Hendrik Mehrens

Geologie und Erdgeschichte von Kevelaer

Mit geologischer Karte des Stadtgebietes

Inhalt

Einleitung 3
Erdgeschichte 6
Devon 7
Karbon 7
Perm 8
Trias 10
Jura 11
Kreide 11
Paläogen und Neogen 12
Quartär 14
Tektonik 20
Anhang 22

Ersterstellung: 10/2022
Version: 1.3.1
Stand: 01.11.2024
Medium: PDF
Weitere Informationen unter: www.geologie-digital.de

Einleitung

Dieses Dokument soll in kurzer, kompakter Form einen Überblick über die Geologie und die erdgeschichtliche Entwicklung im Stadtgebiet Kevelaer geben. Dabei geht es um eine bewusst knapp gehaltene Darstellung der erdgeschichtlichen Abläufe vom Devon bis zur Gegenwart. Die heutigen Lagerungsverhältnisse an der Oberfläche zeigt die geologische Karte in Abb. 1. Um die vorliegende Darstellung nicht zu überfrachten, wurden viele, teils auch wichtige Details weggelassen. Auch die geologische Karte hat lediglich Übersichtscharakter und ist stark generalisiert. Der Fokus soll auf den allgemeinen erdgeschichtlichen Entwicklungslinien liegen. Auf genaue petrographische Beschreibungen der einzelnen Sedimentschichten, die im Stadtgebiet Kevelaer auftreten, wurde verzichtet. Für alle graphischen Darstellungen und den folgenden Text gilt, dass die Verhältnisse in Wahrheit wesentlich komplexer sind. Einzelne Fachbegriffe werden in einem Glossar im Anhang kurz erläutert.

Kevelaer liegt in der Niederrheinischen Tiefebene. Dieser junge tektonische Senkungsraum ist in Oberflächennähe geprägt durch mächtige vorwiegend fluviatile Sedimente, die das Flusssystem von Rhein und Maas im Verlauf des Quartärs aufgeschottert hat. Diese Terrassenablagerungen bestehen hauptsächlich aus locker gelagerten Kiesen und Sanden und entstanden vor allem unter kaltzeitlichen Bedingungen, als sich mehrfach breite, in viele Rinnen aufgeteilte Abflusssysteme am Niederrhein ausbildeten.

Das Inlandeis, das in der Saale-Kaltzeit bis an den Niederrhein vorstieß, stoppte im Raum Xanten und Uedem, wo der Niederrheinische Höhenzug mit seinen Stauchmoränen die maximale Ausbreitung der Vergletscherung nachzeichnet. Ausläufer der saalezeitlich gestauchten Endmoränen erreichen nur in einem ganz kleinen Gebiet nördlich von Kervenheim das Stadtgebiet.

Abb. 1 zeigt, dass insbesondere die weichselzeitliche Niederterrasse einen großen Bereich im Stadtgebiet Kevelaer einnimmt. Dabei kann eine Ältere von einer Jüngeren Niederterrasse abgetrennt werden. Den Abschluss der Niederterrasse bildet meistens eine dünne Lage aus Hochflutsedimenten, die teils tonig-schluffig, teils stärker sandig ausgebildet sind. Westlich von Twisteden reichen Ablagerungen der Oberen Mittelterrasse aus der Elster-Kaltzeit bis nahe an die Oberfläche. Generell werden alle Terrassenablagerungen von einem dünnen Schleier aus Flugsand überlagert, der jedoch bei einer Mächtigkeit von unter 2 m in der geologischen Karte nicht dargestellt ist. Er entstand im weichselzeitlichen Spätglazial und auch noch während des Holozäns. Stellenweise ist der Flugsand auch etwas mächtiger und zu Dünen aufgeweht, wie etwa im Bereich der Schravelschen Heide. Nach der letzten Kaltzeit, als sich mit dem Klimawandel auch eine Änderung des Abflussverhaltens der Fließgewässer einstellte, wurde die Niederterrasse entlang der Niers und anderer kleinerer Fließgewässer umgelagert und ausgeräumt. Dort treten holozäne Auensedimente auf, deren Zusammensetzung kleinräumig wechseln kann.

Die Mächtigkeit der quartärzeitlichen Lockersedimente beträgt im Raum Kevelaer maximal rund 30 m. Darunter folgen marine Ablagerungen, die während des Tertiärs von der bis an den Niederrhein vorgerückten Nordsee abgelagert wurden. Neben klastischen, teilweise glaukonithaltigen Sedimenten treten untergeordnet auch Kalksteine auf. In einer Tiefe von

rund 500 m beginnt das Karbon. Die Entstehung seiner mächtigen Wechselfolgen aus Ton-, Schluff- und Sandsteinen mit eingelagerten Steinkohlenflözen steht im Zusammenhang mit der Variszischen Gebirgsbildung. Die Karbon-Oberfläche ist heute eine leicht nach Nordwesten abtauchende, erosiv gekappte Fläche.

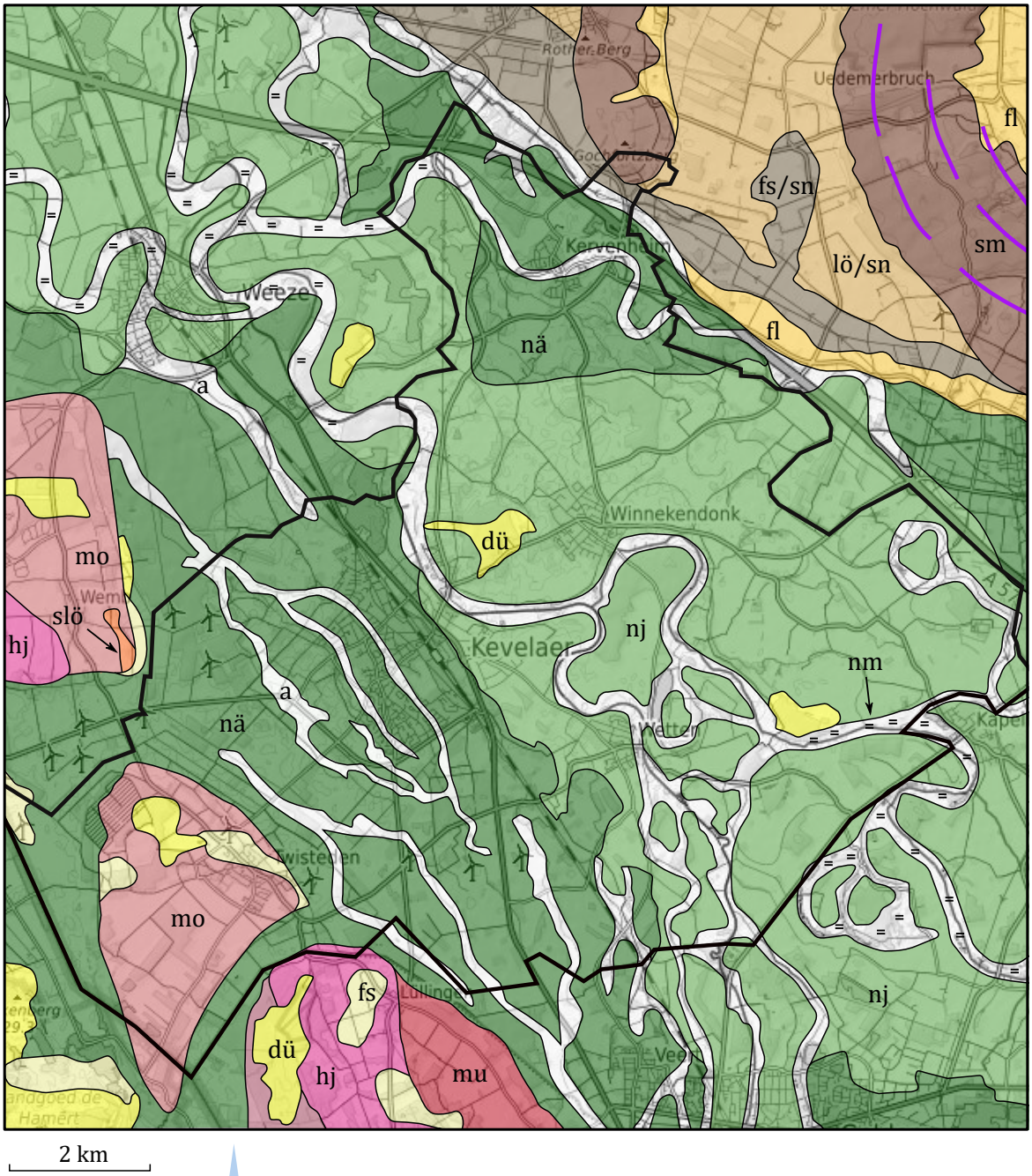


Abb. 1: Geologische Karte von Kevelaer
Topographie: © OpenStreetMap-Mitwirkende
Lizenz: www.openstreetmap.org/copyright

Legende zur Geologischen Karte

a		Auensedimente, allgemein
nm	=	Niedermoor
dü		Dünen
fs		Flugsand
slö		Sandlöss
nj		Jüngere Niederterrasse, meistens mit Flugsand überdeckt
nä		Ältere Niederterrasse, meistens mit Flugsand überdeckt
fl		Fließerde
fs/sn		Flugsand über Sander
lö/sn		Löss und z.T. Sandlöss über Sander
sm		Stauchmoräne, mit Streichrichtung
mu		Untere Mittelterrasse
mo		Obere Mittelterrasse
hj		Jüngere Hauptterrasse

Erdgeschichte

In einem jungen Senkungsgebiet, so wie es die Niederrheinische Bucht darstellt, sind in der Regel nur die jüngsten, direkt an der Oberfläche liegenden Sedimente der Beobachtung zugänglich. Daher sind in Kevelaer allenfalls temporäre Aufschlüsse im Rahmen von Tiefbaumaßnahmen anzutreffen. Und auch sie lassen lediglich einen Blick bis wenige Meter unter die Geländeoberfläche zu. Trotzdem kann man die erdgeschichtliche Entwicklung rekonstruieren. Dabei helfen unter anderem gelegentlich niedergebrachte tiefere Bohrungen, geophysikalische Untersuchungen und auch Rückschlüsse aus anderen Gebieten mit besserer Aufschlusssituation. Über das Altpaläozoikum ist wenig bekannt, so dass der folgende erdgeschichtliche Überblick mit dem Devon startet. Eine geologische Zeitskala findet sich im Anhang.

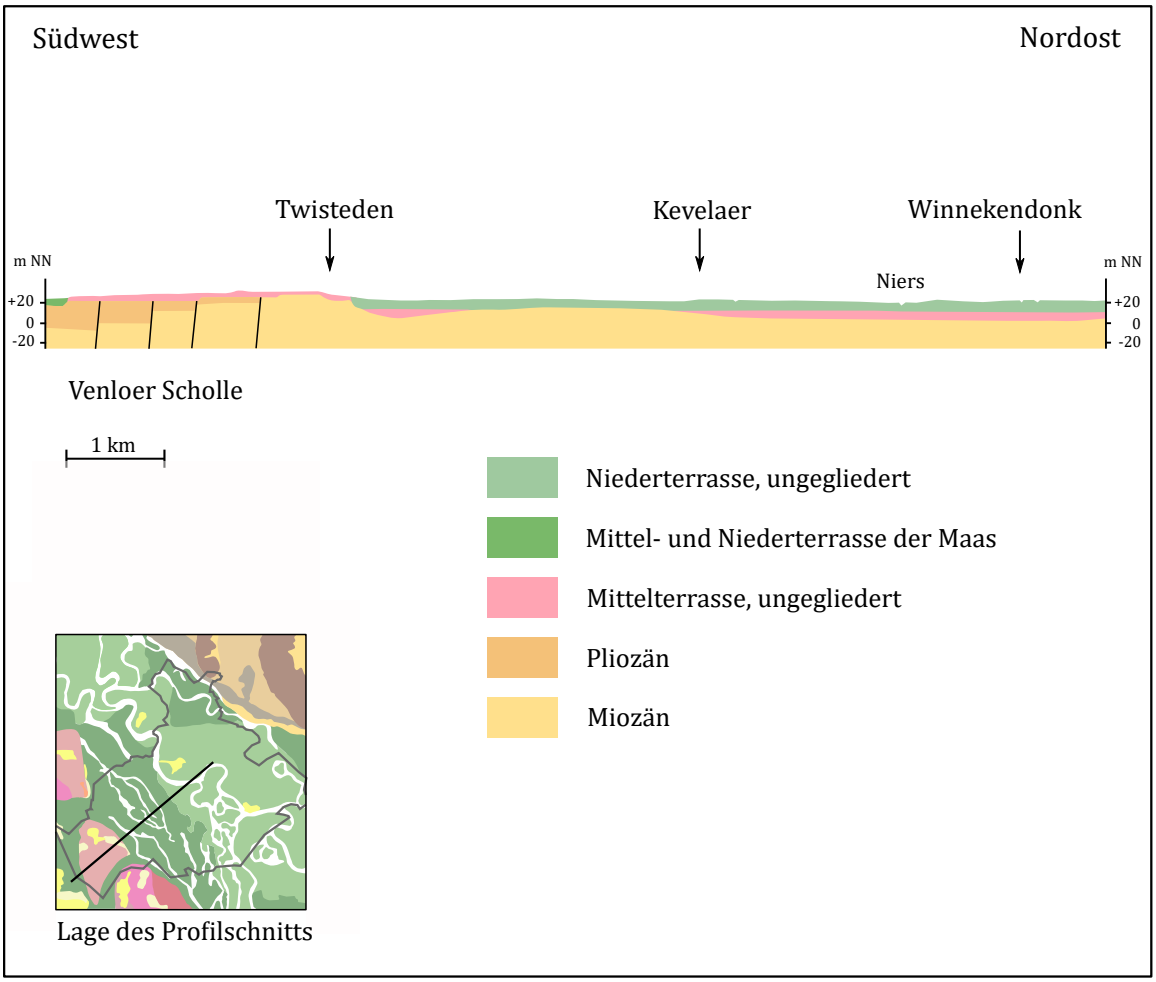


Abb. 2: Profilschnitt, 10fach überhöht, verändert nach Klostermann (1984)

Devon

Im Devon gehörte der Niederrhein größtenteils einem Meeresbecken an, das im Norden an ein kontinentales Hochgebiet grenzte, welches im Rahmen der Kaledonischen Gebirgsbildung entstanden war. Diese Landmasse wird als Laurussia oder Old-Red-Kontinent bezeichnet und umfasste weite Bereiche des heutigen Nordeuropas. Ein als Brabanter Massiv bezeichneter Ausläufer dieses Kontinentes reichte im Westen bis nach Belgien und machte sich bis an den Niederrhein bemerkbar.

Im Unterdevon lag das heutige Stadtgebiet Kevelaer an der Südküste Laurussias. Hier hatte sich eine große, von Seen und Flüssen durchsetzte Deltaebene gebildet. Für den Niederrhein sind im Unterdevon limnische, brackische und flachmarine Ablagerungsbedingungen kennzeichnend. Ab dem Mitteldevon erweiterte sich der Meeresraum dann beträchtlich nach Norden und es stellten sich eindeutig marine Verhältnisse ein. Der landnahe Bereich des Meeresbeckens wird auch als Rheinischer Trog bezeichnet. In ihm kamen neben klastischen Sedimenten auch biogene Kalke zur Ablagerung. In Mitteleuropa, das während des Devons noch südlich des Äquators lag, herrschten tropische Klimabedingungen. So siedelten im Flachwasserbereich Korallen und Stromatoporen, die mit ihren Kalkskeletten große, sich flächenhaft ausbreitende Riffkörper aufbauten.

Im Verlauf des Oberdevons endete das Riffwachstum im Rheinischen Trog. Die Riffe wurden von tonig-karbonatischen Schlämmen überdeckt und es überwog somit eine klastische Sedimentation durch den Eintrag der Verwitterungsprodukte vom nahen Festland. Die Küste Laurussias konnte sich mit mächtigen Strandablagerungen, dem Condroz-Sandstein, wieder nach Süden vorbauen und das Devon-Meer zurückdrängen. Der Condroz-Sandstein stellt vermutlich verfrachtete Delta-Ablagerungen dar, die durch starke Meeresströmungen entlang der Küste verteilt wurden.

Karbon

Im Unterkarbon lag das Gebiet des heutigen Niederrheins zunächst weiterhin vor der Südküste Laurussias. Im Rheinischen Trog, der seinerseits Teil des größeren Rhenoherzynischen Beckens war, lassen sich zwei unterschiedliche Sedimentationsräume unterscheiden, die als Kohlenkalk und Kulm bezeichnet werden. Während der Kulm eine landferne Fazies repräsentiert und beispielsweise Richtung Bergisches Land verstärkt auftritt, kamen am mittleren und südlichen Niederrhein fossilhaltige Kalke des Schelfbereiches zur Ablagerung, die überregional als Kohlenkalk bezeichnet werden.

Im Oberkarbon fand die Hauptphase der Variszischen Gebirgsbildung statt. Dabei kollidierte Laurussia mit Gondwana und einigen Gondwana vorgelagerten Mikroplatten, so dass schließlich der Superkontinent Pangäa entstand, der alle bedeutenden Landmassen der Erde vereinte. Kevelaer und der Niederrhein befanden sich zu dieser Zeit am Rande der Kollisionszone beider Kontinentblöcke.

Der Kollisionskurs von Laurussia und Gondwana führte dazu, dass sich der zwischen beiden Landmassen liegende Meeresraum kontinuierlich verkleinerte. Es entstand schließlich eine Vortiefe, also ein sich absenkendes Becken, das mit Sedimenten des aufsteigenden Gebirges gefüllt wurde. Absenkung und Sedimenteintrag hielten sich lange Zeit die Waage, so dass eine

flache Küstenebene entstand, die von Flüssen und Seen durchsetzt war und in die das Meer gelegentlich, im fortschreitenden Verlauf des Oberkarbons aber immer seltener vorstieß.

Da die Kollisionszone beider Kontinente während des Karbons in Äquatornähe lag, herrschten dort tropische Klimaverhältnisse, unter denen ausgedehnte Moore und Sumpfgebiete mit dichter Vegetation entstanden. Der organische Inhalt dieser Feuchtgebiete konnte wegen der hohen Grundwasserstände nicht komplett abgebaut werden. Er wurde später durch Prozesse der Diagenese zu den Steinkohlenflözen des Karbons umgewandelt.

Am Ende des Oberkarbons, als die Kollisionsbewegung ihren Höhepunkt erreichte, wurde der Inhalt des Beckens mit seiner mächtigen Abfolge aus klastischen Sedimenten und eingeschalteten Kohlenflözen zusammengeschoben, in Falten gelegt und als Variszisches Gebirge herausgehoben. Kevelaer lag an den nördlichen Ausläufern dieses Gebirges. Die nachfolgende Erosion führte jedoch zu einer schnellen Abtragung, so dass schon im Perm ungefaltete Sedimente die eingeebnete Karbon-Oberfläche diskordant überlagern konnten. Das Karbon liegt im Raum Kevelaer heute unter einem mächtigen Deckgebirge aus jüngeren Schichten begraben. Die Karbon-Oberfläche befindet sich in Kevelaer etwa in einer Tiefe von 500 m. Grundsätzlich sind die aus dem Ruhrkarbon bekannten Kohlenflöze auch im Untergrund des Niederrheins anzutreffen. Allerdings wurde ein Teil der ursprünglichen Schichten bereits abgetragen.

Perm

Durch die Variszische Gebirgsbildung war es zu einer Vereinigung aller bedeutenden Kontinente der Erde gekommen. Entstanden war damit der Großkontinent Pangäa. Mitteleuropa, das sich im Perm etwas nördlich des Äquators befand, lag im Inneren dieser großen neuen Landmasse. Feuchtigkeit, die die Luft über den Ozeanen aufnahm, erreichte das Landesinnere kaum. So entstand fernab der Küsten ein kontinentales und wüstenartiges Klima. Als typische Ablagerungen solcher Klimaverhältnisse auf dem Festland gelten klastische, fossilarme Sedimente, die aufgrund ihres Eisengehaltes eine rötliche Färbung aufweisen.

Das mitteleuropäische Perm wird lithostratigraphisch unterteilt in Rotliegend und Zechstein. Im Rotliegend entstanden oftmals rotgefärbte Sandsteine und Konglomerate. Auch am Niederrhein gibt es Hinweise auf solche Sedimente. Sie wurden aus südlicher Richtung antransportiert, wo die variszisch gebildeten Hochgebiete im Anschluss an ihre isostatische Heraushebung gegen Ende des Karbons nun der Verwitterung und Abtragung ausgesetzt waren. Die Verbreitung von Rotliegend-Sedimenten, meistens in Form von Konglomeraten, ist am Niederrhein allerdings generell gering. Für den Raum Kevelaer gibt es keinen Nachweis, es ist aber durchaus möglich, dass sich solche Ablagerungen im Untergrund des Stadtgebietes befinden.

Mit dem Zentraleuropäischen Becken war im Perm ein großer Senkungsraum im nördlichen Mitteleuropa entstanden, in dem sich ab der Entstehungszeit des Zechsteins flachmarine Bedingungen einstellten. Von dort aus erreichte das Meer über die tektonische Senkungszone der Niederrhein-Ems-Senke auch den nordöstlichen Niederrhein, wo sich ein flaches Randmeer bildete (Abb. 3). Die hohen Lufttemperaturen führten zu einer starken Verdunstung. Da wiederholt die Wasserzufuhr in das niederrheinische Randmeer durch eine

Schwelle nördlich von Bocholt unterbunden wurde, entwickelte sich eine übersalzene Lagune, in der es zur Ausscheidung von Salzgesteinen kam. Dabei lassen sich mehrere Eindampfungszyklen beobachten.

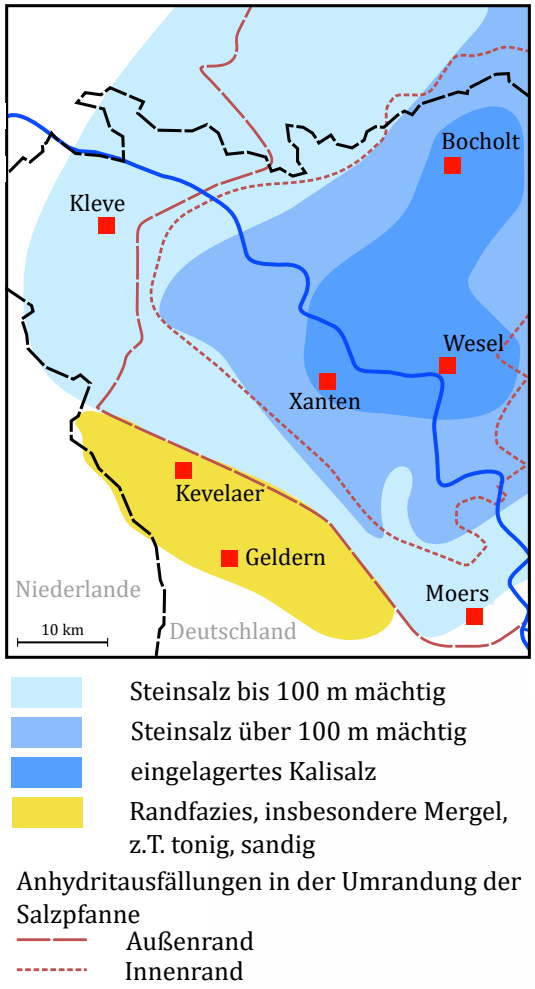


Abb. 3: Die Niederrheinische Salzpfanne im Zechstein, verändert nach Geologisches Landesamt NRW (1988)

Im Zentrum der Lagune, das sich zwischen Xanten und Bocholt befand, entstanden zyklische Abfolgen von Eindampfungsgesteinen, die unter anderem aus Lagen von Kalk- und Dolomitstein, Anhydrit, Stein- und Kalisalz aufgebaut werden. Kevelaer befand sich außerhalb des Beckenzentrums am Westrand der Lagune, so dass sich hier keine mächtigen Eindampfungszyklen mehr finden. Vielmehr lässt sich in Richtung auf den Beckenrand am westlichen Niederrhein erkennen, dass dort die Sedimentfolge wesentlich geringmächtiger und unvollständiger wird. Die Salzausscheidungen werden hier von Sedimenten einer Randfazies abgelöst, die insbesondere Sand- und Tonsteine, Salztone, Kalk- und Dolomitsteine enthält. In mehreren Tiefbohrungen im Stadtgebiet Kevelaer und den Nachbargemeinden wurde Zechstein in Randfazies angetroffen. Dabei zeigt sich, dass sehr große Mächtigkeitsschwankungen auftreten. Grund dafür ist insbesondere das wallartige Anschwellen von Riffdolomit- und Anhydrit-Ablagerungen, die sich parallel zum Lagunenrand verfolgen lassen.

Trias

In Mitteleuropa bestand weiterhin der große, in mehrere Teilbecken gegliederte Sedimentationsraum des Zentraleuropäischen Beckens, der auch als Germanisches Becken bezeichnet wird. Von den umliegenden Hochgebieten wurde Verwitterungsmaterial in dieses Becken transportiert und abgesetzt. Die Ablagerungen im Zentraleuropäischen Becken unterteilen sich in die in der Geologie als Gruppen bezeichneten lithostratigraphischen Einheiten Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper.

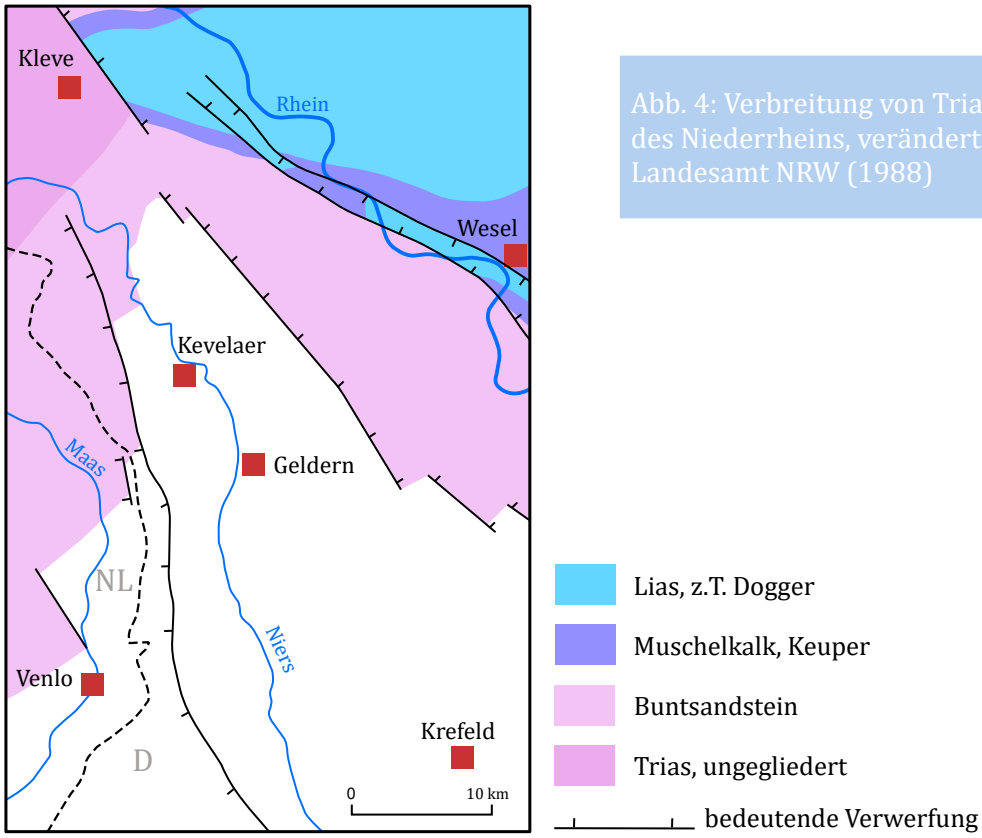


Abb. 4: Verbreitung von Trias und Jura im Untergrund des Niederrheins, verändert nach Geologisches Landesamt NRW (1988)

Zur Zeit des Buntsandsteins lag der Niederrhein am Westrand des Beckens. Unter trockenwarmen, überwiegend wüstenartigen Klimabedingungen bildeten sich vorwiegend terrestrische, gelegentlich aber auch flachmarine Ablagerungen. Im Unteren und Mittleren Buntsandstein erreichten den Niederrhein sandige, teilweise auch konglomeratische Schüttungen aus dem Süden. Sie wurden von periodisch wasserführenden Flüssen und nach gelegentlichen Starkregen-Ereignissen antransportiert. Nach Norden hin, mit zunehmender Entfernung vom Beckenrand, werden die Ablagerungen feinkörniger. Es treten häufig Wechsellagerungen einer sandigen Randfazies und einer tonigen Beckenfazies auf. Im Oberen Buntsandstein kamen generell feinkörnigere Sedimente zum Absatz, weil die den Niederrhein umgebende Landschaft, von der die Sedimente stammten, weitgehend eingeebnet war. Daneben gibt es salinare Bildungen, die durch Ausfällungen in einem übersalzenen Flachmeer entstanden. Im Raum Kevelaer wurde der Untere Buntsandstein, der als Niederrhein-Formation bezeichnet wird, in einigen Tiefbohrungen angefahren. Mittlerer und Oberer Buntstandstein sind vermutlich nicht vorhanden. Die vermutete Verbreitung von Buntsandstein im Untergrund zeigt Abb. 4 für einen Teil des Niederrheins.

Die Muschelkalk-Zeit war in Mitteleuropa geprägt durch flachmarine Verhältnisse. Das Meer nahm weite Teile Deutschlands und Polens ein und stand an seinem Südrand über schmale Meeresarme mit dem offenen Ozean der Tethys in Verbindung. Die Muschelkalk-Zeit ist am Niederrhein durch flachmarine, teilweise auch salinare Bedingungen gekennzeichnet. Aus dem Raum Kevelaer sind keine Ablagerungen des Muschelkalks bekannt (Abb. 4).

Sedimente des nachfolgenden Keupers sind am Niederrhein nur lückenhaft vorhanden. Während des Unteren Keupers zog sich das Meer zurück und in der flachen, reliefarmen Landschaft entstanden limnisch-fluviatile Sedimente. Im Mittleren Keuper gab es einen erneuten, kurzzeitigen Meeresvorstoß in das Zentraleuropäische Becken. Neben Gips und Steinsalz kamen Tonsteine, Mergel und Sandsteine zum Absatz. Im Oberen Keuper entstanden zunächst festländische Ablagerung, in Annäherung an die Jura-Grenze stellten sich jedoch wieder marine Verhältnisse ein und der Niederrhein geriet größtenteils unter den Meerespiegel. Sedimente aus dem Keuper werden im Raum Kevelaer vermutet, da sie auf niederländischer Seite, unweit der Grenze, in Bohrungen angetroffen wurden.

Jura

Mit dem Jura begann ein Zeitabschnitt, der im Mitteleuropa marin geprägt war. Auch der Niederrhein wurde im Unter- und Mitteljura von Meeressedimenten bedeckt. Diese Ablagerungen sind im Raum Kevelaer in der Folgezeit durch Erosion allerdings weitgehend abgetragen worden (Abb. 4).

Im Oberjura wurde der mitteleuropäische Meeresraum durch eine Landmasse in ein nördliches und ein südliches Becken geteilt. Der Niederrhein gehörte dieser Landbrücke an, die sich von Südost-England bis nach Böhmen erstreckte. Die Erosion überwog, Sedimente entstanden am Niederrhein daher kaum.

Kreide

In der Unterkreide waren große Teile Deutschlands weitgehend Festland. In der Hauterive-Stufe reichte dann ein kurzzeitiger Meeresvorstoß, der über das westliche Münsterland erfolgte, bis in den Raum Kevelaer. Dabei kam es zur Ablagerung glaukonitischer Sande. Sedimente aus dieser Zeit finden sich vor allem am nordöstlichen Rand des Niederrheins. Die Küste dieses Meeres dürfte etwa im Stadtgebiet Kevelaer gelegen haben. In der Folgezeit zog sich das Meer zurück, es herrschten dann wieder terrestrische Bedingungen.

An der Wende zur Oberkreide wurden schließlich große Bereiche Mitteleuropas von einem warmen Flachmeer überflutet, aus dem einzelne Landflächen herausragten. Der Niederrhein lag im Randbereich des kreidezeitlichen Meeres. Ablagerungen aus dieser Zeit sind im Raum Kevelaer vorhanden, in ihrer genauen Verbreitung, Mächtigkeit und stratigraphischen Einordnung aber unsicher.

Südlich von Goch bestand eine Fläche, die zur Zeit der Oberkreide nicht permanent überflutet war. Dabei handelt es sich um ein altes, als Krefelder Gewölbe bezeichnetes Hochgebiet. Dieses war schon im Karbon wirksam, denn bereits während der Variszischen Gebirgsbildung setzte es der tektonischen Beanspruchung einen Widerstand entgegen und beeinflusste als starrer Block Faltungsintensität und Faltenverlauf der Karbon-Schichten in seinem Umfeld.

Paläogen und Neogen

Das Tertiär als System besteht im Sinne der offiziellen geologischen Zeitskala nicht mehr. Es wurde aufgeteilt und folglich ersetzt durch die beiden neuen Systeme Paläogen und Neogen. Trotzdem werden der Begriff und der damit verbundene erdgeschichtliche Zeitabschnitt noch häufig benutzt. Auch hier wird Tertiär als zusammenfassende Bezeichnung für Paläogen und Neogen verwendet. Sedimente aus dieser Zeit sind im Untergrund von Kevelaer durchgehend verbreitet, sie erreichen aber nirgendwo die Geländeoberfläche. Meistens liegen sie in 20 bis 30 Metern Tiefe, stellenweise reichen sie bis wenige Meter an die Oberfläche.

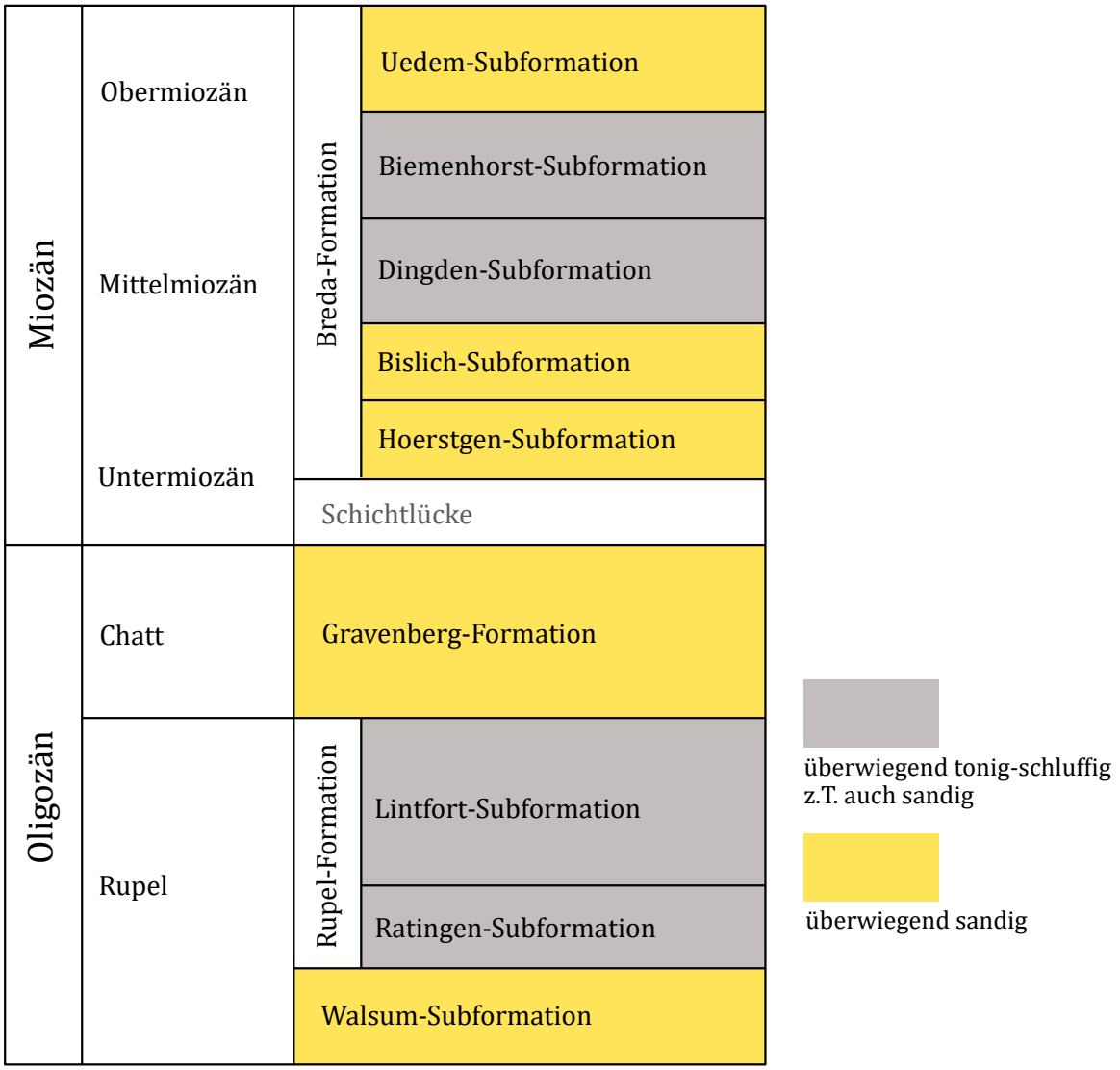
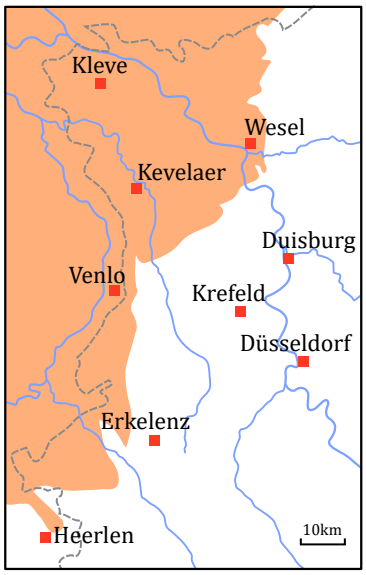


Abb. 5: Stratigraphie von Olizozän und Miozän am Niederrhein

Während des Tertiärs wurde der Niederrhein zu einem tektonischen Senkungsgebiet. Dies ermöglichte es der Nordsee, mehrfach in das Gebiet vorzustoßen. Dabei herrschten bis in das Oligozän tropische Verhältnisse. Die Bereiche, die außerhalb der Meeresüberflutungen lagen,

wurden durch intensive chemische Verwitterung zu reliefarmen Flachlandschaften umgeformt. Flüsse schlängelten sich mit geringem Gefälle durch die eingeebnete Landschaft und transportierten die bei der Verwitterung gelösten Stoffe fort.

Nach einem Meeresrückzug im Verlauf des Paleozäns und einer festländischen Phase im Eozän ereignete sich der größte Meeresvorstoß im Oligozän, als die Absenkung des Niederrheins besonders stark war. Es lagerten sich zunächst die küstennahen Meeressande der Walsum-Formation ab. Anschließend entstanden die tonigen Sedimenten der Ratingen-Subformation, die eine größere Landferne anzeigen. Diese gehen teils undeutlich und diachron in die schluffig-feinsandigen, nach oben hin zunehmend tonigen Ablagerungen der Lintfort-Subformation über. Zeitlich werden diese marinen Sedimente alle in die Rupel-Stufe gestellt.



Breda-Formation

Abb. 6: Verbreitung der Breda-Formation im Untergrund des Niederrheins

In der folgenden Chatt-Stufe erreichte das Meer seine größte Ausdehung am Niederrhein. Sogar der Rand des Bergischen Landes wurde dabei überflutet. Ursache war die starke tektonischen Absenkung der Niederrheinischen Bucht in dieser Zeit. Es entstanden die glaukonithaltigen und teils sehr fossilreichen Sedimente der Grafenberg-Formation. Nach einem Meeresrückzug im frühen Miozän erfolgten weitere Meeresvorstöße im Verlauf des Miozäns. Abb. 5 zeigt die Stratigraphie von Oligozän und Miozän am Niederrhein, wie sie grundsätzlich auch für den Raum Kevelaer gültig ist. In Abb. 6 ist die Ausbreitung der miozänen Meeressedimente, die zur Breda-Formation zusammengefasst werden, im Untergrund des Niederrheins dargestellt.

In Kervenheim wurde 1987 bei Kartierarbeiten das fast komplette Skelett eines Wals gefunden. Dieser bisher sicherlich beeindruckendste Fossilfund am Niederrhein befand sich in miozänen Meeressanden, die während des Quartärs in eine Stauchendmoräne eingeschuppt worden waren. Das Skelett wird heute im Eingangsbereich des Geologischen Dienstes in Krefeld präsentiert. Bisher letztmalig erreichte das Meer im Pliozän den Niederrhein. Die Küste des pliozänen Meeres lag etwas nördlich von Kevelaer. Im Pliozän kam es bereits zu einer deutlichen Abkühlung des Klimas, die sich im folgenden Quartär weiter verstärkte.

Quartär

Der Blick auf die geologische Karte in Abb. 1 zeigt, dass das Stadtgebiet Kevelaer an der Oberfläche ausschließlich von jungen Lockersedimenten des Quartärs eingenommen wird. Das Quartär ist das jüngste geologische System und geprägt von Klimaschwankungen, die mehrfach zu einer Vereisung großer Teile Nordeuropas führten. Diese Klimaschwankungen, die bereits im ausgehenden Neogen begannen, haben ihre Ursache in der Überlagerung zyklischer Änderungen der Erdbahnparameter. In mindestens drei Kaltzeiten, die als Elster-, Saale- und Weichsel-Kaltzeit bezeichnet werden, erreichten aus Skandinavien kommende Gletscher das nördliche Mitteleuropa. Zwischen diese Vereisungsphasen schalteten sich jeweils Warmzeiten ein. Die bisher letzte und aktuelle Warmzeit ist das Holozän. Eine Gliederung des Pleistozäns mit den überlieferten Ablagerungen am Niederrhein zeigt Abb. 12 am Ende dieses Kapitels.

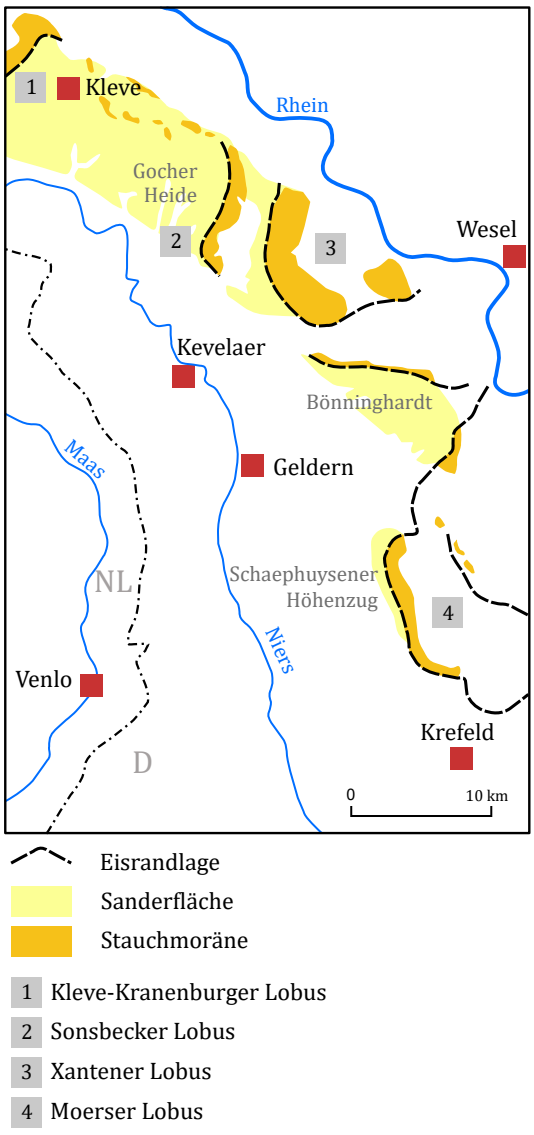


Abb. 7: Eisrandlagen mit Stauchmoränen und Sanderflächen am Niederrhein, eigene Darstellung, Daten nach Skupin & Zandstra (2010)

Während der Elster- und Weichsel-Kaltzeit blieb der Niederrhein eisfrei. Im Vorfeld der Gletscher herrschte ein Periglazialklima, das durch große Kälte und Trockenheit gekennzeichnet war. In der Saale-Kaltzeit, als das Inlandeis am weitesten nach Südwesten vorstieß,

erreichten die Gletscher den Niederrhein und stoppten erst im Raum Uedem. Nördlich von Kervenheim reicht ein kleiner Anteil der saalezeitlichen Stauchmoräne noch bis auf das Stadtgebiet Kevelaer. Der Niederrheinische Höhenzug, der sich von Krefeld bis kurz vor das niederländische Nimwegen erstreckt, markiert diesen maximalen Ausbreitungsstand des saalezeitlichen Inlandeises (Abb. 7). Der Rhein wurde in der Saale-Kaltzeit durch die vorrückenden Eismassen abgedrängt und floss über Neuss, Geldern und Kevelaer nach Goch und von dort weiter nach Nordwesten.

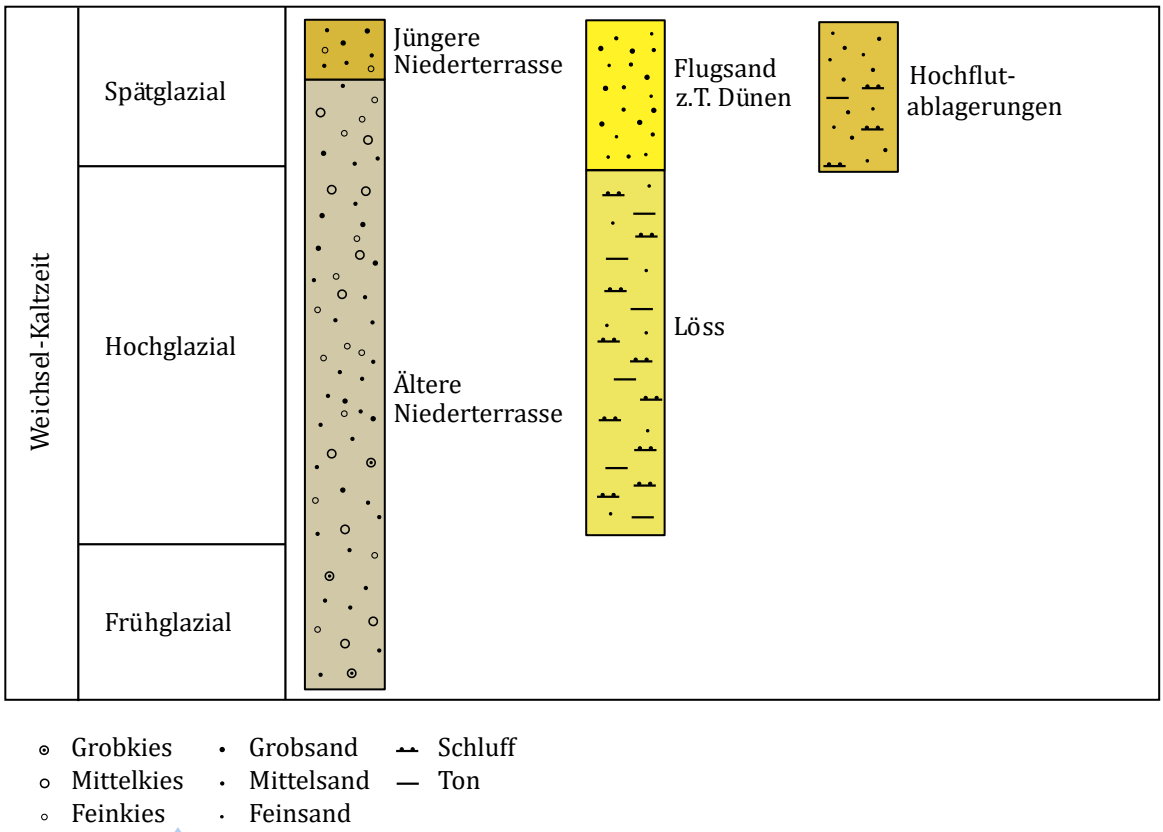


Abb. 8: Sedimente der Weichsel-Kaltzeit in Kevelaer, schematisch

Als kaltzeitliche Flussablagerungen sind Terrassen des Rhein-Maas-Stromsystems am Niederrhein weit verbreitet und stellen die größte Menge der quartärzeitlichen Sedimente. In den Kaltzeiten führten die Flüsse während der frühsommerlichen Schneeschmelze sehr viel Wasser und verfrachteten dabei große Mengen an Sediment. Das kaltzeitliche Klima führte zu einer starken physikalischen Verwitterung und lieferte somit das erforderliche Lockermaterial. Im Herbst und Winter kam die Wasserführung dagegen weitgehend zum Erliegen. Unter solchen Bedingungen entstanden in die Breite wachsende Stromsysteme aus zahlreichen, sich oft verlagernden Flussrinnen und flachen Inseln, die man als verwilderte Flusssysteme und die dabei abgelagerten Sedimente als Terrassen bezeichnet.

Die ältesten Terrassen entstanden in kühlen Phasen im Altpleistozän, also noch bevor mit der Elster-Kaltzeit erstmalig das Inlandeis Deutschland erreichte. Diese als Hauptterrassen bezeichneten Sedimente sind im Gemeindegebiet Weeze und im Stadtgebiet Geldern unter jüngeren äolischen Sedimenten anzutreffen, nicht aber in Kevelaer.

Die in der Elster-Kaltzeit aufgeschotterte Oberen Mittelterrasse ist westlich und südwestlich von Twisteden nahe der Oberfläche erhalten geblieben. Es handelt sich um eine Wechsellagerung aus Kiesen und groben Sanden. Es lassen sich drei unterschiedliche Niveaus der Oberen Mittelterrasse unterscheiden, die in der geologischen Karte (Abb. 1) jedoch nicht differenziert werden. Solche Terrassenniveaus gehen auf einen Wechsel von Erosion und Akkumulation zurück, ausgelöst etwa durch Klimaschwankungen und damit Änderungen im Abflussverhalten der Flüsse. Aber auch tektonische Bewegungen können dabei eine Rolle spielen. So gibt es am westlichen Niederrhein junge Bruchtektonik, die den Untergrund in einzelne Schollen zerlegt hat und die auch Einfluss auf die Anlage der Flussterrassen hatte.

In Oberflächennähe wird das Stadtgebiet Kevelaer großräumig von Ablagerungen der Weichselkaltzeit eingenommen, insbesondere von der vom Rhein aufgeschotterten Niederterrasse. In Abb. 8 ist das Spektrum der weichselzeitlichen Sedimente mit ihrer zeitlichen Entstehung für den Raum Kevelaer dargestellt. Die Niederterrasse tritt in der Landschaft als eine weite Ebene in Erscheinung (Abb. 9) und besteht überwiegend aus kiesigen Mittel- und Grobsanden. Diese Sedimente treten meistens nicht unmittelbar zutage, sondern werden von einer dünnen Schicht aus spätglazialen Hochflutablagerungen oder von äolischen Sedimenten überdeckt. Diese Auflage ist zu gering, um in der geologischen Karte (Abb. 1) oder dem Profilschnitt (Abb. 2) dargestellt zu werden.

Abb. 9: Ebene der Älteren Niederterrasse

Die Niederterrasse ist in zwei Niveaus ausgebildet, wobei sich die Jüngere Niederterrasse erosiv in den Terrassenkörper der Älteren Niederterrasse eingetieft hat. Der Bildungszeitraum der Älteren Niederterrasse umfasst beinahe die gesamte Weichsel-Kaltzeit und endete erst mit dem Alleröd-Interstadial im Spätglazial. Im Alleröd-Interstadial kam es zu einer Phase verstärkter Erosion, bei der der Terrassenkörper teils kräftig ausgeräumt wurde, ehe die Aufschotterung der Jüngeren Niederterrasse einsetzte.

Wie bereits erwähnt, ist die Auflage der Niederterrasse im Regelfall zu gering, um in der Karte dargestellt zu werden. Weit verbreitet ist Flugsand, der ebenfalls eine typische Hinterlassenschaften der Kaltzeiten darstellt. In den glazialen Kältewüsten im Vorfeld der Gletscher

fehlte eine geschlossene Pflanzendecke, so dass der Wind unter sehr trockenen Klimabedingungen große Mengen an Lockersedimenten aufnehmen, verfrachten und als Flugsand wieder absetzen konnte. Dieser überlagert somit als dünner Sedimentschleier die Geländeoberfläche. Flugsand ist eine Bildung des Spätglazials und seine Aufwehung reichte bis in das Holozän. Sein Vorkommen im Holozän steht im Zusammenhang mit menschlichen Rodungs- und Ackerbautätigkeiten. Er besteht vor allem aus gelblichen, teils recht grobkörnigen Sanden. Abb. 10 zeigt das sandige, aus Flugsand bestehende Substrat im Wurzelbereich eines umgefallenen Baumes südöstlich von Winnekendonk. Flugsandflächen sind wegen ihrer ungünstigen landwirtschaftlichen Eigenschaften heute meistens Wald- oder Heideflächen.

Abb. 10: Gelblicher Flugsand, südöstlich von Winnekendonk

Bei stärkerer Aufwehung kam es stellenweise auch zur Bildung von Dünen. Ein solcher Dünenbereich ist die Schravelsche Heide zwischen Kevelaer und Winnekendonk. Abb. 11 zeigt im Bildhintergrund eine Düne östlich der Issumer Fleuth, etwa auf halber Strecke zwischen Wetten und Geldern-Kapellen. Diese erhebt sich nur wenige Meter über das Umland, ihre Lage ist trotz ihrer geringen Höhe auf dem Foto durch den Kiefern- und Birkenbewuchs gut erkennbar.

Innerhalb der quartärzeitlichen Sedimente dominieren die Bildungen der Kaltzeiten. Dagegen sind warmzeitliche Ablagerungen sehr selten und auf kleinräumige Vorkommen beschränkt. Bei ihnen handelt es sich in der Regel um feinkörnige, oft humose Bildungen, die in verlandenden Seen oder Altarmen entstanden. In den Warmzeiten des Quartärs entwickelte sich ein Klima, das dem heutigen vergleichbar war. Dabei kam es jeweils zur Wiederbewaldung des Niederrheins und zur Neubildung der Böden. Der Abfluss der Flüsse war gleichmäßiger als in den Kaltzeiten, ihr Gefälle wegen des höher liegenden Meeresspiegels geringer und die Sedimentfracht wegen der geänderten Verwitterungsbedingungen insgesamt feinkörniger. Es bildeten sich daher eher mäandrierende Flussverläufe.

Abb. 11: Düne südöstlich der Issumer Fleuth

Das Holozän, das vor rund 11000 Jahren begann, ist die aktuelle Warmzeit, in der wir heute leben. Nach dem Ende der letzten Kaltzeit stiegen die Temperaturen schnell an. Allerdings war dies kein kontinuierlicher Prozess, denn im Verlauf des Holozäns gab es mildere und kühlere Abschnitte. Mit dem Holozän begann auch die rasche Wiederbewaldung der mitteleuropäischen Landschaft. Die in Warmzeiten in Mitteleuropa auftretenden Baumarten hatten sich während der Kältephasen des Quartärs jeweils in wärmere Regionen weiter südlich zurückgezogen. Von dort wanderten sie nach Ende der Kaltzeiten wieder ein. So dauerte es nicht lange, bis auch der Niederrhein zunächst von lichten, dann zunehmend von dichteren Wäldern bedeckt war. Schließlich war es der Mensch, der Wälder rodete, Ackerbau betrieb und die Landschaft vollständig nach seinen Bedürfnissen umgestaltete.

Der Rhein, der in der letzten Kaltzeit mit seinen zahlreichen Armen große Teile der Niederrheinischen Bucht eingenommen hatte und dessen fluviatile Sedimente in Form ausgedehnter Flussterrassen auch im Stadtgebiet Kevelaer weiträumig auftreten, konzentrierte sich im Holozän auf nur eine Abflussrinne. Mit der Verlagerung des Rheins nach Osten in sein heutiges Bett konnte sich die Niers als wichtigster Fluss in der Landschaft des linken Niederrheins etablieren.

Das geänderte Klima führte dazu, dass die Fließgewässer im Holozän wieder eine weitgehend kontinulierliche Wasserführung hatten. Bei geringem Gefälle begannen sie zu mäandrieren und sich in den Untergrund einzutiefen, wobei die kaltzeitlichen Terrassenflächen zerschnitten wurden. Von den Flüssen und Bächen im Holozän abgesetzte Auensedimente können tonig, lehmig oder sandig sein und nehmen die heutige Talaue ein.

			Niederrhein	Raum Kevelaer
Pleistozän	Weichsel-Kaltzeit	Spätglazial	Flugsand/Dünen Hochflutablagerungen Jüngere Niederterrasse	Flugsand/Dünen Hochflutablagerungen Jüngere Niederterrasse
		Hochglazial	Löss Ältere Niederterrasse	Ältere Niederterrasse
		Frühglazial		
	Eem-Warmzeit		Eem-Schichten	
	Saale-Kaltzeit	Warthe-Stadium	Untere Mittelterrasse 4	
		Warmphase		
		Drenthe-Stadium	Untere Mittelterrasse 3 Grundmoräne Untere Mittelterrasse 2	Untere Mittelterrasse
	Holstein-Warmzeit		Holstein-Schichten	
	Elster-Kaltzeit		Untere Mittelterrasse 1 Mittlere Mittelterrasse Obere Mittelterrassen	Obere Mittelterrassen
	Cromer-Komplex		Jüngere Hauptterrassen	
	ältere Kalt- und Warmzeiten		Tegelen-Schichten Ältere Hauptterrassen	

Abb. 12: Gliederung des Pleistozäns mit wichtigen Ablagerungen am Niederrhein und in Kevelaer

Tektonik

Die Niederrheinischen Bucht ist ein junges tektonisches Senkungsgebiet. Der Untergrund ist blockartig in mehrere, gegeneinander verkippte Schollen zerlegt. Das tektonische Hauptelement im Raum Kevelaer ist dabei das Viersener Sprungsystems, das die Venloer von der Krefelder Scholle trennt. Beide Schollen sind nach Osten hin eingekippt. Der ganz überwiegende Teil des Stadtgebietes Kevelaer liegt auf der Krefelder Scholle. Abb. 13 zeigt diese Struktur in einer stark vereinfachten Form. Das Viersener Sprungsystem reicht etwa von der niederländischen Grenze bis in den Raum Köln. Das Stadtgebiet Kevelaer durchzieht es westlich von Twisteden. Dabei handelt es sich um mehrere, etwa Nordwest-Südost streichende Auf- und Abschiebungen, die an der Grenze beider Schollen eine Abfolge von kleineren Graben- und Horststrukturen erzeugt haben. Zusätzlich treten am Viersener Sprungsystem auch Horizontalverschiebungen auf.

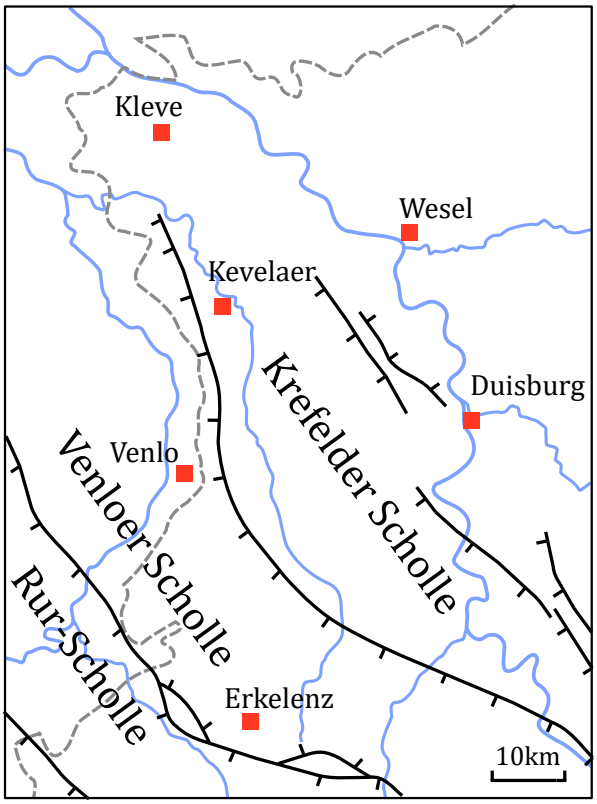


Abb. 13: Tektonische Strukturen im Untergrund des Niederrheins

Die Anlage der Störungen war bereits variszisch. Unterschiedliche Schichtmächtigkeiten auf beiden Seiten des Sprungsystem sprechen für eine mehrfache Aktivierung der Störungszone. Aktiv war sie auch in der Oberkreide, wobei oftmals Inversionsbewegungen auftraten. Ursprüngliche Abschiebungen, die Ausdruck tektonischer Dehnung sind, wurden so zu Aufschiebungen, die Einengung anzeigen. Besondere Bedeutung bekamen die Störungen bei der Entstehung der Niederrheinischen Bucht im Tertiär. Diese Veränderungen standen im Zusammenhang mit einer großen, vom Mittelmeerraum bis in die Nordsee reichenden Grabenbildung, deren Verlauf auch die Region des heutigen Niederrheins querte. Eine besonders starke Absenkung der Niederrheinischen Bucht fand am Ende des Oligozäns statt, ebenso an der Grenze vom Pliozän zum Pleistozän. Bis heute halten die tektonischen Spannungen an. So kommt es am Niederrhein auch in der Gegenwart noch zu tektonischen Bewegungen, die gelegentlich Auslöser von Erdbeben sein können.

Neben der relativ jungen Tektonik in Oberflächennähe findet sich eine tektonische Beanspruchung des tiefen, variszisch gefalteten Untergrundes, der als Grundgebirge bezeichnet wird. Neben Bruchtektonik tritt hier auch Faltung auf. Diese entstand am Ende des Karbons im Rahmen einer großen Gebirgsbildungsphase. Die Karbon-Schichten im Stadtgebiet Kevelaer sind in ihrer Lage und Faltung beeinflusst worden durch die Schichtaufbiegung des nahen Krefelder Gewölbes.

Die variszische Faltung des Karbons läuft am mittleren und nördlichen Niederrhein allmählich aus. Es treten dann nur noch sehr flache Faltenstrukturen auf. Zudem ist die gesamte Karbon-Oberfläche heute leicht nach Nordwesten gekippt und wird in diese Richtung von zunehmend mächtigeren mesozoisch-känozoischen Lockersedimenten überlagert. Im Raum Kevelaer nehmen die Deckschichten über den gefalteten Karbon-Ablagerungen eine Mächtigkeit von rund 500 m ein.

Anhang

	System	Alter mio Jahre	Serie/Gruppe
Känozoikum	Quartär	2,6	Holozän Pleistozän
	Neogen	24	Pliozän Miozän
	Paläogen	65	Oligozän Paleozän Eozän
Mesozoikum	Kreide	142	Unterkreide Oberkreide
	Jura	200	Lias Dogger Malm
	Trias	251	Keuper Muschelkalk Buntsandstein
Paläozoikum	Perm	296	Rotliegend Zechstein
	Karbon	358	Unterkarbon Oberkarbon
	Devon	417	Unterdevon Mitteldevon Oberdevon

Silur bis Kambrium sind nicht dargestellt

Geologische Zeitskala vom Devon bis zum Quartär

Glossar

Anhydrit

Anhydrit ist ein weißliches bis durchsichtiges Mineral, das bei der Eindampfung von Meereswasser ausfällt. Chemisch handelt es sich um Kalziumsulfat. Kommt Anhydrit längere Zeit mit Wasser in Kontakt, wandelt sich das Mineral unter großer Volumenzunahme in Gips um.

diachron

Eine Schicht wird durch eine untere und eine obere Grenzfläche definiert, die einen Wechsel der Ablagerungsbedingungen kennzeichnen. Dieser Wechsel muss an verschiedenen Orten nicht zur gleichen Zeit erfolgt sein. So kann eine Schichtgrenze an zwei auseinanderliegenden Raumpunkten verschiedene Zeitpunkte repräsentieren und wäre in dem Fall diachron.

Diagenese

Unter Diagenese fasst man die physikalischen und chemischen Umwandlungsprozesse zusammen, die ein Sedimentgestein nach seiner Ablagerung erfährt und die zu seiner Verfestigung führen. Diagenetische Vorgänge laufen in Oberflächennähe bei niedrigen Temperatur- und Druckverhältnissen ab. Steigen Temperatur und Druck bei Versenkung des Gesteins in größere Tiefe an, dann beginnt die Metamorphose.

Diskordanz, diskordant

Diskordanz bedeutet das winkelige oder unregelmäßige Aufeinanderliegen von Gesteinsschichten. Ursache kann beispielsweise eine tektonische Verstellung und anschließende Einebnung sein, bevor die neue Schicht zur Ablage kommt.

Dolomit

Bei Dolomit handelt es sich um ein Kalzium-Magnesium-Karbonat, das eng mit Kalzit verwandt ist. Dolomit entsteht entweder primär durch Ausfällung im Wasser oder sekundär durch Austausch eines Teils der Ca-Ionen durch Mg-Ionen im Kristallgerüst von Kalzit-Mineralen. Ein Gestein, das überwiegend aus dem Mineral Dolomit besteht, wird ebenfalls Dolomit genannt.

Formation

Als Formation wird eine im Gelände gut erkennbare lithostratigraphische Gesteinseinheit bezeichnet, die zur exakten Beschreibung und Untergliederung einer regional verbreiteten Gesteinsabfolge dient. Die Formation ist die Grundeinheit in der Lithostratigraphie. Sie kann unterteilt oder mit anderen Formationen zu größeren Einheiten zusammengefasst werden kann.

Glaukonit

Glaukonit gehört zu den Schichtsilikaten. Typisch ist die grünliche bis bläuliche Farbe des Minerals. Glaukonit bildet sich im Flachwasserbereich durch diagenetische Umwandlung aus anderen Schichtsilikaten. Sein Vorkommen im Gestein deutet daher auf einen küstennahen Bildungsort hin.

Hauterive (Hauterivium)

Das Hauterive ist eine nach der gleichnamigen Schweizer Ortschaft benannte chronostratigraphische Stufe der Unterkreide. Es begann vor ca. 134 Millionen Jahren und endete vor rund 131 Millionen Jahren.

Kaledonische Gebirgsbildung

Die Kaledonische Gebirgsbildung fand im Ordovizium und Silur statt. Die Landmassen Baltica, Laurentia und Avalonia kollidierten dabei unter Schließung der zwischen ihnen liegenden Ozeane. Es entstand ein Gebirge, das weite Teile Nordeuropas umfasste und sich über Grönland bis in den Osten Nordamerikas erstreckte.

klastische Sedimente

Klastische Sedimente bestehen aus dem Gesteinsmaterial anderer Gesteine, die insbesondere durch mechanische Verwitterung zerkleinert wurden. Nach Korngröße unterscheidet man Kies, Sand, Schluff und Ton.

Mergel

Mergel ist ein Lockersediment, das aus fein verteiltem Kalzit und Ton besteht. Auch Schluff und Sand können als Bemengungen auftreten. Je nach Mengenverhältnis der einzelnen Komponenten gibt es eine umfangreiche Klassifizierung. So unterscheidet man unter anderem Sandmergel, Tonmergel und Kalkmergel. Im verfestigten Zustand spricht man von Mergelstein.

Stromatoporen

Als Stromatoporen wird eine Gruppe von koloniebildenden Bewohner warmer Flachmeere bezeichnet, die vor allem im Paläozoikum mit ihren Kalkskeletten neben den Korallen maßgeblich am Aufbau der Riffe beteiligt waren. Am Ende der Kreide starben die Stromatoporen aus.

Stufe

Die kleinste geologische Zeiteinheit für die Gliederung eines Gesteinskörpers, die im weltweiten Maßstab Verwendung findet, wird als Stufe bezeichnet. Eine Stufe umfasst normalerweise einen Zeitraum von einigen Hunderttausend bis hin zu mehreren Millionen Jahren.

System

Ein System ist eine geologische Zeiteinheit für einen mehrere Mio. Jahre dauernden Zeitabschnitt der Erdgeschichte. Beispiele sind: Devon, Karbon, Trias usw. Ein System kann wiederum in weitere Serien unterteilt werden.

Terrasse

Flüsse verursachen neben Erosion auch Sedimentaufschüttungen. Damit entstehen Sedimentkörper, die als Terrassen oder Flussterrassen bezeichnet werden. Sie stellen Verebungsflächen im Bereich von Tälern dar. Durch eine fortschreitende Eintiefung des Flusses können

ineinander geschachtelte Terrassen entstehen und sich markante Geländekanten als Begrenzung der ebenen Terrassenflächen bilden.

Tethys

Als am Ende des Paläozoikums der Großkontinent Pangäa (alternative Schreibweise Pangaea) entstanden war, wurde dieser vom riesigen Panthalassa-Ozean umgeben. An der Ostseite Pangäas ragte ein Meeresarm in die neue Landmasse. Dieses Meer war die Tethys. Sie spielte in der Folgezeit eine besondere Rolle bei der Alpidischen Gebirgsbildung, da sich die Tethys mit dem Aufbrechen Pangäas immer weiter nach Westen ausbreitete. Durch die Alpidische Gebirgsbildung wurde die Tethys letztlich größtenteils verschluckt. Das heutige Mittelmeer stellt noch ein Überbleibsel der Tethys dar.

Variszische Gebirgsbildung

Bei der Variszischen Gebirgsbildung handelt es sich um eine Gebirgsbildungsphase im Paläozoikum, die ihren Höhepunkt am Ende des Karbons hatte. Durch Kollision von Laurussia mit Gondwana einschließlich einiger Kleinkontinente entstand der Großkontinent Pangäa. Das dabei aufgefaltete Gebirge durchzog Europa in einem weiten Bogen von den Britischen Inseln über Deutschland bis nach Polen. Gesteine, die während der Variszischen Gebirgsbildung abgelagert und gefaltet wurden, findet man beispielsweise im Harz und im Rheinischen Schiefergebirge.

Literatur

AHORNER, L. (1962): Untersuchungen zur quartären Bruchtektonik der Niederrheinischen Bucht. - Eiszeitalter und Gegenwart, 13: 24 - 105, 23 Abb., 4 Taf.; Öhringen

EHLERS, J. (1994): Allgemeine und historische Quartärgeologie. - 358 S., 176 Abb.; Stuttgart

GEOLOGISCHER DIENST NRW (2016): Geologie und Boden in Nordrhein-Westfalen. - 157 S.; Krefeld

GEOLOGISCHES LANDESAMT NORDRHEIN-WESTFALEN (1988): Geologie am Niederrhein. - 142 S., 39 Abb., 4 Tab.; Krefeld

GRABERT, H. (1998): Abriß der Geologie von Nordrhein-Westfalen. - 351 S., 204 Abb., 11 Tab.; Stuttgart

KLOSTERMANN, J. (1984): Erläuterungen zu Blatt 4403 Geldern. - 138 S., 8 Abb., 13 Tab., 3 Taf.; Krefeld

KLOSTERMANN, J. (1992a): Erläuterungen zu Blatt 4303 Uedem. - 130 S., 8 Abb., 12 Tab., 3 Taf.; Krefeld

KLOSTERMANN, J. (1992b): Das Quartär der Niederrheinischen Bucht. - 200 S., 30 Abb., 8 Tab., 2 Taf.; Krefeld

KLOSTERMANN, J. (1997): Erläuterungen zu Blatt C4302 Bocholt. - Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1:100000, 86 S., 21 Abb., 5 Tab.; Krefeld

KLOSTERMANN, J. (1997): Erläuterungen zu Blatt 4302 Goch. - Geol. Kt. Nordrh.-Westf. 1:25000, 146 S., 11 Abb., 10 Tab., 2 Taf.; Krefeld

MESCHEDE, M. (2015): Geologie Deutschlands. - 249 S.; Berlin, Heidelberg

PAAS, W. (1961): Rezente und fossile Böden auf niederrheinischen Terrassen und deren Deckschichten. - Eiszeitalter und Gegenwart, 12: 165 - 230, 32 Abb.; Öhringen

SIEBERTZ, H. (1983): Sedimentologische Zuordnung saalezeitlicher Gletscherablagerungen zu mehreren Vorstößen am unteren Niederrhein. - Eiszeitalter und Gegenwart, 33: 119 – 132, 6 Abb., 2 Tab.; Öhringen

SIEBERTZ, H. (1984): Die Stellung der Stauchwälle von Kleve-Kranenburg im Rahmen der saalezeitlichen Gletschervorstöße am Niederrhein. - Eiszeitalter und Gegenwart, 34: 163 - 178, 8 Abb., 1 Tab.; Öhringen

SKUPIN, K. & ZANDSTRA, J.G. (2010): Gletscher der Saale-Kaltzeit am Niederrhein. - 117 S., 30. Abb.; Krefeld

VAN DE MEENE, E.A. & ZAGWIJN, W.H. (1978): Die Rheinläufe im deutsch-niederländischen Grenzgebiet seit der Saale-Kaltzeit. Überblick neuer geologischer und pollenanalytischer Untersuchungen. - Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 28: 345 - 359, 4 Abb., 1 Tab.; Krefeld

WALTER, R. (2003): Erdgeschichte. - 325 S., 104 Abb., 5. Auflage; Berlin