

Thorsten Uthmeier,
Doris Mischka (Hrsg.)

STEINZEIT IN BAYERN

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

BAND 1

2023

wbgTheiss

13 Kurze Flussgeschichte

Wolfgang Schirmer

Die natürliche Flussgeschichte Bayerns ist dreiaktig

➤ Moenodanubisches Flussregime

Moenodanubisches Flussregime (von circa 75 bis 6/5 Millionen Jahre vor heute, also Dauer circa 70 Millionen Jahre): Nordbayern entwässert nach Süden zum Molassebecken und zeitweise weiter zum Rhonebecken.

Nordbayern wird Ende Jura Land. Südbayern bleibt noch Meer. Folglich entwässert Nordbayern nach Süden, vom Maingebiet zum Raum der heutigen Donau – daher (römisch) *Moenodanuvius*. Im Oligozän erscheinen erste Gerölle des Frankenwalds im Becken des Alpenvorlands. Die Frankenalb ist wegen der lösenden Verkarstung des Dolomits und Kalksteins noch tiefster Teil Nordbayerns –

sozusagen ein Frankenalb-Becken. Dort ist der älteste bekannte Zufluss die Eschlipp-Formation, die von Nord/Nordwest her in die Albmulde fällt und Gesteine des Thüringer Walds, aber auch des Braunjuras in das Weißjura-Becken spült, das später zur Hochfläche wurde. Als sich die Ostalpen weiter erhob und nach Norden schoben, wurde das Alpenvorlandsbecken (Molassebecken) im Osten verschlossen und die Böhmisches Masse herausgehoben. Der gesamte Abfluss Bayerns erfolgte sodann im Molassebecken nach Westen. Das Moenodanuvius-System entwässerte vom Thüringer Wald–Frankenwald nach Süden über die Nordalb und Regnitz zum bayerischen Molassebecken und über das Schweizer Mittelland zum Rhonegraben (Abb. 13.1).



Abb. 13.1: Längster Lauf des Moenodanuvius im Miozän (SCHIRMER 2014a, 123).

➤ Danubisches Flussregime

Danubisches Flussregime (von ca. 5/6 bis 3,5 Millionen Jahre vor heute, Dauer 2–3 Millionen Jahre): Fast ganz Bayern entwässert über das Molassebecken von West nach Ost.

An der Wende Spätmiozän zum frühen Pliozän schieben sich die Westalpen bevorzugt nach Norden und heben dabei sich und ihr Vorland mit Schweizer Jura, Molassebecken, und Schwarzwald heraus. Der bisherige Westabfluss im Molassebecken wird daher zum Ostabfluss: Die Donau entsteht. Die sich hebenden Alpen mit Vorland drängen vor 6 bis 5 Millionen Jahre vor heute die Donau an den Nordrand des Molassebeckens (Abb. 13.2). Ihr Einzugsgebiet reichte bis in den Schwarzwald und in die Nordschweiz bis zur Walliser Rhone zurück. Die Alpenrhein-Donau, die Rhone-Aare-Donau und Feldberg-Donau waren die Quellflüsse. Sie gingen durch spätere Westkipfung des westlichen Alpenvorlands nacheinander wieder verloren: die Aare-Donau im Pliozän an die Rhone und später an den Rhein, die Alpenrhein-Donau im frühen Pleistozän oder spätestens in der Günz-Eiszeit an den Rhein (VILLINGER 2003; Übersicht zum Alpenrheindiscurs in SCHIRMER 2003, 37). In Bayern nimmt die Donau die Zuflüsse der Bayerischen Alpen und Nordbayerns auf, so auch den Moenodanuvius (SCHIRMER 2014a, 124) und die Urnaab.



Abb. 13.2: Die frühe Donau und ihre längsten Oberläufe (unter Verwendung von Angaben aus VILLINGER 1998; Grafik: W. Schirmer).

➤ Main-Donau-Flussregime

Main-Donau-Flussregime (in den letzten circa 3,5 Millionen Jahren): Konkurrenz zwischen Ostabfluss im Süden Bayerns und Westabfluss im Norden.

Mit der Heraushebung ganz Bayerns und dem Klimawechsel von subtropischer Zeit zum Eiszeitalter hoben sich härtere Gesteine (Grundgebirge, Jura) über weichere Gesteine heraus. Außerdem sank der Oberrhein-Graben immer stärker ein. Daraus resultierte eine völlige Umgestaltung der Landschaft und Flusssysteme. Das Moenodanuvius-System zerfiel. Nordwestbayern floss nach Westen durch das Mainsystem zum Rhein ab. Nordost- und Südbayern verblieben bis heute beim Donau-System.

➤ Main- und Donau-System

Das Mainsystem wird im Pliozän sichtbar (SCHIRMER 2014a). Sein heutiges Bild ist vierteilig (Abb. 13.3 und 13.4):

- *Plateauterrassen*, die sich nur noch als eluvialer Geröll-Bodensatz zeigen (sogenannte *Pelma-Terrassen*), *Trogtalterrassen*, die schon deutlich am Rand des heutigen Tals eingesenkt sind: Jungpliozän und Frühpleistozän bis circa 1 Millionen bis 800.000 Jahre vor heute.
- Die *Main-Formation*, die nach einer Main-Eintiefung bis hinab ins heutige Talniveau oder tiefer, wiederum 30–60 m hoch aufgeschüttet wurde und wenigstens 5 eigenständige Flumente (A–E) enthält: von 1 Millionen/800.000 bis 500.000 Jahre vor heute.
- *Hangterrassen*, die sich in die Main-Formation bis hinab auf den Hangfuß einschneiden: von circa 500.000 bis 130.000 Jahre vor heute.
- *Talgrundterrassen*, die sich im Talgrund im Wesentlichen aneinanderreihen: seit 130.000 Jahren bis heute.

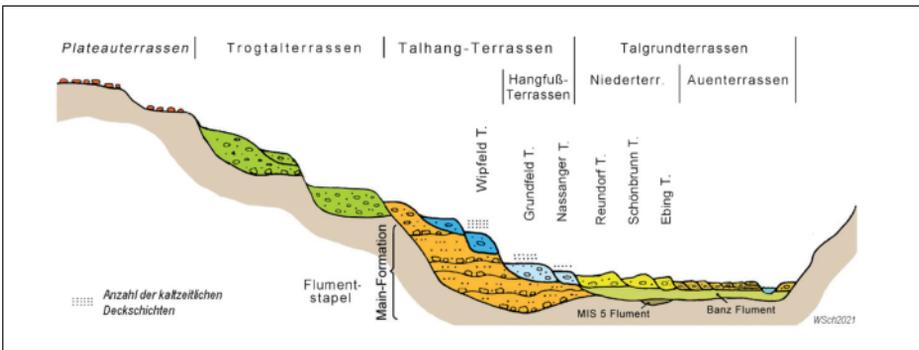
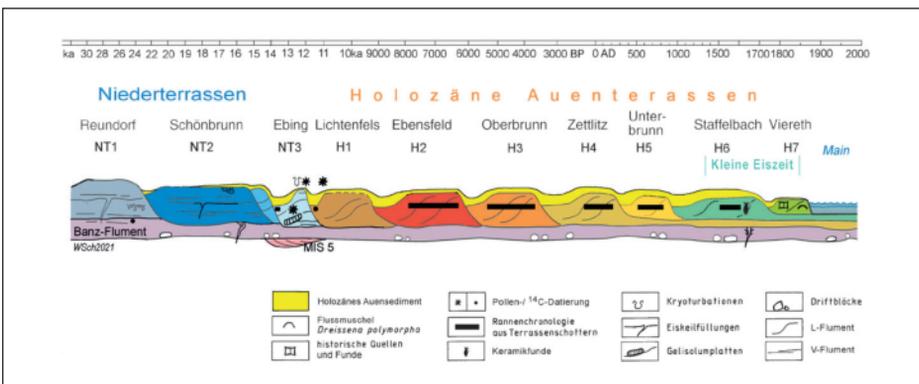


Abb. 13.3: Ideale Terrassentreppe des Mains im Obermaingebiet. Zum Alter der Talgrundterrassen s. Abb. 13.4 (Grafik: W. Schirmer).



13.4: Schema der Talgrundterrassen des Mains (Rannen = fossile Baumstämme, L- bzw. V-Flument = lateral bzw. vertikal akkumulierter Schotter; Grafik: W. Schirmer).

Das Donausystem wird von der Entwässerung der Alpen gesteuert. Da diese sehr wasser- und frachtreich ist, wurden die ältesten Spuren stark erodiert.

Die ältesten bekannten Zuflüsse aus den Bayerischen Alpen erhielt die Donau durch die Ur-Iller im Frühpleistozän zwischen MIS 68 und MIS 40 (HABBE ET AL. 2007; SCHEUENPFLUG 1995), circa 1,85 bis 1,3 Millionen Jahre vor heute (LISIECKI & RAYMO 2005, 6). Es sind Flumente, die von der Terrassenfläche der Bieber-Kaltzeit am Staufenberg 16 km NW von Augsburg (Abb. 13.2) bedeckt werden. Diesen Sedimenten folgt eine lange Reihe fluvioglazialer und fluviatiler Sedimente von der Biber- über die Donau-, Günz-, Mindel- und Riss-Kaltzeiten zur letzten, der Würm-Kaltzeit und zum Holozän (Abb. 13.5 und 13.6). Zum Teil zeigen die Terrassenkörper interne Stapelungen (z. B. DOPPLER ET AL. 2011; SCHIELEIN ET AL. 2015).

Große Unterschiede zeichnen die Entwicklung zwischen dem Donau- und Mainsystem aus: Durch die Norddrift der Alpen hebt sich sein Vorland ständig. Das zwingt die Flüsse zum Eintiefen. Daher bilden sich im Voralpengebiet von alt nach jung vorwiegend Treppenterrassen. Dagegen folgt die Formung des Maingebietes den Launen des Oberrheingraben. Seine Senkung hatte die große Flusseintiefung nach den Trogtalterrassen zur Folge. Sein Ruhezustand bewirkte die Wiederaufschüttung, die Main-Formation. Die Hebung ganz Süddeutschlands resultierte in der Hangterrassentreppe. Annähernd tektonischer Stillstand formte die Talgrundterrassen im Maingebiet, erzeugte fluviatiles Gleichgewicht mit Talruhe und Bil-

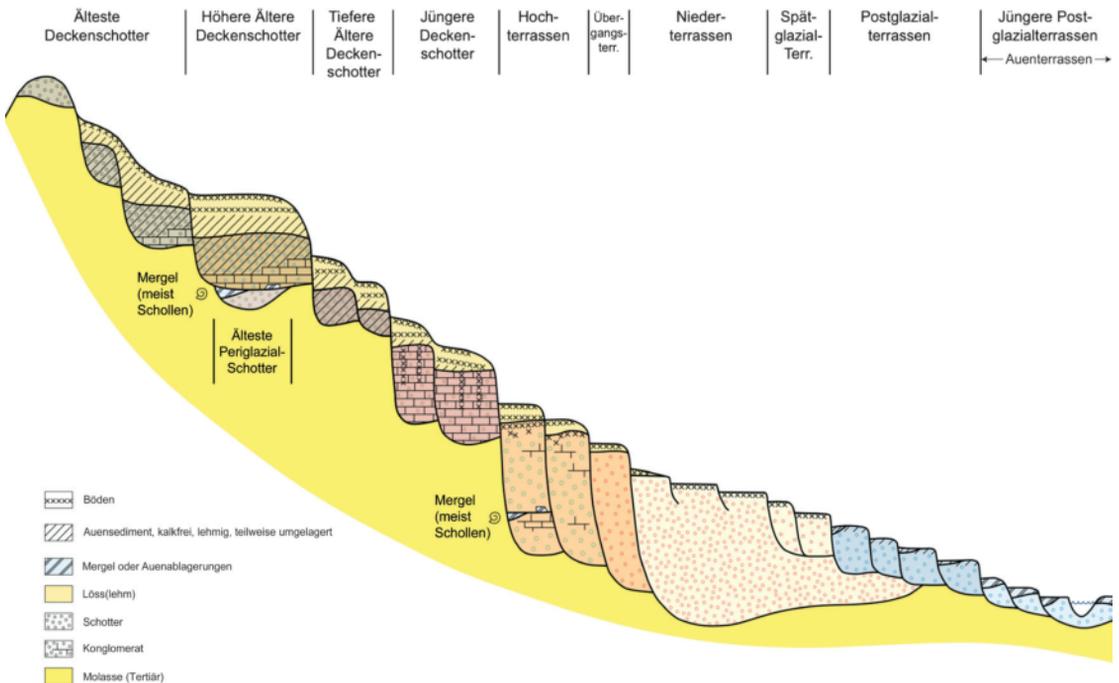


Abb. 13.5: Terrassentreppe des Alpenvorlands im Allgäu (DOPPLER ET AL. 2011, 345).

dung von Reihenterrassen, die sich gegenseitig in etwa derselben Ebene durch seitliche Bewegung zerschneiden.

Prähistorisches Highlight ist der Fund des *Homo heidelbergensis*-Schädels im mittleren bis höheren Teil der Mainformation des Neckars bei Heidelberg (vgl. SCHIRMER 2007) (vgl. Kap. 24).

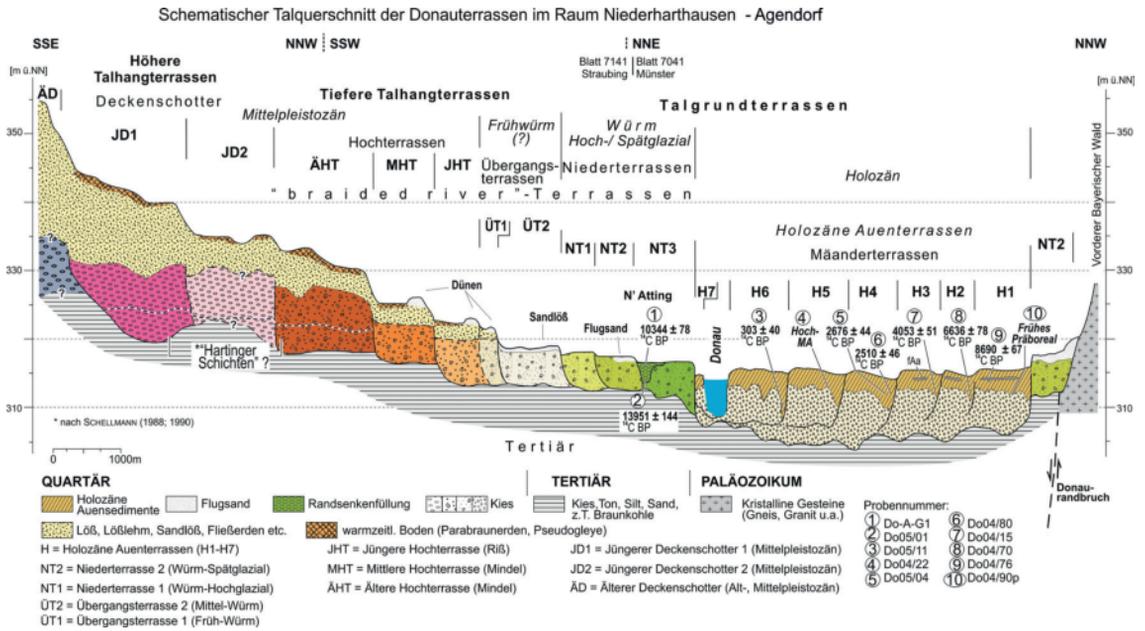


Abb. 13.6: Terrassentreppe der Donau bei Straubing (SCHELLMANN ET AL. 2010, 168).

➤ Fluss und Mensch im Zusammenspiel

Täler waren stets Einwanderungswege: nach der Eiszeit, für die Flora, die Fauna und auch für den Menschen. Tätigkeit und Hinterlassenschaften des jagenden und sammelnden Menschen haben jedoch das Tal nicht wesentlich verändert. Veränderung geschieht erst seit der neolithischen Siedlungstätigkeit, der Bandkeramik, also seit 7.370 Jahren (FRÖHLICH & LÜNING 2017) (vgl. Kap. 54) während der Bildungszeit der Ebensfeld-Terrasse bzw. Holozän-Terrasse 2 (H2). Rodung auf Hängen und Höhen lockerte den Boden auf, gab und gibt ihn zur Abspülung frei. Dadurch werden die bis dahin versumpften Täler und Seitentäler, auch die Hangmulden, besonders durch feines Bodenmaterial aufgefüllt. Die vormals versumpften Talsohlen werden dabei aufgehöhrt und erstmals begehbar gemacht. Das reicht bis hin zur Beackerung der Talböden in junghistorischer Zeit. Täler werden aber auch durch wechselnden Klimagang – Sturzregenphasen und ruhige Phasen – gestaltet. In heftigen Klimaphasen legen die größeren Flüsse durch erhöhte Umlagerungstätigkeit neue Aufschüttungsterrassen an (Abb. 13.4 und 13.6). Die Wirkung heftiger Klimaphasen

wird durch die anthropogene Aktivität verstärkt. Dabei wird dem Fluss aufgrund erhöhter Abtragung im gerodeten Land viel feinkörnige Gesteinsfracht zugeführt. Das äußert sich vor allem durch Auensedimentaufhöhung in den Tälern. Fazit: Die Täler werden klimatisch gestaltet und seit dem Neolithikum zunehmend anthropogen modifiziert (SCHIRMER 1983; 1993; 2008).

Eine Ausnahme bilden die kleinen Täler. Sie können in der Rodungszeit völlig durch Abtragmaterial verstopft werden, da die kleinen Bäche die Einspülmassen der Rodung nicht abtransportieren können. Ihr Querschnitt (Abb. 13.7) zeigt meist eine vorrodungszeitliche dunkle tonig-muddig-torfige Basislage (Brombach-Formation genannt). Drei Meter stark, beginnt die Fluviale Serie 1 im Brombachtal (Lage in Abb. 13.2) mit jungtundrenzeitlichem Sand und Lehm, und endet dann mit der dunklen Brombach-Formation, die vom Präboreal bis ins früheste Atlantikum etwa um 9.000 BP reicht (ERTL 1987). Sie ist sicher teilweise erodiert. Darüber folgen im Brombachtal sechs Meter sandig-lehmiger Rodungsabtrag, in vier periodischen Schüben eingebracht. Der Bach fließt dann an diesem und anderen Bächen nur noch in seiner rodungsbedingten Aufschüttung, in der dann auch alle anthropogenen Spuren begraben sind (vgl. auch DOTTERWEICH 2004; BORK 2006; FUCHS ET AL. 2011; SCHIRMER 2014b). Seit die anthropogen völlig neu gestalteten Talböden begehbar wurden, sind auch sie zu wertvollen archäologischen Archiven geworden. Hochwasser- und Sturzflutschlamm konservieren in Tal- und Hangsedimenten anthropogene Hinterlassenschaften. In den kleinen Tälern sind diese Archive allerdings tiefer begraben.

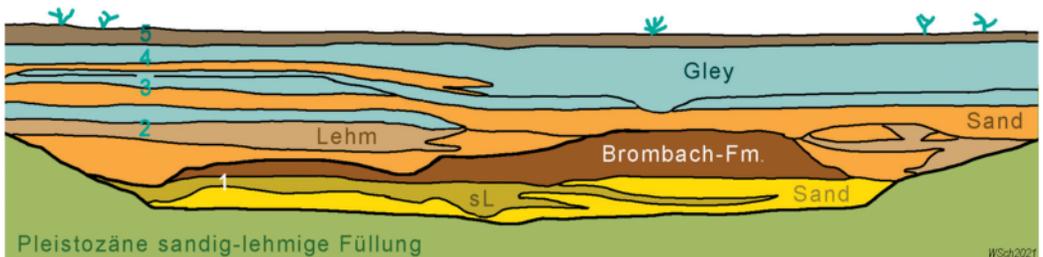


Abb. 13.7: Bachquerschnitt der Igelsbachvorsperre im Brombachtal, linker Zufluss der Rednitz in Mittelfranken, gut 7 m hoch, in Buntsandstein eingetieft (Lage in Abb. 13.2; sL = sandiger Lehm, 1–5 Fluviale Serien; verändert nach SCHIRMER in ERTL 1987, 98; Grafik: W. Schirmer).

Glossar

Eluvium: Lösungs- und Auswaschungsrückstand von abgetragenen Gesteinen.

Flument: Flusssediment aus Flussbettsediment, Auensediment und Auenboden (SCHIRMER 2020).

MIS: Marines Isotopen-Stadium (LISIECKI & RAYMO 2005).

Pelma: Kontakt zwischen (quartären) Lockersedimenten und (älterem) Festgestein (SCHIRMER 2020).

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 Burggailenreuth/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 Burggailenreuth (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 Sesselfelsgrötte (Neusieding, Niederbayern) – Pollen- und Holzkohleanalysen*. In: FREUND, G. & J. RICHTER (Hrsg.), *Sesselfelsgrötte 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., NERUDOVA, Z., NIŹÁ, 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., DIERSCHKE, 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.
- RÜTTE, E. (1967), Die Cromer-Wirbeltierfundstelle Würzburg-Schalksberg. *Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins Würzburg* 8, 1967, 1–27.
- SHELLMANN, G. (1990), Fluviale Geomorphodynamik im jüngeren Quartär des unteren Isar- und angrenzenden Donautales. *Düsseldorfer geographische Schriften* 29 (Düsseldorf 1990).
- SHELLMANN, 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., SHELLMANN, 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 Helveticae* 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. DIERSCHKE (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>.

