

Wilhelm G. Coldewey

Hydrogeologie des Ruhrgebietes Bedeutung für Wasserwirtschaft und Hydrographie

Abstract

In the Ruhr area aquifer of different capacity are to be found which supplies a great number of springs and waters. Only the sandy Upper Cretaceous layer in the north and the gravels of the Rhine and the Ruhr are important for the regional water supply.

Kurzfassung

Im Ruhrgebiet kommen unterschiedlich ergiebige Grundwasserleiter vor, die zahlreiche Quellen und Gewässerläufe speisen. Für die überregionale Wasserversorgung sind nur die sandigen Schichten der Oberkreide im Norden und die kiesigen Ablagerungen des Quartär im Bereich des Rheines und der Ruhr von Bedeutung.

Schlagworte

Ruhrgebiet, Hydrogeologie, Grundwasserleiter, Quelle, Gewässer, Wasserwirtschaft.

Hydrogeologische Grundlagen

Für die Entstehung von Quellen und damit auch von Gewässerläufen spielt die Wasserdurchlässigkeit der Gesteine eine große Rolle. Generell unterscheidet man zwischen Grundwasserleiter und Grundwassernichtleiter (Abb. 1). Aufgrund der für die Grundwasserbewegung zur Verfügung stehenden Hohlräume unterscheidet man die Grundwasserleiter in Poren- und Kluftgrundwasserleiter.

Durch die Wechsellagerung von Grundwasserleitern und Grundwassernichtleitern kann es zur Ausbildung von Grundwasserstockwerken und zu gespanntem Grundwasser kommen.

Durch Veränderungen des Grundwasserleiters, wie zum Beispiel Minderung des Abflußquerschnitts, Auskeilen des Grundwasserleiters und durch Störungen kann es zur Entstehung von Quellen kommen. An den Quellorten tritt Grundwasser nach einem wechselnd langen, unterirdischen Abfluß zu Tage und fließt als oberirdisches Gewässer ab. Der Grundwasseraustritt wird meistens durch das Grundwassergefälle verursacht, das einen hydrostatischen Druck erzeugt.

Regionale Geologie und Hydrogeologie

Für das Verständnis der geologischen Gegebenheiten sind Kenntnisse der regionalen Geologie und Hydrogeologie, wie Stratigraphie, Lagerung und Tektonik unentbehrlich. Aufgrund dieser Kenntnisse lassen sich Angaben über die Verbreitung der verschiedenen geologischen Formationen, ihrer hydrogeologischen Eigenschaften und damit auch der Möglichkeit einer Wassergewinnung machen.

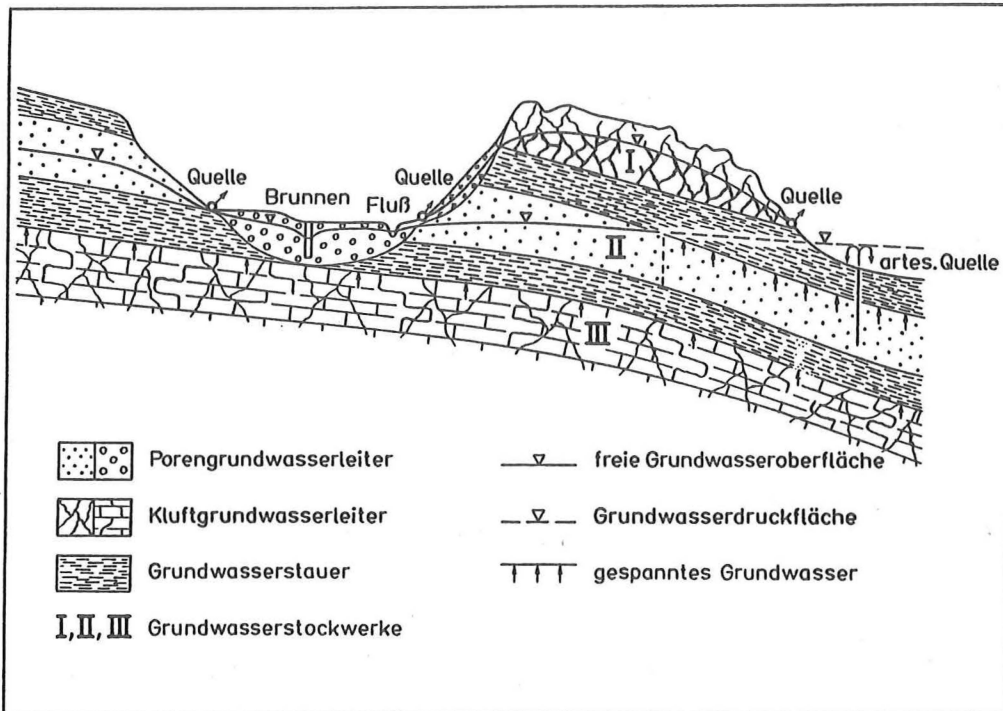


Abb. 1 Schematische Darstellung verschiedener Grundwasservorkommen.

Stratigraphie, Lagerung und Tektonik

Der generelle Aufbau der geologischen Schichten ist aus Abb. 2 zu ersehen. Das Liegende der Schichtenfolge wird durch die Ablagerungen des Oberkarbon aufgebaut. Diese bestehen aus einer Wechsellagerung von Sandsteinen, Tonsteinen und Kohleflözen. Da diese Schichten für die angesprochene Fragestellung uninteressant sind, soll hierauf nicht näher eingegangen werden.

Auf den Schichten des Oberkarbon lagert das sogenannte Deckgebirge mit den Ablagerungen des Perm, der Trias und der Kreide.

Da die Schichten des Perm und der Trias nicht oberflächlich anstehen, soll hierauf ebenfalls nicht näher eingegangen werden.

Diskordant auf den Schichten des Oberkarbon lagern die Schichten der Kreide. Diese beginnen mit der Abfolge des Cenoman. Das Liegende dieser Schichten besteht aus einem Transgressionskonglomerat aus Toneisensteingeröllen, Schiefertonssteinen und karbonischen Sandsteinen. Es folgt der Essener Grünsand, der im zentralen Revier wasserstauend ist. Er ist allerdings nur dort wasserstauend, wo er bei größerer Mächtigkeit tonig entwickelt ist. Der tonige Anteil verleiht dem Gestein seine wasserstauende Wirkung und eine gewisse Plastizität. Auf dem Essener Grünsand folgen klüftige Kalksteine und Kalkmergelsteine, die wasserführend sein können.

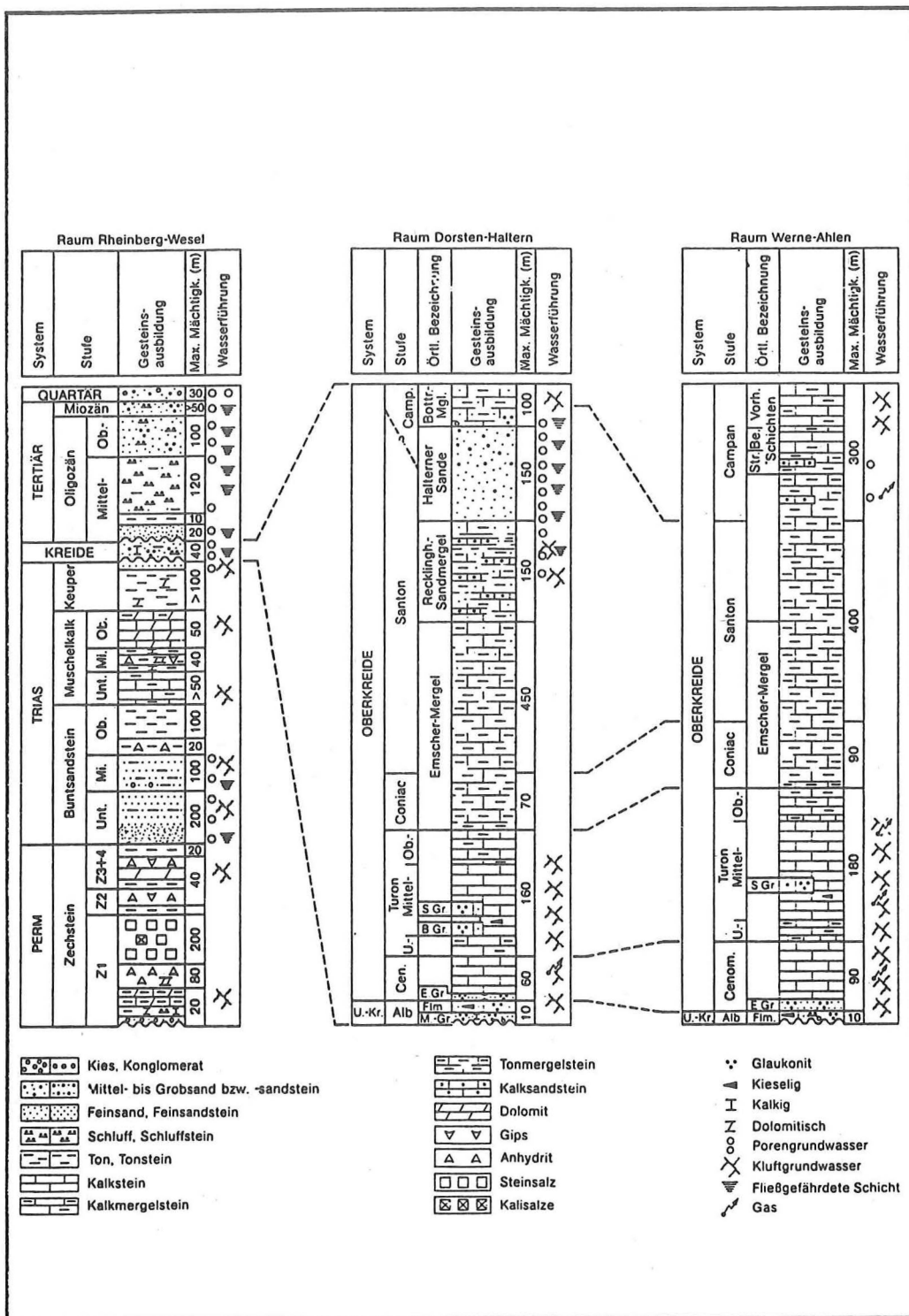


Abb. 2 Schematischer Schichtenschnitt durch das Deckgebirge im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet (nach MÜLLER 1982).

Auf den Schichten des Cenoman lagern die klüftigen Kalkmergelsteine und Mergelkalksteine des Turon. In diese Abfolge sind zwei glaukonitische Grünsandhorizonte — der Bochumer und der Soester Grünsand — eingelagert. Die festen Schichten des Turon sind geklüftet und wasserführend.

Die Schichten des Emscher (Coniac bis Unteres Mittelsanton) nehmen hinsichtlich ihrer Mächtigkeit, ihres Gesteinsaufbaues und ihrer hydrogeologischen Eigenschaften eine Sonderstellung ein. Diese Ablagerungen erreichen im zentralen Ruhrrevier eine Mächtigkeit von bis zu 400 m. Während die Schichtenfolge des Cenoman und des Turon unterschiedlich aufgebaut sind, bestehen die Schichten des Emschermergel aus einer eintönig ausgebildeten Abfolge von Ton- und Sandmergelsteinen, mit einem hohen Kalkanteil. Der hohe Anteil an Kalk und an Ton verleiht dem Gestein eine hohe Zonenaustausch- und Pufferkapazität, die z.B. einem Schadstoffeintrag positiv entgegenwirken kann.

Die obersten 12 m des Emschermergel sind zu einem tonigen Schluff bzw. schluffigen Ton verwittert und bilden einen Grundwassernichtleiter. Darunter können die Tonmergelsteine bis zu einer Tiefe von 30 – 50 m geklüftet und wasserführend sein. Zum Liegenden werden die Klüfte seltener und sind schließlich vollständig geschlossen. Es bildet sich ein Grundwassernichtleiter aus. Der Emschermergel dichtet somit das tiefere Grundwasserstockwerk von Cenoman und Turon gegen das obere Grundwasserstockwerk des höheren Santon und des Quartär ab. Aufgrund seiner Klüftigkeit wird der Emschermergel auch zur Wasserversorgung genutzt.

Die höheren Oberkreideschichten (höheres Santon und Campan) werden 100 m mächtig. Im mittleren und westlichen Ruhrgebiet sind diese Ablagerungen sandigmergelig entwickelt. In der Ausbildung der Recklinghäuser Sandmergel bestehen diese Schichten aus einer Wechsellagerung tonig-mergeliger Feinsande mit zwischengelagerten harten Kalksandsteinbänken. Dagegen bestehen diese Schichten in der Ausbildung der Halterner Sande aus mehr oder weniger lockeren Quarzsanden mit z.T. kalkig oder kieselig verfestigten Bänken. Die Recklinghäuser Sandmergel und die Halterner Sande sind gute Grundwasserleiter. Während es sich bei den Halterner Sanden um einen reinen Porengrundwasserleiter handelt, stellen die Recklinghäuser Sandmergel eine Mischung zwischen Kluft- und Porengrundwasserleiter dar.

Die mergeligen Feinsande der Recklinghäuser Sandmergel, denen nach unten hin abnehmend Mittelsand eingelagert ist, geben selbst nur wenig Wasser ab. Die Hauptzuflüsse kommen aus eingelagerten klüftigen Kalksandsteinbänken.

Die Schichten des Tertiär beginnen im Liegenden mit den sogenannten Walsumer Meeressanden, darauf folgt die Tonmergelstufe der Ratinger Schichten, die als kalkiger Tonstein entwickelt ist und einzelne feste Kalkmergelsteinbänke führt.

Darauf lagern die Schluffe der Lintforter Schichten, die einen wechselnden Ton- und Feinsandanteil aufweisen, und die schluffigen Feinsande der Grafenberger Schichten.

Die Schichten des Pleistozän verhüllen die Ablagerungen des Deckgebirges. Aufgrund ihrer Genese wechseln die Gesteinsausbildungen dieser Schichten sehr stark.

Es handelt sich vorwiegend um Ablagerungen des nordischen Pleistozän, also um Ablagerungen, die im Bereich und am Rande der ehemaligen Gletscher entstanden sind. Im Kornaufbau weisen diese Schichten ein großes Spektrum auf, das von tonigem Geschiebemergel und Geschiebelehm über feinsandig, schluffigen Löß und Lößlehm bis zu grobsandigen Terrassenkiesen reicht.

Die Ablagerungen des Holozän bestehen aus den Sedimenten der Flüsse und Bäche. Es handelt sich meistens um tonig-feinsandige Schluffe mit eingelagerten Torf- und Humuslagen.

Die Lagerungsverhältnisse der Deckgebirgsschichten im Ruhrgebiet lassen sich aus Abbildung 3 ersehen. Im Bereich des heutigen Ruhrgebietes kam es im Karbon zu einer mächtigen Ablagerung von Flözen, Flöznebangesteinen und Zwischenmittel in rhythmischer Folge. Diese Schichtenfolge wurde von einer nach Norden schreitenden Faltung zu einem Faltensystem aus WSW und ONO 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.

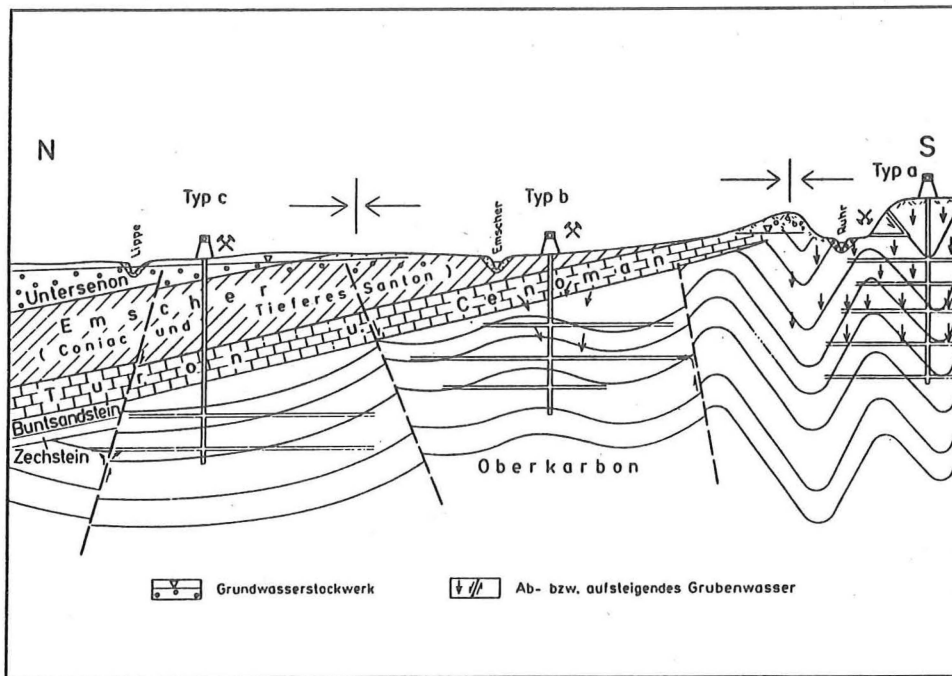


Abb. 3 Schematischer N-S-Schnitt durch das Rheinisch-Westfälische Industriegebiet (nach SCHMIDT 1986).

In der darauffolgenden Zeit unterlagen die karbonischen Schichten während einer Festlandperiode einer starken Abtragung. Es kam zur Ausbildung einer Festebene. Das Meer überflutete zu Beginn der Oberkreide diese gleichmäßig ausgebildete Ebene

und lagerte seine Sedimente darauf ab. Am Ende der Oberkreide wurden infolge erneuter tektonischer Beanspruchung die alten Störungszonen wieder aktiv.

Aus dem Schnitt (Abb. 3) erkennt man deutlich den unteren Grundwasserhorizont von Turon und Cenoman. Darüber lagert der mächtige Emschermergel, der nur im oberen Teil Kluftwasser aufweist. Ansonsten dichtet dieser Horizont das obere Grundwasserstockwerk im Quartär und im höheren Santon gegen das untere Grundwasserstockwerk ab.

Im Tertiär kam es zur Absenkung im westlichen Teil des Ruhrgebietes. Das Meer drang für kurze Zeit in diesen Raum ein und lagerte Tone und Sande ab.

Während die Lagerungsverhältnisse in den Schichten der Oberkreide und des Tertiär relativ einfach sind, ist die Situation der quartären Deckschichten komplizierter. Aufgrund ihrer Entstehungsgeschichte weisen die quartären Ablagerungen hinsichtlich ihrer Kornzusammensetzung und ihrer Lagerungsverhältnisse eine große Komplexität auf, wie aus Abb. 4 und 5 zu ersehen ist.

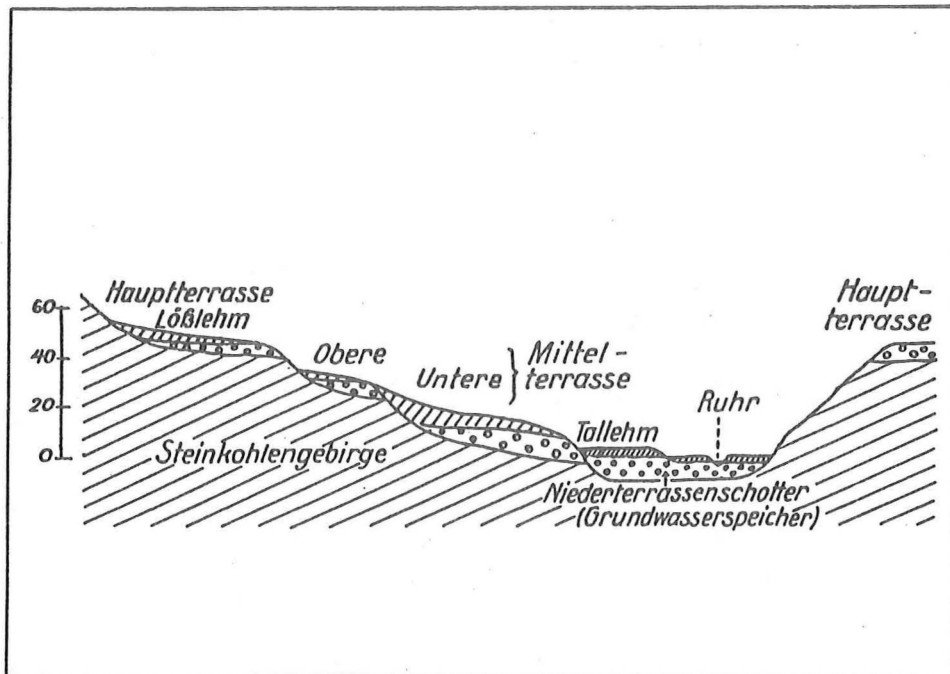


Abb. 4 Schematischer Schnitt durch die quartären Schichten im Ruhrtal (nach KUKUK 1938).

Im Quartär kam es zu einer Landhebung und damit verbunden zu einem Einschneiden der Flüsse. Diese Flüsse sedimentierten mächtige Kiesablagerungen. Die Hebungerscheinungen waren kombiniert mit dem eiszeitlichen Klimagang, d.h. einem Wechsel von Kalt- und Warmzeiten. Diese Überlagerung zweier Phänomene

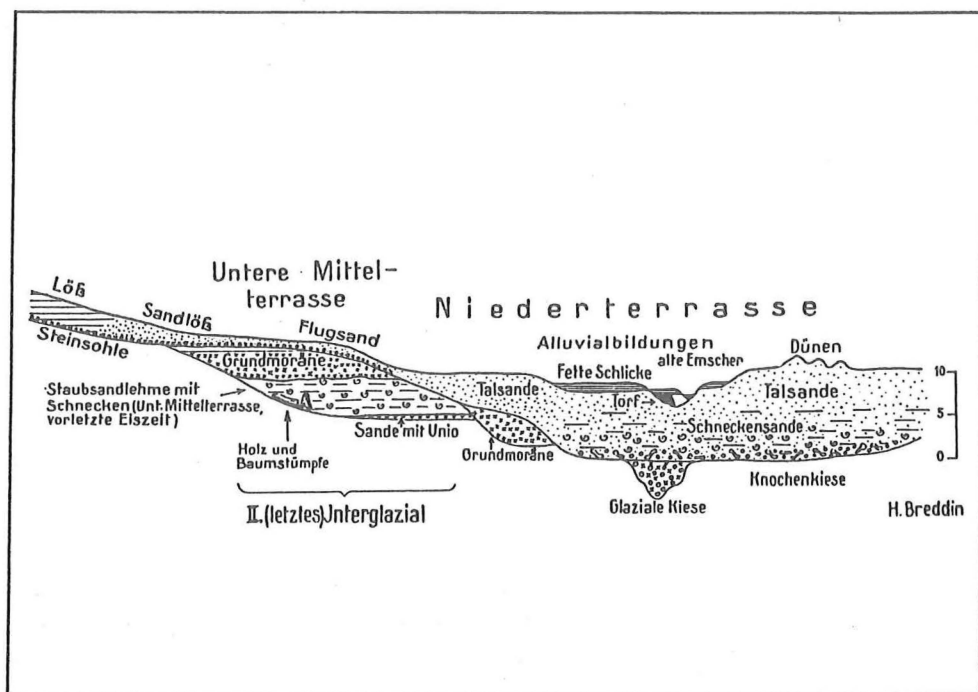


Abb. 5 Schematischer Schnitt durch die quartären Schichten im Emschertal (nach BREDDIN).

— der Landhebung und des Klimawechsels — führte zur Terrassenbildung in den Tälern.

Nur einmal gelangte während der Saale-Zeit das Inlandeis bis in das Ruhrgebiet. Während dieser Zeit wurden die Ablagerungen der Ruhrmittelterrasse gebildet (Abb. 4) Bei dem darauffolgenden Abschmelzen des Eises blieben Ablagerungen der Endmoräne und der Grundmoräne zurück. Es handelt sich bei diesen Schichten um schluffige bis sandig-tonige Mergel, in die nordische Geschiebe eingelagert sind. Während dieser wärmeren Zeit entstanden wohl durch abfließende Wassermassen die breiten Täler der heutigen Emscher und Lippe. Beide Flußtäler sind durch Terrassen gegliedert (Abb. 5). In der darauffolgenden Weichsel-Eiszeit bildeten sich die Ablagerungen der Niederterrasse. So ist das heutige Ruhrtal von mächtigen Niederterrassen-Schottern ausgefüllt (Abb. 4)

Die Niederterrasse der Emscher besteht aus geschichteten Sanden. An der Basis finden sich häufig kiesige Ablagerungen, in die Knochenreste eiszeitlicher Säugetiere eingelagert sind.

Aus den, dem Eis vorgelagerten Sandflächen, wurden mittel- und feinkörnige Sande ausgeblasen und als Löss und Flugdecksande abgelagert. An Hindernissen wurden Dünen aufgeweht.

Im Holozän kam es zur Ablagerung der Fluß- und Bachsedimente. Es handelt sich hierbei um tonigen bis sandigen Lehm in den humose Lagen eingelagert sein können.

Verbreitung der verschiedenen Formationen

Die Verbreitung der Deckgebirgsschichten ist aus Abbildung 6 zu ersehen. Bei dieser Darstellung wurden die jüngeren Schichten des Quartär nicht dargestellt.

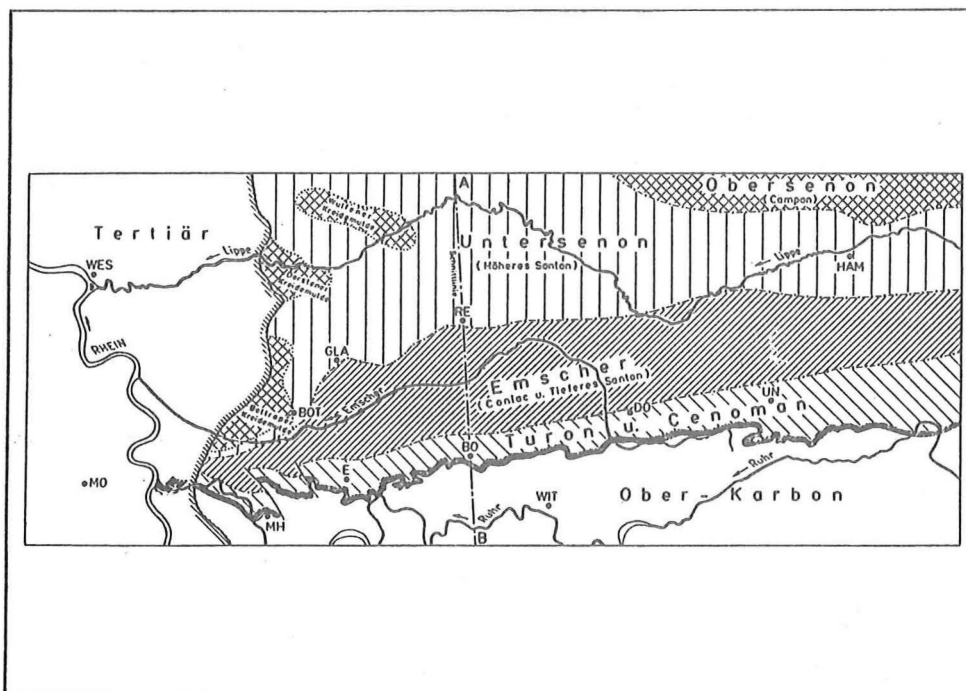


Abb. 6 Verbreitung der Deckgebirgsschichten im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet (nach SCHMIDT 1986).

Die Schichten des Cenoman und Turon lagern diskordant auf den Schichten des Oberkarbon und bilden den Südrand des Ruhrgebietes. Sie erstrecken sich von Mülheim über Essen, Bochum, Dortmund bis nach Unna. Diese klüftigen Kalkmergel- bzw. Mergelkalksteine dienen auch noch heute häufig der örtlichen Wasserversorgung.

Im zentralen Bereich des Ruhrgebietes liegen die Ablagerungen des Emschermergel. Wie bereits aufgeführt, weist dieser Mergelstein eine Verwitterungsschicht auf, die das Eindringen von Grundwasser aus den Schichten des Quartär verhindert. Darunter sind die Schichten bis zu einer Tiefe von 30 – 50 m geklüftet und können für örtliche Wasserversorgungszwecke genutzt werden.

Die Schichten des höheren Santon, besonders im Bereich der sandigen Ausbildung im nördlichen und nordwestlichen Ruhrgebiet, sind für die Wassergewinnung von

großer Bedeutung. Hier sind besonders die Halterner Sande zu erwähnen, die einen großen Grundwasserspeicher darstellen. Durch die teilweise muldenförmige Lagerung der Kreideschichten kommt es vereinzelt zur Ausbildung von gespannten Wasserhorizonten, wie im Bereich der Bottroper und der Dorstener Kreidemulde.

Fast das gesamte Tertiär am Niederrhein ist als porenwasserführendes Lockergestein entwickelt. Aufgrund seines feinen Kornaufbaues gibt es das Wasser allerdings nur schwer ab.

Für die Oberflächengewässer spielen die Schichten des Quartär eine wichtige Rolle, da diese in den meisten Fällen die oberste geologische Formation darstellen. Es soll daher auf die Verbreitung dieser Schichten näher eingegangen werden. Eine Zusammenstellung der Verbreitung quartärer Ablagerungen ist in Abbildung 7 dargestellt.

Die Ablagerungen des Pleistozän und des Holozän sind aufgrund ihrer Gesteinsausbildung in ihrer Wasserführung sehr unterschiedlich. Reiche nutzbare Wasserhorizonte stellen die Terrassenkiese der Flußtäler dar. Hier sind besonders die Ablagerungen der Ruhr zu erwähnen. Aus diesen Ablagerungen wird ein Großteil der Wasserversorgung des Ruhrgebietes gewährleistet. Größere Kiesvorkommen befinden sich auch im Bereich von Castrop-Rauxel. Diese Vorkommen sind für die Wassergewinnung von untergeordneter Bedeutung, während die mächtigen Kiesablagerungen der Rheinterrassen im Westen des Ruhrgebietes für die Wasserversorgung genutzt werden.

Weit verbreitet sind die Niederterrassensande der Emscher und ihrer Nebenbäche. Diese Ablagerungen sind für die Wasserversorgung von untergeordneter Bedeutung.

Die Ablagerungen des Geschiebemergels bzw. Geschiebelehms sind im Nordosten und Nordwesten des Ruhrgebietes anzutreffen. Es handelt sich hierbei um sandig-tonigen Mergel, in dem nordische Geschiebe eingelagert sind. Aufgrund ihrer Gesteinszusammensetzung sind diese Schichten wasserwirtschaftlich unbedeutend.

Löß und Flugdecksande stellen die jüngsten Bildungen des Pleistozän dar. Sie sind im gesamten Ruhrgebiet in wechselnder Mächtigkeit vorhanden. Bei dem Löß handelt es sich um Schluff, der Flugdecksand besteht in der Hauptsache aus Feinsand. Die Mächtigkeiten schwanken von wenigen dm bis zu mehreren m. Für die Wasserversorgung sind Löß, Lößlehm und Flugdecksande ohne Bedeutung.

Das Holozän befindet sich nur in den jüngsten Flußaufschüttungen der Emscher und ihrer Nebenbäche. Diese Ablagerungen bestehen in der Hauptsache aus sandigem Lehm, in den z.T. humose Lagen eingelagert sind. Es ist durchaus möglich, aus diesen Schichten mit kleineren Brunnen z.B. für eine Hausversorgung Wasser zu fördern.

Wasserwirtschaft und Hydrographie

Voraussetzung für die Besiedlung eines Gebietes ist eine ausreichende Wasserversorgung. In früheren Zeiten siedelten die Menschen daher in Nähe von Quellen und Gewässern. Dies war auch im Ruhrgebiet der Fall. So wurde von MOLLY (1925) für den Bereich des Vestes Recklinghausen eine enge Beziehung zwischen den Quellorten

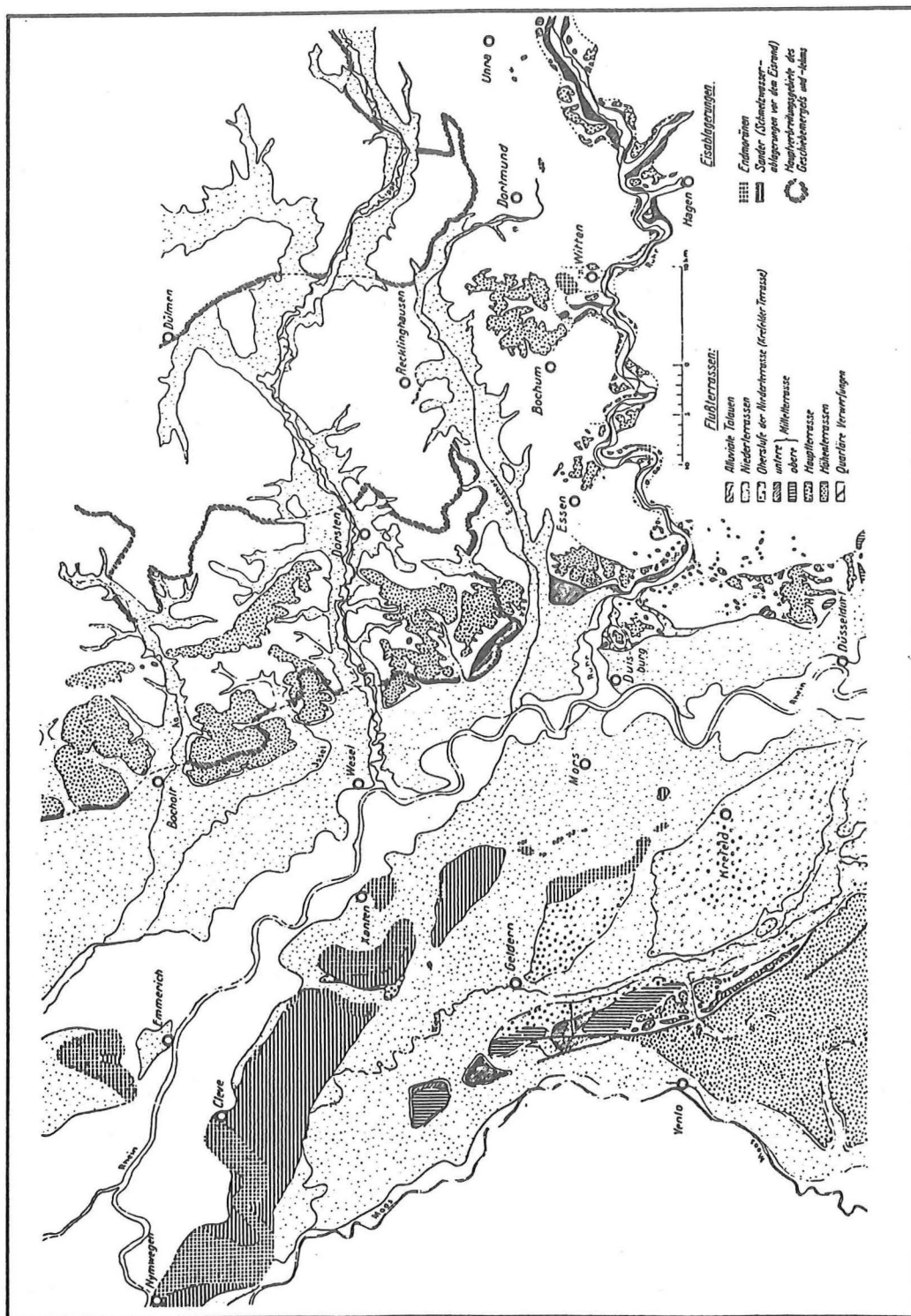


Abb. 7 Verbreitung der quartären Ablagerungen im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet (nach KUKUK 1938).

und der Besiedlung nachgewiesen (Abb. 8). Aufgrund der geohydraulischen Verhältnisse sind die Quellaustritte an die 80 m Höhenlinie gebunden. Im Bereich des zentralen Recklinghäuser Höhenrückens war in historischen Zeiten keine Besiedlung möglich, da die technischen Voraussetzungen (Tiefbrunnen) nicht gegeben waren.

Eine moderne Wassergewinnung ist nur dort möglich, wo Poren- und Kluftwasser mit einer entsprechenden Regeneration anstehen.

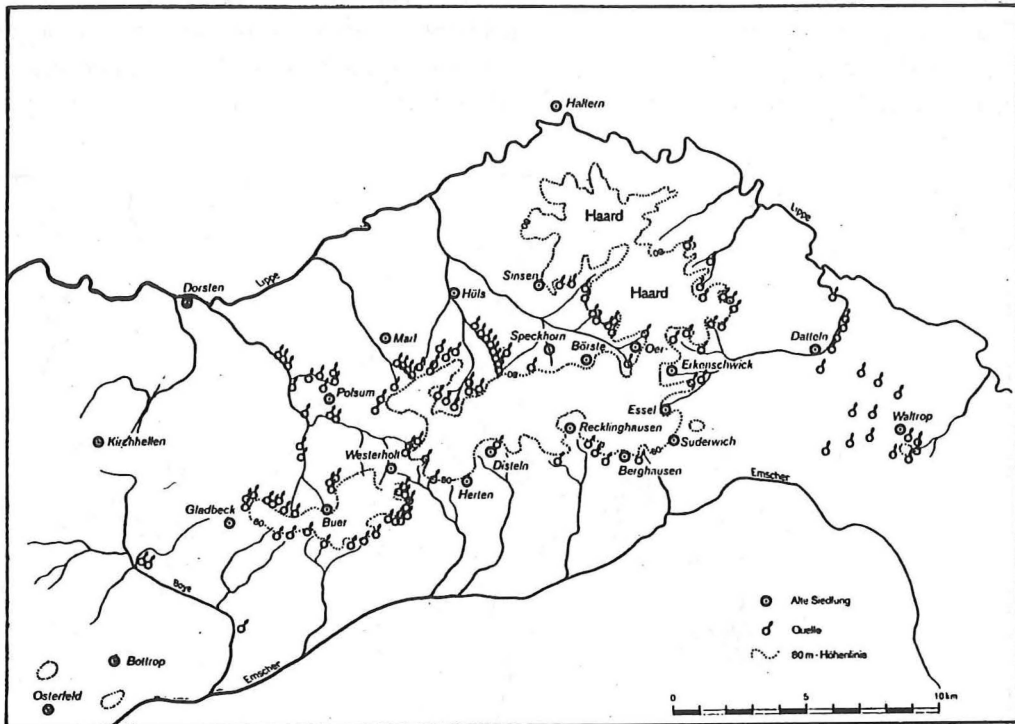


Abb. 8 Zusammenhang zwischen Quellaustritten und alter Besiedlung (nach MOLLY 1925).

Die Schichtenfolge des Karbon mit einer Wechsellagerung von Schiefertönen, Sandsteinbänken und Flözen hat nur eine Bedeutung für eine Hauswasserversorgung.

Die geklüfteten Schichten des Turon und die obersten Schichten des Emschermergel sind in der Lage, kleine Industriebetriebe mit Wasser zu versorgen.

Die Ablagerungen des höheren Santon sind für die überregionale Wasserversorgung von herausragender Bedeutung. In der Ausbildung der Recklinghäuser Sandmergel weisen die Schichten aufgrund der sandigen Ausbildung ein beachtliches nutzbares Porenvolumen auf. Die eingeschalteten Kalksandsteinbänke haben ein großes Kluftvolumen. In der Ausbildung der Halterner Sande sowie der Osterfelder Sande besitzt das höhere Santon ein großes Porenvolumen.

Von den Schichten des Quartär sind die Niederterrassenkiese aufgrund ihrer großen Durchlässigkeit für die Wassergewinnung des Ruhrgebietes von Bedeutung.

Die Wasserversorgung im Ruhrgebiet lässt sich nach der Art der Gewinnung wie folgt untergliedern:

- o Grundwasser ca. 200 Mio. m³/a.
- o Uferfiltrat ca. 675 Mio. m³/a.
- o Grundwasseranreicherung ca. 400 Mio. m³/a.
- o Grundwasseranreicherung und Uferfiltrat ca. 190 Mio. m³/a.

Von dieser Menge werden im Bereich der Ruhr ca. 725 Mio. m³/a, im Bereich des Rheins zwischen Düsseldorf und Wesel ca. 440 Mio. m³/a und im Bereich der Lippe ca. 200 Mio. m³/a gefördert. Die Wassergewinnung im Bereich des Emscherraumes nimmt sich dagegen mit ca. 20 Mio. m³/a relativ bescheiden aus (SCHMIDT1986).

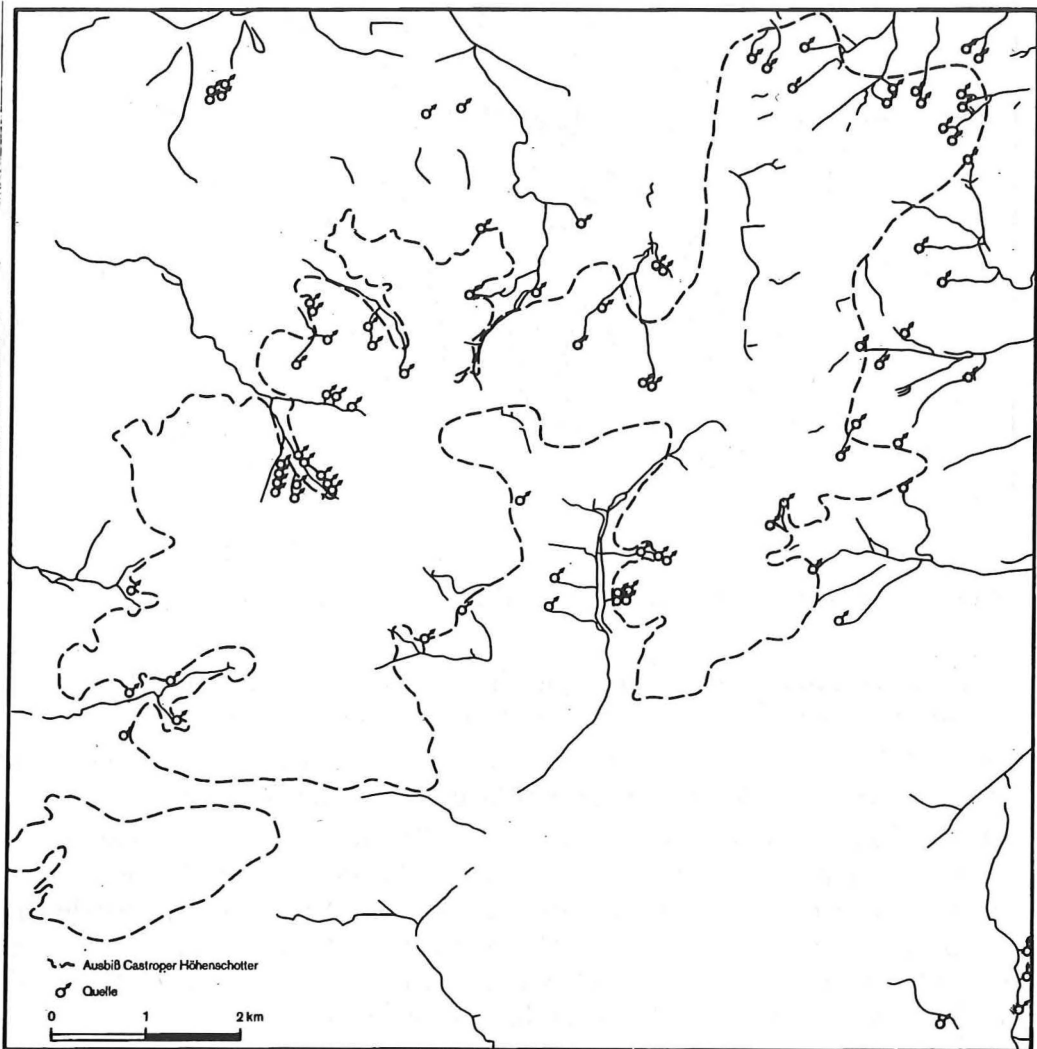


Abb. 9 Quellaustritte im Bereich der Castroper Höhenschotter (nach BIRK et al. 1973, COLDEWEY et al. 1976, 1978).

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Schichten des höheren Santon im Norden und die Schotter des Quartär im Süden und Westen des Industriegebietes die Wasserversorgung sicherstellen. Der zentrale Bereich des Ruhrgebietes ist aufgrund seiner geologischen Ausbildung für die großindustrielle Wasserversorgung ohne Bedeutung.

Generell entwässert der überwiegende Teil des zentralen Ruhrgebietes in die Em-scher. Lediglich ein geringerer Teil im Süden entwässert zur Ruhr und das Gebiet nördlich des Recklinghäuser Höhenrückens in die Lippe.

Aufgrund menschlicher Tätigkeit wurden die hydrographischen Verhältnisse im Ruhrgebiet massiv gestört. So wurden z.B. Quellen trockengelegt und Bachläufe verlegt. Dennoch existieren in diesem industriellen Ballungsraum zahlreiche Quellen und naturbelassene Wasserläufe. So entspringen im Bereich des Ausbiß der Castroper Höhenschotter im Stadtgebiet von Bochum, Herne und Castrop-Rauxel zahlreiche Quellen (Abb. 9).

Die Pflege und Erhaltung dieser letzten natürlichen Gewässer sollte für die verantwortlichen Fachleute wie Wasserbauingenieure und Landschaftsplaner eine Verpflichtung sein.

Literatur

- BIRK, F. & H. RUDKOWSKI (1973): Blatt Bochum der Hydrologischen Karte des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirks 1:10.000.– Bochum, 211.
- BIRK, F. (1975): Erläuterungen zum Blatt Bochum der Hydrologischen Karte des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirks 1:10.000.– Bochum, 211: 61 S.
- BIRK, F. & W.G. COLDEWEY (1986): Altlasten im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet.– ZENIT Workshop, Mülheim: 43 S.
- COLDEWEY, W.G. & W. LOOS (1976): Blatt Herne der Hydrologischen Karte des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirks 1: 10.000.– Bochum, 191.
- COLDEWEY, W.G. & W. LOOS (1978): Blatt Castrop-Rauxel der Hydrologischen Karte des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirks 1:10.000.– Bochum, 192.
- COLDEWEY, W.G., R. DOMALSKI & T. PASCHMANN (1982) : Blatt Lütgendortmund der Hydrologischen Karte des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirks 1:10.000.– Bochum, 212.
- COLDEWEY, W.G. (1982): Erläuterungen zum Blatt Lütgendortmund der Hydrologischen Karte des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirks 1:10.000.– Bochum, 212: 46 S.
- COLDEWEY, W.G. (1985): Erläuterungen zum Blatt Herne der Hydrologischen Karte des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirks 1:10.000.– Bochum, 191: 55 S.
- COLDEWEY, W. (1986): Erläuterungen zum Blatt Castrop-Rauxel der Hydrologischen Karte des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirks 1:10.000.– Bochum, 192: 53 S.
- KUKUK, P. (1938) : Geologie des niederrheinischwestfälischen Steinkohlengebietes.– Berlin, 706 S.
- MOLLY, K. (1925): Landschaftsformen des Vestischen Höhenrückens. Vestische Zeitschrift, Recklinghausen, 32: 77–96.
- MÜLLER, W. (1982): Das Deckgebirge.– In: HAHNE, C. & R. SCHMIDT (Hrsg.): Die Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes, Essen (Glückauf Verlag): 72–98.
- SCHMIDT, R. (1986): Bergbau und Wasserwirtschaft im rheinisch-westfälischen Industriegebiet.– Forum Städte-Hygiene, Sonderdruck, Hannover, Berlin, 37: 143–148.