

# 1. Der Lettenkeuper – Verbreitung, Alter, Paläogeographie

Edgar Nitsch

## Abstract

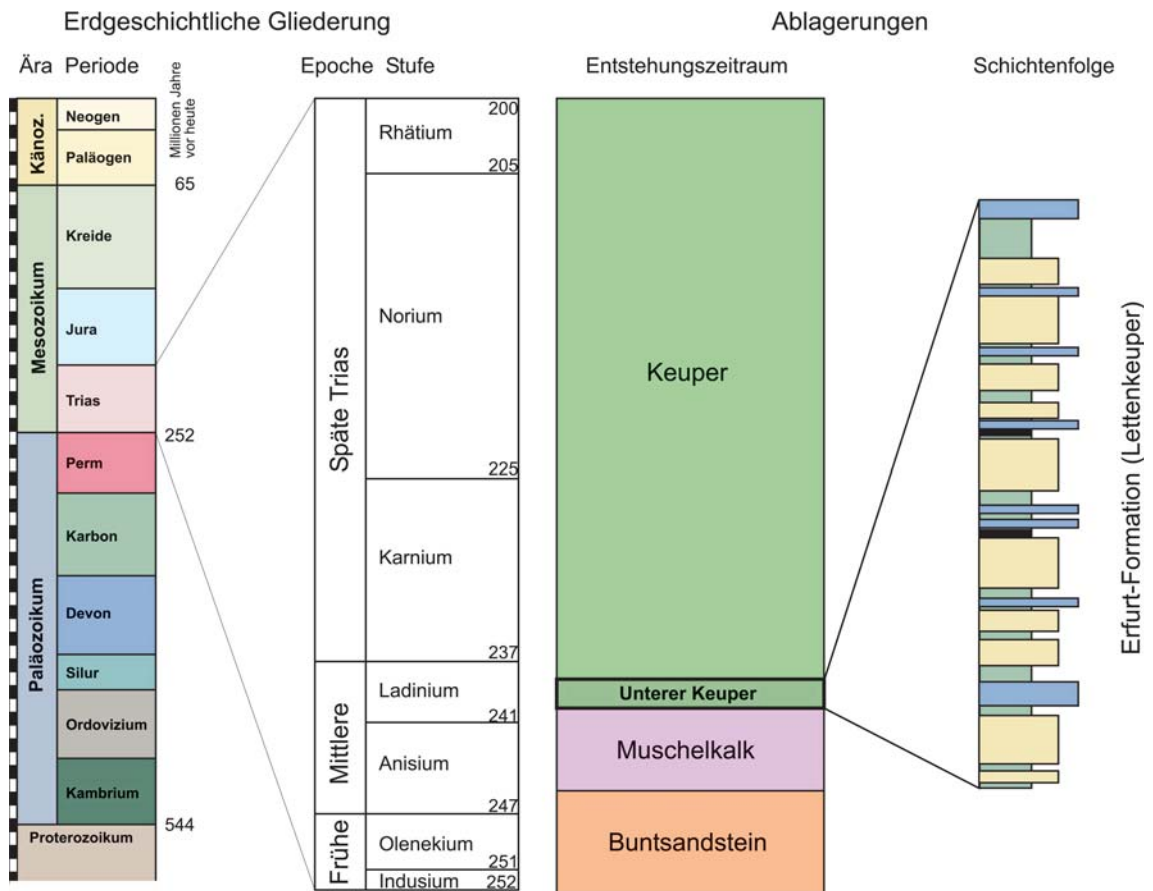
The Lettenkeuper (Lower Keuper) comprises fluvial-deltaic to brackish-marine deposits of the Erfurt Formation in most parts of the Germanic Basin, grading into alluvial deposits near the basin margins (e.g., the upper part of the Grafenwöhr Formation near the Bohemian Massif). Lettenkeuper sediments are widely distributed in Germany and cover approximately 230.000 km<sup>2</sup>. North of the River Main, the thickness of the Erfurt Formation is about 40–60 m and decreases to less than 10 m at the Swiss border. Maximum thickness of more than 150 m is reported from tectonic grabens in North Germany. The Lower Keuper is of late Ladinian (Longobardian) age. If its sedimentary cyclicity is interpreted to be orbitally influenced, the duration of Lower Keuper deposition can be estimated to be more than 1 Ma, but less than 2.5 Ma. During the late Ladinian, the Germanic Basin was located between the Tropic of Cancer (Switzerland) and approximately 35° North (South Sweden). The depositional area of the Lettenkeuper was surrounded by mountainous uplands: the Vindelician-Bohemian Massif in the Southeast, the French Massif Central and the Ardennes Massif in the West and the Fennoscandian Massif and Russian Platform in the North and East. Palaeoclimate was generally arid, as reflected by widespread precipitation of gypcrete nodules and regional deposition of evaporites. Yet, increased freshwater runoff from the Fennoscandian Highlands, recurring floods due to tropical storms and occasional monsoonal precipitation lead to hydromorphic conditions in large parts of the succession and even allowed the local formation of modest amounts of coal. Occasionally, marine incursions flooded parts of the Basin from the South and left thin beds with restricted-marine to brackish-marine faunas, contrasting the freshwater and terrestrial faunal content of the enclosing strata.

## 1. Einführung

Keine andere Periode der Erdgeschichte hat in Deutschland Ablagerungen in größerer Verbreitung hinterlassen als die Trias. Dieser Zeitabschnitt ist das erste und mit einer Dauer von rund 50 Millionen Jahren (von 252 bis 200 Ma vor heute; MENNING 2005) das kürzeste der drei Zeitalter des Erdmittelalters (Abb. 1.1). In Mitteleuropa gliedern sich die Ablagerungen der Trias in drei charakteristische stratigraphische Gruppen: Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper, für die der königlich württembergische Bergrat FRIEDRICH VON ALBERTI im Jahre 1834 zusammenfassend den Namen Trias („Dreiheit“) prägte (ALBERTI 1834). ALBERTI definierte diese Trias allerdings nicht allein anhand ihres charakteristischen Gesteinsbestands. Er erkannte bereits, dass die Fossilien dieses Zeitalters eine eigenständige Lebewelt dokumentieren, die sich von der des vorangegangenen Perms ebenso deutlich unterscheidet wie von derjenigen der nachfolgenden Juraperiode. Heute wird die Trias als Erdzeitalter ausschließlich anhand von Leitfossilien abgegrenzt und gegliedert und in diesem geochronologischen Sinne weltweit für Gesteine gleichen Alters verwendet. Doch die typisch mitteleuropäische Ausbildung mit den festländischen Ablagerungen des Buntsandsteins, den Meeresablagerungen des Muschelkalks und den wiederum vorwiegend festländischen Sedimenten des Keupers trägt noch immer den Namen Germanische Trias als einen lithostratigraphischen Begriff (Abb. 1.1).

Der Lettenkeuper stellt die untere von drei Untergruppen der Keuper-Gruppe dar. Diese Dreiteilung in Unteren, Mittleren und Oberen Keuper wurde schon um 1830 vom Hallenser Professor FRIEDRICH HOFFMANN eingeführt und ist seither in den meisten deutschen Ländern ununterbrochen verwendet worden (Kap. 2). Lediglich in Württemberg bestand der Tübinger Professor FRIEDRICH AUGUST QUENSTEDT darauf, die „Lettenkohle“, wie der Untere Keuper damals genannt wurde, noch dem Muschelkalk zuzuordnen. In Südwestdeutschland haben dies bis 1918 zahlreiche Autoren übernommen. In den Nachbarstaaten Schweiz und Frankreich gehören die entsprechenden Schichten noch heute als „Lettenkohle“ zum Oberen Muschelkalk. In Württemberg selbst orientierte man sich jedoch seit den 1920er Jahren wieder an der sonst in Deutschland üblichen Praxis – die auch FRIEDRICH VON ALBERTI hier stets übte – und aus der „Lettenkohlengruppe“ wurde der Lettenkeuper.

Der Untere Keuper bildet innerhalb der Germanischen Trias den Übergang von den grauen Meeresablagerungen des Muschelkalks zu den bunten Land-, Fluss- und Salzsee-Ablagerungen des Mittleren Keupers. Auf engstem Raum wechseln hier festländische Ablagerungen mit Meeresedimenten ab. Absätze von Süßwasser, Brackwasser und Salzwasser fast aller Mischungsstufen folgen einander Schicht auf Schicht und erscheinen dabei immer wieder überprägt von Austrocknung und Bodenbildung (Abb. 1.2; Kap. 13). Beinahe alles, was die Germanische Trias



**Abb. 1.1** Altersstellung des Unteren Keupers. Die Zahlen geben Millionen Jahre vor heute an (nach DSK 2005).

an sedimentären Fazies zu bieten hat, erscheint im Lettenkeuper wie in einer Zusammenfassung auf wenigen Metern Profil.

## 2. Gliederung und Gesteinsbestand

Der Untere Keuper wird heute formell in mehrere Formationen gegliedert, deren Abgrenzungen die Gliederung des Sedimentationsraums in Becken- und Randfazies abbilden (BEUTLER 2005). Die Erfurt-Formation stellt dabei die Beckenfazies des Unteren Keupers dar und zeigt dementsprechend die größte Verbreitung. Trotz ihrer eher geringen Mächtigkeit ist ihr Gesteinsaufbau ungewöhnlich vielfältig. Den Hauptanteil machen Ton- und Schluffsteine aus, die flächenhaft mit Mergel-, Kalk- und Dolomitsteinen wechsellagern (Abb. 1.2, vgl. Kasten S. 10). Durchzogen wird diese Wechsellagerung von Strängen und Linsen feins bis mittelkörniger Sandsteine. Der Sandanteil dieser Sandsteine stammt offenbar aus Skandinavien und wurde über

das ganze Becken hinweg bis in das heutige Hochrheingebiet geschüttet (Kap. 13). Örtlich treten jedoch auch Einlagerungen von Konglomeraten, Gipsstein, Anhydritstein und immer wieder etwas Kohle auf. Letztere gab im 19. Jahrhundert den Anlass, diese Formation „Lettenkohlengruppe“ oder „Kohlenkeuper“ zu nennen (Kap. 2). Die Vorkommen waren allerdings viel zu klein und zu unrein für eine wirtschaftliche Nutzung (Kap. 19). Selbst Steinsalz hat es gegeben – allerdings nur in einzelnen, aufgelösten Kristallen, deren Abdrücke sich noch im Gestein finden. Daneben sind Coelestin und Hornstein zwar nicht als Gestein, aber doch in Knollen oder erkennbaren Kristallen zu finden, ebenso wie Pyrit, Rot- und Brauneisenstein, Siderit und weitere Minerale.

Ebenfalls zum Unteren Keuper werden noch Formationen nahe an den Rändern des einstigen Sedimentbeckens gezählt, die ihre Sedimente von den benachbarten Abtragungsgebieten erhielten und vorwiegend aus mittel- bis grobkörnigen Sandsteinen bestehen. Die Grenze zum Muschelkalk ist hier nicht immer klar zu erkennen. Deshalb

gehört z. B. der größere Anteil der Grafenwöhr-Formation in der Oberpfalz dem Alter nach zum Muschelkalk, und nur die jüngsten Anteile entsprechen dem Unteren Keuper. Die brackisch-deltaische „Lettenkeuper-Fazies“ des norddeutschen Oberen Muschelkalks, die im Schrifttum häufig ebenfalls als „Lettenkeuper“ angesprochen wurde, wird heute ebenfalls von der Erfurt-Formation abgegrenzt. Ihr brackisch-mariner Anteil wird heute als Warburg-Formation ganz zum Muschelkalk gerechnet, der nur im Ostseeraum aus Bohrungen bekannte limnisch-deltaische Anteil unterhalb des Sandsteins S1 dagegen ist bislang noch nicht formal als Formation definiert worden und eine Einbeziehung in die Erfurt-Formation daher noch offen (FRANZ 2008; FRANZ et al. 2013). Der stark vom ardenischen Beckenrand beeinflusste Untere Keuper in Rheinland-Pfalz dagegen ähnelt mehr der luxemburgischen und südbelgischen Fazies als der Erfurt-Formation (DITTRICH 2004, 2005; DITTRICH & SCHOCH 2004), ist jedoch ebenfalls noch nicht formell als eigene Einheit gegen diese ab-

gegrenzt; sie wird in der Region noch wie der übrige Untere Keuper als „Lettenkeuper“ bezeichnet.

### 3. Verbreitung und Mächtigkeit

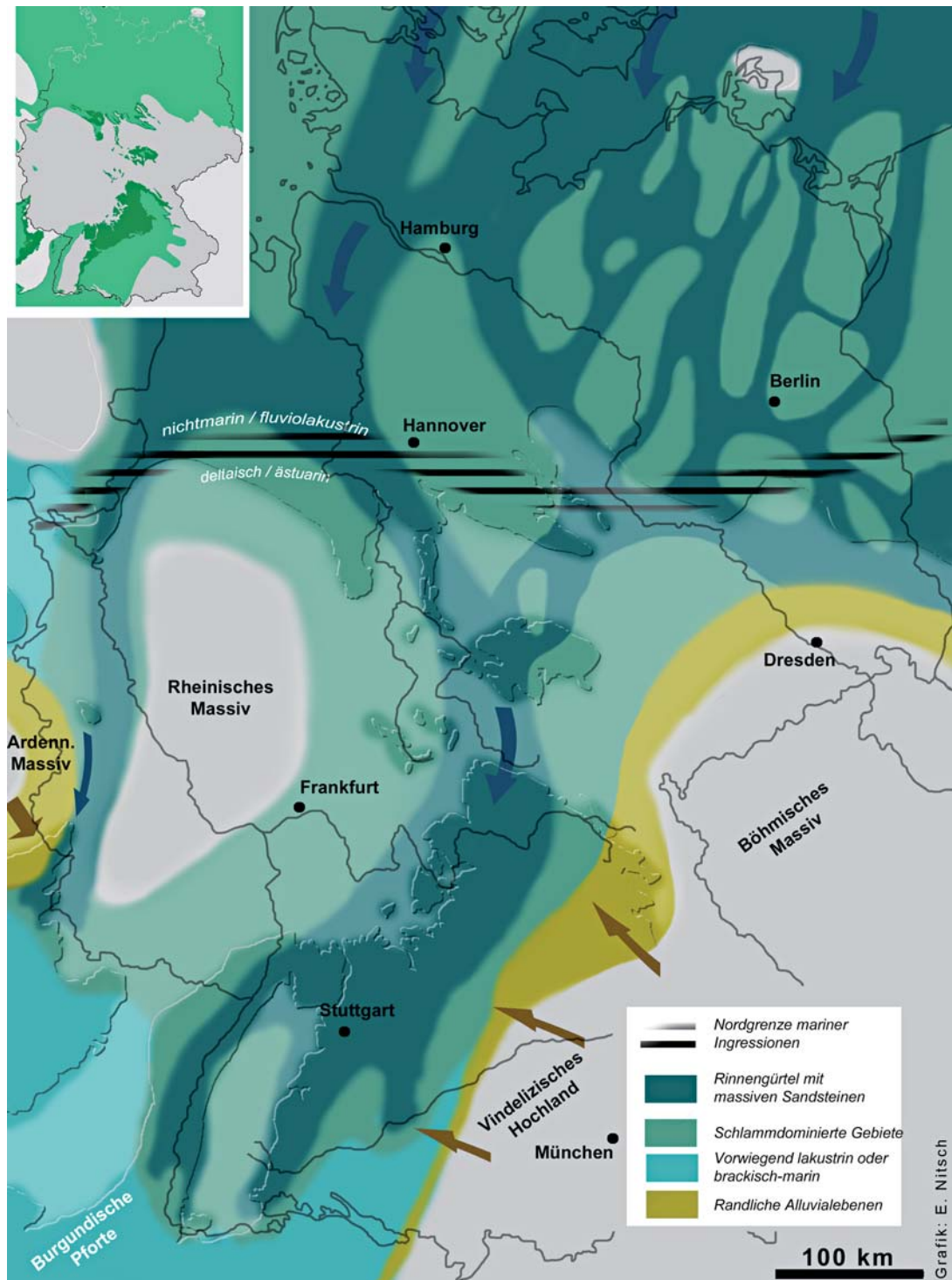
Sedimente des Unteren Keupers finden sich in allen deutschen Bundesländern (Abb. 1.3). In Baden-Württemberg und Bayern bilden sie weite, schwach hügelige Verebnungsflächen über dem Muschelkalk und setzen sich unter die Keuper-Schichtstufe, den Schwäbisch-Fränkischen Jura und das Molassebecken nach Süden fort. In Thüringen streichen sie als breiter Ring rund um den Mittelkeuper des Thüringer Beckens aus, in Rheinland-Pfalz und im Saarland finden sich kleine Vorkommen nahe der Grenzen zu Luxemburg und Frankreich, in Hessen und im südlichen Niedersachsen kennt man einige Unterkeuper-Schollen in tektonischer Grabenlage, und in Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt zeigen sich im Lippischen



**Abb. 1.2** Der Untere Keuper ist häufig als Abraumschicht in Muschelkalk-Steinbrüchen aufgeschlossen und bedeckt dessen Karbonatgesteine mit einer wechselvollen Abfolge von Ton-, Dolomit- und Sandsteinen. Das Bild zeigt den gesamten Lettenkeuper auf Oberem Muschelkalk bei Öhringen-Unterohrn (Foto H. HAGDORN 2013).



1



**Abb. 1.3** Das westliche Mitteleuropa zur Zeit des Lettenkeupers (verändert nach DSK 2005). Die kleine Karte links oben zeigt die heutige Verbreitung von Keupergesteinen an der Oberfläche (dunkleres Grün) und unter Überdeckung (heller). Die große Karte stellt die Faziesverteilung im zentralen Germanischen Becken dar, in blässeren Farben rekonstruiert für Gebiete, in denen der Lettenkeuper heute abgetragen ist. Die grauen Flächen geben Regionen an, in denen mutmaßlich keine Sedimente abgelagert wurden und deren Abtragung teilweise Sedimentmaterial in das Becken lieferte. Die Pfeile zeigen die Transportrichtung von Sand und Feinmaterial.

und Osnabrücker Bergland sowie am Nordrand des Harzes langgestreckte Ausstrichgebiete. Verborgen unter mächtigen Sedimenten jüngerer Zeitalter breitet sich der Untere Keuper weithin unter dem Norddeutschen Tiefland aus, auch unter Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg, und ragt unter dem Tertiär der Niederlausitz sogar noch ein kleines Stück nach Sachsen hinein. Der Untere Keuper erreicht unter dem deutschen Staatsgebiet eine Flächenausdehnung von über 230.000 km<sup>2</sup> und ist damit eine der am weitesten verbreiteten stratigraphischen Einheiten Deutschlands (DSK 2005; BACHMANN et al. 2010).

Zugleich ist die Erfurt-Formation eine der geringmächtigen Formationen der Germanischen Trias. Nördlich des Mains meist 40 bis 60 m mächtig, liegen in Süddeutschland weithin auch nur 30, 20 oder sogar nur 10 m zwischen dem Grenzbonebed an der Basis und dem Grenzdolomit im Dach dieser Formation. Lediglich aus der Norddeutschen Senke sind durch Tiefbohrungen und seismische Erkundungen triaszeitliche Grabenbrüche bekannt geworden, in denen die Mächtigkeit des Unteren Keupers teilweise auf mehr als 150 m ansteigt.

#### 4. Alter und Bildungsdauer

Während der Obere Muschelkalk mit seiner marinen und teilweise aus dem offenen Ozean eingewanderten Lebewelt schon früh mit der Alpinen Trias in Verbindung gebracht wurde und sich dem späten Anisium und frühen Ladinium zuordnen ließ, blieben die Fossilbelege für eine Alterseinstufung der Keuperformationen stets spärlich (Kap. 4). Im Grenzdolomit, an der Grenze zum Mittelkeuper, fanden sich in Thüringen einige wenige Ammoniten, darunter jedoch keine Arten, die eine genauere Einstufung erlaubten (MOJSISOVICS 1884; MÜLLER 1973). Nach der Muschelfauna konnte KOZUR (1974) den Unteren Keuper insgesamt dem späten Ladinium zuordnen (Abb. 1.1), genauer der Langobardium-Unterstufe, was sich seither auch anhand von Pollen und Sporen bestätigte (Kap. 4, 6; HEUNISCH 1986, 1999; SCHULZ & HEUNISCH 2005). Das Alter dieser Unterstufe lässt sich derzeit mit etwa 235 bis 240 Millionen Jahren angeben (MENNING et al. 2005).

Die Dauer der Lettenkeuper-Sedimentation lässt sich innerhalb dieser Unterstufe nur ungefähr eingrenzen. Sie blieb so kurz, dass sich an den Fossilien keine evolutionsbedingten Veränderungen zeigen – die unterschiedliche Fossilführung in den aufeinander folgenden Schichten hat allein ökologische Gründe (Kap. 4). Einen möglichen Schlüssel bieten jedoch die zyklischen Fazieswechsel im Lettenkeuper, die wiederkehrende Überflutungen weiter Gebiete belegen. Sie wurden offenbar durch einen schwankenden, zeitweise niedrig und zeitweise hoch stehenden Meeresspiegel ausgelöst. Mindestens acht bis

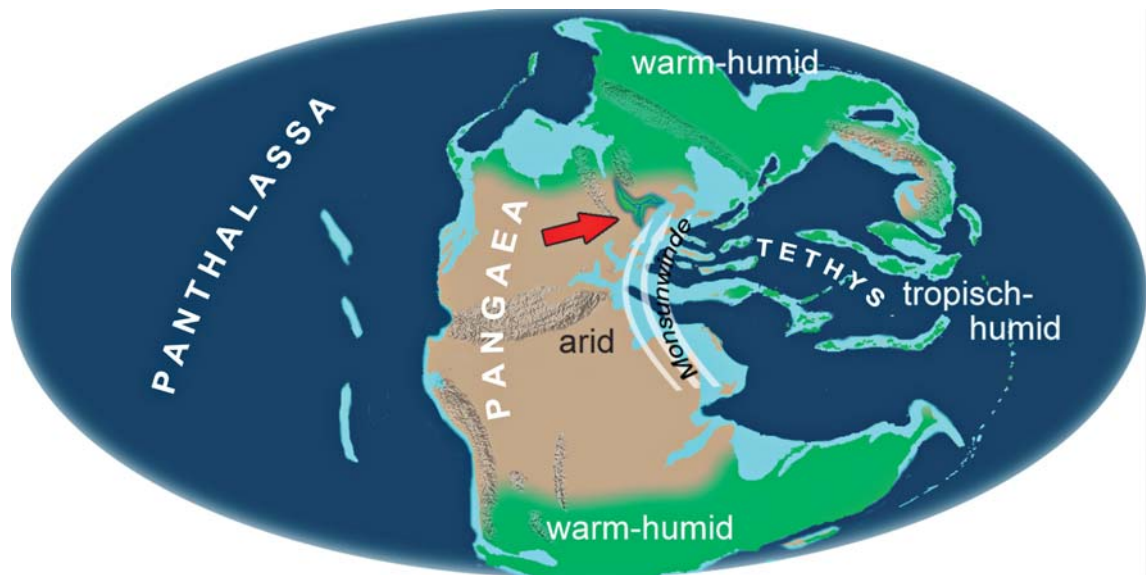
zehn, wahrscheinlich bis zu zwölf solcher Zyklen sind in der Erfurt-Formation nachweisbar.

Wahrscheinlich stehen die Meeresspiegel-Schwankungen – und noch mehr die Sandschüttungen durch die nordischen Flüsse – in engem Zusammenhang mit Klimaschwankungen. Der Rhythmus dieser Schwankungen wurde möglicherweise von Schwankungen im Achsenstand der Erde und in der Form der Erdbahn diktiert. Solche Schwankungen der Erdbahnparameter sind schon seit langem bekannt und werden heute meist Milankovic-Zyklen genannt, nach dem Geophysiker MILUTIN MILANKOVIC, der in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts die ersten umfassenden Berechnungen ausführte und auf die Klimaschwankungen der Eiszeit bezog (SEIBOLD & SEIBOLD 2005). Die astronomischen Grundlagen dieser Zyklen sind inzwischen sehr detailliert untersucht worden. Sie erfolgen regelmäßig in genau bekannten Perioden, vorwiegend in der Größenordnung von einigen 10.000 bis einigen 100.000 Jahren, und beeinflussen die jahreszeitliche Verteilung der Sonneneinstrahlung auf unserem Planeten, was, so vermutete bereits MILANKOVIC, einen Einfluss auf das Klima haben könnte. Falls die „Überflutungszyklen“ des Lettenkeupers hiervon mitbestimmt, womöglich sogar ausgelöst wurden, und falls dabei eine dieser Perioden am stärksten wirkte und sie sich nicht kompliziert überlagert haben, könnte die Zahl der im Gestein dokumentierten Zyklen einen Hinweis auf die überlieferten Zeiträume geben.

Eine solche, auf Milankovic-Zyklen beruhende Schätzung ist wegen der vielen unbewiesenen und oft unbeweisbaren Annahmen, die darin einfließen müssen, äußerst unsicher. Dennoch hat sich immer wieder an den unterschiedlichsten Formationen gezeigt, dass solche Ergebnisse in der selben Größenordnung liegen wie Zeiteinschätzungen, die auf ganz anderer Grundlage durchgeführt wurden, z.B. anhand einer gemittelten Akkumulationsrate. Nach diesen und weiteren Überlegungen lässt sich zumindest ein Rahmen angeben, wie viel Zeit der Lettenkeuper wohl repräsentieren dürfte, nämlich nicht weniger als etwa eine Million Jahre, aber wohl auch nicht mehr als zwei oder zweieinhalb Millionen Jahre (NITSCH et al. 2002, 2005; KOZUR & BACHMANN 2005, 2008). Von der Bildung des Grenzbonebeds bis zur Ablagerung des Grenzdolomits verging somit eine ähnliche Zeitspanne wie vom Beginn des quartären Eiszeitalters bis heute – vielleicht auch weniger.

#### 5. Paläogeographische Situation

Während die Dauer der Lettenkeuper-Sedimentation mit der des Eiszeitalters vergleichbar ist, war die geographische und klimatische Situation drastisch verschieden. Beinahe alle Kontinentalmassen waren während der



**Abb. 1.4** Verteilung von Land und Meer während der Mittleren Trias. Nahezu alle Kontinentalmassen waren in einem Superkontinent Pangäa vereinigt, dessen tropische und subtropische Zonen von aridem Wüstenklima geprägt sind. Nach Osten öffnete sich ein äquatorialer Meeresgolf, die Tethys. Das Germanische Becken als Ablagerungsraum des Lettenkeupers nördlich der Tethys in subtropischen Breiten (Pfeil). Umgezeichnet nach Vorlagen von R. BLAKEY (cpgeosystems.com) und Klimadaten von C. SCOTESE (www.scotese.com).

Mittleren Trias noch in einem einzigen Riesenkontinent vereint (Abb. 1.4). Dieser Superkontinent hat daher in der Wissenschaft den Namen „Pangaea“ (All-Erde) bekommen. Sein Nordrand – heute Ostsibirien – ragte in arktische Breiten, sein Südrand – heute Australien und Antarktika – lag nicht weit vom Südpol entfernt. In tropischen Breiten hing Afrika mit Nordamerika zusammen, östlich davon öffnete sich ein weiter ozeanischer Golf – das Tethys-Meer – gegen den Weltozean „Panthalassa“ („All-Meer“), der fast drei Viertel der Erdoberfläche mit einer zusammenhängenden Wasserfläche überzog.

Das Germanische Becken findet sich auf diesem fremdartigen Globus unmittelbar nördlich des tropischen Tethys-Ozeans. Im Oberen Muschelkalk war das Becken noch als Nebenmeer von Tethyswasser überflutet, vom Ozean durch einen 100 bis 500 km breiten mittelgebirgigen Landrücken getrennt. Dieser Landrücken, das Vindelizisch-Böhmische Massiv, blieb noch lange in die Jurazeit hinein ein Hochgebiet zwischen Tethys und Germanischem Becken. Er zog sich vom heutigen Aare-Massiv (Schweiz) im Südwesten bis nach Oberschlesien (Süd-Polen) im Osten. Weiter westlich bestand zwischen dem Vindelizischen Hochland und dem französischen Zentralmassiv eine Senke, die in Zeiten hohen Meeresspiegels als Burgundische Pforte immer wieder Meereseinbrüche bis in den heutigen süddeutschen Raum ermöglicht hat (Abb. 1.3, 1.5). Der Süßwasserstrom aus Skandinavien, der über ganz

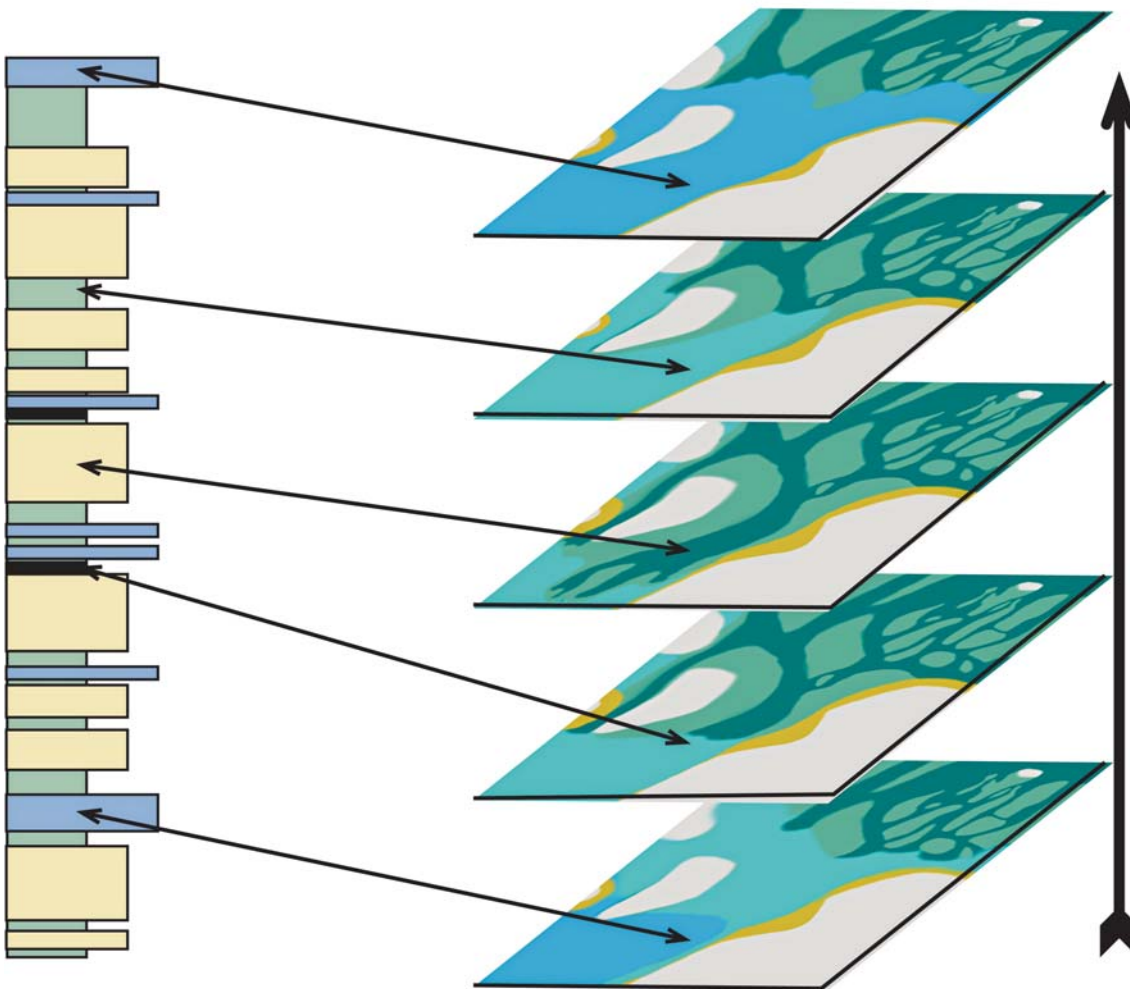
Deutschland hinweg die Fluss- und Delta-Ablagerungen des Lettenkeupers hinterließ (Kap. 13), hat das Germanische Becken über diese Pforte verlassen und sich dort mit dem eindringenden Meerwasser vermischt.

In einigen Triasablagerungen hat das damalige Erdmagnetfeld Spuren hinterlassen, die heute gewissermaßen als „fossile Kompassnadeln“ Auskunft über die einstige Nordrichtung und den Breitengrad geben. Demnach erstreckte sich das Germanische Becken etwa vom nördlichen Wendekreis – der in der heutigen Schweiz gelegen haben dürfte – über fast 1000 km bis nahe an den 35. Breitengrad im heutigen Südschweden (BEUTLER & SZULC 1999). Der 30. Breitengrad, heute wie damals mit dem trockensten Klimagürtel der Erde verknüpft, lag wohl ungefähr über Thüringen oder Franken. Klimamodelle, in denen die Umriss des triaszeitlichen Riesenkontinents berücksichtigt wurden, lassen jedoch einen starken Einfluss von Monsunwinden vermuten (PARRISH 1999).

Tropische Winde bliesen demnach im Sommerhalbjahr nordwestwärts über das Becken und brachten möglicherweise häufiger von den Wasserflächen der westlichen Tethys her Regen, als es nach dem Breitengrad erscheinen mag. Allerdings brachten die Monsunwinde vielleicht nicht in jedem Jahr Feuchtigkeit. Schon eine leichte Ablenkung des Windsystems nach Osten genügte, um trockene Winde aus der wüstenhaften Landbrücke zwischen Nord- und Süd-Pangaea in das Becken zu lenken. Aber

## Schichtenfolge

## Paläogeographische Entwicklung



**Abb. 1.5** Während der Ablagerungszeit des Lettenkeupers wechselten über weite Teile Deutschlands Meereseinbrüche und Schwemmland einander ab. Diese Wechsel bildeten sich bis heute in der Schichtenfolge durch unterschiedliche Gesteine ab. Links eine schematische Schichtenfolge aus Sandsteinen (ocker) mit Kohlen (schwarz), Tonsteinen (grün) und Dolomitsteinbänken (blau), wie sie für den mittel- und süddeutschen Lettenkeuper charakteristisch ist. Rechts eine Einordnung in die Wechsel von Meer, Brackwasserbucht und Schwemmland als paläogeographische Skizzen.

nicht nur der mit der Jahreszeit wechselnde Monsunwind beherrschte das Klima, auch tropische Stürme aus dem Tethys-Golf brachen gelegentlich in das Becken ein und prägten den Sedimenten ihren Stempel auf (Kap. 13). So ist für den Lettenkeuper gerade der rasche und ständige Wechsel das charakteristischste Merkmal: Wechsel zwischen Flutung und Austrocknung, Land und Meer, Süßwasser und Salzwasser, Pflanzengestrüpp und Meeresboden – der sich in einem ebensolchen raschen Wechsel der Gesteine und Fossilgemeinschaften widerspiegelt und diese Formation so interessant macht.

## 6. Literatur

- ALBERTI, F. v. (1834): Beitrag zu einer Monographie des Bunten Sandsteins, Muschelkalks und Keupers, und die Verbindung dieser Gebilde zu einer Formation. 366 S.; Tübingen (Cotta). [Reprographischer Nachdruck 1998; Ingelfingen].
- BACHMANN, G. H., GELUK, M. C., WARRINGTON, G., BECKER-ROMAN, A., BEUTLER, G., HAGDORN, H., HOUNSLOW, M. W., NITSCH, E., RÖHLING, H.-G., SIMON, T. & SZULC, A., mit Beiträgen von MICHEL DUSAR, M., NIELSEN, L. H., BARNASCH, J. & FRANZ, M. (2010): Triassic. – In: DOORNENBAL, J. C. & STEVENSON, A. G. (Hrsg.): Petroleum geological atlas of the southern Permian basin area: 149–173; Houten (EAGE Publications).



- BEUTLER, G. (2005): Lithostratigraphie. – In: DSK (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland IV. Keuper. – Courier Forschungsinstitut Senckenberg, **253**: 65–84.
- BEUTLER, G. & SZULC, J. (1999): Die paläogeographische Entwicklung des Germanischen Beckens in der Trias und die Verbindung zur Tethys. – In: HAUSCHKE, N. & WILDE, V. (Hrsg.): Trias, eine ganz andere Welt: 71–80; München (Pfeil).
- DITTRICH, D. (2005): Der Keuper des Trier-Bitburger Beckens. – In: DSK (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland IV. Keuper. – Courier Forschungsinstitut Senckenberg, **253**: 259–264.
- DITTRICH, D. (2004): Die ardennische Trias- und Lias-Randfazies in der Trierer Bucht (Exkursion B1 am 15. und B2 am 16. April 2004). – Jahresberichte und Mitteilungen des oberrheinischen geologischen Vereins, Neue Folge **86**: 49–76.
- DITTRICH, D. & SCHOCH, R. (2004): Wirbeltierreste in der ardennischen Unterkeuper-Randfazies – das Bonebed von Irsch (nördlich Bitburg/Südeifel). – Mainzer geowissenschaftliche Mitteilungen, **32**: 83–112.
- DSK (2005): Stratigraphie von Deutschland IV. Keuper. – Courier Forschungsinstitut Senckenberg, **253**: 296 S.
- FRANZ, M. (2008): Litho- und Leitflächenstratigraphie, Chronostratigraphie, Zyko- und Sequenzstratigraphie des Keupers im östlichen Zentraleuropäischen Becken (Deutschland, Polen) und Dänischen Becken (Dänemark, Schweden). – Dissertation Universität Halle-Wittenberg: 198 + 62 S.; Halle (<http://sundoc.bibliothek.uni-halle.de/diss-online/08/09H048/>).
- FRANZ, M., HENNINGER, M. & BARNASCH, J. (2013): The strong diachronous Muschelkalk/Keuper facies shift in the Central European Basin: implications from the type-section of the Erfurt Formation (Lower Keuper, Triassic) and basin-wide correlations. – Geologische Rundschau, **102**: 761–780.
- HEUNISCH, C. (1986): Palynologie des Unteren Keupers in Franken, Süddeutschland. – Palaeontographica, (B), **200**: 33–110.
- HEUNISCH, C. (1999): Die Bedeutung der Palynologie für Biostratigraphie und Fazies in der Germanischen Trias. – In: HAUSCHKE, N. & WILDE, V. (Hrsg.): Trias, eine ganz andere Welt: 207–220; München (Pfeil).
- KOZUR, H. (1974): Biostratigraphie der germanischen Mitteltrias. – Freiburger Forschungshefte, **C280**: 56 + 71 S.
- KOZUR, H. & BACHMANN, G. H. (2005): Correlation of the Germanic Triassic with the international scale. – Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, (B), **25**: 49–79.
- KOZUR, H. & BACHMANN, G. H. (2008): Updated correlation of the Germanic Triassic with the Tethyan scale and assigned numeric ages. – Berichte der Geologischen Bundesanstalt, **76**: 53–58.
- MENNING, M. (2005): Die globale Zeitskala, stratigraphische Terminologie und Gestaltung der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002. – Newsletters on Stratigraphy, **41**: 7–23.
- MENNING, M., GAST, R., HAGDORN, H., KÄDING, K.-C., SIMON, T., SZURLIES, M. & NITSCH, E. (2005): Zeitskala für Perm und Trias in der Stratigraphischen Tabelle von Deutschland 2002, zylostratigraphische Kalibrierung der höheren Dyas und Germanischen Trias und das Alter der Stufen Roadium bis Rhaetium 2005. – Newsletters on Stratigraphy, **41**: 173–210.
- MOJSISOVICS, E. v. (1884): Randglossen zum Funde des ersten deutschen Keuper-Ammoniten. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie, **1884**: 78–81.
- MÜLLER, A. H. (1973): Über Ammonoidea (Cephalopoda) aus der Grenzdolomitregion des germanischen Unterkeupers. – Zeitschrift für geologische Wissenschaften, **1**: 935–945.
- NITSCH, E. (2005): Zylostratigraphie des Keupers. – In: DSK (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland IV. Keuper. – Courier Forschungsinstitut Senckenberg, **253**: 106–126.
- NITSCH, E., VATH, U., SEEGIS, D., HAUSCHKE, N. & SUBKOMMISSION PERM-TRIAS (2002): Keuper. – In: DSK (Hrsg.): Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2002; Frankfurt & Potsdam.
- NITSCH, E., BEUTLER, G., HAUSCHKE, N., ETZOLD, A. & LAASS, M. (2005): Feinstratigraphische Korrelation der Grabfeld-Formation (Keuper, Trias) zwischen Hochrhein und Ostsee. – Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften, Beihefte, (B), **19**: 137–152.
- PARRISH, J. T. (1999): Pangaea und das Klima der Trias. – In: HAUSCHKE, N. & WILDE, V. (Hrsg.): Trias, eine ganz andere Welt: 37–42; München (Pfeil).
- SCHULZ, E. & HEUNISCH, C. (2005): Palynostratigraphische Gliederungsmöglichkeiten des deutschen Keupers. – In: DSK (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland IV. Keuper. – Courier Forschungsinstitut Senckenberg, **253**: 43–49.
- SEIBOLD, E. & SEIBOLD, I. (2005): MILANKOVITCH'S Strahlenkurve und deren geologische Deutung – Anfänge in Deutschland. – Geologische Rundschau, **94**: 495–503.