S. (2020): Identifying potential threats to soil biodiversity. – *PeerJ*, 8: e9271; doi.org/10.7717/peerj.9271. [letzte Abfrage 28.07.2023]
- UBA – Umweltbundesamt (2023): Emissionen ausgewählter Treibhausgase in Deutschland nach Kategorien in Tsd. t Kohlendioxid-Äquivalenten. – 8\_tab\_thg-emi-kat\_2023.pdf.
- WALTER, R., BRANDHUBER, R., BURMEISTER, J. & MÜLLER, CH. (2016): Auswirkungen von Überflutungen landwirtschaftlicher Nutzflächen auf Regenwürmer im Boden. – *Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft*, 10: 50 S.
- WELLBROCK, N., BOLTE, A. & FLESSA, H. (eds.) (2016): Dynamik und räumliche Muster forstlicher Standorte in Deutschland: Ergebnisse der Bodenzustandserhebung im Wald 2006 bis 2008. – *Thünen Report*, 43: 550 S.; Braunschweig (Johann Heinrich von Thünen-Institut).
- ZINKERNAGEL J., WEINHEIMER S., HERBST M., KLEBER J. & MAYER N. (2022): Der Bewässerungsbedarf von Freilandgemüse steigt. – *Berichte über Landwirtschaft*, 100 (2): 1-77; doi: 10.12767/buel.v100i2.432.

DR. THOMAS VORDERBRÜGGE  
65199 Wiesbaden  
Panoramastraße. 55  
vorderbrueggeth@online.de

Manuskripteingang: 26. Juli 2023



# Bäume in historischen Parkanlagen im Klimawandel, dargestellt am Beispiel des Rudolf-Goethe-Parks in Geisenheim

MARIE-LOUISE FABER

Klimawandel, Gartendenkmalpflege, Baumarten, Geisenheim

**Kurzfassung:** Unter Denkmalschutz stehende Park- und Gartenanlagen besitzen einen besonderen Wert als historische Kulturlandschaften und verfügen oftmals über eine große Vielfalt heimischer und gebietsfremder Gehölze. Ihre vegetativen Elemente sind schon immer einer witterungsbedingten Dynamik unterlegen. Infolge des Klimawandels kommen neue Einflüsse mit noch nicht absehbaren Auswirkungen hinzu. Dieser Beitrag zeigt die Einflüsse des sich verändernden Klimas auf Gehölze sowie die aktuell diskutierten Ansätze zur Anpassung des Baumbestandes in historischen Parkanlagen auf. Am Beispiel des denkmalgeschützten Rudolf-Goethe-Parks in Geisenheim werden dessen historische Entwicklung und der aktuelle Baumbestand untersucht und Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige Parkentwicklung gegeben.

## Trees in historic parks in climate change, presented by the example of the Rudolf-Goethe-Park in Geisenheim

Climate change, conversation of historic gardens, tree species, Geisenheim

**Abstract:** Historic parks and gardens have a special cultural value as designed landscapes of the past and as such usually have a large variety of native and non-native trees. Their vegetative elements have always been subject to weather-related dynamics. As a result of climate change, new influences with as yet unforeseeable effects are being added. This paper shows the influences of the changing climate on trees as well as the currently discussed approaches for the adaptation of the tree population in historic parks. Using the example of the historic Rudolf-Goethe-Park in Geisenheim, its historical development and the current state of the tree population are examined and recommendations for sustainable park development are given.

### Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	74
2	Der Klimawandel und seine Folgen .....	74
3	Eignung von Baumarten im Klimawandel .....	76
4	Maßnahmen zur Anpassung .....	78
5	Rudolf-Goethe-Park .....	80
5.1	Vorgehensweise und Methoden .....	81
5.2	Anlagengeneese .....	81
5.3	Bestandsbeschreibung .....	85
5.4	Maßnahmenbeschreibung .....	88

6	Zusammenfassung .....	92
7	Danksagung .....	93
8	Literatur .....	93

## 1 Einleitung

Gartendenkmäler, gestaltete Kulturlandschaften der Vergangenheit, zeigen uns die Gestaltung früherer Stilepochen und deren Bezug zur Natur (BRENCK & HANSJÜRGENS 2014: 26). Neben baulichen Anlagen bilden Gehölze das Grundgerüst der künstlerischen Gestaltung (KÜHN & SCHMIDT-WIEGAND 2014: 194, 197). Die Bäume in historischen Parkanlagen unterliegen den aktuellen Klimaentwicklungen in besonderem Maße (KÜHN 2017a: 26).

In Bezug auf die Pflanzenverwendung stellen historische Gärten und Parks eine Besonderheit dar, wenn sie nach dem jeweiligen Landesrecht, wie etwa in Hessen nach § 2 des Hessischen Denkmalschutzgesetzes (§ 2 HDSchG in der Fassung vom 28. November 2016, GVBl. 2016, 211 ff., FFN 76-17), unter Denkmalschutz stehen. Um sie zu schützen und für künftige Generationen zu erhalten, müssen ihre Pflege und Entwicklung denkmalgerecht erfolgen, sodass sich Vorgaben für durchgeführte Maßnahmen wie Sanierung oder Neupflanzungen von herkömmlichen Grünanlagen oder Freiräumen unterscheiden. Es gilt, Klimawandel und Denkmalschutz im Hinblick auf eine nachhaltige Einwicklung des Baumbestandes abzuwägen.

Der vorliegende Beitrag zu diesem Thema, der auf einer wissenschaftlichen Arbeit an der Hochschule Geisenheim University beruht, betrachtet das Beispiel des denkmalgeschützten Rudolf-Goethe-Parks am Hochschulcampus in der Von-Lade-Straße in Geisenheim.

## 2 Der Klimawandel und seine Folgen

Weltweit sind die Veränderungen des Klimas real und spürbar. Nach Aussage des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) können diese Veränderungen eindeutig dem Einfluss des Menschen zugeordnet werden (IPCC 2021: 3). Die atmosphärischen Konzentrationen der Treibhausgase, insbesondere Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) sowie Lachgas (N<sub>2</sub>O), sind seit Beginn der industriellen Entwicklung (um 1850) angestiegen und haben zu einer positiven Strahlungsbilanz und einer Verstärkung des Treibhauseffektes geführt (IPCC 2021: 3). Der Mensch trägt jedoch nicht nur durch Emission von klimawirksamen Spurengasen und Aerosolen zum ‚anthropogenen Klimawandel‘ bei. Darüber hinaus üben auch Waldrodung, landwirtschaftliche Nutzung und Bebauung Einfluss auf das Klima aus (SCHÖNWIESE 2019: 77-78).



Abbildung 1: Anzeichen des sich ändernden Klimas in Geisenheim (FABER 2020 nach HLNUG 2020).

Figure 1: Signs of climate change at Geisenheim (FABER 2020 according to HLNUG 2020).

Die daraus resultierende globale Erwärmung hat weitreichende Auswirkungen, die hier nur umrissen werden können. Aus dem Anstieg der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen resultiert eine erhöhte mittlere globale Oberflächentemperatur, die durch positive Rückkopplungen im Klimasystem verstärkt wird. Hierzu zählt etwa die Wasserdampfrückkopplung, da der Temperaturanstieg einen erhöhten Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre nach sich zieht und dieser wiederum die Temperaturerhöhung beeinflusst (SCHMIDT et. al 2017: 10). Nach Aussage des IPCC (2021: 3) war die globale Oberflächentemperatur in der Dekade 2001–2020 um 0,99 °C höher als im Referenzzeitraum 1850–1900. Zusätzlich zur globalen Erwärmung können auch Ereignisse wie der Rückgang der Meereisfläche in der Arktis, der globale Gletscherrückgang, der mittlere weltweite Anstieg des Meeresspiegels sowie Veränderungen von Extremwetterereignissen, etwa Hitzewellen oder Starkniederschlägen, dem Einfluss des anthropogenen Klimawandels zugeordnet werden (IPCC 2021:7).

Für Geisenheim wurden Daten einer Wetterstation nahe der Hochschule Geisenheim University ausgewertet (Koordinaten: 49.9858°N, 7.9547°E; 110 m ü. NN). Seit 1885 werden an dieser Station Daten aufgezeichnet (HLNUG 2020). Die Analyse ergab, dass in Bezug auf die Temperaturwerte bereits erste Anzeichen einer Klimaänderung zu erkennen sind (Zeitraum 1990–2019 im Vergleich zum Referenzzeitraum 1885–1914). Dies zeigt sich insbesondere in einem Anstieg der Jahres- und Quartalsmitteltemperatur, einem daraus resultierenden Rückgang der Frosttage und einer Zunahme der Sommertage. Die Niederschläge hingegen unterliegen im untersuchten Zeitraum einer hohen Variabilität, sodass Aussagen über Änderungen infolge des Klimawandels nicht möglich sind. Ein Rückgang der Jahresniederschlagssumme konnte nicht verzeichnet werden. Es fand lediglich eine geringe Zunahme des Winterniederschlags statt (vgl. Abb. 1).

Wie sich das Klimasystem der Erde unter dem Einfluss anthropogener und natürlicher Komponenten verhält, kann mithilfe von Klimamodellen simuliert werden (SCHÖNWIESE 2019: 84). Um Aussagen über kleinräumige Klimaänderungen treffen zu können, werden die Ergebnisse globaler Klimamodelle regionalisiert

und Modelle mit einer höheren räumlichen Auflösung verwendet (JACOB, KOTTMEIER, PETERSEN et al. 2017: 28; KASPAR & MÄCHEL 2017: 18).

Um Rückschlüsse auf den Untersuchungsraum Geisenheim zu erhalten, wurde das Projekt ReKliEs-De (Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland) betrachtet. Im Rahmen dieses Projektes wurden im Zeitraum 2014–2017 die Klimaänderungen zum Ende des 21. Jahrhunderts (2021–2100) für Deutschland und die nach Deutschland entwässernden Flusseinzugsgebiete untersucht (HÜBENER, BÜLOW, FOOKEN et. al 2017: I, 1). Aus den in einem Bericht des Fachzentrums für Klimawandel und Anpassung des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) veröffentlichten Ergebnissen konnten Erkenntnisse über die Klimaänderungssignale für das Bundesland Hessen gezogen werden. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Ergebnisse des Berichts keine konkreten Aussagen über den Klimawandel in der Region Rheingau zulassen. Änderungen des regionalen Klimas sind eng an die örtlichen Gegebenheiten wie die Topografie gebunden, wodurch Klimaprojektionen mit hoher räumlicher Auflösung in ihrer Aussage ungenauer werden (CROCI-MASPOLI & ESSL 2013: 25).

Mit welchen klimatischen Veränderungen kann nun in Hessen gerechnet werden? Steigen die Konzentrationsverläufe der Treibhausgase weiter stark an, wird das zukünftige Klima in Hessen von einem Anstieg der Mitteltemperatur von möglicherweise bis zu 4 °C geprägt sein. Kälteperioden und Spätfröste können dennoch weiterhin auftreten. Außerdem ist damit zu rechnen, dass sich die Zahl an heißen Tagen, insbesondere im Rheingau, auf bis zu 30 bis 40 Tage erhöhen kann. Sowohl im Sommer als auch im Winter könnte es über längere Zeit ungewöhnlich warm werden (Zunahme von Wärmeperioden). Beispielsweise, wenn im Winter in einem Zeitraum von mindestens sechs Tagen Temperaturen höher als 10 °C auftreten (HÜBENER & GRÄCMANN 2019: 8-18). Die Verschiebung des Niederschlags vom Sommer in den Winter würde für das zukünftige Klima in Geisenheim bedeuten, dass die Sommer trockener und heißer werden, die Winter mild und regenreicher.

### **3 Eignung von Baumarten im Klimawandel**

Angesichts der prognostizierten Veränderungen unseres Klimas stellt sich die Frage, welche Baumarten dem Klimawandel standhalten können. Das Wissen über die Eignung und Verwendung von Baumarten im Klimawandel und im Besonderen in historischen Parkanlagen ist nach Aussage von ROLOFF (2018: 156) noch längst nicht umfassend erforscht.

Bäume verfügen über ein gewisses Anpassungs- und Optimierungspotenzial. Langfristig gesehen wird das Überleben einer Baumart von diesem Anpassungspotenzial abhängen. Es ist demnach nicht nur relevant, ob die Art aktuell angepasst ist, sondern ob sie sich zudem an das zukünftige Klima anpassen kann

(ROLOFF & RUST 2014: 73). Häufig auftretende Stresssituationen werden physiologische Reaktionen der Bäume als langfristige Anpassung nach sich ziehen (Resistenz) (KÖRNER 2014: 744; ROLOFF 2018: 172, 2022). Äußere Faktoren, wie das Alter des Baumes bei der Pflanzung oder die Standortbedingungen in der Baumschule, können dieses Potenzial zusätzlich beeinflussen. Hinzu kommt, dass das natürliche Vorkommen einer Art nur begrenzt Rückschlüsse auf die gesamte Standortamplitude zulässt, die diese Baumart besiedeln könnte. In der Regel wird das natürliche Vorkommen durch die Konkurrenz mit anderen Baumarten eingeschränkt (BONN, GILLNER & ROLOFF 2008: 30-31; ROLOFF 2018: 156). Neben der Standortamplitude werden zukünftig außerdem eine erhöhte Spätfrost- und Trockenheitsresistenz bei der Eignung eine besondere Rolle spielen (ESSL, LEXER & SEIDL 2013: 181; ROLOFF 2022; ROLOFF & RUST 2014: 73).

Bedingt durch den Klimawandel wird es nach ROLOFF & MEYER (2008: 4) zu einem „Selektionsdruck“ kommen. Das bedeutet, einige der in Deutschland derzeit kultivierten Baumarten werden sich anpassen und einige womöglich sogar bessere Wachstumsbedingungen vorfinden als zuvor. Andere Baumarten werden wiederum ausfallen oder nur mit besonderer Pflege kultiviert werden können (ROLOFF & MEYER 2008: 4).

Angesichts dieser Tatsachen existiert inzwischen eine Vielzahl von Klimabaumlisten unterschiedlichster Herausgeber, basierend auf Versuchspflanzungen oder praktischen Erfahrungswerten. Der Großteil dieser Listen legt den Fokus auf die Eignung von Bäumen als Stadt- und Straßenbäume im speziellen Stadtklima (SCHÖNFELD 2018). Eine Ausnahme bildet die von ROLOFF & MEYER (2008) entwickelte „KlimaArtenMatrix für die freie Landschaft“ (kurz KLAM-Landschaft). Die KLAM-Landschaft untersucht Baumarten, die für Gehölzpflanzungen in der Landschaft geeignet sein könnten (ROLOFF & MEYER 2008: 5). Anhand des Lebensbereichs einer Baumart sowie deren Trockenstress- und Frosttoleranz werden Rückschlüsse auf die Verwendung im Klimawandel gezogen und die Arten in drei Gruppen unterteilt (ROLOFF & MEYER 2008: 5):

- unproblematische Eignung (bezeichnet als ‚eher im Vorteil‘)
- unveränderte Eignung (bezeichnet als ‚indifferent‘)
- Kultivierung nur mit zusätzlichem Aufwand möglich (bezeichnet als ‚eher im Nachteil‘)

Eine hohe Zahl der in der KLAM-Landschaft aufgeführten Baumarten ist gebietsfremd. Einige Baumarten stammen beispielsweise aus Süd- und Südosteuropa. Hierzu zählen, neben Baumarten aus wärmeliebenden Eichenmischwäldern, beispielsweise die Essbare Kastanie (*Castanea sativa*) oder der Schwarze Maulbeerbaum (*Morus nigra*) (ROLOFF & MEYER 2008: 19-20). RABITSCH, ESSL, KRUESS et al. (2013: 67) sehen gebietsfremde Arten als „Gewinner des Klimawandels“, da sie oftmals euryök sowie wärmeliebend sind und von einer höheren Mitteltemperatur profitieren können.

Als vorteilhaft im Klimawandel wird in der KlimaArtenMatrix zudem die Zuordnung zu bestimmten Lebensbereichen nach KIERMEIER (1995) bewertet. Einige der als geeignet eingestuften Baumarten stammen beispielsweise aus dem Lebensbereich der Auen- und Ufergehölze. Sie sind an ihrem natürlichen Standort sowohl nassen als auch trockenen Extremen ausgesetzt. Andere als vorteilhaft eingestufte Baumarten kommen in Steppen und Trockenwäldern vor und sind dementsprechend hitzeverträglich, aber auch wärmebedürftig.

Wenngleich die KLAM-Landschaft Einschätzungen zur Eignung heimischer und gebietsfremder Gehölze unter dem Einfluss des Klimawandels enthält, sollte sie jedoch nicht als „eindeutige Verwendbarkeitsvorhersage“ (ROLOFF & MEYER 2008: 4) verstanden werden. Trotzdem können Klimabaumlisten als Orientierung dienen, welche Baumarten in der Freiraumgestaltung Verwendung finden könnten, insbesondere bei Neupflanzungen. Historische Parkanlagen bilden jedoch einen Sonderfall. Die vegetative Substanz zahlreicher denkmalgeschützter Parkanlagen wie z. B. der Rudolf-Goethe-Park in Geisenheim ist angesichts eines sich ändernden Klimas besonders gefährdet, da es sich um Bestandsbäume handelt, die es oftmals zu erhalten gilt. Es ist daher zunächst zu diskutieren, wie bei der Erhaltung denkmalgeschützter Anlagen die Einflüsse des Klimawandels und die Forderungen des Denkmalschutzes miteinander verknüpft werden können.

## 4 Maßnahmen zur Anpassung

Zum Erhalt und zur Entwicklung historischer Parkanlagen wurde in den vergangenen Jahrzehnten meist eine konservierende Methodik angewendet, die darauf abzielt, anhand gärtnerischer Maßnahmen kurzfristig auf Mängel und Veränderungen in den Parkanlagen zu reagieren. Die pflegerischen Maßnahmen dienen nicht nur dem Erhalt, sondern auch der Stärkung der Bestandsbäume sowie der Verbesserung ungünstiger Standortbedingungen (KOWARIK 2017: 79; KÜHN 2017b: 261). In Anbetracht des Klimawandels handelt es sich bei diesen kurzfristigen Maßnahmen nicht um neuartige Pflegekonzepte, sondern um bewährte Methoden, die weiterhin empfohlen und in Bezug auf den Klimawandel diskutiert werden. Beispielhaft sei der Umgang mit der Ressource Wasser genannt. SELLINGER (2014: 173) etwa schlägt vor, einen ‚Managementplan Wasser‘ anzufertigen, in dem festgehalten ist, wie bei Regenwasserrückhaltung, Grünflächenbewässerung oder Wartungsarbeiten vorgegangen werden soll. Darüber hinaus können revitalisierende Baumschnittmaßnahmen und Bodenverbesserungen förderlich sein (GILLNER 2017b: 117, 120-122).

Mit dem Klimawandel tritt nun eine neue, unbekannte Größe in den Fokus, deren Auswirkungen auf denkmalgeschützte Gärten und Parks bislang nicht abzusehen sind. KÜHN (2017a: 28) betont daher, dass nur mittel- und langfristige Ansätze „dämpfend, regulierend oder verhindernd“ auf direkte und indirekte kli-

matische Veränderungen einwirken können. Dabei sollte im Vordergrund stehen, die vorhandenen Parkbäume zu stärken und den gesamten Park anhand geeigneter Neupflanzungen langfristig anzupassen. Diesem Ansatz wiederum steht der denkmalpflegerische Erhaltungsauftrag im Weg. Muss etwa aus Gründen der Verkehrssicherheit oder eines Krankheits- und Schädlingsbefalls ein Baum entfernt werden, fordert die Denkmalpflege die Nachpflanzung der Ursprungsart (konservierender Ansatz), um den Denkmalwert der historischen Gartenanlage zu erhalten (GILLNER 2017a: 105). Abbildung 2 informiert über die Vorgehensweise.

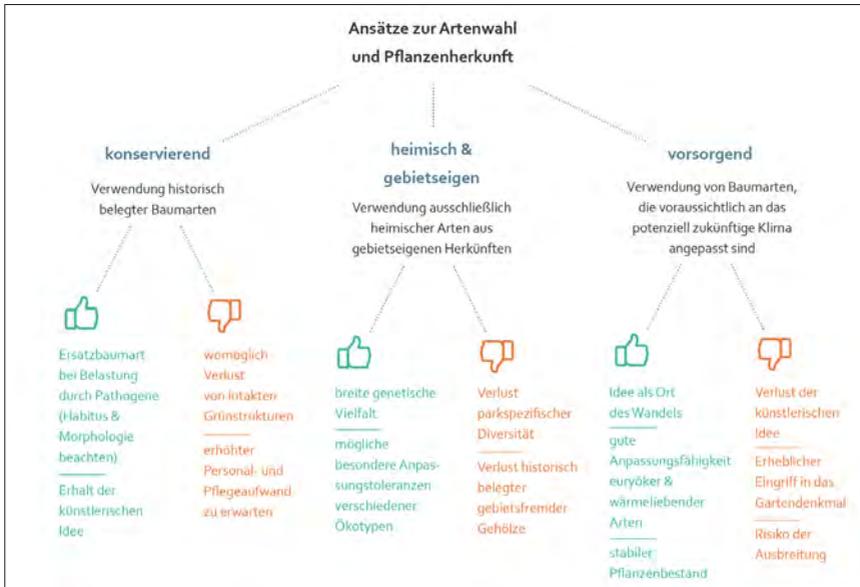


Abbildung 2: Die verschiedenen Ansätze zur Baumartenwahl in historischen Parkanlagen mit der Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile im Überblick (FABER 2020 nach GILLNER 2017a: 101, 105; KOWARIK 2017: 80; KÜHN 2017b: 261; KÜHN & GILLNER 2017: 62; KÜHN & SCHMIDT-WIEGAND 2014: 198-199; ROLOFF 2018: 163; SCHMIDT-WIEGAND 2017: 215).

Figure 2: An overview of the different approaches to tree species selection in historic parks and gardens with comparison of advantages and disadvantages (FABER 2020 according to GILLNER 2017a: 101, 105; KOWARIK 2017: 80; KÜHN 2017b: 261; KÜHN & GILLNER 2017: 62; KÜHN & SCHMIDT-WIEGAND 2014: 198-199; ROLOFF 2018: 163; SCHMIDT-WIEGAND 2017: 215).

Lässt sich eine Baumart an ihrem ursprünglichen Standort jedoch nicht mehr etablieren, besteht die Möglichkeit, eine Ersatzpflanzung vorzunehmen. Diese Maßnahme wird in Fachkreisen kritisch betrachtet. Um die künstlerische Idee möglichst geringfügig zu verändern, ist die denkmalpflegerische Voraussetzung für eine Ersatzpflanzung, dass sich bei der Wahl der Baumart an Habitus und Morphologie der Ursprungsbaumart orientiert wird (GILLNER 2017a: 101). Derzeit werden zwei Handlungsoptionen für Ersatzpflanzungen diskutiert. Zum einen besteht die Idee, Nachpflanzungen auf heimische Arten aus gebietseigenen

Herkünften zu beschränken. Auch wenn die Verwendung der Bezeichnung ‚heimische Art‘ umstritten ist, werden darunter grundsätzlich Arten verstanden, die sich über mehrere Generationen und Zeiträume in einem bestimmten Naturraum vermehrt haben und eine regionale Herkunft aufweisen. Das bedeutet, dass der genetische Ursprung des Pflanzmaterials aus der jeweiligen Region stammt (SEITZ 2017: 235-236). Die Verwendung heimischer Gehölze könnte im Klimawandel vorteilhaft sein. Es ist davon auszugehen, dass regionale genetische Variationen einer Baumart das Potenzial besitzen, sich an die veränderten Klimaverhältnisse anzupassen (KÜHN & SCHMIDT-WIEGAND 2014: 198-199).

Der vorsorgend handelnde Ansatz hingegen fordert, bei Neupflanzungen Baumarten zu wählen, die voraussichtlich an das potenziell zukünftige Klima angepasst sind und schließt damit neben heimischen auch gebietsfremden Arten ein. Im Fokus steht dabei die Etablierung eines intakten und stabilen Grünbestandes und ein verringerter Pflegeaufwand (KÜHN & SCHMIDT-WIEGAND 2014: 198). Dennoch schätzen KÜHN & SCHMIDT-WIEGAND (2014: 198) die Verwendung klimawandeltauglicher Arten als einen „beträchtlichen Eingriff [...], der die künstlerische Idee und den Zeugniswert des Denkmals verfälschen würde“, ein. Darüber hinaus ist zurzeit fraglich, zu welchem Zeitpunkt Baumarten nach projizierten Klimaverhältnissen gepflanzt werden sollten, wenn die bisherigen Klimabedingungen diesen noch gar nicht entsprechen (KÜHN & GILLNER 2017: 62). Des Weiteren können die Anzucht, die Herkunft der Bäume sowie das Alter zum Zeitpunkt der Pflanzung Einfluss auf den Anwacherfolg haben.

Es erscheint sinnvoll, für jede historische Gartenanlage die vorhandenen Baumarten und deren Eignung im Klimawandel sowie ihre Vitalitätsentwicklung näher zu betrachten, um Rückschlüsse auf die Anpassungsfähigkeit des Gartendenkmals im Klimawandel bewerten zu können. Die Möglichkeit der Ersatzpflanzung und somit eine Anpassung durch geeignetere Baumarten käme in Betracht, wenn es der historische Hintergrund der Parkanlage und der vorhandene Baumbestand zulassen, was wiederum individuell zu prüfen ist.

## 5 Rudolf-Goethe-Park

Die Autorin untersuchte unter anderem den Park am Campus in der Von-Lade-Straße in Geisenheim (Abb. 3). Dieser Park verfügte über eine variiende, aber keine eindeutige Namensgebung und erhielt erst im Rahmen der Untersuchungen die Bezeichnung ‚Rudolf-Goethe-Park‘. Der Rudolf-Goethe-Park ist nach § 2 HDSchG unter Schutz gestellt.



Abbildung 3: Lageplan des Campus an der Von-Lade-Straße der Hochschule Geisenheim University. Rot markiert der nach § 2 des Hessischen Denkmalschutzgesetzes denkmalgeschützte Bereich der Parkanlage (Grafik: FABER 2020 nach Landesamt für Denkmalpflege Hessen 2014: 466, unmaßstäblich dargestellt).

Figure 3: Site plan of the campus on Von-Lade-Strasse of Geisenheim University. Marked in red is the area of the park protected as a historic monument according to § 2 of the Hessian Monument Protection Act (Grafik: FABER 2020 after Landesamt für Denkmalpflege Hessen 2014: 466, not to scale).

## 5.1 Vorgehensweise und Methoden

Zunächst wurde die historische Entwicklung des Rudolf-Goethe-Parks untersucht. Neben der Auswertung von Literaturquellen dienten für die Beschreibung der Anlagengese insbesondere zeitgenössische Pläne, Fotografien und Postkarten dazu, Informationen über die Entstehung und Entwicklung der Parkanlagen und der Gehölze zu erhalten.

Im Anschluss erfolgte eine Baumanalyse, aus welcher Erkenntnisse über die Zusammensetzung der Baumarten, ihre Vitalität, Herkunft und die Klimawandel-tauglichkeit der Bestandsbäume hervorgehen. Für die Analyse wurde von der Autorin ein eigenes Verfahren entwickelt.

Basierend auf der Anlagengese und Baumanalyse konnten Maßnahmen für eine zukunftsorientierte Entwicklung des Rudolf-Goethe-Parks festgelegt werden.

## 5.2 Historie des Rudolf-Goethe-Parks

Die Anlagengese des Rudolf-Goethe-Parks ist untrennbar mit der Geschichte der heutigen Hochschule Geisenheim University verbunden. Die Hochschule wurde im Jahr 1872 als Königliche Lehranstalt für Obst- und Weinbau gegründet, initiiert durch Eduard von Lade, Geisenheimer Bürger und Erbauer der Villa

Monrepos (CLAUS 1972: 12-15). Neben Sortimentens- und Zuchtgärten wurde 1871 auf dem Gelände der Lehranstalt für den künftigen Lehrbetrieb zudem ein über 2 ha großer Obstpark angelegt und 1872 fertiggestellt (Königliche Lehranstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau 1897: 137).

Im Jahr 1879 veranlasste der Direktor der Lehranstalt, Rudolf Goethe, eine Umgestaltung des Obstparks in einen Zierpark und nahm maßgeblich Einfluss auf das Erscheinungsbild des Parks, das in großen Teilen bis heute erhalten geblieben ist (CLAUS 1972: 18-19). Die Gestaltung des Parks (Abb. 4) war von Beginn an auf den Lehrbetrieb ausgerichtet. Gehölze waren für den Unterricht mit Namensetiketten versehen und übersichtlich gepflanzt worden (Königliche Lehranstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau 1884: 46).

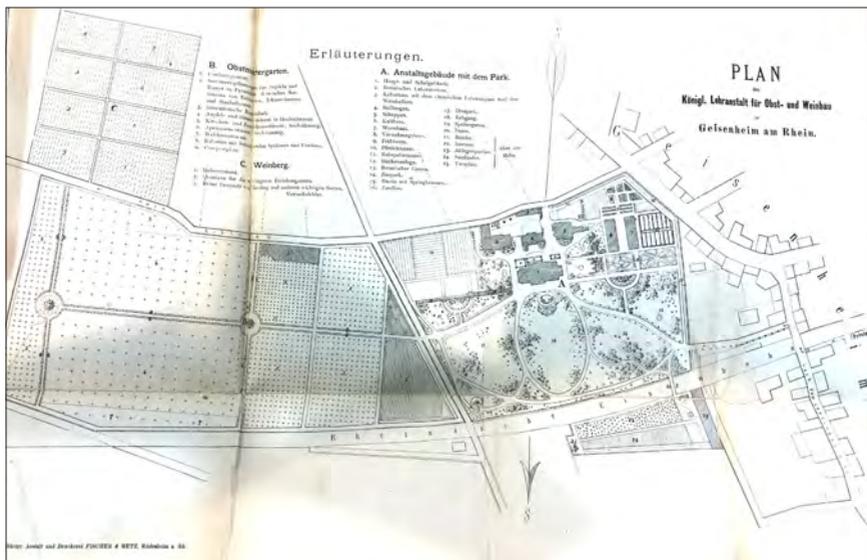


Abbildung 4: Lageplan der Königl. Lehranstalt für Obst- und Weinbau in Geisenheim am Rhein aus dem Bericht für das Etatjahr 1881-1882 (Hochschulbibliothek Geisenheim, Signatur Re 100 Mg; unmaßstäblich dargestellt).

Figure 4: Site plan of the Königl. Lehranstalt für Obst- und Weinbau in Geisenheim on the Rhine from the report for the budget year 1881-1882 (Hochschulbibliothek Geisenheim, signature Re 100 Mg; not to scale).

Im Jahr 1897 feierte die Lehranstalt ihr 25-jähriges Jubiläum. Aus diesem Anlass wurde ein Sonderbericht veröffentlicht, in dem eine ausführliche Beschreibung der Parkanlagen enthalten ist. Der Bericht zeigt auf, dass bereits zum damaligen Zeitpunkt mit großer Vorliebe besondere und exotische Gehölze im Park der Lehranstalt gepflanzt worden sind, darunter eine Vielzahl an Koniferen (Königliche Lehranstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau 1897: 138-141).



Abbildung 5: Blick vom Hauptweg aus nach Norden. Dort, wo sich 1910 die Gewächshäuser befanden, stehen heute der Hörsaalpavillon und das Campusgebäude. Erhalten geblieben ist der hängende Schurbaum (*Styphnolobium japonicum* 'Pendula'), der jeweils mit einem roten Pfeil markiert ist (Aufnahme links: SCHMITTHENNER 1910: Bild Nr. 8; Aufnahme rechts: FABER 2020).  
 Figure 5: View to the north from the main path. Where the greenhouses were in 1910, the lecture hall pavilion and the campus building stand today. The Japanese pagoda tree (*Styphnolobium japonicum* 'Pendula'), marked with a red arrow, has been preserved (photo left: SCHMITTHENNER 1910: photo no. 8; photo on the right: FABER 2020).

Nach 1910 ist nur wenig über die weitere Entwicklung des Zierparks überliefert (Abb. 5). Während des 1. Weltkrieges (1914–1918) und auch in den Nachkriegsjahren war aufgrund Personalmangels keine ausreichende Pflege der Parkanlagen möglich. Der Bericht des Gartenbaudirektors Friedrich GLINDEMANN (1930: 41-47) in einem Führer über die Lehr- und Forschungsanstalt aus dem Jahr 1930 zeigt auf, dass in der Zwischenzeit, bis auf die Ergänzung eines Rosariums, kaum Veränderungen im Zierpark vorgenommen worden sind. Im Jahr 1941 musste der Lehrbetrieb der Anstalt eingestellt werden und auf den Versuchsflächen der Lehranstalt und auch im Park wurden Kleingärten zum Gemüseanbau angelegt. Mit Ende des 2. Weltkrieges ging die Lehr- und Forschungsanstalt 1946 in den Besitz des Landes Hessen über und im April des gleichen Jahres konnte wieder mit dem Lehrbetrieb begonnen werden (CLAUS 1972: 33-34).

Eine Baumaßnahme, die direkten Einfluss auf das Erscheinungsbild des Rudolf-Goethe-Parks nahm, war der Bau des Hörsaalpavillons südlich der Gewächshäuser im östlichen Teil des Parks, der 1971 fertiggestellt wurde (Lehr- und Forschungsanstalt Geisenheim 1971: 5). Anlässlich des Umbaus der Kreisstraße K 630 kam es darüber hinaus zu einer Umgestaltung der Westgrenze des Parks. Der Straßenumbau machte den Bau einer Brücke notwendig, die ebenfalls 1971 errichtet wurde (FA Geisenheim 1972: 5; Hochschulbibliothek Geisenheim: R 1826 Mg (Planung Däumel 1971)).

Hinweise auf das Pflanzensortiment aus dieser Zeit finden sich nur wenige. Zwar wurde 1975 eine Inventur sämtlicher Gehölze vorgenommen, allerdings sind nicht alle Ergebnisse überliefert. Zudem gibt es keine Hinweise auf die Ent-

wicklung der Baumstruktur oder die Standorte der Gehölze (KIERMEIER 1976: 156-168). In den Jahresberichten der Forschungsanstalt der Folgejahre bis 1990 finden sich keine Informationen zu Maßnahmen oder besondere Entwicklungen im Rudolf-Goethe-Park. Erst im Jahresbericht der Forschungsanstalt im Jahr 1992 äußert sich der Fachbereich Landschaftsbau kritisch zum Zustand der Hochschulparkanlagen und setzt die Entwicklungen bereits mit dem Klimawandel in Verbindung (FA Geisenheim 1993: 100): „Große Sorge bereitet wiederum der Verlust einiger markanter Einzelbäume durch Windwurf oder wegen diverser Krankheiten. Die Neupflanzungen können nur langsam die entstandenen Lücken schließen. Es bleibt zu hoffen, dass die Klimaentwicklung nicht zu weiteren Verlusten und zu einer nachteiligen Entwicklung der Parkgestaltung führt.“

Ab 1993 wurden, aufgrund personeller Umstrukturierungsmaßnahmen, einige bis dahin intensiv gepflegte Sommerflor- und Staudenbeete in extensive Gehölz- und Bodendeckerflächen umgewandelt, um den Parkpflegeaufwand zu reduzieren (FA Geisenheim 1994: 103; HEY 1997: 141).

Anlass für umfangreiche Baumsanierungen in beiden Parkanlagen der Forschungsanstalt gab das 125-jährige Jubiläum der Forschungsanstalt im Jahr 1997. Darüber hinaus wurden in den 1990er-Jahren trotz eines geringen Etats, das dem Fachgebiet zur Verfügung stand, Neupflanzungen durchgeführt, um die Artenvielfalt in den Parkanlagen zu erhöhen (FA Geisenheim 1998: 193; HEY 1997: 141).

In den 2000er-Jahren fanden neben der regulären Pflege nur geringfügige Veränderungen statt. 2002 wurde in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet Betriebswirtschaft und Marktforschung ein Parkpflegekonzept entwickelt und ein Baumplegekataster erarbeitet (FA Geisenheim 2002: 172-173; FA Geisenheim 2003: 181-182). Nach Aussage des Parkpflegers MÜLLER (2020) musste in den vergangenen Jahrzehnten aus unterschiedlichen Gründen eine Vielzahl verschiedener Baumarten gefällt werden. Oftmals waren es Gründe der Verkehrssicherheit oder auch gestalterische Aspekte, die das Entfernen eines Baumes notwendig machten. Besonders seit 2018 häufen sich die Ausfälle bei Nadelgehölzen wegen Borkenkäferbefall aufgrund der starken Trockenheit in den Sommermonaten (MÜLLER 2020).

Die Betrachtung der anlagengenetischen Entwicklung des Rudolf-Goethe-Parks zeigt auf, dass der Park seit der Umgestaltung durch Direktor Goethe 1879 eine botanische Sammlung für den Lehrbetrieb darstellt. Rudolf Goethe legte somit den Grundstein für den im landschaftlichen Stil gestalteten Park, was seine Erinnerung zum Namensgeber des Parks begründet. Der Park wurde seit jeher so entwickelt, dass eine möglichst große Vielfalt an Pflanzen abgebildet wird. Die historischen Hinweise auf in früheren Zeiten vorhandene Bäume und Gehölze zeigen auf, dass sich darunter zahlreiche gebietsfremde Arten und besondere Arten oder Sorten mit auffälligen Blattmerkmalen oder Früchten befanden.

### 5.3 Bestandsbeschreibung

Im Anschluss an die anlagengenetische Untersuchung wurde eine Baumanalyse durchgeführt. Diese diente dazu, Aussagen über den Zustand und die Baumdiversität des Rudolf-Goethe-Parks treffen zu können.

Für die Analyse wurden folgende Untersuchungskriterien festgelegt:

1. Vitalität und Alter nach Sachverständigenbüro Zorn (2019),
2. Herkunft nach ROLOFF & BÄRTELS (2018),
3. Klimawandeltauglichkeit, basierend auf der KlimaArtenMatrix für die freie Landschaft nach ROLOFF & MEYER (2008), der Zuordnung der Bäume zu Lebensbereichen (LB) nach KIERMEIER (1995) sowie der Frostresistenz anhand der Zuordnung zu Winterhärtezonen (WHZ) nach ROLOFF & BÄRTELS (2018),
4. Aktuell bedeutsame, potenzielle Schadorganismen nach DEISSLER (2017), DELB & JOHN (2019), DUJESIEFKEN (2018) und KEHR & SCHUMACHER (2014).

Einschätzungen zu Vitalität und Alter der Bäume wurden aus dem 2019 erstellten Baumgutachten des Sachverständigenbüros Zorn (Sachverständigenbüro Zorn 2019) entnommen und übertragen. Im Hinblick auf das Alter der Bäume wurde dieses nach Sachverständigenbüro Zorn (2019) in vier Kategorien unterteilt:

1. j = Junge Phase
2. m = Mittlere Phase
3. a = Altersphase
4. a/s = Abgangsstadium

Eine genauere Ermittlung des Alters wurde nicht vorgenommen, da eine Altersermittlung über den Brusthöhenumfang (BHU) eines Baumstammes und anhand von Tabellen fern des Naturstandorts mit Unsicherheiten verbunden ist (ROLOFF 2018: 45).

Der heimischen oder gebietsfremden Herkunft der Baumarten kam eine besondere Aufmerksamkeit zu. Daher wurden die Bäume in Arten der heimischen Flora sowie nicht einheimische Arten untergliedert. Der Baumbestand der Parkanlagen umfasst zudem eine Vielzahl an durch Züchtung oder Kreuzung erzeugten Kulturformen, sogenannte Cultivare (C). Hinsichtlich der Herkunft ergaben sich daraus fünf Zuordnungsgruppen: ‚Heimisch‘, ‚Heimisch | C‘, ‚Gebietsfremd‘, ‚Gebietsfremd | C‘ und ‚Cultivar‘.

Neben der Analyse von Vitalität, Herkunft und Eignung der Baumarten im Klimawandel wurde außerdem die Funktion der Einzelbäume untersucht, die diese im Gesamterscheinungsbild der Parkanlage ausüben. Dabei wurde im Zuge dieser Analyse unterschieden, ob es sich bei dem Baum um einen prägnanten Solitärbaum oder wertvollen Altbaum-Solitär handelt, der freistehend oder innerhalb einer Pflanzung dominierend wirkt. Außerdem wurden Baumgruppen, die ein in sich geschlossenes Baumsortiment bilden, sowie Baumreihen oder Alleen farblich

gekennzeichnet. Die übrigen Bäume wurden als Raumbildner eingestuft, da sie mit den in ihrem Umfeld stehenden Bäumen die Raumkulisse des Parks bilden. Die Untersuchung der Funktion der Bestandsbäume ist bedeutsam, um zusammenhängende oder erhaltenswerte Strukturen zu erkennen.

Darüber hinaus wurden bei einzelnen Baumarten die Einflüsse potenzieller Schadorganismen berücksichtigt, die aktuell die Entwicklung und Etablierung dieser Baumarten in Deutschland beeinträchtigen. Auch wenn bis zum Untersuchungsjahr 2020 nur wenige dieser Schadorganismen im Rudolf-Goethe-Park nachgewiesen worden sind, besteht die Möglichkeit, dass vermehrter Trocken- und Hitzestress zu einer erhöhten Anfälligkeit führen kann.

Basierend auf diesen Untersuchungskriterien wurden eine Baumbestandsliste sowie Pläne und Grafiken erarbeitet. Die Analyse stellt den Baumbestand im September 2020 dar (siehe Abb. 7).

Die Baumanalyse ergab, dass der Gesamtzustand des Rudolf-Goethe-Parks, trotz der in den vergangenen Jahren aufgetretenen Trockenperioden und Hitzeperioden, 2020 noch als gut bezeichnet werden konnte. Einige Bäume wiesen eine schlechtere Vitalität auf, was allerdings nicht eindeutig mit den klimatischen Entwicklungen in Zusammenhang gesetzt werden kann, da auch andere Einflüsse für den Zustand des Baumes ausschlaggebend sein können. Grundsätzlich konnte beobachtet werden, dass der Anteil an Bäumen, die hinsichtlich ihres Kronenaufbaus der Altersphase zugeordnet werden, verhältnismäßig hoch ist. Als wertvolle Altbäume sind insbesondere ein Hängender Schnurbaum (*Styphnolobium japonicum* ‚Pendula‘) sowie eine Schwarznuss (*Juglans nigra*) hervorzuheben. Der Schnurbaum kann bereits auf einer Fotoaufnahme aus dem Jahr 1910 nachgewiesen werden (vgl. Abb. 5).

In Bezug auf die Herkunft der Baumarten und ihrer Eignung im Klimawandel wurde folgendes festgestellt:

Innerhalb der heimischen Arten wird lediglich die Gemeine Fichte (*Picea abies*) als nicht geeignet eingestuft. Sie kommt von Natur aus im Gebirge und im Bergland vor und verträgt als Flachwurzler langanhaltende Trockenperioden und Hitze nur schlecht (WARDA 2002: 776). Diese Klimabedingungen machen die Gemeine Fichte anfällig für Schädlinge wie die Borkenkäferarten Buchdrucker und Kupferstecher (DELB & JOHN 2019: 1). Der Großteil der heimischen Arten hingegen, wie etwa Rotbuche (*Fagus sylvatica*) oder Eibe (*Taxus baccata*), wird als ‚indifferent‘ eingestuft, was darin begründet ist, dass diese Arten zwar wärmeverträglich sind, aber frische bis feuchte Bodenverhältnisse bevorzugen. Einige vorhandene heimische Bäume hingegen kommen mit Trockenheit und Hitze besser zurecht. Zu diesen als ‚eher im Vorteil‘ eingestuften Arten gehören unter anderem Arten, die natürlicherweise in wärmeliebenden Eichenmischwäldern vorkommen. Hierzu zählen Feldahorn (*Acer campestre*), Echte Mehlsbeere (*Sorbus aria*), Elsbeere (*Sorbus torminalis*) und Schneeballblättriger Ahorn (*Acer opalus*). Darüber hinaus sind jedoch noch weitere vorhandene heimische Arten an wär-

mere und trockenere Klimabedingungen angepasst wie der Französische Ahorn (*Acer monspessulanum*). Diese Baumart kommt in Deutschland von Natur aus lediglich in Regionen mit mediterranem Weinbauklima vor und ist mit den vorher genannten Arten vergesellschaftet (WARDA 2002: 14-15).



Abbildung 6: Zwei wertvolle Altbäume auf der Hauptwiese des Rudolf-Goethe-Parks: ein männlicher und ein weiblicher *Ginkgo biloba* (FABER 2020).

Figure 6: Two valuable old trees in the main meadow of Rudolf-Goethe-Park: a male and a female *Ginkgo biloba* (FABER 2020).

Bei den gebietsfremden Arten ist das Verhältnis ‚eher im Vorteil‘ zu ‚indifferent‘ ausgeglichener. Die Herkunft der zahlreichen gebietsfremden Arten im Rudolf-Goethe-Park ist sehr unterschiedlich. Die meisten Arten stammen aus Asien (Abb. 6) oder Nordamerika, einige wenige aus Europa. Zu den Baumarten, die als vorteilhaft im Klimawandel eingestuft werden, gehören die aus Nordamerika stammenden Arten Amerikanische Gleditschie (*Gleditsia triacanthos*) und Amerikanischer Zürgelbaum (*Celtis occidentalis*). Auch der Europäische Zürgelbaum (*Celtis australis*) ist im Rudolf-Goethe-Park vorhanden und wird im Klimawandel als vorteilhaft eingestuft. Zu den Arten, die als unvorteilhaft eingestuft worden sind, zählen solche, deren natürliches Verbreitungsgebiet in kühl-feuchten Wäldern und Bergwäldern zu finden ist. Arten mit diesen Lebensbereichen sind etwa der Echte Fächer-Ahorn (*Acer palmatum*), die Himalaya-Zeder (*Cedrus deodara*) oder der Küstenmammutbaum (*Sequoia sempervirens*).

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass in Bezug auf die Klimawandeltauglichkeit der Bestandsbäume lediglich einige wenige Arten vorhanden sind, die, je

nachdem wie sich das Klima in den kommenden Jahren entwickeln wird, einen erhöhten Pflegeaufwand erfordern oder entfernt werden müssten. Viele Arten jedoch kommen mit den derzeitigen Klimaverhältnissen gut zurecht und könnten auch zukünftig im Vorteil sein. Der Rudolf-Goethe-Park bildet eine große Vielfalt an Baumarten unterschiedlichster Herkünfte ab und ist ein wichtiger Bestandteil der Pflanzenlehre an der Hochschule Geisenheim University.



Abbildung 7: Ausschnitt aus dem Analyseplan des Rudolf-Goethe-Parks, in dem die Eignung der Bestandsbaumarten im Klimawandel dargestellt ist. Die Bestandsbäume sind mit Kurzbezeichnungen der Baumarten und Baumnummern versehen. Die farbige Markierung verweist auf die Eignung: grün = eher im Vorteil, blau = indifferent, rot = eher im Nachteil. Die Schraffur markiert Nadelbäume (FABER 2020, nicht maßstabsgetreu).

Figure 7: Section of the analysis plan of Rudolf Goethe Park showing the suitability of existing tree species in climate change. The existing trees are labeled with short names of the tree species and tree numbers. The colored markings refer to the suitability: green = rather in advantage, blue = indifferent, red = rather in disadvantage. The hatching marks coniferous trees (FABER 2020, not to scale).

## 5.4 Maßnahmenbeschreibung

Basierend auf der Baumanalyse wurden anhand eines Maßnahmenkataloges kurz- und mittelfristige pflegerische Maßnahmen sowie langfristige Maßnahmen zur strukturellen Entwicklung des Rudolf-Goethe-Parks festgelegt. Vorrangiges

Ziel soll dabei sein, angesichts sich ändernder Umweltbedingungen einen stabilen Baumbestand zu etablieren. Zur Dokumentation der langfristigen Maßnahmen wurde die Parkfläche in verschiedene Maßnahmenbereiche untergliedert, die in einem Plan dargestellt sind und in textlicher Form erläutert werden. Nachstehend werden nun beispielhaft Maßnahmen erläutert.

Im Hinblick auf kurz- und mittelfristige Maßnahmen wird Folgendes empfohlen:

Einen bedeutsamen Aspekt der Pflege stellt die Bewässerung der Vegetationsflächen dar. Auf eine intensive Bewässerung der Grünflächen ist aus Gründen der Nachhaltigkeit zu verzichten. Angesichts der im Sommer 2020 aufgetretenen Wasserknappheit ist ungewiss, inwiefern zukünftig eine zusätzliche Bewässerung gewährleistet werden kann. Es ist daher sinnvoller, den Baumbestand nach Möglichkeit so zu entwickeln, dass auf eine zusätzliche Bewässerung verzichtet werden kann. Da ein solcher Zustand derzeit noch nicht vorhanden ist, wird das Aufstellen von Standregnern weiterhin notwendig sein, um Gehölzpartien zu bewässern. Während langanhaltender Trockenperioden sind dabei insbesondere wertvolle Altbäume und Jungbäume mit zusätzlichen Wassergaben zu unterstützen.

Ob in den Vegetationsflächen außerdem eine zusätzliche Zuführung von organischem Material in Form von Kompost notwendig ist, kann im Rahmen einer Bodenuntersuchung festgestellt werden. Die Bodenproben sind dabei an mehreren Stellen im Park zu entnehmen. Aufbauend auf dieser Analyse kann dargelegt werden, ob es durch erhöhte Temperaturen zu einem verstärkten Abbau des organischen Materials gekommen ist und ob die Nährstoff- und Wasserversorgung der Vegetationsflächen durch Kompost verbessert werden muss.

Darüber hinaus ist eine jährliche Kontrolle der Bäume, wie sie bereits in den vergangenen Jahren regelmäßig erfolgt ist, weiterhin beizubehalten, um ihren Zustand festzustellen und mögliche Beeinträchtigungen der Verkehrssicherheit frühzeitig zu erkennen. Die jährlichen baumpflegerischen Maßnahmen sind ebenfalls kontinuierlich fortzusetzen. Sollten Bäume Vergreisungserscheinungen und eine sich entwickelnde Sekundärkrone aufweisen, ist in Erwägung zu ziehen, einen Kronenregenerationsschnitt durchzuführen.

Neben pflegerischen Maßnahmen werden jedoch insbesondere Baumpflanzungen zu einer langfristigen Anpassung an den Klimawandel beitragen. Es ist darauf zu achten, dass Neu- und Nachpflanzungen frühzeitig erfolgen, um größere Lücken im Bestand zu vermeiden. Eine lokale Anzucht von Gehölzen ist im Rahmen der finanziellen und personellen Kapazitäten nicht umsetzbar, sodass bei Baumpflanzungen weiterhin auf Baumschulware zurückzugreifen ist. Bei heimischen Baumarten ist dabei auf eine gebietseigene Herkunft zu achten. Es wird empfohlen, kleinere Pflanzqualitäten zu bevorzugen, um einen schnellen und hohen Anwuchserfolg sicherzustellen. Hinsichtlich des Pflanzzeitpunkts ist zukünftig, wenn möglich, die Herbstpflanzung zu bevorzugen, sodass die Bäume in der Winterruhe Feinwurzeln ausbilden können.

Der Großteil des derzeitigen Baumbestands ist nicht historisch belegt, sodass Baumarten, die aufgrund der veränderten Umweltbedingungen benachteiligt sind, durch eine als vorteilhafter im Klimawandel eingestufte Baumart ersetzt werden können. Im Rahmen der wissenschaftlichen Arbeit wurde eine Liste mit heimischen und gebietsfremden Arten erstellt, die für eine Anpflanzung im Rudolf-Goethe-Park geeignet erscheinen. Die anlagengenetische Analyse hat aufgezeigt, dass der Rudolf-Goethe-Park seit seiner Entstehung zu jeder Zeit eine große Vielfalt an Baumarten aufgewiesen hat. Diese Vielfalt wurde sowohl durch heimische als auch gebietsfremde Arten geprägt. Die Baumanalyse hat zudem ergeben, dass der Baumbestand durch einen höheren Anteil gebietsfremder als heimischer Arten gebildet wird. Aus diesem Grund sind zukünftig weiterhin sowohl heimische als auch gebietsfremde Baumarten zu etablieren, um einen vielfältigen und stabilen Baumbestand aufzubauen. Es wird empfohlen, dabei auch auf bisher nicht verwendete Baumarten zurückzugreifen, um deren Verwendbarkeit im Rheingauer Klima zu prüfen.

Wie dargelegt, gibt es im Rudolf-Goethe-Park wertvolle Altbäume. Diese gilt es zu revitalisieren, um sie möglichst lange zu erhalten. Hierfür käme beispielsweise die Injektion von Bodenhilfsstoffen oder Mykorrhizapilzen infrage, um die Standortbedingungen zur Nährstoff- und Wasseraufnahme zu verbessern. Eine solche Bodenverbesserung wurde bis zum Untersuchungszeitraum im Sommer 2020 noch nicht durchgeführt.

Insbesondere bei den historisch belegten Baumarten war zu prüfen, ob die Arten klimawandeltauglich sind und ob eine Nachpflanzung der gleichen Art im Klimawandel sinnvoll erscheint. Tatsächlich werden die meisten historisch belegten Arten in der zugrundeliegenden Baumanalyse hinsichtlich ihrer Eignung als ‚eher im Vorteil‘ und ‚indifferent‘ eingestuft. Sie sind daher nach derzeitigem Kenntnisstand nach Abgang durch die gleiche Baumart zu ersetzen. Es handelt sich dabei um Baumarten wie Blaue Atlas-Zeder (*Cedrus atlantica* ‚Glauca‘), Schnurbaum (*Styphnolobium japonicum*, auch als Sorte ‚Pendula‘) oder Riesenmammutbaum (*Sequoiadendron giganteum*) (Abb. 8, grün markierte Bäume).

Über die historisch belegten Baumarten hinaus gibt es prägnante Solitärbäume, deren Baumanalyse ergeben hat, dass ihre Art als geeignet im Klimawandel eingestuft werden kann. Im Maßnahmenplan des Rudolf-Goethe-Parks sind die entsprechenden Bäume gelb dargestellt und durchnummeriert (vgl. Abb. 8). Es wird empfohlen, diese Baumarten zu erhalten und bei Abgang durch die gleiche Baumart zu ersetzen. Beispielhaft seien zwei Gingko (*Ginkgo biloba*) auf der Hauptwiese im Zentrum des Parks genannt (vgl. Abb. 6).

Darüber hinaus werden für bestimmte Bereiche des Parks gesonderte Pflanzkonzepte vorgeschlagen. In der Nähe des Hörsaalpavillons im nordöstlichen Teil des Rudolf-Goethe-Parks (Maßnahmenbereich M8, vgl. Abb. 8) bildeten beispielsweise historisch belegt rot- und gelblaubige Baumarten einen Farbkontrast, der durch die Wahl im Klimawandel geeigneter Baumarten wieder aufgegriffen



zudem eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass die Pflanzen von Borkenkäferarten befallen werden. Auch für Nadelbaumarten wurde im Rahmen der Untersuchungen eine Liste mit geeigneteren Baumarten erstellt, aus denen ein klimawandeltaugliches Koniferensortiment zu entwickeln ist.

## 6 Zusammenfassung

Im Vorfeld einer Maßnahmenplanung, die darauf ausgerichtet ist, eine denkmalgeschützte Garten- oder Parkanlage im Klimawandel zu bewahren und zu entwickeln, gilt es, den Bestand zu analysieren, um Aussagen über seinen Zustand und die Baumartenstruktur treffen zu können. Richtlinien oder Empfehlungen zur Vorgehensweise bei einer Baumanalyse gibt es derzeit noch nicht.

Die Untersuchung hat ergeben, dass die Bestandsbäume grundsätzlich in einem guten Zustand sind. Lediglich Nadelbaumarten wie *Picea* (Fichte) und *Chamaecyparis* (Scheinzypresse) wurden durch die langanhaltenden Trocken- und Hitzeperioden der vergangenen Jahre geschwächt, wodurch Ausfälle zu verzeichnen waren. Des Weiteren wurde bei *Tilia*- (Linde) sowie *Acer*-Arten (Ahorn) beobachtet, dass diese bei Trockenstress verstärkt Totholz bilden. Darüber hinaus kann eine zeitliche Verschiebung phänologischer Ereignisse, etwa ein späterer Laubfall im Herbst, festgestellt werden. Bei Baumarten wie *Cercidiphyllum japonicum* (Kuchenbaum) oder *Acer cissifolium* (Cissusblättriger Ahorn) war hingegen im niederschlagsarmen Sommer 2020 ein vorzeitiges Vergilben der Blätter und ein frühzeitiger Blattabwurf zu beobachten. Die dargelegten Beobachtungen in der Baumentwicklung können derzeit lediglich den Witterungsbedingungen der vergangenen Jahre zugeschrieben werden. Um allgemeingültige Aussagen treffen zu können, sind Langzeitbeobachtungen notwendig.

In Bezug auf die Eignung der Bestandsbaumarten im Klimawandel weist der Rudolf-Goethe-Park das Potenzial auf, aufbauend auf einer guten Ausgangslage einen stabilen Baumbestand entwickeln zu können. Der Park profitiert dabei von einem hohen Anteil gebietsfremder, trockenheits- und hitzeverträglicher Baumarten. Dies spiegelt sich auch in der historischen Entwicklung wider, die aufzeigt, dass der Park seit jeher als botanische Sammlung konzipiert war, um eine Funktion als Lehr- und Anschauungsobjekt zu erfüllen.

Langfristig lassen sich historische Garten- und Parkanlagen laut Angaben von Experten nur über eine geeignete Baumartenwahl anpassen, um einen intakten und stabilen Grünbestand zu etablieren. Im Hinblick auf die Baumartenstruktur wird entscheidend sein, dass möglichst vielfältig gepflanzt wird, sowohl art- als auch genotypisch divers. Im Falle historisch belegter Baumarten wird diesbezüglich ein gewisses Maß an Flexibilität notwendig sein, falls diese sich als ungeeignet im Klimawandel darstellen. Klimabaum-Listen mit Pflanzempfehlungen können dabei jedoch nur als Anhaltspunkt dienen, da auch Baumarten, die als vorteilhaft

im Klimawandel eingestuft sind, keine Garantie auf Erfolg bieten. Stattdessen sollte jede Neupflanzung als Versuch gewertet werden, der zu einem klimastabilen und anpassungsfähigen Bestand beitragen kann.

Im Rahmen einer zukunftsorientierten Entwicklung des denkmalgeschützten Rudolf-Goethe-Parks sollte die Historie generell Berücksichtigung finden, aber darüber hinaus eine zeitnahe und fortwährende Anpassung an die Erfordernisse der Gegenwart und Zukunft erfolgen, um den Rudolf-Goethe-Park auch für die zukünftige Lehre zu sichern. Da nur wenige Baumarten historisch belegt sind, lässt dies für den Rudolf-Goethe-Park bei der Wahl neuer Baumarten einen größeren Entscheidungsspielraum zu.

## 7 Danksagung

Prof. Dr. Alexander von Birgelen und Dipl.-Ing. Wenzel Bratner für die Betreuung und Hilfestellung bei den wissenschaftlichen Untersuchungen. Allen Gesprächspartnern, die die Möglichkeit für ein Interview gegeben oder benötigte Informationen zur Verfügung gestellt haben. Herrn Prof. Dr. Benedikt Toussaint wird als Schriftleiter des Nassauischen Vereins für Naturkunde für seine Unterstützung gedankt.

## 8 Literatur

- BONN, ST., GILLNER, S. & ROLOFF, A. (2008): Gehölzartenwahl im urbanen Raum unter dem Aspekt des Klimawandels. – In: Bund deutscher Baumschulen (BdB) e.V. (Hrsg.): Forschungsstudien: Klimawandel und Gehölze. Grün ist Leben, Sonderausgabe: 30-42; Leverkusen.
- BRENCK, M. & HANSJÜRGENS, B. (2014): Historische Gärten wertvoll und kostbar – Wie eine ökonomische Sicht helfen kann. – In: ROHDE, M. & KRELLIG, H. (Hrsg.): Historische Gärten im Klimawandel. Empfehlungen zur Bewahrung; Internationale Fachtagung „Historische Gärten im Klimawandel“ vom 4. bis 6. September 2014 in Potsdam-Sanssouci und dem Nikolaisaal Potsdam. – S. 26-29; Leipzig (Edition Leipzig).
- CLAUS, P. (1972): Geisenheim 1872–1972 – 100 Jahre Forschung und Lehre für Wein-, Obst- und Gartenbau. – 260 S.; Stuttgart (Ulmer).
- CROCI-MASPOLI, M. & ESSL, F. (2013): Klimatologische Grundlagen. Klimawandel, Beobachtungen, Szenarien. – In: ESSL, F. & RABITSCH, W. (Hrsg.): Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa. – S. 4-29; Berlin (Springer Spektrum).
- DEISSLER, M. (2017): Schädlinge und Krankheiten an Gehölzen in Zeiten des Klimawandels – Auswirkungen auf die Personalbedarfsplanung aus Sicht der SPSG. – In: KÜHN, N., GILLNER, S. & SCHMIDT-WIEGAND, A. (Hrsg.): Gehölze in historischen Gärten im Klimawandel. Transdisziplinäre Ansätze zur Erhaltung eines Kulturguts. – Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, 131: 208-212; Berlin (Universitätsverlag der TU Berlin).
- DELB, H. & REINHOLD, J. (2019): Borkenkäfer-Management ab Frühjahr 2019. – Schriftenreihe Waldschutz-Info, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), I: 1-8; online verfügbar unter [https://www.fvabw.de/fileadmin/publikationen/wsinfo/wsinfo2019\\_01.pdf](https://www.fvabw.de/fileadmin/publikationen/wsinfo/wsinfo2019_01.pdf). [zuletzt abgerufen am 05.08.2023]

- DUJESIEFKEN, D. (2018): Aktuelles zur Pseudomonas-Rindenkrankheit und zum Rosskastanien-Sterben. – In: Pro Baum. Zeitschrift für Pflanzung, Pflege und Erhaltung, **14** (2): 2-6.
- ESSL, F., LEXER, M. & SEIDL, R. (2013): Wie könnten unsere Lebensräume und Landschaften zukünftig aussehen? Wälder: Anbaugrenzen, Klimaextreme, Parasiten und Störungen. – In: ESSL, F. & RABITSCH, W. (Hrsg.): Biodiversität und Klimawandel. Auswirkungen und Handlungsoptionen für den Naturschutz in Mitteleuropa. – S. 179-192; Berlin (Springer Spektrum).
- FABER, M.-L. (2020): Bäume in historischen Parkanlagen im Klimawandel am Beispiel der Hochschulparkanlagen der Hochschule Geisenheim (unveröff. Masterarbeit, Studienbereich Landschaftsarchitektur an der Hochschule Geisenheim University). – Textband 188 S., Anhang mit Abbildungen und Tabellen 188 S. sowie 12 Pläne; Geisenheim.
- Forschungsanstalt Geisenheim (FA) (Hrsg.) (1972): Hessische Forschungsanstalt für Wein-, Obst- und Gartenbau Geisenheim (Rheingau), Jahresbericht 1971; Geisenheim/Rhg.
- Forschungsanstalt Geisenheim (FA) (Hrsg.) (1993): Jahresbericht 1992. Forschungsanstalt Geisenheim und Fachbereiche Weinbau und Getränketechnologie, Gartenbau und Landespflege der Fachhochschule Wiesbaden; Geisenheim/Rhg.
- Forschungsanstalt Geisenheim (FA) (Hrsg.) (1994): Jahresbericht 1993. Forschungsanstalt Geisenheim und Fachbereiche Weinbau und Getränketechnologie, Gartenbau und Landespflege der Fachhochschule Wiesbaden.
- Forschungsanstalt Geisenheim (FA) (Hrsg.) (2002): Jahresbericht 2001. Forschungsanstalt Geisenheim und Fachbereiche Weinbau und Getränketechnologie, Gartenbau und Landespflege der Fachhochschule Wiesbaden; Eltville.
- Forschungsanstalt Geisenheim (FA) (Hrsg.) (2003): Jahresbericht 2002. Forschungsanstalt Geisenheim und Fachbereiche Weinbau und Getränketechnologie, Gartenbau und Landespflege der Fachhochschule; Eltville.
- GILLNER, S. (2017a): Neupflanzungen in historischen Gärten unter dem Eindruck des Klimawandels. – In: KÜHN, N., GILLNER, S. & SCHMIDT-WIEGAND, A. (Hrsg.): Gehölze in historischen Gärten im Klimawandel. Transdisziplinäre Ansätze zur Erhaltung eines Kulturguts. – Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, **131**: 66-77; Berlin (Universitätsverlag der TU Berlin).
- GILLNER, S. (2017b): Revitalisierung von Gehölzbeständen in historischen Gärten unter dem Eindruck des Klimawandels. – In: KÜHN, N., GILLNER, S. & SCHMIDT-WIEGAND, A. (Hrsg.): Gehölze in historischen Gärten im Klimawandel. Transdisziplinäre Ansätze zur Erhaltung eines Kulturguts. – Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, **131**: 110-123, 129-139; Berlin (Universitätsverlag der TU Berlin).
- GLINDEMANN, F. (1930): Der Park. – In: MUTH, F. (Hrsg.): Führer durch die Staatliche Lehr- und Forschungsanstalt für Wein-, Obst- u. Gartenbau zu Geisenheim a. Rh. – S. 41-47; Wiesbaden (Bechtold & Comp.).
- Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) (2020): Wetterextreme in Hessen. Klimastation Geisenheim; online verfügbar unter <https://klimaportal.hlnug.de/wetterextreme>. [zuletzt abgerufen am 05.08.2023]
- HEY, CH. (1997): Fachgebiet Landschaftsbau. – In: Gesellschaft zur Förderung der Forschungsanstalt Geisenheim (GFFG) (Hrsg.): 125 Jahre Forschungsanstalt Geisenheim. Festschrift zum 125jährigen Jubiläum der Forschungsanstalt Geisenheim. – S. 140-150; Geisenheim.
- HÜBENER, H., BÜLOW, K., FOOKEN, C., FRÜH, B., HOFFMANN, P., HÖPP, S., KEULER, K., MENZ, CH., MOHR, V., RADTKE, K., RAMTHUN, H., SPEKAT, A., STEGER, CH., TOUSSAINT, F., WARRACH-SAGI, K. & WOLDT, M. (2017): ReKliEs-De Ergebnisbericht. Regionale Klimaprojektionen Ensemble für Deutschland. Online verfügbar unter <http://reklies.hlnug.de/fileadmin/tmpl/reklies/dokumente/ReKliEs-De-Ergebnisbericht.pdf>. [zuletzt abgerufen am 05.08.2023]
- HÜBENER, H. & GRÄCMANN, P. (2019): Ergebnisse des Projekts ReKliEs-De für Hessen. – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie. Fachzentrum Klimawandel und Anpassung. – 19 S.; Wiesbaden.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2021): Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung. – In: IPCC (Hrsg.): Naturwissenschaftliche Grundlagen. Beitrag von Arbeitsgruppe I zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen; Bonn, Bern, Wien 2022.
- JACOB, D., KOTTMEIER, CH., PETERSEN, J., RECHID, D. & TEICHMANN, C. (2017): Regionale Klimamodellierung. – In: BRASSEUR, G., JACOB, D. & SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. – S. 27-33; Berlin, Heidelberg (Springer).
- KASPAR, F. & MÄCHEL, H. (2017): Beobachtung von Klima und Klimawandel in Mitteleuropa und Deutschland. – In: BRASSEUR, G., JACOB, D. & SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. – S. 17-24; Berlin, Heidelberg (Springer).
- KEHR, R. & SCHUMACHER, J. (2014): Krankheiten und Schädlinge an Gehölzen – Welche Rolle spielt der Klimawandel? – In: ROHDE, M. & KRELLIG, H. (Hrsg.): Historische Gärten im Klimawandel. Empfehlungen zur Bewahrung; Internationale Fachtagung „Historische Gärten im Klimawandel“ vom 4. bis 6. September 2014 in Potsdam-Sanssouci und dem Nikolaisaal Potsdam. – S. 64-69; Leipzig (Edition Leipzig).
- KIERMEIER, P. (1976): Institut für Gartenarchitektur und Landschaftspflege. – In: Forschungsanstalt Geisenheim (FA) (Hrsg.): Jahresbericht 1975 der Forschungsanstalt für Weinbau, Gartenbau, Getränke-technologie und Landespflege. – S. 155-174; Geisenheim am Rhein.
- KIERMEIER, P. (1995): Die Lebensbereiche der Gehölze. Eingeteilt nach dem Kennziffersystem. – 108 S.; Braunschweig, Pinneberg (Thalacker-Medien. Verlagsgesellschaft Grün ist Leben).
- Königliche Lehranstalt für Obst- und Weinbau (Hrsg.) (1884): Bericht der Königlichen Lehranstalt für Obst- und Weinbau zu Geisenheim am Rhein für das Etatsjahr 1883/84, erstattet von Director R. Goethe.
- Königliche Lehranstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau (Hrsg.) (1897): Bericht Der Königlichen Lehranstalt für Obst-, Wein und Gartenbau zu Geisenheim a. Rhein zur Erinnerung an das fünfundzwanzigjährige Bestehen derselben. Gleichzeitig auch Bericht für das Etatsjahr 1896/97 erstattet von dem Direktor R. Goethe; Wiesbaden.
- KÖRNER, CH. (2014): Grundlagen der Pflanzenökologie. – In: STRASBURGER, E., NOLL, F., SCHENCK, H., SCHIMPER, W., KADEREIT, J. & KÖRNER CH. et al. (Hrsg.): Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften. – S. 742-757; Berlin (Springer Spektrum).
- KOWARIK, I. (2017): Pflanzenwahl im Klimawandel: Synergien zwischen Naturschutz und Denkmalpflege. – In: KÜHN, N., GILLNER, S. & SCHMIDT-WIEGAND, A. (Hrsg.): Gehölze in historischen Gärten im Klimawandel. Transdisziplinäre Ansätze zur Erhaltung eines Kulturguts. – Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, **131**: 78-83; Berlin (Universitätsverlag der TU Berlin).
- KÜHN, N. (2017a): Einleitung zum Forschungsprojekt. – In: KÜHN, N., GILLNER, S. & SCHMIDT-WIEGAND, A. (Hrsg.): Gehölze in historischen Gärten im Klimawandel. Transdisziplinäre Ansätze zur Erhaltung eines Kulturguts. – Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, **131**: 26-31; Berlin (Universitätsverlag der TU Berlin).
- KÜHN, N. (2017b): Handreichungen zum Umgang mit Gehölzen in historischen Gärten unter dem Eindruck des Klimawandels. – In: KÜHN, N., GILLNER, S. & ANTJE SCHMIDT-WIEGAND, A. (Hrsg.): Gehölze in historischen Gärten im Klimawandel. Transdisziplinäre Ansätze zur Erhaltung eines Kulturguts. – Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, **131**: 260-261; Berlin (Universitätsverlag der TU Berlin).
- KÜHN, N. & GILLNER, S. (2017): Die Bedeutung ökologischer Prozesse für die Erhaltung historischer Gärten. – In: KÜHN, N., GILLNER, S. & SCHMIDT-WIEGAND, A. (Hrsg.): Gehölze in historischen Gärten im Klimawandel. Transdisziplinäre Ansätze zur Erhaltung eines Kulturguts. – Landschaftsentwicklung und Umweltforschung, **131**: 46-63; Berlin (Universitätsverlag der TU Berlin).
- KÜHN, N. & SCHMIDT-WIEGAND, A. (2014): Gehölze in historischen Gärten in Zeiten des Klimawandels. – In: ROHDE, M. & KRELLIG, H. (Hrsg.): Historische Gärten im Klimawandel. Emp-

- fehlungen zur Bewahrung; Internationale Fachtagung „Historische Gärten im Klimawandel“ vom 4. bis 6. September 2014 in Potsdam- Sanssouci und dem Nikolaisaal Potsdam. – S. 194-199; Leipzig (Edition Leipzig).
- Landesamt für Denkmalpflege Hessen (Hrsg.) (2014): Kulturdenkmäler in Hessen. Rheingau-Taunus-Kreis I. Teilband I. Eltville, Geisenheim, Kiedrich. – 596 S.; Darmstadt (Theiss).
- Lehr- und Forschungsanstalt Geisenheim (Hrsg.) (1971): Hessische Lehr- und Forschungsanstalt für Wein-, Obst- und Gartenbau Ingenieurschule Geisenheim (Rheingau), Jahresbericht 1970; Geisenheim/Rhg.
- RABITSCH, W., ESSL, F., KRUESS, A., NEHRING, S. NOWACK, C. & WALTHER, G. (2013): Klimawandeleffekte heute: Welche Änderungen finden bereits statt? – In: ESSL, F. & RABITSCH, W. (Hrsg.): Biodiversität und Klimawandel. – 66-74; Berlin, Heidelberg (Springer Spektrum).
- REYER, CH., LEUZINGER, S., RAMMIG, A., WOLF, A., RUUD, B., BONFANTE, A. et al. (2013): A plant's perspective of extremes: terrestrial plant responses to changing climatic variability. – *Global change biology*, **19** (1): 75-89.
- ROLOFF, A. (2018): Vitalitätsbeurteilung von Bäumen. Aktueller Stand und Weiterentwicklung. – 208 S.; Braunschweig (Haymarket Media).
- ROLOFF, A. (2022): Wie erfolgt eine Anpassung an Trockenstress bei Bäumen? Einflussfaktoren, Kriterien, Mechanismen, Bewertung. – *Jahrbuch des Nassauischen Vereins für Naturkunde*, **143**: 35-47; Wiesbaden.
- ROLOFF, A. & BÄRTELS, A. (2018): Flora der Gehölze. Bestimmung, Eigenschaften, Verwendung. – 912 S.; Stuttgart (Verlag Eugen Ulmer).
- ROLOFF, A. & MEYER, M. (2008): Eignung der heimischen und möglicher nichtheimischer Gehölze in der Landschaft und Konsequenzen für die Verwendung. – In: Bund deutscher Baumschulen (BdB) e.V. (Hrsg.): Forschungsstudien: Klimawandel und Gehölze. – Grün ist Leben, Sonderausgabe: 4-29; Leverkusen.
- ROLOFF, A. & RUST, ST. (2014): Der Einfluss des Klimawandels auf die Baumbiologie und Konsequenzen für die Parkbaumverwendung. – In: ROHDE, M. & KRELLIG, H. (Hrsg.): Historische Gärten im Klimawandel. Empfehlungen zur Bewahrung; Internationale Fachtagung „Historische Gärten im Klimawandel“ vom 4. bis 6. September 2014 in Potsdam-Sanssouci und dem Nikolaisaal Potsdam. – S. 70-73; Leipzig (Edition Leipzig).
- SCHMIDT, H., EYRING, V., MOJIB, L., RECHID, D. & SAUSEN, R. (2017): Globale Sicht des Klimawandels. – In: BRASSEUR, G., JACOB, D. & SCHUCK-ZÖLLER, S. (Hrsg.): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. – S. 7-15; Berlin, Heidelberg (Springer).
- SCHMIDT-WIEGAND, A. (2017): Schädlinge und Krankheiten an Gehölzen in historischen Gärten unter dem Eindruck des Klimawandels. – In: KÜHN, N., GILLNER, S. & ANTJE SCHMIDT-WIEGAND, A. (Hrsg.): Gehölze in historischen Gärten im Klimawandel. Transdisziplinäre Ansätze zur Erhaltung eines Kulturguts. – *Landschaftsentwicklung und Umweltforschung*, **131**: 180-194, 213-222; Berlin (Universitätsverlag der TU Berlin).
- SCHMITTHENNER, F. (1910): Album der Kgl. Lehranstalt für Wein-, Obst- und Gartenbau Geisenheim a. Rh.; Stuttgart (Ulmer).
- SCHÖNFELD, PH. (2018): Klimabäume: welche Arten sind zukunftsfruchtig? – *Pro Baum. Zeitschrift für Pflanzung, Pflege und Erhaltung*, **14** (3): S. 2-7.
- SCHÖNWIESE, CH. (2019): Klimawandel kompakt. Ein globales Problem wissenschaftlich erklärt. – 132 S.; Stuttgart (Borntraeger).
- SEITZ, B. (2017): Regionale Anzucht von Gehölzen für historische Gärten in Zeiten des Klimawandels. – In: KÜHN, N., GILLNER, S. & SCHMIDT-WIEGAND, A. (Hrsg.): Gehölze in historischen Gärten im Klimawandel. Transdisziplinäre Ansätze zur Erhaltung eines Kulturguts. – *Landschaftsentwicklung und Umweltforschung*, **131**: S. 234–237; Berlin (Universitätsverlag der TU Berlin).
- SELLINGER, W. (2014): Einflussfaktor Wasser: historische Bewässerungssysteme, effektive Bewässerung, Umgang mit Wetterextremen. – In: ROHDE, M. & KRELLIG, H. (Hrsg.): Historische Gärten im Klimawandel. Empfehlungen zur Bewahrung; Internationale Fachtagung „Histori-

sche Gärten im Klimawandel“ vom 4. bis 6. September 2014 in Potsdam-Sanssouci und dem Nikolaisaal Potsdam. – S. 168-173; Leipzig (Edition Leipzig).

WARDA, H.-D. (Hrsg.) (2001): Das große Buch der Garten- und Landschaftsgehölze. – 935 S.; Bad Zwischenahn (Bruns Pflanzen Export GmbH).

### **Sonstige Quellen**

MÜLLER, M. (2020): Fotografien und Aufzeichnungen zu abgängigen Bäumen im Rudolf-Goethe-Park und Monrepospark seit Mitte der 1980er Jahre; Parkpflegeteam Hochschule Geisenheim University, E-Mail vom 09.09.2020.

Sachverständigenbüro Zorn (2019): Baumkontrollbuch. Baumgutachten.

Hochschulparkanlagen Hochschule Geisenheim University (unveröffentlicht).



# **Böden im Oberen Emsbachtal (Glashütten-Oberems, Hochtaunuskreis). Indikatoren der historischen Land- und Waldwirtschaft seit dem frühen Mittelalter**

JESSICA ALGENSTAEDT & RAINER DAMBECK

Bodenentwicklung, Kulturlandschaft, Köhlerei, Erzverhüttung, Glasproduktion

**K u r z f a s s u n g :** Die historische Kulturlandschaft im Oberen Emsbachtal war spätestens ab dem Früh-/Hochmittelalter einer intensiven Bewirtschaftung durch den Menschen ausgesetzt. Als Folge der anthropogenen Nutzung wurden die natürlich entwickelten Böden verändert. Ziel der Untersuchungen war es, das Ausmaß der Veränderungen in einer höheren Auflösung als in den amtlichen bodenkundlichen Kartengrundlagen (HLfB 1977) dargestellt zu erfassen und zu bewerten. Die Ergebnisse belegen die flächenhafte Beeinflussung der in dem Gebiet entwickelten Braunerden und Parabraunerden. Kennzeichnend ist das verbreitete Vorkommen von erodierten und kolluvial überdeckten Profilen. Zu bilanzieren ist eine nutzungsbedingte Diversifizierung der Bodenlandschaft.

## **Soils in the Upper Emsbach Valley (Glashütten-Oberems, Hochtaunuskreis). Indicators of historical agriculture and forestry since the early Middle Ages**

Soil formation, cultural heritage, charcoal industry, ore smelting, glass production

**A b s t r a c t :** The historical cultural landscape in the Upper Emsbach Valley was subjected to intensive cultivation by humans from the Early/High Middle Ages at the latest. As a consequence of anthropogenic use, the naturally developed soils were altered. The aim of the investigations was to record and evaluate the extent of the changes at a higher resolution than shown in the official pedological map (HLfB 1977). The results prove the areal influence of human impact on the cambisols and luvisols developed in the area. Characteristic is the wide-spread occurrence of eroded and colluvially covered profiles. A diversification of the soil landscape is to be balanced.

### **Inhaltsverzeichnis**

1	Einleitung .....	100
2	Untersuchungsgebiet .....	101
3	Historische Waldnutzung .....	105
4	Methodik .....	109
5	Ergebnisse .....	110
6	Interpretation und Diskussion .....	114
7	Literatur .....	119

## 1 Einleitung

Das Obere Emsbachtal (TK25 Blatt 5716 Oberreifenberg; HLVA 1995) spiegelt auf den ersten Blick das Bild einer typischen Taunuslandschaft im naturräumlichen Übergang vom Hohen Taunus zum Hintertaunus wider (Abb. 1). Bei näherer Betrachtung offenbart sich eine wechselvolle Nutzungsgeschichte, die deutlich den Einfluss des wirtschaftenden Menschen zu erkennen gibt. Die Spuren reichen zurück bis mindestens in die römische Zeit. Hinweise liefert der sichtbar erhaltene Wall des obergermanisch-raetischen Limes, der von Westen her aus der Idsteiner Senke kommend das Obere Emsbachtal nach Osten in Richtung Wetterau quert. An den Hängen finden sich zahlreiche weitere Belege einer historischen Nutzung, insbesondere Stätten von spätmittelalterlich-frühneuzeitlichen Glasöfen, Meilerplätzen sowie Eisenschlackenhalden, die von Erzverhüttung zeugen (BERG 2000; HIMMELREICH o. J.; NAUK 2009a, b). Zudem dokumentieren fossile Stufenraine unter Wald, dass die Hanglagen im Oberen Emsbachtal früher terrassenförmig parzelliert waren und zeitweise ackerbaulich genutzt wurden (HVBG 2022).



Abbildung 1: Blick vom Dornsweg bei Glashütten nach Nordosten über das Obere Emsbachtal zum Weilsberg und Großen Feldberg; Foto: R. Dambeck.

Figure 1: View from the Dornsweg near Glashütten to the northeast over the Upper Emsbach valley to the Weilsberg and Großer Feldberg; photo: R. Dambeck.

Die anthropogenen Eingriffe in den Naturraum verursachten die Auflichtung des Waldbestandes. In den gerodeten Kohlwaldschlägen verblieben die Wurzelstöcke mit dem Ziel der natürlichen Verjüngung (Stockausschlag) im Boden. Auf den beackerten Flächen war damit die vollständige Entwaldung verbunden. Unter Bedingungen mit verringerter Vegetationsbedeckung ist die Bodenstabilität reduziert, so dass Beeinflussungen der Bodenlandschaft durch Erosion und Sedimentumlagerungen als wahrscheinlich anzunehmen sind. Allgemeine Hinweise liefert die Bodenkarte 1:25000 (BK25) Blatt 5716 Oberreifenberg, die in verschiedenen Bodeneinheiten erodierte Profile und kolluviale Bildungen ausweist (FICKEL 1977; Hlfb 1977). Für detaillierte Aussagen zu den Auswirkungen der Nutzung auf die Böden sind diese Angaben maßstabsbedingt zu grob und wenig geeignet.

Präzisierende Erkenntnisse lieferten die Untersuchungen von ALGENSTAEDT (2021). Die Arbeiten dienten dazu, die Bodenverhältnisse in einem Ausschnitt des

Oberes Emsbachtal in einer räumlich höheren Auflösung zu erfassen und das Ausmaß der anthropogenen Bodenveränderungen zu bewerten. In diesem Beitrag werden die zentralen Ergebnisse vorgestellt.

## 2 Untersuchungsgebiet

Das Obere Emsbachtal nimmt seinen Ursprung südöstlich des Ortes Oberems, einem Ortsteil der am nördlichen Rand des Hochtaunus gelegenen Gemeinde Glashütten (Abb. 2). Von der Quelle am „Seelborn“ (HERR 1993), zwischen Glaskopf (686,8 m ü. NN) und Kleiner Feldberg (825,0 m ü. NN), entwässert der Emsbach in vorwiegend nordwestlicher Richtung zur Lahn und folgt dabei im Oberlauf einer Störungszone, die als „Oberemser Scheidelinie“ oder „Emsbach-Verwerfung“ bezeichnet wird (KRUMME 1935; FUCHS 1978; LOTZ 1995; ANDERLE et al. 2021).

Naturräumlich ist das Quellgebiet des Emsbaches der Haupteinheit des „Hohen Taunus“ mit der Teileinheit „Feldberg-Taunuskamm“ zuzuordnen. Morphologisch kennzeichnend sind mittlere bis starke Hangneigungen. Beim Verlassen der „Emsbach-Schlucht“ tritt der Bach in den „Östlichen Hintertaunus“ ein und durchströmt dabei Teile des „Pferdskopf-Taunus“ und des „Steinfischbacher Hintertaunus“. Im naturräumlichen Übergang ändert sich der Talcharakter. Die Landschaft öffnet sich, sobald das Naturschutzgebiet „Oberes Emsbachtal“ erreicht wird, und der bis dahin kerbenartig in den Untergrund eingeschnittene Talboden wird breiter. Das Gefälle im Längsgradienten nimmt ab und der Emsbach beginnt schwach zu mäandrieren (SCHWENZER 1967; FICKEL 1978; KLAUSING 1988; HLVA 1995).

Die biotischen Verhältnisse im Oberen Emsbachtal sind geprägt durch den klimatischen Übergang von den Hochlagen des Taunus (> 650 m ü. NN) zum deutlich tieferen Hintertaunus. Im Mittel der Jahre von 1982 bis 2012 beträgt die Jahresdurchschnittstemperatur 9,5 °C, in diesem Zeitraum fiel im Mittel ein Niederschlag von 779 mm/Jahr (Climate-Data.org o. J.). Aufgrund der relativ kühlen und feuchten Verhältnisse tritt der Ackerbau in diesen Höhen zurück (vgl. SCHNAPPER-ARNDT 1883). Charakteristisch sind ausgedehnte forstwirtschaftlich genutzte Flächen, die neben Laubbaumbeständen aus Eichen, Lärchen, Buchen und vereinzelt Bergahorn sowie Birken zunehmend mit Fichten aufgestockt wurden, sodass sich Mischwaldvegetation eingestellt hat (KRUMME 1935; SCHWENZER 1967). Mit zunehmender Geländehöhe wird das Untersuchungsgebiet von Fichtenwäldern dominiert (KRUMME 1935; KLAUSING 1988), die jedoch infolge von Schädlingsbefall in der jüngsten Vergangenheit (2018–2022) zum Teil abgestorben sind und gerodet wurden. Innerhalb der bachbegleitenden Aue herrschen, bedingt durch hoch anstehendes Grundwasser, extensiv genutzte Grünland-Standorte vor, die teilweise unter Schutz gestellt sind (SCHWENZER 1967). Erst mit Erreichen der Siedlung, d. h. nördlich des NSG „Oberes Emsbachtal“, werden die Flächen am

ostexponierten Hang auch ackerbaulich genutzt. Das Tal entspricht nun im Querprofil dem Charakter eines asymmetrisch geformten Sohlenkerbtals mit einem etwas flacher geneigten Hang im Westen, während die gegenüberliegenden westexponierten Hanglagen vergleichsweise steiler reliefiert und ausnahmslos bewaldet sind.

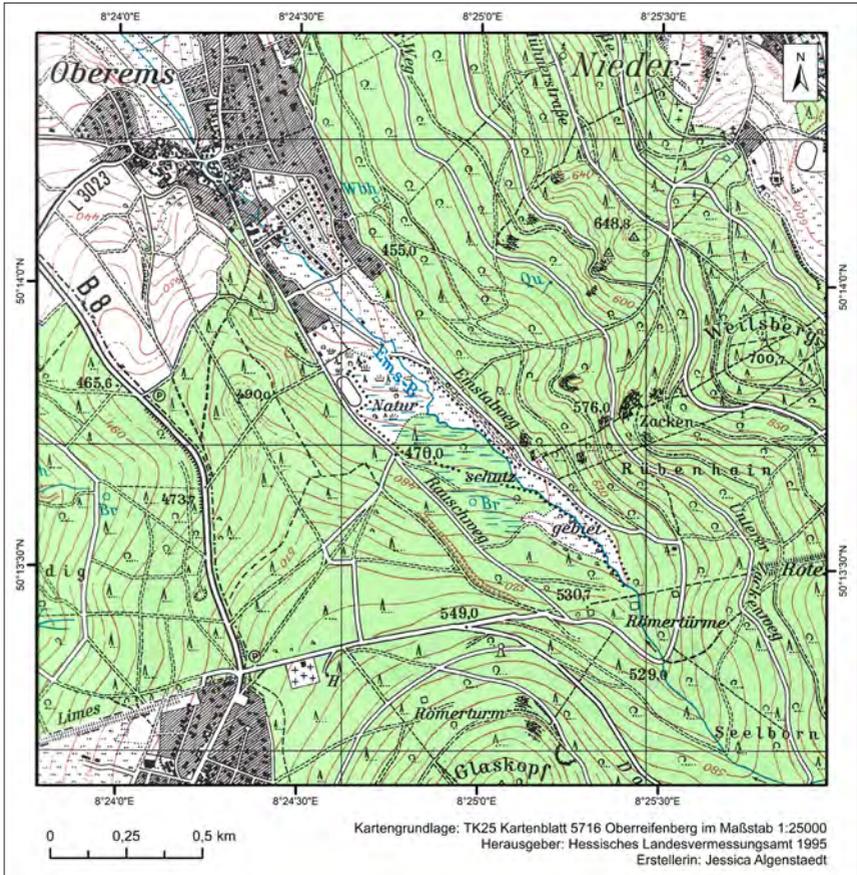


Abbildung 2: Untersuchungsgebiet im Oberen Emsbachtal (HLVA 1995, verändert).

Figure 2: Study area in the Upper Emsbach Valley (HLVA 1995, modified).

Der geologische Untergrund ist vorwiegend von paläozoischen Schichten des Unterdevons aufgebaut. In stratigraphischer Reihenfolge sind die Bunten Schiefer der Gedinne-Stufe die älteste Gesteinsformation, es folgen der Hermeskeilsandstein der Unteren Siegen-Stufe, der Taunusquarzit der Mittleren und Oberen Siegenstufe und abschließend die durch die Einschaltung von Porphyroiden gekennzeichneten Singhofen-Schichten der Unterems-Stufe in einer lithofaziell va-

riantenreichen Ausbildung (HLfB 1978). Die Gesteinspakete sind in tektonische Schuppen aufgelöst, an den dominierenden SE – NW-verlaufenden Störungen orientiert sich im Untersuchungsgebiet auch das Tal des Emsbaches. Weitere markante Verwerfungen streichen wie das Gebirge in SW – NE-Richtung. Es handelt sich dabei um Aufschiebungen, gut ausgebildet insbesondere im Bereich Rotes Kreuz, wo die Bunten Schiefer der Gedinne-Stufe unmittelbar an die wesentlich jüngeren Singhofen-Schichten der Unterems-Stufe angrenzen.

Für die korrekte Ansprache der Böden kann von Bedeutung sein, dass die Gesteine hinsichtlich ihrer Lithofazies und ihrer Farbe deutlich variieren. So handelt es sich bei den Bunten Schiefen um grünlichgraue und rotviolette Tonschiefer, die Glimmersandsteine der Hermeskeil-Schichten sind gelbrötlich, die den Glaskopf und den Kleinen Feldberg aufbauenden Quarzite des namengebenden Taunusquarzits sind weiß bis hellgrau, z. T. auch leicht rötlich, und in den Singhofen-Schichten, die weit überwiegend aus Tonschiefern mit eingeschalteten Sandstein- und teilweise Quarzitbänken bestehen, herrschen graue Farben vor.

Das kieselige Bindemittel ( $\text{SiO}_2$ ) bewirkt die große Härte und somit die morphologische Beständigkeit der Quarzite, da sie der Verwitterung wesentlich besser widerstehen als die zumeist in tieferen Positionen anstehenden Sandsteine und Tonschiefer, die leichter ausgeräumt wurden (KRUMME 1935; FUCHS 1978; STERRMANN & HEIDELBERGER 2019).

Erdgeschichtlich jüngere Bildungen kommen im Untersuchungsgebiet mit Ausnahme von quartären Ablagerungen nicht vor. Verbreitet lagern dem prä-quartären Untergrund oberflächennah entwickelte Gehängeschutte auf (HLfB 1978). Nach jüngerer Auffassung handelt es sich dabei um in den Kaltzeiten des Pleistozäns entstandene periglaziäre Deckschichten (BÜDEL 1937; STAHR 2022). Verbreitet sind die Basislage als ältestes Schichtglied der insgesamt viergliedrigen Lagenabfolge (Ad-hoc-AG Boden 2005) und die Hauptlage entwickelt, während die Mittellage nur untergeordnet auftritt und die Oberlage fehlt. Während sich das Alter von Basis- und Mittellage nicht bestimmen lässt, kann die Hauptlage aufgrund des Nachweises von eingelagerter vulkanischer Asche (Laacher See-Tephra), die dem Ausbruch des Laacher See-Vulkans vor ca. 12.900 Jahren zugeordnet wird, altersmäßig in die Jüngere Dryas und somit in die letzte Kaltphase des Würmglazials eingestuft werden. An den Unterhängen weist die Geologische Karte 1:25000 Blatt 5716 Oberreifenberg (GK25) Vorkommen von pleistozänem Verwitterungslehm aus (HLfB 1978), was als Indiz für die Ablagerung von Löss und Lössderivaten in diesen Reliefpositionen zu werten ist. Randlich zum Auenbereich ist das Hangschuttmaterial verzahnt mit jüngeren Sedimenten fluviatilen und kolluvialen Ursprungs. In den Bereichen des Talbodens lagern zeitlich nicht näher zu bestimmende sandig-kieselige Bachsedimente holozänen Alluvionen auf (FUCHS 1978; STERRMANN & HEIDELBERGER 2019).

Die Bodenverhältnisse sind geprägt von überwiegend terrestrischen Bodenbildungen (HLfB 1977). Mit Ausnahme der grundwasserbeeinflussten Standorte

am Talboden und in den Seitentälchen der tributären Gerinne stellen Braunerden (Ah/Bv/Cv) und Parabraunerden (Ah/Al/Bt/Cv) die Leitbodentypen der holozänen Bodenentwicklung dar, die flächenmäßig bei Weitem dominieren. Verbreitet treten Vergesellschaftungen mit Sub- und Übergangstypen sowie Varietäten auf (FICKEL 1977; STAHR 2014).

Im Quellgebiet um den „Seelborn“ und am „Glaskopf“ ist die Bodengesellschaft Podsol-Braunerde – Podsol entwickelt, mit Podsol-Braunerde (Ah/Ae/Bhs/Bv/C) als vorherrschendem Bodentyp. Die mittleren und tieferen Lagen am Westhang sind in den Bereichen des Oberlaufes pedogenetisch gekennzeichnet durch Vorkommen von Lockerbraunerden (Ah/Bhv/Cv, örtlich Ah/Bv/Cv), die im Wechsel mit „umgelagerter Lockerbraunerde“, Braunerde, Pseudogley-Braunerde und Parabraunerde auftreten. Zum Teil sind die Profile erodiert oder kolluvial überdeckt. In den Gebieten nördlich des „Dornsweg“, in Richtung „Hobholz“, prägen Parabraunerden und stauernässte Übergangsbodentypen (Pseudogley-Parabraunerde, seltener Parabraunerde-Pseudogley) die Bodenlandschaft. Untergeordnet kommen Pseudogleye und Braunerden vor. Zudem wurden Kolluvien nachgewiesen (FICKEL 1977; HlFB 1977).

Ähnlich stellt sich die Situation in den Bereichen der gegenüberliegenden, westexponierten Hanglagen dar. Braunerden treten hier insgesamt noch stärker hervor als am Westhang und sind vergesellschaftet mit Parabraunerden und Pseudogley-Parabraunerden. Ranker und Syrosem, die vor allem an konvexen Reliefpositionen und an Felsausbissen entwickelt sind, ergänzen das Bodenmosaik.

Vorkommen von Lockerbraunerden in größerer Verbreitung sind auf Gebiete südlich und östlich der Region „Rotes Kreuz“ am nordwestexponierten Mittelhang des Kleinen Feldbergs beschränkt. Parabraunerden treten vor allem in unteren Mittel- und Unterhangpositionen in Erscheinung (FICKEL 1977; HlFB 1977). Modifiziert wird das räumliche Muster der Bodenentwicklung durch die Bodenerosion, die dazu geführt hat, dass die nativen Profile z. T. verkürzt sind. Analog zum Hangabtrag sind die Profile auch in diesen Positionen zum Teil kolluvial überdeckt. Untergeordnet kommen vor allem in Bereichen von Gesteinsausbissen initial entwickelte Böden (Syrosem) vor.

Vernässte Geländesituationen am Hang, die hydromorph geprägte Bodenbildungen (Quellengley, Hanggley) haben entstehen lassen, sind auf morphologische Mulden und Eintiefungen begrenzt, die in geringer Anzahl auskartiert wurden (FICKEL 1977; HlFB 1977). Am Emsbach dominieren bachbegleitend grundnasse Standortverhältnisse, so dass als Böden Auengleye und Gleye entwickelt sind. Örtlich haben sich bei flacherem Relief Niedermoor-Gleye und Anmoorgleye gebildet. Als Ausgangssubstrate der Bodenbildung überwiegen hier lehmige Auen-sedimente („Auelehm“) aus von den Hängen abgeschwemmtem Material sowie Ablagerungen mit hohen Anteilen an organischer Substanz, die in den Verbreitungsgebieten von lokalen Anmoor- oder Niedermoorbildungen vorkommen (FICKEL 1977, 1978).

### 3 Historische Waldnutzung

Der Rohstoff Holz diente dem Menschen seit Beginn der Sesshaftigkeit im Neolithikum nicht nur zum Bau von Häusern, sondern wurde im Zuge der Kulturentwicklung zunehmend auch zur Herstellung von Werkzeugen, Waffen und ab der Bronzezeit auch als Ausgangsprodukt von Holzkohle für metallurgische Zwecke eingesetzt (KÜSTER 1999). Die Entwicklung von stabilen Äxten in der keltischen Eisenzeit ermöglichte großflächige Rodungen, was den Holzeinschlag in Wäldern und die Umwandlung von bewaldeten Gebieten in landwirtschaftliche Nutzflächen deutlich vereinfachte (DITTRICH 2013). Für das Obere Emsbachtal ist anzunehmen, dass im Zuge der Errichtung des Limes eine immense Waldfläche gerodet wurde, um eine ausreichende Versorgung mit Baumaterial zu gewährleisten, da der Bau von Palisaden und Wachtürmen einen hohen Holzbedarf nach sich zog (DITTRICH 2013). Auch die Gesteine der Taunusquarzit-Formation wurden umfassend genutzt, wie zum Beispiel zum Bau der keltischen Ringwall-Anlagen am Altkönig oder zur Errichtung von römischen Kastellen und Wachtürmen entlang des Limes (STERRMANN & HEIDELBERGER 2019). Mit Einsetzen des Frühmittelalters trat die Waldweide als weitere Nutzungsform hinzu und der Flächendruck erhöhte sich aufgrund steigender Bevölkerungszahlen (BAUER 1993). Für den Hohen Taunus und das Obere Emsbachtal ist die nutzungsbedingte Hauptrodungsperiode anhand von Pollenanalysen im Früh- und Hochmittelalter anzusetzen (SCHMENKEL 2003; DITTRICH 2013; BORK 2020).

Eine deutliche Nutzungsintensivierung der bis dahin vorherrschenden Eichen- und Buchenwälder fand seit dem 15. Jh. in Form der Haubergswirtschaft als besondere Form der Niederwaldwirtschaft statt. Dabei wurden die Eichenbestände gezielt zur Schweinemast und für die Gewinnung von Gerberlohe eingesetzt (DITTRICH 2013; BORK 2020). Durch den massiven Verbiss der weidenden Tiere, Schäden an den Baumrinden, Bodenverdichtung und die Entnahme der Laubstreu, um diese in den Stallungen als Einstreu oder auf Feldern als Düngemittel zu verwenden, verödeten die Wälder zunehmend (HMLFN 1988). Eine Übernutzung der multifunktional genutzten siedlungsnahen Wirtschaftswälder ist sukzessive ab dem 12. und 13. Jh. zu beobachten. Maßnahmen, um den Folgen zu begegnen, wurden trotz erster Rodungsverbote und Forstordnungen (HENNE 2005; ROTH 1912) erst relativ spät ergriffen und beispielsweise die (Wald-)Nutzung erst im 17. und 18. Jh. durch weitere Dekrete beschränkt (DITTRICH 2013).

Die Verhüttung von Erzen hinterließ im Oberen Emsbachtal zahlreiche Schlackenhalden, welche die Eisengewinnung mit Hilfe von Rennöfen durch Waldschmiede belegen (SCHUBERT 1937, GEISTHARDT 1970; NAUK 2009a). Die Rennfeuerverhüttung spielte im Taunus seit dem 10. Jh. bis in das 15. Jh. eine bedeutende Rolle (PINSKER 1995; SCHMENKEL 2003). Die ursprünglich genutzten kleinen Rennöfen wurden danach zunehmend durch zentral in den Tälern gelegene „Massenhütten“ abgelöst (GEISTHARDT 1970), da der Taunus aufgrund

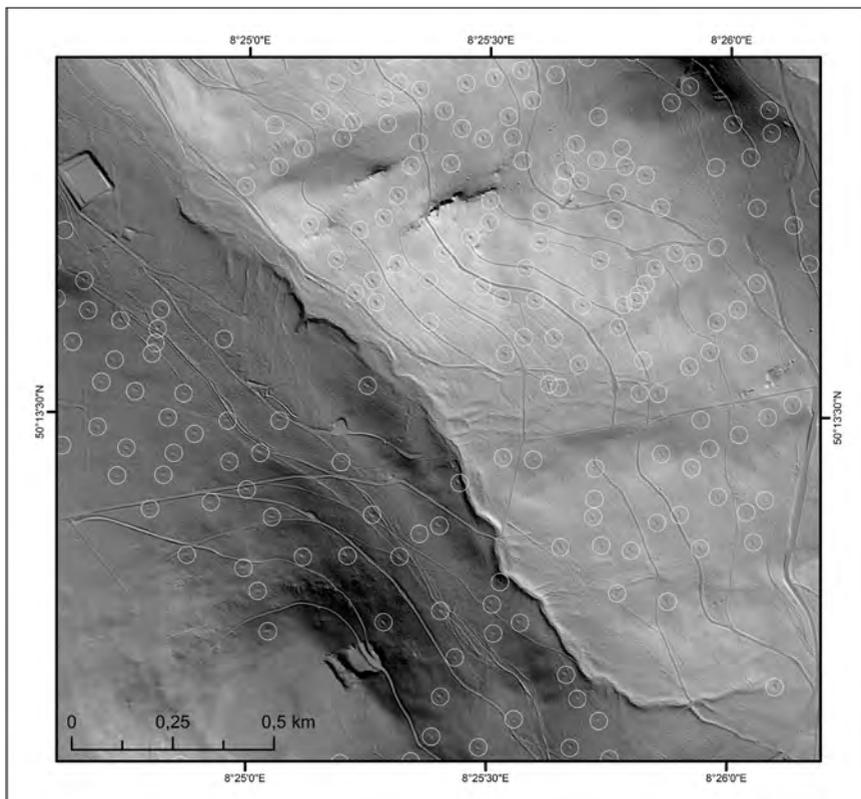


Abbildung 3: Digitales Geländemodell (DGM) des Oberen Emsbachtals. Zu erkennen ist die hohe Anzahl an Meilerplätzen im Untersuchungsgebiet. Die Kreise markieren jeweils den Standort einer Meilerplatte (= dunkler Punkt im Zentrum des Kreises); Grundlage: HVBG (2022).

Figure 3: Digital terrain model (DTM) of the Upper Emsbach Valley. The high number of charcoal kiln sites in the study area can be seen. The circles each mark the location of a former charcoal kiln plate (= dark point in the centre of the circle); source: HVBG (2022).

der Holzvorkommen sowie der Nähe zu Handelsstraßen, wie z. B. der Rennstraße (MICHEL 1988, HERR 1993), die über den Höhenzug zwischen dem Weital und dem Emsbachtal führte, einen sehr geeigneten Standort für die Rohstoffbeschaffung darstellte. Holz aus dem Emsbachtal diente beispielsweise um das Jahr 1590 zur Versorgung der Eisenschmelze bei Emmershausen an der Weil. Der erste Schmelzofen im Taunus nahm 1581 zwischen Eppstein und Vockenhausen (Main-Taunus-Kreis) den Betrieb auf. Weitere Hochöfen folgten binnen einer Dekade im Weital (SCHUBERT 1937; PICARD 1968; PINSKER 1995; SPAHN 2001). Die Eisenerzverhüttung ging einher mit einem enormen Holzbedarf zur Produktion der erforderlichen Holzkohle. Zeitweise resultierte Kohlholzmangel (KEIPER 1982). Es ist davon auszugehen, dass im Zuge dessen große Waldflächen gerodet

wurden und ausgehend vom 10. Jh. bis ins 14. Jh. umfangreiche anthropogene Eingriffe in das Ökosystem erfolgten. Als Beleg dafür kann ein Schiedsspruch des Grafen Dietrich von Runkel vom 14. November 1319 angesehen werden, in dem die Nutzung des Walddistriktes Rabenhain (auch „Rübenhain“) im Oberen Emsbachtal geregelt und festgelegt wurde, dass künftige Verwüstungen durch Roden, Kohlebrennen und Schmieden zu unterlassen seien (SCHUBERT 1937, HERR 1993; NAUK 2009a: 19).

Als weitere Belege der historischen Nutzung treten im Oberen Emsbachtal zahlreiche ovale bis kreisrunde Plateaus in Erscheinung, die bis in Höhen von ca. 680 m ü. NN nachzuweisen sind und sich morphologisch deutlich von der Umgebung abgrenzen (Abb. 3). Bei den Verebnungen handelt sich um „Hangmeilerplätze“ (HILDEBRANDT et al. 2001), an denen die für die Erzverhüttung benötigte Holzkohle hergestellt wurde. Die Anlage erfolgte durch das halbkreisförmige Abgraben von Untergrundmaterial am Hang („Hangabstich“) und das talseitige Aufschütten des abgegrabenen Substrates. Auf diese Weise entstand eine terrassenartige Hangverflachung, die als verebnete Standfläche die notwendigen Voraussetzungen für den stabilen Aufbau des Holzkohlemeilers erfüllte. Die Meilerplatten („Kohlplatten“) weisen im Untersuchungsgebiet häufig Durchmesser von 12–13 m auf. Je nach Zeitstellung der Entstehung kann die Größe variieren, wobei kleinere Formen häufig in die Zeit vor dem 30-jährigen Krieg fallen, während die typischen Platzmeiler in die Zeit der „Massenköhlerei“ ab der zweiten Hälfte des 17. Jh. einzuordnen sind (HIMMELREICH o. J.; SIPPEL & STIEHL 2005; NAUK 2009a; SCHADE-LINDIG & STEINBRING 2018). Als weiteres Merkmal für die gesicherte Ansprache als Meilerplatz kann der „Stübbewall“ („Stübberand“) herangezogen werden, der die Plattform zum Tal hin ringförmig begrenzt und aus Rückständen der Holzverschmelzung (Holzasche, Holzkohlepartikel, Holzteer) aufgebaut ist.

Bei Mehrfachnutzung des Standortes ist die Stübbe oft schichtig in mehreren Lagen angeordnet. Im Zentrum von Kohlplatten ist unter der Oberfläche zudem häufig ein Frittungshorizont nachzuweisen, dessen Rotfärbung (Hämatit,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) auf die thermische Einwirkung während des Meilerbetriebs zurückzuführen ist (HIMMELREICH o. J.; KORTZFLEISCH 2008; SCHADE-LINDIG & STEINBRING 2018).

Die Errichtung der plateauartigen Hangverebnungen war arbeitsintensiv, weshalb Meilerplätze nach Möglichkeit mehrfach genutzt wurden (HIMMELREICH o. J.; HILDEBRANDT et al. 2001; KORTZFLEISCH 2008). Vor Inbetriebnahme des Meilers musste eine abdeckende Erdschicht, die zunächst befeuchtet wurde, auf den Holzstoß aufgebracht werden, um den Verschmelzungsprozess unter Sauerstoffabschluss zu gewährleisten. Zudem war die Verfügbarkeit von Wasser hilfreich zum Löschen von unkontrollierten Bränden während des Betriebs sowie zum Ablöschen von Glutnestern. Häufig wurden Meilerplatten daher in der Nähe von Quellen oder Wasserläufen angelegt. Zusätzlich zu den Hängen waren daher auch Reliefpositionen innerhalb der Bach- und Flussauen geeignet, die frei von Beeinflussung durch Grundwasser waren und Schutz vor Hochwasser boten. Im

NSG „Oberes Emsbachtal“ sind entsprechende Lokalitäten unweit des aktuellen Gerinnelaufes am Rand der Aue nachzuweisen. Außerdem wurde die Entfernung zu Transportwegen und Holzvorräten im Zuge der Standortauswahl der Meiler berücksichtigt. Dazu wurden Meilerplatten an oder in der Nähe von bestehenden Wegen angelegt. Es wurden oft auch schlecht erschlossene Standorte genutzt, weil die Holzkohle im Vergleich zum eingeschlagenen Frischholz relativ gut abzufahren war (SCHUBERT 1937; KORTZFLEISCH 2008; SCHMIDT et al. 2016; SCHADE-LINDIG & STEINBRING 2018). Im Oberen Emsbachtal sind Kohlplatten häufig in der nahen Umgebung von Eisenschlackenhalden nachzuweisen (z. B. unterhalb der Kuppe am Weilsberg), was auf eine enge Beziehung der verschiedenen Waldbewirtschaftungsformen hindeutet.

Analog zu den Prozessen der Erzverhüttung und Holzkohleherstellung orientiert sich auch die Errichtung von Glashütten an den Holz- und Wasservorkommen der Region (MÜLLER 1988; SIPPEL & STIEHL 2005; NAUK 2009b). Mit Hilfe von Steinen, Lehm und Ton wurden seit dem 12. Jh. Glasöfen errichtet, in denen Quarzsand zusammen mit Pottasche und anderen Zuschlägen zu Glas verarbeitet wurde (STEPPUHN & BERG 2006). Anders als bei der Eisenerzverhüttung erfolgte die Befuerung der Glasöfen mit eingeschlagenem Rohholz und nicht, wie teilweise angenommen, mit Holzkohle, was den Prozess der Glasherstellung in der Vorbereitung noch arbeitsintensiver gestaltet hätte (SIPPEL & STIEHL 2005; NAUK 2009b).

Typisch für das ausgehende Mittelalter und die frühe Neuzeit war die Errichtung eines Hauptofens mit mehreren Nebenöfen. Durch die intensive Nutzung der Produktionsstandorte entstanden wiederum Halden und es verblieben Glasofenschutt und Glasscherben im Gelände zurück (SIPPEL & STIEHL 2005; STEPPUHN & BERG 2006). Erste archäologische Untersuchungen, Datierungen und schriftliche Überlieferungen belegen, dass die ersten Glashütten im Oberen Emsbachtal ab der Mitte bis zum Ende des 15. Jh. in Betrieb waren (MÜLLER 1988; BERG 2000; STEPPUHN & BERG 2006).

Die starke Nachfrage nach dem Rohstoff Holz ging einher mit einem hohen Nutzungsdruck auf die Wälder. In Kombination mit weiteren Formen der Waldnutzung (Waldweide, Streunutzung) unterlagen die bestehenden Waldflächen der Aushagerung. Der Höhepunkt der Walddevastierung war gegen Ende des 18. und zu Beginn des 19. Jh. erreicht (FREUDENSTEIN 1988). Die Entwicklung ist regional differenziert zu betrachten. Eine flächendeckende „Holznot“ in den hessischen Wäldern ist nicht anzunehmen (vgl. SCHMIDT et al. 2016). Gleichwohl berichtet SCHNAPPER-ARNDT (1883: 31), dass im Hochtaunusgebiet ab der Mitte des 16. Jh. kein Bauholz mehr geschlagen werden durfte und 1717 gegen die Berechtigung von Schmieden und Wagnern vorgegangen worden sei, „Kohlen“ und „Werkholz“ aus Markwäldern zu beziehen. Um 1800 waren die Taunushöhen teilweise nur noch schwach bewaldet. Noch um 1809 stockten im Feldberggebiet bei Glashütten ausschließlich Laubhölzer (HMLFN 1988). Ab dem 19. Jh. wur-

den die aufgelichteten Waldflächen im Taunus zunehmend in forstlich genutzte Wirtschaftswälder umgewandelt. Die Anpflanzung von Eichen, Buchen und vereinzelt Kiefern auf brachliegenden Flächen war typisch für diese Zeit (SCHNAPPER-ARNDT 1883; DITTRICH 2013). Da dennoch eine Übernutzung stattfand und die Bevölkerungszahlen stiegen, waren der Holzbedarf und die Auswirkungen auf den Landschaftshaushalt weiterhin immens. Auch die zeitnahe Aufforstung mit schnell wachsenden Fichten und vereinzelt Kiefern konnte den Bedarf nur partiell decken (SCHMENKEL 2003; DITTRICH 2013).

Seit der Mitte des 19. Jh. sind die Wälder des Taunus aufgrund der am Unterhang beginnenden Aufforstung mit Fichten nun überwiegend mit Laubmisch- oder nahezu reinen Nadelwäldern aus Fichten bestockt (DITTRICH 2013).

## 4 Methodik

Die Untersuchungen setzten eine vielfältige und differenzierte Vorgehensweise voraus. Zunächst wurde auf Grundlage von Datensätzen (ASCII) der Hessischen Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation (HVBG) mit Hilfe des Programms ArcMap der Firma ESRI (Version 10.8) ein digitales Geländemodell (DGM) mit einer räumlichen Auflösung von 1 m erstellt und eine Analyse anthropogener Kleinformen vorgenommen. Im Anschluss erfolgte die stichprobenartige Überprüfung der Ergebnisse im Gelände („ground-truthing“) anhand von flächenhaften Begehungen und systematischer Dokumentation mittels GPS (Garmin eTrex 30x).

Untersuchungen zu den Bodenverhältnissen wurden in verschiedenen Hanglagen des Oberen Emsbachtals durchgeführt und erfolgten anhand von Bodeneinschlägen mit dem 1 m-Pürckhauer-Bohrstock. Zur substrat- und bodensystematischen Beschreibung der Profile diente die Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5; Ad-hoc-AG Boden 2005). Zusätzlich wurde die Substrat- und Bodensystematik der Bundesrepublik Deutschland herangezogen (AK Bodensystematik 1998). Zur Ergebnisdokumentation dienten standardisierte Geländeformblätter, in denen jeweils die Standortdaten sowie die litho- und pedogenen Merkmalscharakteristika der Bodenprofile vermerkt wurden. Erfasst wurden Horizont- und Schichtmächtigkeiten, Bodenfarbe, Korngrößenverteilung (Feinboden < 2 mm), Bodenskelett (> 2 mm) und Humusgehalt, jeweils nach den Bestimmungsschlüsseln der KA5 (Ad-hoc-AG Boden 2005). Abgeschätzt wurde zudem der Erosionsgrad, ausgehend von der Annahme einer mittleren Mächtigkeit des Solums von ca. 50 cm bei Braunerden (Ah/Bv) bzw. ca. 100 cm in den Profilen von Parabraunerden (Ah/Al/II Bt; s. Kap. 5). Bei bis auf die Mittelage erodierten Parabraunerden wurden für Vergleiche zur Abschätzung des Erosionsgrades zusätzlich die Einheitenbeschreibungen im Erläuterungsband zur BK25 (FICKEL 1977) herangezogen, die stark schwankende Mächtigkeiten der Bt-Horizonte ausweisen.

Da eine flächenhafte Bearbeitung des Gesamtgebietes aus zeitlichen Gründen nicht möglich gewesen wäre, wurde eine Teilfläche für die Untersuchungen abgegrenzt. Die räumlichen Schwerpunkte verlagerten sich deshalb auf den östlich des Emsbaches gelegenen Hang, an dem unter anderem vier Bohrtraversen nach dem Catena-Prinzip ausgehend vom Kuppenbereich des Weilsberges (700,7 m ü. NN) bis in die Unterhangpositionen in unmittelbarer Nähe zum Emsbach (ca. 490 m ü. NN) angelegt wurden (Abb. 4 u. 5). Die Auswahl der übrigen Bohrstandorte (n = 53) erfolgte unter Berücksichtigung von morphologischen Veränderungen (z. B. Senken, Klippen). Ergänzt wurden die Ergebnisse durch Bodenprofile (n = 24), die im Zuge einer universitären Lehrveranstaltung unter Leitung von Dr. R. Dambeck (Institut für Physische Geographie, Goethe-Universität Frankfurt a. M.) im Oktober 2020 im Untersuchungsgebiet aufgenommen worden waren.

## 5 Ergebnisse

Die Bodenkarte 1:25000 Blatt 5716 Oberreifenberg stellt das Muster der räumlichen Bodenentwicklung im Untersuchungsgebiet im Überblick dar (FICKEL 1977, 1978; HLFB 1977). Auf dieser Grundlage erfolgten kleinräumige Profilaufnahmen, um die Verhältnisse für Aussagen zu anthropogen induzierten Bodenveränderungen in einer höheren Auflösung zu erfassen. Weitere Erkenntnisse zu den Böden lieferten Beobachtungen an Wegeböschungen und Wurzeltellern von umgestürzten Bäumen. Insgesamt konnte im Rahmen der Untersuchungen eine Anzahl von 77 Bohrprofilen bodenkundlich erfasst und dokumentiert werden.

Die Böden im Oberen Emsbachtal sind nicht in-situ im verwitterten Anstehenden entwickelt, sondern in allochthonen periglazialen Deckschichten (Lagen), die dem tieferen geologischen Untergrund auflagern und als bodenbildende Ausgangssubstrate die Bodenentwicklung entscheidend beeinflusst haben (SEMMELE 1993; SABEL 2005; STAHR 2014, 2022).

Für das Kartenblatt 5716 Oberreifenberg fehlte bislang die nomenklatorische Zuordnung der in der Bodenkarte (FICKEL 1977; HLFB 1977) ausgewiesenen Solifluktionsschutte zum Schema der Lagengliederung (AK Bodensystematik 1998). Nach den Untersuchungen von ALGENSTAEDT (2021) ist die Kombination von Hauptlage über Basislage am häufigsten anzutreffen. Standorte, in denen die Mittellage auftritt, waren nur untergeordnet nachzuweisen. Die Hauptlage fehlt in den Bereichen von holozänen Erosionsstandorten teilweise, so dass dann i. d. R. die Basislage oder selten auch die Mittellage bis an die Oberfläche treten, wenn keine Überdeckung mit Kolluvien gegeben ist.

Die Ergebnisse der bodenkundlichen Untersuchungen von ALGENSTAEDT (2021) bestätigen die Darstellungen zu den Bodenverhältnissen in der BK25 (FICKEL 1977; HLFB 1977). Aufgrund des größeren Maßstabs der Betrachtungsebene sind jedoch detailliertere Aussagen zu anthropogen induzierten Bodenverände-

rungen (Erosion, Verbreitung von Kolluvien) als bisher möglich. Gegenüber den Angaben in den amtlichen kartographischen Grundlagen waren zusätzliche bodensystematische Anpassungen vorzunehmen, weil die bodenkundliche Nomenklatur seit der Drucklegung der Bodenkarte eine Veränderung erfahren hat. Nach der aktuell gültigen Klassifikation ist der Terminus „Ranker“ durch die Begriffsbezeichnung „Regosol“ zu ersetzen, da die Profile in periglaziären Deckschichten, das heißt Lockergesteinen, entwickelt sind.

Der Bodentyp „Lockerbraunerde“ (vgl. Ad-hoc-AG Boden 2005: 206), der gemäß BK25 vor allem in oberen und mittleren Hangpositionen entwickelt ist (FICKEL 1977; HlFB 1977), wurde im Rahmen der Untersuchungen nicht nachgewiesen. Ursächlich könnte die große edaphische Trockenheit zum Zeitpunkt der Geländearbeiten im Sommer 2020 gewesen sein, die aufgrund der fehlenden Bodenfeuchte die Farb- und Substratansprache erschwerte, so dass typische Merkmale wie die leuchtend rötlichbraune Farbe und die durch das überdurchschnittliche Gesamtporenvolumen hervorgerufene Lockerheit des Solums nicht wahrgenommen werden konnten. Auch der häufig bei der Fingerprobe fühlbare „greasing“-Effekt (der auf die Beimengung höherer Anteile an Laacher See-Tephra zurückgeführt wird) war im Gelände nicht zu diagnostizieren.

In den Reliefbereichen der Kuppenstandorte und in Oberhangpositionen (ca. 620–700,7 m ü. NN) dominiert ein engräumiges Vergesellschaftungsmuster von Braunerden (Ah/Bv/II ilCv) mit Braunerde-Regosolen (Ah/Bv/II ilCv) und Regosolen (Ah/ilCv). Mit Ausnahme der Regosolstandorte sind die bodenbildenden Ausgangssubstrate lithologisch geschichtet und zeigen einen Aufbau in Hauptlage über Basislage. Die pedogenetische Merkmalsüberprägung ist i. d. R. eng an der Schichtung orientiert. Das Solum der Braunerden mit dem humosen Oberbodenhorizont (Ah) und dem charakteristischen namensgebenden Verbraunungshorizont (Bv) im Unterboden ist in der Hauptlage entwickelt, die der Basislage (II ilCv) außerhalb von holozänen Akkumulations- und Erosionsstandorten auflagert (vgl. Ad-hoc-AG Boden 2005). Selten hat die Verbraunung über die Untergrenze der Hauptlage hinausgewirkt und auch den oberen Teil der Basislage (II Bv-ilCv) erfasst. Das Substrat der Hauptlage ist bedingt durch äolische Beimengungen (Lösslehm, LST) feinmaterialreicher zusammengesetzt als die Basislage (II ilCv), die im Liegenden des Solums folgt und ausschließlich physikalisch verwittertes Material des Anstehenden führt, das am Standort oder in hangaufwärtigen Positionen syngenetisch aufgenommen und gelisolifluidal hangabwärts bewegt wurde. Entsprechend kann die Zusammensetzung der Basislage standortabhängig variieren (z. B. quarzitischer Schiefer, Schieferersatz, Quarzit oder Sandstein).

Der Erhaltungszustand der Braunerden variiert. Die Mächtigkeit der Hauptlage (0–41 cm) schwankt insgesamt stark und übersteigt selten 30 cm. In den meisten Fällen liegt die Mächtigkeit der Hauptlage darunter (< 30 cm), so dass die Profile bei Vorhandensein eines Bv-Horizontes als Braunerde-Regosol angesprochen wurden. Die geringe Entwicklungstiefe zahlreicher Profile von < 10 cm deu-

tet darauf hin, dass die Hauptlage teilweise sehr stark erodiert ist und in deutlich reduzierter Mächtigkeit vorliegt (Ad-hoc-AG Boden 2005; AK Bodensystematik 1998). Als Indiz für den teilweise starken Bodenabtrag ist das wiederholte Fehlen der Hauptlage zu werten, das auf Totalerosion schließen lässt. In diesem Fall ist der humose Oberboden in der Basislage entwickelt und die Profile wurden als Regosol (Ah/il Cv) angesprochen.

Im Bereich der morphologischen Verflachungszone, die unterhalb der Kuppe des Weilsberg anschließt, wurde das Profil einer Parabraunerde aus Hauptlage über Mittellage über Basislage (Ah/Al/II Bt/III ilCv) erfasst. Bemerkenswert ist der gute Erhaltungszustand der Hauptlage, deren Gesamtmächtigkeit von 55 cm (Ah = 10 cm, Al = 45 cm) der durchschnittlichen natürlichen Mächtigkeit (50 cm +/- 20 cm) entspricht, die in der Literatur für diese Schicht angegeben ist (FRIED 1984; Ad-hoc-AG Boden 2005). Zudem ergibt sich ein Hinweis auf die Mittellage (II Bt), die hier im Liegenden der Hauptlage auftritt und 25 cm mächtig entwickelt ist. Da die Hauptlage erhalten ist, liegt die Mittellage in ungestörter Mächtigkeit vor.

Verbreitet kommen holozäne Hangsedimente vor. Kolluvial überdeckte Bodenprofile waren unabhängig von der natürlichen Hangform bis in die höchsten Reliefpositionen nachzuweisen. An Standorten, an denen die Mächtigkeit der Kolluvien > 40 cm beträgt, sind Kolluvisole (Ah/M/II...) entwickelt. Lokal tritt unterhalb der Kuppenbereiche am Weilsberg auch Podsol-Kolluvisol (Ah/Ahe/Ae/M/II ilCv) direkt über Basislage auf, was die Totalerosion der Hauptlage belegt.

Das für die höchsten Reliefpositionen beschriebene Muster der Bodenentwicklung setzt sich auch in den mittleren und tieferen Lagen fort. Im Vergleich zum Oberhang weisen die Böden reliefabwärts durchschnittlich eine etwas höhere Entwicklungstiefe und Gründigkeit auf. Die Verhältnisse am Mittelhang (ca. 540–620 m ü. NN) sind geprägt von Braunerdetypen, die in unterschiedlichem Erhaltungszustand anzutreffen sind (Solummächtigkeit: 8–45 cm). In den meisten Fällen weisen die Braunerden Mächtigkeiten < 30 cm auf, so dass Braunerde-Regosole vorliegen, in denen das Substrat der Hauptlage der Basislage nur noch in Resten (< 15 cm) auflagert. Schwach erodierte Profile sind selten. In einigen Profilen war die Hauptlage nicht nachzuweisen. Als Ursache ist auch hier eine Totalerosion als wahrscheinlich anzunehmen. An mehreren Standorten, an denen die jungdryaszeitliche Deckschicht komplett fehlt, sind Regosole in der Basislage ausgebildet. Teilweise folgt unter dem Ah-Horizont noch ein sehr geringmächtiger Bv-Cv-über dem Cv-Horizont, was als Indiz für ein früheres, durch Erosion abgetragenes Braunerde-Stadium schließen lässt. Zum Teil sind die bis auf die Basislage abgetragenen Restprofile mit mächtigen Kolluvien überdeckt. Lokal wurden die holozänen Hangsedimente in Mächtigkeiten von 40 cm bzw. 67 cm erfasst und die Profile daher als Kolluvisol angesprochen. Örtlich kommen in erosionsgeschützten Positionen am Hang stark erodierte Parabraunerden aus Mittellage über Basislage vor, in denen die Hauptlage fehlt (Ah/Bt/II ilCv).

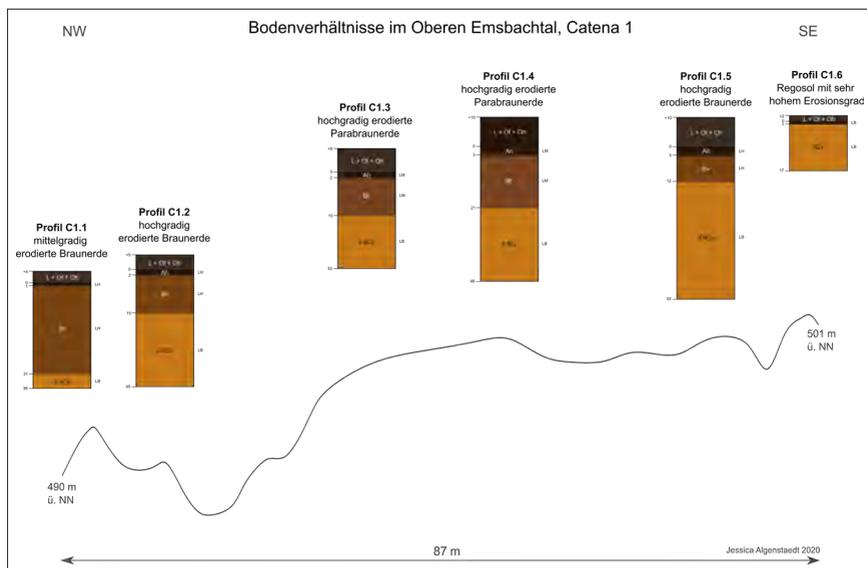


Abbildung 4: Bodenentwicklungen der Catena 1 (ALGENSTAEDT 2021).

Figure 4: Soil developments of Catena 1 (ALGENSTAEDT 2021).

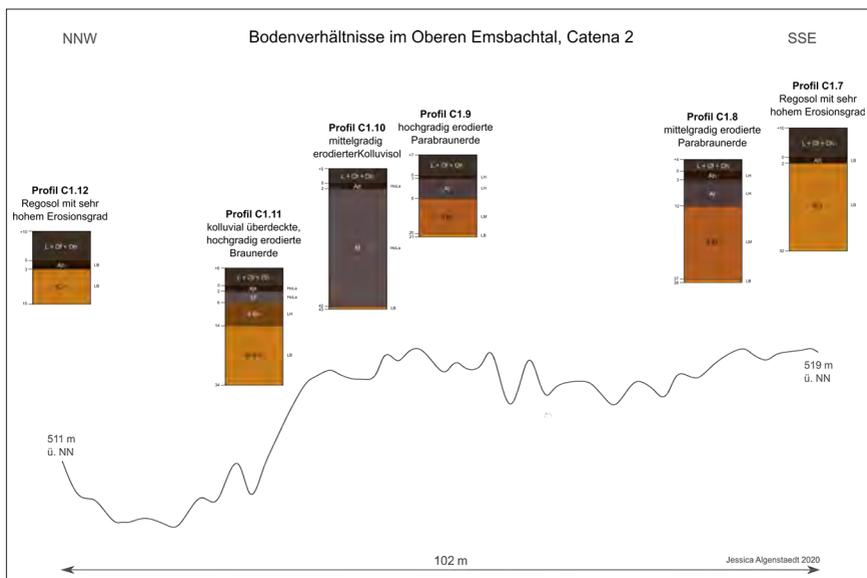


Abbildung 5: Bodenentwicklungen der Catena 2 (ALGENSTAEDT 2021).

Figure 5: Soil developments of catena 2 (ALGENSTAEDT 2021).

Die Situation am Unterhang (ca. 490–550 m ü. NN) ist gekennzeichnet durch das Vorherrschen von Braunerde-Regosolen. Kennzeichnend ist die schwankende Mächtigkeit der Bv-Horizonte (< 15–50 cm), die mit Mächtigkeitsunterschieden der Hauptlage korrespondiert. Auch bei diesen Standorten hat die Überdeckung mit Kolluvium örtlich zur Entwicklung von Kolluvisolen geführt. Eingestreut in das Bodenmosaik von erodierten und kolluvial überdeckten Braunerden finden sich Parabraunerden. Auffällig sind die durchgängig in Mächtigkeiten zwischen 12–20 cm entwickelten Bt-Horizonte, wobei nur selten ein Al-Horizont ausgeprägt ist (vgl. Abb. 4 u. 5).

Die flächenhafte Verbreitung von Braunerden und erosiv verkürzten Profilen mit Braunerde-Vergangenheit (Braunerde-Regosol) lassen auf eine vom Relief unabhängige Entwicklung dieses Bodentyps schließen. Im Unterschied zur Dominanz von Braunerde-Profilen ist die Entwicklung von Parabraunerden an morphologisch geschützte Reliefpositionen gebunden, wie zum Beispiel die Verflachungszone unterhalb der Kuppe des Weilsberges. In tiefer gelegenen Hangpositionen, wie am Mittel- und Unterhang, ist das Auftreten von Parabraunerden gekoppelt an erosionsgeschützte flache Senken, in denen die Ablagerung und Erhaltung von Löss und Lössderivaten begünstigt war und sich die Mittellage entwickeln konnte. Die Beeinflussung der Bodenentwicklung durch die Reliefverhältnisse zeigt sich auch in einem anderen Zusammenhang. So sind vor allem die Standorte in konvexen Hangbereichen durch verkürzte Profile mit z. T. hohem Erosionsgrad gekennzeichnet. In eher konkav geformten Hangpositionen (Einsenkungen, Senken, Tälchen) treten hingegen Kolluvien und Kolluvisole stärker in Erscheinung.

In der Gesamtbetrachtung sind die Bodenverhältnisse im Oberen Emsbachtal als sehr stark anthropogen überprägt einzustufen. Charakteristisch ist der engräumige Wechsel der Bodentypen, die in unterschiedlichem Maß abgetragen oder kolluvial überdeckt sind. Bei mehr als der Hälfte der aufgenommenen Profile ist das Solum aufgrund des Bodenabtrags so stark verkürzt, dass der Erosionsgrad als „stark“ (Eg4) oder „sehr stark“ (Eg5) zu bezeichnen ist. Etwa ein Drittel der erfassten Böden ist „mittelgradig“ erodiert (Eg3). Ein geringeres Ausmaß der Erosion (Eg1–Eg2) ist nur an gut einem Zehntel der untersuchten Profilstandorte festzustellen, während selten (n=2) Bodenverhältnisse vorgefunden wurden, für die eine weitgehende Erhaltung der Profile in natürlicher Mächtigkeit angenommen werden kann.

## 6 Interpretation und Diskussion

Die bodenkundlichen Untersuchungen im Oberen Emsbachtal (ALGENSTAEDT 2021) belegen die flächenhafte Beeinflussung der Pedosphäre durch den Menschen. Ursächlich sind starke anthropogene Eingriffe in den Naturraum, die

entweder direkt auf den Boden einwirkten (z. B. Ackerbau) oder durch das Zurückdrängen der Vegetation im Zuge von Auflichtungen (Rodung) zu einer verringerten Bodenstabilität führten. Prozesse der Bodenerosion und Materialverlagerung wurden dadurch begünstigt. Die Abläufe sind zeitlich nicht präzise einzuordnen, weil chronostratigraphisch verwertbare Daten fehlen. Unklar sind zudem die Wirkungsbeziehungen der Einflussfaktoren von Bodenabtrag und Kolluvienbildung (DAMBECK & THIEMEYER 2020).

Für das Untersuchungsgebiet ist eine vielfältige Nutzungsgeschichte belegt (siehe Kap. 3). Sichtbare Zeugnisse stellen die unterschiedlichen anthropogenen Kleinformen dar, die bis in die höchsten Reliefpositionen nachzuweisen sind. Die große Anzahl an kulturhistorischen Landschaftselementen unterstreicht die Bedeutung des Oberen Emsbachtals als Standort einer früheren Eisenindustrie, Köhlerei und Glasherstellung. Dazu trugen sicherlich der günstige Anschluss der Örtlichkeiten an das vorhandene Wegenetz (z. B. Rennstraße, Frankfurt-Cöllner Straße) bei, das den An- und Abtransport von Gütern, jedoch vor allem die Abfuhr der von den verschiedenen Waldgewerben hergestellten Produkte in Richtung der Handelszentren gewährleistete (VOGEL 1843; SCHUBERT 1937; PINSKER 1995). Einige aktuell bewaldete Areale wurden zudem zeitweise von der Landwirtschaft beansprucht und waren ackerbaulich genutzt. Die lang andauernde Bewirtschaftung der Hanglagen, die teilweise von direkten Eingriffen in den oberflächennahen Untergrund begleitet waren, blieb nicht ohne Folgen für die Bodenverhältnisse. Vollständig ungestörte Bodenprofile sind daher nur selten erhalten. Die weit überwiegende Zahl der Profile ist verkürzt. Örtlich ist das Solum der Böden bis auf den Untergrundhorizont abgetragen. Analog sind Kolluvien als Korrelate der Bodenerosion verbreitet vorzufinden.

Der Beginn von morphodynamisch sensitiven anthropogenen Eingriffen in die natürlichen Ressourcen im Oberen Emsbachtal ist zeitlich nicht präzise zu bestimmen. Spätestens mit dem Vordringen der Römer, sehr wahrscheinlich früher, ist mit einer zunehmenden Beeinflussung durch den Menschen zu rechnen (vgl. BAATZ 1988). Ein stärkeres Eingreifen in den Naturraum in vorausgehenden Zeiträumen ist nicht auszuschließen, da prähistorische Siedlungstätigkeiten aus angrenzenden und benachbart gelegenen Räumen (z. B. Idsteiner Senke/Goldeener Grund, Vordertaunus, Weital) belegt sind und örtlich bis in die Kulturstufe der Bandkeramik zurückverfolgt werden können (BAATZ & HERRMANN 1982; SCHLOTT 1988; SCHADE-LINDIG & SCHADE 2005). Hinweise auf Landschaftsveränderungen in vorchristlicher Zeit erschließen sich aus Pollenanalysen am ca. 5 km südwestlich von Oberems gelegenen Heftricher Moor (STOBBE & GUMNIOR 2021). Die an dem Standort rekonstruierte Vegetationsentwicklung ab der Bronzezeit sehen STOBBE & GUMNIOR (2021) als Indiz für die seinerzeit bereits intensive Besiedelung und Bewirtschaftung der Region. Danach wurde die Ausbreitung der Buche (*Fagus*) hin zur dominierenden Baumart durch die anthropogene Auflichtung der bis dahin vorherrschenden Mischwälder begünstigt, die von Vor-

kommen der Linde (*Tilia*), Hasel (*Corylus*) und Esche (*Fraxinus*) bestimmt waren. Vergleichbare Daten liegen für das Obere Emsbachtal nicht vor. Somit muss offenbleiben, ob die Entwicklung in benachbarten Gebieten räumlich auf das Untersuchungsgebiet übertragen werden kann.

Eine spürbare Öffnung der Landschaft dürfte spätestens im Zusammenhang mit der Anlage des obergermanisch-raetischen Limes erfolgt sein. Für die Annahme, dass größere Areale im Oberen Emsbachtal zu der Zeit temporär aufgelichtet oder entwaldet waren, spricht, dass die Errichtung von Sicherungsanlagen (Palisaden, Wachtürme) eine hohe Nachfrage nach Bauholz generierte, die höchstwahrscheinlich in den umliegenden Wäldern gedeckt wurde (DITTRICH 2013; BECKER et al. 2014). Ausmaß und morphologische Wirksamkeit der römerzeitlichen Einflussnahme sind aufgrund fehlender Bezugsdaten für das Untersuchungsgebiet nicht abzuschätzen. Zweifelsfrei waren Veränderungen der Bodenverhältnisse mit den Eingriffen verbunden, wenngleich diese gegenwärtig nur für die unmittelbar bodeninvasiven Einwirkungsbereiche entlang des Limesverlaufes als gesichert angenommen werden dürfen, die von Bodenabgrabungen, Materialaufschüttungen und -umschichtungen betroffen waren.

Profunde Belege für signifikante, anthropogen induzierte Veränderungen der Vegetation im Oberen Emsbachtal wurden von SCHMENKEL (2003) vorgelegt. Palynologisch sind zwei Phasen der Entwaldung zu identifizieren, die chronostratigraphisch in das Früh- und Hochmittelalter einzuordnen sind. Die deutliche Abnahme der Buche (*Fagus*) während der früheren der beiden Entwaldungsphasen, die im Vergleich zur zweiten Phase stärker ausfiel, fällt in die Karolingerzeit im 8./9. Jh. Als ursächlich wird entweder Holzeinschlag oder Beweidung angenommen (SCHMENKEL 2003). Zeitlich ist die mittelalterliche Hauptentwaldungsphase somit noch vor den Beginn der Eisenerzverhüttung im 13. Jh. und der Glasherstellung ab ca. 1450 A.D. zu stellen und mit dem allgemeinen Siedlungsgeschehen zur Zeit der fränkischen Landnahme in Verbindung zu bringen (SCHMENKEL 2003: 173f.; NAUK 2009a, b; DITTRICH 2013; BORK 2020). In Zusammenhang mit der Rodungsphase ist eine spürbare Zunahme der morphodynamischen Aktivität als wahrscheinlich anzunehmen, weil der Wald infolge des Bevölkerungswachstum durch die Ausweitung der Nutzflächen erheblich dezimiert wurde (SCHMENKEL 2003). Synchron zum Buchenrückgang sind das Auftreten von Getreide-Pollen (*Cerealia*) und der nachfolgende Anstieg der *Cerealia*-Kurve im Pollendiagramm zu beobachten, was auf das Einsetzen und die zunehmende Intensivierung des Ackerbaus schließen lässt. Die entwaldeten und für Getreideanbau genutzten Flächen waren den klimatischen und anthropogenen Einflüssen verstärkt ausgesetzt, so dass Prozesse der Bodenerosion und Sedimentverlagerung begünstigt wurden (vgl. SEMMEL 1978; BAUER 1993).

Die intensive Nutzung verursachte flächenhaften Bodenabtrag. Insbesondere das Entfernen der schützenden Vegetationsauflage bei zeitgleich hoher Reliefenergie dürfte letztlich zu einer morphologischen Instabilität der Hangabschnitte

(SEMMELE 1993) geführt haben. Als Folge der anthropogenen Eingriffe wurden die Böden in unterschiedlichem Maße abgetragen. Profilverkürzungen, Bodendegradierungen und kolluviale Überdeckungen stellen Indikatoren für Bodenerosion dar (RICHTER & SPERLING 1976: 8). Im Untersuchungsgebiet ist das Solum der Böden mehrheitlich um mehr als die Hälfte der angenommenen natürlichen Mächtigkeit verkürzt (Eg3-Eg5). Auffällig ist, dass erodierte Bodenprofile im Oberen Emsbachtal in allen der untersuchten Reliefpositionen nachzuweisen sind. In die historische Nutzung waren offenbar nicht nur die tieferen Lagen, sondern auch die Oberhänge und Kuppenbereiche einbezogen. Es ist zu vermuten, dass die Eingriffe in den Naturraum nicht ausschließlich von Oberems aus erfolgten, sondern zeitweise Beeinflussungen auch von der am Osthang des Weilsberg gelegenen Wüstung „Weilsberg“ (auch „Weilsbergen“) ausgingen, die bis in das 17. Jh. existierte und danach wüst gefallen ist (vgl. MICHEL 1988).

Aussagen zur zeitlichen Entwicklung und den Abläufen der Bodenerosion sind ebenso wie die Zuordnung der Ursachen schwierig. Die Verbreitung und Häufigkeit von fossilen Stufenrainen („Ackerterrassen“) am westexponierten Hang verdeutlicht das Ausmaß direkter anthropogener Eingriffe in die Pedosphäre. Es ist unklar, wann und über welchen Zeitraum die Hangbereiche beackert wurden. Zeitangaben (z. B. historische Quellen) waren nicht zu ermitteln. Hinweise liegen jedoch aus angrenzenden Gebieten vor (KAETHNER & KAETHNER 1987; ERNST 2012), in denen vergleichbare Terrassierungen im Umfeld von Ortswüstungen erhalten sind. Die Aufgabe der Siedlungen erfolgte dort im 14./15. Jh. Daher ist das Wüstfallen der Terrassenfluren im Oberen Emsbachtal möglicherweise ebenfalls in diesen Zeitraum einzuordnen.

Die durch die Beackerung verursachte Bearbeitungserosion führte auf den isohypsenparallel angelegten, streifenförmigen Feldparzellen zu Bodenumlagerungen. Die terrassenförmige Gliederung des Reliefs mit Stufenrainen wurde gefördert, um die Neigung der ackerbaulich genutzten Flächen zu verringern und der Erosion entgegenzuwirken (KÜSTER 1999). Unklar ist, über welche Entfernungen das durch die Bearbeitungserosion umgelagerte Bodenmaterial am Hang transportiert wurde. Eine eher kurzstreckige Verlagerung ist anzunehmen, weil das vom Pflug auf der Fläche aufgenommene Bodenmaterial im Bereich der Stufenstirn teilweise resedimentiert wurde, was gegen einen linearen Durchtransport bis an den Unterhang oder in die Emsbachtal spricht.

Unter Berücksichtigung der starken karolingerzeitlichen Entwaldung ist von einem erhöhten Bodenabtrag ab dem Früh- und Hochmittelalter auszugehen. Damit könnte die Entwicklung im Oberen Emsbachtal in etwa vergleichbar sein mit der Situation im Aar-Tal (westlicher Hintertaunus), wo in den Umgebungsbereichen der Kemeler Heide die höchsten Sedimentationsraten im Hochmittelalter erreicht wurden (STOLZ et al. 2012).

Inwieweit die mit dem Holzeinschlag für die Eisenerzverhüttung, Köhlerei und Glasgewinnung einsetzende Auflichtung der Vegetation die Bodenerosion be-

günstigte, muss offenbleiben. Unter Bedingungen mit verringerter Vegetationsbedeckung nimmt der Oberflächenabfluss zu, sodass die Abschwemmung von Bodenteilchen zumindest zeitweise begünstigt gewesen sein dürfte. Allgemein wurden nur die Stämme ohne das Kronenholz verwendet, während die Wurzelstöcke der Gehölze im Boden verblieben. Selbst wenn in den gerodeten Schlägen noch Streunutzung erfolgt sein sollte, wäre somit ein gewisser Erosionsschutz durch die Vegetation gegeben gewesen (vgl. STOLZ 2008). Eine flächenhaft wirksame Erosion ist anhand der erfassten Bodenprofile zu belegen, dagegen ist eine höhere Bedeutung linearer Abspülprozesse, die für verschiedene Regionen im Taunus belegt sind (BAUER 1993, STOLZ 2008), nicht anzunehmen, da lineare Hohlformen (Runsen, ausgespülte Hohlwege) in den untersuchten Hangbereichen nur selten vorkommen und jeweils geringe Eintiefungsbeträge aufweisen.

Analog zum starken Bodenabtrag treten verbreitet kolluviale Ablagerungen in Erscheinung. Unabhängig vom Relief lagert das umgelagerte Solummaterial den noch vorhandenen Restprofilen der nativen Böden auf. Die Mächtigkeit der Kolluvien variiert ohne erkennbaren Reliefbezug. An einigen Standorten fehlt die kolluviale Überdeckung ganz, während benachbart gelegene Lokalitäten von einer weniger als 4 dm mächtigen Auflage aus Kolluviallehm bedeckt sind. Für das Untersuchungsgebiet kennzeichnend ist ein Wechsel von hochgradig erodierten Braunerden mit kolluvial überdeckten Profilen und Kolluvisolen, die z.T. über eine Distanz von wenigen Metern nebeneinander entwickelt sind, wobei die pedogenetischen Übergänge aufgrund des gewählten Bohrrasters nicht zu erfassen waren. Zum Teil lagert das Abtragsmaterial der Basislage unmittelbar auf (Ah/M/II C...). An den Standorten sind aufgrund der eingetretenen Totalerosion keine evidenten Rückschlüsse auf die ursprüngliche Pedogenese mehr möglich. Örtlich sind zwei sich überlagernde M-Horizonte nachzuweisen. Die Entwicklung lässt auf zeitlich verschiedene Akkumulationsphasen schließen. Vor der kolluvialen Überdeckung muss partiell Bodenerosion stattgefunden haben, da die LH in zahlreichen Profilen entweder gänzlich fehlt oder zumindest stark abgetragen wurde. Teilweise sind Materialverluste von mehr als 50 cm anzunehmen. Hinweise liefern die Profile von erodierten Parabraunerden, in denen die Hauptlage komplett fehlt. Die geringe Mächtigkeit der korrespondierenden Bt-Horizonte (10–15 cm) ist nicht zwingend als Hinweis für eine erosionsbedingte Horizontverkürzung zu werten. Die Angaben im Erläuterungsband zu den in der Bodenkarte ausgewiesenen Kartiereinheiten lassen vielmehr den Schluss zu, dass die Bt-Horizonte örtlich natürliche Mächtigkeiten von 10–20 cm aufweisen (FICKEL 1977). Darauf deuten auch die Bodenverhältnisse im Bereich der morphologischen Verflachungszone unterhalb der Kuppe des Weilsberg hin, wo der Bt-Horizont der erbohrten Parabraunerde bei noch erhaltener Hauptlage 25 cm mächtig entwickelt ist (siehe Kap. 5).

## 7 Literatur

- Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Aufl. – 422 S., 41 Abb., 103 Tab., 31 Listen; Hannover (Schweizerbart).
- AK Bodensystematik (= Arbeitskreis für Bodensystematik der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft) (1998): Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. – Mitt. dt. bodenkdl. Ges., **86**: XII + 180 S.; Oldenburg (DBG).
- BAATZ, D. (1988): Die Römer im Hochtaunuskreis. – In: BERG, I., ERNST, E. GALUSCHKA, H.-J. & WALSH, G.: Heimat Hochtaunus. – 150-158; Frankfurt a. M. (W. Kramer).
- BAATZ, D. & HERRMANN, R. (1982): Die Ringwälle auf dem Altkönig im Taunus. Führungsblatt zu den keltischen Befestigungen bei Falkenstein und Kronberg, Hochtaunuskreis. – Archäol. Denkmäler Hessen, **25**: 8 S.; Wiesbaden (L.-Amt Denkmalpfl.).
- BAUER, A.W. (1993): Bodenerosion in den Waldgebieten des östlichen Taunus in historischer und heutiger Zeit – Ausmaß, Ursachen und geökologische Auswirkungen. – Frankfurter geowiss. Arb., **D 14**: 194 S., 45 Abb.; Frankfurt a. M. (Fb. Geowiss.).
- BECKER, Th., BUTHMANN VON, N., ZICKGRAF, B. & LORSCHIEDER, F. (2014): Das Kastell „Alteburg“. Führungsheft zum UNESCO-Welterbe Limes im Gebiet der Stadt Idstein, Rheingau-Taunus-Kreis. – Archäol. Denkmäler Hessen, **177**: 50 S.; Wiesbaden (L.-Amt Denkmalpfl.).
- BORK, H.-R. (2020): Schlüsseldaten zur Umweltgeschichte von Hessen – von der Spätantiken Kleinen Eiszeit bis zur COVID-19-Pandemie. – Jb. nass. Ver. Naturkde., **141**: 207-224; Wiesbaden (NVN).
- BÜDEL, J. (1937): Eiszeitliche und rezente Verwitterung und Abtragung im ehemals nicht vereisten Teil Mitteleuropas. – 71 S.; Gotha (Justus Perthes Verlag).
- Climate-Data.org (o. J.): Klima Oberems (Deutschland). Daten und Graphen zum Klima und Wetter für Oberems. – Online-Portal: <<https://de.climate-data.org/europa/deutschland/hessen/oberems-184014/#climate-table/>> (Zugriff: 09.07.2022).
- DAMBECK, R. & THIEMEYER, H. (2020): Kleinräumige Bodenmuster von Podsolen und Braunerden im zentralen Buntsandstein-Spessart. – Jber. Wetterau Ges. ges. Naturkde., **170**: 101-132, 4 Abb., 1 Tab.; Hanau.
- DITTRICH, E. (2013): Waldwirtschaft. Als die Märker den Wald vor lauter Bäumen nicht sahen. – Friedrichsdorfer Schr., **12**: 71-97, 12 Abb.; Friedrichsdorf.
- ERNST, E. (2012): Das obere Erlenbachtal. Fluren, Bäche, Dörfer, Mühlen und Höfe in einer kleinen Hochtaunus-Landschaft. – 112 S.; Neu-Anspach (Heimat- u. Geschichtsver.).
- FICKEL, W. (1977): Erläuterungen zur Bodenkarte von Hessen 1:25000. Blatt 5716 Oberreifenberg. – 120 S., 20 Prof.; Wiesbaden (HLfB).
- FICKEL, W. (1978): VI. Böden. – In: FUCHS, A.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000. Blatt 5716 Oberreifenberg. – 48-52; Wiesbaden (HLfB).
- FREUDENSTEIN, J. (1988): Die Waldentwicklung im Hochtaunus. – In: BERG, I., ERNST, E. GALUSCHKA, H.-J. & WALSH, G.: Heimat Hochtaunus. – 610-619; Frankfurt a. M. (W. Kramer).
- FRIED, G. (1984): Gestein, Relief und Boden im Buntsandstein-Odenwald. – Frankfurter geowiss. Arb., **D 4**: 201 S., 57 Abb., 11 Tab.; Frankfurt a. M. (Fb. Geowiss.).
- FUCHS, A. (1978): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1:25000. Blatt 5716 Oberreifenberg. – 101 S., 8 Abb., 6 Tab., 2 Taf.; Wiesbaden (HLfB).
- GEISTHARDT, F. (1970): Waldschmieden im Taunus. – Nass. Annalen, **81**: 134-144; Wiesbaden (Ver. Nass. Altertumskde. Geschichtsforsch.).
- HENNE, A. (2005): Die Entwicklung der Waldfläche. – In: HMULRV (= Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz): Beiträge zur hessischen Forstgeschichte. – 19-20; Wiesbaden.

- HERR, H. (1993): Lexikon vom Hohen Taunus. Berge, Wege, Wälder, Geschichte. – 127 S.; Frankfurt a. M. (W. Kramer).
- HILDEBRANDT, H., HEUSER-HILDEBRANDT, B. & STUMBÖCK, M. (2001): Bestandsgeschichtliche und kulturlandschaftsgenetische Untersuchungen im Naturwaldreservat Stelzenbach, Forstamt Nassau, Revier Winden. Pollenanalysen aus Geländemulden und Auswertung von Holzspektren historischer Meilerplätze. – *Mz. Naturwiss Archiv, Beih.* 25 (= Sb. 3): 83 S., 28 Abb., 3 Tab.; Mainz (Naturhist. Museum).
- HIMMELREICH, G. (o. J.): Relikte der historischen Köhlerei im oberen Emsbachtal im Taunus. – Unpubl. Manuskript. – 4 S., 1 Abb.; Glashütten-Oberems.
- HLfB (= Hessisches Landesamt für Bodenforschung) (1977): Bodenkarte von Hessen 1:25000. Blatt 5716 Oberreifenberg; Wiesbaden (HLfB).
- HLfB (= Hessisches Landesamt für Bodenforschung) (1978): Geologische Karte von Hessen 1:25000. Blatt 5716 Oberreifenberg; Wiesbaden (HLfB).
- HLVA (= Hessisches Landesvermessungsamt) (1995): Topographische Karte von Hessen 1:25000. Blatt 5716 Oberreifenberg; Wiesbaden (HLVA).
- HMLFN (= Hessisches Ministerium für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz) (1988): Wald in Hessen. Gestern, Heute und Morgen. – *Mitt. Hess. L.-Forstverwaltung*, 22: 218 S.; Frankfurt a. M. (Sauerländer).
- HVBG (= Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation) (2022): Digitales Geländemodell Glashütten – DGM1. Digitale Ressource < [https://gds.hessen.de/INTERSHOP/web/WFS/HLBG-Geodaten-Site/de\\_DE/-/EUR/ViewDownloadcenter-Start;pgid=NIZSrnc17gBSRpNpt1AR16YC0000bq6fX1Ve](https://gds.hessen.de/INTERSHOP/web/WFS/HLBG-Geodaten-Site/de_DE/-/EUR/ViewDownloadcenter-Start;pgid=NIZSrnc17gBSRpNpt1AR16YC0000bq6fX1Ve)> (Zugriff: 19.09.2022).
- KAETHNER, R.H. & KAETHNER, M. (1987): Weilrod: die Geschichte von 13 Taunusdörfern. – XVI + 524 S., 116 Abb.; Weilrod (Geschichtsver.).
- KEIPER, H. (1982): Aus fast vergessenen Zeiten. Erzähltes und Gesammeltes aus der Großgemeinde Weilmünster unter Mitarbeit einer Heimatkundlichen Arbeitsgemeinschaft der Kreisvolkshochschule Limburg-Weilburg. – 273 S.; Weilrod-Neuweilau i. Ts. (Esser).
- KLÄUSING, O. (1988): Die Naturräume Hessens: mit einer Karte der naturräumlichen Gliederung 1:200000. Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz. – *Schrift.-R. HLFU*, 67: 43 S.; Wiesbaden (HLfU).
- KORTZFLEISCH, A. v. (2008): II. Verfeinerung der Technik. 6. Der klassische – stehende – Erdmeiler oder Platzmeiler. – In: Hermann-Reddersen-Stiftung des Harzklubs e. V. (Hrsg.): Die Kunst der schwarzen Gesellen. Köhlerei im Harz. – 42-54; Clausthal-Zellerfeld (Papierflieger Verlag).
- KRUMME, O. (1935): Frost und Schnee in ihrer Wirkung auf den Boden im Hochtaunus. – *Rhein-Main.-Forsch.*, 13: 73 S., 27 Abb.; Frankfurt a. M. (Brönner).
- KÜSTER, H. (1999): Geschichte der Landschaft in Mitteleuropa (Sonderausgabe). – 424 S., 211 Abb.; München (C. H. Beck).
- LOTZ, K. (1995): Einführung in die Geologie des Landes Hessen. – 267 S.; Marburg (Hitzeroth).
- MICHEL, R. (1988): Von den Wüstungen im Hochtaunuskreis. – In: BERG, I., ERNST, E. GALUSCHKA, H.-J. & WALSH, G.: Heimat Hochtaunus. – 163-171; Frankfurt a. M. (W. Kramer).
- MÜLLER, H. (1988): Glashütten, eine Mainzer Gewerbeegründung. – In: BERG, I., ERNST, E. GALUSCHKA, H.-J. & WALSH, G.: Heimat Hochtaunus. – 243-246; Frankfurt a. M. (W. Kramer).
- NAUK, H. (2009a): Rennofenschlacken im Taunus – Relikte einer mittelalterlichen Eisenerzhüttung. Ein Beitrag zur regionalen Geschichtsforschung. Ein Amateurforscher berichtet. – 21 S., 9 Abb.; Glashütten-Oberems (Selbstverlag).
- NAUK, H. (2009b): Hochmittelalterliche Glasöfen im Taunus entdeckt. Sternstunde eines Amateurforschers. Ein Beitrag zur regionalen Geschichtsforschung. – 17 S., 14 Abb.; Glashütten-Oberems (Selbstverlag).
- PICARD, B. (1968): Eppstein im Taunus. Geschichte der Burg, der Herren und der Stadt. – 250 S.; Frankfurt a. M. (W. Kramer).

- PINSKER, B. (Hrsg.) (1995): Eisenland: Zu den Wurzeln der nassauischen Eisenindustrie. Begleitkatalog zur Sonderausstellung der Sammlung Nassauischer Altertümer im Museum Wiesbaden, 29. Januar–23. Juli 1995. – 262 S. Wiesbaden (Ver. Nass. Altertumskde. Geschichtsforsch).
- RICHTER, G. & SPERLING, W. (1976): Bodenerosion in Mitteleuropa. – Wege Forsch., **430**: 599 S; Darmstadt (Wiss. Buchges.).
- ROTH, F.W.E. (1912): Kulturbilder aus der Geschichte der Stadt Idstein und der Taunuslande. Ein Beitrag zur Heimatkunde Nassau's. – 161 S.; Idstein (Grandpierre).
- SABEL, K.-J. (2005): Die Bodenlandschaften Hessens. – Exkursionsführer zur Jahrestagung der DGB 2005 in Marburg. – Mitt. dt. bodenkdl. Ges., **105**: 21-26; Oldenburg.
- SCHADE-LINDIG, S. & SCHADE, CHR. (2005): Auf den Spuren einer unsichtbaren Kulturlandschaft – Plädoyer für die Ausweisung archäologischer Schutzgebiete an Beispiel des Goldenen Grundes in der Idsteiner Senke. – In: DENZER, V., HASSE, J., KLEEFELD, K.-D. & RECKER, U. (Hrsg.): Wahrnehmung – Inventarisierung – Regionale Beispiele. – Fundber. Hessen, Beih., **4**: 283-303, 17 Abb.; Wiesbaden (L.-Amt Denkmalpfl.).
- SCHADE-LINDIG, S. & STEINBRING, B. (2018): Bodendenkmäler unter Wald im LiDAR-Scan. Digitale Handreichung für Forstbedienstete. – Themen Hessenarchäol., **6**: 49 S.; Wiesbaden (L.-Amt Denkmalpfl.).
- SCHLOTT, CHR. (1988): Spuren der Kelten im Taunus. – In: BERG, I., ERNST, E. GALUSCHKA, H.-J. & WALSH, G.: Heimat Hochtaunus. – 146-150; Frankfurt a. M. (W. Kramer).
- SCHMENKEL, G. (2003): Das Profil Emsbachtal zur Zeit der mittelalterlichen Glashütten. Pollenanalytische Untersuchungen zur Vegetationsgeschichte. – In: STEPPUHN, P. (Hrsg): Glashütten im Gespräch: Berichte und Materialien vom 2. Internationalen Symposium zur archäologischen Erforschung mittelalterlicher und frühneuzeitlicher Glashütten Mitteleuropas. – 171-174, 3 Abb.; Lübeck (Schmidt Römhild).
- SCHMIDT, M., MÖLDER, A., ENGEL, F., SCHÖNFELDER, E. & FORTMANN-VALTINK, W. (2016): Welche Auswirkungen hatte die frühindustrielle Köhlerlei auf hessische Wälder? Eine vergleichende Untersuchung im Reinhardswald und im Nationalpark Kellerwald-Edersee. – Jb. Natursch. Hessen, **16** (2015/2016): 21-27, 5 Abb.; Kassel (NGNN).
- SCHNAPPER-ARNDT, G. (1883): Hoher Taunus. Eine sozialstatistische Untersuchung in fünf Dorfgemeinden. – 322 S., 9 Anl.; Allensbach (Verlag für Demoskopie).
- SCHUBERT, H. (1937): Geschichte der Nassauischen Eisenindustrie. Von den Anfängen bis zur Zeit des Dreißigjährigen Krieges. – 534 S.; Marburg (N.G. Elwert'sche Verlagsbuchhandlung).
- SCHWENZER, B. (1967): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 139 Frankfurt a. M. – In: Geographische Landesaufnahme 1:200000 Naturräumliche Gliederung Deutschlands. – 35 S.; Bad Godesberg (Inst. Landeskd.).
- SEMMEL, A. (1978): Böden und Bodenkunde in der geomorphologischen Forschung. Beiträge zur Quartär- und Landschaftsforschung. – Festschrift zum 60. Geburtstag von Julius Fink. – 511-520 S.; Wien (F. Hirt).
- SEMMEL, A. (1993): Grundzüge der Bodengeographie, 3., überarb. Aufl. – 127 S., 41 Abb., 12 Bilder; Stuttgart (Teubner).
- SIPPEL, K. & STIEHL, U. (2005): Archäologie im Wald. Erkennen und Schützen von Bodendenkmälern. – 68 S.; Kassel-Wilhelmshöhe (Hessen-Forst).
- SPAHN, G. (2001): Eisenhämmer in Schmitten (Taunus). Ein Beitrag zur Wirtschafts- und Sozialgeschichte des Hochtaunuskreises. – Hochtaunusbl., **15**: 62 S., 20 Abb.; Schmitten/Ts. (Geschichtsver. Hochtaunus).
- STAHR, A. (2014): Die Böden des Taunuskamms. Entwicklung. Verbreitung. Nutzung. – 64 S., 56 Abb.; München (Pfeil).
- STAHR, A. (2022): Zur Genese periglazialer Lagen in Mitteleuropa aus aktualistischer Sicht. – Jb. Nass. Ver. Naturkde., **143**: 147-155, 5 Abb.; Wiesbaden (NVN).

- STEPPUHN, P. & BERG, I. (2006): Waldglashütten im Taunus. Geschichte – Archäologie – Produkte. – Schr.-R Hess. Freilichtmus., **13**: 140 S.; Neu-Anspach (Hessenpark).
- STERRMANN, G. & HEIDELBERGER, K. (2019): Die Geologie des Hochtaunuskreises. Einleitung, Geographie, Entstehung und Stratigraphie des Hochtaunuskreises (Taunus, Randgebiete), 2. Aufl. – 47 S., 46 Abb.; Oberursel (Ver. Gesch. Heimatkd. Oberursel (Taunus e.V.)).
- STOBBE, A. & GUMNIOR, M. (2021): Palaeoecology as a Tool for the Future Management of Forest Ecosystems in Hesse (Central Germany): Beech (*Fagus sylvatica* L.) versus Lime (*Tilia cordata* Mill.). – *Forests*, **12** (7): 924 (20pp.), 8 figs., 1 tab; Online-DOI: <https://doi.org/10.3390/f12070924> (Zugriff: 07.09.2022).
- STOLZ, CHR. (2008): Historisches Grabenreißen im Wassereinzugsgebiet der Aar zwischen Wiesbaden und Limburg. – *Geol. Abh. Hessen*, **117**: 138 S., 115 Abb., 43 Tab., Wiesbaden (HLUG).
- STOLZ, CH., BÖHNKE, S. & GRUNERT, J. (2012): Reconstructing 2500 years of land use history on the Kemel Heath (Kemeler Heide), southern Rhenish Massif, Germany. – *E&G Quatern. Sc. J.*, **61** (2): 169–184, 10 figs., 5 tabs. Online-DOI: <https://doi.org/10.3285/eg.61.2.05> (Zugriff: 07.09.2022).
- VOGEL, C.D. (1843): Beschreibung des Herzogthums Nassau. – 890 S.; Wiesbaden (Beyerle).

JESSICA ALGENSTAEDT  
jessica.algenstaedt@stud.uni-frankfurt.de

DR. RAINER DAMBECK  
dambeck@em.uni-frankfurt.de

Manuskripteingang: 25. September/ 6. Oktober 2022

# Pflasterritzen als Standorte der Verwilderung von Gartenpflanzen – Beispiele aus dem Taunus

RÜDIGER WITTIG

Bryo-Sagnetum, Chasmophyten, Pflasterritzen, Taunus, Verwilderung, Zierpflanzen

**K u r z f a s s u n g :** Pflasterritzen sind zwar kein idealer Pflanzenstandort, aber dennoch kann man in ihnen vereinzelt sogar Gartenflüchtlinge antreffen. In immerhin mindestens 3 % von 99 untersuchten im Taunus gelegenen Dörfern wurden folgende als Zierpflanzen kultivierte Arten verwildert in Pflasterritzen angetroffen: *Aubrieta deltoidea*, *Campanula poscharskiana*, *Chaenorhinum origanifolium*, *Lobelia erinus*, *Lobularia maritima* und *Potentilla verna*. Von diesen sind die fünf Erstgenannten in Deutschland nicht einheimisch, sondern stammen aus wärmeren Regionen. Letztere kommt natürlicherweise auch im Taunus vor, dort aber nur an wärmebegünstigten Orten. Drei der nicht einheimischen Arten besiedeln in ihrer Heimat Felsspalten. *Lobularia maritima* und die einheimische *Potentilla verna* sind charakteristisch für flachgründige Standorte. *Lobelia erinus* hat als einzige der fünf Arten einen hohen Feuchtigkeitsbedarf, was erklärt, dass sie nur in unter Fensterbänken oder Balkons gelegenen Pflasterritzen gefunden wurde.

## Pavement cracks as sites for the overgrowth of garden plants – examples from the Taunus

Bryo-Sagnetum, chasmophytes, pavement cracks, Taunus, overgrowth, ornamental plants

**A b s t r a c t :** Although cracks in the pavement are not an ideal habitat for plants, you can occasionally find garden refugees in them. In at least 3% of 99 settlements in the Taunus examined, the following species cultivated as ornamental plants were found growing wild in cracks in the pavement: *Aubrieta deltoidea*, *Campanula poscharskiana*, *Chaenorhinum origanifolium*, *Lobelia erinus*, *Lobularia maritima* and *Potentilla verna*. Of these, the first five named are not native to Germany, but come from warmer regions. The latter also occurs naturally in sunny habitats of the Taunus. Three of the non-native species colonize rock crevices in their homeland. *Lobularia maritima* and the native *Potentilla verna* are characteristic of shallow soils. *Lobelia erinus* is the only one of the five species that has a high moisture requirement, which explains why in pavement cracks it was only found under window sills or balconies.

### Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	124
2	Methoden .....	124
3	Ergebnisse .....	125
3.1	<i>Aubrieta deltoidea</i> – (Griechisches) Blaukissen .....	125
3.2	<i>Campanula poscharskyana</i> – Hängepolster Glockenblume .....	126
3.3	<i>Chaenorhinum origanifolium</i> – Majoranblättriger Klaffmund .....	126
3.4	<i>Lobelia erinus</i> – Blaue Lobelie .....	126

3.5	<i>Lobularia maritima</i> – Silberkraut .....	126
3.6	<i>Potentilla verna</i> – Frühlings-Fingerkraut .....	127
4	Diskussion .....	130
4.1	Der Lebensraum Pflasterritze .....	130
4.2	Der Begriff „mäßsig betreten“ .....	131
4.3	Methodenkritik .....	131
5	Literatur .....	131

## 1 Einleitung

Pflasterritzen stellen auf den ersten Blick betrachtet einen pflanzenfeindlichen Standort dar, denn sie werden in der Regel betreten oder gar befahren, was für die Mehrzahl der Blütenpflanzen tödlich ist. Dennoch gibt es einige wenige Arten, die dort wachsen und sogar eine charakteristische Pflanzengesellschaft bilden, die oft als Pflasterritzengesellschaft bezeichnet wird. Charakterart der Gesellschaft ist das Niederliegende Mastkraut (*Sagina procumbens*). Sehr häufig ist außerdem das Silbermoos (*Bryum argenteum*), weshalb Pflanzensoziologen die Gesellschaft Bryo argentei-Sagnetum procumbentis (Kurzform Bryo-Sagnetum) nennen. Relativ oft findet man außerdem trittresistente Gefäßpflanzen wie den Breit-Wegerich (*Plantago major*), den Gewöhnlichen Vogelknöterich (*Polygonum arenastrum*) und das Einjährige Rispengras (*Poa annua*), weshalb das Bryo-Sagnetum zur Klasse der Trittpflanzengesellschaften (Plantaginea majoris) gezählt wird. Die Gesellschaft ist weitgehend auf den atlantischen Klimabereich beschränkt, d. h. sie benötigt relativ kühle, regenreiche Sommer und milde Winter sowie ein entsprechendes Mikroklima. Im Taunus fehlt sie daher meist auf unbeschatteten großen Plätzen und Bahnsteigen (WITTIG 2020). An optimalen Standorten des Bryo-Sagnetum sind vereinzelt auch niedrigwüchsige Zierpflanzen als Vorgarten-, Balkon- oder Blumenkastenflüchtlinge in Pflasterritzen anzutreffen. Von diesen soll nachfolgend berichtet werden.

## 2 Methoden

Die nachfolgend präsentierten Ergebnisse wurden vom Verfasser im Rahmen der Kartierung der Taunusflora (WITTIG, EHMKE, KÖNIG & UEBELER 2022) durch Begehung von 99 Siedlungen erzielt. Sie beziehen sich also nicht auf den gesamten Taunus, sondern auf den von der Taunusflora erfassten, nachfolgend Untersuchungsgebiet (UG) genannten Bereich. Hierbei handelt es sich um Vortaunus, Hohen Taunus und den kammnahen Bereich des Hintertaunus. In allen Siedlungen wurden sämtliche Straßen und Plätze einmal im Zeitraum 2010 bis 2022 (Monate Juni bis August) begangen, die im Hohen Taunus gelegenen außerdem bereits

im August oder September des Jahres 2004 (WITTIG & ALBERTERNST 2005). Die Nomenklatur der Pflanzen richtet sich nach der Roten Liste (RL) Die Farn- und Blütenpflanzen Hessens (STARKE-OTTICH, GREGOR, BARTH et al. 2019). Heimat und dortige Vergesellschaftung wurden JÄGER, EBEL, HANELT et al. (2008) entnommen. Angaben zur Ökologie beruhen auf der inzwischen 50-jährigen Beschäftigung des Verfassers (WITTIG 1973) mit der Flora, Vegetation und Ökologie von Städten und Dörfern (siehe u. a. SUKOPP & WITTIG 1998; WITTIG 2002).

Die Kriterien für die Auswahl der nachfolgend behandelten Pflanzen waren:

- Kultivierung als Zierpflanze,
- Mindestens in drei Siedlungen blühend in mäßig betretenen Pflasterritzen gefunden.

Als mäßig betreten wurden an Gebäude oder Mauern angrenzende Ränder von Plätzen, Garageneinfahrten, Hauszugängen und breiten Wegen sowie der entsprechende straßenabseitige Rand von Bürgersteigen angesehen (siehe auch Kap. 4). In stark betretenen Pflasterritzen kommen nur die in Kapitel 1 erwähnten Gefäßpflanzen und einige weitere Trittpflanzen vor, in mäßig betretenen dagegen eine Vielzahl von Arten, darunter auch verwilderte Zierpflanzen.

Bei jeder Art wird die Anzahl der 64stel Rasterfelder (Rf) der Topographischen Karte 1:25.000 genannt, in denen die Art gefunden wurde, die Zahl der Funde in Pflasterritzen (Pf), der Status in der Roten Liste von Hessen (He) und der Region Nordwest (NW), die Heimatregion (H) und der dortige Naturstandort (N). Die Statusangaben haben folgende Bedeutung: E = eingebürgert; I = einheimisch (indigen); T = Einbürgerungstrend; u = unbeständig.

### 3 Ergebnisse

Sechs Arten erfüllen die o. g. Bedingungen. Sie werden nachfolgend in alphabetischer Reihung behandelt. Nur ein- oder zweimal in betretenen Pflasterritzen gefunden wurden *Campanula carpatica*, *Campanula garganica*, *Campanula portenschlagiana* und *Thymus drucei*.

#### 3.1 *Aubrieta deltoidea* – (Griechisches) Blaukissen

Abbildung 1

**Rf:** 121; davon u.a. in **Pf:** 12      **He:** T      **NW:** u

**H:** Sizilien, S-Balkan, Ägäis, W-Türkei

**N:** Montane Felsfluren

Die Art gehört im UG zu den häufigsten Gartenflüchtlingen (WITTIG 2021). Sie kommt hauptsächlich an Mauern vor, unterhalb derer sie vergleichsweise selten (10 % der Vorkommen) in Pflasterritzen gefunden wurde.

### 3.2 *Campanula poscharskyana* – Hängepolster Glockenblume

Abbildung 2

**Rf:** 41; davon u.a. in **Pf:** 11                    **He:** In der RL nicht aufgeführt

**H:** S-Dalmatien, Montenegro, jeweils küstennah

**N:** Felsspalten und Geröll

Auch diese Art besiedelt v. a. Mauern bzw. deren Fuß, wo sie von dort ausgehend in immerhin gut 25 % der Fälle in Pflasterritzen anzutreffen war.

### 3.3 *Chaenorhinum organifolium* – Majoranblättriger Klaffmund

Abbildung 3

**Rf:** 7; davon in **Pf:** 4                                **He:** In der RL nicht aufgeführt

**H:** SW-Europa

**N:** Kalkfelsen, Geröll

Im UG wird die Art bisher seltener als die vorgenannten in Gärten kultiviert und wurde dementsprechend auch deutlich seltener verwildert angetroffen, aber in mehr als der Hälfte der Fälle in Pflasterritzen, meist in engem Kontakt zu einem Steingarten.

### 3.4 *Lobelia erinus* – Blaue Lobelie

Abbildung 4

**Rf:** 10; davon in **Pf:** 6                                **He:** In der RL nicht aufgeführt

**H:** Kapland und O-Afrika bis Somalia und Sudan

**N:** Feuchte Sand- Kies- und Steinfelder

Unter den hier behandelten Arten ist *Lobelia erinus* die einzige, für die JÄGER, EBEL, HANELT et al. (2008) feuchte Böden als Kultivierungsbedingungen nennen. Dementsprechend wurde sie vom Verfasser im UG nie in Steingärten gesehen, sondern nur in Blumenkübeln sowie vor allem in Blumenkästen auf Fensterbänken und auf Brüstungen von Balkons, außerdem als Grabbepflanzung. Die sechs spontanen Vorkommen in Pflasterritzen befanden sich unter entsprechenden Fensterbänken oder Balkons, die anderen vier in Grabzwischenräumen.

### 3.5 *Lobularia maritima* – Silberkraut

Abbildung 5

**Rf:** 27; davon u.a. in **Pf:** 5                                **He:** T            **NW:** u

**H:** Mediterranraum (SW-Europa und N-Afrika), nach OBERDORFER (2001) Kanaren und Azoren

**N:** Küstennahe Rohböden

*Lobulia maritima* wurde überwiegend an Mauerfüßen und in Pflasterritzen angetroffen, selten auf ungepflasterten Plätzen, dagegen niemals an Mauern.

### 3.6 *Potentilla verna* – Frühlings-Fingerkraut

Abbildung 6

Rf: 108; davon u.a. in Pf: 12      He: I      NW: I

H: W- und Mittel-Europa

N: Trocken- und Halbtrockenrasen (Klasse Festuco-Brometea; gilt als deren Charakterart) sowie Felsfluren.

Die Art ist die einzige einheimische unter den in mindestens drei Rf in betretenen Pflasterritzen angetroffenen. Dort, wo sie im Siedlungsbereich in Nähe kultivierter Individuen gefunden wurde, darf man aber wohl mit sehr großer Sicherheit davon ausgehen, dass es sich um Gartenflüchtlinge handelt.



Abbildung/figure 1: *Aubrieta deltoidea*; Lorsbach; Foto/photo: R. Wittig 2019-05-13.



Abbildung/figure 2: *Campanula poscharskyana*; Obernhain; Foto/photo: R. Wittig 2013-06-14.



Abbildung/figure 3: *Chaenorhinum organifolium*; Obernhain; Foto/photo: R. Wittig 2013-06-14.



Abbildung/figure 4: *Lobelia erinus*; Martinsthal; Foto/photo: R. Wittig 2011-08-10.



Abbildung 5: *Lobularia maritima* in einem Rinnstein (ein Foto aus Pflasterritzen lag nicht vor), Oberursel; Foto: R. Wittig 2010-06-10.

Figure 5: *Lobularia maritima* in a gutter (a photo from pavement cracks was not available), Oberursel; photo: R. Wittig 2010-06-10.



Abbildung 6: *Potentilla verna* (= *P. neumanniana*) auf einem dem zweitgenannten Naturstandort der Art (Felsfluren) ähnelnden Weg (ein „Pflasterritzenfoto“ findet sich in WITTIG 2021); Friedhof Taunusstein; Foto: R. Wittig 2018-04-21.

Figure 6: *Potentilla verna* (= *P. neumanniana*) on a path resembling the second natural habitat (rocky meadows) of the species (a „pavement photo“ can be found in WITTIG 2021); cemetery Taunusstein; photo: R. Wittig 2018-04-21.

## 4 Diskussion

### 4.1 Der Lebensraum Pflasterritze

Auf den ersten Blick erscheinen in einer ansonsten steinbedeckten Fläche gelegene, dazu noch mäßig betretene schmale Ritzen als lebensfeindlich. Näher betrachtet bieten sie allerdings auch Vorteile:

- Es gibt weniger konkurrierende Arten als auf ungepflasterten Böden.
- Aufgrund weitgehenden Fehlens höherwüchsiger Arten ist ein ausreichender Lichtgenuss gesichert.
- Die Ritzen erhalten mehr Niederschlagswasser als ungepflasterte Böden, nämlich zusätzlich zu dem unmittelbar auf die Ritzen auftreffenden Niederschlag einen Teil des auf die Pflastersteine fallenden.
- Der Boden alter Ritzen ist oft sehr nährstoffreich. Mit der Zeit sammelt sich in den Ritzen nämlich organischer und anorganische Feinstaub an, so dass sich Würmer, Insektenlarven, Asseln, Springschwänze (Collembolen) und andere kleine Organismen ansiedeln und den Boden mit Nährstoffen anreichern. Dieser Prozess ähnelt den Vorgängen in Felsspalten, weshalb

verständlich wird, dass drei der sechs oben genannten Arten von Natur aus Spaltenbesiedler (Chasmophyten) sind (Näheres siehe ELLENBERG & LEUSCHNER 2010).

Genutzt werden können diese Vorteile jedoch nur von wenigstens mäßig tritt-resistenten oder sehr niedrigwüchsigen (in den Ritzen wachsend den Tritt vermeidenden) Arten, die zudem in der Lage sein müssen, kurzfristige Überhitzung zu ertragen. Zu Letzterem passt, dass fünf der sechs oben genannten Arten aus warmen Klimazonen stammen und die einzige einheimische natürlicherweise in Gesellschaften wächst, die man in Mitteleuropa überwiegend in Südexposition oder Plateaulage, aber niemals an Nordhängen findet.

## 4.2 Der Begriff „mäßig betreten“

Im Allgemeinen wird der straßenabseitige, an Mauern oder Gebäude grenzende Rand von Bürgersteigen nur dann betreten, wenn sich auf schmalen Bürgersteigen zwei Personen, auf breiteren Personengruppen entgegenkommen. Ist die Straße wenig befahren, wird oft eher auf die Straße ausgewichen als sich „der Gefahr auszusetzen“, die Mauern zu berühren und dadurch die Kleidung zu beschmutzen. Auf diese Weise kann sich, sofern nicht behördlicherseits eine Bekämpfung des Wildwuchses organisiert oder, was nur noch selten geschieht, von Anrainern vorgenommen wird, am Rand ein deutlich artenreicheres Bryo-Saginetum entwickeln als im Zentrum des Bürgersteigs. Hat sich eine dekorative Zierpflanze am Rand angesiedelt, so wird diese in der Regel vom Tritt verschont und der zunächst mäßig betretene engere Wuchsort der Pflanze wird zu einem fast unbetretenen.

## 4.3 Methodenkritik

Da eine vollständige Begehung der Siedlungen nur im Sommer erfolgte (lediglich Friedhöfe und Parkanlagen sowie Teilbereiche der Siedlungen wurden auch im Frühling begangen), ist nicht auszuschließen, dass in Pflasterritzen einige in Gärten kultivierte Frühjahrsgeophyten vorhanden, im Sommer aber nicht mehr sichtbar waren. In Frage kommen die Armenische Traubenhyazinthe (*Muscari armeniacum*), Krokus-Arten sowie Vertreterinnen der Gattung *Scilla*, insbesondere der Russische Blaustern (*Scilla siberica*).

## 5 Literatur

- ELLENBERG, H. & LEUSCHNER, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen, 6. Aufl. – 1134 S.; Stuttgart (Ulmer).
- JÄGER, E.J., EBEL, F., HANELT, P. & MÜLLER, G.K. (Hrsg.) (2008): Exkursionsflora von Deutschland, Band 5, Krautige Zier- und Nutzpflanzen. – 874 S.; Berlin, Heidelberg (Springer).

- OBERDORFER, E. (2001): Pflanzensoziologische Exkursionsflora. – 1051 S.; Stuttgart (Ulmer).
- STARKE-OTTICH, I., GREGOR, T., BARTH, U., BÖGER, K., BÖNSEL, D., CEZANNE, R., FREDE, A., HEMM, K., HODVINA, S., KUBOSCH, R., MAHN, D. & UEBELER, M. (2019): Rote Liste der Farn- und Samenpflanzen Hessens (5. Fassung). – 271 S.; Wiesbaden (Hess. Min. Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz & Hess. Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie).
- SUKOPP, H. & WITTIG, R. (1998): Stadtökologie. 2. Aufl. – 474 S.; Stuttgart (G. Fischer).
- WITTIG, R. (1973): Die ruderale Vegetation der Münsterschen Innenstadt. – Natur und Heimat, **33**: 100-110; Münster.
- WITTIG, R. (2002): Siedlungsvegetation. – 252 S.; Stuttgart (Ulmer).
- WITTIG, R. (2020): Die charakteristische Pflanzengesellschaft schattenloser Bahnsteige im Taunus und ihre bezeichnenden Arten. – Jb. nass. Ver. Naturkde., **141**: 49-62; Wiesbaden.
- WITTIG R. (2021): Die im Taunus häufigsten Gartenflüchtlinge. – Jb. nass. Ver. Naturkde., **142**: 7-28; Wiesbaden.
- WITTIG R. & ALBERTERNST B. (2005): Flora der Dörfer des Hochtaunus. – Geobot. Kolloq., **18**: 35-50; Frankfurt a. M.
- WITTIG, R., EHMKE, W., KÖNIG, A. & UEBELER, M. (Hrsg.) (2022): Taunusflora – Ergebnisse einer Kartierung im Vortaunus, Hohen Taunus und kammnahen Hintertaunus. – 520 S.; Frankfurt a. M. (Botanik und Naturschutz in Hessen e.V.).

# Die seltsamen Tierbeziehungen der Menschen Warum wir mit anderen Tieren leben wollen und können

KURT KOTRSCHAL

Mensch-Tierbeziehung, Evolution Gehirn, Biophilie

**Kurzfassung:** Die im Zuge der weltweiten Urbanisierung zunehmende Haltung von Kumpantieren zeigt, dass sich Menschen offenbar nicht selbst genug sind. Wohl als Komponente des sich-in-Beziehung-Setzens mit der Umwelt sind Menschen „biophil“: Ihre evolutionär entstandene Psyche ist an ein Leben mit Tieren und Natur angepasst, oder sogar dessen bedürftig. Menschen können mit anderen Tieren sozial zusammenleben, weil stammesgeschichtlich eine „gemeinsame soziale Werkzeugkiste“ aus Gehirn- und physiologischen Mechanismen entstand. Dieser Beitrag bietet eine Zusammenschau der Evolution des Wirbeltiergehirns und jener Schlüsselinnovationen, welche vor allem bei den Vögeln und Säugetieren ein immer komplexeres öko-soziales Leben ermöglichten und die soziale Intelligenz befeuerten. Wolf und Mensch sind evolutionäre Spitzenentwicklungen komplexen und kooperativen Soziallebens. Ihre in der Altsteinzeit eingegangene Partnerschaft dauert mit den zu Hunden domestizierten Wölfen bis heute an. Wie Erfahrung und wissenschaftliche Ergebnisse zeigen, ermöglicht die kooperative Orientierung von Hund und Menschen ein gewaltfreies partnerschaftliches Zusammenleben zum Wohle beider Seiten, unter kompetenter menschlicher Führung, aber ganz ohne Gewalt und Dominieren.

## The strange relationships of humans with other animals Why we want to, and can, live with other animals

Human-Animal-Relationships, Evolution, Biophilia

**Abstract:** Despite – or even because – increasing worldwide urbanization, ever more companion animals (“pets”) are kept. This hints at human “Biophilia” which probably emerged during the evolution of the human psyche – as part of the typically human way to relate to the environment. Humans seem adapted to, or even needy of, living in contact with animals and nature. They can be social partners of other vertebrate animals, based on a “common social toolbox” of brain and physiological mechanisms, which evolved over phylogeny. In this contribution, a state-of-the-art summary of the vertebrate brain evolution and its key innovations is presented, which empowered particularly birds and mammals for a complex and cooperative social life and also drove the evolution of social intelligence. Wolves and Humans are among the evolutionary pinnacles of socially complex animals; already in the Palaeolithic they engaged in a partnership which lasts till today, with domesticated wolves called dogs. Experience and recent scientific results show that optimal social partnerships with dogs to the benefit of both sides need clear human leadership, but without violence and aggressive domination.

### Inhaltsverzeichnis

1	Menschen sind “biophil” .....	134
2	Ein gemeinsames Gehirn und wie es entstand .....	135

3	Mit anderen Tieren wollen und auch können .....	140
4	Zusammenleben von Mensch und Hund .....	141
5	Literatur .....	144

## 1 Menschen sind „biophil“

In etwa 15 Millionen deutscher Haushalte leben 16,7 Millionen Katzen, 10,3 Millionen Hunde sowie 4,6 Millionen Kleintiere wie Kaninchen, Meerschweinchen und Hamster. In 47 % aller deutschen Haushalte lebt ein Heimtier und sogar in 69 % aller Haushalte mit Kindern. In 15 % aller Haushalte wird mehr als eine Tierart gehalten (Quelle ZZf <https://www.zzf.de/marktdaten/heimtiere-in-deutschland>). Die Liebe zum Heimtier ist natürlich nicht auf Deutschland beschränkt, sondern eigentlich „typisch menschlich“. Die Tiere mit Fell und Federn sind vorwiegend soziale Kumpane, was für die in den Terrarien und Aquarien gehaltenen Insekten, Fische, Amphibien und Reptilien weniger gilt. Selbst die etwa 1,3 Millionen privat gehaltenen Pferde mutieren immer mehr vom „Freizeitgerät“ zum Sozialpartner. Die Haltung dieser Tiere bewegt in Deutschland pro Jahr mindestens 10 Milliarden Euro, macht also 0,5 % des Bruttoinlandsprodukts aus, wodurch etwa 250.000 Menschen in Arbeit gehalten werden. Nie waren Kumpantiere bloße Dienstleister, etwa beim Jagen, Krieg führen oder Mäuse fangen. Immer schon waren sie auch Freunde und soziale Bezugspersonen – der Wolf in Form des Hundes bereits seit etwa 35.000 Jahren; Katze, Pferd & Co. kamen erst nach der „neolithischen Revolution“, also nach dem Sesshaftwerden, beginnend vor etwa 10.000 Jahren dazu.

Im Zuge der weltweit zunehmenden Verstädterung werden übrigens nicht weniger, sondern immer mehr Kumpantiere gehalten. Tatsächlich leben Menschen in guter Beziehung zu Hund & Co. körperlich gesünder und resilienter gegenüber den heute epidemischen mentalen Problemen. Als „soziale Schmiermittel“ verbessern Hunde die Kommunikation zwischen Menschen und mit der Zuwendung, derer sie bedürfen und geben können, erfüllen sie ein zentrales menschliches Bedürfnis. Die große soziale Bedeutung der Hunde zeigt sich auch darin, dass nicht wenige Leute Hunde als „ihre Kinder“ bezeichnen. Dazu meinte bereits Erich Kästner: „Man kann schon ohne Hund leben, aber es lohnt sich nicht“. Und bekanntlich gibt es zwei Arten von Hundehaltern, nämlich jene, die zugeben, dass der Hund im Bett schläft, und die anderen. Jedenfalls scheint *Homo sapiens* an ein Leben mit anderen Tieren angepasst, Tierbeziehung ist offenbar Teil des Menschseins.

Dies äußert sich in der seltsamen, evolutionär entstandenen „menschlichen Universalie“ der „Biophilie“. So bezeichneten Erich Fromm und Edward Wilson die mentale menschliche Eigenart einer nahezu instinktiven Natursehnsucht. Tatsächlich kommen alle Kinder dieser Welt mit einem überaus starken Interesse an Tieren und Natur zur Welt, für ihre optimale Entwicklung sollten sie auch in

Kontakt zu Natur und Tieren aufwachsen. Dieses frühkindliche Interesse öffnet zudem ein Fenster in die jüngste Periode der Menschwerdung, in welcher mit dem immer leistungsfähigeren Gehirn das Bedürfnis entstand, sich in Raum, Zeit, vor allem in der Naturumgebung zu verorten. In Kontakt mit Tieren und Natur wuchs die menschliche Neigung zu Reflexion, Philosophie, Wissenschaft und – Spiritualität; letztere äußerte sich zunächst in der Beziehung zu Tieridolen, woraus nach dem Sesshaftwerden über hybride Tier-Mensch-Göttern sehr menschliche Götterolympen entstanden, schließlich die Vorstellung vom „Einen und Einzigen“. Parallel dazu betrieben abendländische Philosophen seit der Antike die „Emanzipation des Menschen von der Natur“ und erhoben ihn schließlich zum „reinen Geisteswesen“, wie etwa René Descartes mit seinem „Cogito ergo sum“. Damit waren die Tiere eher nicht gemeint – nach heutigem Kenntnisstand ein Irrtum. Natürlich „emanzipierte“ sich das Geisteswesen Mensch nicht von der/seiner Natur, wie auch das Bedürfnis moderner Menschen unterstreicht, mit Kumpantieren zu leben.

Aber immer noch ist vom Unterschied zwischen „Mensch und Tier“ die Rede. Noch spukt die selbstarrogierende „Krone der Schöpfung“ in den Köpfen – als geistiger Atavismus besagter philosophisch-theologischer Transzendierungs-Bestrebungen. Doch der radikale Rationalismus scheiterte an den Realitäten – unter anderem jenen der menschlichen Natur. Denn das Potential zum Geisteswesen ist genauso evolutionär angelegt wie alle anderen unserer komplexen menschlichen Eigenschaften. Also kein Geist ohne Natur – aber das wussten ja bereits Michel de Montaigne oder Friedrich Nietzsche.

Bereits Charles Darwin fand, dass Menschen die meisten ihrer Merkmale mit anderen Tieren teilen. Allerdings verfügen Menschen mit 1200–1500 ccm über das relativ größte Gehirnvolumen der Wirbeltiere und damit über ein robustes Alleinstellungsmerkmal. Dagegen kommen die Schimpansen als unsere nächsten stammesgeschichtlichen Verwandten mit 400 ccm aus. Zudem wurde aus dem soliden „Boxermotor“ der Menschenaffen sozusagen ein hoch getuntetes Formel 1-Aggregat, freilich auf Kosten einer hohen Störungsanfälligkeit, was sich in pan- und epidemischen mentalen Problemen, vor allem urbaner Populationen, zeigt. Ein Leben mit Kumpantieren kann dagegen die körperliche und mentale Gesundheit des Geisteswesens Mensch fördern.

## 2 Ein gemeinsames Gehirn und wie es entstand

Menschen und alle anderen Lebewesen entstanden über etwa vier Milliarden Jahre in der biologischen Evolution, auch die gemeinsamen kognitiven und sozialen Strukturen und Mechanismen; diese erklären auch, warum man als Mensch mit Tieren anderer Arten in sozialen Beziehungen leben kann. Was wir formal immer noch „Evolutionstheorie“ nennen, ist ob der Fülle empirisch-theoretischer Belege

längst Fakt. Natürlich darf man hinter den Naturgesetzen Gottes Schöpfungsplan sehen, zumal das Bedürfnis nach Spiritualität und der eigenen Verortung als typisch menschlich gelten kann. Ein evolutionäres Welt- und Menschenbild wird aber oft als „kalt“ abgelehnt. Dieser Hang zu einer faktenskeptischen Romantik erscheint ebenfalls als typische menschliche Eigenschaft, die immer dann hervorbricht, wenn Aufklärung, Evidenz und Verstand dominieren. Um mit Klima- und Biodiversitätskrise (etc.) zurechtzukommen, braucht es zweifellos Fakten und Wissen, auch über uns selber. Wie ticken Menschen, wie kann es gelingen, unsere positiven Eigenschaften zu aktivieren und zu bündeln? Auskunft darüber gibt vor allem der Blick auf unsere evolutionäre Geschichte im Vergleich mit den anderen Lebewesen.

Die modernen, empirischen Naturwissenschaften zeigen den Weg aus der Sackgasse menschlicher Selbstüberschätzung. Das rasch zunehmende Wissen um die (genetische) Verwandtschaft mit den anderen Tieren, ja sogar mit den Pflanzen und den Pilzen, schafft zumindest bei sensiblen Gemütern ein Bewusstsein von Gemeinsamkeit mit allem Lebendigen. Damit schließt sich auch der Kreis des typisch menschlichen sich in Beziehung-Setzens unserer animistischen Jäger- und Sammler-Vorfahren zu den anderen Tieren; sie glaubten an die Beseeltheit der Natur und wähten sich eng mit ihr verwandt. Bereitet ein solches neues/altes Bewusstsein den Boden für eine respektvollere Beziehung der Menschen zu den anderen Lebewesen? Das alles mag romantisch klingen, ist aber so weit Fakt, wie es Erkenntnisse im Rahmen einer naturwissenschaftlichen Wissenschaftstheorie nur sein können.

Den modernen Wissensstand verdanken wir der Suche nach den gemeinsamen stammesgeschichtlichen Wurzeln. Daraus ergeben sich dann quasi von selber die Alleinstellungsmerkmale der Art *Homo sapiens*. Der aufrechte Gang, die feinmotorische Hand, das Herstellen von Werkzeugen, Jagdtechniken und die Zubereitung von Nahrung – all das hängt ursächlich mit dem Gehirn zusammen, unterscheidet Menschen aber nicht grundlegend von den anderen Tieren – weil in der Evolution neue Strukturen und Funktionen niemals aus nichts entstehen, sondern immer durch Um- und Ausbau aus und von bereits Vorhandenem. Aufgrund der stammesgeschichtlichen Verwandtschaft teilen die Menschen die meisten ihrer Merkmale mit anderen Lebewesen. Wirklich einzigartig ist die menschliche Sprachfähigkeit, aber auch sie beruht auf vorsprachlichen Mechanismen und Strukturen, welche bei anderen Tieren zu finden sind.

Alle Lebewesen stammen von „LUCA“ ab, dem „last universal common ancestor“, d. h. der – hypothetischen – letzten gemeinsamen Stammform aller heutigen zellulären Organismenarten, die vor etwa 3,5 Milliarden Jahren lebte (Abb. 1). Seitdem entwickelten sich die menschlichen Eigenschaften in einem evolutionären Marathonprozess über die Bilateria („Zweiseitentiere“). Gemeint ist die Gruppe der vielzelligen Tiere (Metazoa), die aus den älteren radiärsymmetrischen Tieren hervorgingen, von den Plattwürmern (Plathelminthes) bis zu den Wirbeltieren

(Vertebrata) und somit bis zu den Säugetieren und daher auch zum Primaten Mensch. Ergebnis ist jene umfassende Werkzeugkiste an Gemeinsamkeiten mit anderen Tieren, die es Menschen ermöglicht – das nötige Bewusstsein vorausgesetzt –, andere Lebewesen nicht nur als Nahrung oder Gefahr zu sehen, sondern als Person und als „Du“. Die modernen Neuro- und Verhaltenswissenschaften untermauerten, was bereits Charles Darwin formulierte: “The difference in mind between man and the higher animals, great as it is, is certainly one of degree and not of kind.” Wir wissen heute auch, wie es dazu kam und warum das so ist.

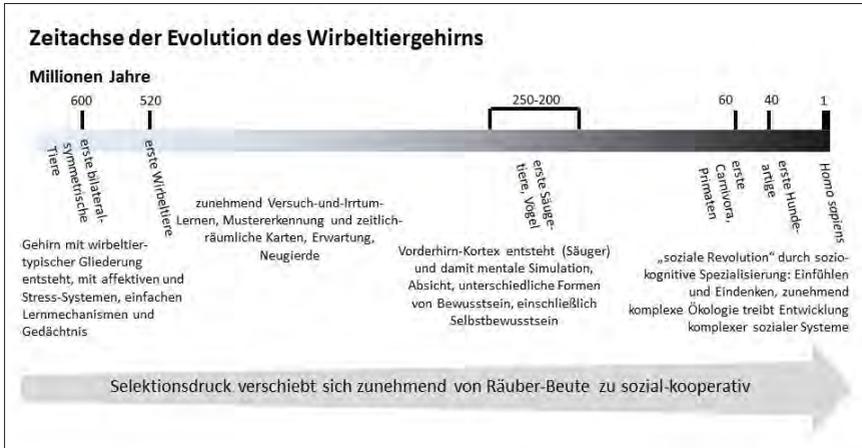


Abbildung 1: Zeitachse der Evolution des Wirbeltiergehirns mit einigen wichtigen Innovationen (nach BENNETT 2021); Selektionsdrucke verschoben sich von hauptsächlich Räuber-Beute im Erdaltertum zunehmend zu sozial, was zu den sozio-kognitiven Entwicklungen im letzten Drittel der Stammesgeschichte führte.

Figure 1. Timeline of the evolution of the vertebrate brain, marking major innovations according to BENNETT (2021); selection pressures shifted from mainly predator-prey in the Palaeozoic to increasingly social, leading to socio-cognitive specialization in the last third of phylogenetic development.

Schon vor 700 Millionen Jahren verfügten Seeanemonen und Quallen über auf Reizleitung spezialisierte Nervenzellen. Die funktionier(t)en nicht wesentlich anders als jene 100 Milliarden Nervenzellen in unseren Gehirnen heute. Aber erst vor etwa 600 Millionen Jahren begann mit den ersten bilateralsymmetrischen Tieren die gerichtete Fortbewegung. Dazu brauchte es am Vorderpol konzentrierte Sinne und Nervenzellen, die ersten Gehirne entstanden. Sie konnten bereits zwischen günstigen und ungünstigen Reizen unterscheiden, um so orientiert in einer positiven Umgebung zu verharren bzw. negativen Reizen auszuweichen. Für diese Steuerentscheidungen braucht es auch ein einfaches Affektsystem, um für überlebenswichtige Entscheidungen nicht ausschließlich von der aktuellen Reizsituation abhängig zu sein. Und ein Stresssystem sorgte bereits für die nötige Energie für die Bewegung. Zudem erlaubte schon früh ein assoziativer Lernmechanismus

den Individuen, flexibel auf eine variable Umwelt zu reagieren. Alle diese Systeme müssen entsprechend neuronal miteinander verschaltet sein, um angepasstes Verhalten zu ermöglichen; sie finden sich immer noch nahezu unverändert in Hirnstamm und Zwischenhirn der Wirbeltiere, einschließlich Mensch.

Weil aber in der Evolution das Bessere bekanntlich der Feind des Guten ist, wurden im Rüstungswettlauf zwischen Räuber und Beute die Gehirne der ersten Wirbeltiere (Fische) vor 500 Millionen Jahren komplexer. Im Vergleich zu den frühen Bilateriern wurden sie um den Mechanismus des Versuch-und-Irrtum-Lernens ergänzt, was aber zusätzliche Hardware benötigt, um an eine wirkliche Welt angepasst zu funktionieren: Es entstanden der Thalamus, die Vorläufer des Kortex, das Mittelhirndach und das Kleinhirn. Sie ermöglichen das ständige Abwägen von Kosten und Nutzen, das Erkennen von Mustern, eine mentale Repräsentation von Raum und Zeit und auch Neugierde, die bis heute unser Verhalten antreibt. All diese bereits recht komplexen Systeme filtern die Wahrnehmung, ermöglichen angepasste Entscheidungen und sind immer noch die zentralen Komponenten des Gehirns der Wirbeltiere.

Ein entscheidender Durchbruch auf dem Weg zum menschlichen Gehirn geschah bei den frühen Säugetieren vor etwa 150 Millionen Jahren. Als Dach des Vorderhirns entstand der Neokortex, eine aufgrund ihres Aufbaus aus den generalisierten Prozessoren neuronaler Säulen höchst vielseitig einsetzbare und nahezu beliebig erweiterbare Recheneinheit. Damit konnten sich die Säugetiere die Welt viel besser vorstellen und sie sogar im Abgleich mit den Erwartungen vorhersagen als ihre reptilienartigen Vorfahren. Die Vorteile liegen auf der Hand: Anstatt es in kritischen Situationen darauf ankommen lassen zu müssen, konnte man diese nun antizipieren, imaginieren und mental simulieren. Der beim Menschen und anderen „großhirnigen“ Säugetieren (jenen, bei denen der Neokortex in Falten liegt) enorm ausgedehnte Neokortex bildet zudem mittels der relevanten Informationen aus der Umwelt mentale Repräsentationen und bewertet diese durch affektiven Abgleich in Kooperation mit tieferen Teilen des Vorderhirns immer wieder neu. Die Welt wurde immer „berechenbarer“.

Diese leistungsfähigen Säugetiergehirne ermöglichten innerhalb der letzten paar Millionen Jahren eine soziale Revolution bei den Primaten, einschließlich *Homo sapiens*. Substrat dafür war vor allem der frontale Neokortex (das Stirnhirn), der neue Schlüsselfähigkeiten entwickelte: Sich in andere einfühlen und eindenken, durch Beobachten lernen, für die Zukunft planen, Konzepte bilden und die alten Antriebe mit dem aktuellen Kontext integrieren, auch um sozial angepasste Entscheidungen zu treffen. Zum besonderen Gehirn von *Homo sapiens* fehlte nun nur noch ein kleiner Schritt, der allerdings große Folgen nach sich zog: Die Entwicklung einer komplexen Symbolsprache mit einer universellen menschlichen Grammatik, mit der Babys bereits zur Welt kommen. Diese typisch menschliche Sprachfähigkeit entstand als soziales Instrument innerhalb der letzten 300.000 Jahre. Daher ist Sprache offensichtlich funktionell angelegt, als Band innerhalb,

aber auch als Barriere zwischen Gruppen zu wirken. Diese soziale Funktion trieb die Diversifizierung in unterschiedliche Sprachen. Es entstanden die spezifisch menschlichen Sprachzentren im seitlichen Neokortex – Broka für aktives Sprechen und Wernicke für Sprachverständnis. „Vorsprachliche Fähigkeiten“ zeigen allerdings bereits andere Tiere, etwa Papageien, deren Fähigkeit zur Sprachimitation etwa durch Irene Pepperberg als Fenster ins Gehirn dieser Tiere genutzt wurde; auch der passive Wortschatz eines durchschnittlichen Begleithundes kann bis zu 50 Begriffe umfassen, jener eines trainierten Hundes bis zu 400.

Die Leistungen der Wirbeltiergehirne ergeben sich nicht bloß als Summe dieser Komponenten, vielmehr gilt, dass das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile. Aus der Verschaltung der im Verlauf der Evolution zunehmenden Zahl von Elementen und durch Mutationen in den letzten Hunderttausenden von Jahren, welche Feinmotorik, inklusive Artikulation begünstigten, entstanden neue, komplexe Eigenschaften im menschlichen Gehirn, dessen Nervenzellen mehr synaptische Verbindungen miteinander unterhalten, als es Sterne im Universum gibt. In seinen spezifischen Leistungen schlägt unser Gehirn mühelos jeden Supercomputer und in seiner Integrationsleistung selbst die beste künstliche Intelligenz – mit einem Energieverbrauch von bloß etwa 20 Watt. Die Gehirne anderer Wirbeltiere funktionieren quantitativ etwas anders und entwickelten teils andere Spezialisierungen. So etwa können sich manche Häher an die 3.000 Futterverstecke individuell merken. Jenseits solcher kognitiver Spezialisierungen sind die Menschen aber zweifellos die Meister der generalisierten Intelligenz.

Angesichts des in „Bastlermanier“ entstandenen menschlichen Hochleistungsgehirns (oben) – durch sukzessive Zu- und Ausbauten ohne zugrundeliegenden Plan oder Ziel – erahnt man bereits, dass ein solches Substrat nicht für glattes, maschinenartiges Funktionieren gebaut sein kann. Schließlich integrierte dieses Gehirn die wichtigsten Treiber von 600 Millionen Jahren Evolution, welche auch heute noch das menschliche Verhalten beeinflussen. Dies sind seit Urzeiten der zwischenartliche Räuber/Beute-Rüstungswettlauf sowie die innerartliche Konkurrenz um den Reproduktionserfolg. Erst in den letzten 150 Millionen Jahren kam bei den Säugetieren und manchen Vögeln die „Liebe“ als neuro-humoraler und mentaler Bindungsmechanismus zwischen Müttern/Eltern und ihren Nachkommen in die Welt. Daraus entstand eine generelle Bindungsfähigkeit zwischen Lebenspartnern und Freunden, die in Integration mit der sozialen Kognition spezifische, langfristig wechselseitige Beziehungen, Freundschaften, Allianzen und komplexe Kooperationen ermöglicht.

So wurden die Menschen zu den nettesten, kooperativsten und rationalsten aller Lebewesen. Gleichzeitig aber quälen und töten sie andere Menschen und Tiere, handeln oft genug irrational und widersprüchlich, sind immer noch getrieben von den alten Überlebens- und Reproduktionsinstinkten. Dennoch ist menschliches Wesen und Verhalten nahezu unendlich differenziert – wenn auch nicht zufällig; zum einen, weil sich diese menschlichen Anlagen evolutionär genauso

wie ontogenetisch die individuellen Persönlichkeitsstrukturen regelhaft zwischen genetischem und epigenetischem Erbe, sozialem und gesellschaftlichem Umfeld entwickeln; vor allem aber, weil das menschliche Verhalten stark kontextspezifisch angelegt ist.

### 3 Mit anderen Tieren wollen und auch können

„Biophilie“, also das Interesse der Menschen an Tieren und Natur als menschliche Universalie und Teil der menschlichen Natur, wird unter anderem durch ein starkes generelles Interesse aller Kinder an Tieren belegt. Dass Menschen mit anderen Tieren nicht nur sozial leben wollen, sondern dies auch können, liegt an den gemeinsamen sozialen Mechanismen und Funktionen aus der Stammesgeschichte (oben). Menschen sind also nicht einfach dazu verurteilt, vermenschlichend-paternalistisch mit anderen Tieren umzugehen. Die gemeinsamen sozialen Werkzeuge erlauben vielmehr echte Partnerschaften – so dass Sozialisieren mit diesen anderen Tieren klappt. Aber auch dieses wechselseitige Sozialisieren beruht auf gemeinsamen sozialen Mechanismen. Dies gelingt mit domestizierten Tieren besser als mit Wildtieren, zudem ist es ein Gebot der Ethik, Wildtiere nicht als Kumpare oder auch Assistenten in therapeutischen oder pädagogischen Settings zu missbrauchen (<https://iahaio.org/best-practice/declarations/>).

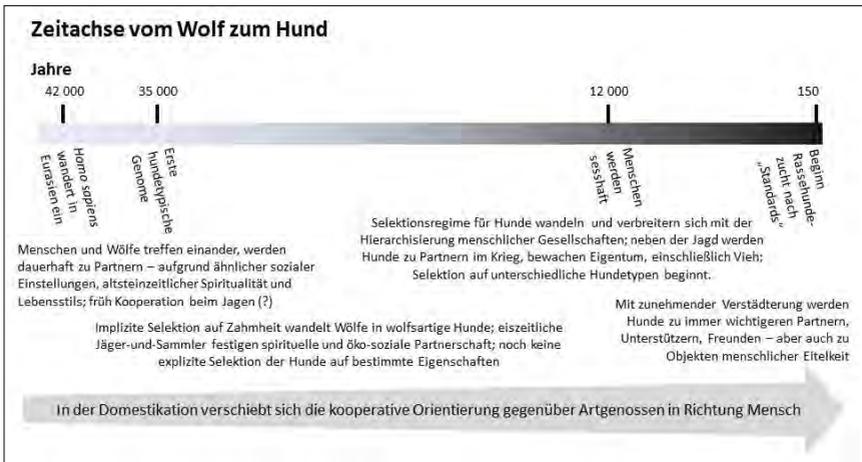


Abbildung 2: Zeitachse der Domestikation von Wölfen zu Hunden, mit ihren wichtigen Landmarken. Die soziale und kooperative Orientierung der Hunde stellt altes Wolfserbe dar, sie wurde aber im Verlauf der Hundwerdung an den Menschen angepasst.

Figure 2. Timeline of major events of the domestication of wolves to dogs. Dog social and cooperative orientation is wolf heritage, which was adapted to fit living with humans during domestication.

Die weitgehend gemeinsame soziale Werkzeugkiste verringert die Gefahr einer für den Tierpartner unangemessenen Vermenschlichung – zumal wir offenbar auch die (sozialen) Instrumente des Vermenschlichens mit anderen Tieren teilen, sie uns daher wahrscheinlich in ihrer Weise „vertierlichen“. Zumindest für die Säuger unter den Tierkumpanten ist daher von einem Potential für wechselseitiges Einfühlen auszugehen. Voraussetzungen sind dafür wechselseitiges Interesse, welches eine gute frühe Sozialisierung mit dem Kumpantier voraussetzt, sowie ein Leben in guter Beziehung. Das verlangt wechselseitigen Respekt und Wissen über die Bedürfnisse des Partners, was Mensch und Kumpantier im aufmerksamen Zusammenleben (implizit) lernen können – der menschliche Partner natürlich auch durch formale Bildung. Besonders Hunde wurden zu unserem sozialen *alter ego* (Abb. 2), die aber eine klare Leadership durch den Menschen schätzen. Auch andere Tiere können zu (bedingt rechtsfähigen) Personen und zu echten Partnern werden. Eine solche Erfahrung des zwischenartlichen Zusammenlebens auf Basis der sozialen Potentiale auf beiden Seiten kann die soziale Kompetenz beim Partnermenschen vertiefen und das informierte Verständnis für andere Tiere fördern.

## 4 Zusammenleben von Mensch und Hund

Wahrscheinlich macht ihre Fähigkeit zur Zuwendung Hunde zu derartig unschlagbaren Sozialkumpanten – aber ist sie wirklich „bedingungslos“, wie man immer hört? Es stimmt, Hunde zeigen den „Aschenputtel-Effekt“: Meine Hündin (siehe Abb. 3) etwa hat es noch nie gestört, wenn ich schlampig gekleidet bin oder schlecht im Kopfrechnen. Mit Hunden lebt man in „essentialisierten Beziehungen“ in emotionalem Gleichklang, bei dem Musikgeschmack oder politische Einstellungen keine Rolle spielen – also all jene kulturellen Komplexitäten, welche das harmonische Zusammenleben der Menschen erschweren. Dass aber Hunde ihre Menschen „bedingungslos“ lieben, ist dennoch ein Mythos, wie die Ergebnisse kluger Untersuchungen zeigen. Tatsächlich beobachten Hunde ständig unser Verhalten den Mitmenschen gegenüber und schätzen uns danach ein.

So etwa befolgen Hunde lieber die Anweisungen von Menschen und nehmen von ihnen Belohnungen, welche sie vorher als zuvorkommend und kooperativ anderen Menschen gegenüber beobachteten. Auch führen Hunde – wie auch die gleichartig aufgezogenen Wölfe des Wolfsforschungszentrums im österreichischen Ernstbrunn – eher Menschen, die sie zuvor als kooperativ erlebten (die das für sie unerreichbare Stückchen Wurst nicht vor ihren Augen selber verzehrten, sondern dem Vierbeiner aushändigten), zu für sie nicht zu öffnende Behälter mit Futter oder Spielzeug, während sie zuvor als unkooperativ erlebte Partner sogar zu jenen Behältern führten, von denen sie wussten, dass sie leer waren – diese also in die Irre führten. Und es wurde gezeigt, dass Hunde ihre Kooperation mit

Menschen einstellen, wenn ein anwesender Hund für dieselbe Handlung belohnt wurde, sie selber aber nicht.



Abbildung 3: Der Autor mit seiner Eurasierhündin Lilli; Foto: Teresa Wey.  
Figure 3: The author with his female Eurasian dog Lilli; photo: Teresa Wey.

Diese und andere Ergebnisse zeigen nicht bloß die hohe soziale Intelligenz von Hunden im Umgang mit Menschen, sie zeigen vor allem auch, dass es geraten ist, in Anwesenheit von Hunden nett und zuvorkommend miteinander umzugehen. Dies gilt natürlich auch, wenn keine Hunde zugegen sind. Und sie zeigen, dass Hunde es bemerken, wenn sie unfair behandelt werden. Es ist daher kein Mythos, dass Hunde „eifersüchtig“ reagieren können auf andere Hunde, aber auch auf andere Menschen, insbesondere Kinder. So legt die Datenlage nahe, dass ein Aufwachsen in Kontakt mit Hunden, bzw. Tieren und Natur, die körperliche, emotionale, kognitive und soziale Entwicklung von Kindern begünstigt. Auch im Interesse der Sicherheit solcher Kind-Hundbeziehungen braucht es dazu aber den respektvollen Umgang mit Hunden und dass man sie als Sozialpartner ernst nimmt.

Dass die Zahl der schweren Unfälle in Europa trotz steigender Zahlen an gehaltenen Hunden sinkt (soweit man dies aus den lückenhaften Daten ableiten kann), hat nicht nur mit einer Verschiebung der gehaltenen Rassen zu tun. So wurde der Deutsche Schäferhund als häufigste Hunderasse von einer Fülle anderer Rassen abgelöst, die im Wesentlichen darauf ausgelesen wurden, freundlich nicht nur zu den „eigenen“ Leuten, sondern zu Menschen generell zu sein. Zudem änderte sich

der Ton im Zusammenleben. Herrschte auf den klassischen „Abrichteplätzen“ der Nachkriegszeit noch militärischer Drill, so setzte sich mittlerweile ein partnerschaftlicher Umgang durch – positive Motivation ersetzte Druck und Strafe. Dies ist die wohl wichtigste Komponente einer sicheren Hundehaltung, denn auch Hunde unter Druck neigen zu „Radfahrerreaktionen“. Hunde, die selber Gewalt erfahren, neigen dazu, diese auch im Umgang mit anderen Hunden und Menschen einzusetzen. Bei gut geführten Hunden dagegen ist diese Neigung sehr gering – unabhängig von der Rasse.

In Folge eines internalisierten nationalistischen Führerkults ging man in den Nachkriegsjahren und -jahrzehnten noch davon aus, dass man Hunde „dominieren“ müsse, um als „Rudelführer“ nicht herausgefordert zu werden. Grundlage dafür war die irrige Annahme einer steilen Dominanzhierarchie in Wolfsrudeln, wo sich der (selbstverständlich männliche) „Leitwolf“ mit Gewalt durchsetzt, wenn es seine Autorität erfordert. Aber Freilandbeobachtungen zeigten, dass Wölfe in ihren Rudeln in sehr flachen (Kompetenz)hierarchien leben. Und zudem sind Hunde keine Wölfe mehr. Zudem zeigten experimentelle Untersuchungen mit gleichartig aufgezogenen Hunden und Wölfen, dass beide sehr gerne mit Menschen kooperieren – Wölfe als Partner auf Augenhöhe (sie reagieren allergisch auf herumkommandiert oder gar gemaßregelt zu werden), während Hunde die gute Führung durch ihre Menschenpartner schätzen.

Dass Hunde als eine ihrer klaren Anpassungen im Zuge der Hundwerdung/Domestikation über die letzten 35.000 Jahre größeren Respekt vor menschlichen Anweisungen und Hierarchien entwickelten als selbst bestens menschensozialisierte Wölfe, und dass sie es erdulden, dominiert und herumgeschubst zu werden, bedeutet nicht, dass dies der optimale Umgang mit ihnen wäre. In guter Beziehung zu Hunden zu leben, bedeutet, sie als vollwertige Sozialpartner ernst zu nehmen, respektvoll zu behandeln, ihnen aber mit einer guten Führung Rückhalt und Sicherheit zu geben (Abb. 3). Solchermaßen gehaltene Hunde werden zu mitdenkenden und sozial auch gegenüber der Umgebung verträglichen Partnern.

„Gute Führung“ bedeutet jenen liebevoll-konsequenten Umgang, der auch mit Kindern oder den Mitarbeitern im Betrieb geraten ist. Denn auch aufgrund unserer „gemeinsamen sozialen Werkzeugkiste“ (oben) unterscheiden sich die sozialen Beziehungen zu Hunden nicht grundlegend von zwischenmenschlichen Beziehungen. Leadership bedeutet kompetente Regulation von Nähe und Distanz, Grenzen setzen, aber auch Freiräume schaffen. So etwa wird sich ein ständig an der Leine geführter Hund etwa damit schwer tun, keine Hasen jagen zu wollen oder sicheres Verhalten im Straßenverkehr zu entwickeln. Wie Kindern auch, sollte man Hunden etwas zutrauen. Im aufmerksamen Zusammenleben lernt man wechselseitig, wieviel Vertrauen möglich, wieviel Kontrolle nötig ist. Ein gut untersuchtes Beispiel dafür wäre die routinierte Beziehung zwischen eingespielten Paaren von blinden Menschen und ihren speziell ausgebildeten Hunden. Während etwa der Mensch bestimmt, wann man sich gemeinsam wohin begeben will,

wechselt am Weg ständig die Führung; dies erlaubt etwa dem Hund, im Interesse des Menschenpartners Hindernisse zu umgehen. Es kann geradezu als Qualitätsmerkmal einer guten Mensch-Hund-Beziehung gelten, dass auch der Vierbeiner lernt, Freiräume verantwortlich (im menschlichen Sinn) zu nutzen. Solche Partnerschaften sind höchst alltags- und gesellschaftstauglich. Und nicht zuletzt ist eine gute, partnerschaftliche Beziehung zu den Bezugsmenschen vor allem auch die wohl wichtigste Bedingung für das Wohlbefinden von Hunden.

## 5 Literatur

- BENNETT, M. (2021): What Behavioral Abilities Emerged at Key Milestones in Human Brain Evolution? 13 Hypotheses on the 600-Million-Year Phylogenetic History of Human Intelligence. – *Frontiers in Psychology*, **12**: 33 S.; doi: 10.3389/fpsyg.2021.685853 www.ncbi.nlm.nih.gov
- BERLIN, I. (2013): *The Roots of Romanticism*. – 211 S.; Princeton (Princeton University Press).
- CHRISTAKIS, N.A. (2019): *Blueprint. Wie unsere Gene das gesellschaftliche Zusammenleben prägen*. – 586 S.; Frankfurt a. M. (S. Fischer).
- JABLONKA, E. & LAMB, M.J. (2014): *Evolution in four dimensions. Genetic, epigenetic, behavioural and symbolic variation in the history of life*. – 563 S.; Cambridge, London (MIT Press).
- KOTRSCHAL, K. (2014): *Einfach beste Freunde. Warum Menschen und andere Tiere einander verstehen*. – 213 S.; Wien (Brandstätter).
- KOTRSCHAL, K. (2019): *Mensch. Woher wir kommen. Wer wir sind. Wohin wir gehen*. – 315 S.; Wien (Brandstätter).
- KOTRSCHAL, K. (2022): *Der Wolf und wir. Wie aus ihm unser erstes Haustier wurde – und warum seine Rückkehr Chancen bietet*. – 239 S.; Wien (Brandstätter).
- KOTRSCHAL, K. (2023): *Ein gutes Team*. – *Gehirn & Geist*, **2023** (8): 20-27.
- KOTRSCHAL, K. (2023): *Wolf-Dog-Human: Companionship Based on Common Social Tools*. – In: VASCONCELLOS, A.C., SANT’ANNA, C. & DE AZEVEDO, C. (Hrsg.): *Animals*. – Special Issue “Behavior and Welfare of Canids”; in Druck.
- RANGE, F. & MARSHALL-PESCINI, S. (2022) *Wolves and Dogs. Between Myth and Science*. 381 S. Heidelberg, Berlin (Springer).

PROF. DR. KURT KOTRSCHAL

Professor i. R. am Department Verhaltensbiologie und Kognition der Universität Wien

Felderweg 6, 4644 Scharnstein, Österreich

Kurt.kotrschal@univie.ac.at

Manuskripteingang: 16. August 2023

# Neue Taxa der Gattung *Phaetonellus* NOVÁK, 1890 (Trilobita) aus dem Greifenstein-Kalk der Typlokalität sowie dem sog. Greifenstein-Kalk von Günterod

ULRICH FLICK

Trilobita, Greifenstein-Kalk, Unter-/Mitteldevon, Rheinisches Schiefergebirge

**Kurzfassung:** Im südlichen Rheinischen Schiefergebirge gehört der Greifenstein-Kalk an der Wende vom Unter- zum Mitteldevon zu den klassischen Fossilfundstellen. In Fortsetzung der systematischen Erfassung von dessen Trilobitenfauna an der Typlokalität sowie des sog. Greifenstein-Kalks von Günterod, ebenfalls im Dillgebiet, werden neue Taxa der Gattung *Phaetonellus* NOVÁK, 1890 vorgestellt. Hierbei handelt es sich um *Ph. aloisi phorkys* n. ssp., *Ph. planicauda spechti* n. ssp. und *Ph. vaneki gryps* n. ssp. aus Greifenstein sowie *Ph. pymon guenterodicus* n. ssp. aus Günterod. Ergänzend wird aus Günterod die Art *Nagaproetus thaumas* n. sp. beschrieben. Die Vertreter der Gattung *Phaetonellus* in beiden Lokalitäten werden diskutiert.

## New taxa of the genus *Phaetonellus* NOVÁK, 1890 (Trilobita) from the Greifenstein Limestone of the type locality and the so-called Greifenstein Limestone of Günterod

Trilobita, Greifenstein Limestone, Lower/Middle Devonian, Rhenish Massif

**Abstract:** In the Southern Rhenish Massif, the Greifenstein Limestone at the Lower-Middle Devonian boundary represents a classical fossil site. In continuation of the systematic evaluation of the trilobite faunas of the type locality as well as the so-called Greifenstein Limestone of Günterod, which is located in the Dill area too, new taxa of the genus *Phaetonellus* NOVÁK, 1890 are introduced. These are *Ph. aloisi phorkys* n. ssp., *Ph. planicauda spechti* n. ssp., and *Ph. vaneki gryps* n. ssp. from Greifenstein, as well as *Ph. pymon guenterodicus* n. ssp. from Günterod. In addition, the species *Nagaproetus thaumas* n. sp. is described from Günterod. The representatives of the genus *Phaetonellus* at both localities are also discussed.

### Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	146
2	Zu Fundorten und Fundschichten .....	146
3	Systematischer Teil .....	149
4	Diskussion .....	163
5	Danksagung .....	167
6	Literatur .....	167
	Anhang (Tafeln) .....	170

## 1 Einleitung

Die Typlokalität des Greifenstein-Kalks in der Wiege bei Greifenstein südlich Herborn stellt eine klassische Fundstelle dar. Seit ihrer Entdeckung im 19. Jh. hat diese wiederholt Beachtung gefunden und wurde im Laufe des 20. Jh. mehrfach aufgeschürft. Die inzwischen unter Schutz stehenden Schürfe sind jedoch mittlerweile weitgehend verfallen. Seit einiger Zeit beschäftigt sich Verfasser systematisch mit der Trilobitenfauna des Vorkommens, wobei sich diese als außergewöhnlich divers erwiesen hat (vgl. U. FLICK 1999, 2018, 2021a, b). Wegen der komplexen Tektonik des Lahn-Dill-Gebiets sind die paläobiogeographischen Beziehungen des Fundorts von besonderem Interesse. Augenfällig sind hierbei vor allem die engen Beziehungen zum Tepla-Barrandium in Böhmen.

Im Weiteren wurden Karbonat-Vorkommen bei Günterod in der Dillmulde sowie bei Bad Wildungen im Kellerwald mit dem Greifenstein-Kalk assoziiert. Die Kenntnisse dieser Faunen sind sehr ungenügend, weswegen eine ausreichende Basis zum Vergleich mit dem Greifenstein-Kalk an der Typlokalität fehlt. Aus diesem Grund wurde von Verfasser die Auseinandersetzung mittlerweile um diese Faunen erweitert (vgl. U. FLICK 2021b, c).

In Fortsetzung befasst sich Verfasser mit den Vertretern der Gattung *Phaetonellus* NOVÁK, 1890 im Greifenstein-Kalk der Typlokalität sowie des sog. Greifenstein-Kalks von Günterod. Aus Greifenstein werden die Taxa *Ph. aloisi phorkys* n. ssp., *Ph. planicauda spechti* n. ssp. und *Ph. vaneki gryps* n. ssp., aus Günterod *Ph. pymon guenterodicus* n. ssp. neu beschrieben. Für Günterod stellt insbesondere eine kleine Aufsammlung von *Phaetonellus*-Funden von R. & E. RICHTER im Forschungsinstitut Senckenberg die Grundlage dar. Ein darunter befindliches Cranidium ist dabei der Gattung *Nagaproetus* ŠNAJDR, 1977 zuzuordnen. Dieser Fund wird als *N. thaumas* n. sp. ebenfalls hier vorgestellt.

Das Belegmaterial dieser Arbeit entstammt im Wesentlichen den Sammlungen des Forschungsinstituts Senckenberg/Frankfurt (SMF), des Geologisch-Paläontologischen Instituts der Universität Bonn (GPIBo) sowie der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Dienstbereich Berlin (BGR). Material aus der Sammlung des Verfassers wird, soweit nicht anders vermerkt, in der Sammlung des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) in Wiesbaden hinterlegt. Fotografien von Vergleichsmaterial wurden von Herrn P. Budil/Czech Geological Survey aus der Sammlung des Czech Geological Survey/Prag (CGS) zur Verfügung gestellt.

## 2 Zu Fundorten und Fundschichten

Die Lage der Fundorte innerhalb des Lahn-Dill-Gebiets ist in Abbildung 1 wiedergegeben. Auf die Typlokalität des Greifenstein-Kalks wurde wiederholt detailliert

eingegangen (U. FLICK 1999, 2018, 2021b), eine Besprechung zum sog. Greifenstein-Kalk von Günterod findet sich bei U. FLICK 2021b, c. Auf eine ausführliche Darstellung wird darum an dieser Stelle verzichtet, Verfasser beschränkt sich auf einen Überblick sowie ergänzende Erkenntnisse.

Beim Greifenstein-Kalk an der Typlokalität handelt es sich um eine in die Ulmbach-Formation der Hörre-Decke eingeschuppte Karbonatlinse (s. NESBOR 2021, H. FLICK & NESBOR 2021). Er ist sehr heterogen und kann sowohl als Crinoiden-Schuttkalk als auch als Schlammkalk ausgebildet sein, wobei das Farbspektrum von grau und fleischfarben bis weinrot reicht. Der Greifenstein-Kalk wird der Steinhorn-Decke zugerechnet (s. H. FLICK 2012), für die Zirkon-Provenienzzanalysen eine Herkunft aus dem Armorikanischen Terran-Ensemble belegen (vgl. ECKELMANN et al. 2014, NESBOR 2021). Stratigraphisch umfasst er die *richteri*-Zone der Dacryoconariden-Chronologie im Ober-Emsium/Unterdevon bis *procera*-Subzone des Unter-Eifeliums/Mitteldevon.

Die Schichtfolge im Profil ist gestört. Während gerade im unteren Profilabschnitt bislang größere Kenntnislücken zur Stratigraphie bestehen (vgl. Darstellung bei G. ALBERTI 1985), konnte Verfasser mittlerweile in den Aufsammlungen von SIEHL im Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Bonn eine Probe aus dem Niveau bei 6,00 m im Profil nach SIEHL (1962) auffinden, die neben dem Trilobiten *Kettneraspis cf. pigra* (Barrande, 1872) die Tentaculiten *Nowakia (Dmitriella) sulcata sulcata* (F.A. ROEMER, 1843) sowie *Nowakia (Maurerina) procera* (MAURER, 1880) enthält und somit ebenfalls in die *procera*-Subzone zu stellen ist. Dies deutet darauf hin, dass im Profil keine Reduplikation im eigentlichen Sinn vorliegt, sondern wohl eher in einen unteren Profilbereich ein Sporn aus dem Top des Profils eingeschuppt ist.

Beim sog. Greifenstein-Kalk von Günterod handelt es sich um einen grobkörnigen, späten Kalkstein zumeist hellgrauer Farbe. In der weiteren Umgebung der Gemeinde Bad Endbach-Günterod gab es offensichtlich mehrere Vorkommen, die wohl primär im Umfeld der durch HUCKRIEDE (1992) beschriebenen Debris-Flow-Sedimente aufgetreten sind. Nach KAYSER (1907) lag das Hauptvorkommen am Krummberg. Dort sind tatsächlich noch umfangreiche alte Abbaue erkennbar. Anstehend finden sich lediglich noch feinkörnige, kompakte Kalksteine von grauer bis schwarzer oder rot-bräunlicher Farbe, die sehr fossilarm sind. Der sog. Greifenstein-Kalk ist nicht mehr auffindbar und dürfte dem Abbau zum Opfer gefallen sein. Auch weitere Vorkommen konnten bislang im Gelände nicht identifiziert werden. Durch das Auftreten im Umfeld von Karbonaten der Bicken-Ense-Decke wird der sog. Greifenstein-Kalk von Günterod als Teil dieser Deckeneinheit interpretiert. Zur stratigraphischen Position siehe Anmerkung weiter unten.

Es sei hier erwähnt, dass es bei U. FLICK (2021c) zu Missverständnissen bei der Zuordnung gekommen ist. Zwar haben R. & E. RICHTER tatsächlich andere Fundstücke dieses Typs mit „Günteröder Kalk“ beschriftet, das dargestellte Fund-

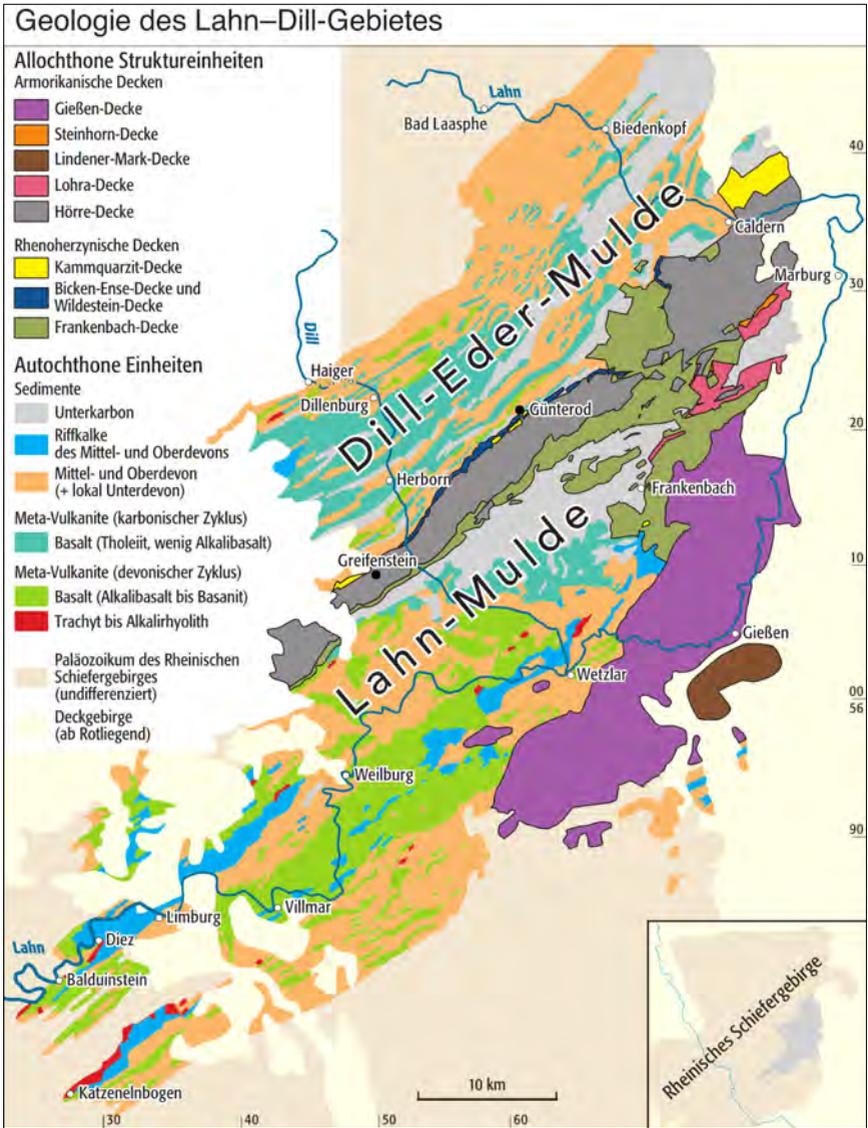


Abbildung 1: Geologische Karte des Lahn-Dill-Gebietes mit Ortslagen von Greifenstein und Bad-Endbach-Günterod (ergänzt aus FLICK & NESBOR 2021).

Figure 1: Geological map of the Lahn-Dill area with the locations of Greifenstein and Bad Endbach-Günterod (modified after FLICK & NESBOR 2021).

stück von *Chotocops auspex* (CHLUPÁČ, 1971) aus Günterod ist jedoch lediglich mit der Fundortsbezeichnung Krummberg versehen. Auch beim Holotypus von

*Chotecops morrisoni* FLICK, 2021c handelt es sich letztlich tatsächlich um einen Altfund von HERRMANN aus dem sog. Greifenstein-Kalk von Günterod, der somit das Stratum typicum dieser Art darstellt und nicht vermeintlicher Günterod-Kalk.

Wie bei U. FLICK (2021c) beschrieben, handelt es sich bei den *Ch. auspex* führenden Schichten um einen farblich dem Günterod-Kalk ähnlichen, jedoch etwas feinkörnigeren Kalkstein, der neben den zahlreichen Panzerteilen von *Ch. auspex* noch *Eremiproetus* und *Orbitoproetus* enthält. Ob dieser darüber hinaus auch noch andere Trilobiten führt, ist aus den ausschließlich vorliegenden Altfunden nicht ersichtlich. Aus einem Sammlungsetikett aus den ehemaligen Beständen der Universität Marburg, heute Forschungsinstitut Senckenberg/Frankfurt am Main, geht hervor, dass es sich beim Fundort um ein Kalksteinlager 10 m unterhalb des sog. Greifenstein-Kalks vom Krummberg gehandelt hat. Es muss davon ausgegangen werden, dass dieses zusammen mit dem sog. Greifenstein-Kalk dem Abbau zur Branntkalk-Gewinnung zum Opfer gefallen ist.

Allerdings dürfte diesem Kalkstein eine wichtige stratigraphische Bedeutung zukommen. Es ist bemerkenswert, dass sowohl am Krummberg bei Günterod als auch an der Ense bei Bad Wildungen der sog. Greifenstein-Kalk von einem Horizont begleitet wird, der durch die Ansammlung von *Ch. auspex*-Panzerteilen gekennzeichnet ist. *Ch. auspex* tritt in Böhmen ausschließlich im Choteč- sowie *Acanthopyge*-Kalk auf, die stratigraphisch oberhalb dem unter-eifelischen Choteč-Event zu verorten sind. Diese Altersstellung wird ebenfalls durch Funde des Tentaculiten *Nowakia (Maurerina) procera* (MAURER, 1880) innerhalb der entsprechenden Kalksteine an der Ense bestätigt. Es ist davon auszugehen, dass das Einsetzen von *Ch. auspex* den Fazieswechsel im Zuge des Choteč-Events anzeigt und somit dieser Horizont das Hangende der sog. Greifenstein-Kalke von Günterod und von Bad Wildungen darstellt. Unter diesem Gesichtspunkt sollten entgegen der Darstellung bei U. FLICK (2021c) diese Kalke besser getrennt vom sog. Greifenstein-Kalk behandelt werden. Zwar bleibt die Frage nach der Liegend-Grenze der sog. Greifenstein-Kalke nach wie vor unbeantwortet, allerdings ist demnach davon auszugehen, dass das Choteč-Event die Hangend-Grenze bildet, wodurch eine deutlich konkretere stratigraphische Eingrenzung möglich wird.

### 3 Systematischer Teil

Anmerkung: Die hier gebrauchten morphologischen Begriffe entsprechen weitgehend denen bei U. FLICK (2018) (s. dort).

**Ordnung:** Proetida FORTEY & OWENS, 1975

**Familie:** Proetidae HAWLE & CORDA, 1847

**Unterfamilie:** Eremiproetinae G. ALBERTI, 1967

## *Phaetonellus* NOVÁK, 1890

**Typusart** (nachträgliche Festlegung durch VOGDES 1925): *Proetus* (*Phaetonellus*) *planicauda rhenanus* NOVÁK, 1890.

**Diagnose:** ŠNAJDR (1980): 188.

**Bemerkung:** Der Status der Typusart von *Phaetonellus* ist Gegenstand einer Kontroverse. NOVÁK (1890) bezog sich zwar eindeutig auf das böhmische Taxon *Phaeton planicauda* BARRANDE, 1846, hatte seinerzeit jedoch keine Typusart festgelegt. Ohne weitere Erläuterung führt VOGDES (1925) hingegen die Unterart *Proetus* (*Phaetonellus*) *planicauda rhenanus* NOVÁK, 1890 als Typus der Gattung auf, während ebenfalls ohne weitere Ausführung PŘIBYL (1946) ausdrücklich die nominotypische Unterart als Typus nennt. RICHTER & SCHMIDT (1956) greifen explizit den Fall von *Phaetonellus* hinsichtlich der Frage auf, inwiefern eine Unterart zu einem Genotypus bestimmt werden kann, kommen aber zu dem Schluss, dass auf Basis der Internationalen Regel der Zoologischen Nomenklatur für einen solchen Fall keine eindeutige Klärung des Problems möglich ist. Auf Basis der Argumentation, dass eine Unterart nicht Typus einer Gattung sein könne, erkennt PŘIBYL (1965) dennoch der Festlegung durch VOGDES (1925) die Legitimation ab und legt sich auf *Phaeton planicauda* BARRANDE, 1846 als Typusart der Gattung fest. Eine Diskussion dieser Problematik erfolgt nochmals bei H. ALBERTI (1968). Bei späteren Bearbeitern wie G. ALBERTI (1970, 1981) sowie ŠNAJDR (1980) wird *Ph. planicauda* als Typusart geführt. Heutzutage herrscht weitgehend darüber Konsens, dass *Ph. rhenanus* eine eigene Art darstellt, womit die Argumentation PŘIBYLS hinfällig wird. BASSE & MÜLLER (2016) legen sich auf eine Legitimität der Bestimmung durch VOGDES (1925) fest, wobei ihr Verständnis der Argumentation PŘIBYLS auf einem Missverständnis zu beruhen scheint. Status quo muss die Festlegung durch VOGDES als die gültige angesehen werden, obgleich sie im Widerspruch zum Verständnis des ursprünglichen Autors der Gattung steht.

BASSE & MÜLLER (2018) scheiden weiterhin zwei morphologische Gruppen innerhalb von *Phaetonellus* aus, denen sie taxonomische Bedeutung beimessen. Angesichts des morphologischen Verhaltens der Vertreter der Gattung erscheinen Verfasser jedoch die aufgeführten Merkmale überbewertet. So bestehen deutliche Übergänge hinsichtlich der Cephalomorphologie, und wesentliche Merkmale der Pygidialmorphologie sind weitgehend einheitlich. Die Autoren schließen dabei sogar einen polyphyletischen Charakter der Gattung in ihrer aktuellen Fassung nicht aus. Angesichts der stratigraphischen Lücke der als mögliche Ahnformen genannten Taxa sowie der Einheitlichkeit insbesondere der Pygidialmorphologie – besonders die Übereinstimmung bei dem ausgesprochen charakteristischen Bau des Pleuralfelds verdient hierbei Beachtung – hält Verfasser dieses Szenario für ausgeschlossen. Die phylogenetische Herkunft von *Phaetonellus* bleibt damit weiter unklar, angesichts morphologischer Ähnlichkeiten sowie des stratigraphischen Verhaltens hält Verfasser allerdings einen Ursprung in der Verwandtschaft

von *Eremiproetus* RICHTER & RICHTER, 1919 – gerade die Gattung *Nagaproetus* ŠNAJDR (1977) zeigt auffällige Übereinstimmung hinsichtlich der Cephalmorphologie – für wahrscheinlich.

Zu *Phaetonellus lelubrei* VAN VIERSEN, 2015 aus dem Eifelium Belgiens sei noch angemerkt, dass diese Art sicher einer eigenen Gattung zuzurechnen ist. Zwar sind manche Details in der Darstellung bei VAN VIERSEN (2015) nicht hinreichend erkennbar, nicht nur sind die starke transversale Wölbung der Glabella sowie die Körnelung als Skulptur ungewöhnlich, auch das Fehlen des Präglabellafelds, der deutlich gepolsterte, mit zahlreichen Leisten besetzte Randsaum und das merklich gewölbte Pleuralfeld des Pygidiums sind mit den anderen Taxa von *Phaetonellus* nicht in Einklang zu bringen. Ebenfalls hinsichtlich des Baus der Pleuralbänder scheinen weitere Unterschiede zu bestehen.

### ***Phaetonellus aloisi* PŘIBYL, 1965**

**Diagnose:** PŘIBYL (1965): 75.

**Zeit und Raum:** Grenzbereich Emsium/Eifelium, Böhmen, Rheinisches Schiefergebirge.

**Unterarten:** *Ph. aloisi aloisi* PŘIBYL, 1965, *Ph. aloisi phorkys* n. ssp.

### ***Phaetonellus aloisi phorkys* n. ssp.**

Abb. 2, Taf. 2, Fig. 1

**Derivatio nominis:** Gr. Φόρκυς, Meerestottheit der griechischen Mythologie. Unveränderliche Apposition.

**Holotypus:** Das Pygidium Slg. Verfasser (HLNUG), Taf. 2, Fig. 1.

**Locus typicus:** Schurf in der Wiege bei Greifenstein, Bl. Herborn.

**Stratum typicum:** Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Emsium/Eifelium, Unter-/Mitteldevon.

**Material:** Neben dem Holotypus gehört möglicherweise das Cranidium Slg. Verfasser (HLNUG), Taf. 2, Fig. 3, zu dem Taxon (s. Diskussion).

**Diagnose:** Lateraler Bereich des Pleuralvorderbands der ersten Pleure des Pygidiums abaxial von der abknickenden Pleuralfurche stark verbreitert. Hinterrand zwischen den Randanhängen des zweiten Pleurenpaars nach außen hin nur moderat konvex.

**Diskussion:** Das Taxon schließt sich so eng an die nominotypische Unterart an, dass sich eine Beschreibung erübrigt. Die Unterschiede zu der nominotypischen Unterart gehen aus der Diagnose hervor.

Grundsätzlich ergeben sich beim Vorliegen lediglich isolierter Panzerteile häufig Unsicherheiten bei der Zuordnung. Von der nominotypischen Unterart war bislang die Morphologie des Cranidiums ausschließlich durch die knappe Beschreibung von ŠNAJDR (1980) bekannt. Dank Herrn P. BUDIL/CGS steht erstmals

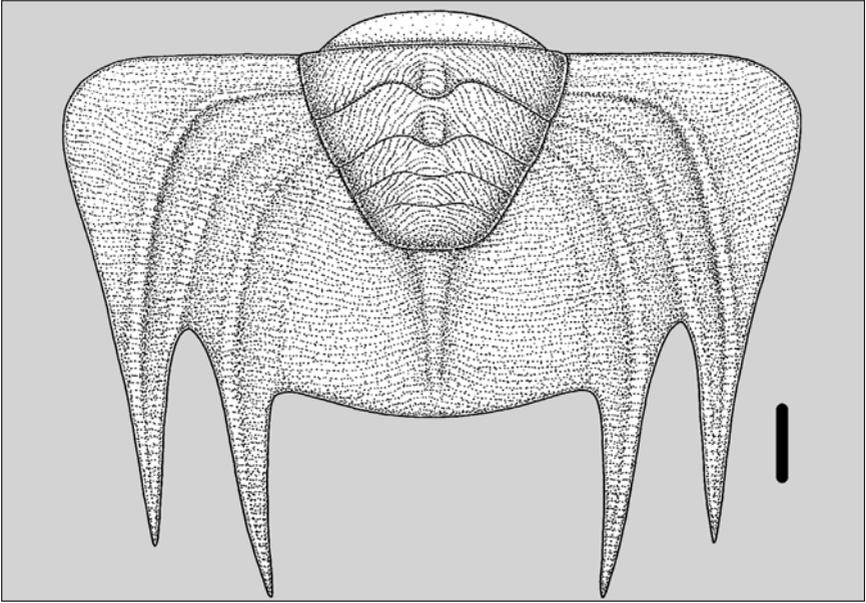


Abbildung 2: *Phaetonellus aloisi phorkys* n. ssp., Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Greifenstein. Rekonstruktion des Pygidiums. Maßstab 1 mm.

Figure 2: *Phaetonellus aloisi phorkys* n. ssp., Greifenstein Limestone, boundary Lower to Middle Devonian, Greifenstein. Reconstruction of the pygidium. Scale 1 mm.

Bildmaterial zu ihm zur Verfügung (Taf. 2, Fig. 3-4). ŠNAJDR (1980) macht allerdings keine Angaben zur Grundlage für seine Assoziation der Panzerteile. Ihm lagen ebenfalls nur isolierte Panzerteile vor und seinen Angaben nach treten im Suchomasty-Kalk die Taxa *Ph. pymon pymon* ŠNAJDR, 1980 und *Ph. aloisi aloisi* PŘIBYL, 1965 in vergleichbaren Horizonten auf. Die Zusammengehörigkeit der Panzerteile für letzteres Taxon ergibt sich dabei womöglich durch die Fundassoziation innerhalb von Neptunian Dykes (Sedimentgänge). Weiterhin muss die Zusammengehörigkeit der Cranidia und Pygidia für ersteres Taxon als weitgehend gesichert angesehen werden, da Panzerteile vergleichbarer Morphologie gemeinsam auch an anderen Fundorten auftreten wie im Greifenstein-Kalk der Typlokalität, oder auch im sog. Greifenstein-Kalk von Günterod (siehe *Ph. pymon guenterodicus* n. ssp.) sowie der Ense, wobei die Kenntnis zu den Funden letzteren Fundorts noch relativ unvollständig ist. Weiterhin besteht offensichtlich eine nähere Verwandtschaft zu *Ph. rhenanus* NOVÁK, 1890, von dem der vollständige Panzer bekannt ist. *Ph. rhenanus* ist dargestellt auf Tafel 1.

Aus Greifenstein liegt ein Cranidium eines Morphotyps vor (Taf. 2, Fig. 2), das morphologisch einige Übereinstimmung mit den Cranidien von *Ph. aloisi aloisi* aufweist. Zwar ist das Cranidium unvollständig, durch symmetrische Ergänzung sowie Vergleiche mit anderen Taxa der Gattung lässt es sich jedoch weitgehend

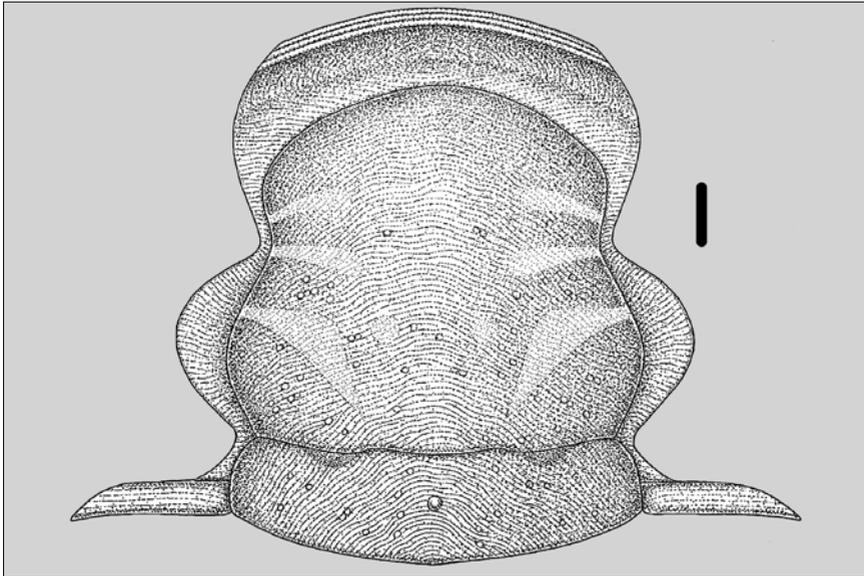


Abbildung 3: *Phaetonellus aloisi phorkys* n. ssp. vel *Phaetonellus kimi* BASSE & MÜLLER, 2018, Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Greifenstein. Rekonstruktion des Craniums Slg. Verfasser (HLNUG), Taf. 1, Fig. 3. Maßstab 1 mm.

Figure 3: *Phaetonellus aloisi phorkys* n. ssp. vel *Phaetonellus kimi* BASSE & MÜLLER, 2018, boundary Lower to Middle Devonian, Greifenstein. Reconstruction of the cranidium coll. of the author (HLNUG), pl. 1, fig. 3. Scale 1 mm.

rekonstruieren (Abb. 3). Von einem absehbar flacheren Vorderrand abgesehen zeigen die Glabella und der Occipitalring eine große Ähnlichkeit. Die größten erkennbaren Unterschiede ergeben sich beim Bau des Präfrontalraums sowie dem Verlauf des Vorderasts der Facialsutur. Der Punkt  $\beta$  liegt beim vorliegenden Cranium merklich weiter vorne, der relativ schmale (sag.) Vordersaum richtet sich nach vorne auf. Eine verwandtschaftliche Beziehung zu *Ph. aloisi* scheint Verfasser offensichtlich, im Vergleich der großen morphologischen Übereinstimmung des Pygidiums von *phorkys* mit der nominotypischen Unterart wirkt das Cranium allerdings relativ stark abgeleitet. Sollte zutreffen, dass es sich bei *Ph. kimi* BASSE & MÜLLER, 2018 ebenfalls um ein Taxon aus der Verwandtschaft von *aloi* handelt (vgl. bei 4, Diskussion), wäre eine Zugehörigkeit des Craniums zu dieser Art ebenfalls denkbar. Eine Klärung wird erst mit weiteren Funden möglich sein.

Aus der Probe mit dem besagten Cranium liegt der Tentaculit *Nowakia (Nowakia) maureri* ZAGORA, 1962 vor. Dies ermöglicht die Einordnung in die *maureri*-Zone der Dacryoconariden-Chronologie, was dem Grenzbereich Emsium/Eifelium entspricht und in Übereinstimmung stünde mit der stratigraphischen Verbreitung der nominotypischen Unterart im Suchomasty-Kalk Böhmens.

**Vorkommen:** Bislang nur am Locus typicus im Stratum typicum.

***Phaetonellus planicauda* (BARRANDE, 1846)**

**Diagnose:** PŘIBYL (1965): 77.

**Zeit und Raum:** ?Emsium bis Eifelium, Böhmen, Rheinisches Schiefergebirge.

**Unterarten:** *Ph. planicauda planicauda* (BARRANDE, 1846), *Ph. planicauda spechti* n. ssp.

Bemerkung: In der Vergangenheit sind verschiedentlich Taxa als Unterarten *Ph. planicauda* zugeordnet worden. All diese Taxa müssen nach modernen Gesichtspunkten als von *Ph. planicauda* eigenständig gewertet werden. Die von CHLUPÁČ (1969) aus dem Eifelium Mährens beschriebenen Funde gehören zweifellos ebenfalls nicht zu dieser Art. Soweit erkennbar, scheinen sie eher *Ph. africanus* G. ALBERTI, 1981 aus dem tiefen Ober-Emsium Marokkos morphologisch nahezustehen.

***Phaetonellus planicauda spechti* n. ssp.**

Abb. 4, Taf. 2, Fig. 5-11

**Derivatio nominis:** Zu Ehren von Herrn Werner Specht in Anerkennung seines unermüdlischen Einsatzes für die Natur- und Heimatkunde des Dillgebietes.

**Holotypus:** Das Pygidium Slg. Verfasser (HLNUG), Taf. 2, Fig. 10.

**Locus typicus:** Schurf in der Wiege bei Greifenstein, Bl. Herborn.

**Stratum typicum:** Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Emsium/Eifelium, Unter-/Mitteldevon.

**Material:** Neben dem Holotypus das Cranidium KIM 679 (GPIBo), die Freiwan- gen KIM 710 und 714 (GPIBo), das Pygidium Slg. RICHTER SMF 97518 sowie ein Cranium-Fragment und eine Freiwan- ge Slg. Verfasser (HLNUG).

**Diagnose:** Präglabellafeld ohne Genal Caeca. Vorderast der Facialsutur relativ kurz. Pygidium mit Tendenz zur Reliefreduktion. Lateraler Bereich des Pleuralvorderbands der ersten Pleure des Pygidiums abaxial von der abknickenden Pleuralfurche deutlich verbreitert. Rhachis konisch mit geradlinig verlaufenden Dorsalfurchen. Hinterand zwischen den Randanhängen des dritten Pleurenpaars nach außen konvex.

**Beschreibung:** Das Taxon schließt sich so eng an die nominotypische Unterart an, dass sich eine Beschreibung erübrigt. Die Unterschiede zu der nominotypischen Unterart gehen aus der Diagnose hervor. Da die Freiwan- ge von *Ph. planicauda* bislang nicht bildlich dargestellt worden ist, soll für die Freiwan- ge der neuen Unterart im Folgenden eine Beschreibung gegeben werden. Aufgrund der unzureichenden Kenntnis der Freiwan- ge der nominotypischen Unterart kann die Freiwan- ge allerdings nicht in der Diagnose berücksichtigt werden. Es sei weiter- hin darauf hingewiesen, dass die als breite Kuhle ausgebildete Vordersaumfurche gleichermaßen wie die Glabellafurchen frei von der Leistenskulptur ist, die sonst das ganze Cranidium bedeckt.

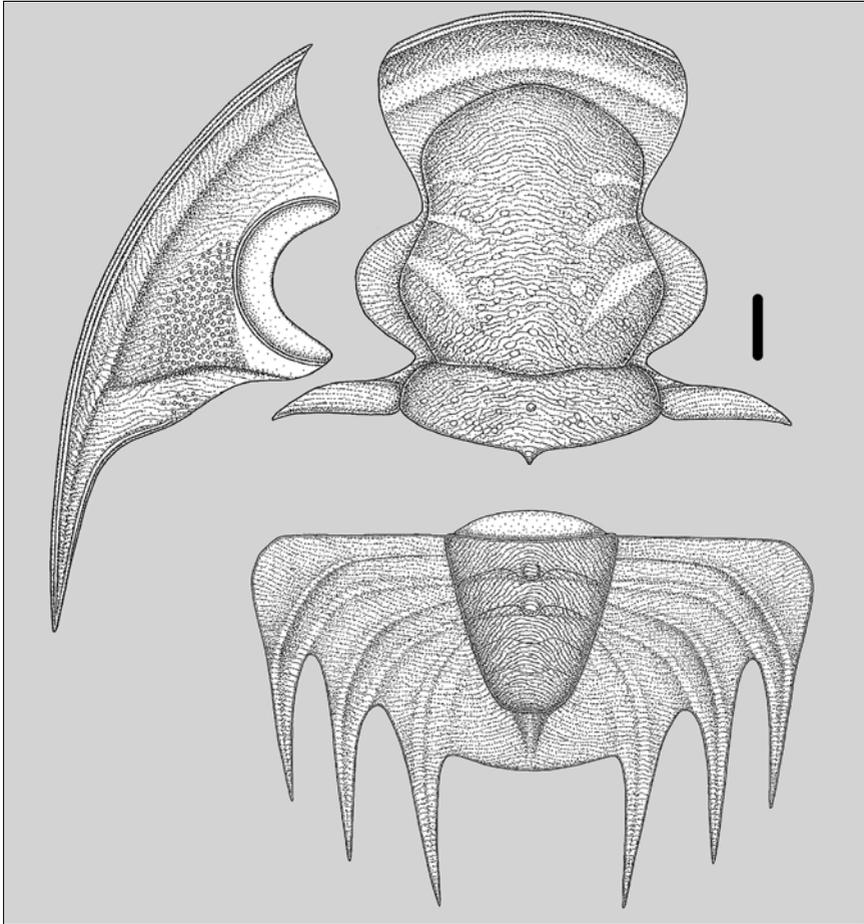


Abbildung 4: *Phaetonellus planicauda spechti* n. ssp., Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Greifenstein. Rekonstruktion des Cranidiums, der Freiwanne und des Pygidiums. Maßstab 2 mm.

Figure 4: *Phaetonellus planicauda spechti* n. ssp., Greifenstein Limestone, boundary Lower to Middle Devonian, Greifenstein. Reconstruction of the cranidium, free cheek, and pygidium. Scale 2 mm.

Der Außenriss der Freiwanne ist vergleichsweise steil und nach außen nur mäßig konvex. Der Vorderast der Facialsutur ist relativ kurz und ausladend, das große Auge ist sehr stark konvex und sitzt auf einem ringförmigen Sockel, der Hinterast der Facialsutur greift lateral weit aus. Es können prä- und postokulare Felder ausgebildet sein. Hinsichtlich dieses Merkmals besteht jedoch Variabilität. Das Wangenfeld ist schmal und transversal moderat gewölbt. Es fällt zur Randsaumfurchung leicht ab. Der Randsaum ist durch die flache Randsaumfurchung

deutlich vom Wangenfeld abgesetzt. Er ist flach, am distalen Rand trägt er drei feine Leisten, von denen die innerste kurz hinter dem Treffpunkt von Rand- und Hintersaumfurche erlischt. Weiterhin findet sich posterior eine feine Leiste entlang der Randsaumfurche ausgebildet, die sich posterior sukzessive von der Randsaumfurche entfernt, ansonsten aber deren Verlauf folgend bis in den Wangenstachel hineinläuft. Der Wangenstachel ist relativ kurz und mäßig breit. Von der Randsaumfurche, die hinter dem Treffpunkt mit der Hintersaumfurche einen nach außen leicht konvexen Verlauf zeigt, wird der Wangenstachel in einen schmaleren abaxialen und etwas breiteren adaxialen Teil geteilt. Auf der Innenseite verlaufen am Rand zwei weitere Leisten. Der Hintersaum ist ähnlich breit wie der Randsaum und ebenfalls flach. Die Hintersaumfurche ist vergleichsweise tief eingeschnitten und nach vorne spitzbogig konvex mit dem Scheitelpunkt adaxial der sagittalen Mitte. Die Freiwanne ist größtenteils von einer sehr feinen Leisten- skulptur bedeckt, im posterioren Bereich des Wangenfelds geht diese in eine sehr feine Körnelung über, einzelne Körnchen finden sich ebenfalls auf dem Hintersaum. Vereinzelt kann die Körnelung jedoch auch fehlen (s. z. B. die Freiwanne Slg. Verfasser Taf. 2, Fig. 8). Bei Ausbildung von prä- und postokularen Feldern sind diese skulpturlos.

**Diskussion:** Die Zusammengehörigkeit von *Cranidium* und *Pygidium* ergibt sich aus der morphologischen Übereinstimmung mit der nominotypischen Unterart. Auf die Zugehörigkeit der Freiwanne lässt neben einer passenden Breite des Randsaums vor allem der im Vergleich kurze, ausladende Vorderast der Facialsutur schließen, ein Merkmal, dass in dieser Form bei keinem anderen Taxon der Gattung im Greifenstein-Kalk der Typlokalität gegeben ist. Damit kann die Zusammengehörigkeit der Panzerteile als grundsätzlich gesichert angesehen werden.

Von der nominotypischen Unterart unterscheidet sich *spechti* durch die in der Diagnose genannten Merkmale. Zwar bestehen einerseits relativ deutliche Unterschiede, andererseits stimmen die wesentlichen Merkmale so weitgehend mit der nominotypischen Unterart überein, dass die Zuordnung von *spechti* als Unterart angemessen erscheint. Weitere Charakteristika der wenigen vorliegenden Panzerteile dürften wohl eher in die Bandbreite morphologischer Variabilität fallen, aber erst mit einer größeren vorliegenden Materialmenge wird hierzu eine präzisere Einschätzung möglich sein. Zur Pygidialmorphologie sei angemerkt, dass der Holotypus eine deutliche Tendenz zur Reliefreduktion sowohl auf dem Pleuralfeld als auch auf der Rhachis aufweist. Beim Paratypus scheinen die Furchen auf der Rhachis normal ausgebildet zu sein, und auch die ersten beiden Pleuren zeigen eine relativ kräftige Ausbildung. Allerdings ist an diesem Exemplar die Skulptur an der dritten Pleure ebenfalls merklich reduziert. Darum muss daraus geschlossen werden, dass die Tendenz zur Reliefreduktion am *Pygidium* ein allgemeines Merkmal dieses Taxons darstellt. Zur Darstellung von Panzerteilen der nominotypischen Unterart sei auf PŘIBYL(1965), ŠNAJDR (1980) sowie BASSE & MÜLLER (2018) hingewiesen.

Lediglich zu einzelnen Funden liegen stratigraphische Informationen vor. Die Freiwanne KIM 714 (GPIBo) stammt gemäß den Aufzeichnungen von KIM aus dem Horizont bei 17,00 m im Profil nach STEHL (1962). G. ALBERTI (1985) nennt aus diesem Abschnitt das Vorkommen von *Nowakia* (*Dmitriella*) *sulcata sulcata* (F.A. ROEMER, 1843), womit eine Einstufung in die *sulcata sulcata*-Zone der Dacryoconariden-Chronologie im Unter-Eifelium möglich ist. Die Probe mit der Freiwanne Slg. Verfasser (HLNUG, Taf. 2, Fig. 9) führt weiterhin die Tentaculiten *N. (Dm.) sulcata sulcata* sowie *Nowakia* (*Nowakia*) *holyocera holyocera* G. ALBERTI, 1980. Damit ist eine Zuordnung in die *holyocera*-Subzone im basalen Eifelium möglich. Die nominotypische Unterart tritt in Böhmen oberhalb des Choteč-Events auf, das stratigraphisch in die *holyocera*-Subzone fällt (vgl. WEDDIGE 1996). Es fehlt an Informationen, wie sich die Unterarten von *holyocera* stratigraphisch genau zum Choteč-Event verhalten, es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass *spechti* tiefer als die nominotypische Unterart einsetzt.

**Vorkommen:** Bislang nur am Locus typicus im Stratum typicum.

### ***Phaetonellus pymon* ŠNAJDR, 1980**

**Diagnose:** Eine Diagnose wurde nicht erstellt, ŠNAJDR (1980) gibt nur eine Beschreibung.

**Zeit und Raum:** Grenzbereich Emsium/Eifelium, Böhmen, Rheinisches Schiefergebirge.

**Unterarten:** *Ph. pymon pymon* ŠNAJDR, 1980, *Ph. pymon dillensis* BASSE & MÜLLER, 2018, *Ph. pymon guenterodicus* n. ssp.

**Bemerkung:** Zur Problematik der Zusammengehörigkeit der Panzerteile bei *Phaetonellus pymon* siehe Diskussion bei *Ph. aloisi phorkys* n. ssp. bzw. bei 4, Diskussion.

### ***Phaetonellus pymon guenterodicus* n. ssp.**

Abb. 5, Taf. 3, Fig. 1-5

**Derivatio nominis:** Nach dem Fundort.

**Holotypus:** Das Pygidium SMF 97519, Taf. 3, Fig. 2.

**Locus typicus:** Günterod.

**Stratum typicum:** Sog. Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Emsium/Eifelium, Unter-/Mitteldevon.

**Material:** Neben dem Holotypus das Pygidium SMF 97520, das Pygidiumfragment SMF 97521, das Cranidiumfragment SMF 97522, jeweils Slg. RICHTER, sowie das Pygidium Slg. DENCKMANN SMF 97523.

**Diagnose:** Präglabellafeld vergleichsweise breit, Glabella-Hinterrand median nach hinten ausbuchtend. Abstand zwischen dem Hinterrand der Rhachis sowie

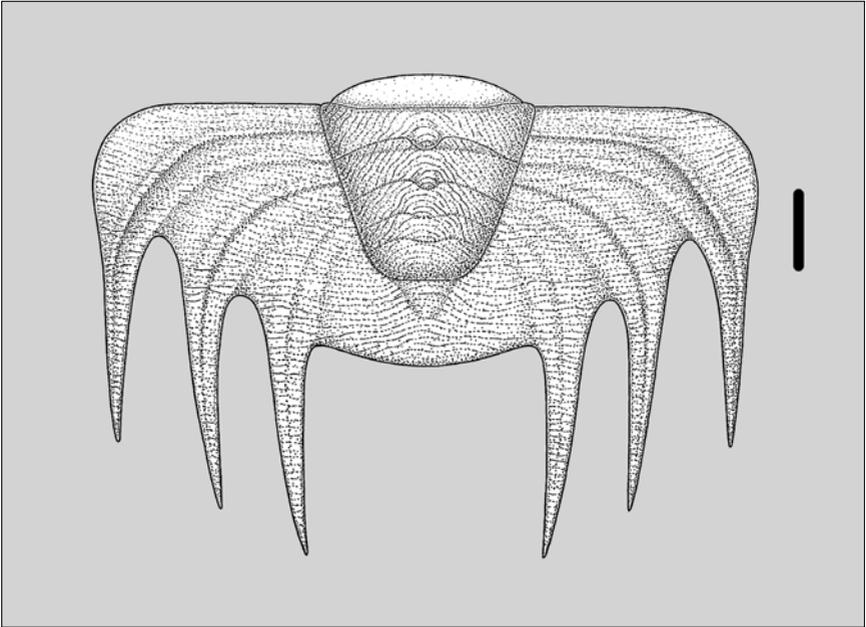


Abbildung 5: *Phaetonellus pymon guenterodicus* n. ssp., sog. Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Günterod. Rekonstruktion des Pygidiums. Maßstab 2 mm.

Figure 5: *Phaetonellus pymon guenterodicus* n. ssp., so-called Greifenstein Limestone, boundary Lower to Middle Devonian, Günterod. Reconstruction of the pygidium. Scale 2 mm.

dem des Pleuralfelds relativ groß. Abstand zwischen dem hintersten Randanhangpaar breit, distaler Rand dazwischen leicht bis stark nach hinten konvex.

**Diskussion:** Aufgrund der großen morphologischen Übereinstimmung mit den anderen Unterarten dieses Taxons erübrigt sich eine Beschreibung. Die Unterschiede gehen aus der Diagnose hervor. Hinsichtlich der Breite des Abstands zwischen dem hintersten Randanhangpaar des Pygidiums steht *Ph. pymon dillensis* BASSE & MÜLLER, 2018 zwischen der nominotypischen und der neuen Unterart. Das breitere Präglabellafeld sowie der größere Abstand der Rhachis zum distalen Hinterrand vermitteln zu *Ph. rhenanus* NOVÁK, 1890. Auf eine gewisse Variabilität hinsichtlich der Pygidialmorphologie weist das Fragment Taf. 3, Fig. 5 (SMF 97521). In der Summe seiner Merkmale steht das neue Taxon jedoch *Ph. pymon* so nahe, dass die Zuordnung als Unterart gerechtfertigt scheint. Verfasser vorliegende Funde aus dem sog. Greifenstein-Kalk der Ense bei Bad Wildungen weisen auf das Vorliegen einer weiteren Unterart von *pymon* am dortigen Fundort hin, die Kenntnisse des Taxons sind für einen genaueren Vergleich jedoch noch zu ungenügend.

**Vorkommen:** Bislang nur am Locus typicus im Stratum typicum.

## *Phaetonellus vaneki* PŘIBYL, 1965

**Diagnose:** PŘIBYL (1965): 78.

**Zeit und Raum:** Emsium bis Eifelium, Böhmen, Rheinisches Schiefergebirge.

**Unterarten:** *Ph. vaneki vaneki* PŘIBYL, 1965, *Ph. vaneki gryps* n. ssp., *Ph. vaneki martinius* BASSE & MÜLLER, 2018.

**Bemerkung:** Von BASSE & MÜLLER (2018) wird aus dem oberem Emsium von Leun als eigenständiges Taxon *Ph. martinius* aufgestellt, wobei die Autoren eine subspezifische Zugehörigkeit zu *Ph. vaneki* nicht ausschließen. Das Taxon schließt sich *Ph. vaneki* morphologisch so eng an, dass Verfasser die Behandlung als Unterart von *Ph. vaneki* als angemessen ansieht.

Ein von PILLET (1972) vorbehaltlich *Ph. vaneki* zugeordnetes Cranidium-Fragment aus dem Massif Armoricain in NW-Frankreich ist für eine nähere taxonomische Zuordnung zu unvollständig, eine engere Beziehung zu *vaneki* besteht aber wohl eher nicht.

### *Phaetonellus vaneki gryps* n. ssp.

Abb. 6, Taf. 4, Fig. 1-6

**Derivatio nominis:** Gryps (lat.) = Greif. Anspielung auf den Ortsnamen des Locustypicus.

**Holotypus:** Das Pygidium Slg. Verfasser HLNUG, Taf. 4, Fig. 5.

**Locus typicus:** Schurf in der Wiege bei Greifenstein/Hörre, Bl. Herborn.

**Stratum typicum:** Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Emsium/Eifelium, Unter-/Mitteldevon.

**Material:** Neben dem Holotypus das Pygidium Slg. RUNZHEIMER SMF 97524, das Cranidium-Fragment BGR X 13380 sowie drei Cranidium-Fragmente Slg. Verfasser (HLNUG).

**Diagnose:** Rhachis des Pygidiums lang und konisch, sich posterior merklich verjüngend. Abstand der Rhachis zum Hinterrand des Pleuralfelds vergleichsweise kurz.

**Diskussion:** Das Taxon schließt sich so eng an die nominotypische Unterart an, dass sich eine Beschreibung erübrigt. Die Unterschiede zu den anderen Unterarten von *Ph. vaneki* gehen aus der Diagnose hervor. Eine erstmalige Darstellung des neuen Taxons erfolgte bei BASSE & MÜLLER (2018) als *Ph. sp. L.*

Das neue Taxon *gryps* vermittelt morphologisch zwischen der nominotypischen Unterart und *Ph. vaneki martinius* BASSE & MÜLLER, 2018. Während die Form der Rhachis letzterem Taxon nähersteht, ist der Abstand der Rhachis zum Hinterrand noch kürzer als bei der nominotypischen Unterart. Beim Pleuralfeld besteht ansonsten weitgehende Übereinstimmung mit der nominotypischen Unterart, wohingegen die Pleuralfurchen der ersten Pleure bei *martinius* stärker nach hinten abknicken. Die vorliegenden unvollständigen Cranidia lassen soweit

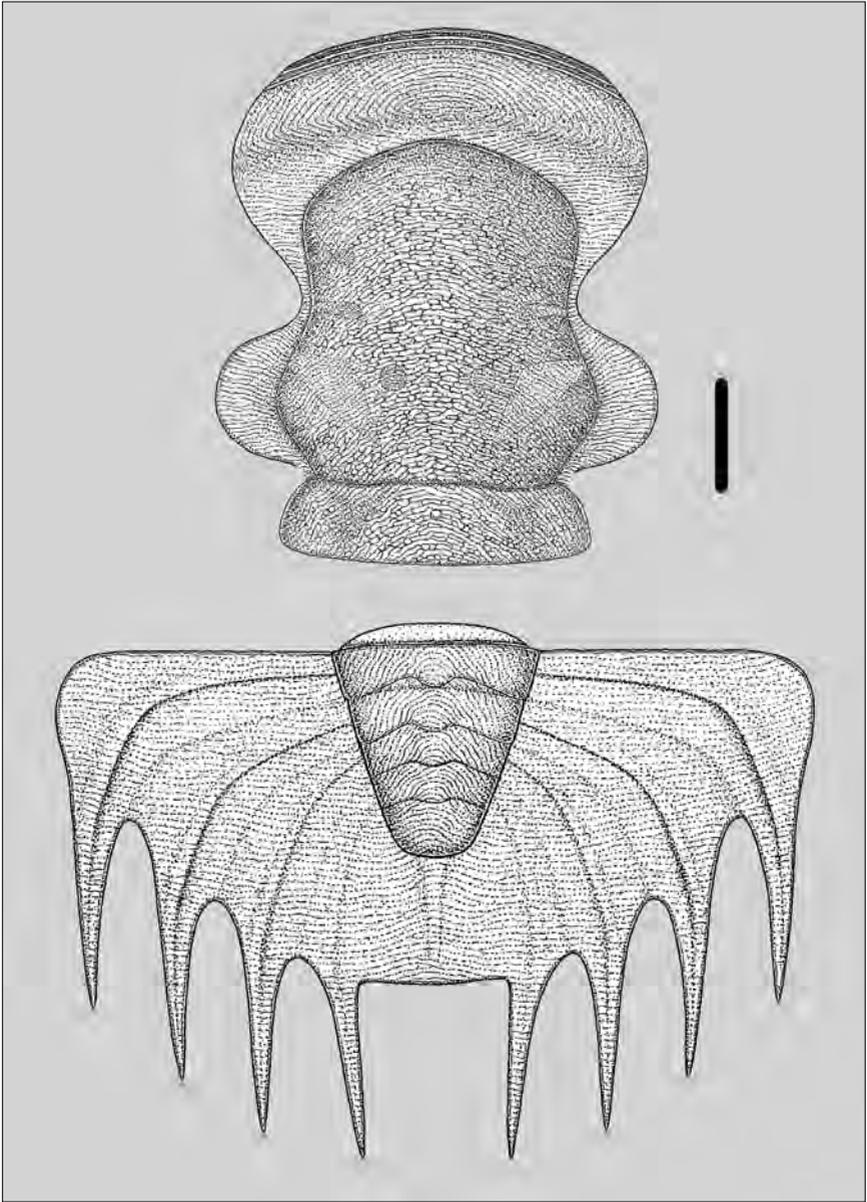


Abbildung 6: *Phaeonellus vaneki gryps* n. ssp., Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Greifenstein. Rekonstruktion des Cranidiums und des Pygidiums. Maßstab 2 mm.

Figure 6: *Phaeonellus vaneki gryps* n. ssp., Greifenstein Limestone, boundary Lower to Middle Devonian, Greifenstein. Reconstruction of the cranidium and pygidium. Scale 2 mm.

keine morphologischen Unterschiede mit Sicherheit feststellen. Allerdings ist die Kenntnis der Cephalmorphologie auch bei den anderen Unterarten erhaltungsbedingt eingeschränkt. Jedenfalls weist von Herrn P. Budil/CGS zur Verfügung gestelltes Fotomaterial der nominotypischen Unterart (Taf. 4, Fig. 7) darauf hin, dass bei ihr der Vordersaum vergleichbar stark vom Präglabellfeld abgesetzt ist wie bei *gryps*. Die bekannten Funde der nominotypischen Unterart weisen zudem auf eine gewisse Variabilität beim Verlauf des Vorderastes der Facialsutur sowie dem Präfrontalraum.

Hinsichtlich des nur in Negativerhaltung vorliegenden Cranidiums leg. Verfasser (HLNUG) Taf. 4, Fig. 2 sei auf das besondere Merkmal hingewiesen, dass die Furchen auf der Glabella und dem Occipitalring teilweise von Depressionen umgeben sind. Vergleichbare Phänomene wurden bereits von Vertretern der Phacopinae HAWLE & CORDA, 1847 beschrieben (vgl. CHLUPÁČ 1977 sowie U. FLICK 2021c). Ein weiteres hervorragendes Beispiel dieses Phänomens bei einem proetidien Trilobiten stellt das Cranidium von *Myoproetus* sp. C sensu U. FLICK (2018) aus dem Greifenstein-Kalk der Typlokalität dar (s. Taf. 4, Fig. 10). CHLUPÁČ (1977) deutet diese Depressionen als Senilitäterscheinung.

Die Cranidium-Funde Slg. Verfasser HLNUG (Taf. 4, Fig. 2-3) stammen aus derselben Probe wie das mit *Ph. aloisi phorkys* n. ssp. assoziierte Cranidium. Wie bereits oben erwähnt, liegt aus dieser Probe der Tentaculit *Nowakia* (N.) *maureri* ZAGORA, 1962 vor, womit eine Einstufung in die *N. maureri*-Zone der Dacryconariden-Chronologie möglich ist. Dies deckt sich mit dem stratigraphischen Vorkommen der nominotypischen Unterart im Suchomasty-Kalk Böhmens. Für die weiteren Funde liegen keine stratigraphischen Informationen vor.

**Vorkommen:** Bislang nur am Locus typicus im Stratum typicum.

### *Nagaproetus* ŠNAJDR, 1977

Typusart: *Cornuproetus* (*Eremiproetus*) *ferentarius agnatus* PŘIBYL, 1966.

Diagnose: ŠNAJDR (1980): 200.

### *Nagaproetus thaumas* n. sp.

Abb. 7 Taf. 4, Fig. 8

**Derivatio nominis:** Gr. Θάυμας, Meerestottheit der griechischen Mythologie. Unveränderliche Apposition.

**Holotypus** (Monotypie): Das Cranidium Slg. RICHTER SMF 97525, Taf. 4, Fig. 8.

**Locus typicus:** Günterod.

**Stratum typicum:** Sog. Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Emsium/Eifelium, Unter-/Mitteldevon.

**Diagnose:** Vordersaum flachbogig, Vordersaumfurchen sehr undeutlich. Glabella breit, Vorderrand vergleichsweise stumpf gerundet, Glabellafurchen sehr seicht,

jedoch deutlich entwickelt. Vorderast der Facialsutur posterior merklich divergierend,  $\beta$  sehr weit vorne, etwa auf Höhe des posterioren Endes der Glabella platziert. Skulptur durchwegs sehr fein.

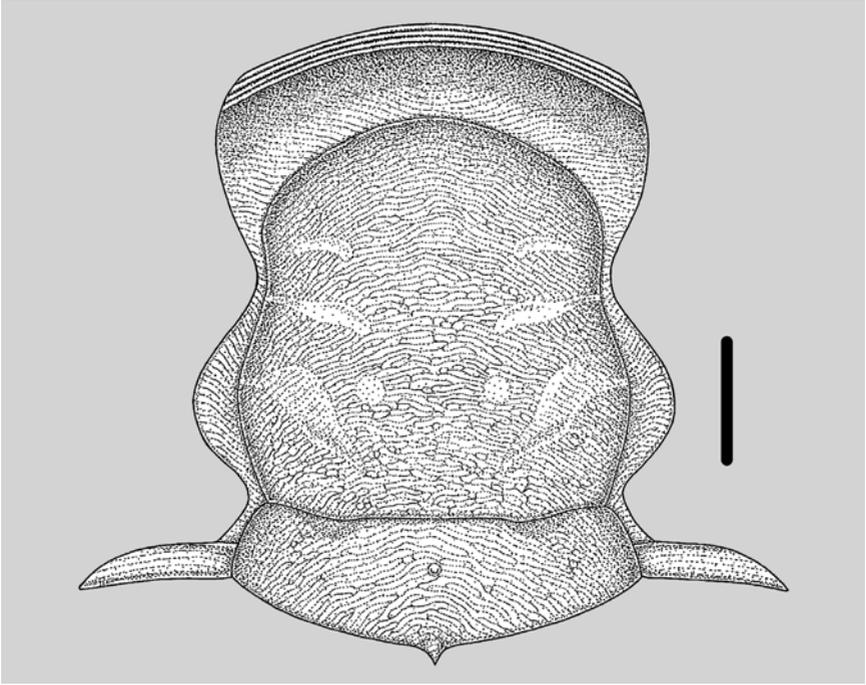


Abbildung 7: *Nagaproetus thaumas* n. sp., sog. Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Günterod. Rekonstruktion des Cranidiums. Maßstab 2 mm.

Figure 7: *Nagaproetus thaumas* n. sp., so-called Greifenstein Limestone, boundary Lower to Middle Devonian, Greifenstein. Reconstruction of the cranidium. Scale 2 mm.

**Diskussion:** Die neue Art schließt sich morphologisch sehr eng an *Nagaproetus humilis* (ALBERTI, 1967) an. Auf eine Beschreibung wird darum verzichtet. Für *N. humilis* sei auf die Beschreibung bei G. ALBERTI (1969) verwiesen. Von *humilis* unterscheidet sich *thaumas* vor allem durch den flachbogigen Vordersaum und Vorderrand der Glabella, die deutlicher abgesetzten Glabellafurchen sowie posterior stärker divergierende Vorderäste der Facialsutur. Der Eindruck einer breiteren Glabella geht auf eine durchlaufende Kluft zurück. Zum Vergleich wird von *humilis* der Hypotypus KIM 639 (GPIBo) abgebildet (Taf. 4, Fig. 9). Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass beim Cranidium KIM 639 der Frontallobus der Glabella sowie der Vorderrand spitzer ausgezogen sind als beim Holotypus. Es ist darum denkbar, dass diese Merkmale auch bei *thaumas* einer gewissen Variabilität unterworfen waren. Das Cranidium KIM 639 ist weiterhin das einzige der Art *humilis* aus dem Greifenstein-Kalk der Typlokalität, zu dem noch stratigraphische

Informationen vorliegen. Es entstammt dem Horizont bei 4,50 m im Profil nach SIEHL (1962), was gemäß G. ALBERTI (1985) der *N. richteri*-Zone der Dacryonariden-Chronologie im Ober-Emsium/Unterdevon entspricht. Zusammen mit *N. humilis* sowie *N. pumilis* ŠNAJDR, 1980 aus dem eifelischen *Acanthopyge*-Kalk Böhmens bildet *thauomas* offensichtlich eine gemeinsame Artengruppe. Das böhmische Taxon unterscheidet sich von *thauomas* durch eine tendenziell schlankere Glabella und stärker konvergierende Vorderäste der Facialsutur, vor allem aber durch den deutlich abgesetzten Vordersaum. Verfasser ist außerdem ein Taxon dieser Artengruppe im sog. Greifenstein-Kalk der Ense bei Bad Wildungen bekannt. Dieses Taxon scheint morphologisch insbesondere *humilis* nahe zu stehen.

Es sei weiterhin noch darauf hingewiesen, dass am Holotypus von *thauomas* der mediane Bereich des Occipitalrings durch Beschädigung fehlt. Da alle bislang bekannten Taxa der Gattung *Nagaproetus* sowohl ein medianes Knötchen sowie einen Medianstachel aufweisen, ist die Präsenz dieser Merkmale auch für *thauomas* anzunehmen (s. Rekonstruktion Abb. 7).

**Vorkommen:** Bislang nur am Locus typicus im Stratum typicum.

## 4 Diskussion

In der vorgelegten Arbeit werden aus dem Greifenstein-Kalk der Typlokalität die neuen Taxa der Gattung *Phaetonellus* NOVÁK, 1890 *Ph. aloisi phorky* n. ssp., *Ph. planicauda spechti* n. ssp. und *Ph. vaneki gryps* n. ssp. sowie aus dem sog. Greifenstein-Kalk von Günterord *Ph. pymon guenterodicus* n. ssp. und *Nagaproetus thauomas* n. sp. vorgestellt. Erstmals werden Funde von *Phaetonellus* aus dem Greifenstein-Kalk der Typlokalität bei NOVÁK (1890) und KAYSER & HOLZAPFEL (1894), aus dem sog. Greifenstein-Kalk von Günterod bei KAYSER & HOLZAPFEL (1894) sowie LOTZ (1901) genannt. Während eine weitere Auseinandersetzung mit entsprechenden Funden aus Günterod seitdem nicht mehr stattgefunden hat, erfolgt eine Besprechung der Funde aus Greifenstein in der Dissertation von RUNZHEIMER (RUNZHEIMER o. J.). Die erste Abbildung eines Fundstücks findet sich bei ERBEN (1952) (entgegen der Darstellung bei BASSE & MÜLLER 2018 handelt es sich bei dem durch ERBEN als *Phaetonellus planicaudus rhenanus* abgebildeten Pygidium tatsächlich nicht um *Ph. greifensteinensis* bzw. *Ph. sp. Gr.*, sondern um *Ph. pymon dillensis* BASSE & MÜLLER, 2018). Erst KIM (1997) setzt sich wieder intensiv mit den Funden aus Greifenstein auseinander, wobei er drei Taxa unterscheidet, die er alle bereits bekannten Arten aus dem Rhenohertzynikum bzw. aus Böhmen zuordnet. Darauf basierend stellen BASSE & MÜLLER (2018) die Arten *Ph. dillensis*, *Ph. greifensteinensis* sowie *Ph. kimi* auf.

Die bislang aus Greifenstein beschriebenen Taxa liegen dabei ausschließlich in isolierten Panzerteilen vor. Beim Vorliegen von mehreren Taxa der gleichen

Gattung, wie in diesem Fall, kann dies zu Schwierigkeiten bei der Zuordnung der einzelnen Panzerteile führen. Für *Ph. planicauda spechti* n. ssp. sowie *Ph. vaneki gryps* n. ssp. kann die Zusammengehörigkeit der Panzerteile aufgrund von Analogien verwandter Taxa bzw. spezifischer morphologischer Merkmale als gesichert betrachtet werden. In diesem Zusammenhang als unglücklich anzusehen ist die Entscheidung von BASSE & MÜLLER (2018), ein Pygidium zum Holotypus ihres Taxons *Phaetonellus dillensis* sowie ein Cranidium zum Holotypus ihres Taxons *Phaetonellus greifensteinensis* zu bestimmen (letzteres hierin neu abgebildet auf Taf. 5, Fig. 2). Ihr Verständnis ihrer aus Greifenstein beschriebenen Arten basiert wesentlich auf der Darstellung von KIM (1997), wobei die Zuordnung der Panzerteile unkritisch übernommen wurde. Sowohl das *dillensis*-Pygidium als auch das *greifensteinensis*-Cranidium entsprechen dem *pymon*-Morphotyp nach ŠNAJDR (1980). Zwar liegen von diesem Taxon ebenfalls nur isolierte Panzerteile vor, wie bereits diskutiert, muss die Zuordnung der Panzerteile allerdings als zutreffend angesehen werden. Insbesondere, wenn durch Transport vor der Ablagerung Sortierungseffekte nicht ausgeschlossen werden können, wie es beim Greifenstein-Kalk der Typlokalität der Fall ist, müssen Zahlenverhältnisse mit Vorbehalt betrachtet werden. Über die *pymon*-Morphologie hinaus ein zusätzliches Indiz für die Zusammengehörigkeit der *dillensis*-Pygidia und *greifensteinensis*-Cranidia liefert allerdings der Umstand, dass sie jeweils die mit Abstand häufigsten *Phaetonellus*-Panzerteile am Fundort darstellen. Verfasser kommt somit zu dem Schluss, dass es sich bei den beiden Taxa um Synonyme handelt. Wegen der sichereren Vergleichbarkeit mit den anderen zumeist auf Pygidia begründeten Taxa der Gattung hält Verfasser es für sinnvoll, am Taxon *dillensis* festzuhalten, wobei Verfasser es wegen der Übereinstimmung der wesentlichen Merkmale mit *Ph. pymon* ŠNAJDR, 1980 als Unterart jener Art auffasst. Beim durch BASSE & MÜLLER (2018) *dillensis* zugeordneten Cranidium (neu abgebildet auf Taf. 2, Fig. 6) handelt es sich um *Ph. planicauda spechti* n. ssp. Da die *greifensteinensis*-Pygidia zweifellos eine eigene Art darstellen, wird das damit verbundene Taxon im weiteren als *Phaetonellus* sp. Gr. bezeichnet. *Phaetonellus pymon dillensis* findet sich auf Taf. 5, *Phaetonellus* sp. Gr. ist auf Taf. 6 dargestellt. Besonders hingewiesen sei auf das Pygidium Taf. 5, Fig. 7 von *Ph. pymon dillensis*. Dies weist auf der linken Seite einen teratologischen Hinterrand auf, zwei Randanhänge fehlen. Dies geht offensichtlich auf eine Verletzung zurück, wobei die ausgeheilten Ränder darauf hindeuten, dass das Tier die Verletzung überlebt hat. Ein solcher Fund wird für die Gattung *Phaetonellus* hiermit zum ersten Mal vorgestellt.

Nach obigem Verständnis liegen somit aus dem Greifenstein-Kalk der Typlokalität für die Gattung *Phaetonellus* die Taxa *Ph. aloisi phorkys* n. ssp., *Ph. kimi* BASSE & MÜLLER, 2018, *Ph. planicauda spechti* n. ssp., *Ph. pymon dillensis* BASSE & MÜLLER, 2018, *Ph. vaneki gryps* n. ssp. sowie *Ph. sp. Gr. vor.* Mit sechs Taxa ist die Diversität dieser Gattung an dieser Lokalität außergewöhnlich hoch. *Ph. planicauda spechti* n. ssp. zeigt die engsten Verwandtschaftsverhältnisse zum böh-

mischen *Acanthopyge*-Kalk, *Ph. aloisi phorkys* n. ssp. zum böhmischen Suchomasty-Kalk, *Ph. pymon dillensis* zum Suchomasty-Kalk und zu Taxa aus den sog. Greifenstein-Kalken von Günterod und Bad Wildungen, *Ph. vaneki gryps* n. ssp. zum Suchomasty-Kalk sowie dem Leun-Kalk des Lahn-Gebiets. Besondere Fälle stellen *Ph. kimi* sowie *Ph. sp. Gr.* dar, auf die weiter unten näher eingegangen werden soll. Auffällig ist die Zusammensetzung aus Suchomasty-Kalk- und *Acanthopyge*-Kalk-Elementen, zu denen sich mit *Ph. kimi* und *Ph. sp. Gr.* einzelne exotische oder zumindest vermeintlich exotische Elemente gesellen. Damit stehen die paläobiogeographischen Beziehungen der Vertreter der Gattung *Phaetonellus* im Wesentlichen im Einklang mit der restlichen Trilobitenfauna (vgl. U. FLICK 1999, 2018, 2021b) und bestätigen von neuem die ausgesprochen engen Beziehungen zu den gleichaltrigen Faunen des Suchomasty- und *Acanthopyge*-Kalks in Böhmen.

Ein in diesem Sinne „exotisches“ Element stellt *Phaetonellus sp. Gr.* dar. Die Art steht morphologisch *Phaetonellus africanus* G. ALBERTI, 1981 aus dem tiefen Ober-Emsium Marokkos sehr nahe. Die größten Unterschiede bestehen in einem etwas geringeren Hinterabstand der Rhachis zum Hinterrand, den vergleichsweise breiten und kurzen Randanhängen sowie vor allem in der Andeutung eines vierten Randanhangpaars. Von einem engen verwandtschaftlichen Verhältnis ist auszugehen. Tatsächlich liegt aus Greifenstein ein Cranium-Morphotyp vor, der ebenfalls große Ähnlichkeit zu *africanus* aufweist (s. Taf. 6, Fig. 1-2). Dieser zeigt vergleichbar einen relativ schmalen (tr.) Occipitalring, ähnlich verlaufende Dorsalfurchen sowie einen deutlich abgesetzten, abgeflachten Vordersaum. Die größten Unterschiede bestehen in einer etwas plumperen Glabella, der Ausbildung eines kurzen Occipitalstachels sowie möglicherweise etwas breiteren Palpebralloben. Die Wahrscheinlichkeit der Zusammengehörigkeit der Panzerteile wird unter diesen Umständen von Verfasser als ausgesprochen hoch betrachtet. Möglicherweise bestehen auch Beziehungen zu den von CHLUPÁČ (1969) als *Phaetonellus planicaudus* aus Mähren beschriebenen Funden. Für einen näheren Vergleich ist deren Kenntnis jedoch zu ungenügend.

Schwierigkeiten bereitet aufgrund der Merkmalszustände die Zuordnung des Taxons *Phaetonellus kimi* BASSE & MÜLLER, 2018. U. FLICK (2018) assoziiert die Art mit *Phaetonellus aloisi* Přibyl, 1965. Wahrscheinlicher als eine direkte Ableitung aus dieser Art erscheint aber eine Herleitung als eigene Entwicklungslinie aus *Phaetonellus lukesianus* ŠNAJDR, 1981 aus dem unteremsischen Chynice-Kalk Böhmens, der auch die Stammart für *aloisi* darstellen dürfte. In einem solchen Szenario hätte bei der Entwicklung zu *aloisi* eine Verbreiterung, bei *kimi* eine Reduktion des Pleuralfelds stattgefunden. Aber auch die Herleitung aus einem anderen Taxon kann Status quo nicht ausgeschlossen werden. Eine Klärung wird wohl erst mit einer besseren Kenntnis dieser Art möglich sein.

Bedauerlicherweise liegen nur sehr eingeschränkte Informationen zur Stratigraphie der *Phaetonellus*-Funde im Greifenstein-Kalk der Typlokalität vor. Neben den bei der Besprechung der hierin beschriebenen Taxa genannten Infor-

mationen bestehen nur noch für einzelne weitere Fundstücke aus den Aufsammlungen des Geologisch-Paläontologischen Instituts der Universität Bonn sowie des BGR in Berlin Kenntnisse zum Fundhorizont. Die Cranidia von *Ph. pymon dillensis* KIM 681 (hier Taf. 5, Fig. 1) bzw. KIM 683 (Taf. 5, Fig. 2) entstammen dem Niveau bei 9,50-11,00 m bzw. 9,00 m im Profil nach SIEHL (1962). Nach G. ALBERTI (1985) dürfte dies den *holycera*- bzw. *procera*-Subzonen der Dacryocorarien-Stratigraphie entsprechen, die unteres Eifelium anzeigen. Das Pygidium desselben Taxons KIM 688 (Taf. 5, Fig. 8) entstammt dem Niveau bei 19,00 m, das Pygidium KIM 691 (Taf. 5, Fig. 5) dem Niveau bei 11,90 m. Ersterer Fundhorizont fällt ebenfalls in die *procera*-Subzone, beide gehören der *sulcata sulcata*-Zone des Unter-Eifeliums an. Die Pygidia von *Ph. sp. Gr.* KIM 697 (Taf. 6, Fig. 4) sowie KIM 700 (Taf. 6, Fig. 5) entstammen den Niveaus bei 17,00 bzw. 10,50 m, die ebenfalls ohne weiteres der *sulcata sulcata*-Zone zugeordnet werden können. Das von Verfasser zu dieser Art gestellte Cranidium KIM 680 (Taf. 6, Fig. 1) entstammt dem Niveau bei 11,00 m und damit ebenfalls der *procera*-Subzone. Einzelne Fundstücke in der Sammlung des BGR sind noch mit Schichtnummern versehen, wobei sich die Nummerierung auf das Profil bei RUNZHEIMER (o. J.) beziehen lässt, das wiederum näherungsweise mit SIEHL (1962) parallelisierbar ist. Das ebenfalls zu *Ph. sp. Gr.* gehörende Pygidium BGR X 13381 (Taf. 6, Fig. 3) entstammt gemäß dem Etikett der Schicht 4. Diese dürfte etwa zwischen den Niveaus bei 14,00 und 15,00 m im Profil nach SIEHL (1962) zu verorten sein und fällt auf jeden Fall in die *sulcata sulcata*-Zone. Der Holotypus von *Ph. kimi* KIM 703 (Taf. 6, Fig. 7) entstammt dem Niveau bei 4,00 m, das der *richteri*-Zone des Ober-Emsiums im Unterdevon zuzurechnen ist. Mit umfassenderen Kenntnissen zum stratigraphischen Verhalten der einzelnen Faunenbestandteile ließen sich zweifellos konkretere Rückschlüsse auf die Entwicklung des Vorkommens ziehen. Insbesondere die vermeintlich exotischen Elemente könnten dabei womöglich wertvolle Informationen liefern. Angesichts der Lückenhaftigkeit der vorliegenden Informationen kann status quo beim Fehlen des Nachweises eines Taxons in einem bestimmten Horizont oft nicht ohne weiteres auf dessen Abwesenheit geschlossen werden. Von besonderem Interesse ist weiterhin das stratigraphische Verhalten der Suchomasty- bzw. *Acanthopyge*-Kalk-Elemente im Greifenstein-Kalk im Vergleich zu den böhmischen Vorkommen. So weisen die vorliegenden Informationen darauf hin, dass *Ph. pymon dillensis* im Gegensatz zur nominotypischen Unterart über das Choteč-Event hinaus reicht.

Auf die phylogenetischen Beziehungen der beiden aus dem sog. Greifenstein-Kalk von Günterod beschriebenen Taxa *Phaetonellus pymon guenterodicus* n. ssp. und *Nagaproetus thaumas* n. sp. wurde bereits bei deren Besprechung eingegangen. Sie weisen einerseits auf enge faunistische Beziehungen zum böhmischen Suchomasty- bzw. *Acanthopyge*-Kalk sowie dem Greifenstein-Kalk der Typlokalität hin, bestätigen dabei gleichzeitig aber auch die faunistische Eigenständigkeit des sog. Greifenstein-Kalks von Günterod. Dies steht in Übereinstimmung

mit bisherigen Kenntnissen von dessen Trilobiten-Fauna (vgl. U. FLICK 2021b, c). Unklar bleibt nach wie vor die Beziehung zum sog. Greifenstein-Kalk der Ense bei Bad Wildungen. Gerade die Kenntnisse zu letzterem Vorkommen sind noch ungenau.

## 5 Danksagung

Das Manuskript wurde von Herrn Prof. Dr. C. Brauckmann/TU Clausthal einer kritischen Durchsicht unterzogen. Frau A. Ehling/Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Herr G. Heumann/Universität Bonn sowie Herr R. Kunz/Forschungsinstitut Senckenberg unterstützten tatkräftig die Recherchen in den jeweiligen Sammlungsbeständen. Herr P. Budil/Czech Geological Survey stellte Fotografien von Vergleichsmaterial aus der Sammlung des Czech Geological Survey/Prag (CGS) zur Verfügung. Herr S. Morrison/University of Oregon und Herr M. Svojtka/Universität Wien waren bei der Beschaffung von Literatur behilflich. Die englischen Textteile wurden von Herrn B. Bogner/Friedberg durchgesehen. Den genannten Personen sei für ihre Unterstützung herzlich gedankt.

## 6 Literatur

- ALBERTI, G.K.B. (1969): Trilobiten des jüngeren Siluriums sowie des Unter- und Mitteldevons. I. Mit Beiträgen zur Silur-Devon-Stratigraphie einiger Gebiete Marokkos und Oberfrankens. – Abh. senckenberg. naturforsch. Ges., **520**: 1-692, 55 Abb., 8 Tab., 52 Taf.; Frankfurt/M.
- ALBERTI, G.K.B. (1970): Trilobiten des jüngeren Siluriums sowie des Unter- und Mitteldevons. II. – Abh. senckenberg. naturforsch. Ges., **525**: 1-233, 20 Abb., 4 Tab., 20 Taf.; Frankfurt a. M.
- ALBERTI, G.K.B. (1981): Trilobiten des jüngeren Siluriums sowie des Unter- und Mittel-Devons. III. Mit Beiträgen zur Devon-Biostratigraphie (insbesondere nach Nowakiidae) in N-Afrika, Sardinien, Oberfranken und im Harz. – Senck. leth., **62** (1): 1-75, 10 Abb., 8 Taf.; Frankfurt/M.
- ALBERTI, G.K.B. (1985): Zur biostratigraphischen Untergliederung des Greifensteiner Kalkes und der Wissenbacher Schiefer (Unter- bis Mittel-Devon, Rheinisches Schiefergebirge) mithilfe von Dacryoconarida (Tentaculiten). – Mitt. Geol.-Paläont. Inst. Univ. Hamburg, **59**: 51-56, 2 Abb.; Hamburg.
- ALBERTI, H. (1968): Trilobiten (Proetidae, Otariionidae, Phacopidae) aus dem Devon des Harzes und des Rheinischen Schiefergebirges (Beitrag I). – Beih. Geol. Jb., **73**: 1-147, 31 Abb., 8 Tab., 25 Taf.; Hannover.
- BASSE, M. & MÜLLER, P. (2016): Trilobiten aus dem Ober-Emsium und frühen Eifelium der südlichen Lahnmulde (Rupbach-Schiefer, Leun-Schiefer und Ballersbach-Kalk). – Abh. senckenberg. naturforsch. Ges., **572**: 1-329, Abb. 1-7, Tab. 1-9, Taf. 1-33; Frankfurt/M.
- BASSE, M. & MÜLLER, P. (2018): *Phaetonellus* aus dem Devon des Rhenohertzynikums (Trilobita, Emsium und Eifelium, rechtsrheinisches Schiefergebirge). – Dortmund. Beitr. zur Landesk., **48**: 97-183, 20 Abb., 1 Tab., 5 Taf.; Dortmund.
- CHLUPÁČ, I. (1969): Revision of the Middle Devonian trilobites from Horní Benešov in the Nízky Jeseník Mts. (Moravia). – Sbor. geol. Věd, Ř. P., **10**: 67-103, 5 Abb., 12 Taf.; Prag.

- CHLUPÁČ, I. (1977): The phacopid trilobites of the Silurian and Devonian of Czechoslovakia. – Rozpr. Ústř. Úst. Geol., **43**: 1-172, 26 Abb., 32 Taf.; Prag.
- ERBEN, H.K. (1952): Trilobiten aus dem Älteren Hercyn (Unterdevon) des Unterharzes. – Neues Jb. Geol. u. Paläont., **94** (2/3): 150-362, 64 Abb., 5 Tab., 8 Taf.; Stuttgart.
- ECKELMANN, K., NESBOR, H.-D., KÖNIGSHOF, P., LINNEMANN, U., HOFMANN, M., LANGE, J.-M. & SAGAWA, A. (2014): Plate interactions of Laurussia and Gondwana during the formation of Pangaea – Constraints from U-Pb LA-SF-ICP-MS detrital zircon ages of Devonian and Early Carboniferous siliciclastics of the Rheohercynian zone, Central European Variscides. – Gondwana Research, **25**: 1484-1500, 8 Abb., 2+19 Tab.; Amsterdam.
- FLICK, H. (2012): Geologische Karte von Hessen 1: 25 000 (GK25), Bl. 5315 Herborn, 2. überarb. Aufl.; Wiesbaden (HLNUG).
- FLICK, H. & NESBOR, H.-D. (2021): Lahn-Dill-Gebiet. – In: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie – HLNUG (Hrsg.): Geologie von Hessen: 49-77, 14 Abb., 1 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart).
- FLICK, U. (1999): Die Trilobiten von Greifenstein/Hörre – Ableger einer böhmischen Fauna im Rheinischen Schiefergebirge. – Jb. nass. Ver. Naturkd., **120**: 23-40, 11 Abb., 1 Tab., 2 Taf.; Wiesbaden.
- FLICK, U. (2018): Die Trilobiten-Fauna im Greifenstein-Kalk der Typlokalität (Grenzbereich Emsium/Eifelium) – ein Zwischenbericht. – Jb. nass. Ver. Naturkd., **139**: 133-161, 6 Abb., 2 Tab., 1 Taf.; Wiesbaden.
- FLICK, U. (2021a): *Belenopyge bellerophon* n. sp. und *Perunaspis?* sp. (Trilobita) aus dem Greifenstein-Kalk der Typlokalität (Grenzbereich Emsium/Eifelium, Unter-/Mitteldevon). – Geol. Jb. Hessen, **140**: 35-46, 5 Abb., 2 Taf.; Wiesbaden.
- FLICK, U. (2021b): Die Scutelluidae RICHTER & RICHTER, 1955 (Trilobita) des Greifenstein-Kalks an der Typlokalität sowie von Günterod (Grenzbereich Emsium/Eifelium, Unter-/Mitteldevon). – Geol. Jb. Hessen, **140**: 47-71, 9 Abb., 5 Taf.; Wiesbaden.
- FLICK, U. (2021c): Taxa der Phacopinae HAWLE & CORDA, 1847 (Trilobita) aus dem Grenzbereich Emsium/Eifelium sowie Unter-Eifelium (Unter-/Mitteldevon) der Bicken-Ense-Decke (Rheinisches Schiefergebirge). – Geol. Jb. Hessen, **140**: 73-100, 7 Abb., 2 Tab., 5 Taf.; Wiesbaden.
- HUCKRIEDE, H. (1992): Das Barytlager von Günterod in der Dillmule (Rheinisches Schiefergebirge, Deutschland): eine allochthone Scholle in givetischen Debris-Flow-Sedimenten. – Geol. Jb. Hessen, **120**: 117-144, 8 Abb.; Wiesbaden.
- KAYSER, E. (1907): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten, Lfg. 101, Bl. Oberscheld. – 127 S., 15 Abb., 7 Tafeln; Berlin (Kgl. Geol. L.-Anst.).
- KAYSER, E. & HOLZAPFEL, E. (1894): Über die stratigraphischen Beziehungen der böhmischen Stufen F, G, H. Barrande's zum rheinischen Devon. – Jb. kgl. preuß. geol. Reichsanst. für das Jahr 1893, **45**: 287-306, 3 Abb.; Berlin.
- KIM, I.-S. (1997): Trilobiten aus dem Greifensteiner Kalk (Grenzbereich Unter-/Mitteldevon). – Palaeontographica Abt. A, **245** (1-6): 157-205, 8 Abb., 2 Tab., 12 Taf.; Stuttgart.
- LOTZ, H. (1901): Pentamerus-„Quarzit“ und Greifensteiner Kalk. – Jb. kgl. preuß. geol. L.-Anst. für das Jahr 1900, **21**: 64-80, 3 Abb.; Berlin.
- NESBOR, H.-D. (2021): Geotektonisch-paläogeographische Entwicklung Mitteleuropas im Paläozoikum. – In: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie – HLNUG (Hrsg.): Geologie von Hessen: 17-33, 7 Abb.; Stuttgart (Schweizerbart).
- NOVÁK, O. (1890): Vergleichende Studien an einigen Trilobiten aus dem Hercyn von Bicken, Wildungen, Greifenstein und Böhmen. – Palaeont. Abh., N.F., **1** (3): 1-46, 8 Abb., 5 Taf.; Jena.
- PILLET, J. (1972): Les trilobites du Dévonien inférieur et du Dévonien moyen du Sud-Est du Massif armoricain. – Mém. Soc. Ét. Sc. Anjou, **1**: 1-307. 152 Abb., 64 Taf.; Angers.

- PŘIBYL, A. (1946): Příspěvek k poznání českých Proetidů (Trilobitae). – Rozpr. Čs. Akad. Věd, Ř. mat. přír. Věd **55** (10): 1–37, 1 Abb, 4 Taf.; Prag.
- PŘIBYL, A. (1965): O rodu *Phaetonellus* Novák, 1890 (Trilobitae) a jeho zástupcích z českého siluru a devonu. Über die Gattung *Phaetonellus* (Trilobitae) und ihre Vertreter aus dem böhmischen Silur und Devon. – Sbor. Nár. Muz. V Praze, Ř. B, přír. Vědy, **21** (2): 71–86, 4 Taf.; Prag.
- RICHTER, R. & SCHMIDT, H. (1956): Kann eine Unterart Genotypus sein? – Senck. leth., **37** (5/6): 543–546; Frankfurt/Main.
- RUNZHEIMER, H. (o. J.): Palaeontologische und geologische Untersuchung des Greifensteiner Kalks von Greifenstein; Diss., Universität Frankfurt am Main. – 333 S., 4 Tab., 5 Taf.; Frankfurt/M.
- SIEHL, A. (1962): Der Greifensteiner Kalk (Eifelium, Rheinisches Schiefergebirge) und seine Brachiopodenfauna. I. Geologie; Atrypacea und Rostrospiracea. – Palaeontographica Abt. A, **119** (5-6): 173–221, 38 Abb., 8 Tab., 18 Taf.; Bonn.
- ŠNAJDR, M. (1980): Bohemian Silurian and Devonian Proetidae (Trilobita). – Rozpr. Ústř. Úst. Geol., **26**: 1–263, 61 Abb., 36 Taf.; Prag.
- VAN VIERSEN, A. (2015): Trilobites du Dévonien des Ardennes (zone rhéno-hercynienne): biostratigraphie, évolution et événements. – Fossiles, Revue française de paléontologie, **24**: 5–24, 58 Abb.; Saint-Julien-du-Pinet.
- VOGDEN, A. W. (1925): Palaeozoic Crustacea. Part II – A List of the Genera and Subgenera of the Trilobita. – Transactions of the San Diego Society of Natural History, **4**: 87–115; San Diego.
- WEDDIGE, K. (1996): Devon-Korrelationstabelle. – Senck. leth., **76** (1/2): 267–286, 7 Abb., 43 Tab.-Spalten; Frankfurt/M.

DR. ULRICH FLICK  
Carl-Orff-Ring 5  
87616 Marktobendorf  
E-Mail: uflick@gmx.de

Manuskripteingang: 5. Juni 2023

## Anhang (Tafeln)

### Tafel 1

*Phaetonellus rhenanus* (Novák, 1890), vermeintl. Günterod-Kalk, Unter-Eifelium/Mitteldevon, Günterod.

Fig. 1. Thoracopygon, Schalenerhaltung, Slg. RICHTER SMF 88197. a) Dorsalansicht in der Totalen. b) Dorsalansicht auf das Cephalon. c) Frontalansicht. d) Lateralansicht.

Fig. 2. Exuviae in Negativerhaltung, Slg. KRÜGER 1886 SMF Mbg. 7881, Silikonabdruck des Negativs. a) Lateralansicht der Freiwange. b) Dorsalansicht in der Totalen. c) Dorsalansicht des Pygidiums.

Jeweils Maßstab 5 mm, alle Objekte geweißt.

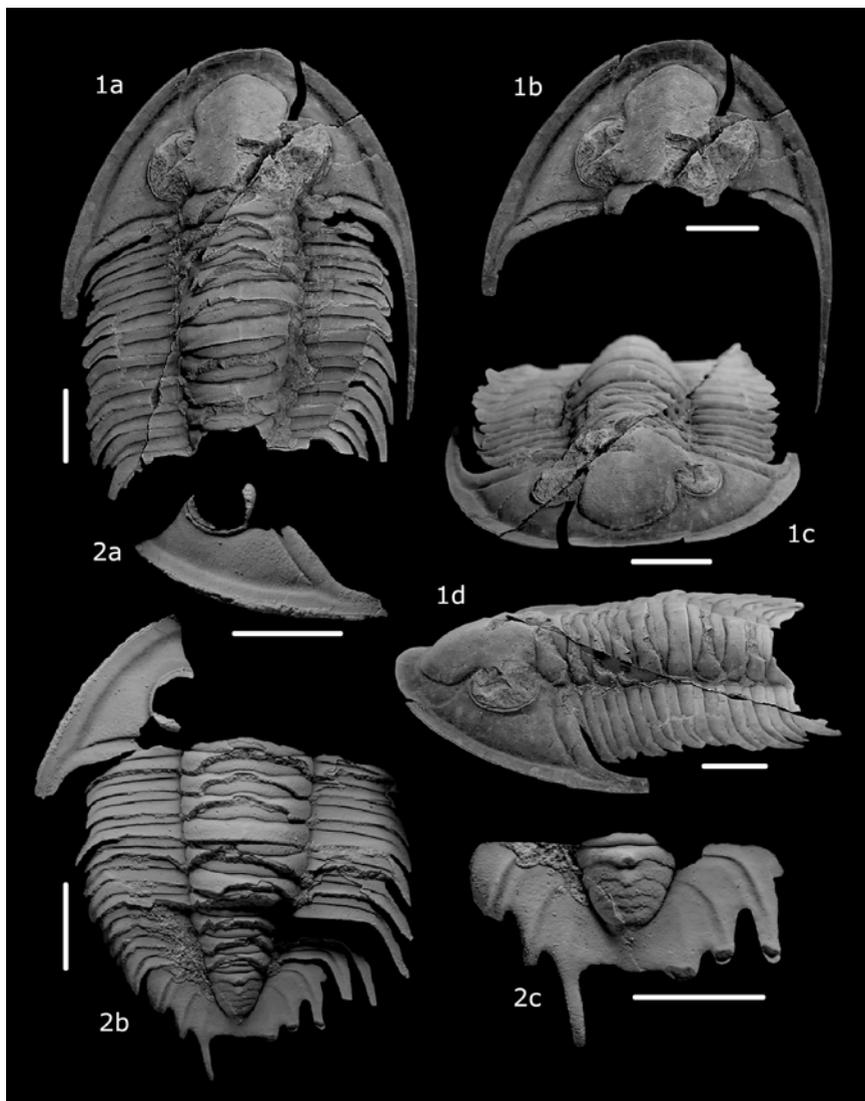
### Plate 1

*Phaetonellus rhenanus* (Novák, 1890), supposedly Günterod Limestone, Lower Eifelian/Middle Devonian, Günterod.

Fig. 1. Thoracopygon, original carapace, coll. RICHTER SMF 88197. a) Dorsal view of the complete specimen. b) Dorsal view of the cephalon. c) Frontal view. d) Lateral view.

Fig. 2. Exuviae in negative preservation, coll. KRÜGER 1886 SMF Mbg. 7881, silicon cast of the negative. a) Lateral view of the free cheek. b) Dorsal view of the complete specimen. c) Dorsal view of the pygidium.

All figures scale 5 mm, all specimens whitened.



## Tafel 2

Fig. 1. *Phaetonellus aloisi phorkys* n. ssp., Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Greifenstein. Pygidium in Positiv- und Negativerhaltung, Holotypus, Slg. Verfasser (HLNUG). a) Dorsalansicht des Positivs. b) Dorsalansicht des Silikonabdrucks.

Fig. 2. *Phaetonellus aloisi phorkys* n. ssp. vel *Phaetonellus kimi* BASSE & MÜLLER, 2018, Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Greifenstein. Cranidiumfragment, Schalenerhaltung, Slg. Verfasser (HLNUG). Dorsalansicht.

Fig. 3-4. *Phaetonellus aloisi aloisi* PŘIBYL, 1965, Suchomasty-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Füllung eines Neptunian Dyke, Lúmek, 250 m SW des Red Quarry, Koněprusy/Böhmen. Fotos P. Budil/CGS.

Fig. 3. Cranidium, Schalenerhaltung, MŠ 8144 (CGS). Dorsalansicht.

Fig. 4. Cranidiumfragment, Schalenerhaltung, MŠ 8140 (CGS). Dorsalansicht.

Fig. 5-11. *Phaetonellus planicauda spechti* n. ssp., Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Greifenstein.

Fig. 5. Cranidium, größtenteils Schalenerhaltung, KIM 679 (GPIBo). a) Dorsalansicht. b) Lateralansicht. c) Frontalansicht.

Fig. 6. Cranidiumfragment, größtenteils Schalenerhaltung, Slg. Verfasser (HLNUG). a) Dorsalansicht. b) Lateralansicht. c) Frontalansicht.

Fig. 7. Freiwange, Schalenerhaltung, KIM 714 (GPIBo). Dorsalansicht.

Fig. 8. Freiwange, Schalenerhaltung, Slg. Verfasser (HLNUG). Dorsalansicht.

Fig. 9. Freiwange, Schalenerhaltung, KIM 710 (GPIBo). Dorsalansicht.

Fig. 10. Pygidium, größtenteils Schalenerhaltung, Holotypus, Slg. Verfasser (HLNUG). a) Dorsalansicht. b) Lateralansicht.

Fig. 11. Pygidium, größtenteils Schalenerhaltung, Slg. RICHTER 1926 SMF 97518. Dorsalansicht. Fig. 1-10 Maßstab 1 mm, Fig. 11-12 Maßstab 2 mm, alle Objekte geweißt.

## Plate 2

Fig. 1. *Phaetonellus aloisi phorkys* n. ssp., Greifenstein Limestone, boundary Lower to Middle Devonian, Greifenstein. Pygidium, positive and negative, holotype, coll. of the author (HLNUG). a) Dorsal view of the positive. b) Dorsal view of the silicon cast.

Fig. 2. *Phaetonellus aloisi phorkys* n. ssp. vel *Phaetonellus kimi* BASSE & MÜLLER, 2018, Greifenstein Limestone, boundary Lower to Middle Devonian, Greifenstein. Fragment of the cranidium, original carapace, coll. of the author (HLNUG). Dorsal view.

Fig. 3-4. *Phaetonellus aloisi aloisi* PŘIBYL, 1965, Suchomasty Limestone, boundary Lower to Middle Devonian, filling of a neptunian dyke, Lúmek, 250 m SW of the red quarry, Koněprusy/Bohemia. Photographs courtesy of Mr. P. Budil/CGS.

Fig. 3. Cranidium, original carapace, MŠ 8144 (CGS). Dorsal view.

Fig. 4. Fragment of the cranidium, original carapace, MŠ 8140 (CGS). Dorsal view.

Fig. 5-11. *Phaetonellus planicauda spechti* n. ssp., Greifenstein Limestone, boundary Lower to Middle Devonian, Greifenstein.

Fig. 5. Cranidium, mostly original carapace, KIM 679 (GPIBo). a) Dorsal view. b) Lateral view. c) Frontal view.

Fig. 6. Fragment of the cranidium, mostly original carapace, col. of the author (HLNUG). a) Dorsal view. b) Lateral view. c) Frontal view.

Fig. 7. Free cheek, original carapace, KIM 714 (GPIBo). Dorsal view.

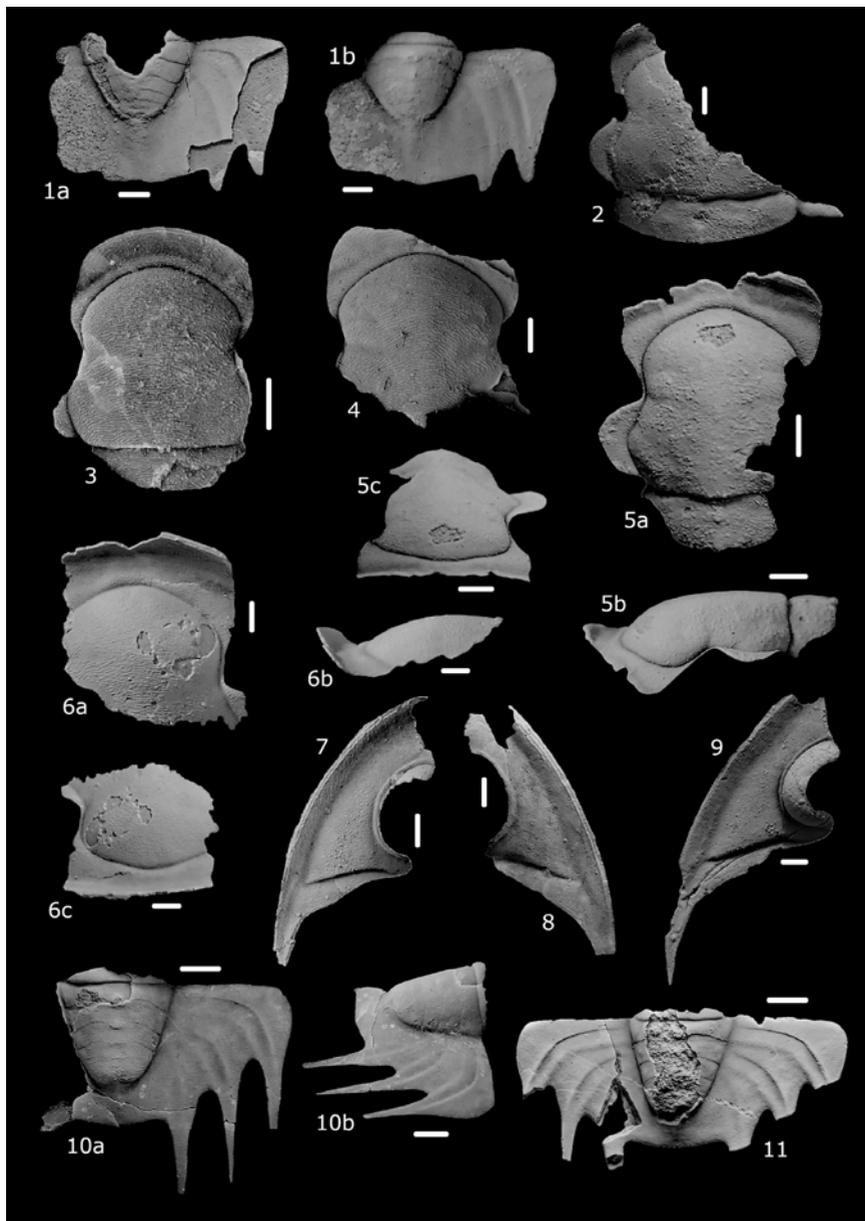
Fig. 8. Free cheek, original carapace, col. of the author (HLNUG). Dorsal view.

Fig. 9. Free cheek, original carapace, KIM 710 (GPIBo). Dorsal view.

Fig. 10. Pygidium, mostly original carapace, holotype, col. of the author (HLNUG). a) Dorsal view. b) Lateral view.

Fig. 11. Pygidium, mostly original carapace, col. RICHTER 1926 SMF 97518. Dorsal view.

Fig. 1-10 scale 1 mm, fig. 11-12 scale 2 mm, all specimens whitened.



**Tafel 3**

*Phaetonellus pymon guenterodicus* n. ssp., sog. Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Günterod.

Fig. 1. Cranidiumfragment, Schalenerhaltung, Slg. RICHTER 1913 SMF 97522. a) Dorsalansicht. b) Lateralansicht.

Fig. 2. Pygidium, Negativerhaltung, Holotypus, Slg. RICHTER 1913 SMF 97519. Dorsalansicht des Silikonabdrucks.

Fig. 3. Pygidium, größtenteils Schalenerhaltung, Slg. RICHTER 1913 SMF 97520. Dorsalansicht.

Fig. 4. Pygidium, größtenteils Schalenerhaltung, Slg. DENCKMANN 1886 SMF 97523 (ehemals Mbg). Dorsalansicht.

Fig. 5. Pygidiumfragment, größtenteils Schalenerhaltung, Slg. RICHTER 1913 SMF 97521. Dorsalansicht.

Jeweils Maßstab 2 mm, alle Objekte geweißt.

**Plate 3**

*Phaetonellus pymon guenterodicus* n. ssp., so-called Greifenstein Limestone, boundary Lower to Middle Devonian, Günterod.

Fig. 1. Fragment of the cranidium, original carapace, coll. RICHTER 1913 SMF 97522. a) Dorsal view. b) Lateral view.

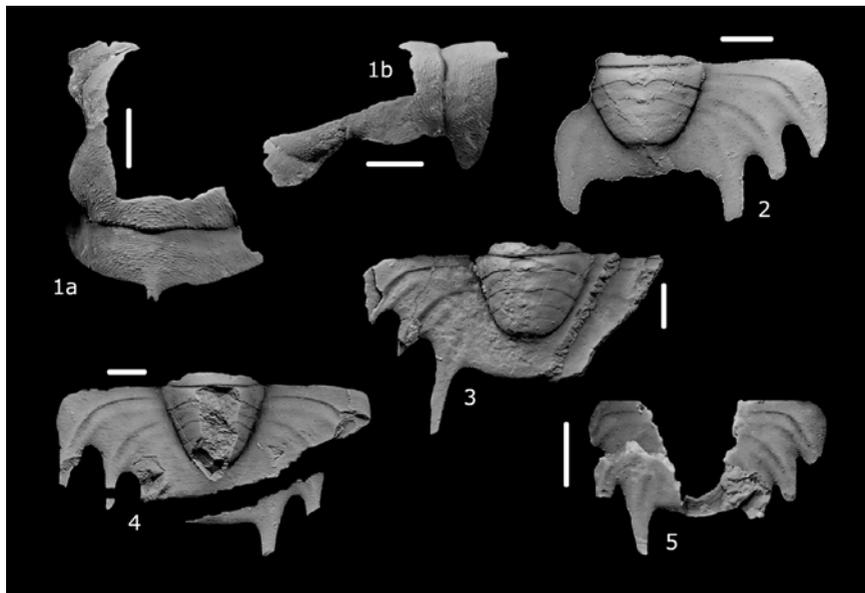
Fig. 2. Pygidium, negative preservation, holotype, coll. RICHTER 1913 SMF 97519. Dorsal view of the silicon cast.

Fig. 3. Pygidium, mostly original carapace, coll. RICHTER 1913 SMF 97520. Dorsal view.

Fig. 4. Pygidium, mostly original carapace, coll. DENCKMANN 1886 SMF 97523 (formerly Mbg). Dorsal view.

Fig. 5. Fragment of the pygidium, mostly original carapace, coll. RICHTER 1913 SMF 97521. Dorsal view.

All figures scale 2 mm, all specimens whitened.



**Tafel 4**

Fig. 1-6. *Phaetonellus vaneki gryps* n. ssp., Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Greifenstein.

Fig. 1. Cranidiumfragment, größtenteils Schalenerhaltung, BGR X 13380. a) Dorsalansicht. b) Lateralansicht c) Frontalansicht.

Fig. 2. Cranidiumfragment, Negativerhaltung, Slg. Verfasser (HLNUG). a) Dorsalansicht des Silikonabdrucks. b) Lateralansicht des Silikonabdrucks.

Fig. 3. Cranidiumfragment, Schalenerhaltung, Slg. Verfasser (HLNUG). a) Dorsalansicht. b) Lateralansicht.

Fig. 4. Cranidiumfragment, Schalenerhaltung, Slg. Verfasser (HLNUG). a) Dorsalansicht. b) Lateralansicht. c) Frontalansicht.

Fig. 5. Pygidium, größtenteils Schalenerhaltung, Holotypus, Slg. Verfasser (HLNUG). Dorsalansicht.

Fig. 6. Pygidium, Schalenerhaltung, Slg. RUNZHEIMER SMF 97524. Dorsalansicht.

Fig. 7. *Phaetonellus vaneki vaneki* PŘIBYL, 1965, Suchomasty-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Zlatý kůň, Císařský lom - mramorová stěna, Koněprusy/Böhmen. Cranidiumfragment, Schalenerhaltung, MŠ 5776 (CGS). Dorsalansicht. Foto P. Budil/CGS.

Fig. 8. *Nagaproetus thaumas* n. sp., sog. Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Günterod. Cranidium, größtenteils Schalenerhaltung, Holotypus, Slg. RICHTER 1913 SMF 97525. a) Dorsalansicht. b) Lateralansicht. c) Frontalansicht.

Fig. 9. *Nagaproetus humilis* G. ALBERTI, 1967, Greifenstein-Kalk, Ober-Emsium/Unterdevon, Greifenstein. Cranidium, größtenteils Schalenerhaltung, KIM 639 (GPIBo). a) Dorsalansicht. b) Lateralansicht.

Fig. 10. *Myoproetus* sp. C sensu U. FLICK (2018), Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Greifenstein. Cranidium, Schalenerhaltung, Slg. Verfasser. Dorsalansicht.

Jeweils Maßstab 2 mm, alle Objekte geweißt.

**Plate 4**

Fig. 1-6. *Phaetonellus vaneki gryps* n. ssp., Greifenstein Limestone, boundary Lower to Middle Devonian, Greifenstein.

Fig. 1. Fragment of the cranidium, mostly original carapace, BGR X 13380. a) Dorsal view. b) Lateral view. c) Frontal view.

Fig. 2. Fragment of the cranidium, negative preservation, coll. of the author (HLNUG). a) Dorsal view of the silicon cast. b) Lateral view of the silicon cast.

Fig. 3. Fragment of the cranidium, original carapace, coll. of the author (HLNUG). a) Dorsal view. b) Lateral view.

Fig. 4. Fragment of the cranidium, original carapace, coll. of the author (HLNUG). a) Dorsal view. b) Lateral view. c) Frontal view.

Fig. 5. Pygidium, mostly original carapace, holotype, coll. of the author (HLNUG). Dorsal view.

Fig. 6. Pygidium, original carapace, coll. RUNZHEIMER SMF 97524. Dorsal view.

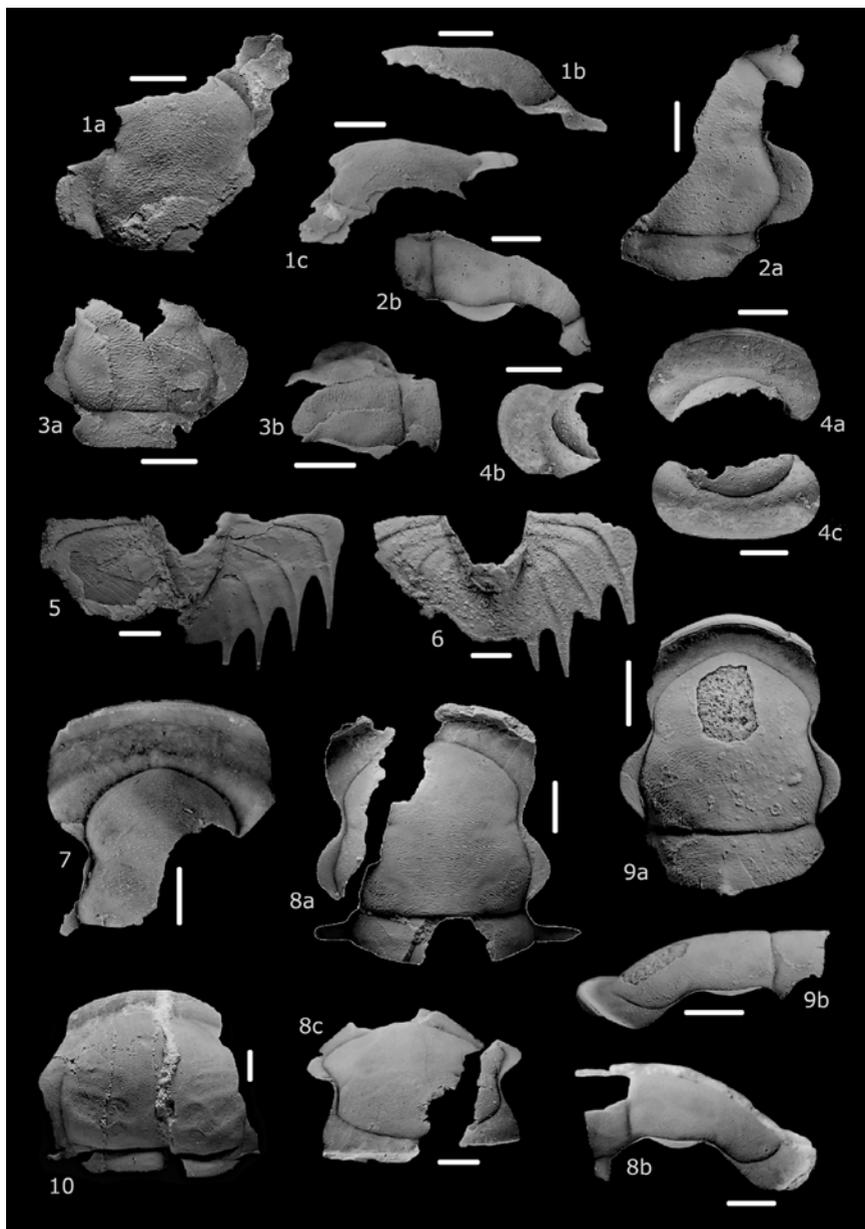
Fig. 7. *Phaetonellus vaneki vaneki* PŘIBYL, 1965, Suchomasty Limestone, boundary Lower to Middle Devonian, Zlatý kůň, Císařský lom - mramorová stěna, Koněprusy/Bohemia. Fragment of the cranidium, original carapace, MŠ 5776 (CGS). Dorsal view. Photograph courtesy of Mr. P. Budil/CGS.

Fig. 8. *Nagaproetus thaumas* n. sp., so-called Greifenstein Limestone, boundary Lower to Middle Devonian, Günterod. Cranidium, mostly original carapace, holotype, coll. RICHTER 1913 SMF 97525. a) Dorsal view. b) Lateral view. c) Frontal view.

Fig. 9. *Nagaproetus humilis* G. ALBERTI, 1967, Greifenstein Limestone, Upper Emsian/Lower Devonian, Greifenstein. Cranidium, mostly original carapace, KIM 639 (GPIBo). a) Dorsal view. b) Lateral view.

Fig. 10. *Myoproetus* sp. C sensu U. FLICK (2018), Greifenstein Limestone, boundary Lower to Middle Devonian, Greifenstein. Cranidium, original carapace, coll. of the author. Dorsal view.

All figures scale 2 mm, all specimens whitened.



**Tafel 5**

*Phaetonellus pymon dillensis* BASSE & MÜLLER, 2018. Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Greifenstein.

Fig. 1. Cranidium, Schalenerhaltung, KIM 681 (GPIBo). a) Dorsalansicht. b) Lateralansicht. c) Frontalansicht.

Fig. 2. Cranidium, größtenteils Schalenerhaltung, KIM 683 (GPIBo), Holotypus zu *Ph. greifensteinensis* BASSE & MÜLLER, 2018. a) Dorsalansicht. b) Lateralansicht. c) Frontalansicht.

Fig. 3. Cranidium, Schalenerhaltung, Slg. Verfasser (HLNUG). a) Dorsalansicht. b) Lateralansicht.

Fig. 4. Cranidium, Silikonabdruck des Negativs, Slg. Verfasser (HLNUG). Dorsalansicht.

Fig. 5. Pygidium, Schalenerhaltung, KIM 691 (GPIBo). Dorsalansicht.

Fig. 6. Pygidium, größtenteils Schalenerhaltung, Slg. RICHTER SMF 97526. Dorsalansicht.

Fig. 7. Pygidium mit teratologischem Hinterrand, Slg. Verfasser (HLNUG). a) Dorsalansicht des Positivs. b) Dorsalansicht des Silikonabdrucks des Negativs.

Fig. 8. Pygidium, Schalenerhaltung, KIM 688 (GPIBo). Dorsalansicht.

Jeweils Maßstab 1 mm, alle Objekte geweißt.

**Plate 5**

*Phaetonellus pymon dillensis* BASSE & MÜLLER, 2018. Greifenstein Limestone, boundary Lower to Middle Devonian, Greifenstein.

Fig. 1. Cranidium, original carapace, KIM 681 (GPIBo). a) Dorsal view. b) Lateral view. c) Frontal view.

Fig. 2. Cranidium, mostly original carapace, KIM 683 (GPIBo), holotype of *Ph. greifensteinensis* BASSE & MÜLLER, 2018. a) Dorsal view. b) Lateral view. c) Frontal view.

Fig. 3. Cranidium, original carapace, coll. of the author (HLNUG). a) Dorsal view. b) Lateral view.

Fig. 4. Cranidium, silicon cast of the negative, coll. of the author (HLNUG). Dorsal view.

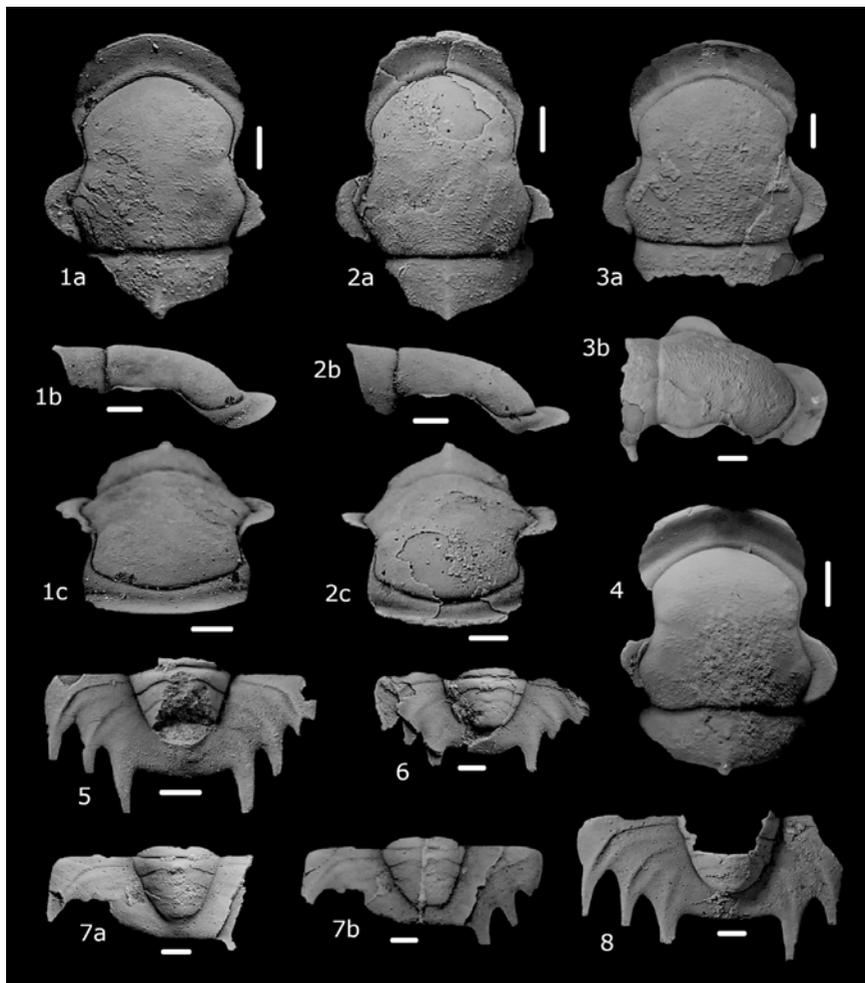
Fig. 5. Pygidium, original carapace, KIM 691 (GPIBo). Dorsal view.

Fig. 6. Pygidium, mostly original carapace, coll. RICHTER SMF 97526. Dorsal view.

Fig. 7. Pygidium with teratological margin, coll. of the author (HLNUG). a) Dorsal view of the positive. b) Dorsal view of the silicon cast of the negative.

Fig. 8. Pygidium, original carapace, KIM 688 (GPIBo). Dorsal view.

All figures scale 1 mm, all specimens whitened.



**Tafel 6**

Fig. 1-6. *Phaetonellus* sp. Gr. Greifenstein-Kalk, Grenzbereich Unter-/Mitteldevon, Greifenstein.  
 Fig. 1. Cranidium, größtenteils beschalt, KIM 680 (GPIBo). a) Dorsalansicht. b) Lateralansicht.  
 c) Frontalansicht.

Fig. 2. Cranidium, Silikonabdruck des Negativs, Slg. Verfasser (HLNUG). a) Dorsalansicht. b) Lateralansicht.

Fig. 3. Pygidium, beschalt, BGR X 13381. Dorsalansicht.

Fig. 4. Pygidium, teilweise beschalt, KIM 697 (GPIBo). Dorsalansicht.

Fig. 5. Pygidium, größtenteils beschalt, KIM 700 (GPIBo). Dorsalansicht.

Fig. 6. Pygidium, größtenteils beschalt, Slg. RUNZHEIMER SMF 97527. Dorsalansicht.

Fig. 7. *Phaetonellus kimi* BASSE & MÜLLER, 2018. Greifenstein-Kalk, Ober-Emsium, Unterdevon, Greifenstein. Pygidium, teilweise beschalt, Holotypus, KIM 703 (GPIBo). Dorsalansicht.  
 Jeweils Maßstab 1 mm, alle Objekte geweißt.

**Plate 6**

Fig. 1-6. *Phaetonellus* sp. Gr. Greifenstein Limestone, boundary Lower to Middle Devonian, Greifenstein.

Fig. 1. Cranidium, mostly original carapace, KIM 680 (GPIBo). a) Dorsal view. b) Lateral view. c) Frontal view.

Fig. 2. Cranidium, silicon cast of the negative, coll. of the author (HLNUG). a) Dorsal view. b) Lateral view.

Fig. 3. Pygidium, original carapace, BGR X 13381. Dorsal view.

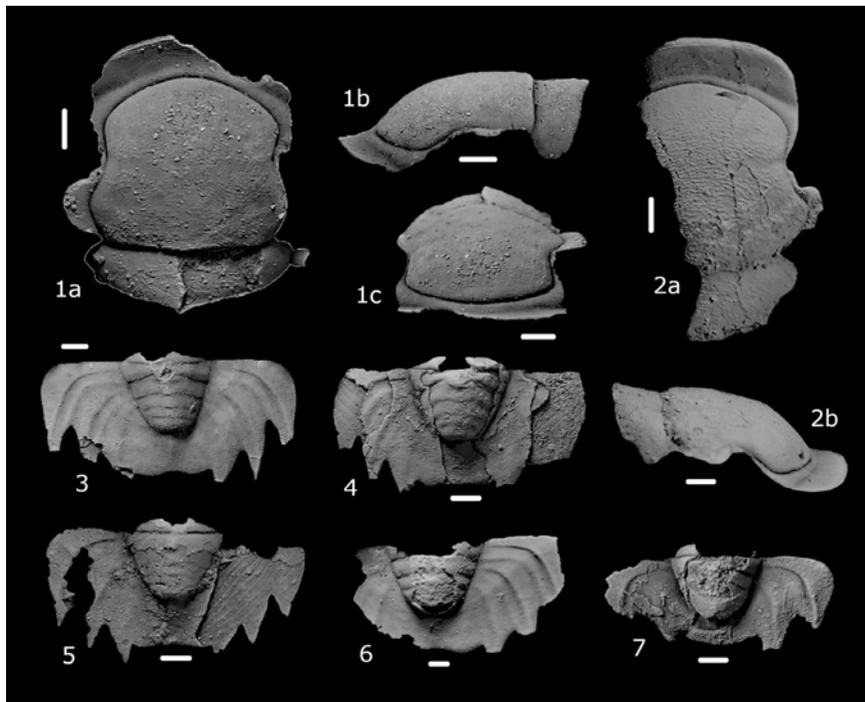
Fig. 4. Pygidium, partly original carapace, KIM 697 (GPIBo). Dorsal view.

Fig. 5. Pygidium, mostly original carapace, KIM 700 (GPIBo). Dorsal view.

Fig. 6. Pygidium, mostly original carapace, coll. RUNZHEIMER SMF 97527. Dorsal view.

Fig. 7. *Phaetonellus kimi* BASSE & MÜLLER, 2018. Greifenstein Limestone, Upper Emsian, Lower Devonian, Greifenstein. Pygidium, partly original carapace, holotype, KIM 703 (GPIBo). Dorsal view.

All figures scale 1 mm, all specimens whitened.





# Die Stechimmenfauna (Hymenoptera, Aculeata) des Botanischen Gartens der Universität Gießen im Vergleich mit einem innerstädtischen privaten Hausgarten

ULRICH FROMMER & HANS BAHMER

In Erinnerung an Theresia Mieritz-Frommer 1948-2022

Stechimmen, Strukturvielfalt, Populationsgröße, Kleinbiotope, Synanthropie

**K u r z f a s s u n g :** Es wird über Untersuchungen zur Stechimmenfauna im Botanischen Garten der Universität Gießen und in einem innerstädtischen privaten Hausgarten in Gießen berichtet. Im Botanischen Garten Gießen wurde eine Anzahl von 153 Bienenarten und 77 Wespenarten nachgewiesen. Die entsprechenden Zahlen für den privaten Hausgarten sind 120 Arten (Bienen) und 78 Arten (Wespen). Neun sehr seltene Stechimmenarten konnten nachgewiesen werden. Die hohe Artenzahl auf kleinem Raum wird im Zusammenhang mit der Strukturvielfalt und somit dem Vorhandensein von wirksamen Kleinbiotopen mit verschiedenen Nistgelegenheiten und dem reichhaltigen Blütenangebot diskutiert und erklärt. Die Diskussion beschäftigt sich mit Überlegungen zur Synanthropie, Populationsgröße, Indigenität, Oligolectie, Wirt-Parasitoid-Paarung, zu Rote Liste-Arten, zum Vergleich mit anderen Botanischen Gärten, zu einwandernden Arten und zum Rückgang der Artenvielfalt.

## The Aculeate fauna (Hymenoptera, Aculeata) of the Botanical Garden of the University of Giessen in comparison with a private inner-city home garden

Aculeates, structural diversity, population size, small biotopes, synanthropy

**A b s t r a c t :** Studies on the Aculeate fauna in the Botanical Garden of the University of Gießen and in an inner-city private home garden in Gießen are reported. 153 species of bees and 77 species of wasps have been identified in the Botanical Garden. The corresponding figures for the private home garden are 120 species (bees) and 78 species (wasps). Nine very rare aculeata species have been recorded. The high number of species in a small area is discussed and explained in connection with the structural diversity and thus the presence of effective small biotopes with various nesting sites and the rich range of flowers. The discussion addresses considerations of synanthropy, population size, indigenoussness, oligolecty, host-parasitoid pairs, Red List species, comparison to other botanical gardens, immigrant species and biodiversity decline.

### Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	184
2	Der Botanische Garten der Universität Gießen .....	184
2.1	Geschichte des Botanischen Gartens .....	184
2.2	Heutige Situation des Botanischen Gartens .....	185
2.3	Klimatische Verhältnisse .....	185
3	Methoden und Darstellungshinweise .....	186

4	Ergebnisse .....	187
4.1	Bienen .....	187
4.2	„Wespen“ .....	193
4.3	Stechimmennachweise vor 1990 .....	196
5	Bemerkenswerte Arten .....	198
5.1	Bienen .....	198
5.2	„Wespen“ .....	210
6	Diskussion .....	214
6.1	Die Situation der Stechimmenfauna in der Stadt Gießen .....	214
6.2	Die Stechimmenfauna des Botanischen Gartens und des innerstädtischen Hausgartens .....	215
7	Danksagung .....	220
8	Literatur .....	220

## 1 Einleitung

Das Interesse an der Lebensweise der Stechimmen, zu denen „Bienen“ und „Wespen“ gehören, hat in der letzten Zeit in erfreulicher Weise zu genommen. Dabei steht im Vordergrund, die faszinierenden Tiere direkt im eigenen Lebensbereich, also im eigenen Garten, zu beobachten. Jedoch wird meist verkannt, dass im Siedlungsbereich nur ein geringer Teil solcher Arten vorkommt und nur ein noch kleinerer Teil von diesen an den vielfach (oft unsachgemäß hergestellten) Nisthilfen beobachtet werden kann. Aus den in dieser Arbeit vorgestellten Untersuchungen im Botanischen Garten der Justus-Liebig-Universität Gießen und in einem innerstädtischen privaten Hausgarten in Gießen geht hervor, dass die zu beobachtende Artenvielfalt in solchen Gärten viel größer sein kann als erwartet. Der Botanische Garten der Universität Gießen ist schon seit Jahrhunderten für die Bewohner ein „Juwel“ im Herzen dieser Stadt, was aufgrund der Untersuchungsergebnisse auch bezüglich der Stechimmenfauna gesagt werden kann.

## 2 Der Botanische Garten der Universität Gießen

### 2.1 Geschichte des Botanischen Gartens

Der Botanische Garten der Universität Gießen ist einer der ältesten Botanischen Gärten in Deutschland. Er wurde schon 1609 durch den Hessischen Landgrafen Ludwig V., zwei Jahre nach Gründung der nach ihm benannten Universität, eingerichtet. Die neu gegründete Universität innerhalb der Landesfestung Gießen umfasste so von Beginn an eine medizinische Fakultät mit einem *hortus medicus*, in dem vor allem Heilpflanzen angebaut wurden. Im Rahmen der napoleonischen

Schleifung der Festung wurde ab 1805 der Festungswall abgetragen und die neu entstandenen Flächen begrünt. Schon für 1733 ist die Bezeichnung *Botanischer Universitätsgarten* mit ersten Erweiterungsflächen nachgewiesen. Mit der Gründung der forstwirtschaftlichen Fakultät wurde ab 1802 östlich des schon bestehenden Gartens ein *Universitätsforstgarten* eingerichtet, von dem noch heute große Reste mit zum Teil waldähnlichen Partien innerhalb des heutigen Geländes erhalten sind (vgl. Kapitel 2.2). Auch die östlich anschließenden Villen aus der Gründerzeit waren von großen parkähnlichen Gärten eingerahmt. Das mit einer Freifläche von nur 3 Hektar im Vergleich zu anderen Botanischen Gärten kleine Gartengelände stand mit dem artenreichen Offenland des direkt anschließenden Wieseck-Tals mit seinen Wäldern und Auen in enger Verbindung.

## 2.2 Heutige Situation des Botanischen Gartens

Heute befindet sich im mittleren, sonnendurchfluteten Teil des Botanischen Gartens eine ausgedehnte systematische Abteilung, in der die wichtigsten europäischen Pflanzenfamilien mit jeweils zahlreichen Arten vertreten sind. Diese sind besonders für oligolektische Bienenarten wichtig, die nur an den Blüten bestimmter Pflanzenfamilien Pollen sammeln. Daneben existieren weitere Abteilungen wie z. B. die Abteilung der Medizinalpflanzen, die Pflanzen des ursprünglichen „*hortus medicus*“ beherbergt. Weitere Abteilungen sind geographisch oder pflanzensoziologisch geordnet wie z. B. „Steppe“ und „Prärie“ oder Bereiche mit heimischen Sandtrocken- oder Kalkmagerrasen als Beispiele für die Flora von heute in Deutschland gefährdeten Standorten. Das Alpikum zeigt eine reiche Auswahl von Hochgebirgsarten z. B. von Pflanzen der Alpen, der Pyrenäen, des Balkans und des Kaukasus. Die kulturhistorische Abteilung enthält Kulturpflanzen, die für die Ernährung des Menschen in Mitteleuropa bedeutsam sind: solche, die schon in der der Jungsteinzeit bekannt waren, weitere, die in der der Römerzeit eingeführt wurden (z. B. Pfirsich oder Weinstock) oder aus Südamerika eingeführte Arten (z. B. Kartoffel, Tomate). Zusammen mit der blütenreichen Flora in den natürlich gestalteten Bereichen des waldähnlichen ehemaligen Forstgartens ergibt sich im Botanischen Garten der Universität Gießen ein überaus reiches Angebot an Pollen- bzw. Nektarquellen sowie an Nistbiotopen für die verschiedenen heimischen Arten von Stechimmen, auf die in dieser Arbeit näher eingegangen wird.

## 2.3 Klimatische Verhältnisse

Die Stadt Gießen a. d. Lahn liegt im Gießener Becken am „Lahnknie“ auf ca. 160 m ü. NN, wo die von Norden kommende Lahn nach Westen abknickt und stellt eine natürliche Wärmeinsel dar, da sie von den Ausläufern des Vogelsbergs im Osten, dem Gladenbacher Bergland im Norden und den Hintertaunus im Südwesten umringt ist. Im Süden ist das Gießener Becken durch die sog. „Gießener Schwel-

le“ (einem Taunusausläufer von maximal 250 m ü. NN) nur unmerklich von der wärmegetönten Wetterau getrennt, die wiederum in direkter Verbindung mit den Wärmegebieten in der Oberrheinebene steht. Die Lufttemperaturen sind in der Kernstadt Gießens (mit dem Botanischen Garten) aufgrund des Stadtklimas noch etwas höher als in der weiteren Umgebung. Im Vergleich zur internationalen Referenzperiode 1991–2020 mit einer mittleren Jahrestemperatur von 10,0 °C betrug die mittlere Jahrestemperatur 2022 11,6 °C. Bei sommerlichen Strahlungswetterlagen ist das Stadtklima durch unterschiedliche Effekte zusätzlich wesentlich wärmer als das Klima in der Umgebung (siehe Kapitel 6.1). Betrug die mittlere Sommertemperatur (Juni, Juli, August) im Zeitraum 1991–2020 noch 18,3 °C, wurden im Jahr 2021 18,9 °C gemessen und im Jahr 2022 sogar 20,9 °C. Daher ist die Stadt Gießen auch potentiell Siedlungsgebiet für wärmeliebende Arten, die sich in der Sommerperiode reproduzieren (KLAUSNITZER 1982).

### 3 Methoden und Darstellungshinweise

In den beiden Listen der Bienen und Wespen (Tab. 1 und 2) werden Nachweise und Beobachtungen nach 1990 aufgeführt. Funde vor 1990 werden in Tab. 3 vorgestellt. Die Untersuchungen begannen 1994 im privaten Hausgarten des Erstautors und 1996 im Botanischen Garten zunächst vorwiegend mit gezieltem Handfang (Käscherfang). Dabei wurde der städtische Hausgarten des Erstautors aus naheliegenden Gründen regelmäßig und intensiver untersucht. Bis 2014 erfolgten mit dieser Sichtfangmethode im Botanischen Garten sporadische Besuche, die ab 2015 intensiviert wurden und mit dem Aufstellen von Gelbschalen und von Nisthilfen mit Bohrungen von 2–8 mm in gehobeltem Buchenholz und in Form von ausgelegten Bambus- und Schilfstängeln bis heute ergänzt wurden. Im „Hausgarten“ wurden Gelbschalen schon seit der Jahrtausendwende eingesetzt. Im Jahre 2022 erfolgte ein 12-tägiger Einsatz mit einer Malaisefalle durch J. Vogel im Rahmen des GBOL Projekts III (ZFMK). Die Untersuchungen im Botanischen Garten wurden etwa seit 2010 durch die sehr intensiven photographischen Beobachtungen des Zweitautors (bis 2014 in unabhängiger Weise) durchgeführt und ergänzt, der fast an allen sonnigen Tagen in der Vegetationsperiode hier tätig ist (BAHMER 2016, 2022). Seit 2015 erfolgte eine intensive Zusammenarbeit mit dem Plan der vorliegenden Publikation und kleineren Publikationen im Vorfeld (FROMMER & BAHMER (2016, 2018). Die Determinierung der Tiere erfolgte durch den Erstautor mit der in den Roten Listen der Stechimmen Hessens ausführlich dargelegten Bestimmungsliteratur (TISCHENDORF et al. 2009, TISCHENDORF, FROMMER & FLÜGEL 2011, TISCHENDORF et al. 2013; FROMMER, TISCHENDORF & FLÜGEL 2017, FROMMER & TISCHENDORF 2021, FROMMER & TISCHENDORF im Druck).

Abkürzungen: NMOK = Naturkundemuseum Ottoneum, Kassel, OÖLM = Oberösterreichische Landesmuseen, Linz, Biologiezentrum (A), ZFMK = Zoologisches Forschungsmuseum Alexander König, Bonn, LMNM = Landesmuseum für Natur und Mensch, Oldenburg, GBOL = German Barcode of Life, EN = „Entomologische Notizen“ (H. Wolf), OT = Ortsteil, BA = Bahmer, DR = Drewes, FR = Frommer, WO = Wolf, WE = Weiffenbach, leg. = legit = (lat.) er/sie hat gesammelt, coll. = collectio (lat.) Sammlung, vid. = vidit (lat.) er/sie hat gesehen, confirm. = confirmavit (lat.) er/ sie hat bestätigt, l. c. = locus citatus = (lat.) (schon) zitierter Ort, d. h. an anderen Orten (vorher) zitiert, aff. = (lat.) affirmation, mit Wahrscheinlichkeit, BG = Botanischer Garten, HG = innerstädtischer Hausgarten, RL = Rote Liste, Hf = Handfang, Gs = Gelbschale, Fd = Fotodokumentation, Tf = Totfund.

## 4 Ergebnisse

Bei der Darstellung werden die Ergebnisse der Untersuchungen im Botanischen Garten der Universität Gießen im Zusammenhang mit Untersuchungen in dem innerstädtischen Hausgarten des Erstautors dargestellt. Dieser besonders blütenreiche, mit vielen für Wildbienen wichtigen Pollenpflanzen (WESTRICH 1990, 2019) bestückte Garten liegt in einer Entfernung von etwa 400 m Luftlinie vom Botanischen Garten und besitzt nur etwa 400 Quadratmeter Fläche. Er ist eingeraht von weiteren, heute hauptsächlich als Rasen genutzten Gärtenflächen (die in den letzten Jahren durch Bebauung ziemlich verkleinert wurden) und befindet sich in der Nähe des parkähnlichen Alten Friedhofs. Die Stechimmenfauna dieses Gartens wurde seit 1994 intensiv bearbeitet und wird als Teil einer städtischen Gartenfauna in der Diskussion (Kapitel 6) im Vergleich mit dem viel größeren Botanischen Garten erörtert.

### 4.1 Bienen

In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die recherchierten Bienenarten aufgelistet.

Tabelle 1: Liste der im Botanischen Garten und im innerstädtischen Hausgarten in Gießen nachgewiesenen Bienenarten

Table 1: List of bee species recorded in the Botanical Garden and in the inner-city house garden in Giessen

Gattung, Art	Autor	BG	HG	RL	Methode	Pollenpflanze/ Larvennahrung/ Wirt
<i>Andrena agilissima</i>	(Scopoli 1770)	X		3/3	Hf, Fd	Brassicaceae
<i>Andrena barbilabris</i>	(Kirby 1802)	X		V/G	Hf, Gs, Fd	poly
<i>Andrena bicolor</i>	Fabricius 1775	X	X		Hf, Gs, Fd	poly, 2. Gen. <i>Campanula</i>
<i>Andrena chrysoceles</i>	(Kirby 1802)	X	X		Hf, Gs	poly
<i>Andrena cineraria</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Hf, Gs	poly
<i>Andrena curvungula</i>	Thomson 1870	X	X	3/3	Hf, Gs, Fd	<i>Campanula</i>

Tabelle 1 Fortsetzung  
 Table 1 continued

Gattung, Art	Autor	BG	HG	RL D/ He	Methode	Pollenpflanze/ Larvennahrung/ Wirt
<i>Andrena dorsata</i>	(Kirby 1802)	X			Hf, Fd	poly
<i>Andrena flavipes</i>	Panzer 1799	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Andrena florea</i>	Fabricius 1793	X	X		Hf, Gs, Fd	<i>Bryonia</i> (Cucurbitaceae)
<i>Andrena fucata</i>	Smith 1847	X			Gs	poly
<i>Andrena fulva</i>	(O.T. Müller 1766)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<b><i>Andrena fulvago</i></b>	(Christ 1791)	X	X	3/3	Hf, Gs, Fd	Asteraceae
<i>Andrena gravida</i>	Imhoff 1832	X			Gs	poly
<i>Andrena haemorrhoa</i>	(Fabricius 1781)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Andrena helvola</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Gs	poly
<i>Andrena labiata</i>	Fabricius 1781	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<b><i>Andrena lagopus</i></b>	Latreille 1809	X			Hf, Fd	Brassicaceae
<i>Andrena minutula</i>	(Kirby 1802)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Andrena minutuloides</i>	Perkins 1914	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Andrena nigroaenea</i>	(Kirby 1802)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Andrena nitida</i>	(Müller 1776)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Andrena ovatula</i> (s. str.)	(Kirby 1802)	X			Gs	poly
<i>Andrena pilipes</i>	Fabricius 1781	X	X		Hf, Fd	poly
<i>Andrena proxima</i> (s. str.)	(Kirby 1802)	X	X		Hf, Fd	Apiacea
<i>Andrena pusilla</i>	Pérez 1903	X	X		Hf, Gs	poly
<b><i>Andrena rosae</i></b>	Panzer 1801	X		3/1	Fd	Asteraceae
<i>Andrena scotica</i>	Perkins 1916	X			Tf, Gs	poly
<i>Andrena strombella</i>	Stoekherth 1928	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Andrena subopaca</i>	Nylander 1848	X	X		Hf, Gs	poly
<i>Andrena tibialis</i>	(Kirby 1802)	X	X		Hf	poly
<b><i>Andrena viridescens</i></b>	Viereck 1916	X		V/V	Hf, Gs, Fd	<i>Veronica</i> (Scrophulariaceae)
<i>Anthidium manicatum</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly (Fabaceae, Lamiaceae)
<b><i>Anthidium nanum</i></b>	Moscary 1879	X		3/3	Hf, Fd	Asteraceae ( <i>Centaurea</i> u. a.)
<i>Anthidium oblongatum</i>	(Illiger 1806)	X		V/V	Hf, Fd	poly
<i>Anthidium strigatum</i>	(Panzer 1805)	X			Gs	poly
<i>Anthophora furcata</i>	(Panzer 1798)		X		Hf	Lamiaceae ( <i>Stachys sylvatica</i> )
<i>Anthophora plumipes</i>	(Pallas 1772)	X	X		Tf, Fd	poly
<b><i>Anthophora quadrimaculata</i></b>	(Panzer 1798)	X	X	V/3	Hf, Fd	poly
<i>Anthophora retusa</i>	Linnaeus 1758	X			Fd	poly
<i>Apis mellifera</i>	Linnaeus 1758	X	X		Tf, Gs, Fd	poly

Tabelle 1 Fortsetzung  
Table 1 continued

Gattung, Art	Autor	BG	HG	RL D/ He	Methode	Pollenpflanze/ Larvennahrung/ Wirt
<i>Bombus (Psith.) barbutellus</i>	(Kirby 1802)	X	X		Tf, Gs	P bei <i>B. hortorum</i>
<i>Bombus (Psith.) campestris</i>	(Panzer 1801)	X	X		Tf, Fd	P bei <i>B. pascuorum</i> u.a.
<i>Bombus cryptarum</i>	(Fabricius 1775)		X		Tf	poly
<i>Bombus hortorum</i>	(Linnaeus 1761)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Bombus hypnorum</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Bombus lapidarius</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Bombus lucorum</i> (s. str.)	(Linnaeus 1761)	X	X		Tf, Gs, Fd	poly
<i>Bombus (Psith.) norvegicus</i>	(Sparre-Schneider 1918)		X		Tf	P bei <i>B. hypnorum</i>
<i>Bombus pascuorum</i>	(Scopoli 1763)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Bombus pratorum</i>	(Linnaeus 1761)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Bombus (Psith.) rupestris</i>	(Fabricius 1793)	X	X		Tf, Fd	P bei <i>B. lapidarius</i>
<i>Bombus soroensis</i>	(Fabricius 1776)		X		Hf	poly
<i>Bombus sylvarum</i>	(Linnaeus 1761)	X	X	V/V	Hf, Fd	poly
<i>Bombus sylvestris</i>	(Lepeletier 1832)	X	X		Tf, Fd	P bei <i>B. pratorum</i>
<i>Bombus terrestris</i> (s. str.)	(Linnaeus 1758)	X	X		Tf, Gs, Fd	poly
<i>Bombus vestalis</i>	(Geoffroy 1785)	X	X		Tf, Hf, Fd	P bei <i>B. terrestris</i>
<i>Ceratina cyanea</i>	(Kirby 1802)		X		Hf	poly
<i>Chelostoma campanularum</i>	(Kirby 1802)	X	X		Hf, Gs, Fd	<i>Campanula</i>
<i>Chelostoma distinctum</i>	Stoekherth 1929	X	X		Hf, Fd	<i>Campanula</i>
<i>Chelostoma florisomme</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Hf, Fd	<i>Ranunculus</i>
<i>Chelostoma rapunculi</i>	(Lepeletier 1841)	X	X		Hf, Gs, Fd	<i>Campanula</i>
<i>Coelioxys alata</i>	Förster 1853	X		1/0	Hf, Fd	P bei <i>Megachile ligniseca</i>
<i>Coelioxys aurolimbata</i>	Förster 1853	X	X	V/G	Hf, Fd	P bei <i>Megachile ericetorum</i>
<i>Coelioxys echinata</i>	Förster 1853	X		*/G	Hf, Fd	P bei <i>Megachile rotundata</i>
<i>Coelioxys elongata</i>	Lepeletier 1841	X	X	*/V	Hf, Hf/Fd	P bei <i>Megachile willughb.</i>
<i>Colletes cunicularius</i>	(Linnaeus 1761)	X			Hf, Fd	<i>Salix</i> (Salicaceae)
<i>Colletes daviesanus</i>	Smith 1846	X	X		Hf, Fd	Asteraceae
<i>Colletes hederæ</i>	Schmidt & Westrich 1993	X	X		Hf, Fd	<i>Hedera helix</i>
<i>Colletes similis</i>	Schenck 1853	X			Hf, Fd	Asteraceae
<i>Epeoloides coecutiens</i>	(Fabricius 1775)	X		*/G	Fd	P bei <i>Macropis</i>
<i>Epeolus variegatus</i>	(Linnaeus 1758)	X				P bei <i>Colletes</i>
<i>Eucera nigrescens</i>	Pérez 1879	X	X		Hf, Gs, Fd	Fabaceae
<i>Halictus eurygnathus</i>	Blüthgen 1931	X			Gs	poly
<i>Halictus scabiosae</i>	(Rossi 1790)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Halictus subauratus</i>	(Rossi 1792)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly

Tabelle 1 Fortsetzung  
Table 1 continued

Gattung, Art	Autor	BG	HG	RL D/ He	Methode	Pollenpflanze/ Larvennahrung/ Wirt
<i>Halictus tumulorum</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Heriades truncorum</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Hf, Gs, Fd	Asteraceae
<i>Hylaeus annularis</i>	(Kirby 1802)	X			Gs	poly
<i>Hylaeus brevicornis</i>	Nylander 1852	X	X		Gs	poly
<i>Hylaeus communis</i>	Nylander 1852	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Hylaeus difformis</i>	(Eversmann 1852)		X		Hf	poly
<i>Hylaeus gibbus</i> (s. str.)	Saunders 1850	X	X		Gs	poly
<i>Hylaeus gredleri</i> (s. str.)	Förster 1871	X			Hf, Gs	poly
<i>Hylaeus hyalinatus</i>	Smith 1842	X	X		Hf, Gs	poly
<i>Hylaeus leptocephalus</i>	(Morawitz 1870)	X	X		Hf, Gs	poly
<i>Hylaeus nigritus</i>	(Fabricius 1798)	X	X		Hf, Gs	poly
<i>Hylaeus pictipes</i>	Nylander 1852	X	X		Hf, Gs	poly
<i>Hylaeus punctatus</i>	(Brullé 1832)	X	X		Hf, Gs	poly
<i>Hylaeus punctatissimus</i>	Smith 1842	X		G/G	Hf	<i>Allium</i>
<i>Hylaeus signatus</i>	(Panzer 1798)	X			Hf, Gs, Fd	<i>Reseda</i>
<i>Hylaeus sinuatus</i>	(Schenck 1853)	X	X		Hf, Gs	poly
<i>Hylaeus styriacus</i>	Förster 1871	X			Gs	poly
<i>Hylaeus variegatus</i>	(Fabricius 1798)	X	X		Gs, Fd	poly
<i>Lasioglossum albipes</i>	(Fabricius 1781)	X			Gs	poly
<b><i>Lasioglossum bluethgeni</i></b>	Ebmer 1971	X			Gs	poly
<i>Lasioglossum calceatum</i>	(Scopoli 1763)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Lasioglossum costulatum</i>	(Kriechbaumer 1873)	X			Hf, Fd	<i>Campanula</i>
<i>Lasioglossum fulvicorne</i>	(Kirby 1802)	X	X		Hf, Gs	poly
<i>Lasioglossum laticeps</i>	(Schenck 1870)	X	X		Hf, Gs	poly
<i>Lasioglossum leucopus</i>	(Kirby 1802)		X		Hf, Gs	poly
<i>Lasioglossum leucozonium</i>	(Schrank 1781)	X			Gs	poly
<i>Lasioglossum malachurum</i>	(Kirby 1802)	X			Gs	poly
<i>Lasioglossum minutissimum</i>	(Kirby 1802)	X	X		Hf, Gs	poly
<i>Lasioglossum minutulum</i>	(Schenck 1853)	X	X		Hf, Gs	poly
<i>Lasioglossum morio</i>	(Fabricius 1793)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Lasioglossum pauxillum</i>	(Schenck 1853)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Lasioglossum politum</i>	(Schenck 1853)	X	X		Hf, Gs	poly
<i>Lasioglossum punctatissimum</i>	(Schenck 1853)		X		Gs	poly
<i>Lasioglossum sexstrigatum</i>	(Schenck 1868)	X			Gs	poly

Tabelle 1 Fortsetzung  
 Table 1 continued

Gattung, Art	Autor	BG	HG	RL D/ He	Methode	Pollenpflanze/ Larvennahrung/ Wirt
<i>Lasioglossum smeathmanellum</i>	(Kirby 1802)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Lasioglossum villosulum</i>	(Kirby 1802)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Macropis europaea</i>	Warncke 1973	X			Hf, Fd	<i>Lysimachia</i> (Primulaceae)
<i>Macropis fulvipes</i>	(Fabricius 1804)		X		Hf	<i>Lysimachia</i> (Primulaceae)
<i>Megachile alpicola</i>	Alfken 1924		X		Tf	poly
<i>Megachile centuncularis</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Megachile ericetorum</i>	Lepeletier 1841	X	X	*IV	Hf, Fd	Fabacea
<i>Megachile lapponia</i>	Thomson 1872		X		Hf	<i>Epilobium</i>
<i>Megachile nigriventris</i>	Schenck 1870	X	X		Hf, Fd	poly
<b><i>Megachile pilidens</i></b>	Alfken 1924	X		3/V	Hf, Gs, Fd	poly
<i>Megachile rotundata</i>	(Fabricius 1787)	X	X		Hf, Fd	poly
<i>Megachile versicolor</i>	Smith 1844	X	X		Hf, Gs	poly
<i>Megachile willughbiella</i>	(Kirby 1802)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Melecta albifrons</i>	(Forster 1771)	X	X		Hf, Fd	P bei <i>Anthophora plumipes</i>
<i>Melitta haemorrhoidalis</i>	(Fabricius 1775)	X			Fd	<i>Campanula</i>
<i>Nomada alboguttata</i>	Herrich-Schäffer 1839	X			Fd	P bei <i>Andrena barbilabris</i>
<i>Nomada atrocutellaris</i>	Strand 1921	X		V/V	Fd	P bei <i>Andrena viridescens</i>
<i>Nomada bifasciata</i>	Olivier 1811	X			Gs	P bei <i>Andrena gravida</i>
<b><i>Nomada braunsiana</i></b>	Schmiedeknecht 1882	X			Gs	P bei <i>Andrena cuvungula</i>
<i>Nomada conjugens</i>	Herrich-Schäffer 1839		X		Gs	P bei <i>Andrena promixa</i> -Gr.
<i>Nomada fabriciana</i>	(Linnaeus 1767)	X	X		Hf, Gs, Fd	P bei <i>Andrena bicolor</i>
<i>Nomada flava</i>	Panzer 1798		X		Hf	P bei <i>Andrena nitida</i>
<i>Nomada flavoguttata</i>	(Kirby 1802)	X	X		Hf, Gs	P bei <i>Andrena minutula</i> u. a.
<i>Nomada fucata</i>	Panzer 1798	X	X		Hf, Gs, Fd	P bei <i>Andrena flavivipes</i>
<i>Nomada goodeniana</i>	(Kirby 1802)	X			Gs	P bei <i>A.cineraria</i> u. a.
<i>Nomada lathburiana</i>	(Kirby 1802)	X			Hf, Fd	P bei <i>A.cineraria</i> u. a.
<i>Nomada marshamella</i>	(Kirby 1802)	X			Hf, Gs, Fd	P bei <i>Andrena scotica</i>
<i>Nomada ruficornis</i>	(Linnaeus 1758)		X		Gs	P bei <i>Andrena haemorrhoea</i>
<i>Nomada panzeri</i>	Lepeletier 1841		X		Hf	P bei <i>Andrena varians</i> -Gr.
<i>Nomada sheppardana</i>	(Kirby 1802)	X	X		Gs	P bei <i>Lasiogl.</i> -Arten.
<i>Nomada signata</i>	Jurine 1807	X			Hf, Fd	P bei <i>Andrena fulva</i>
<i>Nomada zonata</i>	Panzer 1798	X			Hf	P bei <i>Andrena dorsata</i> (?)
<i>Osmia adunca</i>	(Panzer 1798)	X			Hf, Fd	<i>Echium</i>
<i>Osmia bicornis</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly

Tabelle 1 Fortsetzung  
Table 1 continued

Gattung, Art	Autor	BG	HG	RL D/ He	Methode	Pollenpflanze/ Larvennahrung/ Wirt
<i>Osmia brevicornis</i>	(Fabricius 1798)	X	X	G/G	Hf	Brassicaceae
<i>Osmia caerulescens</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Osmia cornuta</i>	(Latreille 1805)	X	X		Hf, Gs, Fd	poly
<i>Osmia leaiana</i>	(Kirby 1802)		X	3/G	Hf	Asteraceae
<i>Osmia leucomelana</i>	(Kirby 1802)	X	X		Hf, Gs	poly
<i>Osmia niveata</i>	(Fabricius 1804)	X	X	3/3	Hf, Gs, Fd	Asteraceae
<i>Panurgus banksianus</i>	(Kirby 1802)		X		Hf	Asteraceae
<i>Panurgus calcaratus</i>	(Scopoli 1763)	X	X		Hf, Gs, Fd	Asteraceae
<i>Sphecodes albilabris</i>	(Fabricius 1793)	X	X		Hf, Fd	P bei <i>Colletes cunicularius</i>
<i>Sphecodes crassus</i>	Thomson 1870	X			Gs	P bei <i>Lasiogl. paxillum</i>
<i>Sphecodes ephippius</i>	(Linnaeus 1767)	X	X		Hf, Gs	P bei <i>Halictus tumulorum</i>
<i>Sphecodes ferruginatus</i>	von Hagens 1882	X	X		Hf, Gs	P bei <i>L. morio</i> , <i>L. leucopus</i>
<i>Sphecodes geoffrellus</i>	(Kirby 1802)	X			Hf, Gs	P bei <i>L. paxillum</i> u.a.
<i>Sphecodes hyalinatus</i>	von Hagens 1882	X	X		Hf, Gs	P bei <i>L. fulvicorne</i>
<i>Sphecodes miniatus</i>	von Hagens 1882		X		Gs	P bei <i>L. nitidiusculum</i> u. a.
<i>Sphecodes niger</i>	von Hagens 1874	X	X		Hf, Gs	P bei <i>L. morio</i>
<i>Sphecodes pellucidus</i>	Smith 1845	X			Gs	P bei <i>Andrena barbilabris</i>
<i>Sphecodes pseudofasciatus</i>	Bluethgen 1925	X			Gs	P bei <i>Lasiogl. glabriusculum</i>
<i>Stelis breviscula</i>	(Nylander 1848)	X	X		Hf, Gs, Fd	P bei <i>Heriades truncorum</i>
<i>Stelis minima</i>	Schenck 1861		X		Hf, Gs	P bei <i>Ch. campanularum</i>
<i>Stelis punctulatissima</i>	(Kirby 1802)	X	X		Hf, Gs, Fd	P bei <i>Anthidium manicatum</i>
<i>Thyreus orbatus</i>	(Lepeletier 1841)	X		2/1	Hf, Fd	P bei <i>Antho. quadrimaculata</i>
<i>Xylocopa violacea</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Tf, Fd	poly
Summe (inkl. Tab. 3)		153	120	Arten		

Erläuterungen: RL D = Rote Liste Deutschland (WESTRICH et al. 2011, SCHMID-EGGER 2011), RL He = Rote Liste Hessen (Kapitel 3), P = Kuckucksbiene oder -wespe bzw. Parasitoid bei anderen Stechimmen

Spalte «Rote Liste»: 0 = ausgestorben oder verschollen, 1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet, G = Gefährdung unbekanntes Ausmaßes, R = extrem selten, V = Vorwarnliste, D = Daten unzureichend, \* = ungefährdet

Die Angaben zu «Pollenpflanzen / Larvennahrung / Wirt» in der letzten Spalte dienen nur der groben Orientierung und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie sollen lediglich die vielfache Vernetzung der genannten Tiere und Pflanzen andeuten.

## 4.2 „Wespen“

In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die recherchierten Wespenarten aufgelistet.

Tabelle 2: Liste der im Botanischen Garten und im privaten innerstädtischen Hausgarten in Gießen nachgewiesenen Wespenarten

Table 2: List of wasp species recorded in the Botanical Garden and in the private inner-city home garden in Giessen

Gattung, Art	Autor	BG	HG	RL D/ He	Methode	Pollenpflanze/ Larvennahrung/ Wirt
<b>Goldwespen (Chrysididae)</b>						
<i>Chrysis corusca</i>	Valkeila 1971		X		Hf	P bei <i>Symmorphus gracilis</i>
<i>Chrysis ignita</i> aggr.	Abeille 1879		X		Tf, Hf, Gs	
<i>Chrysis terminata</i>	Dahlbom 1854		X		Tf	P bei <i>Ancistrocerus nigricornis</i>
<i>Chrysis viridula</i>	(Linnaeus 1761)		X		Hf	P bei <i>Odynerus spinipes</i> u. a.
<i>Chrysura hybrida</i>	Lepelletier 1806	X		1/1	Gs	P bei <i>Osmia anthocopoides</i>
<i>Hedychridium roseum</i>	Rossi 1790		X		Gs	P bei <i>Astata boops</i>
<i>Hedychrum gerstäckeri</i>	Chevrier 1869	X	X		Hf, Gs, Fd	P bei <i>Cerceris rybyensis</i>
<i>Hedychrum rutilans</i>	(Dahlbom 1854)	X	X		Hf, Fd	P bei <i>Philanthus triangulum</i>
<i>Holopyga generosa</i>	(Förster 1853)	X			Hf, Gs, Fd	P bei <i>Astata boops</i>
<i>Omalus aeneus</i> (s. str.)	(Fabricius 1887)	X			Gs	P bei <i>Passaloecus</i> spp. u. a.
<i>Pseudomalus auratus</i> (s. str.)	(Linnaeus 1761)	X			Hf, Gs, Fd	P bei <i>Diodontus</i> spp. u. a.
<i>Trichrysis cyanea</i>	(Linnaeus 1761)	X	X		Hf, Gs	P bei <i>Trypoxylon</i> spp. u. a.
<b>Wegwespen (Pompilidae)</b>						
<i>Agenoioideus cinctellus</i>	(Spinola 1808)	X	X		Gs	Spinnen
<i>Agenoioideus sericeus</i>	(Vander Linden 1827)	X	X		Gs	Spinnen
<i>Agenoioideus usurarius</i>	(Tournier 1899)		X		Gs	Spinnen
<i>Anoplius concinnus</i>	(Dahlbom 1843)	X			Gs	Spinnen
<i>Anoplius infuscatus</i>	(Vander Linden 1829)	X			Gs	Spinnen
<i>Anoplius nigerrimus</i>	(Scopoli 1763)	X			Gs	Spinnen
<i>Arachnospila anceps</i>	(Wesmael 1851)	X	X		Gs	Spinnen
<i>Arachnospila minutula</i>	(Dahlbom 1842)	X	X		Gs	Spinnen
<i>Arachnospila spissa</i>	(Schiodte 1837)	X			Gs	Spinnen
<i>Auplopus carbonarius</i>	(Scopoli 1763)	X	X		Gs	Spinnen
<i>Dipogon variegatus</i>	(Linnaeus 1758)	X			Gs	Spinnen
<i>Priocnemis fennica</i>	Haupt 1927	X			Gs	Spinnen
<i>Priocnemis hyalinata</i>	(Fabricius 1793)	X			Gs	Spinnen
<i>Priocnemis perturbator</i>	(Harris 1780)	X			Gs	Spinnen
<b>Grabwespen (Sphecidae)</b>						
<i>Ammophila sabulosa</i>	(Linnaeus 1758)	X			Hf, Fd	unbehaarte Nachtfalterraupen

Tabelle 2 Fortsetzung  
 Table 2 continued

Gattung, Art	Autor	BG	HG	RL D/ He	Methode	Pollenpflanze/ Larvennahrung/ Wirt
<b>Grabwespen (Crabronidae)</b>						
<i>Astata boops</i>	(Schrank 1781)	X			Hf, Gs, Fd	Wanzenlarven
<i>Cerceris quinquefasciata</i>	(Rossi 1792)	X			Hf, Gs	Rüsselkäfer
<i>Cerceris rybyensis</i>	(Linnaeus 1771)	X	X		Hf, Gs, Fd	Wildbienen
<i>Crossocerus annulipes</i>	(Lepeletier & Brullé 1834)	X	X		Hf, Gs	Zikaden, Blattflöhe
<i>Crossocerus barbipes</i>	(Dahlbom 1845)	X			Gs	kleine Fliegen
<i>Crossocerus binotatus</i>	Lepeletier & Brullé 1834		X		Hf	Fliegen
<i>Crossocerus distinguendus</i>	(Morawitz 1866)		X		Gs	Fliegen
<i>Crossocerus elongatulus</i>	Vander Linden 1829)		X		Gs	Fliegen
<i>Crossocerus exiguus</i>	Vander Linden 1829)	X			Gs	unbekannt
<i>Crossocerus megacephalus</i>	(Rossi 1790)		X		Gs	Fliegen
<i>Crossocerus quadrimaculatus</i>	(Fabricius 1793)		X		Gs	Fliegen
<i>Crossocerus varus</i>	(Lepeletier & Brullé 1835)		X		Gs	Fliegen
<i>Ectemnius cavifrons</i>	(Thomson 1870)		X		Hf, Tf, Gs	Fliegen
<i>Ectemnius cephalotes</i>	(Olivier 1791)	X			Gs	Fliegen
<i>Ectemnius dives</i>	(Lepeletier & Brullé 1834)	X			Gs	Fliegen
<i>Ectemnius lapidarius</i>	(Panzer 1804)		X		Hf	Fliegen
<i>Ectemnius lituratus</i>	(Panzer 1804)	X			Gs	Fliegen
<i>Ectemnius sexcinctus</i>	(Fabricius 1775)		X	V	Tf	Fliegen
<i>Entomognathus brevis</i>	(Vander Linden 1829)	X			Gs	Blatthornkäfer
<i>Gorytes laticinctus</i>	Lepeletier 1832	X			Tf	Zikaden
<b><i>Gorytes planifrons</i></b>	(Wesmael 1852)	X			Tf, Hf, Fd	<i>Issus coleoptratus</i>
<b><i>Isodontia mexicana</i></b>	(Saussure 1867)	X	X		Hf, Gs Fd	Eichenschrecke ( <i>Meconema</i> )
<i>Lindenius albilabris</i>	(Fabricius 1793)	X	X		Hf, Gs	Fliegen
<i>Lindenius pygmaeus</i>	(Vander Linden 1829)	X			Gs	Erzwespen
<i>Mimumesa dahlbomi</i>	(Wesmael 1852)	X			Gs	Zikaden
<i>Miscophus bicolor</i>	Jurine 1807		X	D	Gs	Spinnen
<i>Nitela lucens</i>	Gayubo & Felton 2000		X		Tf	Rindenläuse (?)
<i>Nitela spinolae</i>	Latreille 1809		X		Tf, Gs	Rindenläuse
<i>Nysson niger</i>	Chevrier 1867	X			Gs	P bei <i>Gorytes</i> spp.
<i>Oxybelus bipunctatus</i>	Olivier 1812	X	X		Hf	Fliegen
<i>Oxybelus uniglutinis</i>	(Linnaeus 1758)	X			Gs	Fliegen
<i>Passaloecus corniger</i>	Shuckard 1837		X		Hf, Gs	Blattläuse
<i>Passaloecus eremita</i>	Kohl 1893		X		Gs	Blattläuse

Tabelle 2 Fortsetzung  
Table 2 continued

Gattung, Art	Autor	BG	HG	RL D/ He	Methode	Pollenpflanze/ Larvennahrung/ Wirt
<b>Grabwespen (Crabronidae)</b>						
<i>Passaloecus gracilis</i>	(Curtis 1834)	X	X		Gs	Blattläuse
<i>Passaloecus insignis</i>	(Vander Linden 1829)	X	X		Gs	Blattläuse
<i>Passaloecus singularis</i>	Dahlbom 1844	X	X		Hf, Gs	Blattläuse
<i>Passaloecus turionum</i>	Dahlbom 1845	X			Gs	Blattläuse
<i>Pemphredon austriaca</i>	(Kohl 1888)	X	X		Hf, Gs	Blattläuse
<i>Pemphredon clypealis</i>	Thomson 1870		X		Gs	Blattläuse
<i>Pemphredon inornata</i>	Say 1824		X		Gs	Blattläuse
<i>Pemphredon lethifer</i> (s.str.)	(Shuckard 1834)	X	X		Hf, Gs	Blattläuse
<i>Pemphredon littoralis</i>	(Wagner 1918)		X		Hf, Gs	Blattläuse
<i>Pemphredon lugubris</i>	(Fabricius 1793)	X	X		Hf, Gs, Ms	Blattläuse
<i>Pemphredon montana</i>	Dahlbom 1845	X			Mf	Blattläuse
<i>Pemphredon podagrica</i>	Chevrier 1870	X		*D	Hf, Fd	Blattläuse
<i>Pemphredon rugifer</i> (s.str.)	(Dahlbom 1845)		X		Hf, Gs	Blattläuse
<i>Philanthus triangulum</i>	(Fabricius 1775)	X	X		Hf, Gs, Fd	Honigbiene ( <i>Apis mellifera</i> )
<i>Psen ater</i>	(Olivier 1792)	X		3/1	Hf, Gs, Fd	Zikaden
<i>Psenulus brevitarsis</i>	Merisuo 1937		X		Hf, Gs	Blattläuse (?), Blattflöhe (?)
<i>Psenulus fuscipennis</i>	(Dahlbom 1843)		X		Hf	Blattläuse
<i>Psenulus laevigatus</i>	(Schenck 1857)		X		Gs	Blattläuse (?)
<i>Sceliphron curvatum</i>	F. Smith 1860	X	X		Tf, Fd	Spinnen
<i>Sphex funerarius</i>	Gussakovskij 1934	X			Fd	Larven von Heuschrecken
<i>Spilomena beata</i>	Blüthgen 1953		X		Hf	Fransenflügler
<i>Spilomena punctatissima</i>	Blüthgen 1953		X	2/D	Gs	<i>Thysanoptera</i> -Larven (?)
<i>Stigmus pendulus</i>	Panzer 1804		X		Hf, Gs	Blattläuse
<i>Stigmus solskyi</i>	Morawitz 1864		X		Hf	Blattläuse
<i>Trypoxylon attenuatum</i> (s. str.)	F. Smith 1851	X	X		Hf	Spinnen
<i>Trypoxylon beaumonti</i>	Antropov 1991	X	X		Hf, Gs	Spinnen
<i>Trypoxylon clavicerum</i> (s. str.)	Lepeletier & Serville 1825		X		Hf, Gs	Spinnen
<i>Trypoxylon figulus</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Gs	Spinnen
<i>Trypoxylon kolazyi</i>	Kohl 1893		X		Gs	Spinnen
<i>Trypoxylon minus</i>	Beaumont 1945	X	X		Hf, Gs	Spinnen
<b>Solitäre Faltenwespen (Eumeninae)</b>						
<i>Ancistrocerus antilope</i>	(Panzer 1798)		X		Tf	Schmetterlingsraupen
<i>Ancistrocerus claripennis</i>	Thomson 1874	X	X		Hf, Gs	Rüsselkäferlarven

Tabelle 2 Fortsetzung  
 Table 2 continued

Gattung, Art	Autor	BG	HG	RL D/ He	Methode	Pollenpflanze/ Larvennahrung/ Wirt
<b>Solitäre Faltenwespen (Eumeninae)</b>						
<i>Ancistrocerus gazella</i>	(Panzer 1798)	X	X		Hf, Tf, Gs	Schmetterlingsraupen
<i>Ancistrocerus nigricornis</i>	(Curtis 1826)	X	X		Hf, Gs	Schmetterlingsraupen
<i>Delta unguiculatum</i>	(Villers 1789)	X			Hf, Fd	Schmetterlingsraupen
<i>Eumenes coarctatus</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Hf, Gs, Fd	Schmetterlingsraupen
<i>Eumenes coronatus</i>	(Panzer 1799)	X			Hf	Schmetterlingsraupen
<i>Gymnomerus laevipes</i>	(Shuckard 1837)		X		Hf	Rüsselkäferlarven
<i>Microdynerus rugdunensis</i>	(Saussure 1856)		X		Gs	Rüsselkäferlarven
<i>Microdynerus timidus</i>	(Saussure 1856)		X		Gs	Rüsselkäferlarven
<i>Odynerus spinipes</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Hf, Gs, Fd	Rüsselkäferlarven
<i>Symmorphus gracilis</i>	(Brullé 1832)		X		Hf, Tf	Rüsselkäferlarven
<i>Symmorphus murarius</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Hf, Tf	Blattkäferlarven ( <i>Chrysomela</i> )
<b>Soziale Faltenwespen (Polistinae, Vespinae)</b>						
<i>Polistes dominula</i>	(Christ 1791)		X		Hf, Gs, Fd	diverse Insekten
<i>Dolichovespula adulterina</i>	(Buysson 1905)		X		Tf	P bei <i>D. saxonica</i>
<i>Dolichovespula saxonica</i>	(Fabricius 1793)		X		Tf	diverse Insekten
<i>Dolichovespula sylvestris</i>	(Scopoli 1763)	X			Gs	diverse Insekten
<i>Vespa crabro</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Hf, Gs, Fd	diverse Insekten
<i>Vespula germanica</i>	(Fabricius 1793)	X	X		Hf, Gs, Fd	diverse Insekten
<i>Vespula vulgaris</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Hf, Gs, Fd	diverse Insekten
<b>Keulhornwespen (Sapygidae)</b>						
<i>Monosapyga clavicornis</i>	(Linnaeus 1758)	X	X		Hf, Gs	P bei <i>Chelostoma florissome</i>
<i>Sapygina decemguttata</i>	(Fabricius 1793)		X		Hf	P bei <i>Heriades truncorum</i>
<b>Rollwespen (Tiphidae)</b>						
<i>Tiphia femorata</i>	(Fabricius 1775)	X	X		Gs	P bei Blattkäfer-Larven
Summe (inkl. Tab. 3)		77	78	Arten		

### 4.3 Stechimmennachweise vor 1990

In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die vor 1990 im botanischen Garten beheimateten Bienen- und Wespenarten aufgeführt, die nach 1990 nicht nachgewiesen wurden.

Tabelle 3: Meldungen, Nachweise und Belege von Bienen- und Wespenarten, die vor 1990 im Botanischen Garten nachgewiesen wurden.

Table 3: Reports, records and documents of bee and wasp species that were recorded in the Botanical Garden before 1990.

Familie	Gattung/Art/Autor	RL D/ He	Funddatum	leg.	det.	Bemerkung
Andrenidae	<b><i>Andrena floricola</i></b> Eversmann 1852	2/0	07.06.1946	WO	WO	an <i>Brassica</i> , WO EN
Andrenidae	<i>Andrena labialis</i> (Kirby 1802)	V/V	04.06.1946	WO	WO	WO EN
Apidae	<b><i>Bombus confusus</i></b> Schenck 1861	1/0	07.06.1946	WO	WO	an <i>Dictamnus</i> , WO EN
Megachilidae	<b><i>Megachile ligniseca</i></b> (Kirby 1802)	2/3	07.06.1946	WO	WO	an <i>Salvia</i> , WO EN
Megachilidae	<b><i>Osmia anthocopoides</i></b> (Schenck 1853)	3/2	07.06.1946	WO	WO	an <i>Salvia</i> , WO EN
Crabronidae	<i>Crossocerus ovalis</i> Lepeletier & Brullé 1835	*	00.00.1965	WE	DR	Drewes (2003)
Crabronidae	<i>Rhopalum clavipes</i> (Linnaeus 1758)	*	00.00.1964	WE	WE	WE (1989)
Myrmosidae	<i>Myrmosa atra</i> Panzer 1801	*	00.06.1970	WE	FR	WE (1989), coll. WE, LMNM
Vespidae	<i>Euodynerus quadrifasciatus</i> (Fabricius 1793)	*	07.06.1946	WE	WE	WE (1989), Drewes (2003)
Vespidae	<i>Symmorphus bifasciatus</i> (Linnaeus 1761)	*	07.06.1946	WO	WO	an <i>Heracleum</i> , WO EN
Thiphiidae	<i>Tiphia minuta</i> (Vander Linden 1827)	*	21.06.1970	WE	FR	coll. WE, LMNM

Aus dem Botanischen Garten der Universität Gießen existieren Meldungen und Nachweise von Stechimmen vor 1990, die getrennt dargestellt werden (siehe Tab. 3). Zum einen beruhen sie auf Untersuchungen von H. Wolf. Die Ergebnisse seiner Determinationen wurden in den „Entomologischen Notizen“ (EN) niedergeschrieben, die dem Erstautor in Kopie vorliegen. Die entsprechenden Belege dieser tagebuchartigen Aufzeichnungen liegen in den von ihm „ausgewählten“ Museen vor (FROMMER 2021) und seine Untersuchungsergebnisse für die Lahn-Dill-Region wurden von ihm selbst publiziert (WOLF 1956, 1971 und weitere in TISCHENDORF et al. 2009), auch wenn dort der Botanische Garten Gießen nicht explizit erwähnt wird. Zum anderen sind es Daten von „Beifängen“ des Pflanzenwespenforschers H. Weiffenbach aus dem Lahnggebiet, die 1989 publiziert wurden (WEIFFENBACH 1989).

Insgesamt wurden im Botanischen Garten der Universität Gießen 153 Bienenarten und 77 Wespenarten und im innerstädtischen Hausgarten 120 Bienenarten und 78 Wespenarten nachgewiesen.

## 5 Bemerkenswerte Arten

Die Auswahl richtet sich nach der Bedeutung bezüglich der Stechimmenfauna der Innenstadt Gießen, ihrer Seltenheit, ihrer Bedeutung für die Fauna des Gießener Beckens und des Lahngbiets und / oder ihres Status in den Roten Listen Deutschlands oder Hessens.

### 5.1 Bienen

#### ***Andrena agilissima* (Scopoli 1770) – Andrenidae, Sandbienen**

Nachweise: 1♂ 02.06.2022 Gießen Botanischer Garten an Ackersenf, *Sinapis arvensis* Fd/Hf (leg., coll. FR).

Bemerkungen: Ein Nachweis von SCHENCK (1861) bei Weilburg war bis ins 21. Jh. der einzige Hinweis für die Existenz der Blauschillernden Sandbiene *A. agilissima* im Lahntal. Zahlreiche (Wieder)-Funde an warmen Standorten bei Runkel und Umgebung 2001–2005 (FROMMER 2006) und weiter Lahn aufwärts an einem Lössabbruch bei Buseck [OT Großen Buseck] und in der nördlichen Wetterau (FROMMER 2007, 2020) zeigen, dass sich diese Sandbiene wieder in Ausbreitung befindet, was neben der sommerlichen Klimaerwärmung vermutlich auch am Rapsanbau liegt, da die Weibchen dieser Sandbiene oligolektisch an Kreuzblütengewächsen (Brassicaceae) Pollen sammeln. Nun gelang auch ein Nachweis im wärmegetönten Botanischen Garten, wo genügend Brassicaceae zur Reproduktion vorhanden sind. Weitere aktuelle Nachweise erfolgten in Ost- und Nordhessen, Südniedersachsen und Thüringen (Literatur in FROMMER 2020). Bei der rezenten Ausbreitung handelt es sich um eine Arealoszillation mit anschließender Besiedlung neuer Gebiete.

#### ***Andrena barbilabris* (Kirby 1802) – Andrenidae, Sandbienen**

Nachweise: Mehrfach: 9 ♀♀, 1♂ 2000, 2014, 2016, 2017 Gs, Hf, Fd, 2022 Fd/Hf *Brassica oleracea* Gießen Botanischer Garten (leg., coll. FR).

Bemerkungen: Diese Art (Abb. 1) kommt fast ausschließlich in Sandgebieten vor (Flugsandfelder, Sandgruben, sandige Waldränder und Ruderalstellen). Im Botanischen Garten nistet die Art in dem 1998 eingerichteten „Sandmagerrasen“. Wenn diese Art nicht schon vorher im Botanischen Garten bodenständig war, könnte der Sandmagerrasen über außerhalb der Stadt liegende ehemalige Sandabbaustellen besiedelt worden sein, da die Art dort ebenfalls vorkommt (z. B. Nachweise im GLB „am Trieb“, FROMMER 2001).

***Andrena curvungula* Thomson 1870) – Andrenidae, Sandbienen**

Nachweise: 1♀ 2013 Fd, 1♀ 2019 Hf *Campanula*, 1♀ 2021 *Campanula* Fd/Hf, 2♂♂ 2022 Gs Gießen Botanischer Garten; 1♀ 2002, 2014, 2020 Hf *Campanula*, Gießen Hausgarten (alle leg., coll. FR).



Abbildung 1: In dem kleinen Areal des Sandtrockenrasens des Botanischen Gartens nistet im Frühjahr in größeren Aggregationen die Sandbiene *Andrena barbilabris*. Ein Weibchen, das bereits Pollen einträgt, wehrt den Begattungsversuch eines Männchens ab; Foto H. Bahmer.

Figure 1: In spring, the bee species *Andrena barbilabris* nests in large aggregations in the small area of dry sandy grassland in the Botanical Garden. A female that is already collecting pollen fends off a male's attempt to mate; photo H. Bahmer.

Bemerkungen: Die Weibchen dieser Schuppensandbiene sammeln oligolektisch an Glockenblumen (*Campanula* spp.) Pollen. Als Lebensraum dienen daher trockenwarme extensiv genutzte Wiesen, Trockenhänge und sonnige Waldränder. In der letzten Zeit werden mehr und mehr auch geeignete Gärten besiedelt wie der Botanische Garten und der Hausgarten des Erstautors sowie andere Gärten in Gießen (Frommer unpubl.).

***Andrena floricola* Eversmann 1852 - Andrenidae, Sandbienen**

Nachweise: 1♀ 07.06.1946 Hf an *Brassica* Gießen Botanischer Garten (leg., coll. WO, EN).

Bemerkungen: Diese „vielleicht oligolektische, auf Brassicaceae (Kreuzblütler) spezialisierte Art“ (WESTRICH 1990: 494) wurde in der Mitte des 20. Jh. von H. Wolf in der Lahn-Dill-Region auch bei Dillenburg, Herborn und Marburg gefunden mit überprüften Belegen (FR) in den OÖLM.

***Andrena fulvago* (Christ 1791) – Andrenidae, Sandbienen**

Nachweise: 1♀ 2017 Gs, 1♀ 2018 Fd, 2019 *Bunias orientale*, 1♀ Gs, 1♀ 2022 *Hypochaeris* Fd/Hf Gießen Botanischer Garten; 1♀ 2011 Gs, 2♀ 2022 Gs Gießen Hausgarten (leg., coll. FR).

Bemerkungen: Der Lebensraum dieser Biene ist gekennzeichnet durch Struktur-reichtum. Sie besiedelt daher Streuobstwiesen, Trockenwiesen oder Waldränder, „vereinzelt auch im Siedlungsbereich“ (WESTRICH 1990: 497). Die Vorkommen in der gartenreichen Stadt Gießen passen gut in dieses Bild.

***Andrena lagopus* Latreille 1809 – Andrenidae, Sandbienen**

Nachweise: 1♀ 04.06.2022 Fd/Hf Ackersenf (*Sinapis arvensis*) Gießen Botanischer Garten (leg., coll. FR).

Bemerkungen: Seit dem Ende des 20. Jh. hat sich die wärmeliebende und oligolektische, auf Kreuzblütengewächse (Brassicaceae) spezialisierte Zweizellige Sandbiene *A. lagopus* in Deutschland weiter nach Norden und Osten ausgebreitet. Im Jahr 2006 wurde sie in der nördlichen Wetterau mehrfach nachgewiesen (FROMMER 2007) und hat nun das Lahntal südlich von Marburg erreicht (FROMMER 2020 mit ausführlicher Diskussion der Ausbreitung). Das erstmalige Auftauchen der Art im Jahre 2022 im Botanischen Garten in Gießen ist nicht verwunderlich, da dort genügend Brassicaceae zur Reproduktion zur Verfügung stehen.

***Andrena viridescens* Viereck 1916 – Andrenidae, Sandbienen**

Nachweise: 1♀ 2014 Fd, 1♀1♂ 2016 Gs, 2♀♀ 2018 Gs, *Veronica chamaedris*, 3♀♀2019 Gs 1♀ 2019 Hf *V. sylvatica* Gießen Botanischer Garten (leg., coll. FR). Seit dieser Zeit regelmäßig beobachtet.

Bemerkungen: Die oligolektische, auf *Veronica* (Scrophulariaceae) spezialisierte Ehrenpreis-Sandbiene *A. viridescens* hat ihren Siedlungsschwerpunkt an Waldsäumen, trockenen extensiv bewirtschafteten Wiesen und Böschungen, wo der Gamander-Ehrenpreis häufig vorkommt (WESTRICH 1990, 2019). Im Botanischen Garten gibt es eine größere „Waldwiesen“-Fläche mit *Veronica chamaedris*-Vorkommen. Wichtigste Pollenquelle ist aber ein Bereich des Alpinums mit großen Beständen des Wald-Ehrenpreis (*Veronica sylvatica*).

***Andrena rosae* Panzer 1801 – Andrenidae, Sandbienen**

Nachweise: 1♂ 05.07. 2019, 1♂ 24.07. 2020 Fd

Bemerkungen: Die Art wurde noch Mitte des letzten Jahrhunderts im Lahngebiet „häufig“ angetroffen (WOLF 1956) und war seitdem verschollen. In den letzten Jahren gelangen (Wieder)-Nachweise aus dem mittleren Hessen bei Rockenberg und im Schifftenberger Wald bei Gießen (FROMMER 2020) sowie bei Lich [OT Bettenhausen] (Frommer unpubl.)

***Anthidium nanum* Moscáry 1881 = *Pseudanthidium nanum* (Moscáry 1881) – Megachilidae, Woll- und Harzbiene**

Nachweise: 1♀ 20.07.2017 Fd *Centaurea*, 1♀ 21.07.2017 Hf *Centaurea nemoralis* Gießen Botanischer Garten (leg., coll. FR).

Bemerkungen: Über die Wiedernachweise dieser wärmeliebenden und auf Korbblütengewächse (Asteraceae) als Pollenquelle spezialisierte Art wurde bereits ausführlich berichtet (FROMMER 2020). Für die weitere Region des Gießener Beckens ist es der erste Wiedernachweis nach über 125 Jahren (l. c.).

***Anthophora quadrimaculata* (Panzer 1798) – Apidae, Pelzbiene**

Nachweise: Nachweise: 6 ♀♀, 2♂♂ 1995, 1996, 2021 Hf Gießen Hausgarten; 7 ♀♀, 1 ♂ 2001, 2016, 2021, 2022 Hf, Fd Gießen Botanischer Garten (leg., coll. FR).

Bemerkungen: Die Lebensräume der Pelzbiene *A. quadrimaculata* (Abb. 2) sind Sandgruben, Steinbrüche und alte Weinberge und Weinbergbrachen (z. B. bei Lorch a. Rh., TISCHENDORF & FROMMER 2004). Man findet sie aber auch in den Gärten der Städte und Dörfer. Außerhalb des Siedlungsbereichs wird diese Biene heute eher selten beobachtet, weil die bevorzugten Nistplätze wie Steilwände und selten beobachtet, weil die bevorzugten Nistplätze wie Steilwände und natürliche Abbruchkanten und lehmverfugte Mauern selten geworden sind und die geeigneten Pollenquellen wie Lippen- und Schmetterlingsblütler dort oft nicht in genügendem Maße vorkommen (WESTRICH 1990). In den Gärten profitiert sie durch



Abbildung 2: Die Vierfleck-Pelzbiene *Anthophora quadrimaculata* ist eine Hochsommerart und mit den warmen Sommern im Botanischen Garten häufiger geworden. In den letzten Jahren konnte sogar die spezifische Kuckucksbiene *Thyreus orbatus* beobachtet werden; Foto: H. Bahmer.

Figure 2: The bee *Anthophora quadrimaculata* is a midsummer species and has become more common in the Botanical Garden with the warm summers. In recent years, even the specific cuckoo bee *Thyreus orbatus* has been observed; photo: H. Bahmer.

den Anbau von Gewürz- und Zierpflanzen dieser Pflanzenfamilien. Im Botanischen Garten wurde diese Pelzbiene in den letzten Jahren zunehmend häufiger beobachtet (BA).

***Bombus confusus* Schenck 1861 – Apidae, Hummeln**

Nachweise: 1♀ 07.06.1946 Hf an *Dictamnus*, Gießen Botanischer Garten (leg. coll. WO, EN).

Bemerkungen: Die wärmeliebende Hummelart kam in Deutschland nordwärts bis in die Kölner Bucht vor (WESTRICH 1990), in Hessen nur in der südlichen Hälfte. Die Offenlandart besiedelt Trockenhänge und Magerrasen und war noch in der Mitte des 20. Jh. in der Lahn-Dill-Region verbreitet: Weilburg, Marburg, Dillenburg (WOLF 1956, 1971).

***Coelioxys alata* Förster 1853 – Megachilidae, Kegelbienen**

Nachweise: 1♀ 26.08.2021 *Hieracium* Fd/Hf Gießen Botanischer Garten (leg., coll. FR).

Bemerkungen: Historisch wurde *C. alata* (Abb. 3) in Hessen nur einmal aus Weilburg an der Lahn gemeldet: (SCHENCK 1855: 143, „nur 1 ♀ im Jahr 1854“). 2011/2012 gelang in der Gemeinde Mücke [OT Merlau] im Unteren Vogelsberg „Brethsfeldteich“ der erste Wiederfund in Hessen (TISCHENDORF 2013). Als Wirte dieser Kuckucksbiene werden die Blattschneiderbienen *Megachile ligniseca* und *Megachile lapponica* diskutiert, wobei *M. lapponica* tendenziell eher als Nebenwirt angesehen wird (l. c.). Beide Arten konnten in der aktuellen Untersuchung nicht im Botanischen Garten nachgewiesen werden. Allerdings konnte *M. lapponica* im innerstädtischen Hausgarten nachgewiesen werden (1♀ 17.07.2000 an *Telekia speciosa*), sodass ein Vorkommen im nur 400 m weit entfernten Botanischen Garten durchaus möglich ist. *M. ligniseca* wurde im Jahr 1946 aus dem Botanischen Garten gemeldet (Wolf „Entomologische Notizen“, unpubl.), sodass ein aktuelles Vorkommen nicht unbedingt ausgeschlossen ist. Die lichte waldartige Region um den größeren Teich im Botanischen Garten in Gießen entspricht durchaus den Lebensraumsansprüchen, die für *C. alata* in der Literatur beschrieben werden (Literaturangaben in TISCHENDORF 2013: 4-6): „Die Funde in Europa stammen fast ausschließlich aus großen Flusstälern und von feuchten Lebensräumen an Stillgewässern“.

***Coelioxys aurolimbata* Förster 1853 – Megachilidae, Kegelbienen**

Nachweise: 1♂1♀ 1996, 1♂ 2001, 1♂ 2003, 1♂ 2009 Hf, 2♀♀ 2023 Hf,Gs Gießen Hausgarten, 1♀ 2022 Fd/Hf, 1♀ 2022 Tf, Botanischer Garten (leg. coll. FR).

Bemerkungen: *C. aurolimbata* ist Kuckucksbiene bei der in Hessen vor allem in Gärten mäßig häufigen Blattschneiderbiene *Megachile ericetorum*. Bis zur Erstellung der Roten Liste Bienen (TISCHENDORF et al. 2009) waren in Hessen nur zwei Fundorte bekannt, darunter der „Hausgarten“ des Erstautors in Gießen. Inzwi-



Abbildung 3: Die Geflügelte Kegelbiene *Coelioxys alata* zählt zu den Raritäten im Botanischen Garten. Es ist der erste Wiedernachweis im Lahntal seit 1854. Diese Biene ist Kuckucksbiene bei einer Blattschneider-Bienenart. Das flügelartig verbreiterte Bauchsegment 5 ist auf dem Bild deutlich sichtbar. Stillgewässer wie der Weiher im Botanischen Garten sind typische Lebensräume; Photo H. Bahmer.

Figure 3: The bee species *Coelioxys alata* is one of the rarities in the botanical garden. It is the first re-detection in the Lahn valley since 1854. This bee is a cuckoo bee in a leafcutter bee species. The abdominal segment 5, which is widened like a wing, is clearly visible in the picture. Still waters like the pond in the botanical garden are typical habitats; photo: H. Bahmer.



schen gelangen weitere Funde (z. B. im NSG Weilbacher Kiesgruben bei Flörsheim: 1♀ 10.07.2019 leg. coll.FR). Im Laufe des 20. Jh. haben die Bestände beider Arten außerhalb des Siedlungsbereichs stark abgenommen (WESTRICH 1990), so dass *C. aurolimbata* aktuell fast nur noch in Gärten nachgewiesen wird. Der Wirt *M. ericetorum* wird in Botanischen Garten und im „Hausgarten“ und in anderen Gärten Gießens regelmäßig an Schmetterlingsblütlern (*Lathyrus*) beobachtet, an denen die ♀♀ oligolektisch Pollen sammeln.

### ***Coelioxys echinata* Förster 1853 – Megachilidae, Kegelbienen**

Nachweise: 1♀ 2013 Fd, 1♂ 2018 Hf, Fd, 2♂♂ 2022 Fd Gießen Botanischer Garten (leg. coll. FR).

Bemerkungen: *C. echinata* ist Kuckucksbiene bei der wärmeliebenden Blattschneiderbiene *Megachile rotundata*. Über die Vorkommen und die Zeit der Einwanderung beider Bienenarten im Gießener Becken wurde bereits ausführlich berichtet

(FROMMER 2020). Im „Hausgarten“ wird der Wirt seit 1995 regelmäßig nachgewiesen, aber *C. echinata* konnte dort noch nicht beobachtet werden.

***Colletes hederae* Schmidt & Westrich 1993, Colletidae, Seidenbienen**

Nachweise: Zahlreiche ♀♀/♂♂ seit September 2008 beobachtet an Efeu Gießen Hausgarten (FR), seit Herbst 2013 beobachtet an Nestern im „Sandmagerrasen“ des Botanischen Gartens (BA) (leg. coll. FR).

Bemerkungen: Die Efeu-Seidenbiene *C. hederae* (Abb. 4) hat eine in den Herbst verschobene Flugzeit von Ende August bis Ende Oktober (WESTRICH 2019; FROMMER 2010). Die ♀♀ sammeln mit Beginn der Blütezeit des Efeus (*Hedera helix*) Anfang September nur noch an den Blüten des Efeus Pollen. Die erst 1993



Abbildung 4: Ein mit Triangulinen des Ölkäfers *Stenoria analis* voll besetztes Männchen der Efeuseidenbiene *Colletes hederae* beim Nektarbesuch auf einer Blüte des Mannstreu *Eryngium*

beschriebene Art breitete sich seitdem aus: von der Oberrheinebene bei Karlsruhe und Neustadt an der Weinstraße bis in die Kölner Bucht (FROMMER 2008a) und darüber hinaus nach Nordrhein-Westfalen (JACOBI et al. 2015) und über die Rhein-Main-Ebene (TISCHENDORF, FROMMER & CHALWATZIS 2007) und die Wetterau bis ins Gießener Becken und weiter das Lahntal aufwärts bis nach Marburg (FROMMER 2010). Fünf Jahre nach dem Erstnachweis für Gießen im Jahr 2008 (l. c.) gelang 2013 der erste Nachweis einer Nistkolonie im Botanischen Garten in Gießen (BA) in einer Feinsandfläche von ca. 40 m<sup>2</sup> („Sandtrockenrasen“). Beginnend mit einer Kolonie von etwa 30 Nestern bei der Entdeckung, werden seit 2016 jährlich mindestens 300 Nester registriert. Acht Jahre nach dem ersten Nachweis von *C. hederae* in Gießen bzw. drei Jahre nach Entdeckung der Nistkolonie im Botanischen Garten wurde erstmals der Ölkäfer *Stenoria analis* im Botanischen Garten entdeckt (FROMMER & BAHMER 2016), von dem bereits seit mehreren Jah-

jährlich mindestens 300 Nester registriert. Acht Jahre nach dem ersten Nachweis von *C. hederæ* in Gießen bzw. drei Jahre nach Entdeckung der Nistkolonie im Botanischen Garten wurde erstmals der Ölkäfer *Stenoria analis* im Botanischen Garten entdeckt (FROMMER & BAHMER 2016), von dem bereits seit mehreren Jahren bekannt war, dass die Triungulinen dieser Art (die sich in den Thoraxhaaren von *C. hederæ* festsetzen) in die Nester von *C. hederæ* gelangen, um sich dort als Kleptoparasiten zur Imago weiterzuentwickeln. In der Folgezeit konnten im Botanischen Garten die Übertragungswege der Triungulinen (die über die ♂♂ der Efeu-Seidenbiene bei der Paarung auf die ♀♀ übertragen werden) genauer untersucht werden (BAHMER & LÜCKMANN 2022).

### ***Epeoloides coecutiens* (Fabricius 1775) – Apidae, Schmuckbienen**

Nachweise: 1♀ 18.06.2018 *Inula hirta* Fd A. Polenz, Gießen Botanischer Garten.

Bemerkungen: *E. coecutiens* ist Kuckucksbiene bei der Schenkelbiene *Macropis europæa*, die im Botanischen Garten an den Beständen des Gilbweiderichs *Lysimachia vulgaris*, der Hauptpollenquelle des Wirts in dem waldähnlichen Gebiet um den Weiher beobachtet wurde. Bis zur Erstellung der Roten Liste der Bienen Hessens (TISCHENDORF et al. 2009) gab es aktuelle Funde von *E. coecutiens* hauptsächlich aus dem Süden des Landes aus feuchten Waldrandlagen in Flussauen. In der Mitte des 20. Jh. wurden für Hessen nur Meldungen aus dem Lahn- und Dilltal bekannt (WOLF 1956). Mit dem hier vorgestellten Nachweis aus Gießen und weiteren aktuellen Nachweisen bei Weilburg und aus Dillenburg (FROMMER 2020) konnten die ehemaligen Vorkommen von *E. coecutiens* im Lahn- und Dilltal nun wieder bestätigt werden.

### ***Epeolus variegatus* (Linnaeus 1758) – Apidae, Filzbienen**

Nachweise: 1♀ 03. 10. 2017 Fd „Sandmagerrasen“ im Gebiet der Nestaggregationen der Efeu-Seidenbiene *Colletes hederæ*, 1♀ 23.09.2020 Fd/Hf direkt vor einem Nesteingang von *Colletes hederæ* Gießen Botanischer Garten (leg. coll. FR).

Bemerkungen: *E. variegatus* (Abb. 5) ist Kuckucksbiene bei den Seidenbienenarten *Colletes daviesanus*, *C. fodiens* und *C. similis* (WESTRICH 1990, 2019), die alle im Laufe des Sommers fliegen. Daher wird für diese Filzbiene eine univoltine Flugzeit von Mitte Juni bis Mitte August beobachtet (l. c.). Am Ende der Flugzeit sind die Flügel und andere äußere Körperteile der Tiere mehr oder weniger „abgeflogen“. Bei den beiden Weibchen dagegen zeigten sich alle Merkmale frisch geschlüpfter Tiere. Eine Analyse der DNA-Sequenz der Cytochrom-c-oxidase I, einer Untereinheit dieses Mitochondrien-Enzyms (COI) im ZFMK im Rahmen des GBOL-Programms (DNA Barcoding), ergab keine Abweichung der DNA-Norm für das ♀ von *Epeolus variegatus*, das am Nesteingang beobachtet wurde. Kern-DNA konnte nicht untersucht werden. Es stellt sich in Anbetracht der späten Flugzeit der beiden nicht abgeflogenen ♀♀ an den Nestern von *Colletes hederæ* dennoch die Frage, ob es sich hier nicht um den frühen Beginn der Entstehung



Abbildung 5: Die Filzbiene *Epeolus variegatus* ist sehr wahrscheinlich Brutparasit (Kuckucksbiene) bei der Efeuseidenbiene *Colletes hederae*. Ein frisch geschlüpftes Weibchen wurde Ende September direkt vor einem Nesteingang (Pfeil) von *Colletes hederae* im Botanischer Garten beobachtet; Foto: H. Bahmer.

Figure 5: The bee species *Epeolus variegatus* is very likely a brood parasite (cuckoo bee) of the ivy bee *Colletes hederae*. A freshly hatched female was observed at the end of September directly in front of a *Colletes hederae* nest entrance (arrow) in the Botanical Garden; photo: H. Bahmer.

einer neuen Art handeln könnte, die zeitlich auf die späte Flugzeit der Efeu-Seidenbiene spezialisiert ist. Diese Vermutung wird dadurch bestärkt, dass zur normalen Flugzeit von *E. variegatus* (von Mitte Juni bis Mitte August) in den vielen Untersuchungsjahren im Botanischen Garten keine Tiere dieser Art beobachtet werden konnten, obwohl die Wirte *Colletes daviesanus* und *C. similis* im Botanischen Garten häufig auftreten. Allerdings könnte man auch annehmen, dass sich dieses Phänomen dadurch erklärt, dass diese Seidenbienen nur Nahrungsgäste im Botanischen Garten sind und sich ihre Nester außerhalb dieses Gebiets befinden, wo sich naturgemäß vor allem die ♀♀ der Kuckucksbiene aufhalten. Auch wäre prinzipiell eine zweite Flugzeit (Bivoltinität) von *E. variegatus* vorstellbar, die aber bisher nicht beobachtet wurde.

### ***Hylaeus punctulatissimus* Smith 1842, Colletidae, Maskenbienen**

Nachweise: Gezogen aus 2 Schilf-Trapnestern 1996 Gießen Botanischer Garten (Steffan-Dewenter 1996 unpubl.)

Bemerkungen: Diese oligolektische, auf *Allium* (Lauch) spezialisierte Art kann in jüngerer Zeit auch im Siedlungsbereich durch den Anbau von „Zwiebelpflanzen“ nachgewiesen werden (WESTRICH 1990). Im Botanischen Garten wurden im Rahmen eines Projekts mit ausgelegten Nisthilfen aus Schilf (*Phragmites*) zwei Nester dieser Bienenart nachgewiesen (FROMMER 2001). Untersuchungen an *Allium* und in den Gelbschalen erbrachten keine weiteren Nachweise dieser Art.

***Lasioglossum bluethgeni* Ebmer 1971, Halictidae, Schmalbienen**

Nachweise: 1♂ 05.07.-16.07.2018 Gs Gießen Botanischer Garten (leg. coll. FR).

Bemerkungen: Über diese seit der Erstellung der Roten Liste (TISCHENDORF et al. 2009) neu in Hessen nachgewiesenen Art wurde bereits an anderer Stelle ausführlich berichtet (FROMMER 2020). Inzwischen gelangen weitere Nachweise im Lahntal bei Weilburg (FROMMER unpubl.).

***Megachile ligniseca* (Kirby 1802), Megachilidae, Blattschneider- und Mörtelbienen**

Nachweise: 1♂1♀ 07.06.1946 Hf an *Salvia*, Gießen Botanischer Garten (leg. coll. WO, EN).

Bemerkungen: Dieser Fund ist für die Fauna des Botanischen Gartens insofern von besonderer Bedeutung, weil diese Blattschneiderbiene der Wirt der erst 2021 gefundenen Kegelbiene *Coelioxys alata* ist (nähere Einzelheiten siehe dort).

***Megachile pilidens* Alfken 1924, Megachilidae, Blattschneider- und Mörtelbienen**

Nachweise: 1♀21.07.2016 Gs, 1♂1♀ 13.07.2021 *Centaurea* Fd/Hf Gießen Botanischer Garten (leg. coll. FR).

Bemerkungen: *M. pilidens* besiedelt „ausgesprochen trockenwarme Lebensräume“ wie Weinberge mit Trockenmauern, (Kalk)-Magerrasen mit Felsbändern und „sonnendurchglühte Lehm- und Kiesgruben und Abraumhalden“ (WESTRICH 2019: 637). Der mittlere freistehende, schattenlose Hauptteil des Botanischen Gartens mit seinen aus pflanzensoziologischer Sicht dargestellten Felspartien (Alpinum, Kalkmagerrasen) entspricht bei hoher sommerlicher Einstrahlung durchaus der „sonnendurchglühten“ Beschreibung der Lebensräume dieser Art.

***Nomada braunsiana* Schmiedeknecht 1882, Apidae, Wespenbienen**

Nachweise: 1♂ 01.06.2022 Gs Gießen Botanischer Garten (leg. coll. FR). Ein weiterer Nachweis aus der Region des Gießener Beckens: 1♂ 08.05.2020 Gs Wettenberg [OT Gleiberg] Gleiberg (leg. coll. FR).

Bemerkungen: Nach WESTRICH (2019: 675) ist die extrem seltene Wespenbiene *Nomada braunsiana* Kuckucksbiene bei der Schuppensandbiene *Andrena pandellei*. Auch die nächstverwandte *Andrena curvungula* „kommt in Frage“. In der Stadt Gießen und in der Umgebung des Gießener Beckens sind dem Erstautor zahlreiche Fundorte von *A. curvungula* bekannt (FROMMER 2001, 2007). Eine Verbreitungskarte für Hessen (Abb. 4 in FROMMER 2007: 33) zeigt, dass diese beiden oligolektisch an Glockenblumen (*Campanula*) Pollen sammelnden Sandbienen *A. pandellei* und *A. curvungula* unterschiedliche Verbreitungsschwerpunkte haben. Bisher wurde in der Stadt Gießen und in der weiteren Region des Gießener Beckens ausschließlich *A. curvungula* nachgewiesen (11 Fundorte). Auch an den beiden oben angegebenen Fundstellen von *N. braunsiana* wurde ohne Ausnahme

nur *A. curvungula* beobachtet. Das bedeutet, dass diese Art mit sehr großer Sicherheit ebenfalls Wirt der Wespenbiene *N. braunsiana* ist.

***Osmia anthocopoides* (Schenk 1853) – Megachilidae, Mauerbienen**

Nachweise: 1♀ 07.06.1946 Hf an *Salvia* Gießen Botanischer Garten (leg. coll. WO, EN)

Bemerkungen: Diese Art nistet in Felswänden und Steinbrüchen, in Hessen oft auf Basalt, wo sie in Steinvertiefungen nistet (FROMMMER et al. 2001). Diese Art ist oligolektisch auf *Echium*-Pollen spezialisiert. Die ehemaligen Vorkommen im Botanischen Garten sind insofern aufschlussreich, da *O. anthocopoides* der Wirt der aktuell dort nachgewiesenen Goldwespe *Chrysis hybrida* ist (siehe unter „Bemerkenswerte Arten“). Die nächsten aktuellen Nachweise gelangen in einer alten Basaltabgrabungsstelle im benachbarten Großen Buseck weiter aufwärts im Wie-seck-Tal (l. c.).

***Osmia brevicornis* (Fabricius 1798) – Megachilidae, Mauerbienen**

Nachweise: 2♀♀ 05.05.2000 an *Erysimum odoratum* Gießen Botanischer Garten (leg. coll. FR), 1♂ 12.05.2003 Hf an Buchenholzbohrung Gießen Hausgarten (leg. coll. FR).

Bemerkungen: Die an Kreuzblütengewächsen (Brassicaceae) oligolektisch Pollen sammelnde Mauerbiene benötigt ein ausreichendes Angebot ihrer spezifischen Pollenquelle in Kombination mit Fraßgängen in Totholz. Die Art wird daher besonders an Waldrändern und in alten Streuobstbeständen, gelegentlich auch in Gärten und Parks beobachtet (WESTRICH 1990). Ein Vorkommen in der ehemaligen „Gartenstadt Gießen“ ist also nicht verwunderlich, da *O. brevicornis* auch an Nisthilfen gefunden wird (l. c. und Nachweis an Nisthilfe im „Hausgarten“).

***Osmia leaiana* (Kirby 1802) – Megachilidae, Mauerbienen**

Nachweise: 1♀ 03.07.1995 Hf *Telekia speciosa*, 1♂ 26.04.2009 Hf, 1♀ 30.06.2014 Hf *Telekia speciosa* Gießen Hausgarten (leg. coll. FR).

Bemerkungen: Die Mauerbiene *O. leaiana* besiedelt vor allem Streuobstwiesen oder warme Waldränder mit genügend Totholz zum Nisten, gelegentlich auch den Siedlungsbereich, wobei auch Nisthilfen angenommen werden (vgl. TISCHENDORF & FROMMMER 2004). Die ♀♀ sammeln oligolektisch Pollen an Korbblütengewächsen (Asteraceae). Die Art wurde noch nicht im Botanischen Garten gefunden, wurde aber in der Region des Gießener Beckens regelmäßig nachgewiesen (FROMMMER 2001, 2007).

***Osmia niveata* (Fabricius 1804) – Megachilide, Mauerbienen**

Nachweise: 1♀1♂ 2011, 1♀1♂ 2012, 1♂ 2014, 1♀ 2016, 1♂ 2021 Hf Gießen Hausgarten, je 3♀ 2022 Hf, Fd/Hf Botanischer Garten (leg. coll. FR).

**Bemerkungen:** Die gefährdete Mauerbiene *O. niveata* hat ähnliche Lebensraumansprüche wie ihre Schwesterart *O. leaiana* und ist ebenso oligolektisch auf Korbblütengewächsen (Asteraceae) spezialisiert (WESTRICH 2019). Auch diese Art wird im Umfeld des Gießener Beckens regelmäßig nachgewiesen (FROMMER 2001, 2007).

***Thyreus orbatus* (Lepelletier 1841) – Apidae, Fleckenbienen**

**Nachweise:** 1♀ 15.06.2021 Fd (BA) 1♀1♂ 17.06.2021 *Nepeta*, *Lycopus* Fd/Hf, bis zu 3 Ex. gleichzeitig an *Maritima elongata* und *Verbena* spp. beobachtet 2022 Gießen Botanischer Garten (leg. coll. FR).

**Bemerkungen:** Der Hauptwirt dieser Fleckenbiene (Abb. 6) ist die im Botanischen Garten in den letzten Jahren häufiger und regelmäßig beobachtete Pelzbiene *Anthophora quadrimaculata*. Der letzte Fund in Hessen gelang 1997 und 2002 in den Weinbergen von Lorch a. Rh. (TISCHENDORF & FROMMER 2004), wo ♀♀ von *T. orbatus* vor alten Trockenmauern nach Nestern des Wirts suchten. Interessanter Weise wurde im selben Jahr in einem Marburger Garten *T. orbatus* ebenfalls nachgewiesen (1♀ 17.07.2021 v. Blanckenhagen unpubl., mdl. Mitt.).



Abbildung 6: Die Fleckenbiene *Thyreus orbatus* ist in Hessen vom Aussterben bedroht (RL 1). Deutschlandweit ist sie stark gefährdet (RL 2) und konnte im Botanischen Garten nachgewiesen werden. Sie ist eine Kuckucksbiene bei der im Sommer fliegenden Pelzbiene *Anthophora quadrimaculata*; Photo H. Bahmer.

Figure 6: The bee species *Thyreus orbatus* is threatened with extinction in Hesse (RL 1). It is highly endangered throughout Germany (RL 2) and has been recorded in the Botanical Garden. It is a cuckoo bee in the summer-flying bee *Anthophora quadrimaculata*; photo: H. Bahmer.

## 5.2 “Wespen”

### ***Chrysura hybrida* (Lepeletier 1806) – Chrysididae, Goldwespen**

Nachweise: 1♀ 28.07.-23.08.2017 Gs Gießen Botanischer Garten (leg., coll. FR).

Bemerkungen: *C. hybrida* besiedelt nur das wärmere Mitteleuropa sowie Südeuropa, Nordafrika und Kleinasien. Über den Lebensraum dieser Goldwespe ist nur wenig bekannt. Aus Hessen sind bisher zwei Funde von besonderen Wärmestandorten in der Umgebung der Lahnregion aus der 2. Hälfte des 20. Jh. bekannt, auf die in der Roten Liste der Goldwespen Hessens näher eingegangen wird (FROMMER & TISCHENDORF 2021). Als Wirt bestätigt ist die Mauerbiene *Osmia anthocopoides* (SCHENCK 1853), die 1946 zum letzten Mal im BG nachgewiesen wurde (Text in Kap. 5.1). Weitere *Osmia*-Arten werden in der Literatur als unbestätigte Wirte aufgeführt, darunter die im BG häufige *O. caerulea*. Ausführliche Diskussion zu möglichen Nistplätzen und zum möglichen Wirten in FROMMER & TISCHENDORF (2021).

### ***Gorytes planifrons* (Wesmael 1852) – Crabronidae, Grabwespen**

Nachweise: Erstfund 24.09.2019 (nicht vollständig geschlüpfte Imagines aus Puppen in Blumentöpfen in Gebäude), 1♀ 15.06.2022 Totfund in Gebäude, 2♀♀ 2022 gezogen aus Puppen in Blumentöpfen in Gebäude, Gießen Botanischer Garten (leg. M. Jaeger, coll. FR).

Bemerkungen: Die meisten Nachweise dieser Grabwespenart stammen aus sandigen Habitaten. Es werden aber auch “leicht grabbare Böden” besiedelt (TISCHENDORF 2007). Aktuell kommt die Art in den Sandgebieten Südhessens besonders “in der sandigen, halboffenen Kulturlandschaft (Grünanlagen, Gärten)” vor (TISCHENDORF, FROMMER & FLÜGEL 2011). Die Art wurde in den letzten Jahren südlich des Mains häufiger gefunden. Nördlich des Mains ist sie bisher nur 1935 von Marburg sicher nachgewiesen (l. c.). Im Zusammenhang mit den Gießener Funden sind Nachweise aus dem Mittelrheintal bei Lorch a. Rh. (FROMMER 2014) und aus der Nördlichen Wetterau (1♀ 04.06.2021 Butzbach [OT Griedel], Galgenberg) interessant, die auf eine erneute Einwanderung dieser wärmeliebenden Art nach Norden in Folge des Klimawandels mit wärmeren Sommern hindeuten (Arealoszillation).

### ***Isodontia mexicana* (Saussure 1867) – Sphecidae, Grabwespen**

Nachweise: Erstnachweis 1♀ 11.07.2017 Fd (BA), seither jährliche Nachweise und Sichtungen von ♀♀ und ♂♂ sowie Nistbeobachtungen (mit Eintrag der Eichenschrecke *Meconema thalassinum* 25.-28.06.2019), Gießen Botanischer Garten und innerstädtischer Hausgarten.

Bemerkungen: Die Mexikanische Graswespe *I. mexicana* (Abb. 7) ist ein Neozoon und ursprünglich in den U.S.A., Mexico und Zentralamerika beheimatet. Sie wurde in Europa 1960 erstmals in Südfrankreich nachgewiesen und hat sich seither,



Abbildung 7: Ein Weibchen der Mexikanische Graswespe *Isodontia mexicana* trägt eine Nymphe der Eichenschrecke (*Meconema thalassinum*) als Beute in ihr Nest in einem Bambusstock ein. Für den Verschluss des Nesteingangs werden abgeessene Grasblätter verwendet. Photo H. Bahmer.

Figure 7: A female of the Mexican grass wasp *Isodontia mexicana* carries a nymph of the oak cricket (*Meconema thalassinum*) as prey into her nest in a bamboo cane. Bite-off grass leaves are used to close the nest entrance.

besonders nach 1990, über weite Teile Süd- und Mitteleuropas ausgebreitet. Die Art verbreitete sich seit dem Erstnachweis in Deutschland bei Tübingen (1997) vor allem entlang der Oberrheinebene nach Norden aus und hat 2017 das Lahntal bei Gießen erreicht (FROMMER & BAHMER 2018). Zur gleichen Zeit erfolgten im Lahntal bei Gießen die ersten Beobachtungen des Weinhähnchens (*Oecanthus pellucens*), neben der Eichenschrecke *Meconema* das Hauptbeutetier dieser Grabwespe. Die Ausbreitung des Weinhähnchens wird als Folge der klimatischen Erwärmung in der jüngsten Zeit gesehen (BURGER 2010). Ursprünglich nur in den heißesten Weinlagen in der Oberrheinebene verbreitet, wurde das Weinhähnchen vereinzelt in der weiteren Umgebung von Gießen und im Lahntal bei Gießen und Wetzlar vor allem an besonders wärmebegünstigten Stellen wie Steinbrüchen, Kiesgruben oder Bahnanlagen nachgewiesen (de Jong mdl. Mitt. 2017; STÜBING & KORN 2017).

***Psen ater* (Olivier 1792) – Crabronidae, Grabwespen**

Nachweise: 2♀♀ 08.08.2015 Hf/Fd *Foeniculum vulgare*, 1♀ 25.07.-07.08.2018 Gs Gießen Botanischer Garten, (leg. coll. FR).

Bemerkungen: Erstnachweis in der Lahnregion, Zweitfundort in Hessen nach 1990 (nähere Informationen in FROMMER 2020).

***Sceliphron curvatum* (F. Smith 1870) – Sphecidae, Grabwespen**

Nachweise: Erstnachweis 1♀ 21.07.2015 Fd (BA) Gießen Botanischer Garten, seither fast jährliche Nachweise von ♀♀ und ♂♂ im Botanischen Garten und im innerstädtischen Hausgarten.

Bemerkungen: Die Orientalische Mörtelwespe *S. curvatum* (Abb. 8) ist ein Neozoon und ursprünglich in bergigen Regionen in Indien und Nepal und von Pakistan bis Kasachstan beheimatet. Sie wurde vermutlich Ende der 70er-Jahre des 20. Jh. in die Steiermark eingeschleppt und hat sich von dort über weite Teile Mittel- und Südeuropas ausgebreitet. *S. curvatum* wurde 2002 in Freiburg im Breisgau erstmals in Deutschland nachgewiesen und hat sich in sehr kurzer Zeit in großen Teilen Deutschlands im urbanen Bereich ausgebreitet. Sie kommt vor allem im Oberrheintal weit verbreitet vor und hat 2015 das Lahntal bei Gießen erreicht (FROMMER & BAHMER 2018 mit Verbreitungskarte).



Abbildung 8: Ein Weibchen der Orientalischen Mörtelwespe *Sceliphron curvatum* beim Abtransport eines von ihr geformten Lehmkügelchens zum Bau ihrer Nester; Photo H. Bahmer.

Figure 8: A female of the oriental mortar wasp *Sceliphron curvatum* carrying away a clay pellet she had formed to build her nests; photo: H. Bahmer.

***Sphex funerarius* (Gussakovskij, 1934) – Sphecidae, Grabwespen**

Nachweise: Erstnachweis 1♀ 17.07.2017 Fd Botanischer Garten Gießen, seither mehrfach dort nachgewiesen.

Bemerkungen: Von der großen, flugtüchtigen Heuschreckengrabwespe gibt es alte Nachweise bis in die 50er-Jahre aus Brandenburg, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Franken (BLÖSCH & KRAUS 2009). Nach 1966 wurde die Art in Deutschland nicht mehr nachgewiesen. Seit 1993 wurde *S. funerarius* im Westen Deutschlands zunächst vereinzelt im Oberrheingraben, in der hessischen Oberrheinebene und im Unteren Maintal wieder nachgewiesen und erreichte später das niederrheinische Tiefland bei Wesel, die Nordseeküste Belgiens und entlang des Mains Mittelfranken (l. c.). Eine photographische Dokumentation erfolgte auch in Dillenburg (2017, Nix). Es handelt sich um eine Arealoszillation mit anschließender Besiedlung neuer Gebiete.

***Spilomena punctatissima* Blüthgen 1953 – Crabronidae, Grabwespen**

Nachweise: 1♀ 18.08.2009, 1♀ 07.08.2011, 1♀ 10.08.2013 Gs Gießen innerstädtischer Hausgarten (leg. coll. FR).

Bemerkungen: Die deutschlandweit als stark gefährdet (RL 2) eingestufte Grabwespe (SCHMID-EGGER 2011) wurde im innerstädtischen Hausgarten mehrfach in der Nähe von Nisthilfen mit Bohrlöchern in Buchenholz nachgewiesen (FROMMER 2011 mit Verbreitungskarte für Deutschland). Ein weiterer Nachweis in Hessen gelang in Bad Hersfeld (TISCHENDORF, FROMMER & FLÜGEL 2011) ebenfalls in einem Stadtgarten. Die wärmeliebende Art nistet in Käferfraßgängen in Totholz und anderen Hohlräumen, im Hausgarten möglicherweise in den Nisthilfen. Im Zuge des Klimawandels mit zunehmend warmen Sommern wird diese Art vermutlich gefördert, da sie wohl keine großen Ansprüche an den Lebensraum stellt und auch im Siedlungsbereich (Gärten) vorkommen kann.

***Trypoxylon kolazyi* Kohl 1893 – Crabronidae, Grabwespen**

Nachweise: Mehrfach ♀♀ und ♂♂ 2000, 2011, 2014, 2015 Gs Gießen innerstädtischer Hausgarten (leg., coll. FR vid. & confirm. Jacobs), Erstfunde für Hessen (FROMMER 2016).

Bemerkungen: Die deutschlandweit mit unbekanntem Ausmaß als gefährdet eingestufte Grabwespe (RL: G) wurde im innerstädtischen Hausgarten mehrfach in der Nähe von Nisthilfen mit Bohrlöchern in Buchenholz nachgewiesen. Nach BLÖSCH (2000: 254) [ist] „über die Lebensweise der Art ist nichts Näheres bekannt“. Nach seiner Beschreibung erstreckt sich das Verbreitungsgebiet „von Nordafrika über Süd- und Mitteleuropa bis nach West- und Zentralasien“. In Deutschland erreicht die Art ihre „nördliche (und westliche?)“ Verbreitungsgrenze (l. c.). Die wenigen zeitnah bekannt gewordenen Nachweise in Deutschland (bis zum Jahr 2000) kommen aus drei Orten darunter der Botanische Garten von Dresden.

***Delta unguiculatum* (Villers 1798) – Vespidae, Eumeninae (Solitäre Faltenwespen)**

Nachweise: Erstbeobachtung in Gießen 1♀ 13.07.2017 Fd (BA) *Eryngium planum*, 18.07.2017 1♂1♀ Tf in Gewächshaus Gießen Botanischer Garten (leg. coll. FR), seither mehrfach ♀♀ und ♂♂ nachgewiesen.

Bemerkungen: Über die Neunachweise und die Ausbreitung der Deltawespe aus dem Gebiet der Oberrheinebene bis in das Lahntal bei Gießen wurde ausführlich berichtet. Diese Arbeit enthält Verbreitungskarten und Hinweise zur Geschwindigkeit der Ausbreitung. Die Ausbreitung ist offensichtlich Folge der fortschreitenden sommerlichen Klimaerwärmung (FROMMER, STÜBING & REDER 2018).

## 6 Diskussion

### 6.1 Die Situation der Stechimmenfauna in der Stadt Gießen

Aufgrund der Geschichte des Botanischen Gartens (Kap. 2.1) und infolge der unmittelbaren Nähe mit dem Offenland des Wieseck- und des Lahntals sowie dem Philosophenwald und dem Schiffenberger Waldgebiet kann man annehmen, dass nach der fortschreitenden Erweiterung der Stadt im Bereich des Botanischen Gartens reliktiert eine historische Stechimmenfauna mit seltenen Arten erhalten blieb, die so in der Umgebung von Gießen heute nicht mehr existiert. Bei dem Prozess der Stadterweiterung muss bedacht werden, dass die im 16. Jh. errichtete Befestigungsanlage so groß dimensioniert war, dass die Stadt diese Fläche bis 1850 noch nicht ausgefüllt hatte. In Gießen gab es am Anfang des 19. Jh. neben dem Botanischen Garten private Gemüse- und Obstgärten. Weiterhin gab es „Lustgärten“, Unterrichtsgärten an den Schulen und sogar „Amtsgärten“. Auf diese Weise konnten sich vermutlich große stabile Stechimmenpopulationen ausbilden. Im Jahre 1888 waren es noch 40 Prozent an vorhandenen Gärten und Parkanlagen der Kernstadt, die nach und nach durch Bebauung immer weiter verkleinert wurden, sodass sich die Stechimmenpopulationen heute besonders auf die große Fläche des Botanischen Gartens konzentrieren.

In der zweiten Hälfte des 19. Jh. begann eine rege Bautätigkeit außerhalb der ehemaligen Festung, die geprägt war durch eine wahre Gartenleidenschaft der Gründerzeit. Große Viertel entstanden mit zusammenhängenden privaten Gartenanlagen in ihrem Inneren (WEIMANN mdl. 2001), die zum Teil heute noch mehr oder weniger erhalten sind wie z. B. im Viertel des Hausgartens des Erstautors (vgl. Einführung in Kapitel 4). Diese zahlreichen Gartenanlagen, die die Stadt Gießen als „Gartenstadt“ bekannt gemacht haben, beherbergten mit Sicherheit eine große Anzahl an Stechimmenarten, da ja der Kontakt zum Offenland und den Waldgebieten in dieser Zeit noch gut war. Viele solcher Gartenanlagen wurden erst seit Ende des 20. Jh zugebaut und mussten Wohnblöcken, Behörden- und

Bürogebäuden und besonders Parkplätzen weichen. In der Folge kam es durch das „Verdichtungsgebot im Siedlungsgebiet“ noch zu einer weiteren, verstärkten Ver-nichtung der alten Gärten mit ihrer temperatursenkenden Funktion. Dies ist ein Vorgang, der in Folge der zunehmend heißen Sommermonate für das Stadtklima in Gießen sehr in Frage gestellt werden und dringend revidiert werden muss. Tags-über kommt es zu verstärkter Aufheizung und nachts zu verringerter Abkühlung, so dass während solcher Hitzeperioden in Großstädten Temperaturunterschiede zum Umland zwischen 4–7 °C und bis zu 10 °C erreicht werden (FRÜH et al. 2011; FUCHS 2019; KOSSMANN 2011). In geringerem Ausmaß kommt dieser Prozess auch in der Innenstadt Gießen zum Tragen. Durch den hohen Bebauungsdruck ist mit dem Rückgang der alten Gärten auch die historische Stechimmenfauna in Gießen stark bedroht.

## 6.2 Stechimmenfauna des Botanischen Gartens und des innerstädtischen Hausgartens

Die Diskussion soll mit Hilfe einiger Leit-Gedanken, die im Rahmen der Aufar-beitung der Ergebnisse aufgekommen sind, in einer übersichtlichen Weise struk-turiert werden.

Synanthropie und Artenzahl: „Arten, die im Siedlungsbereich des Menschen exis-tieren können, ohne auf eine Ergänzung ihrer Bestände von außerhalb angewie-sen zu sein, bezeichnen wir als synanthrope Arten im weiteren Sinn“ (WESTRICH 2019: 69, mit vielen weiteren Literaturangaben). In diesem Werk werden dazu 45 Bienenarten aufgeführt, von denen im Botanischen Garten 43 Arten und im innerstädtischen Hausgarten 39 Arten nachgewiesen wurden. In der Gießener Innenstadt gibt es aufgrund vieler spezifischer Strukturen wie z. B. Grünanla-gen, Stadtparks, Mauern, Ruderalstellen, alte Gebäude (Altes Schloss, Landgra-fenschloss) die Möglichkeit der Ansiedlung weiterer spezialisierterer Arten, die im Botanischen Garten Pollen bzw. Beute als Nahrungsquellen nutzen können und dort selbst nisten. Aufgrund der höheren Zahl an verschiedenen blühenden Pflanzen und der viel größeren Fläche ist die Zahl an Bienenarten im Botanischen Garten höher als im innerstädtischen Hausgarten. Andererseits überwiegt bei die-sem die Anzahl an Wespenarten – besonders an Grabwespen. Diese sind oft sehr klein und konnten daher durch die hohe Untersuchungsintensität über mehr als 25 Jahre besser erfasst werden. Dabei gelang sogar ein Erstnachweis für Hessen (*Trypoxylon kolazyi*) und weitere Nachweise seltener Grabwespenarten (z. B. *Spi-lomena punctatissima*).

Populationsgröße und Fluktuation: Die hohe Zahl der nachgewiesenen Stechim-men liegt wie schon eingehend beschrieben vermutlich an der besonderen Struk-tur und Lage der Stadt Gießen und den vorhandenen Mikrostrukturen in den beiden Vergleichsgärten. Auch heute noch gibt es einen engen räumlichen Kon-

takt der Kernstadt mit der Offenlandschaft des Wiesleck- und Lahntals und der genannten Waldgebiete.

STANDFUSS & STANDFUSS (2021) konnten im Stadtgebiet Dortmund in einem Areal von 900 m<sup>2</sup> Fläche, das an die achtspurige Bundesstraße B1 grenzt, ca. 800 heimische Farn- und Blütenpflanzen „in ihren anthropogen beeinflussten naturnahen Gesellschaften“ (l. c.: 47) ansiedeln. Dabei wurden Rohböden durch Aufschüttungen von Wegebbaumaterial und Schutt von Steinbruchhalden geschaffen, die durch „Skulpturierung der Oberfläche zur Entstehung eines klein- und mikroklimatischen Mosaiks geführt haben“ (l. c.: 49). In diesem kleinen Areal konnten sich im Laufe von 35 Jahren 242 Stechimmenarten, darunter 122 Bienenarten, ansiedeln, sodass eine „dichte Packung“ von Arten zustande kam. Aus diesen sehr bedeutsamen Untersuchungen ergeben sich für die Besiedlung des Botanischen Gartens und des innerstädtischen Hausgartens durch Stechimmen wichtige Schlussfolgerungen. Es ist ersichtlich, dass eine solche Besiedlung aus der Umgebung relativ rasch erfolgen kann. Ähnliche Beobachtungen machten CÖLLN & JAKUBZIG (2011, 2013). Sie konnten zeigen, dass Stechimmen auch noch kleinste belebte Inseln in ausgeräumten Landschaften besiedeln und dort überleben können. Auf diese Weise wird deutlich, dass eine wirkliche Biotopbindung bei vielen Arten nicht unbedingt anzunehmen ist (MAZZUCCO & MAZZUCCO 2007). „Der von uns als einheitlich wahrgenommene Raum erfährt also durch die Nutzung durch die Wespen und Bienen eine immer feinere Zergliederung, in der Arten mit unterschiedlichen Ansprüchen nebeneinander existieren können“ (CÖLLN & JAKUBZIG 2013: 79). „Offensichtlich können die verschiedenen Arten der Bienen und Wespen bei hinreichendem Requisitenangebot auf relativ kleiner Fläche ein Nebeneinander zahlreicher kleiner Populationen etablieren“ (l. c. 2013: 81). Überträgt man diese Erkenntnisse (schnelle Besiedlung, kleinste mögliche Populationsgrößen) auf die beiden innerstädtischen Untersuchungsgebiete, so ist die hohe Artenzahl an Stechimmen nicht verwunderlich. Besonders im Botanischen Garten wurden durch die Schaffung der geographisch oder pflanzensoziologisch geordneten Abteilungen sehr viele Kleinbiotope mit mikroklimatisch unterschiedlichen Mosaiken geschaffen. MAZZUCCO & MAZZUCCO (2007) haben darauf hingewiesen, dass bei solchen Kleinpopulationen von Stechimmen aufgrund des haplodiploiden Fortpflanzungssystems der Stechimmen das Inzucht-risiko gering bleibt. Weil die Männchen aus unbefruchteten Eiern entstehen und die Weibchen aus befruchteten, kann ein einziges begattetes Weibchen eine neue Population gründen. Durch die Haploidie der Männchen kommen solche Gene, die die Vitalität einschränken, unmittelbar zur Wirkung und werden eliminiert.

Auf der anderen Seite kann bei Störungen dieser Kleinbiotope eine Population schnell vernichtet werden. Die Kleinbiotope können aber andererseits nach Regeneration der Biotopstrukturen auch in Zukunft wieder neu besiedelt werden, wenn in der weiteren Umgebung eine Population der betreffenden Art existiert. Daher ist die Existenz von „Trittsteinen“ von besonderer Bedeutung. Die Vorstel-

lung einer Fluktuation von Arten zwischen unterschiedlichen Biotopen könnte durch ein dynamisches Gleichgewicht der Faunenzusammensetzung beschrieben werden. Die Ausbreitungsgeschwindigkeiten unterschiedlicher Stechimmenarten, die bis zu 5 und 10 km pro Jahr betragen können, liegen vermutlich im Rahmen der maximal anzunehmenden Abwanderungsdistanz geschlüpfter und begatteter Weibchen entsprechender Größe (MAZZUCCO & MAZZUCCO 2007; FROMMER 2008b; BURGER & FROMMER 2010). Einige Arten, auch oligolektische Arten, „deren Nahrungspflanzen [...] in großer Zahl blühen“, können in Botanischen Gärten „jedes Jahr in einer vergleichsweise hohen Individuendichte vertreten sein“ (WESTRICH 2019: 71). Im Botanischen Garten in Gießen z. B. *Andrena barbilabris*, *Andrena curvungula*, *Anthidium oblongatum*, *Anthophora quadrimaculata*, *Eucera nigrescens*, *Megachile ericetorum*, *Megachile willughbiella* und andere.

**Indigenität:** In ihrem von ihnen so genannten „Reservat“, das oben („Populationsgröße und Fluktuation“) angesprochen wurde, konnten STANDFUSS & STANDFUSS (2021: 73) zeigen, dass die Mehrzahl der nachgewiesenen Bienenarten dort indigen war. Ihrer Einstufung als indigen lagen folgende Kriterien zugrunde: Nachweis der Nester, Nachweis der Parasitoide oder Sozialparasiten der Sammelbienen, Beobachtung von Paaren in copula, konstant hohe Abundanzen sammelnder Weibchen. Wendet man diese Kriterien auf die beiden Untersuchungsgebiete in Gießen an, so zeigt vor allem die große Anzahl an Kuckucksbienen (s. u.) und jährlich regelmäßig Pollen sammelnder Weibchen, dass die meisten Arten als bodenständig betrachtet werden können.

**Oligolektie:** Das große Angebot an europäischen Pflanzenfamilien im Botanischen Garten ist eine gute Voraussetzung für die Anwesenheit einer Vielzahl oligolektischer Bienenarten (vgl. Tab. 1). Im Botanischen Garten wurden mehr oligolektische Bienen nachgewiesen (30 Arten) als im innerstädtischen Hausgarten (21 Arten). Der Botanische Garten hat eine wesentlich größere Blühfläche mit mehr unterschiedlichen Pflanzenfamilien. Die relativ große Anzahl an oligolektischen Bienenarten im innerstädtischen Hausgarten zeigt, dass auch dort jeweils genügend Pollen bildende Pflanzen vorhanden sind, um die Populationen einer entsprechend oligolektischen Bienenart aufrecht zu erhalten.

**Wirt-Parasitoid-Paarung:** In Tabelle 4 ist die Anzahl von Artnachweisen der Parasitoide oder Sozialparasiten der Bienen- und Wespenarten (Wirte) ab 1990 aufgeführt. Diese weisen auf eine Bodenständigkeit der jeweiligen Wirte hin und sind Ausdruck der Mannigfaltigkeit der Klein-Lebensräume im Botanischer Garten und im innerstädtischen Hausgarten. Die Artenzahl bei den Bienen ist im Botanischen Garten aufgrund der größeren Blüten-Fläche und damit der höheren Artenzahl der Wirte höher. Bei den Wespen ist die Artenzahl wegen der relativen Unabhängigkeit vom Blütenangebot eher gleich.

Tabelle 4: Anzahl der Parasitoiden-Arten der jeweiligen Gattung (Bienen) und der jeweiligen Familie (Wespen) im Botanischen Garten und im innerstädtischen Hausgarten (Näheres siehe auch Tabelle 2 und 3 bei den jeweiligen Gattungen bzw. Familien)

Table 4: Number of parasitoid species of the respective genus (bees) and the respective family (wasps) in the Botanical Garden and the inner-city home garden

Bienen			Wespen		
Gattung	BG	HG	Familie	BG	HG
<i>Bombus (Psithyrus)</i>	5	6	Chrysididae	7	8
<i>Coelioxys</i>	4	2	Crabronidae	1	
<i>Epeoloides</i>	1		Vespidae		1
<i>Epeolus</i>	1		Sapygidae	1	2
<i>Melecta</i>	1	1	Tiphiidae	1	1
<i>Nomada</i>	13	8			
<i>Sphecodes</i>	9	4			
<i>Stelis</i>	2	3			
<i>Thyreus</i>	1				
Summe	37	24	Summe	10	12

Vergleich mit anderen Botanischen Gärten: Die hohe Arten- und Individuenzahl von Bienen in Botanischen Gärten führt WESTRICH (2019: 71) auf das schon angesprochene „vielseitige und über die ganze Vegetationsperiode reichlich vorhandene Blütenangebot“, die „vielfältigen Nistmöglichkeiten“ und den „weitgehende[n] Verzicht auf den Einsatz von Pestiziden“ zurück. Dazu kommt die durchgehende Bewässerung, die in trockenen Sommern von großer Bedeutung ist. Die äußeren Faktoren sind natürlich in jedem Botanischen Garten anders geartet. Zielsetzung des Gartens, Lage und Klima und vor allem die Fläche, die Untersuchungsintensität und die Zeitdauer der Untersuchungen sind jeweils unterschiedlich, sodass ein Vergleich im Sinne einer „Rangfolge“ nicht sinnvoll ist. Die hier angegebenen Zahlen nachgewiesener Bienenarten in Botanischen Gärten wurden von WESTRICH (2019: 71) zusammengestellt und mit entsprechenden Literaturangaben versehen und werden im Folgenden vorgestellt:

BG Gießen: 153 Bienenarten, BG Bayreuth: 143 Bienenarten, BG München: 78 Bienenarten, BG Halle (Saale): 104 Bienenarten, BG Münster (Westfalen): 86 Bienenarten, BG Düsseldorf: 86 Bienenarten, BG Bonn: 76 Bienenarten, BG Berlin-Dahlem: 156 Bienenarten, BG Tübingen: 101 Bienenarten, BG Bern (CH): 71 Bienenarten, BG Wien (A): 131 Bienenarten, BG Graz (A): 115 Bienenarten, BG Mainz: 181 Bienenarten (SILLO & GRIEBELE 2020).

Der innerstädtische Hausgarten in Gießen: Um die Artenvielfalt dieses Gartens zu würdigen, werden im Folgenden Nachweiszahlen von Bienenarten aus anderen Hausgärten in Deutschland (aus WESTRICH 2019: 68 und 69 mit Literaturangaben) vorgestellt, wobei es wie bei den Botanischen Gärten nur um die Dokumentation der möglichen hohen Artenzahlen in solchen Stadtgärten geht:

Gießen (Hausgarten Frommer): 120 Bienenarten; Karlsruhe (Hausgarten WINDSCHNURER l. c.): 92 Bienenarten; Heidelberg (Hausgarten SCHMIDT l. c.): 93 Arten; Kiel (Kieler Stadtgärten – HAESLER l. c.): 79 Bienenarten; Mücke (Hausgarten LÖHR 1999, 2008): 104 Bienenarten.

Besonderheiten des Botanischen Gartens in Gießen: Diese sind bereits an mehreren Stellen angesprochen worden und sollen hier zusammengefasst werden:

Lage in der Innenstadt (Kernstadt); der älteste Botanische Garten nördlich der Alpen, der sich heute noch an seinem ursprünglichen Standort befindet; mögliche Reliktvorkommen von Stechimmen; hoher Anteil an Arten, die nicht im Siedlungsbereich zu erwarten sind; großer Waldanteil; hohe Strukturvielfalt des Gartens.

Einwandernde Arten: Man könnte den Botanischen Garten der Universität Gießen als „Sammelplatz“ wärmeliebender Arten in Ausbreitung bezeichnen. Diesen Eindruck kann man jedenfalls gewinnen: Denn die vorliegenden Untersuchungen nahmen ihren Anfang mit dem allgemein deutlich spürbaren Beginn des Klimawandels (1990), in einer Zeit, in der Einwanderungen und damit Neunachweise und Wiedernachweise im Rahmen von Arealerweiterungen vieler wärmeliebender Stechimmen stattgefunden haben und stattfinden. Diese nach Norden (über das Rheintal) vorwiegend aber nach Nord-Osten (über die Wetterau und das Gießener Becken) gerichtete Ausbreitung (FROMMER 2006) betrifft nicht nur solche Stechimmen, die bisher nur im Süden Deutschlands heimisch waren, sondern auch einige wärmeliebende neozoische Wespen. Bei der Verfolgung dieses Geschehens waren die Beobachtungen im Botanischen Garten von herausragender Bedeutung und wurden bereits ausführlich im Rahmen von entomogeographischen Untersuchungen im gesamten Lahngebiet und seiner Umgebung zusammengestellt und erörtert (FROMMER 2020).

Rückgang der Artenvielfalt: Ein Teil der von H. Wolf und H. Weiffenbach im Botanischen Garten vor 1990 nachgewiesenen Stechimmenarten (Tab. 3) konnten nach 1990 dort nicht mehr gefunden werden, obwohl beide Forscher den Botanischen Garten nur tageweise besucht haben (H. Wolf 1946 2x, H. Weiffenbach 1964 1x, 1965 1x, 1970 4x und 1975 1x). Die Untersuchungen nach 1990 erfolgten dagegen mit einer hohen Erfassungsintensität. Wie aus Tabelle 3 hervorgeht, muss in der Zeit um die Mitte des 20. Jh. im Botanischen Garten in Gießen noch eine größere Artenvielfalt existiert haben als heute. Die Gründe dafür sind im Rahmen des viel diskutierten Rückgangs der Artenvielfalt zu suchen, der auch die Stechimmenfauna der Stadt Gießen betrifft. Mit dem Bild der „Aussterbeschuld“ (extinction debt) hat MALANSON (2008) verdeutlicht, dass der Prozess des Aussterbens viel langsamer erfolgt als der schnell ablaufende Vorgang der Ausbreitung wärmeliebender Arten, da sich die bedrohten Arten an Reliktstandorten und in kleinklimatisch noch reich gegliederten Landschaftsteilen oft länger in einer günstigeren Bestandessituation halten können (CÖLLN & JAKUBZIK 2008). Zu einem solchen Reliktstandort kann auch der Botanische Garten der Universität Gießen gezählt werden.

## 7 Danksagung

Wir bedanken uns für die Unterstützung der Untersuchungen bei dem Wissenschaftlichen Leiter des Botanischen Gartens der Justus-Liebig-Universität Gießen Herrn Prof. Dr. Volker Wissemann und dem Technischen Leiter Herrn Dipl. Ing. Holger Laake. Ein besonderer Dank geht an den Gärtnermeister des Botanischen Gartens Herrn Michael Jaeger. Er beantwortete uns alle Fragen bezüglich der Pflanzenarten und unterstützte uns bei der Suche nach unbekanntem Stechimmen-Arten auf jede Weise durch seine scharfen Beobachtungen und Hinweise. Frau Annelies Polenz danken wir für ihre intensive Beobachtung der Stechimmen im Botanischen Garten und ihre entsprechenden photographischen Dokumente. Herrn J. Schug vom Wetterdienst DTN (CH) danken wir für Informationen zu den Klimadaten des Botanischen Gartens der Universität Gießen.

## 8 Literatur

- BAHMER, H. (2016): Was da krecht und fleucht. Die geheimnisvolle Tierwelt des Botanischen Gartens in Gießen. – 288 S.; Gießen (Eigenverlag).
- BAHMER, H. (2022): Wilde Bienen und mehr. Die geheimnisvolle Tierwelt des Botanischen Gartens in Gießen. – 288 S.; Gießen (Eigenverlag).
- BAHMER, H. & LÜCKMANN, J. (2021): Zur Biologie und Ökologie von *Stenoria analis* Schaum, 1859 (Coleoptera: Meloidae) – Ergebnisse einer fünfjährigen Untersuchung des Seidenbienenölkäfers im Botanischen Garten Gießen. – Oberhessische Naturwissenschaftliche Zeitschrift, **69**: 7-58; Gießen.
- BLÖSCH, M. (2000): Die Grabwespen Deutschlands – Lebensweise, Verhalten, Verbreitung. – Die Tierwelt Deutschlands, 71. Teil. – 480 S.; Kelttern (Verlag Goecke & Evers).
- BLÖSCH, M. & KRAUS, M. (2009): Die Heuschreckengrabwespe *Spheg funerarius* Gussakovskij, 1934 zurück in Mittelfranken. – Galathea, **25** (1): 7-17; Nürnberg.
- BURGER, R. (2010): *Isodontia mexicana* (Saussure 1867) (Hymenoptera: Sphecidae) – eine neo-zoische Grabwespe in Südwestdeutschland. Erster Nachweis in Rheinland-Pfalz. – Pollichia Kurier, **26**(1): 25-27; Bad Dürkheim.
- BURGER, F. & FROMMER, U. (2010): Zur Ausbreitung von *Halictus scabiosae* (Rossi, 1790) in Thüringen und Sachsen (Hymenoptera, Apidae). – Entomologische Nachrichten und Berichte, **54**: 127-129; Linz (A).
- CÖLLN, K. & JAKUBZIK, A. (2008): Bedeutung kleinklimatischer Landschaftsdiversität für die Fauna im globalen Klimawandel dargestellt an Beispielen aus der Eifeler Insektenwelt. – Insecta, **11**: 25-36; Berlin.
- CÖLLN, K. & JAKUBZIK, A. (2011): Diversität der Stechimmen (Hymenoptera Aculeata) in Dorf und Stadt. – Dendrocopos, **38**:19-67; Trier.
- CÖLLN, K. & JAKUBZIK, A. (2013): Wespen und Bienen (Hymenoptera Aculeata) der Region Trier – Diversität, Entomogeographie, Schutz. – Dendrocopos, **40**: 65-94; Trier.
- FROMMER, U. (2001): Bestandsaufnahme der Bienenfauna im mittleren Hessen (Hymenoptera, Apidae). – Naturwissenschaftlicher Verein Darmstadt, Bericht N.F., **24**: 129-191; Darmstadt.
- FROMMER, U. (2006): Das Lahntal als Refugialraum und biogeographische Grenzregion wärme-liebender Stechimmen (Hymenoptera, Aculeata), mit Anmerkungen zur nördlichen Arealgrenze in Deutschland und 7 Verbreitungskarten. – Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde, **127**: 23-79; Wiesbaden.

- FROMMMER, U. (2007): Ergänzungen zur Bienenfauna (Hymenoptera, Apidae) im mittleren Hesen mit Anmerkungen zur Ausbreitung der Sandbiene *Andrena lagopus* (Latr.). – Hessische Faunistische Briefe, **26** (2): 17-50; Darmstadt.
- FROMMMER, U. (2008a): Nachweis der Efeu-Seidenbiene *Colletes hederae* Schmidt & Westrich, 1993 für Nordrhein-Westfalen (Hymenoptera, Apidae). – *bembiX*, **27**: 10-13; Bielefeld.
- FROMMMER, U. (2008b): Grundlagen der Ausbreitung und aktuellen nördlichen Verbreitung der Efeu-Seidenbiene *Colletes hederae* SCHMIDT & WESTRICH, 1993 in Deutschland (Hymenoptera: Apidae). – Mitteilungen des Internationalen Entomologischen Vereins, **33** (1-2): 59-74; Frankfurt a.M.
- FROMMMER, U. (2010): Beobachtungen zum Ausbreitungsmodus der Efeu-Seidenbiene *Colletes hederae* Schmidt & Westrich, 1993 (Hymenoptera, Apidae) in Hessen und die Bedeutung des blühenden Efeus (*Hedera helix* L.). – Hessische Faunistische Briefe, **29** (1): 1-20; Darmstadt.
- FROMMMER, U. (2011): Erstnachweis der Grabwespenarten *Spilomena punctatissima* BLÜTHGEN, 1953 und *Passaloeus clypealis* FAESTER, 1947 (Hymenoptera: Crabronidae) für Hessen mit Hinweisen zum Lebensraum und einer Verbreitungskarte für Deutschland. – Hessische Faunistische Briefe, **30** (1): 1-6; Darmstadt.
- FROMMMER, U. (2014): Die Stechimmen-Fauna des Oberen Mittelrheintals. Neue Untersuchungen an xerothermen Hanglagen bei Lorch (Hymenoptera: Aculeata). – Hessische Faunistische Briefe, **33** (1-3): 13-49; Darmstadt.
- FROMMMER, U. (2016): Erstnachweis der Grabwespenarten *Mimumesa littoralis* (BONDROIT, 1934) und *Trypoxylon kolazyi* KOHL, 1893 (Hymenoptera: Crabronidae) für Hessen mit Hinweisen zum Lebensraum und Rote Liste Status. – Hessische Faunistische Briefe, **35** (1/3): 1-6; Darmstadt.
- FROMMMER, U. (2020): Bestandsentwicklung und Veränderungen der Stechimmenfauna des Lahntals und seiner Umgebung (Hymenoptera, Aculeata). – Ein Vierteljahrhundert faunistische Forschung in Zeiten des Klimawandels. – Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde, **141**: 129-175; Wiesbaden.
- FROMMMER, U. (2021): Der Zeuge des Artensterbens – Über die Bedeutung des Siegerländer Entomologen Heinrich Wolf für die Faunistik der Stechimmen in Hessen. – Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde, **142**: 85-111; Wiesbaden.
- FROMMMER, U. & BAHMER, H. (2016): Erstnachweis des Ölkäfers *Stenoria analis* (SCHAUM, 1859) (Coleoptera: Meloidae) für Hessen. – Hessische Faunistische Briefe **35** (1/3): 49-52; Darmstadt.
- FROMMMER, U. & BAHMER, H. (2018): Die neozoischen Grabwespen *Sceliphron curvatum* (F. Smith, 1870) und *Isodontia mexicana* (Saussure, 1867) (Hymenoptera: Aculeata: Sphecidae) erreichen das Lahntal. – Hessische Faunistische Briefe, **36** (3-4): 47-59; Darmstadt.
- FROMMMER, U. & TISCHENDORF, S. (2021): Kommentierte Rote Liste der Goldwespen Hessens (Hymenoptera: Chrysididae). – 248 S.; Wiesbaden Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV).
- FROMMMER, U. & TISCHENDORF, S. (im Druck): Kommentierte Rote Liste der Wegwespen Hessens (Hymenoptera, Aculeata, Pompilidae); Wiesbaden (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV)).
- FROMMMER, U., STÜBING, S. & REDER, G. (2018): Zur Ausbreitung der Deltawespe *Delta unguiculatum* (Villers, 1789) (Hymenoptera, Vespidae, Eumeninae) in die nördliche Wetterau und das Lahntal bei Gießen, den nördlichsten Vorkommen in Deutschland. – Hessische Faunistische Briefe, **36** (3-4): 33-41; Darmstadt.
- FROMMMER, U., FLÜGEL, H.-J., FALKENHAHN, H.-J. & SCHMALZ, K.-H. (2001): Über das Vorkommen der Mauerbiene *Osmia anthocypoides* SCHENCK 1853 in Hessen (Hymenoptera, Apidae). Hessische Faunistische Briefe, **20** (2-9). 50-52; Darmstadt.
- FRÜH, B., KOSSMANN, M. & ROOS, M. (2011): Frankfurt am Main im Klimawandel – Eine Untersuchung zur städtischen Wärmebelastung. – Berichte des Deutschen Wetterdienstes, **237**: 68 S.; Offenbach.

- FUCHS, P. (2019): Stadtklimauntersuchungen in ausgewählten deutschen Städten. In: LOZÁN, J., BRECKLE, L. S.-W., GRASSL, H., KUTTLER, W. & MATZARAKIS, A. (Hrsg.): Warnsignal Klima: Die Städte. – 74-81. Online: [www.klimawarnsignale.uni-hamburg.de](http://www.klimawarnsignale.uni-hamburg.de). doi: 10.2312/warnsignal-klima.die-staedte.; Offenbach DWD).
- KLAUSNITZER, B. (1982): Großstädte als Lebensräume für das mediterrane Faunenelement. – Entomologische Nachrichten und Berichte **26**, (2): 49-57; Leipzig.
- KOSSMANN, M. (2011): Pilotprojekt Lokale Klimaprojektionen zur Abschätzung zukünftiger Temperaturverhältnisse in Städten. – Vortrag anlässlich der Tagung „Kommunen im Klima – Planungen und Maßnahmen zur Anpassung“ am 7.12.2011 in der Naturschutz-Akademie Hessen, Wetzlar.
- KUTTLER, W. (1998): Stadtklima. – In: SUKOPP, H. & WITTIG, R. (Hrsg.): Stadtökologie: 125-187; Stuttgart (Gustav Fischer Verlag).
- LÖHR, P.W. (1999): Aculeate Hymenopteren (Hymenoptera: Apidae, Chrysididae, Pompilidae, Sphecidae und Vespidae) aus einem Naturgarten im Vorderen Vogelsberg. – Hessische Faunistische Briefe, **18** (4): 57-66; Darmstadt.
- LÖHR, P.W. (2008): Aculeate Hymenopteren (Hymenoptera: Apidae, Chrysididae, Pompilidae, Sphecidae und Vespidae) aus einem Naturgarten im Vorderen Vogelsberg, Nachtrag. – Hessische Faunistische Briefe, **27** (1): 8-9; Darmstadt.
- MALANSON, G.P. (2008): Extinction debt: origins, developments, and applications of a biogeographical trope. – Progress in Physical Geography, **32**: 277-291; London.
- MAZZUCCO, K. & MAZZUCCO, R. (2007): Wege der Mikroevolution und Artbildung bei Bienen (Apoidea, Hymenoptera): Populationsgenetische und empirische Aspekte. – In: GUSENLEITNER, F., AUBRECHT, G. & AESCHT, E.: Evolution – Phänomen Leben. – Denisia, **20**: 617-685 und Kataloge der Oberösterreichischen Landesmuseen Linz, N.S., **66**: 617-685; Linz (A).
- NIX, V., STAUDT, A. & TRIFONOV, T. (2021): Erstnachweise von *Prionyx kirbii* (Vander Linden, 1827) in Deutschland (Hymenoptera: Sphecidae). – Ampulex, **12**: 42-45; Berlin.
- SCHENCK, A. (1855): Ueber einige schwierige Genera und Species aus der Familie der Bienen. – Jahrbücher des Vereins für Naturkunde im Herzogthum Nassau, **10**: 137-149; Wiesbaden.
- SCHENCK, A. (1861): Zusätze und Berichtigungen zu der Beschreibung der nassauischen Grabwespen (Heft XII), Goldwespen (Heft XI), Bienen (Heft XIV) und Ameisen (Heft VIII und XI). – Jahrbücher des Vereins für Naturkunde im Herzogthum Nassau, **16**: 137-208; Wiesbaden.
- SCHMID-EGGER, C. (2011): Rote Liste und Gesamtartenliste der Wespen Deutschlands. Hymenoptera Aculeata: Grabwespen (Ampulicidae, Crabronidae, Sphecidae), Wegwespen (Pompilidae), Goldwespen (Chrysididae), Faltenwespen (Vespidae), Spinnenameisen (Mutillidae), Dolchwespen (Scoliidae), Rollwespen (Tiphidae) und Keulhornwespen (Sapygidae). – In: Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands. – Naturschutz und Biologische Vielfalt, **70** (3): 419-465; Bad Godesberg.
- SILLO, N. & GRIEBELE, E. M. (2020): Die Bienenfauna (Hymenoptera: Anthophila) des Botanischen Gartens der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. – Mainzer naturwissenschaftliches Archiv, **57**: 261-294, Mainz.
- STANDFUSS, K. & STANDFUSS, L. (2021): Ergebnisse 35-jähriger Untersuchungen an Haut- und Zweiflüglern (Hymenoptera et Diptera) in einem naturnahen Privatgarten in Dortmund. – Natur und Heimat, floristische faunistische und ökologische Berichte, **81**(2): 47-82; Münster.
- STRÜBING, S. & M. KORN (2017): Netzwerk Heuschrecken. – HGON Mitgliederinformation August **2017**: 28-31; Echzell (Hessische Gesellschaft für Ornithologie und Naturschutz e.V.).
- TISCHENDORF, S. (2007): Zur Verbreitung und Lebensweise von *Gorytes planifrons* (Hymenoptera: Sphecidae) in Deutschland mit Hinweisen zur Determination der Männchen. – BembiX, **24**: 34-43, Bielefeld.
- TISCHENDORF, S. (2013): Ergänzungen zur Stechimmenfauna Hessens (Hymenoptera, Aculeata). II. Anhang. – Hessische Faunistische Briefe, **32** (1): 1-20; Darmstadt.
- TISCHENDORF, S., FROMMER, U. & CHALWATZIS, N. (2007): Ausbreitung von *Colletes hederarum*

(Hymenoptera, Apidae) in Hessen. – *bembiX*, **25**: 31-36; Bielefeld.

- TISCHENDORF, S., FROMMER, U. & FLÜGEL, H.-J. (2011): Kommentierte Rote Liste der Grabwespen Hessens (Hymenoptera: Crabronidae, Ampulicidae, Sphecidae) – Artenliste, Verbreitung, Gefährdung. – Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. – 240 S.; Wiesbaden.
- TISCHENDORF, S., ENGEL, M., FLÜGEL, H.-J., FROMMER, U., GESKE, C. & SCHMALZ, K.-H. (2015): Atlas der Faltenwespen Hessens. – FENA Wissen, **3**: 260 S.; Gießen.
- TISCHENDORF, S., FROMMER, U., FLÜGEL, H.-J., SCHMALZ, K.-H. & DOROW, W.H.O. (2009): Kommentierte Rote Liste der Bienen Hessens – Artenliste, Verbreitung, Gefährdung. – 152 S.; Wiesbaden (Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz).
- WEIFFENBACH, H. (1989): Daten der im Raum Gießen/Lahn als Beifänge erbeuteten Grabwespen (Hymenoptera: Sphecidae). – Mitteilungen des internationalen entomologischen Vereins, **13** (3/4): 105-111, Frankfurt a. M.
- WESTRICH, P. (1990): Die Wildbienen Baden-Württembergs, 2. Auflage. – 972 S.; Stuttgart (Eugen Ulmer Verlag).
- WESTRICH, P. (2019): Die Wildbienen Deutschlands, 2. Auflage. – 821 S.; Stuttgart (Eugen Ulmer Verlag).
- WOLF, H. (1956): Nassauische Bienen (Hym. Apoidea). Beiträge zur Hymenopterenfauna des oberen Lahn-Dill-Sieg-Gebietes, V. – Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde, **92**: 37-49; Wiesbaden.
- WOLF, H. (1971): Der Diabas des oberen Dilltales und die Verbreitung wärmeliebender Ameisen, Wespen und Bienen. – Jahrbücher des Nassauischen Vereins für Naturkunde, **101**: 89-96; Wiesbaden.

## Nachtrag

Nach Manuskripteingang konnte im Botanischen Garten Gießen am 28.08.2023 überraschend die Grabwespe *Prionyx kirbii* (Vander Linden 1827) aufgefunden werden. Diese auf Sand lebende Art wurde 2020 erstmals in Deutschland mit bisherigen Fundorten bis in das Rhein-Main-Gebiet nachgewiesen (Nix et al. 2021). Das Auftauchen im Gießener Becken spricht für den Einwanderungsweg über die Wetterau, der für viele wärmeliebende Arten festgestellt werden konnte (s. Kap. 6 Diskussion).



Ein Weibchen der Grabwespe *Prionyx kirbii* trinkt Nektar auf *Armeria elongata*; Photo: H. Bahmer.

DR. ULRICH FROMMER  
Grünberger Straße 16 B  
35390 Gießen  
Tel.: 0641/35559  
E-Mail: u-frommer@web.de

HANS BAHMER  
Nonnenweg 22,  
35394 Gießen  
E-Mail: buecherskorpion@t-online.de

Manuskripteingang: 13. Juni 2023



# Bericht über den Nassauischen Verein für Naturkunde (NVN) im Jahr 2022

HELMUT ARNOLD

Unser Nassauischer Verein für Naturkunde e.V. (NVN) konnte auch 2022 mit guten Vorträgen, Exkursionen und Publikationen – bei leicht sinkender Mitgliederzahl aber guter Kassenlage – erneut beachtenswerte naturkundliche Beiträge leisten. Dafür danke ich allen Beteiligten!

## Mitgliederentwicklung

Im Jahr 2022 sind verstorben:

Herr Dr. Wolfgang Czysz

Frau Behrens-Haberney

Herr Dieter Zingel

(vgl. Nachruf in den Mitteilungen Nr. 75, S. 13)

Wir werden ihnen ein ehrendes Andenken bewahren.

## Neumitglieder

Als neue Mitglieder konnten im Berichtsjahr begrüßt werden:

Herr Rainer Dernbach

Herr Thomas Greiner

Die Zahl der Mitglieder entwickelte sich in 2022 wie folgt:

Anzahl am 31.12.2021	273 Mitglieder
Eintritte	2
Austritte	8
verstorben	3
Anzahl am 31.12.2022	264 Mitglieder

Die Mitgliederwerbung sollte deutlich verstärkt werden!

## Jubilare

Für ihre langjährige Zugehörigkeit zum NVN sei allen Mitgliedern gedankt. Besonderer Dank gilt den Jubilaren:

### 25 Jahre Mitgliedschaft:

Margot und Theodor-Friedrich Arenz, Dr. Kurt Emde, Dr. Ulrich Flick, Dr. Nicola Hug-Diegel, Renate und Uwe Nohl, Dr. Hartmut Schade, Dr. Rudolf Schneider, Susanne Petra Schwenzer, Ulrich Stephan, Dieter Strohwal, Christopher Thomas,

Prof. Dr. Benedikt Toussaint, Wolf-Rüdiger Wandke; Speläologische AG Hessen  
40 Jahre Mitgliedschaft:  
Hans Joachim Menius

## Vorstand und Beirat

Den **Vorstand** bildeten in 2022 Dr. H. Arnold (1. Vors.), Dr. W. Ehmke (2. Vors.), Fr. S. Neugebauer (Presse), Fr. Dr. T. Reinhardt (Schatzmeisterin), Prof. Dr. B. Toussaint (Schriftleiter), Hr. H.-J. Freiling (Schriftführung; reduziert) und Hr. W.-R. Wandke (EDU, Versand, besondere Aufgaben).

Im **Beirat** engagierten sich Hr. F. Geller-Grimm (NHS), Fr. Dr. D. Heidelberger (Geologie), Fr. S. Kridlo (Vorträge), Fr. Dr. E. Mietzsch (Homepage), Fr. Dr. G. Radtke (Geologie) und Dr. M. Weidenfeller (Geologie, Programm).

Es fanden sieben **Vorstandssitzungen statt**, davon drei Sitzungen mit dem Beirat.

Den Vorstand unterstützten Fr. Kuschewitz und Hr. Riedel beim Versand der Publikationen.

Ein Termin für ein Treffen mit den „Freunden des Museums“ konnte zwar nicht gefunden werden. Der NVN dankt aber für die gute Kooperation bei den Vortragsveranstaltungen.

Am 22. November begrüßten wir die Rheinisch Naturforschende Gesellschaft bei uns in Wiesbaden. Dr. Lerp führte zunächst durch die Ausstellung „Vom Wert des Wassers“; dann folgte ein freundschaftlich-kollegialer Austausch bei Speis und Trank. Diese Vereinstreffen finden jährlich wechselseitig statt.

## Publikationen

Die vielfältigen naturkundlichen Informationen des NVN werden mit den Jahrbüchern, den Mitteilungen und Homepage-Einträgen und vereinsinternen Rundschreiben und Pressemitteilungen publiziert.

Es erschienen 2022 die Mitteilungen 74, das Jahrbuch Bd. 143, der erneuerte Flyer „Geologischer Rundweg Rabengrund“ sowie die Programm-Flyer Winter 2021/22, Sommer 2022 sowie Winter 2022/23.

Der wiederum sehr gelungene Band 143 (2022) des Jahrbuchs gibt mit acht Beiträgen unser bemerkenswertes wissenschaftliches Umfeld wieder, das Prof. Dr. Toussaint dankenswerterweise zu anregenden Beiträgen motivieren kann. Hinzu kommen Rezensionen und der Jahresbericht 2021 des 1. Vorsitzenden. Der Schriftleiter kündigte an, dass in den Jahrbüchern in Zukunft das Themenspektrum fachlich und auch räumlich erweitert werden soll.

Wie seither stehen die Jahrbücher – um ein Jahr verzögert – via ZoBoDat einem internationalen Interessentenkreis zur Verfügung.

Zudem erfolgt weiterhin ein internationaler Schriftentausch mit uns nahestehenden Institutionen, der von der Hochschul- und Landesbibliothek RheinMain (HSLB-RM) für uns organisiert wird. Der Schriftentausch ist immer wieder zu aktualisieren, da der Verein selbst keine Biobliothek führt, die Tauschpartner ihre Publikationsweise hin zu digitalen Plattformen ändern und die HSLB-RM selbst eine Reduktion der Tauschpartner anstrebt und die NHS-Biobliothek dankenswerterweise die nicht von der HSLB-RM eingestellten Publikationen grundsätzlich übernimmt.

Die Mitteilungen 74 geben einen guten Überblick über Vereinsaktivitäten, vor allem Exkursionen, zudem stellen sie in bewährter Weise Informationen über Natur, Umwelt- und Klimaschutz sowie aus naturkundlich bezogenen Wissenschaften zusammen. Die Mitteilungen werden unmittelbar nach Erscheinen auf unserer **Homepage [www.naturkunde-online.de](http://www.naturkunde-online.de)** veröffentlicht.

Mitglieder, die noch keinen Internet-Zugang haben oder die Mitteilungen noch beim Lesen in der Hand halten möchten, erhalten diese weiterhin postalisch. Alle Mitglieder sind zu Beiträgen eingeladen; ein wissenschaftlicher Charakter ist ausdrücklich nicht erforderlich, wohl aber ein deutlich naturkundlicher Bezug!

## Finanzen

Der Kassenbestand entwickelte sich 2022 wie folgt:

Bestand am 31.12.2021	31.005,10 €
Bestand am am 31.12.2022	17.367,83 €
Bestandsveränderung	- 13.637,35 €

Nach den Unterlagen der Buchhaltung ergeben sich für 2022:

Einnahmen	12.230,42 €
Ausgaben	- 25.867,77 €
Bestandsveränderung	- 13.637,35 €

Allen Spendern sei herzlich für Ihre, teilweise sehr großzügigen, Zuwendungen gedankt.

Mit unseren verfügbaren Mitteln finanzieren wir hauptsächlich unsere Druckwerke, d. h. Jahrbuch, Mitteilungen und Flyer, Referenten, förderten Projekte der Naturpädagogik (freier Eintritt für Schulklassen in Naturausstellungen) sowie der Naturwissenschaftlichen Sammlungen und Ausstellungen (erhebliche Unterstützung des 3D-Modells der Stadt Wiesbaden in der Wasserausstellung). Gemeinsam mit den Freunden des Museums Wiesbaden (FdM) unterstützen wir die Bienenhaltung auf dem Museumsdach und damit den Honigverkauf des Museums.

Die Kasse wurde am 07.03.2022 von den Revisoren B. Löhner und H. Heinz geprüft.

Es wurde die tadellose und übersichtliche Kassenführung bestätigt, alle Ausgaben waren satzungsgemäß.

Auf deren Antrag erteilte die Versammlung der Schatzmeisterin und dem Vorstand insgesamt Entlastung.

## **Veranstaltungen**

Wegen der Corona-Pandemie konnten alle Veranstaltungen nur unter Beachtung der jeweiligen Vorgaben durchgeführt werden.

### **Exkursionen 2022**

- 26.03 Dr. W. Ehmke  
**Frühjahrsblüher im Aukammtal**
- 24.04. P. Siersleben  
**Vogelwelt am Schiersteiner Hafen**
- 07.05 Dr. G. Radtke  
**Bodendenkmäler im Steinbruch Dyckerhoff**
14. 05. Dr. R. Dambeck  
**Hibbe unn Hribbe durchs Obere Dattenbachtal**
21. 05 S. Neugebauer  
**Naturkundetag im Raum Usingen**
25. 06. Dr. W. Ehmke  
**Botanische Exkursion zum Schutzacker der Bürgerstiftung in Hausen v. d. H.**
10. 08. Dr. G. Mittelbach  
**Thermalquellenführung**

Diese Exkursionen fanden insgesamt einen sehr guten Zuspruch und bilden weiterhin ein besonderes Kennzeichen unseres Vereins.

### **Vorträge 2022**

Mit den Naturhistorischen Sammlungen und teilweise in Kooperation mit den FdM; stets am 2. Dienstag eines Monats; im Juli Sommerpause.

- 11.01. Prof. Dr. Jürgen Schreuer, Institute of Geology, Mineralogy and Geophysics Faculty of Geosciences Ruhr-University Bochum  
**„Crystal engineering“ – Vom Bergkristall zum Smartphone**  
in Kooperation mit den FdM  
Hybrid-Vortrag

- 08.02 Dr. Carsten Novak, Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung, Standort Gelnhausen  
**Wölfe in Hessen – gekommen um zu bleiben**
- 08.03. Joachim Lorenz, Karlstein am Main  
**Der Spessart – Mineralien, Geologie, Bergbau, Steine & Erden**
- 12.04. Prof Dr. Hans-Rudolf Bork, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Ökosystemforschung  
**Tragödien der Vergangenheit – Umweltkatastrophen prägen mitteleuropäische Landschaften**  
in Kooperation mit den FdM  
Hybrid-Vortrag
- 10.05. Dr. Georg Mittelbach, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie  
**Wasser und Wiesbaden**  
in Kooperation mit den FdM
- 14.06. Prof. Dr. Schwedt, Bonn  
**Mineralwässer aus vulkanischen Tiefen**  
musste krankheitsbedingt entfallen
- 12.07. Dr. Leo Gros  
**Hinter den Kulissen der Chemie: Wasseranalytik bei Carl Remigius Fresenius und heute**
- 13.09. Dr. Johannes Lückmann, Bensheim  
**Schwarzfahrer mit Gift-Cocktail – Spannendes aus dem Reich der Ölkäfer**  
in Kooperation mit den FdM
- 11.10. Prof. Dr. Peter Biedermann, Leiter der Professur für Forstentomologie und Waldschutz, Universität Freiburg  
**Alkohol, Inzucht und Kinderarbeit: Neue Einblicke in das Leben heimischer Borkenkäfer**  
in Kooperation mit den FdM
- 08.11. Dr. Fanny Frick-Trzebitzky, Institut für Sozial Ökologische Forschung, Frankfurt am Main  
**Vom Wert des Grundwassers**
- 13.12. PD Dr. Andrea Sundermann; Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung, Sektionsleiterin Flussökosystem-Management  
**Vielfalt im Fluss: Die Fauna in den Gewässern des Rhein-Main-Gebietes**

Alle Vorträge fanden großes Interesse und nicht selten folgten lebhaftere Diskussionen.

## Natur unter der Lupe/Naturpädagogik

Dieser Workshop für Kinder von 8–12 Jahren zu naturkundlichen Themen wird vom Nassauischen Verein für Naturkunde (Wolf-Rüdiger Wanke und Wiltraut Stroothenke) in Zusammenarbeit mit den Naturhistorischen Sammlungen und der Museumspädagogik des Museums Wiesbaden (EDU) seit 2015 erfolgreich veranstaltet.

An neun naturpädagogischen Workshops nahmen wieder 77 (z. T. Mehrfachnennungen) Schüler und -innen teil. Die Themen waren sehr interessant und vielfältig: Vom Goldwaschen über Schmetterlinge bis zu „Die flitzende Batterie in einer Drahtspirale“.

Anfang Juni waren ferner Studenten und -innen sowie ihre Dozentin von der PH Ludwigsburg zwei Tage zu Gast, um frühkindliche Erziehungsmethoden bei EDU (Kunst und Natur) und bei „Natur untr der Lupe“ kennenzulernen.

## Vereinstreffen

Am 15. Oktober 2022 trafen sich leider nur wenige Mitglieder zum Vereinstreffen am Goethestein/Frauenstein. Nach einem Spaziergang, bereichert um zahlreiche landschaftsökologische Kommentare, rund um den 90-jährigen Gedenkstein, der an den Besuch des großen Dichters dort 1815 erinnert, kehrten wir in den Nürnberger Hof ein und ließen das Treffen genüsslich ausklingen. Wir wollen auf das Vereinstreffen nicht verzichten, so das einstimmige Credo.

## Öffentlichkeitsarbeit

Mitglieder und interessierte Öffentlichkeit informieren wir stets über unsere verschiedenen Veranstaltungen mit Programmflyern und Pressemitteilungen sowie unsere Homepage; Mitglieder werden auch direkt mittels elektronischer Post (E-Mail) informiert.

Für Presse-Informationen zu unseren Exkursionen ist Fr. Sabine Neugebauer verantwortlich, für die zu unseren Vorträgen Fr. Susanne Kridlo.

Unsere Veranstaltungen werden zudem vom Museum Wiesbaden, dem Umweltamt der Stadt Wiesbaden und von mit uns verbundenen Organisationen bekannt gemacht.

Eine gute Pflege und Aktualisierung unserer Homepage [www.naturkunde-online.de](http://www.naturkunde-online.de) stellt Fr. Dr. Esther Mietzsch sicher.

Unser Schriftleiter Prof. Dr. Benedikt Toussaint zeichnet für unsere Schriften (Jahrbuch, Mitteilungen sowie Flyer zum Sommer- und Winterprogramm) verantwortlich.

Die wichtigste Werbung für unsere Veranstaltungen ist und bleibt die persönliche Ansprache bzw. Einladung !!

Mein besonderer Dank gilt allen, die unser Programm auch 2022 wieder mitgestalteten und unterstützten.

6. September 2023



Dr. Helmut Arnold



## Jahrbücher des NVN, Bd. 143 (2022)

Jb. nass. Ver. Naturkde., 143: 209 S., 76 Abb., 3 Tab.; Wiesbaden 2022

ISSN 0368-1254, Softcover, 15 x 12 cm, Ladenpreis 12,00 €



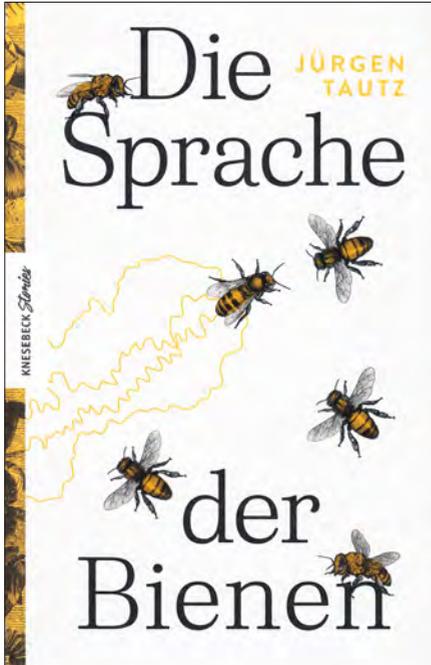
Dieser Band mit acht Fachbeiträgen bietet ein breites Themenspektrum. Die Schwerpunkte werden überwiegend von Botanikern gesetzt, wobei auch das Klima bzw. der Klimawandel mit seinen Folgen für die Vegetation angesprochen wird. Der erste Beitrag befasst sich mit wünschenswerten Naturwaldzellen in Kommunalwäldern als Beitrag zum Klimaschutz und der Artenvielfalt, als Beispiel wird der Stadtwald Taunusstein vorgestellt [Dr. W. Ehmke]. Interessant ist zu wissen, wie sich Bäume an Trockentress anpassen. Baumarten der Zukunft müssen Eigenschaften aufweisen, dass sie ihre Funktion auch in 50 Jahren noch erfüllen können [Prof. A. Roloff]. Im nachfolgenden Beitrag werden 31 seit 1900 im Taunus verschwundene Pflanzenarten aus ökologischer Sicht charakterisiert, es werden die Gründe für das Erlöschen aufgezeigt [Prof. R. Wittig]). Der nächste Beitrag informiert darüber, wie die Honigbiene zur Blume, ihrer Futterquelle, findet. Der bekannte Schwänzeltanz hat in diesem Zusammenhang zwar große Bedeutung, er zeigt aber lediglich grob ein Zielgebiet an, weil noch viele weitere Mechanismen eine Rolle spielen [Prof. J. Tautz]. Wie im letzten Jahrbuch kommen

auch jetzt wieder Archäologen zu Wort, es wird über Karsthöhlen in der Schwäb. Alb mit ihrer Eiszeitkunst aus der Kultur des Aurignaciens (etwa 42.000 bis 34.000 Jahre vor heute) berichtet. Dieses von der UNESCO als erstes deutsches frühgeschichtliches Bodendenkmal geadelte Weltkulturerbe ist für seine weltweit frühesten Belege für figürliche Kunstwerke, Darstellungen von Mischwesen u. a. m. bekannt [Dr. S. Wolf & Prof. N. J. Conard]. Ein Spezialist für Dendrochronologie erläutert in seinem Beitrag, wie mittels dieser Forschungsrichtung wichtige Erkenntnisse zur Klimaentwicklung in der Vergangenheit gewonnen werden können, und zwar mit erstaunlicher zeitlicher Präzision. So wird anhand von Jahresringen ein markantes holozänes Klimaereignis rekonstruiert [Dr. A. Land]. Im vorletzten Beitrag entschlüsselt der Autor aus aktualistischer Sicht die Genese periglazialer Lagen in Mitteleuropa während des Pleistozäns [Dr. A. Stahr]. Im achten und letzten Beitrag wird der Weg des Rheins durch das Obere Mittelrheintal, 2002 als erste deutsche Kulturlandschaft in die Welterbe-Liste der UNESCO aufgenommen, aus unterschiedlichen Blickwinkeln verfolgt. Es wird aufgezeigt, dass die speziellen geologischen Verhältnisse verkettet sind u. a. mit den kulturellen Gegebenheiten dieser Region, der Infrastruktur oder dem regionalen Klima in diesem cañonartig eingeschnittenen Flusstal [Dr. E. Kümmerle].

## JÜRGEN TAUTZ (2021): Die Sprache der Bienen

256 S., 56 Abb.; München (Kneesebeck-Verlag)

ISBN 978-3-95728-503-4, gebunden, 13,6 x 21,0 cm, Ladenpreis 22,-- €



In 15 Kapiteln erklärt Prof. Dr. Jürgen Tautz, der in der Fachwelt als Deutschlands führender Bienenforscher gewürdigt wird, wie Bienen miteinander kommunizieren. In seinem Buch befasst sich der Autor, für Profis und Laien gleichermaßen unterhaltsam, nicht nur mit dem berühmt gewordenen Schwänzeltanz, sondern auch mit weiteren spannenden Phänomenen im Informationsaustausch zwischen den sozial lebenden Bienen.

Im einführenden Kapitel wird als Quintessenz des Buches zusammenfassend bereits klargelegt, dass die Funktion und Bedeutung der Tanzsprache der Bienen bis heute überschätzt wird und andererseits die Verständigung zwischen Sammelbienen im Feld fernab vom Stock nach wie vor mangelhaft erforscht ist.

In Kap. 2 wird verdeutlicht, dass es in 2000 Jahren Bienenforschung, die in Kap. 3 für die letzten 100 Jahre näher beschrieben wird, nicht wirklich gelungen ist, die Kommunikation zwischen den Bienen auf der Strecke Bienenstock/Futterquelle ohne Widersprüche aufzuklären. Kap. 4 und 5 widmen sich den beiden wichtigsten Protagonisten der Bienenforschung in neuerer Zeit, nämlich Karl von Frisch, dem 1973 für seine bahnbrechenden Erkenntnisse über die Bedeutung des Bienentanzes der Nobelpreis für Medizin verliehen wurde, und Adrian Wenner, der davon ausgeht, dass sich Bienen ausschließlich am Duft orientieren. Kap. 6 verweist auf die Experimente des Biologen James L. Gould, die in Bezug auf die kontroversen Positionen der von Frisch- und Wenner-Schule einiges klären konnten, viele Erkenntnislücken blieben aber, der Ansicht von Adrian Wenner konnte jedenfalls nicht gefolgt werden. Daher konzentriert sich die Forschung seither auf das Innere des Bienenstockes (Kap.7), so auf die Erfassung unterschiedlicher, z. B. chemischer und elektrischer Informationssignale und ebenso auf die Analyse von Videoaufzeichnungen.

Die Beantwortung der Frage, wie jüngere Bienen an einen entfernten Futterplatz gelangen, für den eine erfahrenere Sammelbiene mit ihrem Tanz wirbt, ist für den Autor nach wie vor offen. Sein Ziel ist es, eine der bekanntesten Kontroversen der Verhaltensbiologie aufzulösen und die Schulen der beiden Kontrahenten unter dem Dach einer differenzierteren Bienensprachentheorie zu vereinen. Ob und wie ihm dies gelingt, wird in den folgenden Kapiteln des Buches dargelegt. Er wertet dazu u. a. die Ergebnisse der im Laufe der Jahrzehnten durchgeführten zahlreichen Experimente, auch seiner eigenen, aus. Er spart auch die Lücken nicht aus, die von der Wissenschaft entweder dank neuer Ansätze geschlossen werden konnten oder bis heute offengeblieben sind.

So verdiente die Vermessung der Tanzfiguren in Raum und Zeit viel Aufmerksamkeit, darüber informiert Kap. 8. Außerdem wurden aus den Tänzen der Bienen abgeleitete Ortsangaben mittels Vektorberechnungen analysiert (Kap. 9) und in Untersuchungen wurden künstliche mechanische Bienen eingesetzt (Kap. 10). Der Flug dieser Roboterbienen und echter Bienen wurde mittels Radartechnik verfolgt, um herauszufinden, welche Tanzparameter in der Kommunikation von Bienen relevant sind. Trotzdem bleibt die ernüchternde Erkenntnis, dass bis heute letztlich wenig über die Kommunikation zwischen Honigbienen außerhalb ihres Stockes bekannt ist (Kap. 11).

Es ist aber deutlich geworden, dass Bienen nicht nur über Tänze miteinander kommunizieren, wie ihr Verhalten im Schwarm zeigt (Kap. 12), und wie überlebenswichtig das Wahrnehmen von Düften ist, die von Futterquellen wie Blüten freigesetzt werden. In Kap. 13 wird auch gezeigt, welche wichtige Rolle ein in der Nasapov-Drüse im Hinterleib von Arbeiterinnen produzierter körpereigener Duftstoff spielt und dass auch optische Effekte wie das Polarisationsmuster des Himmels der Kommunikation zwischen Bienen dienen.

In Kap. 14 zieht der Autor das Fazit, dass die von Frisch- als auch die Wenner-Schule mit ihren Auffassungen in wesentlichen Punkten recht als auch unrecht haben und die Wissenslücken insbesondere bezüglich Fernorientierung trotz einer Unmenge von Daten und Beobachtungen immer noch groß sind.

Im letzten Kap. 15 gibt der Autor noch einen Tipp, wie man Honigbienen darauf dressiert, einen Futterplatz anzunehmen.

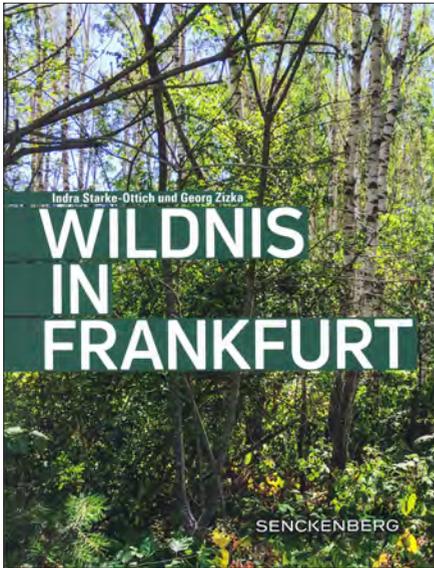
Das vorliegende Buch *Die Sprache der Bienen* stellt erstmals die Verständigung unter Bienen vollständig zusammen und ordnet die wesentlichen Bausteine der in den letzten 100 Jahren veröffentlichten Arbeiten aus einem neuen Blickwinkel in ein übergeordnetes, neues Konzept. Die Ausführungen werden von zahlreichen Grafiken und Bildern unterstützt, wodurch die räumlichen Verhältnisse der Experimente und die dabei gewonnenen Erkenntnisse leichter nachvollziehbar werden. Das Buch wird nicht nur interessierten Naturfreunden empfohlen, sondern wegen seiner Informationsfülle auch „gelernten“ Biologen, es ist seinen Preis wert.

Benedikt Toussaint

## INDRA STARKE-OTTICH & GEORG ZIZKA (2022): Wildnis in Frankfurt

296 S., 285 Abb., 21 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart)

ISBN 978-3-510-61422-6, broschiert, 17 x 22 cm, Ladenpreis 22,90 €



Der im Oktober 2022 herausgekommene mittlerweile vierte Band zur Frankfurter Stadtnatur zeigt an ausgewählten Beispielen, dass trotz der extremen Flächenkonkurrenz in Großstädten Lebensräume ohne oder mit nur wenigen Eingriffen des Menschen in eine natürlich ablaufende Entwicklung möglich sind und wie Defizite behoben werden könnten.

Im ersten von sieben Kapiteln wird die Zielsetzung dieses Buches näher erläutert und anhand vieler Beispiele die Bedeutung der Wildnisflächen sowohl für die Artenvielfalt als auch für die in Frankfurt lebenden Menschen aufgezeigt.

Im zweiten Kapitel wird neue Wildnis alter Wildnis gegenübergestellt.

Ein Beispiel für neue Wildnis ist die noch nicht abgeschlossene Renaturierung des Fechenheimer Mainbogens. Es wurden nicht nur neue Gewässer geschaffen, sondern auch die aktuellen Lebensräume und die Artenvielfalt mit großem Aufwand kartiert. Ein Beispiel für alte Wildnis ist der Biegwald, heute ein Relikt der Auenwälder des Flüsschens Nidda mit einem alten Eichen-Hainbuchen-Bestand. Der ursprüngliche Wildnischarakter ist insbesondere wegen der schrittweisen Regulierung der Nidda und somit Eingriffen in den Gebietswasserhaushalt sowie Verkehrssicherheitsmaßnahmen in diesem Naherholungsgebiet gefährdet. Das betrifft nicht nur die Pflanzenwelt und den Lebensraum für Vögel, sondern auch den streng geschützten Heldbock, einen der größten Käfer Mitteleuropas. Als drittes Beispiel wird die alte Kulturlandschaft Sossenheimer Unterfeld vorgestellt, die nicht „wild“, aber trotzdem ökologisch wertvoll ist (u. a. Streuobstwiesen, Feuchtbiotope), wie eine ausführliche Biotopkartierung nachgewiesen hat.

Das dritte Kapitel, überschrieben mit „Zwischen Ruhe und Lärm“, bezieht sich auf den Frankfurter Hauptfriedhof und das Frankfurter Autobahnkreuz, zwei Gebiete, die unterschiedlicher nicht sein können. Es überrascht zwar nicht, dass jetzt

schon extensiv genutzte Bereiche des Hauptfriedhofs mit vielen alten und neuen Pflanzen und einer reichen Vogelwelt ein „Biodiversitäts-Hotspot“ mit knapp 320 nachgewiesenen Taxa im Stadtgebiet sind, als solcher gilt für Experten aber auch das Frankfurter Kreuz. Überwiegend ruderal geprägte Stauden- und Grasfluren konnten sich dort relativ ungestört entwickeln und auch Tiere, müssen aber Belastungen durch Lärm, Erschütterungen und Abgase ertragen.

Im vierten Kapitel geht es um wilde Nachbarn, vornehmlich um viele Tierarten, die sich die Stadt mit dem Menschen teilen, häufig als Kulturnachfolger wie der Rotfuchs oder die Amsel, die das Nahrungsangebot nutzen oder auch bessere Verstecke und Fortpflanzungsmöglichkeiten finden als in der freien Natur. Viele Tiere haben sich an den Menschen gewöhnt wie die meisten Vögel, andere leben weitgehend im Verborgenen wie die Fledermäuse, die im Fokus dieses Kapitels stehen. Näher thematisiert wird auch der Efeu, der einen ganz speziellen Lebensraum an Frankfurter Mauern bildet, für viele Tiere einen Rückzugsort darstellt und für die Städte zahlreiche Ökosystemleistungen erbringt wie u. a. als grüner Luftfilter.

Das fünfte Kapitel widmet sich zunächst der Vegetation der Pflasterfugen und der Baumscheiben. Diese Klein(st)lebensräume im versiegelten Bereich beherbergen eine erstaunliche Artenvielfalt. Ein dritter Beitrag befasst sich mit dem Götterbaum, einem in Frankfurt mittlerweile etablierten invasiven Neophyten.

Im sechsten Kapitel wird das Projekt „Städte wagen Wildnis – Vielfalt erleben“ vorgestellt, das von 2016 bis 2020 zusammen mit zwei Partnerstädten durchgeführt wurde. Frankfurt hatte für das Projekt den Nordpark Bonames und Brachflächen am Fuß des Monte Scherbelino, einer früheren Mülldeponie, ausgewählt, in ihrer Biotopstruktur sehr unterschiedliche Areale. Die Zielsetzung war die über einen längeren Zeitraum laufende Beobachtung von Flora und Fauna. Weitere Beiträge dieses Kapitels befassen sich speziell mit der Avifauna, den Wildbienen, den Heuschrecken und weiteren Insekten in diesen beiden Wildnisflächen und ziehen ein Fazit aus den fünf Projektjahren.

Das siebte und letzte Kapitel dieses Buches listet zusammenfassend die urbane Wildnis in Frankfurt und die mit gezielten Maßnahmen erfolgte Förderung der Arten- und Biotopvielfalt auf und betont die große Bedeutung der Ökosystemleistungen der Stadtnatur. Es wird aber auch deutlich gemacht, dass das rasche Vorranschieben der Versiegelung städtischer Flächen zeigt, dass bei der Umsetzung der Erkenntnisse noch erhebliche Lücken bestehen.

Ziel dieses Buches ist es, bei allen Naturinteressierten und in der Stadtplanung Tätigen den Blick für diese wertvollen städtischen Wildnisflächen und ihre Entwicklung zu schärfen. Das Buch ist nicht nur zu empfehlen, weil es gut geschrieben ist und 285 farbige Abbildungen die verschiedenen Themen illustrieren, sondern weil es auch Anstöße gibt, die „Wildnis in der Stadt“ wertzuschätzen und weitere Maßnahmen zu ihrer Förderung anregt.

Benedikt Toussaint

**GAËLLE ROSENDAHL & WILFRIED ROSENDAHL (Hrsg.) (2022):  
Eiszeit – Mensch. Natur. Klima**

264 S., 268 Abb.; Oppenheim a. Rh. (Nünnerich-Asmus)  
ISBN 978-3-96176-182-1, gebunden, 25 x 29,5 cm, Ladenpreis 25,00 €



Die Reiss-Engelhorn Museen Mannheim haben im Jahr 2022 in Rosenheim die jahrelang konzipierte Ausstellung Eiszeit – Mensch. Natur. Klima präsentiert. Der vorliegende Begleitband zur Ausstellung versteht sich aber nicht als Ausstellungskatalog, sondern als besonderer ‚Reiseführer‘ in die Zeit zwischen 40.000 und 15.000 Jahren vor heute, in der es während der letzten quartären Eiszeit z. T. extrem kalt war. Die drei großen Themenblöcke Mensch, Natur und Klima mit zusammen 12 Beiträgen wurden von 16 Autorinnen und Autoren verfasst.

Im ersten mit „Mensch“ überschriebenem Themenblock wird der Stammbau des Menschen skizziert. Mittels mittlerweile zur Verfügung stehender genetischer Analysen fossiler Knochen konnte er erheblich verfeinert werden. Ein bekannter Vertreter der Urmenschen ist der in Afrika entstandene *Homo heidelbergensis*, aus dem sich in Europa der vor etwa 28.000 Jahren ausgestorbene Neandertaler entwickelte. Der Exodus des *Homo sapiens* aus Afrika begann vor etwa 210.000 Jahren, also früher als bisher angenommen, in Mitteleuropa trifft man ihn ab der Zeit vor etwa 47.000 Jahren. Nach neuen Erkenntnissen erschien er vor ca. 30.000 Jahren in S-Amerika, vor 16.000 Jahren wanderte er in N-Amerika ein.

Der folgende Beitrag ist speziell dem Neandertaler gewidmet und den Methoden, an Hand derer sein Genom entschlüsselt wurde. Es wurde nicht nur herausgefunden, dass im Genom des heutigen Menschen Eurasiens noch 2 bis 4 Prozent Neandertalergene zu finden sind, sondern dass sich seine Gene auf unser Aussehen, Verhalten und unsere Gesundheit wie u. a. Covid 19-Verläufe auswirken.

Der dritten Beitrag dieses Themenblocks befasst sich mit dem in Neuessing, Krs. Kelheim/ Bayern, gefundenen Skelett eines Menschen, der vor rd. 34.000 Jahren lebte. Es wird über die Fundgeschichte, Zustand des Skeletts, Geschlecht, Mobilität, Körpergröße, Ernährung u.a.m. sowie über die zahlreichen neuen naturwissenschaftlichen Untersuchungen dieser jungpaläozoischen Bestattung berichtet.

Im vierten und letzten Beitrag dieses Themenblocks skizziert die Autorin das Alltagsleben der Menschen in der zweiten Hälfte des letzten quartären Glazials, die überwiegend durch große Kälte und Eishöchststände gekennzeichnet war. Sie stellt sich vor, was die Menschen in den vier Jahreszeiten eines fiktiven Jahres unternommen haben, um ihre Ernährung sicherzustellen, gesund zu bleiben, vor den Unbilden der Witterung geschützt zu wohnen, wie und welche Werkzeuge und Kleidung sie herstellten, welche Kunstfertigkeiten es gab, wie sie ihre Toten bestatteten und welche sozialen Netzwerke es gab.

Im zweiten Themenblock „Natur“ werden zunächst 30 große und kleinere Säugtiere der letzten Eiszeit vorgestellt. Die meisten kommen auch heute noch vor, andere wie z. B. Auerochse, Höhlenbär, Höhlenlöwe, Mammut, Riesenhirsch und Wollnashorn sind ausgestorben. Anschließend werden 11 Vogelarten beschrieben, die alle auch heute leben wie z.B. Gänsegeier, Graugans, Schneeeule oder Steinadler. Abschließend werden 12 Pflanzen angesprochen, die es auch in der letzten Eiszeit gab wie u. a. Echter Baldrian, Beifuß oder Preiselbeere. Einige von ihnen sind wertvolles Wildgemüse oder dienen als Heilmittel. Alle ausgewählten Säuger, Vögel und Pflanzen haben einen Steckbrief und sind in großen Abbildungen dargestellt.

Im letzten Themenblock „Klima“ mit fünf Beiträgen wird zunächst pauschal erläutert, was Eiszeiten sind, wie sie entstehen und wann und wo Eismassen große Flächen auf der Erdkugel einnahmen. Der Focus liegt auf der letzten quartären Eiszeit, die vor ca. 115.000 Jahren begann und vor 11.700 Jahren endete.

Es folgt ein kurzer Überblick über Klimaarchive wie Skelettreste, Tropfsteine in Karsthöhlen, Pollen z. B. aus Mooren, Bändertone als Seeablagerungen, Eisbohrkerne, Lössprofile und Paläoböden, welche durch Anwendung unterschiedlicher Verfahren Erkenntnisse über Leben und Umwelt während einer Eiszeit liefern.

Im dritten Beitrag wird ein Forschungsvorhaben vorgestellt, das zeigt, wie aus in trockenen Eifelmaaren abgeteufte Kernbohrungen anhand des vorgefundenen organischen Materials und der mineralogischen Zusammensetzung von Tephralagen das Klima in der Eifel während der letzten 60.000 Jahren rekonstruiert werden konnte. Im vierten Beitrag wird auf die Spuren der letzten Vergletschung im Rosenheimer Becken wie u. a. Moränen, Schmelzwasserrinnen, Toteislöcher, Gletscherschliffe und Findlinge aufmerksam gemacht. Auch die damalige Fauna und Flora kommen nicht zu kurz.

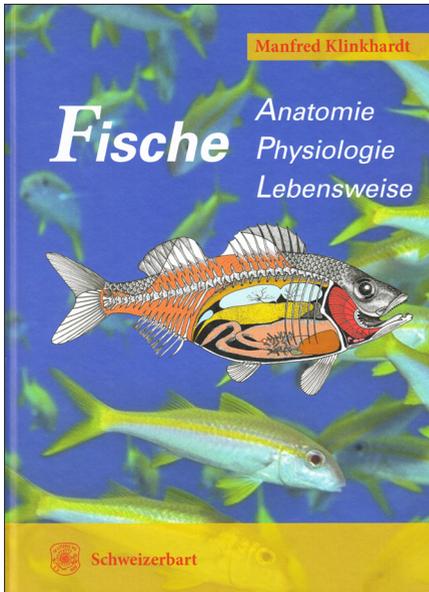
Folgt auf die Eiszeit eine Heißzeit? Das ist Thema des letzten Beitrages, in dem auf die Rolle des CO<sub>2</sub> hinsichtlich des Klimawandels eingegangen und auf eher bedrückende Zukunftsaussichten eingestimmt wird.

Das auf einem hohen wissenschaftlichen Level angelegte und trotzdem gut verständlich geschriebene vorliegende Buch hilft insbesondere interessierten Laien zu verstehen, was die damaligen Menschen körperlich, emotional und psychisch leisten mussten, um im lebensfeindlichen eiszeitlichen Klima überleben zu können. Es ist seinen Preis wert und wird vom Rezensenten zur Lektüre empfohlen.

Benedikt Toussaint

## MANFRED KLINKHARDT (2023): *Fische. Anatomie Physiologie Lebensweise*

XII, 388 S., 364 Abb., 51 Infoboxen; Stuttgart (Schweizerbart)  
ISBN 978-3-510-65543-4, gebunden, 22 x 28 cm, Ladenpreis 54,90 €



Im vorliegenden Buch werden die Fische als älteste und artenreichste Klasse der Wirbeltiere und die im Verlauf ihrer langen Evolutionsgeschichte entwickelten Strategien und Anpassungen an ihren Lebensraum Wasser beschrieben.

Das Buch umfasst 23 Kapitel, die den Leser mit einer Fülle von Informationen fesseln, vielleicht aber auch etwas überfrachten können.

Das einleitende Kap. 1 erläutert die Zielsetzung des Buches und führt in die Welt der Fische und ihres sehr unterschiedlichen Lebensraumes ein. Nur die in 25.000–30.000 Arten vertretenen Knochenfische (Osteichthyes) sind echte Fische und stehen im Mittelpunkt des Buches, nicht die Knorpelfische und die Kieferlosen.

In Kap.2 werden die Eigenschaften definiert, die den Fisch zum Fisch machen: wechselwarme, im Wasser lebende Wirbeltiere, Kiemenatmung, ausgestattet mit Flossen, Schuppen und Schwimmblase, keine Verbindungsgänge zwischen Nasenöffnungen und Mundhöhle.

In Kap. 3 wird die ca. 500 Mio. Jahre alte Entwicklungsgeschichte der Fische nachgezeichnet. Allerdings ist die Zuordnung von stratigraphischem Alter und geologischen Perioden/Epochen nicht immer korrekt.

Das Kap. 4 informiert darüber, ab wann der Steinzeitmensch Fisch auf seinem Speiseplan hatte, ab wann und wie über Fische berichtet und sie zu Objekten der Wissenschaft wurden und auch über die taxonomischen Systeme, die Ordnung in die Klasse der Fische brachten.

Kap. 5 ist gewissermaßen als Vorspann der nachfolgenden Kapitel 6 bis 12 zu verstehen, in denen im Detail beschrieben wird, wie der Bauplan der Fische und ihre Lebensweise im Hinblick auf das Leben im Wasser modifiziert bzw. optimiert wird. Themen sind die Flossen als Antriebs-, Steuer- und Stabilisierungsorgane und ihre Anatomie, das Skelett der Fische, das den Körper der Tiere stützt, die in-

neren Organe schützt und Ansatzfläche für die Muskulatur ist, weiterhin die Wirbelsäule und die Vielfalt der Schädel skelette, die Muskulatur der Fische, die Fischhaut einschl. der Schuppen mit ihrer Multifunktion, außerdem die gasgefüllte Schwimmblase der Fische, die den Auftrieb der Fische im Wasser ermöglicht, der aber auch Sonderfunktionen zukommen wie z. B. bei luftatmenden Fischen. Außerdem werden die Fortbewegung der Fische im Wasser und somit auch deren Körperbau, die Bedeutung der Flossen beim Schwimmen und der Rumpfmuskulatur und schließlich das Nervensystem mit Schwerpunkt Nervenzellen und Gehirn thematisiert.

In den nachfolgenden Kap. 13 bis 17 wird eingehend über die Sinne informiert, so über den Aufbau und die Funktionen der Hirnstrukturen, über das Fischauge und notwendige optische Korrekturen im das Licht reflektierenden bzw. brechenden Wasser, über das Hören, außerdem über die Sinne riechen und schmecken, über den Tastsinn und schließlich über die Hörorgane der Fische und ihre Verständigung untereinander.

Kap. 18 beschäftigt sich mit der Stromerzeugung im Fischkörper, da Elektrizität als Waffe eingesetzt wird, bei der Orientierung hilft und mittels elektrischer Signale auch Kommunikation ermöglicht.

Kap. 19 setzt einen weiteren Schwerpunkt, es befasst sich mit Einzelheiten der Kiemen und der Atmung der Fische. Es werden nicht nur die Kiemen als besonders effizientes Organ zur Sauerstoffaufnahme angesprochen, sondern u. a. auch Hautatmung, Kiemensäcke zur Luftatmung, Schwimmblase als zusätzliches Atmungsorgan oder echte Fischlungen.

In Kap. 20 wird über die Blutflüssigkeit mit ihrem Inhalt und das Blutkreislaufsystem mit dem Herz als Pumporgan informiert, erläutert wird auch das Lymphgefäßsystem der Fische.

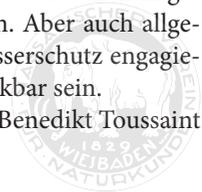
Von Interesse sind auch die in Kap. 21 bereitgestellten Informationen über die unterschiedliche Nahrungsaufnahme der Fische inkl. verschiedener Jagdstrategien, Aufbau und Anordnung der Verdauungsorgane sowie maßgebende Verdauungsprozesse.

In Kap. 22 erklärt der Verfasser Sekretion und Exkretion und wie diese Prozesse durch Organe bzw. mittels spezieller Zellen reguliert werden.

Im abschließenden 23. Kap. wird die große Palette an Paarungs- und Brutverhalten angesprochen. außerdem wird u. a. auf lebendgebärende Fischarten, auf Jungfernzeugung und auf die embryonale Entwicklung eingegangen.

Das eine Unmenge von Details bietende, aber trotzdem gut verständlich geschriebene Buch dürfte vor allem Biologen i. w. S. ansprechen. Aber auch allgemein naturkundlich Interessierte, die sich z. B. für den Gewässerschutz engagieren, werden dem Verfasser für seine vielen Informationen dankbar sein.

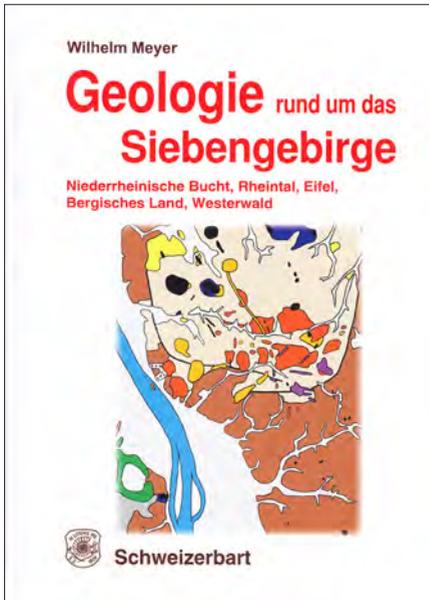
Benedikt Toussaint



## WILHELM MEYER (2023): Geologie rund um das Siebengebirge Niederrheinische Bucht, Rheintal, Eifel, Bergisches Land, Westerwald

IX, 411 S., 111 Abb.; Stuttgart (Schweizerbart)

ISBN 978-3-510-65541-0, gebunden, 18 x 25 cm, Ladenpreis 79,90 €



In der vorliegenden Gebietsmonographie beschreibt der Autor die geologische Entwicklung des Vulkankomplexes Siebengebirge und seiner Umgebung.

Im ersten von neun Kapiteln begründet der Autor die Notwendigkeit diese Monographie zu schreiben mit dem enormen Kenntnissgewinn seit der Veröffentlichung des Werkes „Geologie der Umgebung von Bonn“ von Otto Wilckens im Jahr 1927.

In Kap. 2 wird ein Überblick über die Landschaft und die geologischen Verhältnisse der Region gegeben sowie über die Geschichte der geologischen Erforschung der Region informiert, die im Jahr 1789 ihren Anfang nimmt.

Nach diesem Überblick werden in den Kap. 3 bis 7 in stratigraphischer Reihenfolge die erhaltenen gebliebenen geologischen Zeugnisse aus dem Devon, Tertiär und Quartär beschrieben.

Kap. 3 ist dem variszischen Sockel des Rheinischen Schiefergebirges gewidmet, der hier von Gesteinen des Unterdevons gebildet wird. Dargestellt werden die großtektonische Entwicklung, Verbreitung und Lithofazies der Gesteine der Siegen- und Unterems-Stufe, die hier vorkommenden Fossilien, die paläogeographischen und paläoklimatischen Verhältnisse, der tektonische Bau und die hydrothermalen Gangerzlagerstätten, die bis in die jüngere Vergangenheit bergmännisch ausgebeutet wurden. Im anschließenden Kap. 4 wird auf die intensive chemische Verwitterung des herausgehobenen Gebirgssockels zwischen der variszischen Faltung vor ca. 310 Mio. Jahren im Oberkarbon und der Tertiärzeit eingegangen. Bei subtropischen bis tropischen Klimaverhältnissen kam es u. a. zur Bildung von Kaolin und Eisenerzen.

Große Bedeutung hat für den Autor die Tertiärzeit, die in Kap. 5 in einer Übersicht abgehandelt wird, tertiäre Sedimente stehen dabei im Vordergrund. Er be-

schreibt das damals herrschende Klima, den geologischen Bau(stil) insbesondere der Kölner-Scholle, Erftscholle und Rurscholle als größere Strukturen, die tektonischen Entwicklung, die großen Einfluss auf die damaligen geographischen Verhältnisse hatte, sowie den Gesteinsbestand. Er lenkt die Aufmerksamkeit auch auf pflanzenreiche Schichten wie insbesondere die Blätterkohle, auf den reichen Fossilinhalt der tertiären Sedimente und auf die Entstehung und Ausbildung der Braunkohlevorkommen. Abschließend wird das Flussnetz im Tertiär skizziert.

Kap. 6 befasst sich eingehend mit dem heutigen Mittelrheintal als Schauplatz lebhafter Vulkantätigkeit im Tertiär. Zunächst wird allgemein über die vulkanischen Vorgänge informiert, über Erstarrungsformen, über Einschlüsse von Gesteinen aus Erdkruste und -mantel und über die Differentiation der Schmelze in der Magmenkammer. Anschließend liegt der Focus auf dem Siebengebirge, dem Zentrum der Vulkanregion. Außer trachytischen, latitischen und basaltischen Kuppen und Gängen sind auch Tuffe in zusammenhängenden Decken erhalten geblieben. Die vom Autor unterschiedenen 19 lokalen Vulkanitvorkommen wie die Löwenburg, die Trachyte von Königswinter mit u. a. Drachenfeld oder Petersberg werden im Detail beschrieben. Außerdem werden auch die basaltischen und intermediären Vulkane außerhalb des Siebengebirges näher betrachtet.

In Kap. 7 wird ausführlich auf das Quartär eingegangen. Da die Genese der quartären Sedimente dieser Region hauptsächlich von der Entwicklung des Rheins abhängt, wird zunächst die Terrassentreppe am Mittelrhein und in der Niederrheinischen Bucht beschrieben und Anmerkungen zu den großen Lössvorkommen und zu Periglazialerscheinungen gemacht. Gestreift werden auch die Terrassen im Siegtal und an der Ahr. Es folgt eine Abhandlung über den quartären Eifelvulkanismus und seine Spuren in den Terrassensedimenten. Erwähnung finden zum Schluss die eiszeitliche Fauna, Flora und der steinzeitliche Mensch.

Kap. 8 ist mit „Historische Zeit“ überschrieben. Kurz angesprochen werden der Rhein, der in historischen Zeiten während der Kaltzeiten riesige Mengen an Frostschutt transportierte, vor vielen Jahren gebaute Wasserwerke und Talsperren, vor langer Zeit durch Bohrungen erschlossene Mineralwässer und zeitlich nicht weit zurückliegende Erdbeben, Hangrutsche und Bergstürze.

Das abschließende Kap. 9 umfasst nur zwei Seiten. Hier wird der Natur- und Landschaftsschutz angesprochen, als Geowissenschaftler hätte man sich aber stärker in dieses hochaktuelle Themenfeld einbringen können.

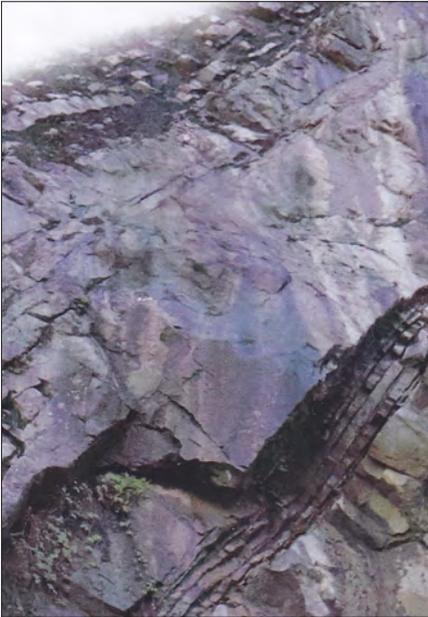
Mit dem Buch, das mit einem Glossar, einem gut 790 Quellen umfassenden Literaturverzeichnis, einem Fossil- und einem Sachregister endet, erscheint ein empfehlenswertes und umfangreiches Standardwerk der Geologie des Siebengebirges und seines Umfeldes. Es richtet sich nicht nur an Fachleute, sondern dürfte sicherlich auch viele naturkundlich Interessierte ansprechen, zumal es verständlich geschrieben ist und die meisten Abbildungen für das Verständnis hilfreich sind.

Benedikt Toussaint

## **FRITZ SCHLUNEGGER & PHILIPPOS GAREFALAKIS (2023): Einführung in die Sedimentologie**

305 S., 156 farb. Abb.; Stuttgart (Schweizerbart)

ISBN 978-3-510-65539-70, gebunden, 18 x 25 cm, Ladenpreis 59,90 €



Lockersedimente und aus ihnen hervorgegangene Festgesteine sind weltweit verbreitet. Wie und wo werden die Sedimente auf der Erdoberfläche gebildet und ist es möglich, die Bildungsbedingungen von Ablagerungen früherer erdgeschichtlicher Epochen unter Beobachtung der in der Gegenwart ablaufenden Prozesse zu erklären? Das vorliegende Buch beantwortet dem Leser diese und andere Fragen, indem es anhand unterschiedlicher rezenter Sedimentationsräume über die jeweiligen physikalischen, chemischen und biologischen Prozesse informiert, die dort ablaufen und zur Bildung verschiedener Sedimentgesteine und -strukturen führen.

Kapitel 1 von 11 Kapiteln dieses Buches befasst sich mit dem Kreislauf der

Gesteine und erläutert die für Laien etwas verwirrende Nomenklatur. Es wird ein Überblick über die Entstehung, den Transport und die Ablagerung von Sedimentpartikeln sowie im Wasser gelöste Stoffe vermittelt, außerdem werden Empfehlungen zur Darstellung sedimentologischer Beobachtungen gegeben.

Kap. 2 informiert über die Entstehung von Sedimentpartikeln durch mechanische oder chemische Verwitterung und durch biologische Prozesse, auch auf die Bildung von Böden wird eingegangen. Die nach der Ablagerung stattfindende Diagenese, die zur Entstehung eines Sedimentgesteins führt, wird erläutert.

In Kap. 3 wird die Entstehung von Gletschern, ihre Erosionsleistung und ihre Sedimentproduktion thematisiert, ebenso Massenbewegungen wie Felsstürze, Rutschungen oder Schlammströme im Gebirge, auch Vulkane und ihre Ablagerungen werden angesprochen.

Der weitaus größte Teil der Sedimentpartikel hat einen Wassertransport hinter sich, mit dem sich Kap. 4 auseinandersetzt. Insbesondere werden die hydraulischen Randbedingungen des laminaren und turbulenten Fließens sowie der Transport

von schwebenden Partikeln und größeren Körnern angesprochen und auch die Bildung von Wellenrippeln und Sturmablagerungen.

In Kap. 5 werden insbesondere die Sedimenttypen des Flachlandes betrachtet und der Verlauf von Flüssen und ihre nach dem Verlassen des Gebirges bis zur Mündung in einen See oder in das Meer sukzessiv feinkörniger werdende Sedimentfracht interpretiert. Es wird ebenso über Flusstypen, sedimentologische Eigenschaften der Ablagerungsräume, typische Sedimentstrukturen und die Wechsel im Fließmuster informiert und abschließend über äolische Sedimente wie Löss und Flugsande mit typischen Dünenbildungen.

Kap. 6 widmet sich dem Schelfbereich. Angesprochen werden die verschiedenen Ablagerungsräume, sedimentologische Prozesse und resultierende morphologische Strukturen an wellen- und gezeitendominierten Küsten sowie die Bildung und der Aufbau von Deltas.

In Kap. 7 richtet sich die Aufmerksamkeit auf Prozesse und Sedimentablagerungen zwischen Schelfkante und Kontinentalfuß. Thema sind die submarinen Cañons mit ihren Fließ- und Ablagerungsprozessen sowie submarine Rutschungen am Kontinentalabhang.

Kap. 8 fokussiert auf pelagische, auf der Tiefsee-Ebene abgelagerte Sedimente. Dargestellt wird speziell die Ablagerung der Schalenfragmente von planktonischen und benthischen Organismen, angesprochen werden auch die Löslichkeit von  $\text{CO}_2$  im Meerwasser und Auftriebsströmungen.

Kap. 9 ist den Karbonatgesteinen gewidmet. Es werden die Karbonatminerale, ihre Geochemie und Komponenten in Kalksteinen angesprochen, ein Schwerpunkt bilden die hauptsächlich von Korallen in subtropischen bis tropischen Gebieten auf dem Schelf gebildeten Kalkplattformen.

Das Kap. 10 befasst sich mit Mineralen und Gesteinen, die beim Verdunsten von Wasser entstehen. Auf Ablagerungsbereiche wie abflusslose Seen im ariden Klimagürtel oder Meeren, die permanent oder zeitweilig keine hydraulische Verbindung mit dem Ozean haben, wird aufmerksam gemacht.

Im abschließenden Kap. 11 werden die lithofaziellen Besonderheiten eines Schichtenstapels angesprochen und die Methoden seiner stratigraphische Einstufung erläutert und ebenso begründet, warum eine Sedimentabfolge in Sequenzen unterteilt werden sollte, um die sedimentologische Dynamik in einem Ablagerungsraum rekonstruieren und interpretieren zu können.

Das Buch ist didaktisch gut und trotz des wissenschaftlichen Hintergrundes allgemein verständlich geschrieben. Die vielen Fotos und die graphisch hervorragend gestalteten anderen Abbildungen sind aussagekräftig und ergänzen anschaulich die Textpassagen. Das empfehlenswerte Buch richtet sich an Studenten der Geowissenschaften und ist auch allen naturkundlich Interessierten zu empfehlen, die wissen wollen, wie die zu Stein gewordenen sedimentologischen Archive zu lesen und zu interpretieren sind.

Benedikt Toussaint

## WINFRIED KUHN (2023): Kochbuch der Erde

176 S., 176 Abb.; Oppenheim a. Rh. (Nünnerich-Asmus Verlag)  
ISBN 978-3-96176-212-5, gebunden, 21 x 30 cm, Ladenpreis 25,-- €



Die Erde als Teil unseres Sonnensystems ist ein vor etwa 4,6 Milliarden entstandener Gesteinsplanet. Der Verfasser des vorliegenden Buches, ein promovierter Geologe, erklärt die Bestandteile der Gesteine anschaulich wie in Großmutter's Rezeptbuch als Zutaten, ihre Entstehung als Zubereitung (über manche Formulierungen im Text kann man vortrefflich streiten) und die Zeiträume ihrer Entstehung als Zubereitungszeiten. Mit dieser neuen Interpretation wissenschaftlicher Fakten gelingt es dem Verfasser, den Leser verständlich über die Eigenschaften von Gesteinen, ihre mineralischen Bestandteile und ihre Entstehungsgeschichte auf hohem wissenschaftlichen Niveau zu informieren. Vorrangig wird der Bereich Alzey

in Rheinhessen betrachtet.

Das erste von sieben Kapiteln beginnt mit einer imaginären Zeitreise mit einem Helikopter über Deutschland und im Detail über Rheinhessen. Sie beginnt vor 290 Mio. Jahren im Perm (Rotliegendes) und endet im Quartär. In diesem Überblick über die geologischen Verhältnisse liegt der Schwerpunkt auf der Darstellung des Paläoklimas, dem Aussehen der Landschaft sowie den Tieren und Pflanzen in der jeweiligen erdgeschichtlichen Epoche. Zusammenfassend wird verdeutlicht, dass in den Gesteinen unseres Planeten Daten über die Klimaverläufe der Erdgeschichte sowie über die Prozesse ihrer Entstehung gespeichert sind.

Im nächsten Kapitel führt der Autor in die geologische Geschichte Rheinhessens seit dem Devon ein, dessen Gesteine wie auch die des Perms (das Karbon fehlt) in Randbereichen Rheinhessens aufgeschlossen sind. Jüngere Gesteine aus dem erdgeschichtlichen Archiv des Mesozoikums sind im Gegensatz zum Tertiär und Quartär nicht vertreten. Die känozoischen Gesteinsfolgen, ihre Entstehung, die Paläogeographie, das damals herrschende subtropische bis tropische und später im Pleistozän zeitweise auch sehr kalte Klima und die jeweils daran angepassten Tiere und Pflanzen, der Einbruch des Oberrheingrabens und rd. 10 Mio. Jahre alte Sedimente des Ur-Rheins werden im Detail beschrieben.

Das dritte Kapitel gibt kurz gefasst Auskunft über die Entstehung der Erde, ihren Aufbau in Schalen, die magmatischen, metamorphen und Sedimentgesteine, die jeweiligen Zeitfenster ihrer Entstehung („Zubereitungszeiten“), die Millionen von Jahren (z. B. Metamorphite), aber auch nur wenige Tage oder Wochen wie z. B. bei den Vulkaniten umfassen können, sowie über wichtige gesteinsbildende Minerale. Der Verfasser versteht seine Ausführungen als „Warenkunde“.

Das vierte Kapitel ist aus Sicht eines Kochbuch-Autors sicherlich das wichtigste, er präsentiert elf „Rezepte ergänzt um Spezialitäten aus Rheinhessen und Umgebung“. So gibt er z. B. die wesentlichen Zutaten für ein „Backofengericht“, den Granit, dessen Schmelze in großer Tiefe langsam erkaltet, mit ihrem Prozentanteilen an. Bei einem zweiten Rezept geht es um die „kurzgebratenen“ Basalte, Andesite und Rhyolithe, deren Schmelzen bis Erdoberfläche oder knapp darunter aufgestiegen und in kurzer Zeit auskristallisiert sind, um ihre Entstehung („Zubereitung“), um die Nennung der „Zutaten“ und um ihre Verwendung, z. B. als Naturwerksteine. Und ein drittes Beispiel ist die „Kalte Küche“ mit dem Produkt Löss, der als äolisches Sediment während der pleistozänen Kaltzeiten im eisfreien Periglazialraum entstanden ist.

Das fünfte Kapitel ist an die Liebhaber des (rhein Hessischen) Weins adressiert, die nicht selten davon überzeugt sind, dass das Gestein bzw. die durch deren Verwitterung hervorgegangenen Böden als Substrat der Rebstöcke zu schmecken ist. Der Verfasser zeigt auf, dass es eine Wechselwirkung zwischen Geologie und Wein gibt und nennt als Beispiele die Schiefer- und Quarzitsubstrate in den Gebieten mit anstehendem Devon, oder die Rotliegend-Vulkanite, auf deren Verwitterungsböden die Trauben im Nahegebiet reifen, oder die fruchtbaren Lössböden, die dem Wein eine besondere Note verleihen.

Das sechste und letzte Kapitel ist geologischen Wanderwegen und Aufschlüssen gewidmet. Der Verfasser dieses Buches hatte ursprünglich den „Küstenweg Rheinhessen“ geplant, der den Küstenverlauf des Oligozän-Meeres vor 30 Mio. Jahren“ nachzeichnen sollte, daraus sind letztlich einzelne geologische Rundwege entstanden wie u.a. der Rundweg „Weinheimer Bucht“ mit Infotafeln, die verschiedene Themenfelder erläutern. Das Kapitel schließt mit einzelnen Fundstellen, u. a. verdient die berühmte „Goethe-Breccie“ in Bingen einen Besuch.

Wertvoll sind am Ende des Buches eine Auflistung von Museen in der Region mit geologisch-paläontologischen Schwerpunkten und ein Literaturverzeichnis mit 67 Quellenangaben, auch ein Bildnachweis fehlt nicht.

Das hervorragend geschriebene und genussvoll zu lesende „Kochbuch der Erde“ mit seinen zahlreichen aussagekräftigen und gut ausgewählten Abbildungen sowie mit 15 farblich unterlegten Infoboxen richtet sich vornehmlich an die sog. interessierten Laien. Trotz seines in wissenschaftlichen Kreisen eher unüblichen Konzeptes dürfte es aber wegen seines fundierten fachlichen Niveaus auch studierte Geologen ansprechen.

Benedikt Toussaint