

FACHBEITRAG

Hydrogeologische und gesteinsphysikalische Eigenschaften der Emscher-Formation im Hinblick auf den Steinkohlenbergbau des Ruhrgebietes

Wilhelm G. Coldewey¹ · Dominik Wesche¹

Ein eingegangen: 30. September 2016 / Überarbeitet: 19. Januar 2017
© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017

Zusammenfassung Das Münsterländer Kreidebecken ist das größte zusammenhängende Sedimentbecken Deutschlands. Die Ablagerungen werden dominiert von den Schichten der Oberkreide. Hierin nehmen die Tonmergel der Emscher-Formation eine besondere Bedeutung ein. Diese dichten den oberen Grundwasserleiter des Campan und des Quartär gegen den unteren Grundwasserleiter des Oberkarbon und Cenoman/Turon ab. Aufgrund ihrer abdichtenden Eigenschaften schirmt die Emscher-Formation die unter der Kreide liegende Steinkohlenlagerstätte im Oberkarbon ab und reduziert die Menge der zu fördernden Grubenwässer und die damit verbundenen Kosten der Wasserhebung.

Hydrogeologic and petrophysical properties of the Emscher Formation regarding the hard coal mining in the Ruhr district

Abstract The Münster Cretaceous Basin is the biggest continuous sedimentary basin in Germany with sediments consisting primarily of Upper Cretaceous layers. Among these, the argillaceous marls of the Emscher Formation are of particular importance because they seal the upper aquifer. The Emscher Formation comprises Campanian and Quaternary strata, against the lower aquifer which lies within Upper Carboniferous and Cenomanian/Turonian strata. Be-

cause of its sealing characteristics, the Emscher Formation shields the underlying hard-coal deposit and thus reduces effectively the volume, and hence costs, of mine-water extraction.

Keywords Münsterland Cretaceous Basin · Emscher Marl · Hydrogeology · Mining · Permeability

Einleitung

Das Münsterländer Kreidebecken stellt das größte zusammenhängende Sedimentbecken Deutschlands dar und bildet mit den Oberkreide-Schichten das Deckgebirge für das Oberkarbon (Abb. 1). Das variszisch gefaltete Grundgebirge des Paläozoikum (Devon und Karbon) wird diskordant von dem ungefalteten Deckgebirge des Mesozoikum (im Wesentlichen Oberkreide) überlagert. Ablagerungsbedingt existieren verschiedene Grundwasserleitertypen, die sich in ihrer Variationsbreite hinsichtlich der Gesteinsausbildung und ihres Chemismus sowie ihrer Bedeutung für die überregionale Wasserversorgung unterscheiden. Eine herausragende Rolle für den Aufbau des Grundwasserleitersystems besitzt die sog. Emscher-Formation, die eine geohydraulische Barriere zwischen den Grundwasserleitern des Münsterländer Kreidebeckens darstellt. Die Schichten der Oberkreide werden von den Deckschichten des Känozoikum (Tertiär, Quartär) bedeckt.

Stratigraphie

Die Sandsteine, Tonsteine und Kohlenflöze des Oberkarbon (Kukuk 1938) werden diskordant von den Schichten der Oberkreide überlagert, die im Münsterland mit dem

✉ Wilhelm G. Coldewey
coldewey@uni-muenster.de

Dominik Wesche
d.wesche@web.de

¹ Institut für Geologie und Paläontologie, Westfälische Wilhelms-Universität, Corrensstr. 24, 48149 Münster, Deutschland

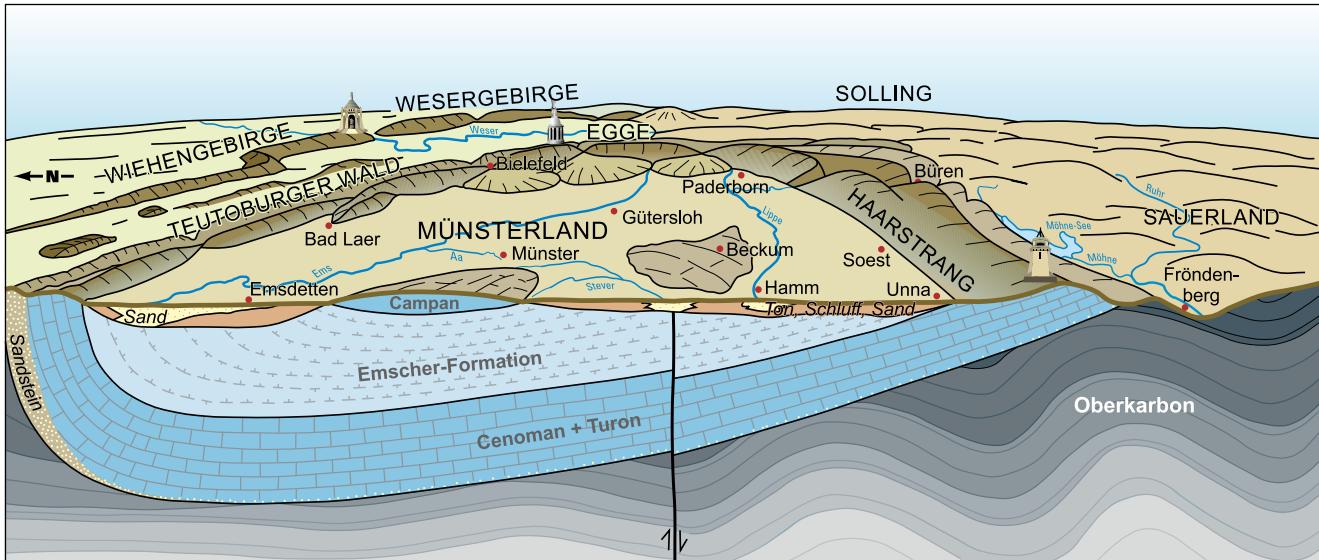


Abb. 1 Schematischer Schnitt durch das Münsterländer Kreidebecken (GD NRW 2016). Die Emscher-Formation trennt den oberen Grundwasserleiter (Campan, Quartär) vom unteren Grundwasserleiter (Oberkarbon, Cenoman/Turon)

Cenoman beginnen. Das Liegende dieser Schichten besteht aus einem Transgressionskonglomerat aus erodierten Toneisensteingeröllen, Schiefertonsteinen und Sandsteinen des Oberkarbon. Es folgt der Essen-Grünsand des Cenoman, der im zentralen Ruhrgebiet wasserstauend ist. Auf dem Essen-Grünsand lagern wasserführende, klüftige Kalksteine (Abb. 2).

Auf die Schichten des Cenoman folgen Kalksteine und Tonmergelsteine des Turon. In diese Abfolge sind regional zwei glaukonitische Kalksandstein-Horizonte – der Bochum-Grünsand und der Soest-Grünsand – eingelagert. Die festen Kalksteine des Turon sind geklüftet und wasserführend.

Die Schichten der Emscher-Formation (Coniac bis Mittelsanton) nehmen hinsichtlich ihrer Mächtigkeit, ihres Ge steinsaufbaues und ihrer geohydraulischen Eigenschaften eine Sonderstellung ein. Während die Schichtenfolge des Cenoman und des Turon unterschiedlich aufgebaut sind, bestehen die Schichten der Emscher-Formation aus einer ein tönig ausgebildeten Abfolge von Tonmergelsteinen. Diese Ablagerungen erreichen im zentralen Münsterländer Kreidebecken eine Mächtigkeit von bis zu 600 m (Coldewey 1976).

Die höheren Oberkreideschichten (höheres Santon und Campan) besitzen Mächtigkeiten von teilweise über 100 m. Im mittleren und westlichen Ruhrgebiet sind diese Ablagerungen sandig-mergelig entwickelt. In der Ausbildung der Recklinghausen-Formation bestehen diese aus einer Wechsellagerung tonig-mergeliger Feinsande mit zwischengelagerten harten Kalksandsteinbänken. Dagegen bestehen die Ablagerungen in Ausbildung der Haltern-Formation aus

mehr oder weniger lockeren Quarzsanden mit z. T. kalkig oder kieselig verfestigten Bänken.

Tektonik

Im Karbon entstand – bei gleichzeitiger Absenkung des heutigen Ruhrgebietes – eine mächtige Wechsellagerung von Sandsteinen, Tonsteinen und Kohlenflözen in rhythmischer Folge. Diese Schichtenfolge wurde von einer nach Norden schreitenden Faltung zu einer Abfolge aus südwest-nordost streichenden Sätteln und Mulden aufgefaltet. Neben den Sätteln und Mulden treten als weitere tektonische Elemente große Querstörungen auf, an denen vertikale Bewegungen stattfanden. Diese Querstörungen verlaufen mehr oder weniger senkrecht zum Streichen der Sättel und Mulden und bilden Gräben, Horste und Bruchstaffeln (Kukuk 1938).

In den Schichten der Kreide treten Abschiebungen auf, die in ihrem Verlauf einen Zusammenhang zu der unterlagerten Bruchschollentektonik des Karbon zeigen (Abb. 3). In den Schichten der Oberkreide führte in Mitteleuropa die mit der Alpidischen Orogenese einsetzende NNW-SSE gerichtete Kompressionstektonik zur Reaktivierung variszischer Störungen. Hierbei fand an einigen Störungen eine Umkehr des ursprünglichen Bewegungssinns statt (sog. Umkehrverwürfe, Wolansky 1960). Häufig setzen sich die Störungen aus dem Karbon nicht in das Kreide-Deckgebirge fort (Dölling und Juch 2009). Im nördlichen Ruhrgebiet sind im Bereich der Blattverschiebungen des Grundgebirges die Schichten der Kreide in flache Falten gelegt (Wrede 2010).

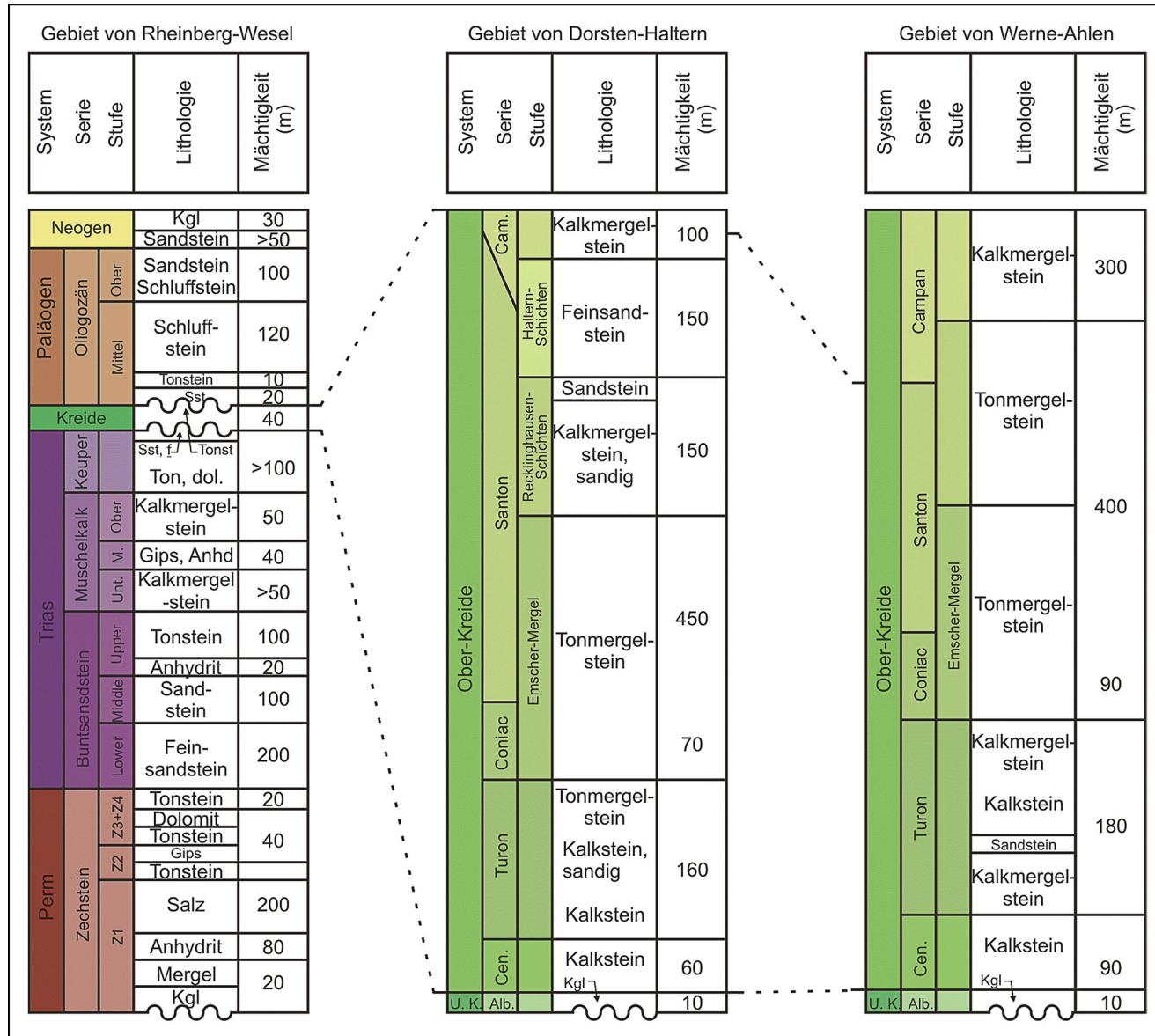


Abb. 2 Stratigraphische Einheiten des Deckgebirges (verändert nach Hahne und Schmidt 1982)

Hydrogeologie

Die wasserführenden Schichten des Oberkarbon haben bei einer oberflächennahen Verbreitung nur eine Bedeutung für die örtliche Wasserversorgung.

Die Ergiebigkeiten der geklüfteten Schichten des Cenoman und Turon dagegen reichen aus, um Industriebetriebe mit Wasser zu versorgen.

Die obersten 1–2 m der Emscher-Formation sind zu einem tonigen Schluff bzw. schluffigen Ton verwittert und bilden einen Grundwassernichtleiter mit Durchlässigkeiten von $k_f = 10^{-10}$ bis 10^{-12} m/s. Darunter können die Tonmergelsteine bis zu einer Tiefe von 30–50 m geklüftet und wasserführend sein. Die Ergiebigkeit dieses klüftigen Bereiches ist ausreichend für eine Hauswasserversorgung. Zum Liegen-

den werden die Klüfte seltener, sind schließlich vollständig geschlossen und damit wasserundurchlässig. Die Emscher-Formation – als größter regionaler Grundwassernichtleiter mit einer Verbreitung von über 9000 km² und einer Kubatur von ca. 5800 km³ – stellt somit eine geohydraulische Barriere zwischen dem unteren Grundwasserleiter aus Oberkarbon und Cenoman/Turon gegen den oberen Grundwasserleiter des höheren Santon/Campan und des Quartär dar.

Die Ablagerungen des höheren Santon/Campan sind für die überregionale Wasserversorgung von herausragender Bedeutung. In der Ausbildung der Recklinghausen-Formation weisen die Schichten aufgrund der sandigen Zusammensetzung ein beachtliches nutzbares Porenvolumen auf. Die eingeschalteten Kalksandsteinbänke besitzen ein großes Kluftvolumen. In der sandigen Ausbildung der

Haltern-Formation sowie der Osterfeld-Schichten besitzt das höhere Santon/Campan ein großes Porenvolumen. Die Schichten der Recklinghausen- und Haltern-Formationen sind somit gute Grundwasserleiter. Die intensive Grundwasserförderung aus diesen Schichten stellt die Trinkwasserversorgung im Ruhrgebiet und in weiten Teilen des Münsterlandes sicher.

Erstellung eines dreidimensionalen Deckgebirgsmodells

Für die Untersuchung der gesteinsphysikalischen Eigenschaften des Münsterländer Kreidebeckens – insbesondere im Hinblick auf die Durchlässigkeit der Emscher-Formation – wurden erstmals die hydrogeologisch relevanten gesteinsphysikalischen Eigenschaften des Kreide-Deckgebirges auf der Grundlage eines neuen integrierten 3D-Untergrundmodells analysiert (Wesche 2016). Es wurden hierbei mit der Lagerstättensoftware Petrel der Fa. Schlumberger die räumliche Verteilung folgender Parameter (nach Correns 1960, Baltes et al. 1998 und Rudolph et al. 2008) im Münsterländer Kreidebecken analysiert:

- Lithologische Zusammensetzung,
- Hohlraumanteil,
- Tonanteil,
- Geohydraulische Durchlässigkeit.

Zusätzlich wurden anhand der gesteinsphysikalischen Eigenschaften geohydraulische Interaktionen zwischen dem unteren und dem oberen Kreide-Grundwasserleiter, sowohl für das intakte Gebirge als auch für die Störungszonen, analysiert. Die bekannten Störungen des Kreide-Deckgebirges wurden in das Modell eingebunden und qualitativ hinsichtlich ihrer geohydraulischen Eigenschaften analysiert.

Der strukturelle Aufbau des Münsterländer Kreidebeckens wurde auf Grundlage von insgesamt 288 Bohrungen mit insgesamt 1595 stratigraphischen Schichtgrenzen unter Beachtung der bekannten Störungen erstellt. Durch den Import von Bohrloch-Logs wurden die lithologischen Modelleinheiten und die gesteinsphysikalischen Parameter in das Modell übertragen. Das Lithologiemodell bildet elf lithologische Einheiten ab. Die geologische Beschreibung dieser Einheiten basiert auf der Auswertung von insgesamt ca. 4300 lithologischen Schichtbeschreibungen aus den verfügbaren Bohrungsdaten. Eine hohe Auflösung der Bohrloch-Logs wurde durch insgesamt 105 Modellschichten erreicht. Insgesamt wird das Gebirgsmodell durch 9,5 Mio. Zellen mit einer Kantenlänge von 500 m × 500 m aufgebaut.

Basierend auf der lithologischen Zusammensetzung wurden die o. g. gesteinsphysikalischen Eigenschaften auf Grundlage umfangreicher Untersuchungsergebnisse inner-

halb einer realistischen Bandbreite (Minimal-, Median- und Maximalverteilung) simuliert, um deren natürliche Variabilität zu berücksichtigen.

Ergebnisse der gesteinsphysikalischen Modellierung

Der Aufbau des Münsterländer Kreidebeckens wird im Modell als ein Dreischicht-Grundwasserleitersystem sowohl hinsichtlich der lithologischen Ausbildung als auch der gesteinsphysikalischen Eigenschaften deutlich. Der untere Kreide-Grundwasserleiter, bestehend aus den Schichten des Cenoman, Turon und Unterconiac, weist reine Kalk- und Kalkmergelsteine auf (Abb. 1 und 2). Diese besitzen hohe Hohlraumanteile sowie hohe Durchlässigkeitsbeiwerte. Die hangenden Schichten der Emscher-Formation (Coniac bis Mittelsanton) werden im gesamten Untersuchungsgebiet durch Tonmergel- und Mergelsteine aufgebaut. Diese homogenen Ablagerungen weisen im Beckenzentrum eine Mächtigkeit von über 600 m auf. Im Bereich der Vorosning-Senke im Nordosten des Münsterlandes liegen auch größere Mächtigkeiten vor (Abb. 3).

Die Schichten der Emscher-Formation besitzen hohe Tonanteile und sehr geringe Durchlässigkeitsbeiwerte von $k_f \leq 10^{-9}$ m/s. Nach den Ergebnissen der Gebirgsmodellierung ist eine geohydraulische Barrierefunktion der Emscher-Formation in Bereichen mit Mächtigkeiten von über 50 m gegeben. Eine Zusickerung in den unteren Grundwasserleiter des Münsterländer Kreidebeckens wird dort verhindert. Im Hangenden der Emscher-Formation ist der obere Kreide-Grundwasserleiter ausgebildet. Dieser wird im Deckgebirgsmodell durch die kalkig-sandigen Schichten des Obersanton (Haltern-Formation) im südwestlichen Münsterland sowie die tonarmen Schichten des Obercampan im weiteren Untersuchungsgebiet aufgebaut. Diese besitzen sowohl hohe Hohlraumanteile als auch hohe Durchlässigkeitsbeiwerte und bilden einen gemeinsamen Grundwasserleiter mit dem Quartär.

Die Auswertungen des gesteinsphysikalischen Modells belegen für die Schichten des Cenoman und Turon eine kalkige Zusammensetzung, nur geringe Tonanteile, hohe Hohlraumanteile sowie hohe Durchlässigkeitsbeiwerte. Ab dem oberen Turon ist im Modell durch die Zunahme mergeliger Komponenten bereits lokal ein Übergang zur Emscher-Formation erkennbar. Dies drückt sich in einer Zunahme der Tonanteile sowie einer Verringerung der Hohlraumanteile und der Durchlässigkeitsbeiwerte aus. Im Detail zeigt sich, dass die gesteinsphysikalischen Parameter nicht nur vertikal sondern, aufgrund von Fazieswechseln, auch horizontal variieren können (Abb. 2).

Um den bergbaulichen Einfluss auf die Gebirgsdurchlässigkeit zu simulieren wurden im Bergbaubereich des süd-

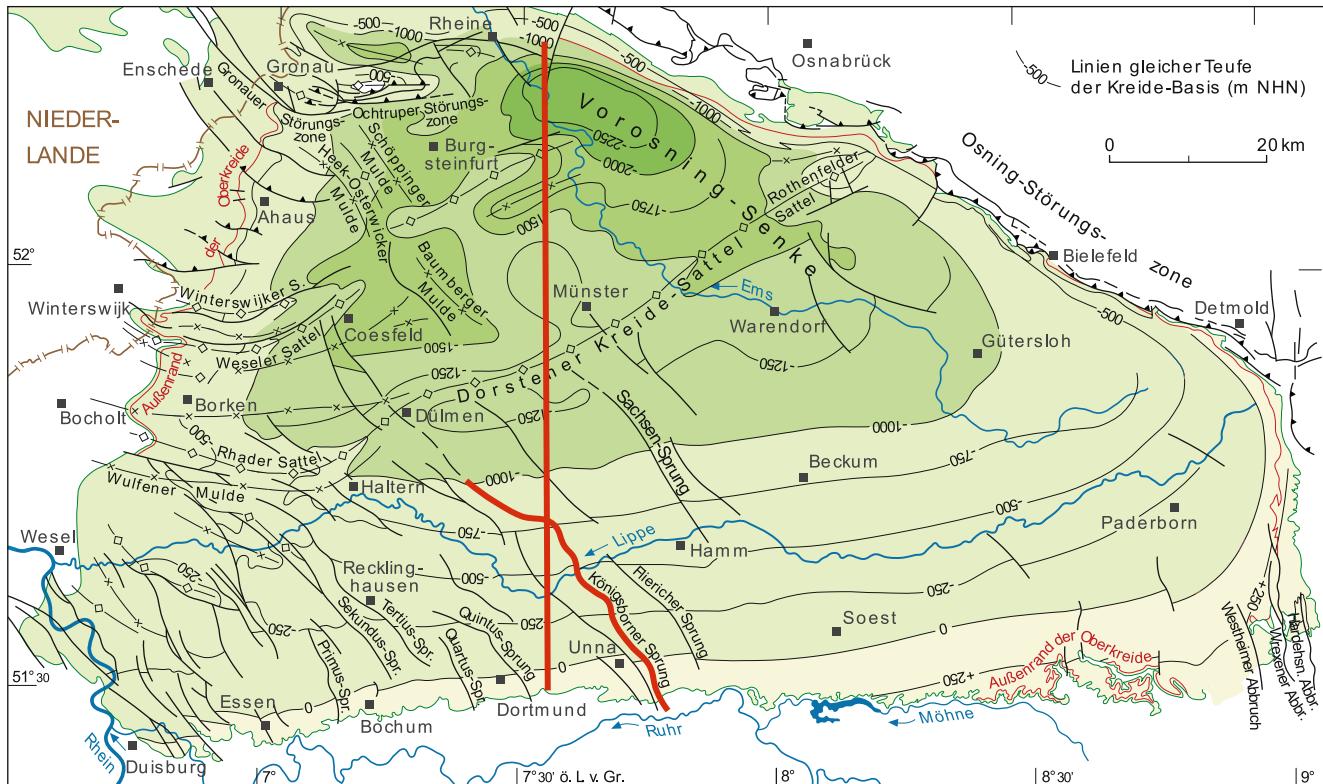


Abb. 3 Verbreitung der Kreideablagerungen im Münsterland (nach Wrede 2016). Dargestellt sind ein analysierter N-S-Schnitt sowie der Königsborner Sprung

westlichen Münsterländer Kreidebeckens die Hohlraumanteile und Durchlässigkeitsbeiwerte nach Baltes et al. (1998) angepasst. Hierbei wurde das unterschiedliche mechanische Verhalten der auftretenden Gesteinseinheiten (spröde oder duktile Verformung) berücksichtigt. Im Ergebnis zeigen sich erhöhte Durchlässigkeiten und Hohlraumanteile in den kalkigen Schichten des Cenoman und Turon, wohingegen in den duktilen Tonmergel- und Mergelsteinen der Emscher-Formation nur geringe Beeinflussungen festzustellen sind.

Eine geohydraulische Verbindung zwischen dem oberen und unteren Grundwasserleiter liegt nach den Untersuchungsergebnissen im Münsterländer Kreidebecken nicht vor.

Die Untersuchungsergebnisse beziehen sich auf die natürlichen geologischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes. Mögliche technische Einflüsse z. B. durch Bohrarbeiten oder Schachtabteufen sind gesondert zu betrachten. Dies gilt auch für den Ausstrichbereich der Emscher-Formation, an dem aufgrund geringer Mächtigkeiten besondere hydraulische Verhältnisse vorliegen. Eine Auflockerung der Kreideschichten durch Bergsenkungen wurde im Modell mittels angepasster Hohlraumanteile und Durchlässigkeitsbeiwerte berücksichtigt.

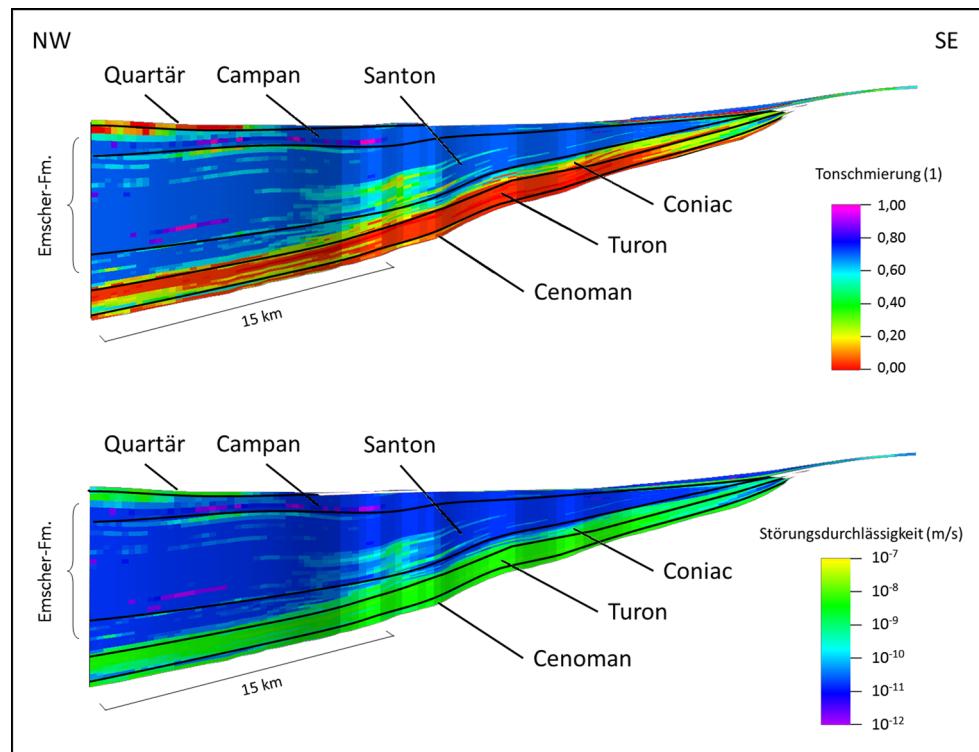
Analyse der Störungen

Grundsätzlich ist die hydraulische Durchlässigkeit einer Störungszone in großem Maße von dem Anteil an Tonmineralen in einer Gesteinsschicht abhängig, die in die Störung eingeschleppt werden und damit Strömungsvorgänge unterbinden. Dieser Effekt wird als Tonschmierung (*clay smear*) bezeichnet. So kann bei einem Anteil toniger Bestandteile der Modellzellen beiderseits der Störungsfläche von 50 % die Störungsdurchlässigkeit um etwa zwei Größenordnungen herabgesetzt sein.

Für die Analyse und Bewertung der Tonschmierung in Störungszonen wurde das numerische Berechnungsverfahren des sog. *Shale Gouge Ratio* (SGR) verwendet. Die Berechnung des SGR-Wertes beruht auf den Mächtigkeiten und dem Tonanteil der Schichten sowie dem Störungsversatz. Dieses Verfahren findet eine breite Anwendung in der Lagerstätten- und Erdölexploration (Fristadt et al. 1997; Yielding et al. 1997; Freeman et al. 1998; Harris et al. 2002).

Dieses Verfahren setzt voraus, dass toniges Material entlang der Störung gleichmäßig in die Störungszone eingetragen wird und die Schmierung von Tonmineralen beiderseits der Störungsfläche in gleichem Maße erfolgt. Der Algorithmus berechnet für jede Modellzelle entlang der Störungsfläche den Anteil eingeschleppter Tonminerale auf Grundlage

Abb. 4 Tonschmierung (SGR, oben) und Störungsdurchlässigkeit (unten) entlang des Königsborner Sprungs (10-fache Überhöhung, Höhe der Störung im NW ca. 1000 m, Blick senkrecht von Westen auf die Störungsfläche, Wesche 2016)



des Tonanteiles im Tonverteilungsmodell (Yielding et al. 1997; Manzocchi et al. 1999). Ein hoher SGR-Wert an einer bestimmten Position einer Störung weist darauf hin, dass Gesteinsschichten mit einem hohen prozentualen Tonanteil an dieser Stelle versetzt wurden. Der geringste SGR-Wert einer Störungsfläche stellt den Bereich mit dem niedrigsten kapillaren Eindringwiderstand und damit der höchsten Störungsdurchlässigkeit dar (Abb. 4). Für die Bewertung der Störungsdurchlässigkeit wurde die Klassifikation der Durchlässigkeitsbeiwerte k_f nach DIN 18130-1 (1998) (Tab. 1) angewendet.

Die Ergebnisse der Störungsanalyse lassen sich im dreidimensionalen Modell visuell anhand der farblich differenzierten Tonschmierungsbeträge (SGR) sowie der Störungsdurchlässigkeit ablesen und vermitteln somit einen Eindruck von der räumlichen Verteilung der Störungseigenschaften sowie der Abhängigkeit von der umgebenden Lithologie. Die gesteinsphysikalischen Eigenschaften der Störungen werden hier beispielhaft am Königsborner Sprung im südlichen Münsterland erläutert (Abb. 4). Aus den Ergebnissen des Stratigraphiemodells wurde der Verwurfbeitrag des Königsborner Sprunges auf mehr als zehn Meter bestimmt.

Aufgrund der hohen Tonmergel-Anteile der Emscher-Formation und des Tonschmierungsprozesses sind die Störungszonen hydraulisch abgedichtet. Sie sind insgesamt nach DIN 18130-1 (1998) als „sehr schwach durchlässig“ zu bezeichnen; der niedrigsten Klasse der Durchlässigkeitsbeiwerte (Tab. 1).

In den Schichten des Cenoman und Turon findet lithologisch bedingt ebenfalls eine Tonschmierung auf den Störungsflächen statt. Die hydraulischen Durchlässigkeiten der Störungsflächen weisen in diesem Bereich im Mittel ca. $k_f = 10^{-9}$ bis 10^{-8} m/s auf und erreichen max. $k_f = 5 \cdot 10^{-8}$ m/s. Durch die Tonschmierung auf den Störungsflächen wird somit die Störungsdurchlässigkeit in den Schichten von Cenoman und Turon reduziert. Strömung findet somit in dem unteren Grundwasserleiter des Münsterländer Kreidebeckens hauptsächlich innerhalb des Gesteinsverbandes statt.

Innerhalb Zone der ungeklüfteten Emscher-Formation lassen sich, aufgrund der tonig-mergeligen Zusammensetzung der Schichten, intensive Tonschmierungsprozesse nachweisen, durch die eine natürliche Selbstabdichtung in Störungsflächen auftritt. Die durchschnittlichen Durchlässigkeitsbeiwerte der Störungsflächen betragen innerhalb der Emscher-Formation ca. $k_f = 10^{-11}$ bis 10^{-10} m/s und sind damit gegenüber dem umgebenden Gebirge um den Faktor 10^1 bis 10^2 herabgesetzt. Maximale Durchlässigkeitsbeiwerte treten allgemein mit ca. $k_f = 5 \cdot 10^{-9}$ m/s auf.

In Detailbetrachtungen zeigen sich innerhalb der Emscher-Formation lokale Bereiche auf den Störungsflächen, die aufgrund kalkiger bis sandig-kalkiger Zusammensetzung des umgebenden Gebirges eine geringere Tonschmierung aufweisen und damit lokal Durchlässigkeiten im Bereich von max. $k_f = 10^{-8}$ m/s besitzen. Diese Bereiche treten sehr kleinräumig auf und erstrecken sich weder vertikal noch horizontal über längere Distanzen.

Tab. 1 Klassifikation der Durchlässigkeitsbeiwerte k_f nach DIN 18130-1 (1998)

Klassifikation	Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]
Sehr stark durchlässig	$> 10^{-2}$
Stark durchlässig	10^{-2} bis 10^{-4}
Durchlässig	10^{-4} bis 10^{-6}
Schwach durchlässig	10^{-6} bis 10^{-8}
Sehr schwach durchlässig	$< 10^{-8}$

Dieses Ergebnis der Störungseigenschaften wurde übereinstimmend für alle weiteren Störungen im Verbreitungsgebiet der Emscher-Formation festgestellt. In keiner Störung im Modell existieren zusammenhängende Bereiche innerhalb der Emscher-Formation mit höheren Durchlässigkeitsbeiwerten.

Bedeutung der Emscher-Formation für den Steinkohlenbergbau

Diese geohydraulische Barrierewirkung der Emscher-Formation, aufgrund der geringen Durchlässigkeiten von ca. $k_f = 10^{-10}$ m/s (Abb. 5), verhindert eine Zusickerung von Niederschlagswasser und oberflächennahem Grundwasser in den unteren Grundwasserleiter von Oberkarbon und Cenoman/Turon. Dadurch hatte die Absenkung des Grubenwassers im Steinkohlenbergbau in der Betriebsphase keine Auswirkungen auf die oberflächennahen Grundwasserhorizonte. Darüber hinaus minimierte diese geohydraulische Barriere die abzupumpenden Grubenwasservolumina erheblich und machte damit die Steinkohlenförderung im Oberkarbon erst wirtschaftlich möglich (Semmler 1956).

Mit zunehmender Mächtigkeit der Emscher-Formation nimmt der Anteil an niederschlagsbedingtem Grundwasser ab. Daher nimmt die Mineralisation der in den Steinkohlengruben zusitzenden Wässer von Südosten nach Nordwesten generell zu. Grundsätzlich können drei Zonen der Deckgebirgsüberlagerung im Steinkohlenbergbau des Ruhrgebietes unterschieden werden (Hahne und Schmidt 1982) (Abb. 6):

- Zone A: südliches Ruhrgebiet; anstehende, aufgelockerte Schichten des Oberkarbon ohne Kreide-Deckgebirge; Niederschlagsbedingte und -abhängige Grubenwasserzuflüsse; HCO_3^- - und SO_4^{2-} -Wässer (Pyritoxidation).
- Zone B: mittleres Revier mit geringmächtigem Kreide-Deckgebirge (bis 400 m); Wasserzuflüsse mit verzögerter Niederschlagsabhängigkeit, z. T. aus tieferen Deckgebirgsschichten (Cenoman/Turon); stark mineralisierte Mischwässer.
- Zone C: nördliches Revier und zentrales Münsterland mit mächtigem Kreide-Deckgebirge (> 400 m); kein direkter

Oberflächenwasserzufluss; Zuflüsse aus dem angrenzenden und liegenden Steinkohlengebirge; NaCl-Wässer mit Temperaturen bis zu 60 °C.

Die Abnahme des zufließenden Grubenwassers in die Steinkohlenbergwerke in Richtung Norden wurde von Semmler (1956) untersucht und mit den geförderten Kohlen in Beziehung gesetzt. Hierbei ergeben sich folgende Verhältnisse von Kohle zu Wasser im Ruhrbergbau:

- Zone A: 1 t Kohle: 8,8 m³ gehobenes Grubenwasser
- Zone B: 1 t Kohle: 2,5 m³ gehobenes Grubenwasser
- Zone C: 1 t Kohle: 0,7 m³ gehobenes Grubenwasser

Das Verhältnis zwischen den Wasservolumina aus den Wässern der Zonen A und C ergibt den Faktor 10. Dies betrifft auch die Kosten der Grubenwasserförderung. Damit wird auch der wirtschaftliche Vorteil der Abschirmung der Steinkohlenlagerstätte durch die Emscher-Formation klar.

Die Ergebnisse des Deckgebirgsmodells, in das 288 Tiefbohrungen des Münsterländer Kreidebeckens eingepflegt wurden (Wesche 2016), bestätigen diese geohydraulische Barrierewirkung der Emscher-Formation. Wie aus den Schnitten in Abb. 5 ersichtlich ist, dominieren im Bereich der Emscher-Formation die geringsten Durchlässigkeiten. Eine effektive Reduzierung von eindringendem Grundwasser ist somit im Verbreitungsgebiet der Emscher-Formation gegeben. Die Analyse der Durchlässigkeiten sämtlicher Störungen im Kreide-Deckgebirge ergab, dass diese im Bereich der Emscher-Formation durch eine Verschmierung der Tonminerale auf den Störungsfächern als undurchlässig zu betrachten sind (Wesche 2016). Weitere Belege für die Dichtigkeiten ergaben Beobachtungen des Erstautors, wonach temporäre Auflockerungen der Emscher-Formation durch den Steinkohlenabbau zunächst zu lokalen Gasaustritten führen können. Diese Wegsamkeiten wurden allerdings nach Beendigung des Abbaus durch den Gebirgsdruck geschlossen und damit ein weiterer Grubengasaustritt unterbunden (Rudolph et al. 2008).

Fazit

Die Schichten der Oberkreide stellen hinsichtlich ihrer geohydraulischen Eigenschaften eine Besonderheit im Münsterländer Kreidebecken dar. Dies betrifft zum einen die Wasserhöufigkeit des höheren Santon/Campan, sowie die geohydraulische Barrierewirkung der Schichten der Emscher-Formation. Diese abdichtende Wirkung stellt ein wichtiges Glied im überregionalen Wasserhaushalt und insbesondere für die Aktivitäten des Steinkohlenbergbaus dar.

Von besonderer Bedeutung für die geohydraulischen Eigenschaften des Kreide-Deckgebirges ist die Emscher-For-

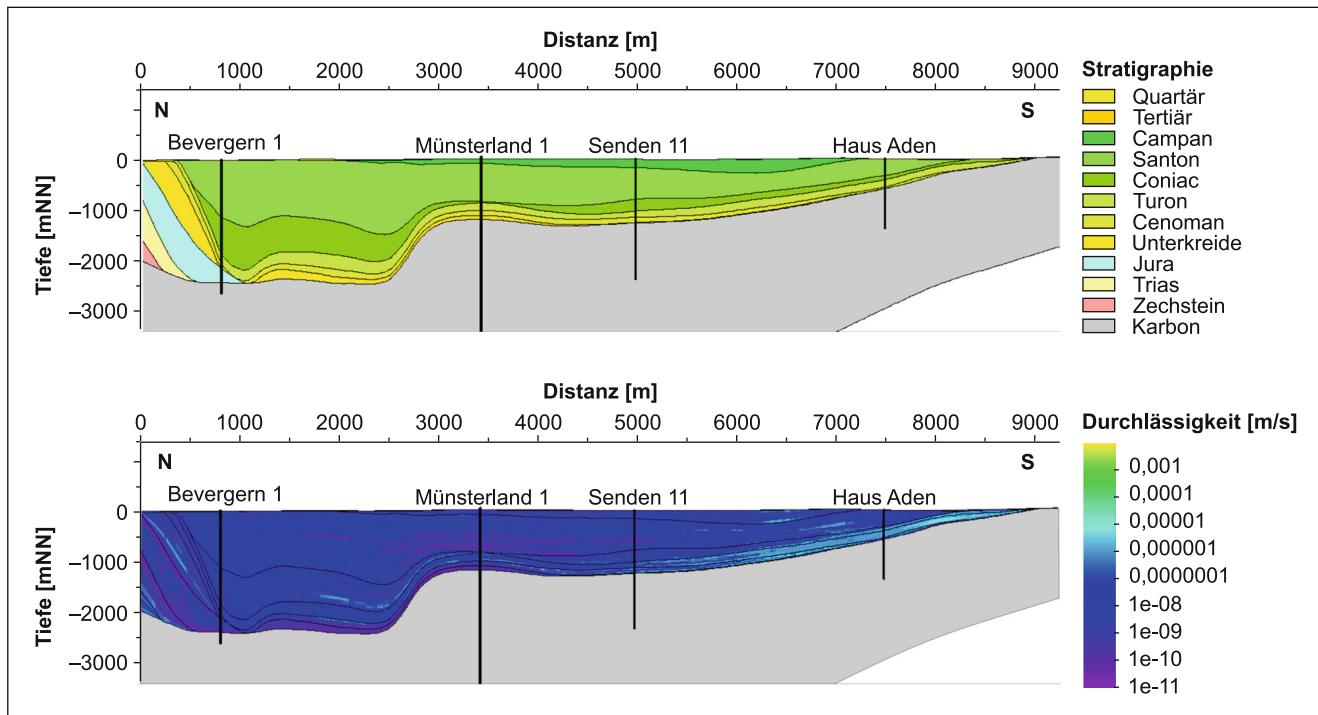
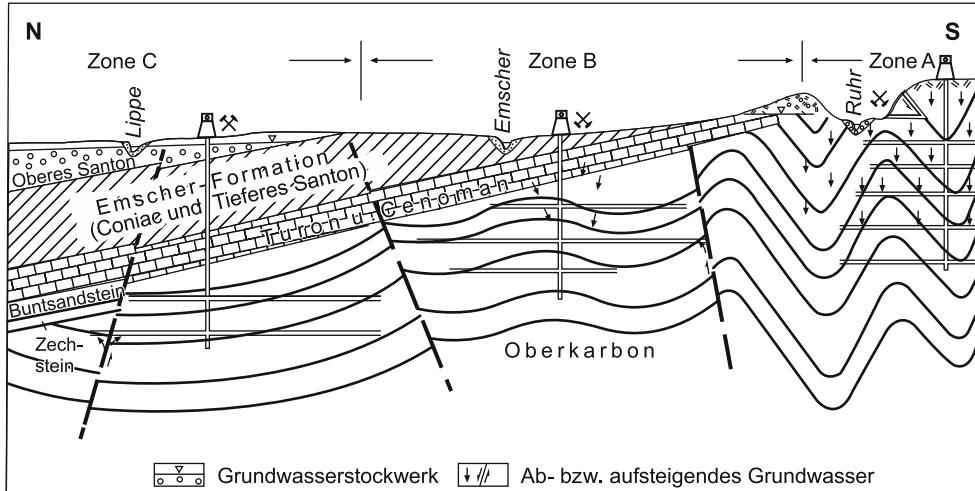


Abb. 5 N-S Schnitt durch das zentrale Münsterländer Kreidebecken mit Darstellung der Stratigraphie (oben) und der Durchlässigkeit (unten, Wesche 2016)

Abb. 6 Schematischer Schnitt durch das südliche Münsterländer Kreidebecken (nach Hahne und Schmidt 1982)



mation. Aufgrund ihrer Zusammensetzung aus homogenen Tonmergelsteinen stellt diese einen mächtigen Grundwassernichtleiter dar, welcher die oberflächennahen Süßwasservorkommen von den salzhaltigen Wässern des unteren Grundwasserleiters trennt.

In einem neuen integrierten 3D-Modell des Münsterländer Kreidebeckens lassen sich die Schichten der Emscher-Formation von den Kreideschichten im Liegenden und Hangenden aufgrund geringer Hohlraumanteile und Durchlässigkeiten sowie hoher Tonanteile deutlich abgrenzen. Durch deren besondere lithologische Ausbildung der Kreideschichten tritt eine Verschmierung von Tonmineralen

auf den Störungsflächen auf. Diese Tonschmierung wurde erstmals für das gesamte Münsterländer Kreidebecken hinsichtlich des Einflusses auf die Störungsdurchlässigkeiten untersucht. Die Analysen belegen, dass die Störungsdurchlässigkeiten aufgrund dieses Prozesses verringert werden und somit abgedichtet sind. Eine natürliche geohydraulische Verbindung des oberen und unteren Kreide-Grundwasserleiters ist damit im Verbreitungsgebiet der Emscher-Formation weder im ungestörten Gebirge noch über Störungen vorhanden.

Die gewonnenen Untersuchungsergebnisse sind insbesondere im Hinblick auf die Beendigung des Steinkohlen-

bergbaus und die damit verbundene Reduzierung der Wasserhaltung von großer Bedeutung, die zu einem Wasserzutritt aus dem Grundgebirge in den unteren Grundwasserleiter des Münsterländer Kreidebeckens führen werden. Die aus dem Modell abgeleitete Hohlraumvolumina des unteren Grundwasserleiters sowie die geohydraulischen Eigenschaften der Kreidestörungen ermöglichen erstmals eine Vorhersage der dabei eintretenden Prozesse während des Grubenwasseranstiegs.

Es zeigt sich, dass die Emscher-Formation, die aufgrund ihrer geringen Durchlässigkeit den Steinkohlenabbau unterhalb der Kreideschichten erst wirtschaftlich möglich machte, nach dessen Beendigung eine ebenso große Bedeutung für den Schutz der oberflächennahen Grundwasserhorizonte besitzen wird.

Literatur

- Baltes, B., Fischer-Appelt, K., Larue, P.J., Javeri, V., Thein, J., Veerhoff, M., Paas, N., Justen, A., Navarro, M., Obermann, P., Himmelsbach, T., Withüser, K., Harnischmacher, S., Zobel, J., Schmid, G.P., König, C., Rosen, B., Wendland, E.C., Müller, W., Rüterkamp, P., Klinger, C., Hewig, R.: Entwicklung und Anwendung analytischer Methoden zur Eignungsuntersuchung der Verbringung bergbaufremder Rückstände in dauerhaft offene Grubenräume im Festgestein. Abschlussbericht (Hauptband). Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Köln (1998)
- Coldewey, W.G.: Hydrogeologie, Hydrochemie und Wasserwirtschaft im mittleren Emschergebiet. Mitt Westfäl Berggewerkschaftskasse 38, Bochum (1976)
- Correns, C.W.: Einführung in die Mineralogie. Springer, Berlin Heidelberg New York (1960)
- DIN 18130-1:1998-05: Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts – Teil 1: Laborversuche. 20 S., 11 Abb., 11 Tab.; Berlin (1998)
- Dölling, M., Juch, D.: Strukturgeologische Modellvorstellung zum Kreide-Deckgebirge im zentralen Münsterland. Scriptum **18**, 5–27 (2009)
- Freeman, B., Yielding, G., Needham, D.T., Badley, M.E.: Fault seal prediction: the gouge ratio method. In: Coward, M.P., Daltaban, T.S., Johnson, H. (Hrsg.) Structural geology in reservoir characterization Special Publication 127. S. 19–25. Geological Society, London (1998)
- Fristad, T., Groth, A., Yielding, G., Freeman, B.: Quantitative fault seal prediction: a case study from Oseberg Syd. In: Møller-Pedersen, P., Koestler, A.G. (Hrsg.) Hydrocarbon Seals: Importance for exploration and production Special Publications 7. S. 107–124. Norwegian Petroleum Society (NPS), Amsterdam (1997)
- Geologischer Dienst NRW: Geologie und Boden in Nordrhein-Westfalen. GD NRW, Krefeld (2016)
- Hahne, C., Schmidt, R.: Die Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes. Verlag Glückauf, Essen (1982)
- Harris, D., Yielding, G., Levine, P., Maxwell, G., Rose, P.T., Nell, P.: Using Shale Gouge Ratio (SGR) to model faults as transmissibility barriers in reservoirs: an example from the Strathspey Field, North Sea. Petroleum Geosci **8**, 167–176 (2002)
- Kukuk, P.: Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes. Springer, Berlin (1938)
- Manzocchi, T., Walsh, J.J., Nell, P., Yielding, G.: Fault transmissibility multipliers for flow simulation models. Petroleum Geosci **5**, 53–63 (1999)
- Rudolph, T., Melchers, C., Coldewey, W.G.: Subsurface permeabilities in the German mining district. Glückauf **144**(12), 681–690 (2008)
- Semmler, W.: Die Grubenwasserzuflüsse im Ruhrbergbau und die mit ihrer Bewältigung verbundenen Kosten. Bergbau Rundsch **8**(7/8), 11 (1956)
- Wesche, D.: Analyse der hydrogeologischen Eigenschaften von Deckgebirge und Störungen im Münsterländer Kreidebecken auf Grundlage eines neuen integrierten 3D-Untergrundmodells. Dissertation. 216 S., 100 Abb., 26 Tab., 8 Anh., 12 Anl.; TU Clausthal (2016)
- Wolansky, D.: Ein Umkehrverwurf im Deckgebirge am Ostschaft der Zeche Adolf von Hansemann. Glückauf **96**, 1006–1010 (1960)
- Wrede, V.: Zur Zeitlichkeit postvarischer Tektonik im südwestlichen Teil des Münsterschen Kreidebeckens. Beiträge zur Geologie und Archäologie des Niederrheins. Schriftenreihe der Deutschen Geologischen Gesellschaft für Geowissenschaften, Bd. 73. GD NRW, Hannover Krefeld, S. 183–189 (2010)
- Wrede, V.: Schiefergas und Flözgas – Potenziale und Risiken der Erkundung unkonventioneller Erdgasvorkommen in Nordrhein-Westfalen aus geowissenschaftlicher Sicht. Scriptum **23**, 128 (2016)
- Yielding, G., Freeman, B., Needham, D.T.: Quantitative fault seal prediction. Am Assoc Pet Geol Bull **81**(6), 897–917 (1997)