Thorsten Uthmeier,
Doris Mischka (Hrsg.)

STEINZEIT IN BAYERN

unter Mitarbeit von
Christoph Mayr, Carsten Mischka,
Martin Nadler, Andreas Pastoors

BAND 1

2023

wbg Theiss

14 Löss

Wolfgang Schirmer

Westwinde trugen zu Kaltzeiten feinen Staub übers Land – in großer Höhe feinkörniger und bodennah grobkörniger. Man nennt ihn Löss. Ausgeweht wurden vegetationslose Flussebenen und Hochflächen. Den feinsten Staub aus Feinsilt und Ton bringen auch in der heutigen Warmzeit Höhenwinde aus Südeuropa und Afrika. Nachfolgende Regenperioden haben den Löss besonders an Hängen wieder abgewaschen. In Geländevertiefungen und an Leehängen jedoch hat er sich dicker angehäuft und blieb da und dort erhalten. Wo wir ihn mächtiger finden, bietet er uns gute Klimakalender. Auf den Lössflächen bildeten sich nach einer Kaltzeit in beginnender Warmzeit zuerst schwarze Böden. In unserer heutigen Warmzeit

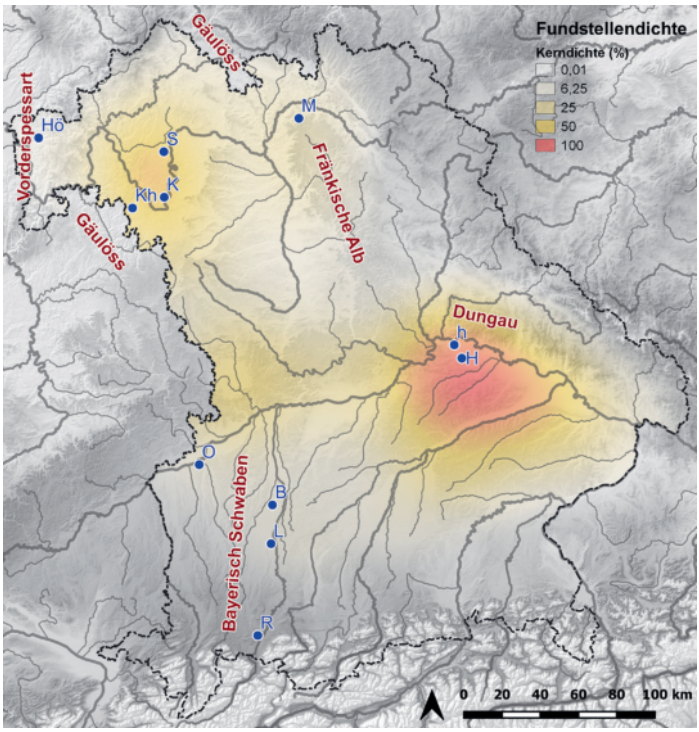

Abb. 14.1: Dichterkarte der Fundplätze des Altneolithikums. Deren Verbreitung und Konzentration markiert zugleich die Hauptgebiete der Lössablagerung in Bayern (Lösslokalitäten: **B** = Bobingen, **H** = Hagelstadt, **h** = Harting, **Hö** = Hösbach, **K** = Kitzingen, **Kh** = Kirchheim, **L** = Landsberg, **M** = Profil Melm bei Serkendorf, **O** = Offingen, **R** = Roßhaupten, **S** = Schwanfeld; Datengrundlage: Fachinformationssystem des BLfD, Bearbeitung: P. Lutz; Kartengrundlage: Jarvis et al. 2008; Dichtekarte ohne Einzelfunde: C. Mischka; Umsetzung: U. Maaß).

kannten diese die ersten Siedler bald als günstige Bewirtschaftungsflächen. Daher geben die Karten früher Siedlungsgebiete auch die großen Lössflächen Bayern wieder (Abb. 14.1).

Lössgebiete in Bayern

Zwei bedeutende Lössgebiete hat Bayern: Das Maingebiet und das Donaugebiet. Im Maingebiet sind es drei Areale. Von Westen nach Osten der Vorderspessart, die Gäuflächen des Muschelkalks und die Fränkische Alb. Die Gäuflächen geben den besten Einblick in die Lössdecke. Im Donaugebiet liegt Löss in den Donauebenen samt Seitenflüssen, und auf den Platten, die von den Flüssen gesäumt werden. Besonders mächtig fand er sich im Bereich von Bayerisch Schwaben und im Dungau (Abb. 14.1).

Vorderspessart
Am mächtigsten ist dort das Profil von Hösbach (Lage in Abb. 14.1) mit 9 m Lösssedimenten, die vermutlich die letzten vier Glazialzyklen beinhalten. Der Würmlöss hat max. 21,7 $CaCO_3$, im Mittel 15 %. Der GSi-Gehalt erreicht max. 55,8 % in der abnehmenden Kornfolge Grobsilt > Mittelsilt > Sand > Feinsilt (Schirmer 1967; Rösner 1990; für die verwendeten Korngrößen vgl. Tab. 14.1).

Mainfranken
Mainfranken ist das größte nordbayerische Lössgebiet – der Gäulöss. Er wurde von Rösner (1990) umfangreich bearbeitet. Die Mächtigkeit reicht bis 10 m. Der Karbonatgehalt des Würmlösses erreicht ganz im Westen sein Maximum mit 21,6 % (Skowronek 1982, 99); nach Osten nimmt er deutlich ab: im Gebiet des Muschelkalks ist er hoch, im Raum des Keupers und Buntsandsteins niedrig. Das deutet auf Lokalauswehung hin. Rösner vermutet, dass er mit dem Kalkgeröllanteil des Mains kommuniziert. Dieser hängt aber ebenfalls vom durchflossenen Gestein ab, das auf vielerlei Wegen den Karbonatgehalt des Lösses steuert. Der Präwürmlöss, allgemein entkalkt, hat allein in Kitzingen (Abb. 14.2) noch Karbonatgehalt (max. 23,1 %). Rösner trennt innerhalb des Karbonatgehalts den Kalk- vom Dolomitanteil. Letzterer kann bis 48 % am Gesamtkarbonat ausmachen. Bei den Korngrößen ist die abnehmende Kornfolge Grobsilt > Mittelsilt > Feinsilt > Sand. Nur in den Profilen hart am Buntsandstein oder in den Sandsteinen des Steigerwalds tauschen Feinsilt und Sand die Plätze (GSi > MSi > Sd > FSi). Das stratigrafisch umfangreichste Profil ist das 11 m mächtige von Kirchheim (Skowronek & Willmann 1984) mit 7 fossilen Bt-Hori-

Sd	Sand	2–0,06 mm
GSi	Grobsilt	0,06–0,02 mm
MSi	Mittelsilt	0,02–0,006 mm
FSi	Feinsilt	0,006–0,002 mm

Tab. 14.1: Verwendete Korngrößen

Abb. 14.2: Lössprofil Kitzingen/Gäulöss, Ziegelei Pavel & Becker, mit zwei fossilen Bt-Horizonten von Parabraunerden (Foto: W. Schirmer 19. 09. 1974).

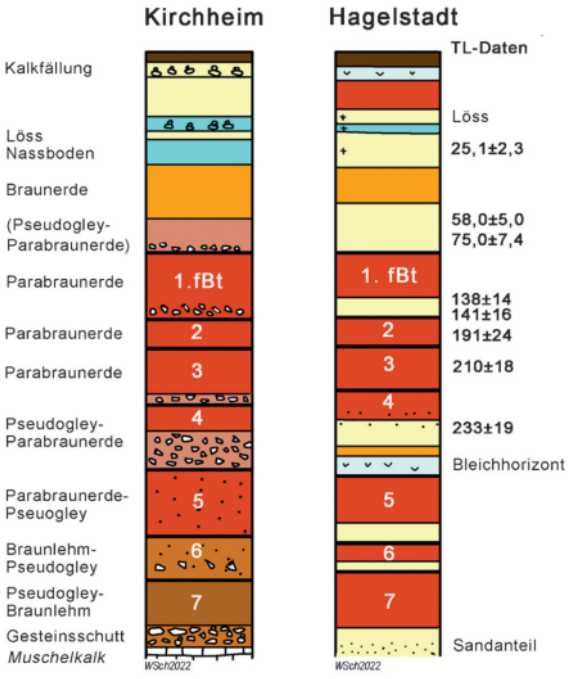

Abb. 14.3: Je ein Profil vom Gäulöss und dem Dungau mit der größten vertikalen stratigraphischen Reichweite in Bayern: Kirchheim/Gäulöss mit 11 m und Hagelstadt und Dungau mit 24 m Schichtenhöhe (Lage in Abb. 14.1; fBt = fossiler Bt-Horizont einer Parabraunerde, + = karbonathaltig). Die unmaßstäbliche Profildarstellung stellt vergleichbare Böden auf ähnliche Höhe. Die Originalprofile stammen von Skowronek & Willmann (1984) und Strunk (1990), die TL-Daten von Zöller (1995).

zonten aus Löss (Abb. 14.3). Der Bt-Horizont an der Basis (7) birgt eventuell die Matuyama-Brunhes-Grenze (Rösner 1990, 124). Den 1. fBt bezeichnen die Autoren als kräftigsten im Profil. Als weitere gute Zeitmarke im Gäulöss stellt sich in einigen anderen Profilen die Eltville-Tephra ein, die stets zwischen den Jungwürm-Nassböden 3 und 4 auftritt (Rösner 1990).

Fränkische Alb

Die Fruchtbarkeit der Hochfläche wurde dem »Alblehm«, dem Kalksteinverwitterungslehm aus Kalkstein oder meist Dolomit (*Terra fusca*), zugeschrieben (Abb. 14.4). Seit 1961 aber hat Schirmer auf der Nordalb verbreitet Löss nachgewiesen. Die Albhochfläche besteht aus einem ebenen bis welligen Karstboden, über den sich Dolomitstöcke erheben, manchmal mit Kalksteinsockel. Sofern nicht Sande der Kreidezeit den Karstboden überlagern, ist er fast überall mit Löss bedeckt. Lössprofile wurden bis 4 m Mächtigkeit und 4 Kalt-Warmzeit-Rhythmen angetroffen (Abb. 14.5) (Schirmer 2016). Der Alblöss ist extrem feiner Löss – am Westrand mittelsiltdominant mit abnehmender Kornfolge MSi > FSi > GSi > Sd (Mischka et al. 2015). Kreidesandnah tauschen Grobsilt und Sand die Plätze: MSi > FSi > GSi > Sd. Lössflächen tragen auf der Alb häufig den Flurnamen »Melm« (Mehl, Zermahlenes) (Schirmer 2016). Am Albrand unter der Schichtstufe des Eisensandsteins dominiert im Löss Feinsand mit der Kornfolge Sd > GSi > MSi >FSi (Schirmer & Fuchs 2018).

Bayerisch Schwaben

Das Iller-Lech-Gebiet präsentiert Löss auf den fluvioglazialen Schottern. Die größte Mächtigkeit von 12 m wurde in Roßhaupten vorgefunden (Jerz 1993, 185). Ein Kalkgehalt von 6,2 % wird von Landsberg (Brunnacker 1970, 201) und Bobingen (Zech et al. 2015) berichtet (Orte in Abb. 14.1). Interessant ist das hohe Alter unterhalb der Lössfazies in Roßhaupten, wo die paläomagnetische Brunhes-Matuyama-Grenze (780 ka; hier und im Folgenden 1 ka = 1.000 Jahre vor heute) gefunden wurde (Tillmann et al. 1986). Bibus (1995, 150) beschreibt von Offingen 3,50 m Risslöss mit fünf Nassböden, die sich sehr gut mit solchen vom Neckar-Wetterau-Rhein-Gebiet vergleichen lassen. Der Würmlöss wurde im 6 m hohen Profil Bobingen detailliert untersucht, vor allem auch geochemisch (Zech et al. 2015; Mayr et al. 2017). Dieses Profil wurde zum Bayerischen Boden des Jahres 2021 gewählt (LfU 2021).

Dungau

Der Dungau zeigt die reichste Lössuntergliederung in Bayern. Die höchsten Lössmächtigkeiten erreichen 30–35 m. Der Karbonatgehalt der Würmlösse erreicht 30–45 % (Strunk 1995), der des vorletztglazialen Lösses 28 % (Strunk et al. 1996, 72). Der Grobsiltanteil erreicht bis 55 % mit der Kornfolge GSi > MSi > FSi > Sd (Buch & Zöller 1990). Das Profil Hagelstadt, 15 km südlich von Regensburg (Strunk 1990), präsentiert mit sieben fossilen Bt-Horizonten (Abb. 14.3) die reichste Kalt-Warmzeit-Gliederung. Hierin präsentiert sich der Interglazialkomplex MIS 7 durch

Abb. 14.4: Alblöss/Fränkische Alb: Hochfläche der Nördlichen Frankenalb. Ackerfläche zwischen Kleinhül und Großenhül auf Blatt Hollfeld. Im Vordergrund dunkler Verwitterungslehm des Kalksteins: braune Terra fusca, mit hellen Lesesteinen aus Riffkalkstein. Dahinter (mit Person) heller braungelber Löss.

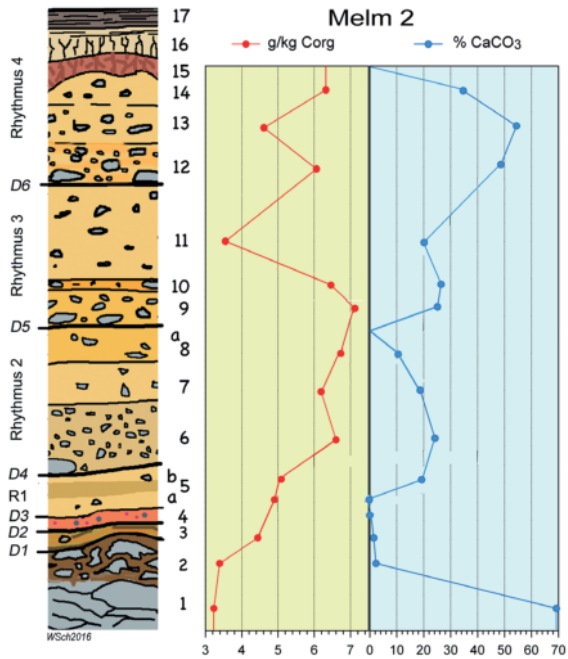

Abb. 14.5: Profil Melm bei Serkendorf/Fränkische Alb (Schirmer 2016; s. Abb. 14.8). **1** Schwammkalkstein (Weißer Jura), **2** Terra fusca, **3** verlagerter steiniger Lehm, **4** umgelagerte Terra rossa mit Eisenerz und Siliciten (Hornsteine), **5–14** kalksteiniger Löss aus vier Kaltzeiten mit fossilen Bodenhorizonten (Rhythmen 1–4) durch Diskordanzen (D) getrennt, **15–17** Parabraunerde der Oberfläche mit Bt-Horizont (15), Al-Horizont (16) und humosem Ap-Horizont (17).

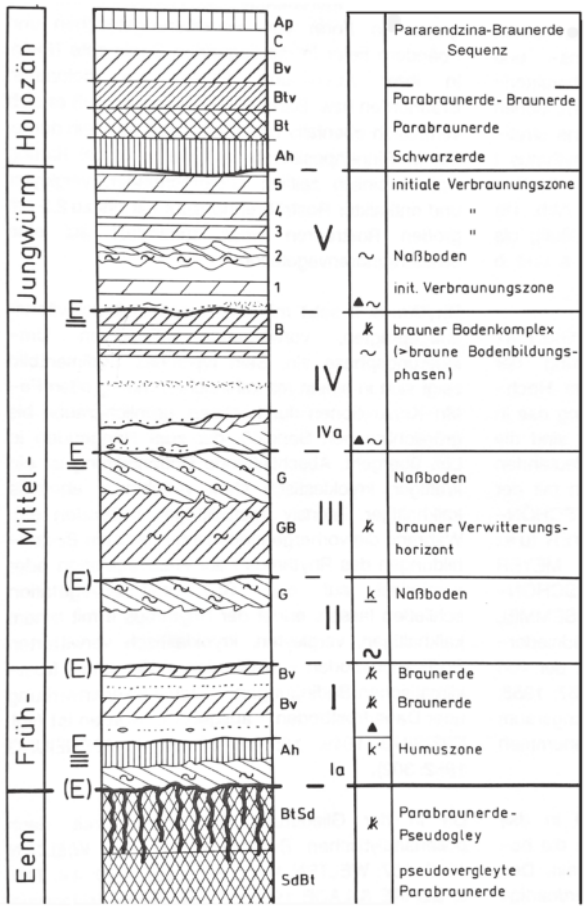

Abb. 14.6: Sedimentationsfolgen der Würmlöss-Stratigraphie im Dungau (Schellmann 1990, 66; **E** = Erosionsphasen, weniger stark und stärker; **k** = Kalkgehalt der Böden, ~ = Solifluktion, **schwarzes Dreieck** = intensive Spülerosion).

drei dicht gelagerte Bt-Horizonte, die eigentlich für das MIS 7-Interglazial typisch sind, und am Niederrhein aus drei bis vier eng gelagerten Bt-Horizonten bestehen (Schirmer 2017, 4). Unter dem obersten dieser drei Horizonte liegt das Band eines »Regensburg-Tuffes« (Strunk et al. 1996). Aber auch der vorletzt- und letztglaziale Löss nehmen eine ausnehmende Stellung ein. Der vorletztglaziale Löss wird in Regensburg-Napoleonstein im tieferen Teil durch zwei stärkere, darüber zwei schwächere braune Böden gegliedert (Strunk et al. 1996). Der Früh- und Mittelwürmlöss enthält bei Harting, 7 km südöstlich von Regensburg, sieben braune Böden und zwei Nassböden, der Jungwürmlöss vier schwache braune Böden (Cv-Horizonte) (Schellmann 1990) (Abb. 14.6).

Löss als Klimaarchiv in Bayern

Insgesamt zeigt der bayerische Löss eine Klimagliederung vergleichbar mit anderen mitteleuropäischen Lössgebieten. Optimale Klimagliederungen stammen immer von einzelnen ausnehmend gut gliederbaren Aufschlüssen. So bietet für den Rhein der Schwalbenberg bei Remagen derzeit die beste Klimaauflösung Mitteleuropas für das letzte Glazial (Fischer et al. 2020). Die pleistozäne Kalt- und Warmzeiten-Gliederung erfolgt im Löss durch Bt-Horizonte von Parabraunerden, die eine interglaziale Warmzeit anzeigen (Abb. 14.2 und 14.7). Allerdings gehört die Abzählmethode der Bt-Horizonte von Parabraunerden der Vergangenheit an. Längst ist bekannt, dass etliche Interglaziale aus Interglazialkomplexen bestehen, das heißt für die Lössböden, dass ein Interglazial mehr als nur einen einzigen Bt-Horizont beherbergen kann (Kukla et al. 1961). Der Löss selbst gilt in gemäßigtem Klima als Kaltzeitanzeiger, da er in erster Linie aus vegetationsarmen Wüsten- oder Steppenflächen ausgeweht wird. Zusätzlich bieten Dauerfrostrukturen, wie die Füllung von ausgeschmolzenen Eiskeilen (Abb. 14.8), oder auch Fauna und Flora Kaltzeithinweise an. Die Gliederung der Würm-Kaltzeit im Dungau (Abb. 14.6) zeigt die reichste Untergliederung in Bayern durch wärmere und wärmliche Phasen (Interstadiale) dieser 70.000 Jahre währenden letzten Kaltzeit.

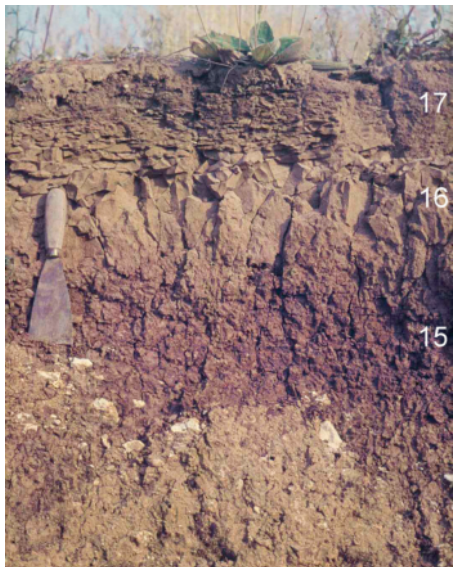

Abb. 14.7: Profil Melm bei Serkendorf/Fränkische Alb. Parabraunerde auf kalksteinigem Löss. Oberteil der Abb. 14.5. Auffallend die schwankende Untergrenze des Bt-Horizontes (**15**) mit vorwiegendem Polyeder-Gefüge, das Prismengefüge des hellen Al-Horizontes (**16**) und das Plattengefüge im oberen Al- und im Ap-Horizont (**17**) (Foto: W. Schirmer 12. 08. 1971). Spachtel 22 cm lang.

Abb. 14.8: Lössprofil Straubing/Dungau, Ziegelei Jungmeier. Eiskeil durch den letztinterglazialen Bt-Horizont, der mit Material der Humuszone, die über dem Bt-Horizont folgt, gefüllt ist (Foto: W. Schirmer 18. 09. 1974). Maßstab 1 m.

Lössfazies

Für eine feinklimatische Gliederung eignet sich der bayerische Löss ebenso gut wie andere mitteleuropäische Lösse. Lösse mit weniger oder mehr Erosionslücken sind eine Frage der Aufschlussgunst, nicht der Faziesprovinzen. Ein typischer Umstand für die Schaffung von Lössfaziesprovinzen (Fink 1956; Brunnacker 1956; Jerz 1993, 66) war die Ausbildung trockener oder feucht getönter Lösse und Böden. Dagegen hat sich u. a. Rösner (1990, 255) ausgesprochen. Folgendes Detail zeigt z. B. den Irrtum, dass klimabedingt braune Böden lateral in flächendeckende Tundrengleye (Nassböden) übergehen (Brunnacker 1954, 85; vgl. aber Bibus 1995, 140). Tatsächlich aber bilden sich Nassböden häufig über braunen Böden aus, weil letztere in der Lösstundra wasserstauend wirken. Zerfließen die Nassböden, so können sie die darunter liegenden braunen Böden völlig erodieren und scheinen sie dann pedogen seitlich zu vertreten. Das geschieht häufig, auch kleinräumig, an ein und derselben Aufschlusswand. Die Vorstellung der lateralen Bodenvertretung aber lebt fort. Zum Beispiel deuten noch Buch & Zöller (1990, 74) initiale Verbraunung bei Lerchenfeld und einen Nassboden im 8 km entfernten Hagelstadt, die beide in ähnlicher stratigrafischer Position liegen, als hier feuchten und dort trockenen Faziesbezirk. Tatsächlich ist aber der Nassboden jünger als die Verbraunung. Bibus (2002, 61) beschreibt Nassboden über braunem Boden als »schwach verbraunte Nassböden«, was bodengenetisch nicht möglich ist. In beiden Fällen sind es getrennte eigenständige Böden, die staubedingt knapp übereinander liegen.

Löss und Klimastratigrafie in Bayern

Der vorletzte Interglazialkomplex, MIS 7 (250–190 ka vor heute), präsentiert sich durch drei Bt-Horizonte, die gerade in etlichen bayerischen Profilen durch ihre dicht aufeinander folgende Lage gut ausgeprägt sind (Abb. 14.3). Die Untergliederung des vorletzten Glazials (MIS 6, 190–130 ka vor heute, jüngeres Riss) mit mehreren Nassböden (Bruchköbeler Böden) ist in Offingen/Schwaben und Regensburg-Napoleonstein/Dungau genauso gut wie in außerbayerischen Regionen entwickelt. Die Gliederung des Würmlösses zeigt mit ihren vielen braun getönten Interstadialböden gerade im Dungau Details, die nirgendwo in Deutschland so deutlich ausgeprägt sind. Der Anfang der Lösssedimentation in Mitteleuropa mag um 1,2 Millionen Jahren vor heute liegen. Die ältesten Paläoböden aus Löss liegen bei Mainz im Matuyama-Chron noch unterhalb des Jaramillo-Events (Schirmer 2017). In Mainfranken liegt der älteste bayerische Löss etwa in MIS 14, um 550 ka. Das Ende nennenswerter Lössablagerung kann in Niederbayern, ähnlich wie am Rhein, an den Beginn des Spätglazials gelegt werden (Brunnacker 1957). Ein TL-Alter ergab 16,2 ± 1,5 ka (Buch & Zöller 1990) – also kurz vor dem Beginn des Spätglazials bei 14,5 ka. Für die Frage nach dem Beginn der ersten Bodenbildung auf dem Löss nach seiner Ablagerung gibt es Hinweise, dass in der ausgehen-

den Kaltzeit in Lockersubstrat, wie dem Löss, eine zerlegende Frostbearbeitung (*Kryoklastik*) einen fördernden Weg für eine erste Bodenbildung bahnte (Brunnacker 1954). Diese Lage erlebte im periglazialen Mollisol eine homogene Durchmischung (Perstruktion), und stellt dann das Substrat für die heutige Bodenoberflächenbildung dar (Altermann et al. 2008). Durch diese Kornzerkleinerung ist in gut erhaltenen, anthropogen nicht mehr veränderten Parabraunerden der Bodenteil im Gegensatz zum C-Horizont stark sandverarmt. Im Beispiel Schwanfeld/Unterfranken (Schirmer 2011) hat er so hohen Tongehalt (im Mittel 43,2 % im Bt), dass dieser im Auswaschungshorizont, dem Al-Horizont (vgl. Abb. 14.7), immer noch höher ist (im Mittel 23,4 %) als im C-Horizont (im Mittel 17,0 %). Solche *Pedoparatio* – vorausgehende, der Bodenbildung wegbahnende Bodenvorbereitung – kann Teil der Bodenbildung sein. Sie gilt natürlich für alle Paläoböden im Löss, die auf eine Kaltphase gefolgt sind. Für das Verhältnis Besiedlung der Lössflächen und Bodenbildung gab der ältestbandkeramische Fundplatz Schwanfeld wichtigen Einblick. Die Besiedlung während der frühesten Bandkeramik lässt sich auf 5.370–5.250 v. Chr. datieren (Fröhlich & Lüning 2017) (vgl. Kap. 54). Zahlreiche Bohrungen in dem Siedlungsfeld ergaben, dass die Siedlung in Schwarzstreu niedergebracht wurde und die nachfolgende Parabraunerde sich erst später bildete. Schwarzstreu ist anthropogene Bodenzutat aus verkohlten organischen Feuerrückständen; sie fällt unter das jüngst viel diskutierte Thema »black carbon«.

Der Löss präsentiert sich hier durch drei hervorragende Eigenschaften: Er bietet zum einen unter den terrestrischen Sedimenten eine optimale Klimagliederung. Zum anderen verlockt die Eignung und Fruchtbarkeit der Lössböden zu frühester und früher menschlicher Besiedelung. Zum dritten vermag er diese Siedlungsspuren optimal zu konservieren.

Ausgewählte Literatur zu Teil 2

Beug, H.-J. (1979), Vegetationsgeschichtlich-pollenanalytische Untersuchungen am Riß/Würm-Interglazial von Eurach am Starnberger See/Obb. Geologica Bavarica 80, 1979, 91–106.

Bibus, E. (1995), Äolische Deckschichten, Paläoböden und Mindestalter der Terrassen in der Iller-Lech-Platte. Geologica Bavarica 99, 1995, 135–164.

Bögli, A. (1978), Karsthydrographie und physische Speläologie (Heidelberg 1978).

Brande, A. (1975), Vegetationsgeschichtliche und pollenstratigraphische Untersuchungen zum Paläolithikum von Mauern und Meilenhofen (Fränkische Alb). Quartär 26, 1975, 73–106.

Dehm, R. (1962), Altpleistocäne Säuger von Schernfeld bei Eichstätt in Bayern. Mitteilungen der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und historische Geologie 2, 1962, 17–61.

Doppler, G., Kroemer, E., Rögner, K., Wallner, J., Jerz, H. & W. Grottenthaler (2011), Quaternary stratigraphy of Southern Bavaria. E&G Quaternary Science Journal 60, 2011, 329–365.

Drescher-Schneider, R. (2000), 2. Halt: Kiesgrube Thalgut: Pollen- und großrestanalytische Untersuchungen. In: Kelly, M., Linden, U. & C. Schlüchter (Hrsg.), Exkursionsführer DEUQUA 2000, Eiszeitalter und Alltag (Bern 2000) 128–136.

Dromart, G., Garcia, J. P., Picard, S., Atrops, F., Lécuyer, C. & S. M. F. Sheppard (2003), Ice age at the Middle-Late Jurassic transition? Earth and Planetary Science Letters 213, 2003, 205–220.

Eberl, B. (1930), Die Eiszeitenfolge im nördlichen Alpenvorlande. Ihr Ablauf, ihre Chronologie auf Grund der Aufnahmen im Bereich des Lech- und Illergletschers (Augsburg 1930).

Eberle, J., Eitel, B., Blümel, W. D. & P. Wittmann (2017), Deutschlands Süden – vom Erdmittelalter zur Gegenwart (Berlin 2017).

Ertl, U. (1987), Pollenstratigraphie von Talprofilen im Main-Regnitz-Gebiet. Berichte der naturwissenschaftlichen Gesellschaft Bayreuth 19, 1985/87, 45–123.

Ford, D. & P. Williams (2007), Karst Hydrogeology and Geomorphology (West Sussex, England 2007).

Franke, H. W. (2001), Sinterchronologie – die Anfänge. Ein Rückblick aus persönlicher Sicht. Laichinger Höhlenfreund 36, 2001, 77–84.

Frenzel, B. (1973), Some Remarks on the Pleistocene Vegetation. Eiszeitalter und Gegenwart 23/24, 1973, 281–292.

Fuchs, M., Will, M., Kunert, E., Kreutzer, S., Fischer, M. & R. Revermann (2011), The temporal and spatial quantification of Holocene sediment dynamics in a meso-scale catchment in northern Bavaria, Germany. The Holocene 21, 1093–1104.

Glaser, S. (1998), Der Grundwasserhaushalt in verschiedenen Faziesbereichen des Malms der Südlichen und Mittleren Frankenalb. Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GSF-Bericht 2/98 (München 1998).

Gockel, P. (1997), Beiträge zur Morphologie und Genese von Höhlen im zentralen Grünsandstein des Golfs von Regensburg. Acta Albertina Ratisbonensia 50/2, 1997, 37–63.

Gröschke, M. & M. Fay (1981), Ein Paläokarst mitteloxfordischen Alters bei Flintsbach in Niederbayern. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen 161, 1981, 133–152.

Grüger, E. (1979), Die Seeablagerungen vom Samerberg/Obb. und ihre Stellung im Jungpleistozän. Eiszeitalter und Gegenwart 29, 1979, 23–34.

Grüger, E. (1979a), Spätriß, Riß/Würm und Frühwürm am Samerberg in Oberbayern – ein vegetationsgeschichtlicher Beitrag zur Gliederung des Jungpleistozäns. Geologica Bavarica 80, 1979, 5–64.

Grüger, E. (1983), Untersuchungen zur Gliederung und Vegetationsgeschichte des Mittelpleistozäns am Samerberg in Oberbayern. Geologica Bavarica 84, 1983, 21–45.

Habbe, K. A., Ellwanger, D. & R. Becker-Haumann (2007), Stratigraphische Begriffe für das Quartär des süddeutschen Alpenvorlandes. Eiszeitalter und Gegenwart 56, 2007, 66–83.

Haq, B. U. (2014), Cretaceous eustasy revisited. Global and Planetary Change 113, 2014, 44–58.
Haq, B. U., Hardenbol, J. & P. R. Vail (1987), Chronology of Fluctuating Sea Levels Since the Triassic. Science 235, 1987, 1156–1167.
Heller, F. (1972), Die Zoolithenhöhle bei Burggaillenreuth/Ofr. 200 Jahre wissenschaftliche Forschung 1771–1971. Erlanger Forschungen B 5, 1972, 1–131.
Herz, M., Knipping, M. & E. Kroemer (2014), The Rosenheim Basin: Würmian and Pre-Würmian deposits and the Höhenmoos interglacial (MIS 7). In: Kerschner, H., Krainer, K, & C. Spötl (Hrsg.), From the foreland to the Central Alps. Field trips to selected sites of Quaternary research in the Tyrolean and Bavarian Alps. DEUQUA exkursions (Hannover 2014) 6–17.
Hilpert, B., Kaulich, B. & W. Rosendahl (2005), Die Zoolithenhöhle bei Burggaillenreuth (Fränkische Alb, Süddeutschland). Forschungsgeschichte, Geologie, Paläontologie und Archäologie. In: Ambros, D., Gropp, C., Hilpert, B. & B. Kaulich (Hrsg.), Neue Forschungen zum Höhlenbären in Europa. Abhandlungen der Naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg 45/2005 (Nürnberg 2005) 259–304.
Hofbauer, G. (2005), Sind die Dolomithöhlen der Nördlichen und Mittleren Frankenalb tatsächlich das Ergebnis der Karbonatlösung? Online-Publikation, www.gdgh.de/Berichte/B7
Jerz, H. (1993), Geologie von Bayern II. Das Eiszeitalter in Bayern: Erdgeschichte – Gesteine – Wasser – Boden (Stuttgart 1993).
Jerz, H. & W. Grottenthaler (1995), Quartärprofile mit Paläoböden in Südbayern. Geologica Bavarica 99, 1995, 179–185.
Jung, W., Beug, H.-J. & R. Dehm (1972), Das Riß/Würm-Interglazial von Zeifen, Landkreis Laufen a. d. Salzach. Bayerische Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse, Abhandlungen, Neue Folge 151, 1972, 1–131.
Klimchouk, A., Ford, D., Palmer, A. N. & W. Dreybrodt (2000), Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers (Alabama 2000).
Knipping, M. (1989), Zur Vegetationsgeschichte des Oberpfälzer Waldes. Dissertationes Botanicae 140, 1989, 1–209.
Knipping, M. (2017), Botanische Untersuchungen an Sedimenten der Sesselfelsgrotte (Neuessing, Niederbayern) – Pollen- und Holzkohleanalysen. In: Freund, G. & J. Richter (Hrsg.), Sesselfelsgrotte VII, Naturwissenschaftliche Untersuchungen. Wirbeltierfauna 2 – Mollusken – Vegetation (Stuttgart 2017) 187–232.
Knipping, M., Boeren, I. & H.-P. Stika (2006), Botanische Untersuchungen an Sedimenten der Höhlenruine Hunas. In: Hugo Obermaier-Gesellschaft (Hrsg.), 48. Tagung der Hugo Obermaier-Gesellschaft für Erforschung des Eiszeitalters und der Steinzeit e. V. in Köln, 18.-22. April 2006 (Erlangen 2006), 43–44.
Koch, R. (2011), Dolomit und Dolomit-Zerfall im Malm Süddeutschlands – Verbreitung, Bildungsmodelle, Dolomit-Karst. Laichinger Höhlenfreund 46, 2011, 75–92.
Lang, G. (1994), Quartäre Vegetationsgeschichte Europas (Stuttgart 1994).
Lehmkuhl, F., Zens, J., Krauss, L., Schulte, P. & H. Kels (2016), Loess-paleosol sequences at the northern European loess belt in Germany: Distribution, geomorphology and stratigraphy. Quaternary Science Reviews 153, 2016, 11–30.
Litt, T., Brauer, A., Goslar, T., Merkt, J., Bałaga, K., Müller, H., Ralska-Jasiewiczowa, M., Stebich, M. & J. F. W. Negendank (2001), Correlation and synchronisation of Lateglacial continental sequences in northern central Europe based on annually laminated lacustrine sediments. Quaternary Science Reviews 20, 2001, 1233–1249.
Maier, A., Stojakowits, P., Mayr, C., Pfeifer, S., Preusser, F., Zolitschka, B., Anghelinu, M., Bobak, D., Duprat-Oualid, F., Einwögerer, T., Hambach, U., Händel, M., Kaminská, L., Kämpf, L., Łanczont, M., Lehmkuhl, F., Ludwig, P., Magyari, E., Mroczek, P., Nemergut, A., Nerudová, Z., Niță, L., Polanská, M., Połtowicz-Bobak, M., Rius, D., Römer, W., Simon, U., Škrdla, P., Újvári, G. & D. Veres (2020), Cultural evolution and environmental change in central Europe between 40 and 15 ka. Quaternary International 581–582, 2021, 225–240.

Mäuser, M. (1987), Geologische und paläontologische Untersuchungen an der altpleistozänen Säugetier-Fundstelle Würzburg-Schalksberg. Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen A 11, 1987, 1–78.

Mayr, C., Stojakowits, P., Lempe, B., Blaauw, M., Diersche, V., Grohganz, M., López-Correa, M., Ohlendorf, C., Reimer, P. & B. Zolitschka (2019), High-resolution geochemical record of environmental changes during MIS 3 from the northern Alps (Nesseltalgraben, Germany). Quaternary Science Reviews 218, 2019, 122–136.

Milanković, M. (1920), Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire (Paris 1920).

Mischka, D., Schirmer, W. & B. Zach (2015), Vorbericht zu den Feldforschungen in der linearbandkeramischen Siedlung von Ebermannstadt-Eschlipp, Lkr. Forchheim (Oberfranken). Bayerische Vorgeschichtsblätter 80, 2015, 7–37.

Moseley, G. E., Spötl, C., Svensson, A., Cheng, H., Brandstätter, S. & R. L. Edwards (2014), Multi-speleothem record reveals tightly coupled climate between central Europe and Greenland during Marine Isotope Stage 3. Geology 42, 2014, 1043–1046.

Palmer, A. N. (2007), Cave Geology. Cave Books (Dayton 2007).

Penck, A. & E. Brückner (1901/09), Die Alpen im Eiszeitalter (Leipzig 1901/09).

Peterek, A. (2001), Zur geomorphologischen und morphotektonischen Entwicklung des Fichtelgebirges und seines unmittelbaren Rahmens. Geologische Blätter NO-Bayern 51 (1–2), 2001, 37–106.

Peterknecht, K. (2011), Wachstum und Lösung an Quarzkörnern in fränkischen Höhlensedimenten in Relation zur neogenen Klimaentwicklung. Dissertation Universität Hamburg. (Hamburg 2011), https://ediss.sub.uni-hamburg.de/handle/ediss/4157

Pfeffer, K.-H. (2010), Karst. Entstehung – Phänomene – Nutzung. Studienbücher der Geographie (Stuttgart 2010).

Richter, D. K., Harder, M., Niedermayr, A. & D. Scholz (2014), Zopfsinter in der Zoolithenhöhle: Erstfund kryogener Calcite in der Fränkischen Alb. Mitteilungen des Verbandes deutscher Höhlen- und Karstforscher 60 (2), 2014, 36–41.

Rösner, U. (1990), Die Mainfränkische Lößprovinz. Sedimentologische, pedologische und morphodynamische Prozesse der Lößbildung während des Pleistozäns in Mainfranken. Erlanger Geographische Arbeiten 51 (Erlangen 1990).

Rothpletz, A. (1917), Die Osterseen und der Isar-Vorlandgletscher. Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in München XII, 1917, 99–311.

Rutte, E. (1967), Die Cromer-Wirbeltierfundstelle Würzburg-Schalksberg. Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins Würzburg 8, 1967, 1–27.

Schellmann, G. (1990), Fluviale Geomorphodynamik im jüngeren Quartär des unteren Isar- und angrenzenden Donautales. Düsseldorfer geographische Schriften 29 (Düsseldorf 1990).

Schellmann, G., Irmler, R. & D. Sauer (2010), Zur Verbreitung, geologischen Lagerung und Altersstellung der Donauterrassen auf Blatt 7141 Straubing. Bamberger geographische Schriften 24, 89–178.

Schielein, P., Schellmann, G., Lomax, J., Preusser, F. & M.Fiebig (2015), Chronostratigraphy of the Hochterrassen in the lower Lech valley [Northern Alpine Foreland]. E&G Quaternary Science Journal 64, 15–28.

Schirmer, W. (1993): Der menschliche Eingriff in den Talhaushalt. Kölner Jahrbuch 26, 577–584.

Schirmer, W. (2008), Der Naturraum Main-Regnitz im ersten Jahrtausend n. Chr. In: Bergmann, R., Dippold, G., Haberstroh, J., Lange, C. & W. Heiss (Hrsg.), Missionierung und Christianisierung in Regnitz-Obermaingebiet. Schriftenreihe des Historischen Vereins Bamberg 41, 2. Auflage (Bamberg 2008), 74–60.

Schirmer, W. (2011), Vollständige Parabraunerden auf Löss in Franken. Geologische Blätter für Nordost-Bayern 61, 2011, 131–146.

Schirmer, W. (2014a), Moenodanuvius – Flussweg quer durch Franken. Natur und Mensch 2013, 89–146.

Schirmer, W. (2014b), Drei Täler der Aufseß. Die Fränkische Schweiz 2014/1, 17–20.

Schirmer, W. (2016), Löss und Melm. Geologische Blätter für Nordost-Bayern 66, 2016, 229–247.

Schirmer, W. (2017), Paläoböden der Lössgebiete Nordwestdeutschlands. Handbuch der Bodenkunde 43/Ergänzungs-Lieferung 02/17- 4.5.3.3.5, 2017, 1–22.

Schreiner, A. (1996), Die Einführung der Haslacheiszeit und die 3-Teilung der Risseiszeit im östlichen Rheingletschergebiet (SW-Deutschland). Eclogae Geologicae Helvetiae 89, 1996, 991–1005.

Skowronek, A. & N. Willmann (1984), Ein reich gegliedertes Quartärprofil nördlich Kirchheim in Unterfranken. Natur und Mensch 1984, 1984, 41–48.

Spöcker, R. G. (1976), Ein altkreidezeitliches Karstrelief unter der Donau bei Kelheim. Acta Albertina Ratisbonensia 36, 1976, 35–41.

Stebich, M., Höfer, D., Mingram, J., Nowaczyk, N., Rohrmüller, J., Mrlina, J. & H. Kämpf (2020), A contribution towards the palynostratigraphical classification of the Middle Pleistocene in Central Europe: The pollen record of the Neualbenreuth Maar, northeastern Bavaria (Germany). Quaternary Science Reviews 250, 2020, https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106681

Stojakowits, P. (2014), Pollenanalytische Untersuchungen zur Rekonstruktion der Vegetationsgeschichte im südlichen Iller-Wertach-Jungmoränengebiet seit dem Spätglazial. Dissertation (Universität Augsburg 2014).

Stojakowits, P., Mayr, C., Ivy-Ochs, S., Preusser, F., Reitner, J. & C. Spötl (2021), Environments around the MIS3/2 transition in the northern Alps and their foreland. Quaternary International 581–582, 2021, 99–113.

Stojakowits, P., Mayr, C., Lücke, A., Wissel, H., Hedenäs, L., Lempe, B., Friedmann, A. & V. Diersche (2020), Impacts of climatic extremes on Alpine ecosystems during MIS 3. Quaternary Science Reviews 239, 2020, https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106333

Strunk, H. (1995), Brickearth pit W of Hagelstadt – A loess profile with interglacial soils. In: Schirmer, W. (Hrsg.), Quaternary field trips in Central Europe 2 (Berlin 1995) 787.

Trappe, M. (2011), Sedimentpetrographie, Gliederung und Genese von Karstsedimenten, dargestellt am Beispiel der Südlichen Frankenalb. Relief, Boden, Paläoklima 25 (Stuttgart 2011).

Trimmel, H. (1968), Höhlenkunde (Braunschweig 1968).

Trusheim, F. (1975), Die Fundstelle Pleistozäner Säugetiere im Karst von Karlstadt am Main. Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins Würzburg 16, 1975, 3–18.

von Koenigswald, W., Müller-Beck, H. & E. Pressmar (1974), Die Archäologie und Paläontologie in den Weinberghöhlen bei Mauern (Bayern). Grabungen 1937–1967. Archaeologica Venatoria 3 (Tübingen 1974).

Zech, R., Mayr, C. & G. Doppler (2015), Löss und Paläoböden in Bobingen – Eine geochemische Reise in die Eiszeit. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 117, 2015, 139–148.

Eine vollständige Liste der zitierten Literatur steht digital unter folgendem Link zur Verfügung:
https://doi.org/10.5281/zenodo.7935078.