Relief, Boden und Wasser – eine Einführung

Herbert Liedtke, Roland Mäusbacher und Karl-Heinz Schmidt

Die deutschen Großlandschaften (*von oben nach unten*): Nordseeküste – Leuchtturm Westerhever; Tiefland – Norderdithmarschen mit der Eider; Mittelgebirge – der Thüringer Wald; Hochgebirge – die Mädelegabelgruppe in den Allgäuer Alpen

Spätestens seit Friedrich Ratzel (1844-1904) und Alfred Hettner (1859-1941) wurde in der klassischen Geographie die Beschaffenheit der natürlichen Umwelt als Basis aller menschlichen Lebensformen gesehen, und bis weit ins 20. Jh. hinein gab es geodeterministische Haltungen, die davon ausgingen, dass die physischen Verhältnisse und die Gesetze der physischen Welt bestimmend für die sozialen und kulturellen Ausprägungen des menschlichen Lebens seien. Diese vorherrschende Lehrmeinung ist inzwischen von einer vernetzten Betrachtungsweise abgelöst worden, nach der Natur- und Kulturlandschaft als vielfältig verzahnt und voneinander abhängig gesehen werden. Auf der praktischen Ebene beschäftigen sich verschiedene Bereiche der Umweltforschung mit diesen Vernetzungen. Für ihr Verständnis sind – aus physisch geographischer Sichtweise – grundlegende Kenntnisse der Beschaffenheit und der Veränderungsprozesse der Erde unverzichtbar.

Die natürlichen Verhältnisse Deutschlands werden von mehreren Wissenschaften untersucht, die mehr oder weniger stark miteinander verwoben sind. Auf der Grundlage des Kenntnisstandes der Antike hat anfangs die Geographie das Wissen über unsere Erde gesammelt, gesichtet und gegliedert, bis sich in den letzten 250 Jahren größere oder kleinere Bereiche davon zu eigenständigen Wissenschaftsgebieten erklärten, wie Geologie, Bodenkunde, Hydrologie, Klimatologie oder Meteorologie. Die Geographie fasst – neben ganz anderen neuen Aufgaben – auch heute noch die Grundzüge dieser Wissenschaften unter den Gesichtspunkten vornehmlich räumlicher Strukturen bestimmter Phänomene zusammen wie Klimate der gemäßigten Tropen oder die Pflanzenwelt der Savannen. Von den beiden Bänden des Nationalatlas, die den natürlichen Grundlagen Deutschlands gewidmet sind, betrachtet der vorliegende Band geologisch-geographische, bodenkundliche und hydrologische Aspekte, während sich der folgende Band mit dem Klima, der Pflanzenwelt und der Tierwelt befasst.

Die Auswirkungen geodisziplinärer Vorgänge äußern sich im Relief. Meist handelt es sich um nur langsam voranschreitende Vorgänge, die erst nach langer Zeit zu deutlichen Veränderungen auf der Erdoberfläche führen. Das gilt allerdings nicht nur für das Relief, sondern auch für die Bodenarten oder die hydrologisch-hydrographischen Verhältnisse.

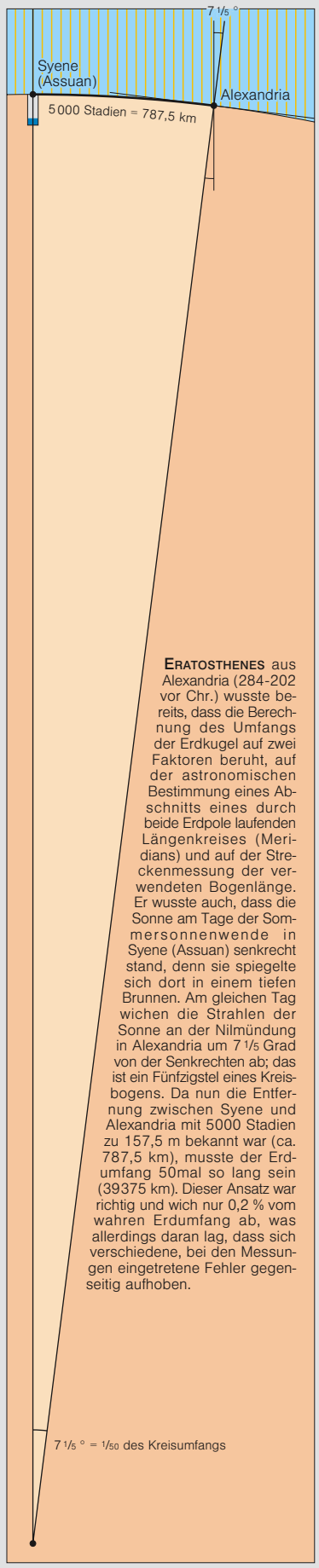
Die Naturwissenschaften der Antike als Hort der Geowissenschaften

Die Darstellung des Prozessgefüges und der Entwicklung des Reliefs wird von den Geomorphologen betrieben, die als Naturgeographen, auch Physische Geographen, zu den Geowissenschaftlern gehören. Schon im frühen Altertum sammelte man geographische Angaben über Gebirge, Flüsse und Orte. Solche Kenntnisse waren Voraussetzung, um im 2. und 3. Jahrtausend v.Chr. im Staatsdienst der Ägypter, Assyrer oder Babylonier tätig werden zu können, denn man brauchte die geographischen Basisdaten nicht nur, um Kriege erfolgreich führen zu können, sondern auch für das Eintreiben von Steuern, ohne die ein Herrscher machtlos war und nicht einmal mehr die Grenzen seines Reiches erfolgreich verteidigen konnte.

Als später die Griechen an die Spitze des wissenschaftlichen Fortschritts traten, haben sie uns nicht nur Beschreibungen von Häfen und Städten, sondern auch von Inseln, Seerouten und fremden Ländern hinterlassen und darüber hinaus, wenn auch sehr mythenhafte, Vorstellungen über den Wasserkreislauf oder den Ursprung von Höhlen, Gebirgen oder Quellen. Gerade in der Antike waren es die Höhlen, die den Menschen faszinierten, denn sie galten als der Zugang zu einer düsteren und unbekannten gefürchteten Unterwelt, in der das Böse obsiegte, wogegen auf den höchsten Erhebungen der Sitz der Götter war, die den Lauf der Welt bestimmten.

Erstaunlich ist auch die Geschichte des Gedankens, dass es Klimazonen auf der Erde gibt. Bereits um 500 v.Chr. lehnte der griechische Mathematiker und Philosoph Pythagoras die Vorstellung ab, die Erde sei eine Scheibe, und vertrat entschlossen die Auffassung, die Erde sei eine Kugel. Um 350 v.Chr. erbrachte Aristoteles (384-322 v.Chr.) Beweise für die Kugelform der Erde, indem er auf den kreisrunden Schatten der Erde auf dem Mond bei einer Mondfinsternis hinwies, auf die unterschiedliche Länge des Schattens eines Gegenstandes zur gleichen Zeit, je nach dem, ob sich dieser Gegenstand weiter nördlich (länger!) oder weiter südlich (kürzer!) befindet, oder einfach auf die Tatsache, dass von Schiffen, die sich einem Hafen nähern, zuerst die Mastspitze und erst später das ganze Schiff zu sehen ist. Bereits im 3. Jh. v.Chr. hatte Eratosthenes aus Alexandria den Umfang und damit die Größe der Erde bis

1 Eratosthenes' Berechnung des Erdumfangs



Eratosthenes aus Alexandria (284-202 vor Chr.) wusste bereits, dass die Berechnung des Umfangs der Erdkugel auf zwei Faktoren beruht, auf der astronomischen Bestimmung eines Abschnitts eines durch beide Erdpole laufenden Längenkreises (Meridians) und auf der Streckenmessung der verwendeten Bogenlänge. Er wusste auch, dass die Sonne am Tage der Sommersonnenwende in Syene (Assuan) senkrecht stand, denn sie spiegelte sich dort in einem tiefen Brunnen. Am gleichen Tag wichen die Strahlen der Sonne an der Nilmündung in Alexandria um 7 1/5 Grad von der Senkrechten ab; das ist ein Fünfzigstel eines Kreisbogens. Da nun die Entfernung zwischen Syene und Alexandria mit 5000 Stadien zu 157,5 m bekannt war (ca. 787,5 km), musste der Erdumfang 50mal so lang sein (39375 km). Dieser Ansatz war richtig und wich nur 0,2 % vom wahren Erdumfang ab, was allerdings daran lag, dass sich verschiedene, bei den Messungen eingetretene Fehler gegenseitig aufhoben.

© Institut für Länderkunde, Leipzig 2003

❷ Der Ausschnitt aus der von WEINERUS 1579 veröffentlichten Karte zeigt das Gebiet von Bad Reichenhall bis zum Königssee. Man sieht phantasievoll dargestellte Einzelerhebungen („Maulwurfshügel"), genaue Einzelheiten zum Relief lassen sich jedoch nicht entnehmen. In der Karte ist auch eine Gebrauchsanweisung für die Einnordung des Kartenblattes sowie eine Maßstabsleiste enthalten. Eine „gemeine deutsche Meile" betrug etwa 7,4 km.

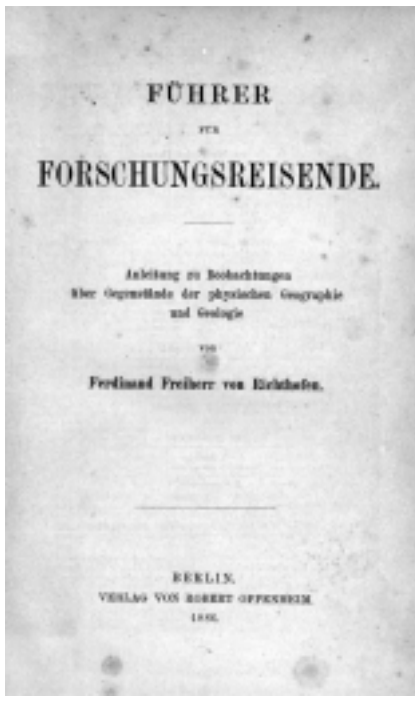
auf 0,2% Genauigkeit berechnet ❶. Man stellte sich die Erde als eine im Weltall frei schwebende Kugel vor, jedenfalls nicht als am Firmament hängend. Die Römer haben das Wissen der Griechen übernommen, aber sie haben diesem nur wenige neue Erkenntnisse hinzugefügt.

Von den frühen Forschungs- und Entdeckungsreisen wurden häufig dokumentarische fotorealistische Landschaftsbilder mitgebracht. Gleichzeitig entwickelten sich in der bildenden Kunst Ausdrucksformen, bei denen die Darstellung des subjektiven Landschaftsempfindens im Vordergrund steht, die Carl Gustav CARUS mit seiner Begriffsschöpfung der „Erdlebenbildkunst" bezeichnete. CARUS sah Darstellungen der Alpen (hier: Ernst VOLLBEHR (1876-1960): Alpenpanorama vom Wendelstein) als „das Erhabenste der Erdlebenbildkunst" an.

Mittelalter und Neuzeit

Das Erbe der Antike ging in Mitteleuropa in den Wirren der Völkerwanderung verloren und wurde durch Bibelgläubigkeit ersetzt, denn im Mittelalter sah man die Welt als von Gott gegeben an und machte sich keine Gedanken über das Werden und Vergehen von Gesteinen, Gebirgen, Tälern oder Flüssen. Aber bereits an der Wende vom Mittelalter zur Neuzeit hatte der geniale Naturbeobachter LEONARDO DA VINCI die ständigen Veränderungen (s. Abb. S. 23) von Flussläufen bemerkt und auf deren Folgen in Zeichnungen und Worten hingewiesen. Bald darauf begann man, die längst erkannten Versteinerungen von einstigen, den heutigen aber oft sehr ähnlichen Lebewesen (Fossilien) richtig zu deuten, studierte die Lagerung von Schichten und erkannte die Verfaltung, Überschiebung oder Schrägstellung ganzer Gesteinspakete. Jetzt fing man an, sich von den Texten der Bibel zu lösen.

Fast zu gleicher Zeit wie LEONARDO DA VINCI in Italien (1452-1519) beschäftigte sich in Deutschland der in Glauchau geborene Mediziner Georg(ius) Bauer (AGRICOLA) (1494-1555) in St. Joachimsthal (heute Jáchymov) im böhmischen Teil des Erzgebirges mit dem Bergwesen und verfasste das 1556 erschienene Buch „De re metallica", das rund 200 Jahre lang ein Standardwerk im Metall- und Hüttenwesen blieb und der Mineralienkunde Auftrieb verschaffte. →



FÜHRER
FÜR
FORSCHUNGSREISENDE.

Anleitung zu Beobachtungen
über Gegenstände der physischen Geographie
und Geologie

von

Ferdinand Freiherr von Richthofen.

BERLIN.
VERLAG VON ROBERT OPPENHEIM
1886.

Der Geomorphologe Ferdinand Freiherr von Richthofen (1833-1905) und Faksimile des „Führers für Forschungsreisende"

Mit dem Beginn des Zeitalters der Entdeckungen konnte die Geographie wieder neue Erkenntnisse sammeln, nachdem mit Hilfe des Jakobsstabes, der 1470 von Johannes Müller-Regiomontanus deutlich verbessert worden war, eine annähernde Ortsbestimmung in der Weite der Meere und damit auch bei der Lagebestimmung unbekannter Gestade möglich wurde. Wichtig für eine richtig lokalisierte Darstellung geographischer Objekte waren Erfindungen, die im 17. Jh. gemacht wurden. Um die Ortsbestimmung durch Vermessung zu vervollkommnen, erfand der niederländische Mathematiker und Physiker Willebrordus Snellius in Leyden 1615 das Triangulationsnetz. Das gestattete den lagegetreuen Eintrag nicht nur von Orten und Wegen, sondern auch von Flüssen und Gebirgen. Die Höhe der Erhebungen ließ sich mittels des von dem italienischen Physiker und Mathematiker Evangelista Torricelli erfundenen Barometers bestimmen, nachdem 1658 auf dem 1464 m hohen Puy de Dôme die Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe festgestellt worden war.

Diese Erfindungen dienten nicht nur der Verbesserung im Kartenwesen, sondern auch der Darstellung von geographischen Inhalten auf den Karten, wie dem Verlauf und der Höhe von Gebirgen oder der Lage von Pässen und Bergspitzen. Damit wichen die primitiven Eintragungen stereotyper Maulwurfshügel 2 oder Gebirgsraupen einer realistischeren Darstellung. Doch erst als 1791 von Ducarla-Bonifas und Dupain-Triel die Höhenlinien und 1799 durch den sächsischen Kartographen und Offizier Johann Georg Lehmann die Schraffen (graphisches Ausdrucksmittel für die Reliefdarstellung in Karten mittels Strichlinien) eingeführt wurden, waren die Voraussetzungen für eine brauchbare Vorstellung von einer Landschaft geschaffen. Gerade die Schraffenkarten waren es, die fast 150 Jahre lang die deutschen Generalstabskarten geprägt haben.

Alexander v. Humboldt (1769-1859) in seinem Arbeitszimmer in Berlin. Aquarell von E. Hildebrandt 1845.

Auf brauchbare Karten konnte der deutsche Geograph Bernhard Varen(ius) (1622-1651) beim Verfassen seiner Schrift „Geographia Generalis" noch nicht zurückgreifen. In ihr wird bereits in einigen Kapiteln auf ▷ geomorphologische Befunde hingewiesen, wie Höhlen, Gebirgspässe, Vulkane, unterirdische Flussläufe oder Quellen. Auch die Arbeit des fließenden Wassers bei der Verbreiterung eines Flussbettes oder die Aufschüttung von Sandbänken finden Erwähnung, und inzwischen wusste man auch, was Wind und Wellen an der Küste bewirken können.

In der Geologie setzte rund 150 Jahre später der Streit darüber ein, ob die Entstehung der Gesteine dem Absatz im Meer (Neptunisten) oder vulkanischen Ergüssen (Plutonisten) zu verdanken sei. Dieser Streit verlor an Bedeutung, als 1830 durch Georges Baron De Cuvier die Katastrophentheorie aufkam, die ihrerseits vom Aktualismus verdrängt wurde, nach dem nicht plötzliche Umbrüche zu katastrophalen Veränderungen auf der Erde führen, sondern langsame Entwicklungsprozesse den heutigen Zustand des Reliefs bewirken, eine Theorie, die von Karl Ernst Adolf von Hoff vertreten und von Charles Lyell unterstützt wurde.

Die geowissenschaftlichen Disziplinen entstehen

Um 1800 begann die systematische Bereisung großer Teile von Kontinenten, wie sie Alexander von Humboldt und später viele andere Forscher durchführten. Diese Reisen brachten Unterlagen für eine Präzisierung der Karten und, dank der Erforschung von unbekannten Naturschätzen, Artefakten und Lebensformen, einen erheblichen Aufschwung vor allem für die Naturwissenschaften und für die Länderkunde als Teilgebiet der Geographie (vgl. Landschaftsgemälde S. 13 unten). Innerhalb Letzterer schufen und verwendeten Carl Gustav Carus 1841 und Karl Friedrich Naumann 1850-1854 erstmals den Begriff Geomorphologie für die Beschreibung „der Größtformen und der Skulpturen auf der Erdoberfläche". Ferdinand von Richthofen (▶ Foto) machte daraus das selbstständige Lehrgebiet der Geomorphologie als Wissenschaft von den Oberflächenformen auf der Erde. Grundlage war sein 1886 verfertigtes Buch „Führer für Forschungsreisende". Es machte die Geomorphologie für 100 Jahre zur tragenden Säule im Bereich der Allgemeinen Naturgeographie.

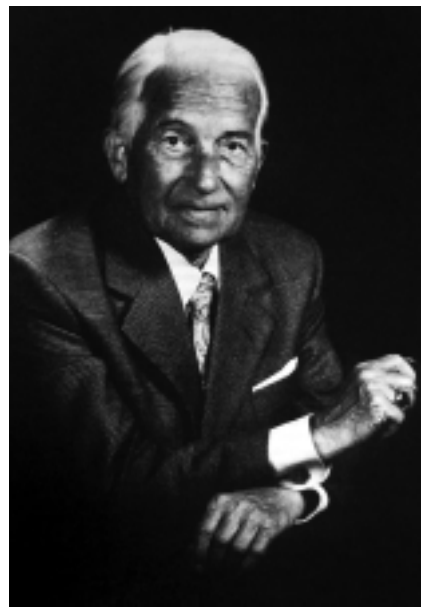
Daneben hatte sich schon im 18. Jh. aus der die Gesteine betrachtenden Geognosie 1779 durch den Schweizer Naturforscher Honorace Bénédict de Saussure die Geologie als Wissenschaft von den Gesteinen und deren Entwicklung auf der Erde herausgebildet (▶▶ Beitrag Asch/Lahner/Zitzmann, S. 32), als deren bedeutendste Vertreter im Deutschland des beginnenden 19. Jhs. Alexander von Humboldt (▶ Foto) und Leopold von Buch 3 zu erwähnen sind. Von dieser Geologie spaltete sich später in Zusammenarbeit mit der Chemie die Mineralogie ab, und aus der Verbindung der Geologie mit der Physik entstand die Geophysik, die sich mit den Gegebenheiten des Erdkörpers beschäftigt (▶▶ Beitrag Rummel/Schellschmidt, S. 42). Mit der Zeit spezialisierte sich auch die Geologie weiter. Paläontologen beschäftigen sich mit den Fossilien im Gestein, Geotektoniker entwirren die verzwickten Lagerungsverhältnisse

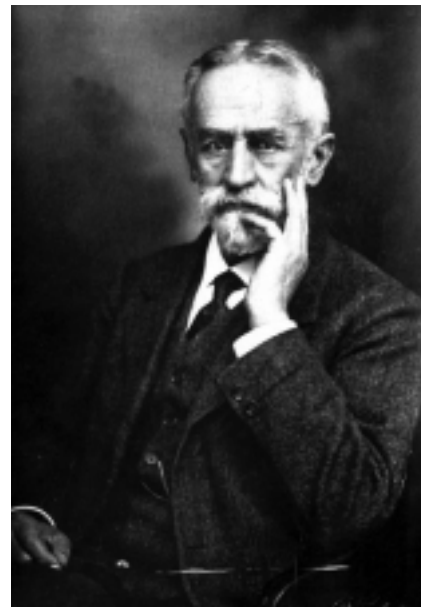
3 Ausschnitt Harz und Umgebung aus der ersten geognostischen (geologischen) Karte von Deutschland, die durch Leopold von Buch (1774-1853) in 42 Blättern im umgerechneten Maßstab 1:1.100.000 ab 1826 in Berlin herausgegeben wurde.

großräumiger Gesteinskomplexe (▶▶ Beitrag Küster/Stöckhert, S. 36), und die Lagerstättenkunde ist zu einem eigenen Arbeitsgebiet geworden (▶▶ Beiträge Schroeder, S. 38 und Lahner/Lorenz, S. 48). Inzwischen bemühen sich Wissenschaftler und ganze Wirtschaftszweige nicht nur um die Lagerstätten sondern auch um die Beseitigung der ungewollten Folgen, die durch den Abbau von Lagerstätten entstanden sind (▶▶ Beiträge Hoepfner/Paul, S. 52 und Berkner, S. 54).

Die Paläogeographie als Zweig der Historischen Geologie beschäftigt sich mit der Rekonstruktion der geographischen Verhältnisse in den einzelnen Epochen der Erdgeschichte mit ihren durch die ▷ Plattentektonik verursachten fortlaufenden Veränderungen der Anordnung von Festland und Meer auf dem Globus. Einzelne Regionen wurden im Laufe der Zeit den unterschiedlichsten endogenen (z.B. Tektonik oder Vulkanismus) und exogenen Einflüssen (z.B. Wasser, Klima, Verwitterung) ausgesetzt. Jeder Zentimeter Erdschicht erzählt uns heute von diesen vergangenen, geographisch ganz anders gestalteten Welten ❹, denen wir u.a. auch die Entstehung unserer Rohstoffe verdanken (▶▶ Beitrag Lahner/Lorenz, S. 48). Im ▷ Devon war Deutschland beispielsweise ein äquatornahes Tropenparadies an der Küste des „Old-Red-Kontinents“ mit bunten Korallenriffen im Gebiet des heutigen Rheinlands. Über 100 Mio. Jahre später wanderte der Nordkontinent durch den Wüstengürtel der Erde, und Deutschland wurde im Zechstein zu einer riesigen, flachen Meereslagune, die immer wieder zur Salzwüste austrocknete. Zu Beginn des Jura überflutete das Meer weite Teile Westeuropas, und Deutschland wurde zur Inselgruppe. Das nächstgelegene Land war eine große Insel im Süden: die Vindelizische Schwelle, an deren Küste das heutige München gelegen hätte. In der Erdneuzeit drückte Afrika gegen den italienischen Stiefel und schob die Alpen auf. Unter dem starken Druck entstand eine 300 km lange Eintiefung: Der Rheingraben brach ein. Er senkte sich so tief, dass sich vor ca. 35 Mio. Jahren ein Meeresarm entwickelte, der Nordsee und Mittelmeer miteinander verband. 20 Mio. Jahre später floss dort der Ur-Rhein.

Auch in der jüngeren Erdgeschichte verlagerten sich noch die Küstenlinien. Merkbare Veränderungen gab es in →

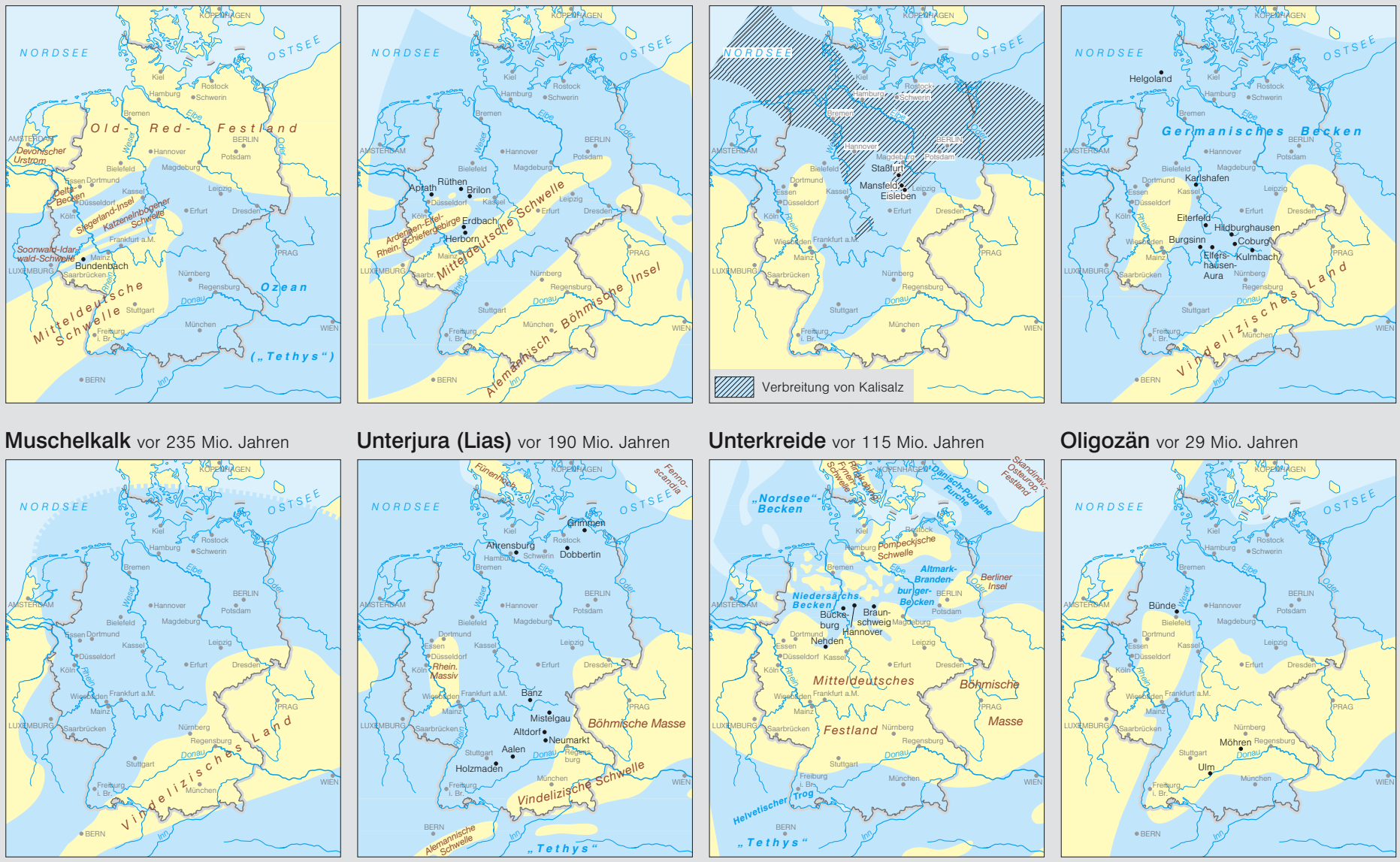




(links) Der Geomorphologe Julius Büdel (1903-1983) verhalf der klimagesteuerten Betrachtung der Reliefentwicklung zum Durchbruch.

(rechts) Alfred Hettner (1859-1941), ein weit gereister Geograph mit großen Verdiensten um die Länderkunde. Er veröffentlichte 1921 das grundlegende Lehrbuch über „Die Oberflächenformen des Festlandes“.

❹ Vermutliche Verteilung von Land und Meer vom Devon bis zum Oligozän



© Institut für Länderkunde, Leipzig 2002 — vermutliche Meeresfläche — unsichere Meeresgrenze — Fenno-scandia vermutliche Landfläche — • Banz bedeutender Fossilienfund

Der etwa 20 Mio. Jahre alte Basaltkegel Landeskrone bei Görlitz (420 m) ruht auf einer älteren Fläche (Vordergrund) und überragt seine Umgebung um rund 150 m.

der nacheiszeitlichen Phase (▶▶ Beiträge Behre, S. 76, und Lampe, S. 80), aber auch sie gehen aktuell ständig weiter (▶▶ Beiträge Müller, S. 74 und S. 78, und Lampe, S. 82).

Geomorphologie als Wissenschaft vom Relief

Auch Reliefbetrachtung wird von der Geologie betrieben, allerdings besonders unter dem Gesichtspunkt der Verallgemeinerung, wogegen die Geomorphologie im Rahmen der Geographie stärker die Entwicklung der Oberflächenformen über längere Zeiträume und im regionalen Maßstab untersucht.

Angesichts der Ähnlichkeit der Fragestellungen ist es nicht verwunderlich, wenn Geomorphologie anfangs sowohl von Geographen wie auch von Geologen betrieben wurde, wobei die Gesteinsstruktur im Vordergrund aller Betrachtungen stand. Um 1900 war unter dem Einfluss des Geologen William Morris Davis die Lehre von einer in festen Zyklen ablaufenden Entwicklung des Reliefs aufgekommen, wonach ein gegebenes Relief nacheinander die Phasen der Jugend, der Reife, des Alters und der Greisenhaftigkeit durchläuft (▶ Foto des Bohlen). Viele deutsche Geomorphologen schlossen sich dieser Auffassung an, andere lehnten sie ab und blieben bei der von Alfred Hettner (▶ Foto, S. 15) vertretenen, ganz von Gesteinshärte und Tektonik bestimmten Formung der Erdoberfläche. Allerdings haben auch heute noch die von Davis geäußerten Gedanken eine grundsätzliche Bedeutung, auch wenn sie sich nicht auf jede Region anwenden lassen, besonders nicht in Deutschland, wo wegen starker tektonischer Bewegungen meist nicht die nötige Zeit zur Verfügung stand, damit alle Phasen durchlaufen werden konnten.

Einen räumlich differenzierten, aber überall wirksamen Einfluss auf die Oberflächenformung hat das Klima, das regional oder zonal einen ganz bestimmten Formenschatz hervorrufen kann. Darauf haben besonders Siegfried Passarge (1912), Karl Sapper (1935) und Julius Büdel (1937; 1977) (▶ Foto, S. 15) hingewiesen. Man denke nur an den speziellen Formenschatz der Wüsten oder der Savannen oder an die während langer Zeiten unter tropischem Klima zu Rumpfflächen nivellierten Gebirge (▶▶ Beitrag Hüser/Kleber, S. 88). Das eiszeitliche Klima auf der Erde, letztmals vor 20.000 Jahren, bescherte dem Norden Deutschlands dreimal eine Bedeckung mit skandinavischem Inlandeis, und in Süddeutschland traten die Alpengletscher sogar viermal in das deutsche Alpenvorland hinaus (▶▶ Beiträge Liedtke, S. 66 und Liedtke/Marcinek, S. 68). Aber auch das zwischen nordischem und alpinem Eis gelegene Periglazialgebiet (*griech.* peri – um, herum; *latein.* glacies – Eis) veränderte sein Antlitz unter dem Einfluss des kalten polaren Klimas. Hänge wurden stark abgetragen (▶▶ Beitrag Habbe, S. 70), in den Tälern kam es zur Bildung breiter Talböden mit allsommerlichen plötzlich einsetzenden gewaltigen Abflüssen in verwilderten Flussarmen (▶▶ Beitrag Herget, S. 90), und Lösse und Dünen gelangten zur Ablagerung.

Das Pendel geomorphologischer Betrachtungsweise ist inzwischen wieder zurückgeschlagen. Heute weiß man, dass Struktur, Tektonik und Klimaeinfluss zusammen mit weiteren Prozessen das Bild des heutigen Reliefs (▶▶ Liedtke/Mäusbacher, S. 58) geschaffen haben und dass sogar eng benachbarte Landschaften (▶▶ Beitrag Liedtke, S. 30) sich durchaus in unterschiedlichen Stadien ihrer Reliefentwicklung befinden können.

Faktoren der Reliefgestaltung

Für die feinere Gestaltung und für das heutige Aussehen des Reliefs sind viele Faktoren verantwortlich, die außerdem noch durch Klimaeinflüsse modifiziert werden. Sie lassen sich zwei Gruppen von Prozessen zuordnen: den endogenen und den exogenen Prozessen.

Endogene Prozesse

Die endogenen Prozesse bezeichnen Vorgänge in der 16-40 km mächtigen Erdkruste:

1. Die **Geotektonik** ist das Ergebnis von thermischen Ausgleichsströmungen in der Erdkruste. Diese bewirken die Verschiebung von Kontinenten auf der Erde, wobei es zur Gebirgsbildung mit Verfaltungen und Überschiebungen von Schichten wie in den Alpen kommen kann, aber auch zu großen Bruchstrukturen wie im Grabenbruch des Oberrheingrabens, im emporgehobenen Horst des Thüringer Waldes, in der Pultscholle des Erzgebirges oder entlang von Verwerfungen wie im Lausitzer Granitmassiv. Durch die geotektonischen Bewegungen werden die Größtformen auf der Erde geschaffen wie das zusammengeschobene Mitteleuropa ❹ oder die an Südamerika angeschweißten Anden. Gebiete mit einer besonders aktiven Erdkruste geben sich durch häufige Erdbeben zu erkennen (▶▶ Beiträge Grünthal, S. 44 und Pelzing, S. 46).
2. **Vulkane** haben in Deutschland aus verschiedenen Zeiten Zeugnisse hinterlassen. Große Vulkangebiete aus der ▷ Permzeit beherrschen noch heute das Landschaftsbild im Saar-Nahe-Bergland, im Thüringer Wald oder in der Leipziger Tieflandsbucht. Viel jünger und oft sehr gut erhalten sind die Vulkanbauten, die im ▷ Tertiär gebildet wurden und die Rhön, den Kaiserstuhl (▶▶ Beitrag Mäckel/Seidel, S. 64), die Landeskrone (▶ Foto) oder den Vogelsberg schufen. Schließlich entstanden innerhalb der letzten 2,4 Mio. Jahre die zahlreichen Maare der Eifel mit dem jüngsten Vulkanen auf deutschen Gebiet, dem Laacher See, der erst vor 12.900 Jahren zum Ausbruch kam, und dem Ulmener Maar knapp 2000 Jahre später (▶▶ Beitrag Schmincke, S. 60).
3. Die **Gesteine** haben dank der ihnen eigenen unterschiedlichen Verwitterbarkeit auf der Erde oft so auffällige Oberflächenformen entwickelt, dass man ihnen eigene Namen gegeben hat: Teufelsturm im Elbsandsteingebirge oder Rosstrappe am Harzrand bei Thale. Bestimmte Gesteine eignen sich wegen ihrer Härte, Farbe oder Struktur besonders für eine Verwendung als Baumaterialien und zum Schmuck von Prachtbauten (▶▶ Beitrag Schroeder, S. 38).

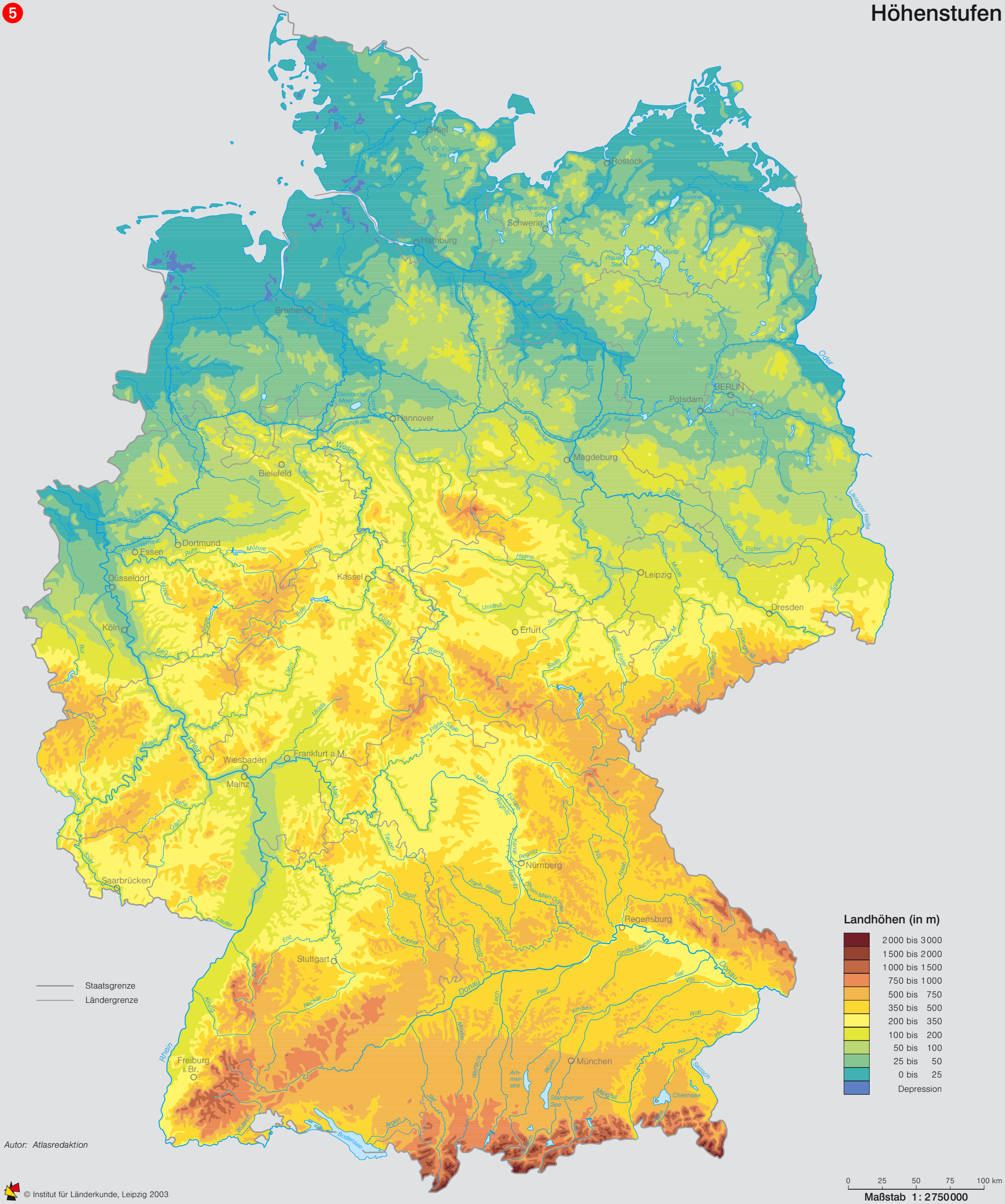
Die Bohlenwand bei Saalfeld. Der Aufschluss zeigt im Hangenden die hellen, horizontal gelagerten permischen Sedimente des Zechsteins, die diskordant (im Winkel) die liegenden, gefalteten und senkrecht stehenden rötlichen devonischen Metamorphite des Schiefergebirges überlagern. Die Erosionsdiskordanz (gestrichelte Linie) kennzeichnet die permische Landoberfläche.

Exogene Prozesse

Exogene Prozesse erfolgen auf der Erdoberfläche oder in Höhlen und voll- →

Der mäanderartige, canyonähnliche Einschnitt des Rheins in das Rheinische Schiefergebirge bis auf etwa 68 m NN. Blick rheinabwärts vom rechts vorn sichtbaren Felsen der Loreley (194 m). Mehr als 120-150 m über dem Rhein gelegene breite Hauptterrassen begleiten beidseitig den scharfen Einschnitt.

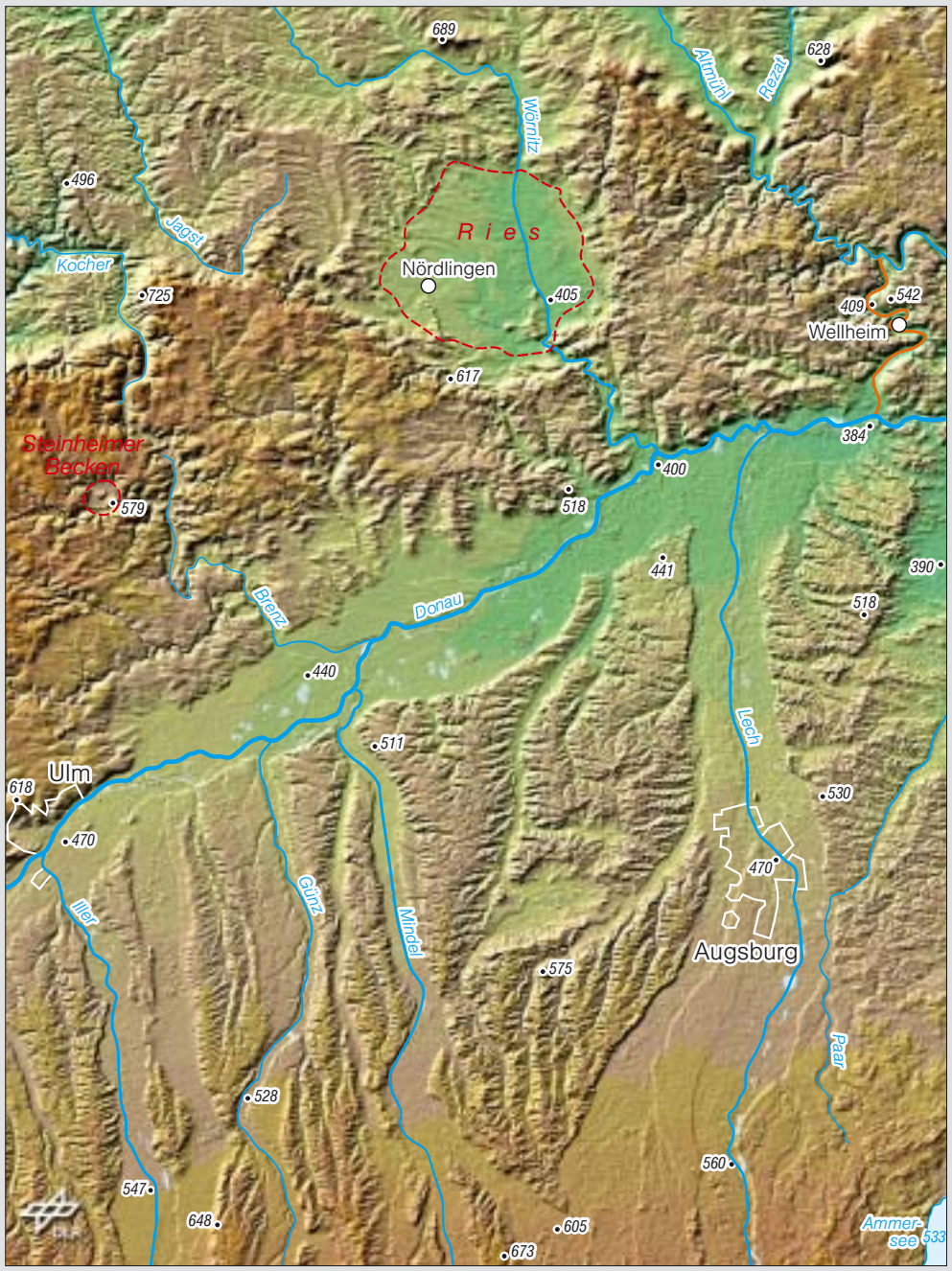
Höhenstufen



Autor: Atlasredaktion

© Institut für Länderkunde, Leipzig 2003

6 Gebiet zwischen Ulm und Augsburg
Reliefbildkarte



Einschlagskrater von Meteoriten vor 14,7 Mio. Jahren

•528 Höhenangabe

alter Donaulauf zur Altmühl vor 300 000 Jahren

Institut für Länderkunde, Leipzig 2003

Autor: H. Liedtke

0 10 20 Km
Maßstab 1 : 685 000

Ausschnitt aus einer aus Satellitendaten erstellten Reliefbildkarte Bayerns mit dem Gebiet zwischen Ulm und Augsburg. Zu sehen sind u.a. Einschlagskrater von Meteoriten im Steinheimer Becken und im Ries, vor 14,7 Mio. Jahren entstanden; alter Donaulauf über Wellheim zur Altmühl vor 300.000 Jahren.

ziehen sich oftmals unmittelbar vor unseren Augen:

4. Die **Schwerkraft** lässt alle flüssigen und lockeren festen Teile auf der Erdoberfläche in eine abwärts gerichtete Bewegung geraten (gravitative Prozesse). Das kann durch plötzlichen Steinschlag oder Erdrutsch ebenso wie durch schleichend langsame Verlagerung von Material im Gekriech erfolgen (▶▶ Beiträge Gude/Molenda, S. 72, Beyer/Schmidt, S. 84, Becht u.a., S. 96 und Dikau/Glade, S. 98). Daraus resultieren spezifische Oberflächenformen. Nicht von ausschließlicher, aber meist von erheblicher Bedeutung ist dabei die Höhenlage, in der sich ein Gebiet befindet und das auch in hoher Lage durch tiefe Engtäler zerschnitten sein kann (▶ Foto, S. 16).
5. **Verwitterung** lockert das Gestein und führt zur Zersetzung und Verkleinerung des Materials, wobei vorwiegend chemische oder physikalische ▷ Verwitterung wirksam werden. In diesem Zusammenhang sei auch auf sporadische oder auf periodische Frosteinwirkung hingewiesen.
6. **Lösung** kann nur an bestimmten löslichen Gesteinen erfolgen, wenn unter dem Einfluss von (minimal säurehaltigem) Wasser Material des Gesteins entfernt wird. Das kann bei Salzen sehr schnell gehen (▶▶ Beitrag Ellenberg, S. 56), wogegen Kalke und Dolomite sehr langsam gelöst werden. Durch das entfernte Material können (Tropfstein-)Höhlen entstehen, die zu Nachsackungen an der Erdoberfläche führen. Andererseits kann sich gerade gelöstes kalkiges Material wieder absetzen, so dass kuriose Formen entstehen, die als Karst bezeichnet werden (▶▶ Beitrag Pfeffer, S. 94).
7. Das **Wasser** bewegt Material zu tiefer gelegenen Stellen und transportiert gelöste oder suspendierte (schwebend mitgeführte) Bestandteile bis in den nächsten See oder hinaus in das Meer (▶▶ Beitrag Schmidt/Unbenannt, S. 136). Man spricht von fluvialen Vorgängen. Wenn Wasser in Kaltgebieten gefriert und sich Gletscher bilden, bewirken diese den glazialen Formenschatz (*lat.* glacies – Eis).
8. Der **Wind** kann feines Material wie Sand und Schluff entgegen der Schwerkraft in die Lüfte heben und mit der Luftströmung verlagern. Bei Verringerung der Windgeschwindigkeit sinkt das mitgeführte Material zu Boden und wird an ganz bestimmten Stellen immer wieder angehäuft, wenn beispielsweise vor dem Anstieg eines Gebirges die Windgeschwindigkeit regelmäßig gemindert wird. Man spricht von äolischen Prozessen (nach Äolus, dem griechischen Windgott). Das zu Boden gesunkene gröbere Material findet man im Binnenland als Dünensand oder den feineren ▷ Schluff als ▷ Löss, der weite Landschaften als ausgleichend glättende Decke überzieht. Das Ausgangsmaterial für den Löss und die Dünen stammt vornehmlich aus den breiten in der Eiszeit lange Zeit des Jahres trocken liegenden Talböden, aus denen es in Deutschland meist von den vorherrschenden Westwinden ausgeblasen wurde. Aber auch die breiten sandigen ▷ Urstromtäler kamen als Sandlieferanten in Betracht, heute noch sichtbar an flachen Mulden, aus denen der Sand ausgeweht worden ist.
9. Der **Mensch** wirkt ebenfalls auf das Relief ein, und zwar in den Ackerbaugebieten durch den meist wenig auffälligen und schleichend erfolgenden flächenhaften Bodenabtrag (▶▶ Beiträge Fohrer/Mollenhauer/Scholten, S. 106 und Mollenhauer/Scholten S. 110), durch die von Verkehrswegen hervorgerufenen linearen Aufschüttungen und Einschnitte sowie durch die großen Veränderungen, die in den Städten und Industriegebieten durch heute meist maschinelle Abschiebung von oberflächennahem Material vorgenommen werden.

Durch Kombination verschiedener Satellitendaten und Methoden der digitalen Bildverarbeitung erzeugtes digitales Geländemodell. Der Ausschnitt mit einer Ausdehnung von ca. 34 x 41 km zeigt die Umgebung von Freiburg i. Breisgau mit dem Feldberg, der höchsten Erhebung des Schwarzwalds (mit Schneeresten).

Reliefdarstellungen

Die Oberflächenformen Deutschlands werden in Atlanten in generalisierter Form durch Höhenstufen dargestellt **5**. In modernen amtlichen Kartenwerken erfolgt eine differenziertere Darstellung durch Höhenlinien und – an besonders steilen Stellen – durch Schraffen. Es ist allerdings nicht einfach und bedarf langer Erfahrung, sich aus dem Verlauf von Höhenlinien ein Relief vorzustellen. Deshalb enthalten viele Karten eine zusätzliche Schummerung. Außerdem stehen uns heute Satellitenbilder zur Verfügung, die selbst bei kleinen Maßstäben die Grundzüge der feineren Reliefformung in hervorragender Weise zum Ausdruck bringen können, wie ein Ausschnitt aus einem Satellitenbild Bayerns erkennen lässt **6**.

Es zeigt im Norden die Nahtstelle zwischen Schwäbischer und Fränkischer Alb, die von dem 14,7 Mio. Jahre alten Meteoritenkrater des Nördlinger Rieses (▶▶ Beitrag Asch/Lahner/Zitzmann, S. 34) gebildet wird, in der Mitte das Donautal zwischen Ulm und Neuburg an der Donau und im Süden die weiten, oft lössbedeckten Schotterflächen zwischen der Iller und dem Lech bei Augsburg (▶▶ Beitrag Habbe, S. 70). Es handelt sich hier um eiszeitliche Ablagerungen, die im Laufe der Zeit in mehreren Etappen entlang von scharfen Rändern bis auf die heutigen Talböden von Flüssen zerschnitten wurden. Ganz anders wirkt dagegen das ungegliederte, verwirrende, krispelige Relief in der südöstlichen Ecke zwischen dem Lechtal und dem Ammersee, das zur ▷ Alt- und ▷ Jungmoränenlandschaft des Isar-Loisach-Gletschers (▶▶ Beiträge Liedtke, S. 66 und Liedtke/Marcinek, S. 68) gehört. Auch wenn uns das Satellitenbild viele Einzelheiten des Reliefs erkennen lässt, kann es die Karte nicht ganz ersetzen, denn manche der großen Strukturen, wie die hohen Schichtstufen der Alb (▶▶ Beitrag Beyer/Schmidt, S. 84), sind nur mit großer Mühe erkennbar. Hier erweist sich die Karte durch ihre Höhenangaben, die Höhen-

linien und die Verwendung der Schummerung tatsächlich als gute und übersichtliche Informationsquelle.

Die Möglichkeiten der digitalen Bildverarbeitung haben das Spektrum der Reliefdarstellung um dreidimensionale Landschaftsmodelle auf Basis von Satellitendaten ergänzt, die in unterschiedlicher Detailliertheit inzwischen häufig für simulierte Flüge über eine Region, z.B. bei der Wetterprognose zur besseren Veranschaulichung verwandt werden (s. Abb. S. 18 unten).

Zusätzlich zur Reliefdarstellung gibt es auch Relief-Messverfahren, wobei die übliche Form der Messung die Erfassung der Reliefenergie ist, die aufgrund der Höhenunterschiede innerhalb von definierten Rasterfeldern die Steilheit von Geländeabschnitten wiedergibt (▶▶ Beitrag Burak/Zepp/Zöller, S. 26).

Böden und ihre Nutzung

Verwitterte Gesteine in Verbindung mit der Zersetzung von Biomasse bilden die Grundstoffe für den Bestandteil der Erdoberfläche, den man Boden nennt. Es gibt – je nach Ursprungsmaterial und äußeren Bedingungen – Böden unter-

schiedlicher Zusammensetzung und ganz verschiedener Mächtigkeit.

Die bewusste Nutzung des Bodens begann in Deutschland, wie archäologischen Funden zu entnehmen ist, bereits vor 7500 Jahren (Lüning 2000). In dieser Zeit erfolgte eine relativ schnelle Umstellung in der Nahrungsmittelbeschaffung vom Jagen und Sammeln zur aktiven Produktion sowohl über den Anbau von Feldfrüchten als auch über die Domestizierung von Tieren. Diese Phase in der Entwicklung des Menschen wurde bereits in den 1920er Jahren in der Archäologie als neolithische Revolution bezeichnet (Childe 1929), da sie sowohl im technischen als auch im sozioökonomischen Bereich mit nachhaltigen Veränderungen in wirtschaftlicher und kultureller Hinsicht verbunden war (Entwicklung der Feldgeräte, Töpferei, dörfliche Siedlungen).

Nach den derzeitigen Kenntnissen erfolgte die Freilegung der für den Anbau benötigten Flächen mit Hilfe von Äxten oder später durch Brandrodung, wie wir dies auch heute noch in verschiedenen Gebieten des tropischen Regenwaldes vorfinden (Amazonien, Borneo). Die mit dieser Rodung verbundenen deutlichen Veränderungen in der natürlichen Vegetationsbedeckung kann die Wissenschaft heute mit Hilfe der Pollenanalyse nachvollziehen.

Ein vereinfachtes Pollendiagramm 7 aus dem Gebiet der Wetterau zeigt für den Zeitraum von 9580 bis ca. 6800 Jahre vor heute, wie die Zahl der Baumpollen deutlich abnimmt, während die Zahl lichtliebender Gräser und Kräuter zunimmt und in der Vegetationszusammensetzung zum ersten Mal Getreidepollen erscheinen. Dies bedeutet, dass im ursprünglich geschlossenen Wald Freiflächen angelegt und vorwiegend als Ackerflächen genutzt wurden. Das Vieh, insbesondere Kühe, aber auch Schweine, Ziegen und Schafe, wurden in den Wald rund um die Siedlungen getrieben (Kalis u.a. 2002).

Bereits in dieser frühen Phase der Bodenbearbeitung und -nutzung entwickelten sich Kenntnisse über die unterschiedliche Qualität der Böden: Die Löss- oder Jungmoränengebiete mit ihren nährstoffreichen Böden wurden deutlich intensiver genutzt (▶▶ Beitrag Eitel/Felix-Henningsen, S. 116), und die dürftigen Sandböden blieben dem Wald überlassen.

Die Qualität der Böden spielt in allen Hochkulturen eine große Rolle, wenn auch schriftliche Überlieferungen darüber erst ab der Römerzeit existieren. Dies zeigen die Anlage ausgedehnter Bewässerungsflächen im Vorderen Orient, aber auch das gezielte Aufbringen von frischem Feinsediment auf Ackerflächen im Jemen seit mindestens 3000 Jahren (Brunner 1983).

Von den Römern ist die erste differenzierte Ansprache der Böden überliefert. Es werden fette, magere, zähe und mürbe Böden unterschieden, und es wird geprüft, inwieweit die Farbe und damit indirekt der ▷ Humusgehalt einen Einfluss auf die Standortqualität und damit auf die Pflanzenproduktion haben. Diese Qualitätsmerkmale wurden auch bei der Zuteilung von Pachtland und Grundbesitz an Siedler und Soldaten im gesamten römischen Reich herangezogen (Mückenhausen 1993).

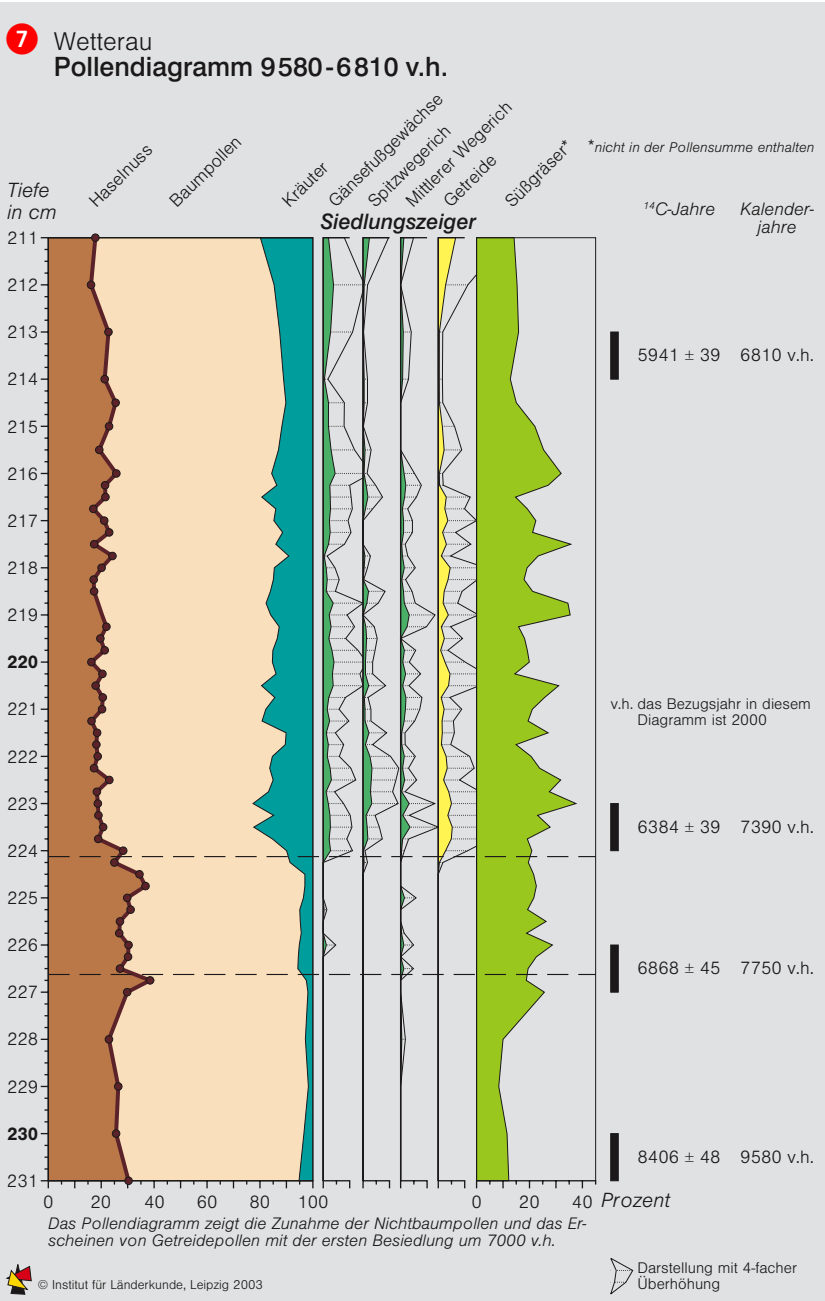
Das erste differenzierte Bodenbewertungsverfahren wurde 1831 von Albrecht Thaer entwickelt 8. Im Deutschen Reich erfolgte ab 1934 eine umfassende Bodenschätzung mit dem Gesetz über die Schätzung des Kulturbodens. Danach wurden u.a. Bodenart, Zustandsstufe, geologische Entstehung des Bodens, eine Bodenwertzahl sowie ein einfaches Bodenprofil festgestellt. Dass Fragen der Bodenbewertung zur Berechnung der Steuern auch heute noch ein aktuelles Thema sind, zeigt der Beitrag von Liedtke und Marschner (▶ S. 104) über den derzeitigen Wert der Böden in Deutschland. Das in diesem Beitrag dargestellte differenzierte Punktesystem wurde entwickelt, um eine möglichst gerechte Besteuerung des landwirtschaftlichen Grundbesitzes zu ermöglichen, und bildet derzeit die Grundlage für die Besteuerung der landwirtschaftlichen Betriebe. Darüber hinaus stellen die dafür erhobenen Daten eine wichtige Quelle für bodenkundliche Kartierungen und die Beurteilung des Schutzgutes Boden dar. →

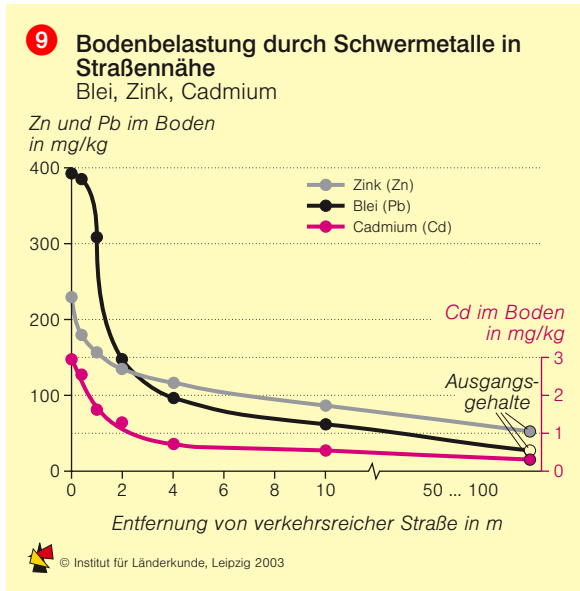
8 Die Bodeneinteilung von A. Thaer

Nr.	Systematische Benennung	Gewöhnliche Bestimmungs-Benennung	Gehalt an Ton vH	Gehalt an Sand vH	Gehalt an Kalk vH	Gehalt an Humus vH	Wertverhältnis
1	Humoser Tonboden	Starker Weizenboden	74	19	$4\frac{1}{2}$	$11\frac{1}{2}$	100
2	Humoser strenger Boden	dsgl.	81	9	4	$8\frac{1}{2}$	98
3	dsgl.	dsgl.	70	19	4	$6\frac{1}{2}$	96
4	Leichter Mergelboden	dsgl.	40	22	34	4	90
5	Humoser leiser Boden	Wiesen- oder Anmoorboden	14	49	10	27	7
6	Humoser Sandboden	Starker Gerstboden	20	67	3	10	70
7	Leichter Tonboden	Starker Weizenboden	38	38	2	4	77
8	Mergelboden	Weizenboden	56	30	12	2	75
9	Tonboden	dsgl.	60	36		3	70
10	Lehmboden	dsgl.	48	50		2	65
11	dsgl.	dsgl.	48	50		2	60
12	dsgl.	Gerstboden erster Art	38	60		2	60
13	dsgl.	Gerstboden zweiter Art	33	65		2	50
14	Sandiger Lehmboden	dsgl.	28	70		2	45
15	dsgl.	Haferboden	$23\frac{1}{2}$	75		$1\frac{1}{2}$	30
16	Lehmiger Sandboden	dsgl.	$18\frac{1}{2}$	80		$1\frac{1}{2}$	20
17	dsgl.	Roggenboden	14	85		1	15
18	Sandboden	dsgl.	9	90		1	10
19	dsgl.	6jähriger Roggenboden	4	95		$\frac{1}{2}$	5
20	dsgl.	9jähriger Roggenboden	2	$97\frac{1}{2}$		$\frac{1}{2}$	2

Die mittlere mehrjährige Ernte, welche das andere Bodenstück, je nachdem es Ackerboden oder Wiesenboden war, verschafft

Bodenbewertungsverfahren 1831 von Thaer nach Stremme (1936) mit Werteverhältnissen von 0-100 Punkten. Die Bodenansprache erfolgt in erster Linie nach der Bodenart und dem Humusgehalt.





10 Mitteleuropa
Schwermetalleinträge in Großstädten und ländlichen Gebieten sowie Grenzwerte gemäß Klärschlammverordnung 1992

	Arsen (As)	Blei (Pb)	Cadmium (Cd)	Crom (Cr)	Kupfer (Cu)	Nickel (Ni)	Quecksilber (Hg)	Zink (Zn)
Gesamteintrag g/ha pro Jahr	2 - 70	70 - 2400	1,5 - 35	2 - 47	10 - 200	5 - 150	0,2 - 7	100 - 6000
Großstädte	2 - 2000	40 - 1000	1 - 5	-	-	10 - 70	-	300 - 1000
ländliche Gebiete	-	20 - 80	0,8 - 4,5	-	-	7 - 27	-	500
Grenzwerte für Böden (n.d. Klärschlammverordnung) mg/kg Boden	-	100	1,5	100	60	50	1	150 - 200

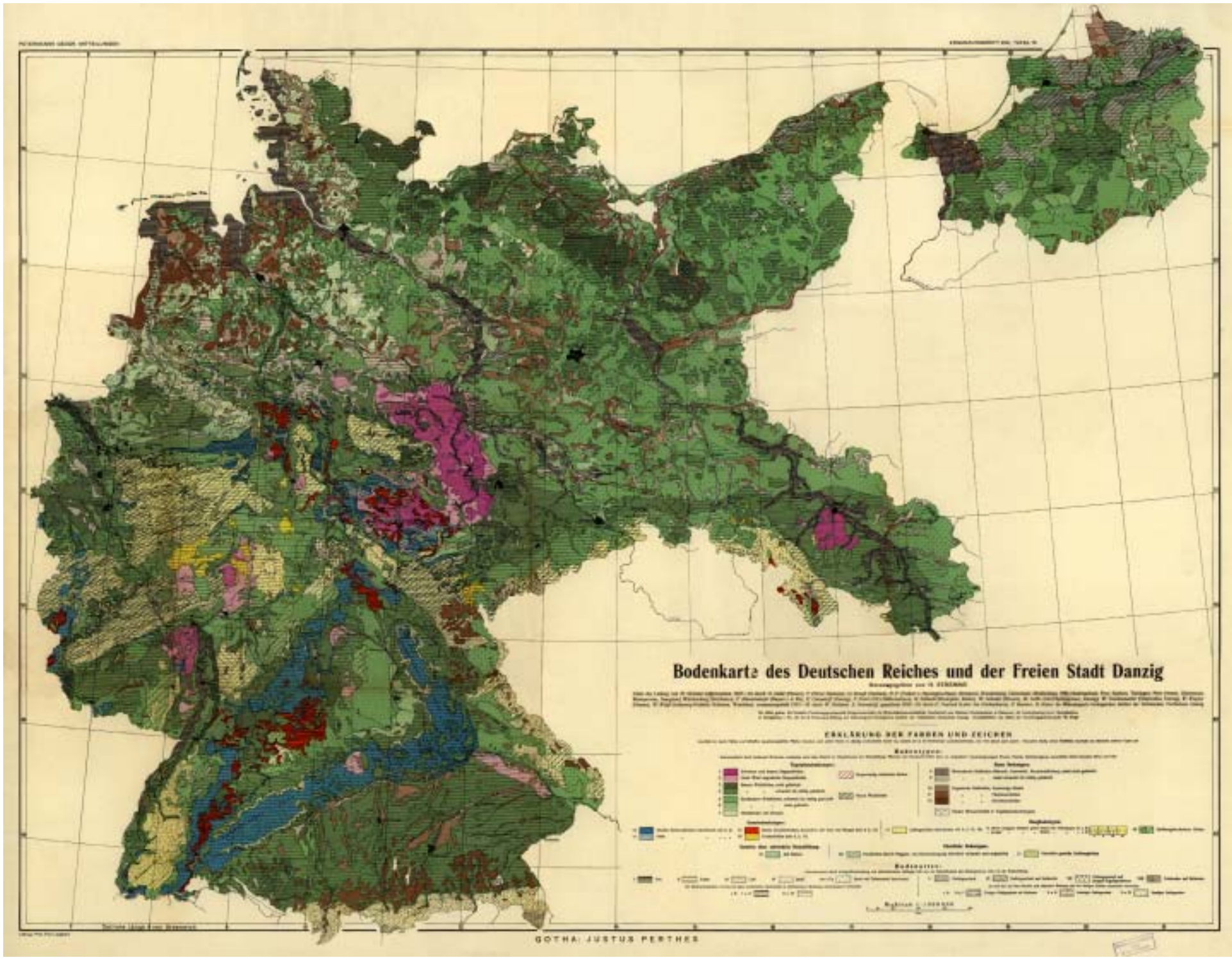
Die Anfänge der Bodenkunde

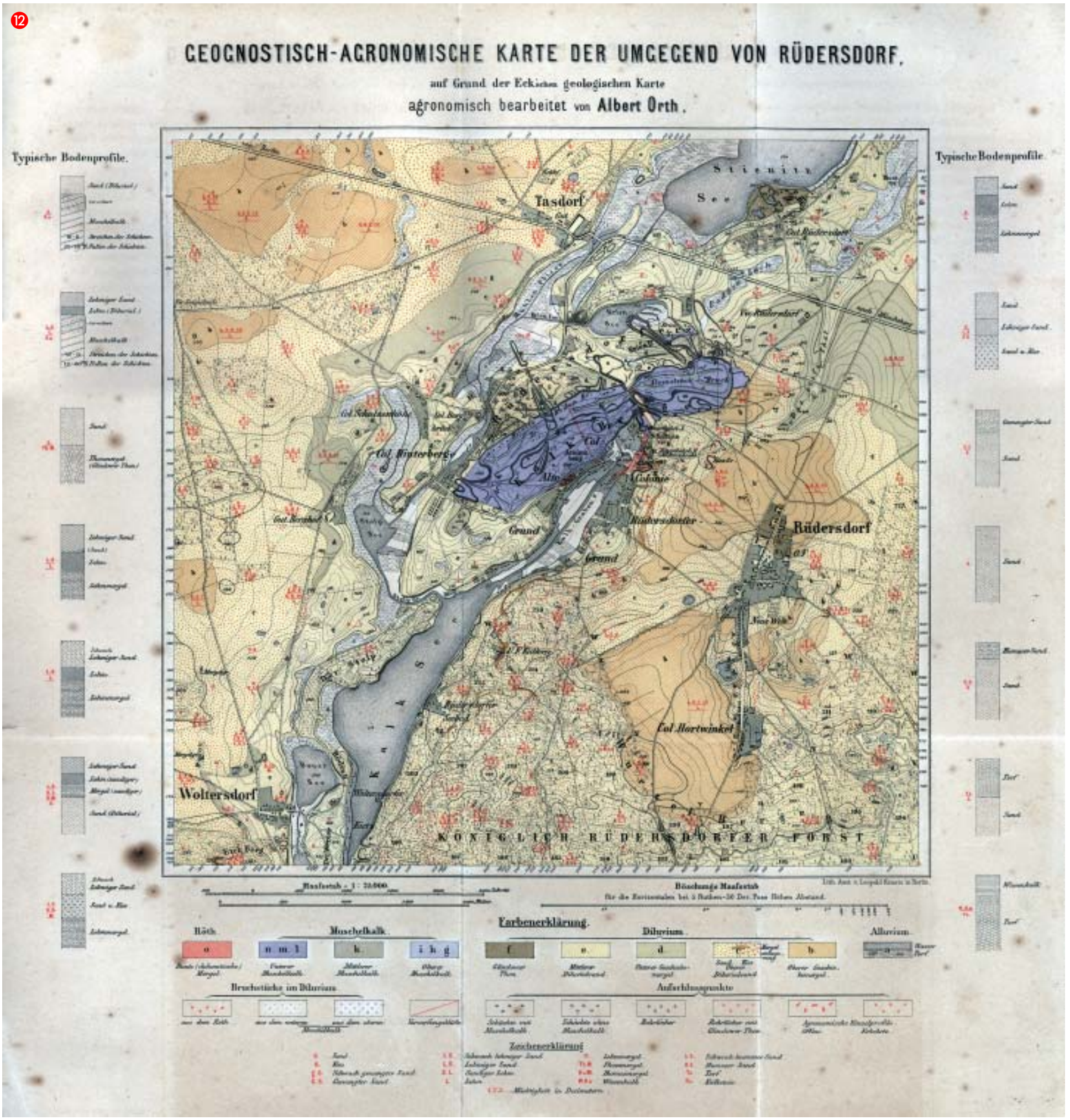
Die stärker wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den Böden beginnt erst im ausgehenden 18. Jh. und zu Beginn des 19. Jhs. Im Vordergrund stand dabei die Agrikulturchemie, die sich mit der Analyse der anorganischen (Mineralien) und organischen (Humus) Komponenten des Bodens beschäftigte. Zu nennen ist hier das 1840 erschienene Buch von Justus von Liebig „Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie“, in dem zum ersten Mal herausgestellt wird, „dass die Pflanzenproduktion an einem Standort direkt abhängig ist von der anwesenden bzw. zugeführten Mineralmenge“. Alle Untersuchungen dieser Zeit, die sich mit dieser Problematik beschäftigten, hatten das Ziel, Wege für eine Erhöhung der pflanzlichen Produktion zu finden, um die Nahrungsmittelversorgung insbesondere in schlechteren Jahren auf eine sichere Basis zu stellen.

Dass die Bodenchemie auch heute noch einen wesentlichen Teil der Bodenanalyse darstellt, machen die Beiträge über Schwermetalle und Radionuklide (▶▶ Beiträge Völkel, S. 112 und S. 114) deutlich. Diese Beiträge zeigen, dass dem Boden insbesondere im 20. Jh. durch Einträge aus der Industrie und dem Autoverkehr **9**, aber auch aus Düngung und Pflanzenschutz, ohne Absicht Schadstoffe zugeführt wurden, die – wie sich erst später erwies – bei entsprechenden Konzentrationen eine direkte oder indirekte Gefahr für den Menschen darstellen.

Um eine verlässliche Risikoabschätzung darüber abgeben zu können, welches Gefährdungspotenzial langfristig existiert, ist eine großmaßstäbliche Bodenkarte unerlässlich, denn die biologische Verfügbarkeit der Schadstoffe hängt direkt von der Ausprägung der Böden (Humusgehalt, Tongehalt, pH-Wert) ab (Scheffer/Schachtschabel 2002). Dies verdeutlicht wiederum, dass ohne Grundlagenforschung keine Aussagen zu angewandten Fragen wie

11 Reproduktion der Bodenkarte des Deutschen Reiches 1:1.000.000 von 1936, verkleinert auf etwa ein Fünftel; Original: 120 cm x 93 cm. Sie unterscheidet 14 Bodenarten (Substrate), auf denen 21 Bodentypen ausgewiesen sind.





Das 1877 erschienene geognostisch-agronomische Messtischblatt 3548 Rüdersdorf ist eine für die preußischen Gebiete typische Karte, die besonders den großen Gütern im Osten Preußens dank der roten Buchstaben die Abfolge oberflächennaher Substrate (Bodenarten) aufzeigte und damit wertvolle Hinweise zur besseren Landnutzung anbot. Das Beispiel liegt im Jungmoränengebiet östlich von Berlin, wo sich entlang von Stienitzsee und Kalksee eine glaziale Linie hindurchzieht und infolge von Salztektonik Muschelkalk bis dicht unter die Oberfläche aufdrang, der dort bis heute noch abgebaut wird.

Schadstoffbelastung oder Erhaltung des Schutzgutes Boden möglich sind. Die Tabelle 10, die den Eintrag von Schadstoffen in den Boden am Beispiel von Schwermetallen darstellt, veranschaulicht die Bedeutung dieses Themas. Zusätzlich angegeben sind die derzeit gültigen Grenzwerte für diese Schwermetalle nach der Klärschlammverordnung. Dabei ist zu betonen, dass das Wirkungsgefüge dieser Stoffe, insbesondere die Langzeitwirkung oder →

die Kombinationswirkung mehrerer Elemente, bislang kaum bekannt ist (Scheffer/Schachtschabel 2002). Die Bodenchemie ist damit ein sehr wichtiges Instrument für den Bodenschutz, dessen Leitbild heute die nachhaltige Nutzung und der Schutz der Ressource Boden ist.

Mit der Entwicklung der Agrikulturchemie wird auch erkannt, dass die flächenhafte Aufnahme des Bodens eine wichtige Grundlage für die räumliche Einordnung der chemischen Analysen und für die Beurteilung der Bodenentwicklung und Bodenentstehung darstellt. Den Beginn dieser flächenhaften Aufnahmen bildeten die Verfügung des preußischen Staates von 1867 über die Aufnahme von großmaßstäblichen geologischen Karten im Maßstab 1 : 25.000, aus denen Aussagen zum Boden abgeleitet werden, und die von A. Orth 1870 publizierte geognostisch agronomische Karte des norddeutschen Schwemmlandes. Letztere bildete die Grundlage für die von der Preußischen Geologischen Landesanstalt später herausgegebenen geologisch-agronomischen Karten ⓬, die allerdings noch sehr stark auf die landwirtschaftlichen Belange ausgerichtet waren.

Die Hinwendung zur stärker grundlagenorientierten Bodenaufnahme, die die Basis auch der heutigen Bodenkarten (▶▶ Beitrag Adler u.a., S. 100) bildet, wurde 1926 von H. Stremme eingeleitet ⓫. Seine Kartierung basiert auf der genetischen Bodenansprache, also auf der Profilentwicklung des Bodens, die von den verschiedenen Boden bildenden Faktoren (Klima, Wasserhaushalt, Pflanzen, Mensch) gesteuert wird, und auf der Zusammenfassung der Bodentypen zu größeren Bodeneinheiten. Wie bei den Bodenbelastungen bereits ausgeführt, bilden diese Karten in den verschiedenen Maßstäben heute die wichtigste Grundlage für alle Fragen des Bodenschutzes. Der Beitrag von Adler u.a. (▶ S. 100) zeigt die heute für die Bundesrepublik Deutschland ausgewiesenen Bodengesellschaften im Überblick. Die Mehrzahl der charakteristischen Böden ist dort auf Fotos dargestellt.

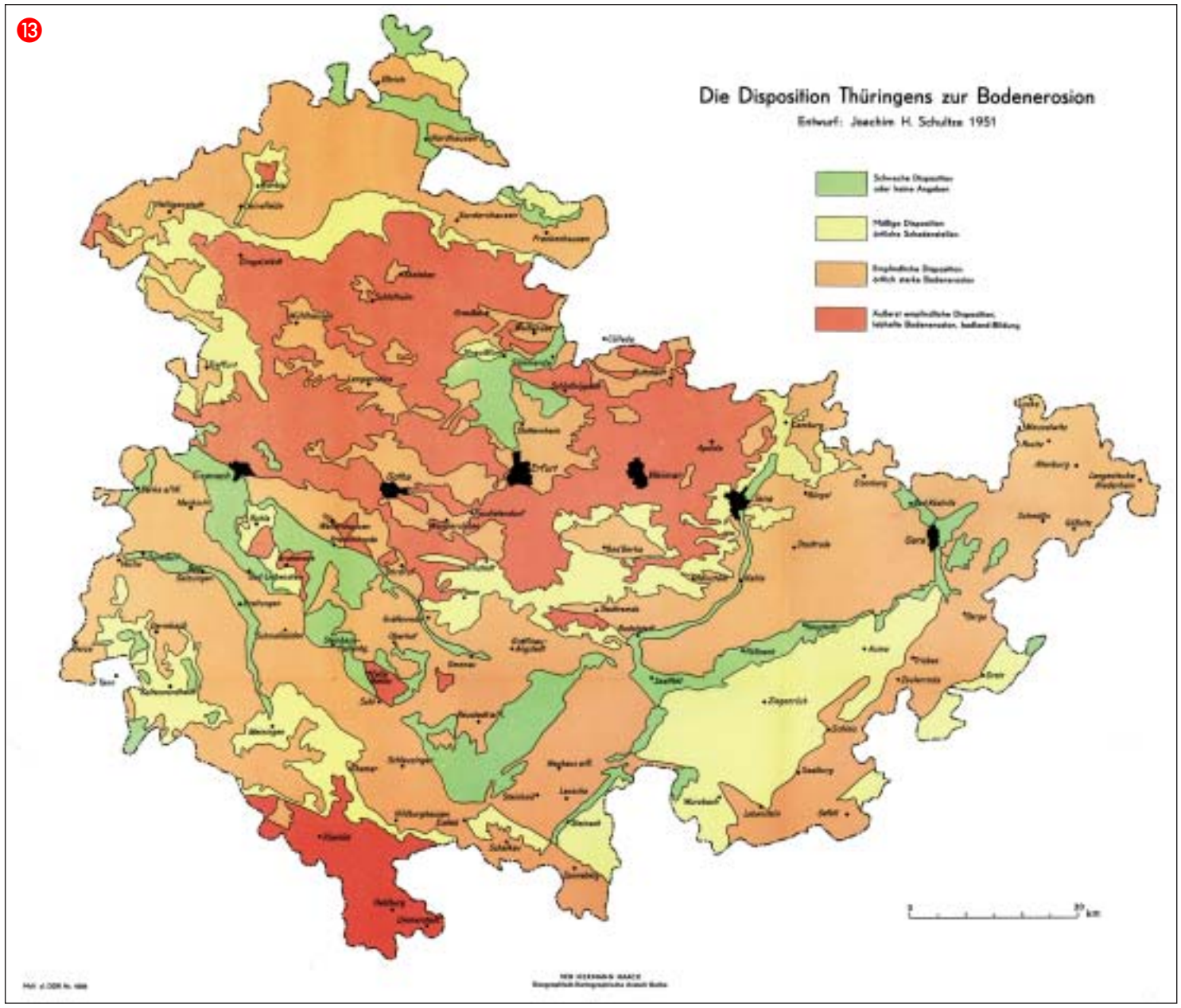
Probensequenz aus einem Nebenfluss des Neckars während mehrerer Hochwasserwellen. Die braune Farbe des Wassers wird durch das transportierte Bodenmaterial hervorgerufen.

Bodenschutz

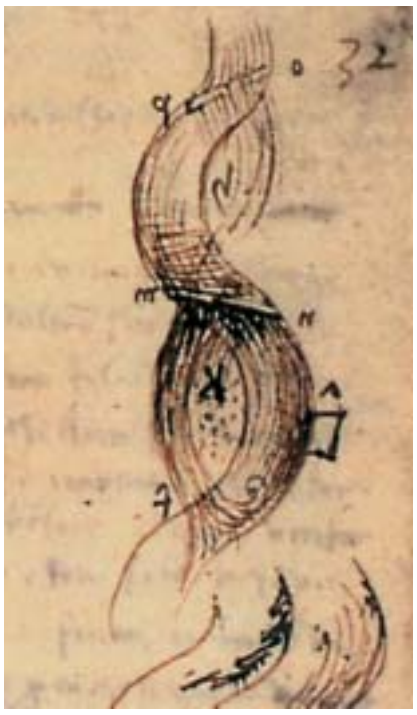
Die nachhaltige Nutzung und der Schutz der Ressource Boden sind seit mehr als fünf Jahrzehnten ein Thema in der Wissenschaft, wurden aber erst vor wenigen Jahren in gesetzlichen Regelungen festgelegt (Bundes-Bodenschutzgesetz 1998). Es geht dabei sowohl um die Verhinderung von Schadstoffeinträgen, die aus sehr unterschiedlichen Quellen stammen können (▶▶ Beiträge Völkel, S. 112 und S. 114), als auch um den Schutz des Bodens vor Bodenerosion (▶▶ Beiträge Fohrer/Mollenhauer/Scholten, S. 106 und Mollenhauer/Scholten, S. 110). Der Bodenabtrag durch Wasser und Wind bildet auf globaler Ebene heute die größte Gefahr für eine ausreichende Versorgung mit Nahrungsmitteln. In Deutschland wird das Problem der Bodenerosion meist nur während stärkerer Unwetter mit Hochwasserabfluss wahrgenommen, wenn das durch Starkregen von den Feldern abgetragene Bodenmaterial als gelbbrauner Schlamm in den Häusern oder auf den landwirtschaftlichen Flächen in den Auen (▶ Foto unten) abgelagert wird. Messungen der Schwebstofffracht am Rhein zeigen bei Hochwasser (1998) eine Konzentration bis 350 mg Sedi-

Durch Überschwemmung abgetragenes Bodenmaterial, das auf landwirtschaftlich genutzter Fläche abgelagert wurde.

⓭



Karte der Bodenerosion von J. H. Schultze. Dargestellt ist die Anfälligkeit der Flächen bezüglich der Bodenerosion durch Wasser und Wind (im Original 1 : 500.000).



⓮ Skizze eines Flussmäanders von Leonardo da Vinci (1506-1508/10)

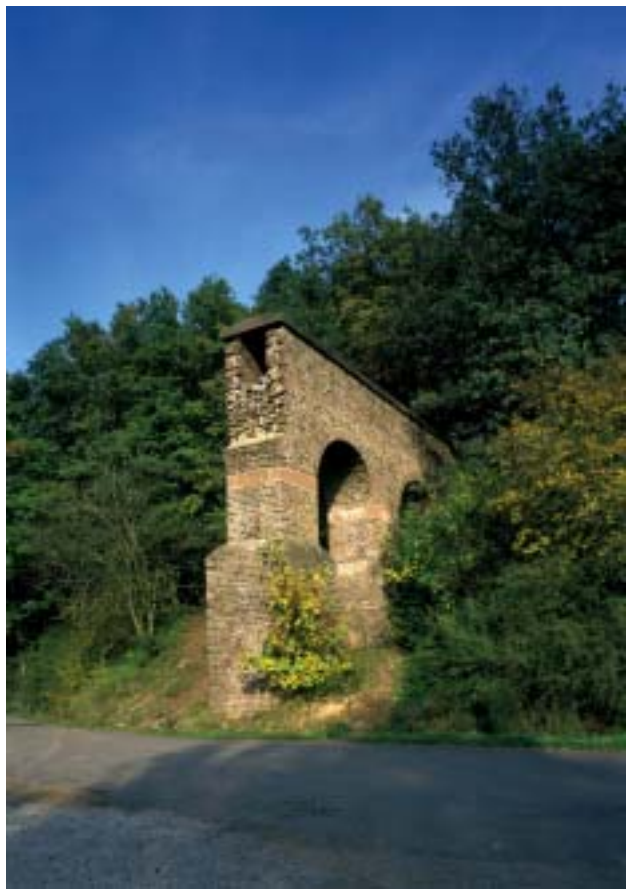
ment pro Liter Abfluss, was bei einem Abfluss von 4500 m^3/s (Hochwasser 1998) einem Transport von 1575 kg pro Sekunde bzw. 5670 t pro Stunde Bodenmaterial entspricht (▶ Foto oben) (▶▶ Beitrag Schmidt/Unbenannt, S. 136).

Aber nicht nur die im Wasser transportierten Bodensedimente stellen ein Problem dar, sondern auch die an die Bodenpartikel gebundenen anorganischen (Schwermetalle) und organischen Schadstoffe (Nitrat, Phosphat, Herbizide, Pestizide). Sie werden zum Teil in den meist staugeregelten Flüssen vor den Staustufen deponiert oder bis in Seen oder gar in das Meer weitertransportiert und dort abgelagert.

Die Bodenerosion verursacht damit sowohl auf den Feldern Schäden, wo das Bodenmaterial abgetragen wird, als auch in den Gewässern, in denen es transportiert oder deponiert wird. Was die Schäden der Bodenerosion auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen betrifft, setzt das Problembewusstsein wesentlich früher ein als bei den Gewässern. So wird bereits zu Beginn des 19. Jhs. von F. Heusinger ein umfassender Maßnahmenkatalog zur Verhinderung der Bodenerosion publiziert (1826). In der Wissenschaft wird das Thema allerdings erst in den 30er Jahren des 20. Jhs. intensiver aufgegriffen, wobei Kuron als Motor dieser Forschung zu nennen ist. Auf seine Anregung hin entstand auch die erste flächenhafte Aufnahme der Bodenerosion mit quantifizierenden Ansätzen durch Schultze (1959) in Thüringen ⓭.

Das Wasser als Lebenselixier

Das Schicksal und das Wirken des Menschen sind eng mit dem Vorhandensein und der Nutzung des Wassers verbunden. Aus der Abhängigkeit vom Wasser erwuchs schon während der frühen Perioden der Kulturgeschichte eine enge Verbundenheit mit der Mythologie. Natürliche hydrologische Prozesse (Niederschlag, Gewitter, Hochwasser) und die Bestandteile des hydrologischen Kreislaufs (Quellen, Flüsse, Seen, Meere) wurden durch Gestalten der Mythologie (Götter, Geister) personifiziert. Erst in der Neuzeit bemühte man sich darum, die natürlichen hydrologischen Phänomene zu erklären. An die Stelle der Spekulation, des spirituellen Denkens und der Mystifizierung traten die wissenschaftliche Untersuchung und Ursachenforschung sowie die rechnerisch-quantitative Erfassung hydrologischer Prozesse durch Beobachtung und gezielte Messung. Die Naturwissenschaft ersetzte die Naturphilosophie.

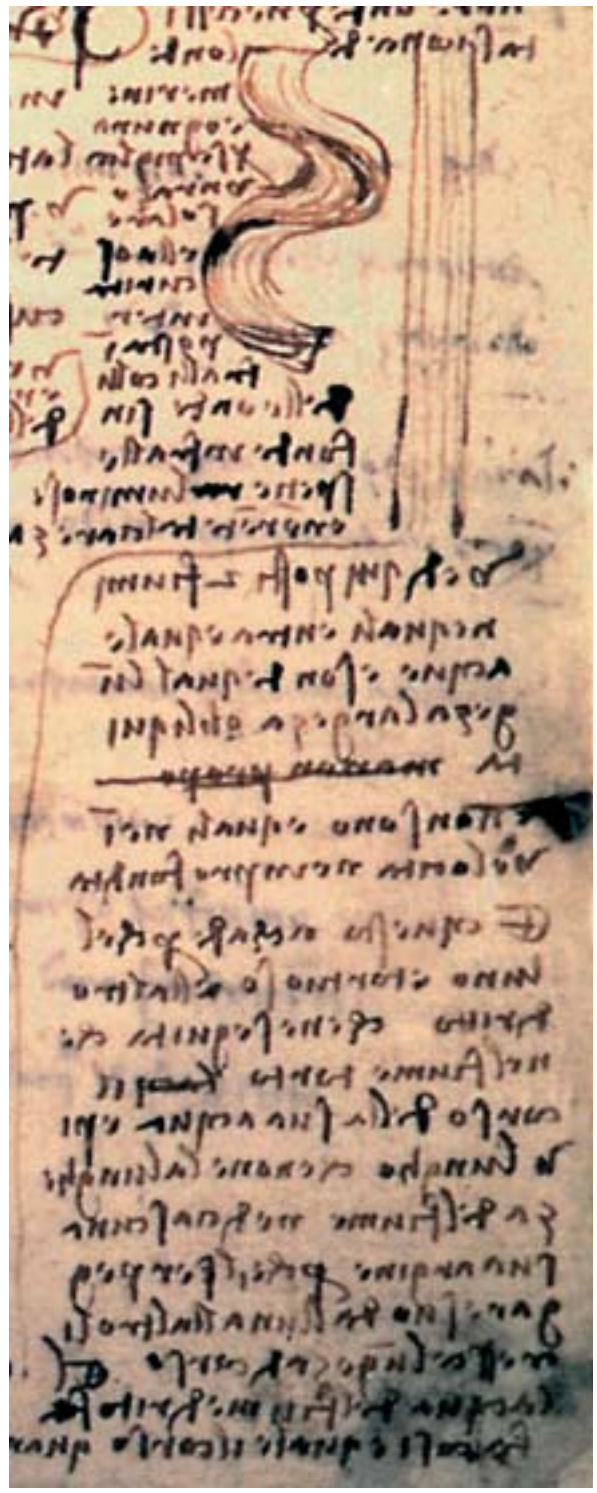


Römisches Aquädukt bei Vussem in der Eifel

Die anhaltende weitere Entwicklung von menschlichen Siedlungen, die in der Frühphase immer eng an Gewässer als Handels- und Verkehrswege und Versorgungsstränge gekoppelt war, erforderte später immer mehr die Planung und den Bau von Wasserversorgungsanlagen. Dabei ergeben sich Schwierigkeiten, wenn das Volumen und die zeitliche Verteilung des Bedarfs oft von dem durch Klima, Jahreszeit und Topographie bestimmten ▷ Wasserdargebot gravierend abweichen (▶▶ Beiträge Jankiewicz/Krahe, S. 148 und Busskamp, S. 150). Es sind daher Eingriffe in die natürlichen Prozesse erforderlich, um das zeitlich diskontinuierliche und räumlich ungleich verteilte Wasserdargebot mit dem vom Lebens- und Arbeitsrhythmus des Menschen geprägten Bedarf in Einklang zu bringen. Der Beginn gezielter, großräumiger und hoch entwickelter Wasserversorgungstechnik fällt in die Römerzeit, die mit imponierenden Aquädukten (▶ Foto), Bädern und Thermen baulich neue Maßstäbe setzte.

Die frühesten Anfänge der geplanten Wasserversorgung und Bewässerung datieren bereits aus der Zeit der ersten Hochkulturen um 3500-2500 v.Chr. Das klassische Beispiel für die enge Verbundenheit zwischen Mensch und Wasser ist Ägypten, denn wie in keinem anderen Land ist hier das gesamte Leben vom Verhalten eines Flusses abhängig. Entlang des gesamten Nillaufs finden sich in Ägypten Wasserstandsmarken an Felsvorsprüngen oder an Bauwerken im Bereich der Flussufer sowie auch bezifferte und geeichte Skalen zur quantitativen Bestimmung der Wasserstände. Skalenleitern entlang von Treppen in besonderen Pegelbauwerken werden als „Nilometer“ bezeichnet. Die ägyptischen Messeinrichtungen sind wohl die ältesten erhaltenen hydrometrischen Einrichtungen in der Geschichte der Hydrologie (Baumgartner/Liebscher 1996).

Neben der Lehre des meteoren Wassers (atmosphärischer Kreislauf), die in wesentlichen Teilen schon unserem heutigen Verständnis vom Wasserkreislauf nahe kam, hat sich die Theorie, dass alles Wasser aus einem unterhalb der Erde befindlichen Meer stammt, noch über das ganze Mittelalter hin gehalten und ist erst mit dem Aufkommen der Naturwissenschaften nach der Renaissance ganz verschwunden. Ein konkreteres wissenschaftliches Bild des Wasserkreislaufs und von Wasserbilanzen entwickelte sich mit der Etablierung der quantitativen messenden Hydrologie ab der Mitte des 19. Jhs. →



⓯ „Du siehst hier zwei Flüsse mit der gleichen Wassermenge und von gleicher Länge, Breite und Neigung, aber nicht gleich in der Geschwindigkeit und in der Tiefe. Und das kommt daher, daß der eine gewunden ist und der andere gerade; und daraus folgt, daß in dem gewundenen Fluß das Wasser einen längeren Weg zurücklegt, der weder die Länge des Flusses ist noch die seiner zwei Uferdämme, denn das Schlängeln von einem Damm zum anderen verlängert den Lauf des Wassers; doch das Wasser des geraden Flusses hat einen ebenso geraden Lauf wie seine zwei Dämme.“ (Leonardo da Vinci 1506-1508/10 im Codex Leicester, Blatt 5A, Folio 5 R; Anmerkung zur Reproduktion: Leonardo schrieb grundsätzlich spiegelverkehrt.)

Die Jahrhundertflut - Hochwasser der Mulde bei Eilenburg am 15. August 2002

Die älteste Erwähnung von Regenmessungen findet sich allerdings bereits gegen Ende des 4. Jhs. v.Chr. im „Arthasastra“, dem bedeutendsten Werk der altindischen Staatsliteratur (BAUMGARTNER/LIEBSCHER 1996). Der Zweck der Messungen lag damals in der Festlegung von Steuererhebungen.
LEONARDO DA VINCI hat sich in seinem Codex Leicester (1506-1508/10) ausführlich einer Reihe von Fragen der Gewässerhydrologie und -geomorphologie (Messung der Fließgeschwindigkeit, Geschiebetransport, Mäander) zugewendet. Einen mäandrierenden Fluss beschreibt er, weit seiner Zeit voraus, bereits in zutreffender Weise 14. Leonardo hat sich auch intensiv mit Problemen des Wasserbaus beschäftigt. Er fertigte Skizzen zum Deichbau und zur Einrichtung von Wehren an 15. Sein Interesse am Wasserbau war sehr persönlicher Natur, denn „Ich habe ein Haus oben auf dem Flussufer, und das Wasser nimmt ihm unten den Boden weg, und so ist es kurz vor dem Abstürzen“ (Codex Leicester, Blatt 5 B, Folio 32 R). Von Leonardo stammt auch ein Satz, den man als Beginn des ökologischen Wasserbaus auffassen kann: „Die Wurzeln der Weiden lassen die Böschungen der Kanäle nicht zerfallen, und die Zweige der Weiden, die in der Querrichtung, also auf die Breite der Böschung gesetzt und später unten beschnitten werden, werden jedes Jahr dicker, und so bekommst Du ein lebendiges Ufer aus einem Stück“ (nach BAUMGARTNER/LIEBSCHER 1996, S. 33).

Die wissenschaftliche Beschäftigung mit dem Wasser

Die Wissenschaft vom Wasser (Hydrologie) gliedert sich entsprechend der Vielzahl der Erscheinungsformen des Wassers in mehrere Forschungsrichtungen auf. Die Ozeanographie beschäftigt sich mit dem Wasser in den Meeren. Im Atlas widmen sich die Beiträge von Mittelstaedt (▶ S. 118), Müller (▶ S. 120) und Heinrich/Nausch (▶ S. 122) ozeanographischen Fragestellungen an der Nord- und Ostsee. Das Wasser in der Atmosphäre ist Forschungsgegenstand der Meteorologie, Themen des atmosphärischen Wassers (Niederschlag, Verdunstung) sind der Klimageographie zuzuordnen (▶▶ Bd. 3, Klima, Pflanzen- und Tierwelt). Indirekt mit dem Wasser der Lufthülle beschäftigen sich die Beiträge Glugla/Jankiewicz (▶ S. 130) und Jankiewicz/Krahe (▶ S. 148).

Auf dem Festland tritt das so genannte Oberflächenwasser in Flüssen, Seen und Gletschern in Erscheinung. Das Wasser in den Fließgewässern (Ströme, Flüsse, Bäche) ist Forschungsobjekt der Potamologie. Eine hoch aufgelöste Darstellung der Verbreitung der Fließgewässer in Deutschland 16 zeigt deutlich die regionalen Unterschiede in der Gewässerdichte und in den Netzstrukturen. Gebiete hoher Gewässerdichte (ausgedrückt in Kilometer Fließgewässerlänge pro Quadratkilometer Fläche, km/km^2) liegen vor allem in den Alpen und in den aus ▷ paläozoischen Gesteinen bestehenden Mittelgebirgen wie im Rheinischen Schiefergebirge oder im Bayerischen Wald mit Dichten >3. Sehr geringe Dichten von <1 weisen die von verkarstungsfähigen Kalken gebildeten Schichtstufenflächen der Schwäbischen und Fränkischen Alb auf. Der Regelfall der Gewässernetzstruktur (*drainage pattern*) ist das dendritische (baumartig verzweigte) Netz, das in den Mittelgebirgen weit verbreitet ist. Ein Sonderfall ist das parallele Gewässernetzmuster, das im Übergang vom Pfälzerwald zum Rhein im Nordteil des westlichen Oberrheingrabens zu finden ist. Ein weiterer Sonderfall ist die radiale, von zentralen Erhebungen ausgehende Netzstruktur, wie wir sie im Rothaargebirge (Quellgebiet von Lenne, Ruhr, Diemel, Eder, Lahn, Sieg), im Fichtelgebirge (Quellgebiet von Main, Saale, Weißer Elster, Eger, Naab) und auf dem Vogelsberg finden.

Die Fließgewässer sind vernetzt in Systemen unterschiedlicher Größenordnung von den kleinen Nebenflüssen bis zu den Strömen mit ihren übergeordneten Einzugsgebieten (▶▶ Beitrag Busskamp/Krahe, S. 124). Die quantitative Hydrologie vermittelt Kenntnisse über die Wassermengen, die sich in den Fließgewässern bewegen, und über die Variabilität der Wasserführung (▶▶ Beitrag Busskamp/Schmidt, S. 126). Diese Inhalte sind von hoher wirtschaftlicher und sozialer Bedeutung sowohl für die Beurteilung von Zuständen der Wasserknappheit (extreme Niedrigwasser) als auch von Zuständen der Gefährdung durch großen Wasserüberschuss bei extremen Hochwässern (▶ Foto), wie sie in Deutschland in den letzten Jahren der Öffentlichkeit in z.T. erschreckender Weise ins Bewusstsein getreten sind (Rheinhochwässer 1993, 1995, Oderhochwasser 1997, Elbe- und Muldehochwasser 2002). Mit praxisbezogenen Fragen des Hochwasserschutzes beschäftigen sich die Beiträge von Busskamp/Wilke (▶ S. 132) und von Mäckel/Seidel (▶ S. 92).

Neben der Wassermengenbetrachtung sind seit der Industrialisierung und dem starken Zuwachs der Bevölkerung Fragen der Wasserqualität und der Fließgewässerbelastung durch Nähr- und Schadstoffe immer stärker in den Vordergrund gerückt (▶▶ Beitrag Blondzik/Rechenberg, S. 134). Teilweise kann die Wasserqualität zum limitierenden Faktor der Wasserversorgung werden. Die Kontrolle der Wasserqualität durch gezielte Messungen ist zu einer wesentlichen Aufgabe der Wasserbehörden geworden. In mittelbarem Zusammenhang mit der Wasserqualität steht die Schwebstoffführung der Fließgewässer (▶▶ Beitrag Schmidt/Unbenannt, S. 136), weil umweltbeeinträchtigende Stoffe an die Schwebpartikel gebunden sind und Schadstoffe durch Remobilisierung von Schwebstoffsedimenten aus Stauhaltungen und Talauen lange nach Ende der aktiven Emission wieder in die Gewässerökosysteme gelangen können.

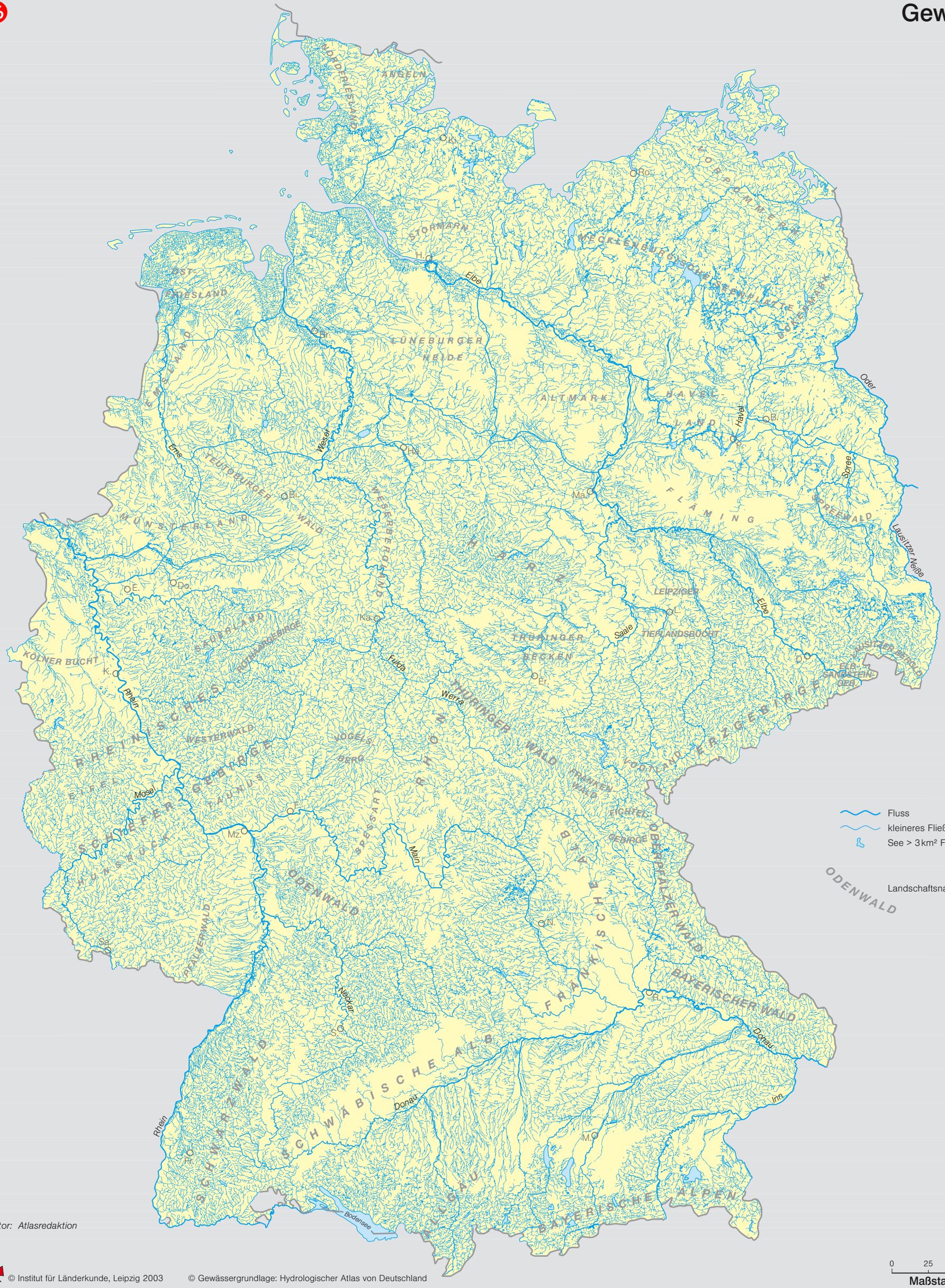
Zwei Beiträge widmen sich Fragen der Seenkunde (Limnologie) mit der Darstellung der Verbreitung von natürlichen und künstlichen Standgewässern in Deutschland (▶▶ Beitrag Kern/Leibundgut, S. 138) und der Wasserqualität von Seen in Berlin und Brandenburg (▶▶ Beitrag Mietz, S. 140). Gletscher sind in den deutschen Alpen nur noch in äußerst geringer Ausdehnung existent und befinden sich im Prozess des weiteren Abschmelzens. Inhalte der Gletscherkunde (Glaziologie) können deswegen im Atlas nur bezogen auf die Vergangenheit des Eiszeitalters dargestellt werden (▶▶ Beitrag Liedtke, S. 66).

Das unterirdische Wasser (Grundwasser), das sich besonders in den geoökologischen Landschaftstypen (▶▶ Beitrag Burak/Zepp, S. 28) bemerkbar macht, wird wissenschaftlich von der Hydrogeologie untersucht. Wichtige Fragen betreffen die für die Wasserversorgung essenziellen Grundwasservorräte, die besonders in den Gebieten mit mächtiger Lockergesteinsbedeckung (z.B. Niederrheinische Bucht, norddeutsche Urstromtäler, Alpenvorland) reichlich vorhanden sind (▶▶ Beitrag Vierhuff, S. 142). Das regionale und lokale Grundwasserdargebot ist abhängig von der innerhalb des Wasserkreislaufs durch Grundwasserneubildung bereitgestellten Wassermenge, die je nach den Eigenschaften des oberflächennah vorhandenen Gesteins äußerst unterschiedlich ausgeprägt ist (▶▶ Beitrag Neumann/Wycisk, S. 144). Die Gesteinsattribute steuern auch den ▷ Chemismus des Grundwassers und dessen natürliche Güteeigenschaften (▶▶ Beitrag Hiltmann/Kantor, S. 146).

Zu diesem Band

Der vorliegende Atlasband kann bei Weitem nicht das gesamte Spektrum der räumlich differenzierten Naturfaktoren der Bundesrepublik Deutschland in den Bereichen Relief, Boden und Wasser darstellen. Er will jedoch einen Überblick über die wichtigsten Themen der Erdgeschichte, die wesentlichen Aspekte der Entwicklung und Gestaltung der Oberflächenformen, einige grundlegende Informationen über Böden und deren Schutz sowie über die Themenbereiche rund um Meeres-, Oberflächen- und Grundwasser geben. Dabei ergeben sich notwendigerweise immer wieder Verzahnungen mit Themen, die im Band 3 (Klima, Pflanzen- und Tierwelt) noch einmal aufgegriffen und vertieft behandelt werden. Die Koordinatoren hoffen, dass der Versuch, auch neueste Forschungsergebnisse allgemein verständlich darzustellen, geglückt ist.◆

Gewässernetz



Autor: Atlasredaktion

© Institut für Länderkunde, Leipzig 2003 © Gewässergrundlage: Hydrologischer Atlas von Deutschland