

Teil A: Geowissenschaftliche Grundlagen

1 Geologischer Untergrund

1.1 Entwicklung des Norddeutschen Beckens

Peer Hoth

Der unter den Eiszeit-Ablagerungen liegende tiefere Untergrund Norddeutschlands wird von mächtigen Sedimentgesteinsfolgen paläozoischen bis känozoischen Alters und eingeschalteten Vulkanitablagerungen aufgebaut. Die zumeist zwischen 2 km und über 10 km mächtigen Ablagerungen sind Zeugnis einer mindestens seit dem Mittleren Paläozoikum bestehenden generellen Absenkungstendenz.

Der als Norddeutsche Senke bezeichnete Absenkungsraum wird im Norden durch das Ringkøbing-Fünen-Hoch, durch das Moen-Hoch sowie durch das Arkona-Hoch von der Dänischen- und der Baltischen Senke begrenzt. Die heutige südliche Grenze des Senkungsraumes ist, bedingt durch starke Veränderungen der südlichen Ausdehnung des Sedimentationsraumes während seiner geologischen Geschichte, nicht überall exakt festzulegen. Der Nordrand des Münsterlandes an der Osning-Überschiebung, die Flechtinger-Roßblauer Scholle und die Lausitzer Scholle stellen die wesentlichen südlichen Begrenzungen dar. In Richtung Osten und Nordwesten existieren keine scharfen Abgrenzungen, sondern Verbindungen zur Nordsee- und zur Polnischen Senke. Auf die Verbindung zu letzterer geht die Bezeichnung Norddeutsch-Polnische Senke zurück. Diese bildet den Zentralabschnitt des großen Senkungsraumes der sich im Nordteil der Westeuropäischen Tafel zwischen der südwestlichen Randzone des Osteuropäischen Kratons und dem variszisch-alpidischen Mobilgürtel in E-W bzw. WNW-ESE Richtung erstreckt und der als Mitteleuropäische Senke bezeichnet wird (Abbildung 1-1).

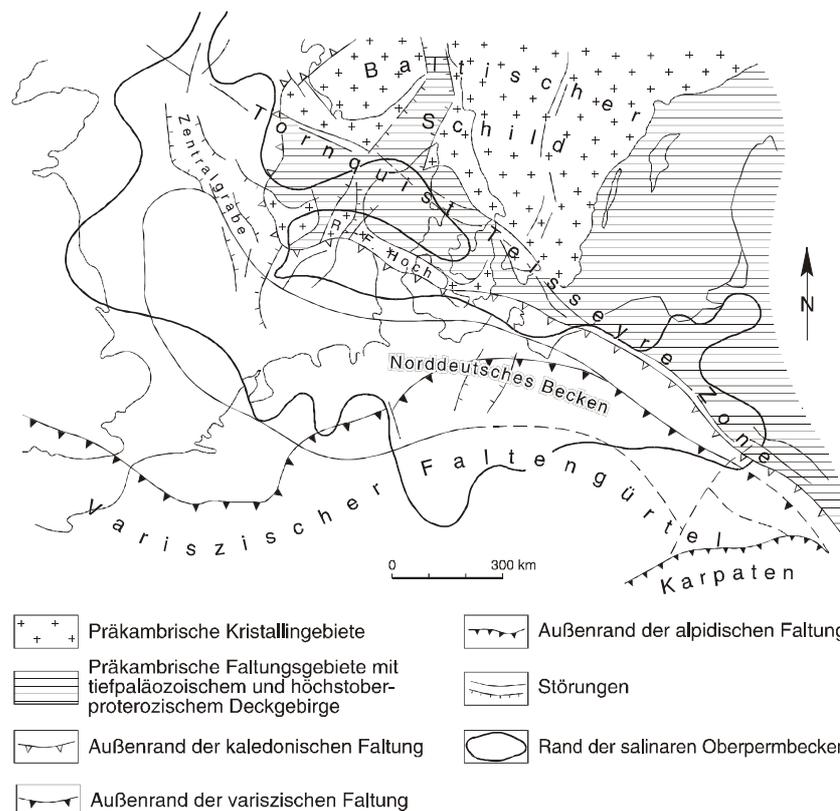


Abbildung 1-1: Lage der Mitteleuropäische Senke und ihrer wichtigsten Teilsenken

Die Mitteleuropäische Senke ist tektonisch in eine Anzahl von Teilsenken (z. B. Dänische-, Polnische-, Niederländische-, Norddeutsche Senke) untergliedert, deren Anlage und Entwicklung hauptsächlich durch die spät-tektonogenetische Heraushebung des variszischen Morphogens, die Öffnung und Weitung des Nordatlantik und durch die alpidische Kollisionstektonik geprägt worden sind. Diese Prozesse bestimmen somit zusammen mit global wirkenden Faktoren (z. B. Klima, Meeresspiegelschwankungen) den paläodynamischen Charakter der Entwicklungsstadien der einzelnen Senkungsgebiete. Der stärker auf die Sedimentfüllung bezogene Begriff „Becken“ (Sedimentbecken definiert als Senkungsgebiete mit akkumulierten Sedimentmächtigkeiten von zumeist mehr als 1 km, die mehr oder weniger zusammenhängend erhalten sind) wird für die einzelnen Entwicklungsstadien der Teilsenken mit unterschiedlich ausgedehnten Sedimentationsräumen verwandt bzw. z. T. auch für diese Senkungsgebiete insgesamt synonym benutzt. Der Hauptunterschied der Beckenentwicklung in der Mitteleuropäischen Senke zu den intrakontinentalen Senken der Westeuropäischen Tafel besteht in der Existenz einer intensiven Absenkung im unmittelbaren Anschluß an die variszische Tektogenese.

Das Norddeutsche Becken ist nach Schwab (1985) dem Typ der perikratonalen Senken zuzuordnen. Diese sind im Gegensatz zu den intrakratonalen Senken (wie z. B. Pariser und Aquitanisches Becken) im Grenzbereich der Kratone zu tektonischen Mobilzonen entstanden. Schwab (1985) gliedert den Absenkungsprozeß seit dem höchsten Oberkarbon in Anlage-, Hauptabsenkungs-, Differenzierungs- und Stabilisierungsstadium (Abbildungen 1-2), wobei besonders das Anlagestadium sehr enge Beziehungen zur spätvaristischen Entwicklung und zum tektonischen Strukturbaue des Beckenfundamentes aufweist.

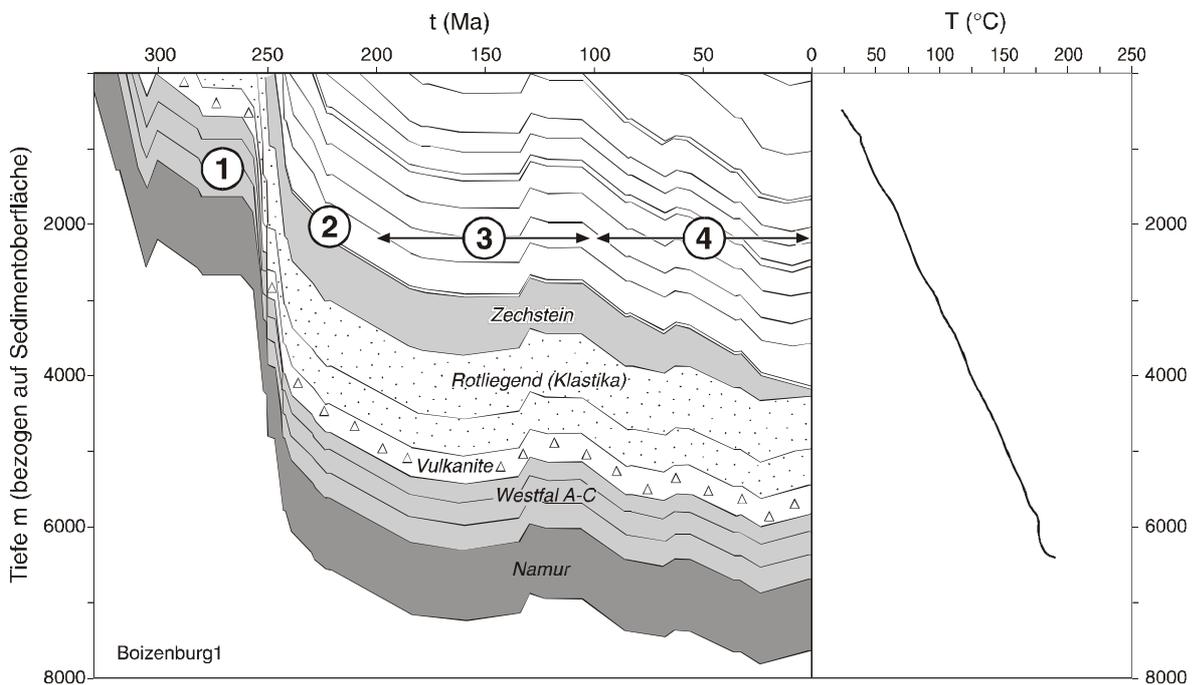


Abbildung 1-2: Absenkungsdiagramm Bohrung Boizenburg

Die teilweise kontroversen Vorstellungen über den geologischen Tiefenbau Norddeutschlands bzw. das Beckenfundament wurden durch Franke et al. (1989), Dohr (1989), Bachmann und Grosse (1989), Franke (1990), Walter (1992) sowie Hoth (1997) zusammenfassend dargestellt.

Sie reichen von der Annahme der Existenz eines zentralen Tiefenmassivs (spätestens kaledonisch stabilisiertes Norddeutsches Massiv) mit einer südlich angrenzenden variszischen Faltenzone und einem schmalen kaledonischen Faltenstrang im Norden bis zur Existenz eines am Ende der kaledonischen Entwicklung zwischen dem Baltischen Schild und dem Gebiet südlich bzw. südwestlich der Elbe-Linie verbleibenden Mobilraumes mit geringerer Krustenmächtigkeit.

Das von Schwab (1985) definierte Anlagestadium (höheres Stefan bis unteres Oberrotliegendes) umfaßt subsequenten Magmatismus und Hauptmolasse-Sedimentation. Es ist bei Annahme des am Ende der kaledonischen Entwicklung verbleibenden Mobilraumes nicht als Anlage eines völlig neuen Senkungsraumes aufzufassen, sondern als Beginn einer erneuten Absenkung eines wesentlich älter angelegten Subsidenzraumes. Während des Anlagestadiums kam es zur Ausbildung vorwiegend NNE-SSW, WNW-ESE und NNW-SSE streichender Tiefenstörungen. Diese Störungen besaßen sowohl für das Aufdringen magmatischer Tiefenkörper und der teilweise bis über 3000 m mächtigen Vulkanite als auch durch ihre mehrmalige Reaktivierung für die weitere tektonische Entwicklung des Beckens besondere Bedeutung.

Mit dem jüngeren Oberrotliegenden (post-Illawara) begann das auf das Anlagestadium folgende Hauptabsenkungsstadium. Es ist durch die Hardegsen-Diskordanz zweigeteilt. Nach Menning (1991) ergeben sich für die ältere Etappe des Zeitraums jüngeres Oberrotliegendes - bis Mittlerer Buntsandstein Sedimentationsraten zwischen 140 und 220 m/Mill. Jahre. Klastische Rotsedimente mit z. T. eingeschalteten Salinaren, die überwiegend im Sabhkamilieu und unter fluviatilen und äolischen Sedimentationsbedingungen entstanden, sowie die durch die Ingression des Zechsteinmeeres abgelagerten Karbonate und Evaporite sind die bestimmenden Sedimente. Die jüngere Etappe (ab Solling-Folge) beginnt mit der Sedimentation von fluviatilen Sandsteinen und limnisch bis brackisch abgelagerten Ton- und Siltsteinen. Der mittlere ingressiv-marine Teil (Röt-Muschelkalk) ist durch Karbonate und Salinarablagerungen gekennzeichnet. Während des Keupers treten wieder stärker kontinental geprägte Sedimentationsbedingungen auf. Dies führte zur Ablagerung von zumeist limnischen und nur untergeordnet brackischen Tonsteinen und Tonmergelsteinen, in die einzelne Sandsteinhorizonte eingelagert sind. Im Mittleren Keuper treten Anhydrit- und Gipseinlagerungen und teilweise auch Steinsalzlager auf. Generell verringert sich die Absenkungsintensität im Zeitabschnitt vom Oberen Buntsandstein zum Mittleren Keuper erheblich (Sedimentationsraten um 30 m/Mill. Jahre.). Für das Hauptabsenkungsstadium sind insgesamt zyklische Sedimentationsabläufe mit geringen lateralen Faziesgradienten typisch. Diese bewirken eine weite Verfolgbarkeit von lithologischen Horizonten, wie z. B. der Zechsteinserien, der klastischen Serien des Buntsandsteins vom Sohlbanktyp oder der zyklisch in die Mergelkalke eingelagerten Muschelkalkbänke. Für den gesamten Zeitabschnitt ist die Konstanz in der Lage der wichtigsten Schwellen- und Senkungs zonen des Beckens (z. B. Ostniederländisches Hoch, Ems- und Weser-Senke, Hunte-Schwelle, Eichsfeld-Altmark-Schwelle, Altmark-Westbrandenburg-Senke, Ostbrandenburg-Nordsudetische Senke, Nordbrandenburg-Mecklenburg-Senke, Rügen-Schwelle) bemerkenswert. Beckenbegrenzende und beckeninterne Schwellen weisen sich als Gebiete verminderter Sedimentation mit stärkeren Faziesgradienten aus. Mit den altkimmerischen Bewegungen [Beutler, 1982] endet der noch mit der variszischen Tektogenese in Verbindung stehende Absenkungsprozeß des Anlage- und Hauptabsenkungsstadiums. Die Umstellung zur nachfolgenden stark alpidisch beeinflussten Entwicklung erfolgte etwa zeitgleich mit der Zerlegung der paläozoischen Superkontinente in die heutigen Lithosphärenplatten.

Die Schichtenfolge des Differenzierungsstadiums wird im Liegenden durch die altkimmerische Hauptdiskordanz (Rättransgression) und im Hangenden durch die austrische Diskor-

danz (Alb-Cenoman-Transgression) begrenzt, sie umfaßt somit den Zeitraum Oberer Keuper bis Unterkreide. Während dieser Zeit wird der Senkungsraum in Spezialsenken, wie z. B. das Niedersächsische- und das Westbrandenburg-Prignitz-Becken und entsprechende Hochgebiete aufgegliedert. Die durch eine stark reduzierte Sedimentation charakterisierten Hochgebiete wurden im Zeitraum Oberer Jura/Unterkreide zumeist flächenhaft erodiert. Ähnlich wie die altkimmerischen stellen auch die mittel- und jungkimmerischen Bewegungen mit dem Durchbruch zahlreicher Salzdiapire und der Entwicklung von Salzkissenstrukturen Höhepunkte der Salinar tektonik im Norddeutschen Becken dar.

Mit der Rättransgression gewannen marine Sedimentationsbedingungen im Norddeutschen Becken an Bedeutung. Während ein Wechsel von tonig-siltiger Sedimentation und sandigen Schüttungen für die Ablagerungen vom Höheren Keuper bis Mittleren Jura typisch ist, treten im Oberjura vor allem Kalksteine, Mergelsteine und Tonmergelsteine und in der Unterkreide Ton-, Mergel- und Sandsteine auf. Insgesamt kann das Differenzierungsstadium in drei Teilstadien (Oberer Keuper bis Unterbajoc, Oberbajoc bis Berrias, Valangin bis Unteralb) untergliedert werden, die jeweils mit einem Meeresvordringen beginnen und mit dem Rückzug des Meeres enden. Die mittleren Sedimentationsraten dieses Stadiums betragen 10-20 m/Mio. a.

Für das nach Schwab (1985) die Beckenentwicklung abschließende Stabilisierungsstadium sind die Schreibkreide-Ablagerungen und die Sedimentation von sandig-tonigen und z. T. Braunkohle führenden Schichtkomplexen des Tertiärs charakteristisch. Das Stadium wird durch zwei bedeutende Prozesse bestimmt: am Beginn erfolgende weiträumige Absenkung und an der Grenze Coniac/Santon einsetzende tektonische Inversion von Beckenteilen (z. B. Niedersächsisches Becken, Baldschuhn et al., 1991). Diese Inversion hatte die blocktektonische Zerlegung des Senkenraumes und die damit verbundene Heraushebung und Erosion von Teilblöcken bzw. die regionale Absenkung kratonaler Senken zur Folge.

1.2 Speichergesteine und Nutzung des Untergrundes

Peer Hoth

Die Nutzungsmöglichkeiten des Norddeutschen Untergrundes sind an bestimmte geologische Voraussetzungen gebunden und stehen deshalb in enger Beziehung mit der oben kurz zusammengefaßten Sedimentations- und Absenkungsgeschichte des Norddeutschen Beckens. Während der oberflächennahe Untergrund vor allem Bedeutung für die Trinkwassergewinnung, die Erschließung von Industriemineralen und die flache Erdwärmennutzung sowie z. T. auch die Wärmespeicherung besitzt, konzentrieren sich die derzeitigen Nutzungsmöglichkeiten des tieferen Untergrundes auf die Förderung von Erdöl und Erdgas, auf die Speicherung dieser Kohlenwasserstoffe in natürlichen und künstlich angelegten Untergrundspeichern und auf die Nutzung des Erdwärmepotentials. Weitere in der Zukunft stärkere Bedeutung erlangende und derzeit z. T. untersuchte Möglichkeiten liegen z. B. in der Speicherung anderer Flüssigkeiten und Gase (z. B. CO₂), in der Deponierung und Endlagerung von Abfällen sowie in der Wärmespeicherung und der stofflichen Nutzung von Thermalwässern.

Für diese genannten Nutzungsmöglichkeiten sind zumeist natürlich vorhandene Speichergesteine oder Gesteine, die eine künstliche Schaffung von Speicherraum ermöglichen, Grundvoraussetzung. Entsprechende poröse, klüftige sowie klüftig-poröse Sandsteine und Karbonate bzw. für die künstliche Schaffung von Speicherraum geeignete Salzgesteine sind aus folgenden zeitlichen Abschnitten des Beckens bekannt:

Präperm: Sandsteine des Oberkarbons sind die bedeutendsten Reservoirgesteine des Präperm. Durch ihre meist hohe Versenkung sind sie überwiegend stark diagenetisch überprägt. Existierende Poren- und Kluftspeicher besitzen hauptsächlich als Reservoirgesteine von Erdgaslagerstätten Bedeutung. Am nördlichen Beckenrand treten in den Oberkarbonsandsteinen auch Erdöllagerstätten auf.

Perm: Äolische, fluviatile und flachmarine Sandsteine des Oberrotliegenden zählen zu den wichtigsten Erdgasspeichern des Norddeutschen Beckens. Die an den Beckenrändern und in Schwellenpositionen sedimentierten Riff- und Schwellenkarbonate des Zechsteins besitzen sowohl als Erdgas- wie auch als Erdölspeicher Bedeutung. Salzablagerungen des Zechsteins und insbesondere die Strukturen mit mächtigen Salzzakkumulationen (Salzdiapire, Salzkissen) sind für die Untergrundspeicherung von Erdgasen von besonderem Interesse.

Trias: Bei den nutzbaren triassischen Speichergesteinen handelt es sich um Sandsteine. Sie sind vor allem im Unteren und Mittleren Buntsandstein sowie im Oberen Keuper vorhanden. Während die Sandsteinspeicher des Buntsandsteins auf die Beckenrandbereiche konzentriert sind, kommen die des Keupers in den zentralen Beckenbereichen vor. Gute Speicher des Keuper (Unterrät-bis Oberrätsandsteine) sind bedingt durch die hauptsächlich im Osten und Nordosten gelegenen Erosionsgebiete [Ziegler, 1990] vor allem im Ostteil des Beckens und im nördlichen und östlichen Teil Nordwestdeutschlands anzutreffen [Gaupp, 1991]. Die triassischen Sandsteine sind im Westteil des Beckens Träger von bedeutenden Erdöl- und Erdgaslagerstätten [Boigk, 1981]. Für die geothermische Nutzung von Thermalwässern sind diese oft hochporösen Sandsteine sowohl im Westteil als auch im Ostteil des Beckens von Interesse.

Jura: Im Jura sind neben den Sandsteinen des Lias und Dogger auch Malmkarbonate bedeutende Speichergesteine. Die Erdöl- und Erdgasführung dieser Speicher beschränkt sich wieder fast ausschließlich auf den Westteil des Beckens. In der stratigraphischen Lage der wichtigsten Speicherhorizonte bestehen große Unterschiede zwischen den einzelnen Beckenbereichen. So sind z. B. vor allem in den östlichen Teilen des Beckens (NE-Mecklenburg, SE-Brandenburg) Speichergesteine des Mittleren und Oberen Jura aufgrund großflächiger Erosionen dieser Schichten nicht vorhanden. Die in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und auch im östlichen Nordwestdeutschland erschlossenen Hettang-Sandsteinspeicher sind weiter in Richtung Westen kaum noch ausgebildet. Dies ist bedingt durch eine ungefähr westlich der Linie Hannover - Hamburg auftretende pelitbetonte Beckenfazies, die nur noch selten gröberklastische Einlagerungen aufweist [Brandt und Hoffmann, 1963]. In diesen Regionen erbohrte Sandsteine sind nach Boigk (1981) überwiegend geringmächtig und stellen nur schlechte Speicher dar. Sandsteinspeicher des Sinemur und Domer sind ebenfalls vor allem im Osten des Norddeutschen Beckens verbreitet. Bei den Doggersandsteinen des Aalen handelt es sich um Flachmeer- und Küstensande. Sie wurden ebenfalls überwiegend aus östlichen Richtungen geschüttet und sind deshalb in Mecklenburg, NW-Brandenburg sowie im östlichen Teil Niedersachsens und in Holstein weit verbreitet. Dogger-beta-Sandsteine, die vor allem als Schicht- und Rinnensandsteine abgelagert wurden, bilden sowohl im Osten von Niedersachsen als auch in Ostholstein wichtige produktive Erdölspeicher. Nach Boigk (1981) weisen diese Reservoirsandsteine starke faziesbedingte Unterschiede in ihren Speichereigenschaften auf, die dazu führen, daß die meist mächtigeren und gröber körnigen Rinnensandsteine deutlich höhere Permeabilitäten (bei Porositäten von etwa 25% überwiegend größer als $0.5 \times 10^{-12} \text{ m}^2$ und sehr oft sogar größer als $2 \times 10^{-12} \text{ m}^2$) als die geringer mächtigen Schichtsandsteine besitzen.

Bedingt durch eine Änderung in der Hauptschüttungsrichtung von E-W nach N-S und der überwiegenden Anlieferung des Sedimentmaterials vom Zentralen Nordsee-Hoch, sind die

Speichersandsteine des Mittleren Dogger vor allem auf das Weser-Ems-Gebiet und die Holstein-Region beschränkt; lokal können sie allerdings auch in SW-Mecklenburg Bedeutung erlangen. Im Oberen Jura stellen vor allem die im Niedersächsischen Becken auftretenden Karbonatgesteine wichtige Erdölspeicher dar.

Kreide: Aus der Unterkreide sind zahlreiche Sandsteinhorizonte bekannt, die gute Erdölspeicher bzw. gute Aquifere darstellen. Innerhalb des brackisch bis limnisch ausgebildeten Wealden treten von der Rheinischen Masse abstammende Sandsteinschüttungen im Niedersächsischen Becken auf. Speichergesteine mit Bedeutung für die Erdölproduktion finden sich hier östlich der Weser [Jaritz et al., 1969; Schulz et al., 1994]. Einzelhorizonte von Sandsteinen, die allerdings kaum 5 m Mächtigkeit übersteigen, sind auch in SW-Mecklenburg vorhanden. Sandsteine der marinen Unterkreide sind im Ostteil des Norddeutschen Beckens wieder weiter verbreitet; sie treten vor allem in den „beckenzentralen Regionen“ von SW-Mecklenburg und NW-Brandenburg im Valangin und Hauterive auf. Im Niedersächsischen Becken sind durch die Erdölerkundung zahlreiche - teilweise allerdings stark regional begrenzte - Speichersandsteine des Valangin, Hauterive sowie des Alb erbohrt und mit Lokalnamen bezeichnet worden. So kommt der z. T. über 100 m mächtige und stellenweise durch sehr gute Speichereigenschaften charakterisierte Bentheimer Sandstein des Mittelvalangin, bedingt durch die mit der Erosion der Rheinischen Masse und der Ostholländischen Schwelle im Zusammenhang stehenden Sandsteinschüttungen, nur im Emsland vor. Weitere vor allem in den südlichen Regionen des Niedersächsischen Beckens vorhandene wichtige Sandsteinspeicher sind die Sandsteine des Obervalangin, der Gildehäuser Sandstein des Hauterive und der Rothenberg-Sandstein an der Grenze Apt/Alb [Boigk, 1981].

Die Oberkreide-Sedimentation des Norddeutschen Beckens ist durch die Ablagerung von Mergel- und Kalksteinen charakterisiert. Als Reservoirgesteine besitzen vor allem Karbonatgesteine und nur sehr untergeordnet in den höheren Abschnitten auch Sandsteine Bedeutung.

Tertiär: Das Norddeutsche Tertiär wird vor allem von gering verfestigten Tonen, Schluffen, Fein- bis Grobsanden und regional begrenzt auch von eingeschalteten Braunkohlen aufgebaut. Potentielle Speichersandsteine sind aus dem Untereozän, dem Oligozän und dem Miozän bekannt.

Literatur

Bachmann, G.H. und S. Grosse, Struktur und Entstehung des Norddeutschen Beckens - geologische und geophysikalische Interpretation einer verbesserten Bouguer-Schwerkarte, Nds. Akad. Geowiss. Veröff., Hannover, 2: 32-47, 1989.

Baldschuhn, R., G. Best and F. Kockel, Inversion tectonics in the Northwest German Basin, In: Spencer, A.M. (Ed.), Generation, accumulation and production of Europe's hydrocarbons, Spec. Publ. Europ. Ass. of Petroleum Geoscientists, Oxford University Press, Oxford, 149-159, 1991.

Brandt, E. und K. Hoffmann, Stratigraphie und Fazies des nordwestdeutschen Jura und Bildungsbedingungen seiner Erdöllagerstätten, Erdöl und Kohle, Hamburg, 16. Jhg., 468-477, 1963.

Beutler, G., Verbreitung und Charakter der altkimmerischen Hauptdiskordanz, Z. geol. Wiss., Berlin, 7, 5, 617-632, 1982.

- Boigk, H., Erdöl und Erdölgas in der Bundesrepublik Deutschland, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 330 S., 1981.
- Dohr, G., Ergebnisse geophysikalischer Arbeiten zur Untersuchung des tieferen Untergrundes in Norddeutschland, Nds. Akad. Geowiss. Veröff., Hannover, 2: 4-22, 1989.
- Franke, D., J. Hoffmann und J. Kamps, Alter und struktureller Bau des Grundgebirges im Nordteil der DDR, Z. angew. Geol., Berlin, 35, 10/11: 289-296, 1989.
- Franke, D., Der präpermische Untergrund der Mitteleuropäischen Senke - Fakten und Hypothesen, Nds. Akad. Geowiss. Veröff., Hannover, 4: 19-75, 1990.
- Gaupp, R., Zur Fazies und Diagenese des Mittelrät-Hauptsandsteins im Gasfeld Thönse, Nds. Akad. Geowiss. Veröff., Hannover, 6: 34-54, 1991.
- Hoth, P., Fazies und Diagenese von Präperm-Sedimenten der Geotraverse Harz - Rügen, Schriftenr. f. Geowiss., Berlin, 4: 139 S., 1997.
- Jaritz, W., F. Kockel, C.W. Sames, U. Stackelberg, J. Stets und D. Stoppel, Paläogeographischer Atlas der Unterkreide von Nordwestdeutschland, Erl. Paläogeogr. Atlas, Unterkreide NW-Deutschland, Hannover, 315 S., 1969.
- Köhler, M., F. Völsgen, K. Hofmann, S. Bochnig und T. Kellner, Spezielle geomikrobiologische Untersuchungen an geothermisch genutzten Tiefenwässern an Standorten in Mecklenburg-Vorpommern , Abschlußbericht, BMBF-Projekt 0326955A, URST GmbH, in Vorbereitung, 1997.
- Menning, M., Rapid subsidence in the Central European Basin during the initial development, Zbl. Geol. Paläont., Teil 1, 4, 809-824, 1991.
- Schulz, R. et al., Regionale Untersuchungen von geothermischen Reserven und Ressourcen in Nordwestdeutschland, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Bericht 111758, Hannover, 161 S., 1994.
- Schwab, G., Paläomobilität der Norddeutsch-Polnischen Senke, (unveröff.) Diss. B der AdW der DDR, Berlin, 196 S., 1985.
- Walter, R. Geologie von Mitteleuropa, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 561 S., 1992.
- Ziegler, W. Geological Atlas of Western and Central Europe, 2nd. Edition, Shell International., 1990.

