

## Ein Konzept zur Überwachung der Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs im Ruhrgebiet

Werner Grigo<sup>1)</sup>, Michael Heitfeld<sup>2)</sup>, Peter Rosner<sup>2)</sup>, Andreas Welz<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung 8 Bergbau und Energie in NRW, Dortmund

<sup>2)</sup> Ingenieurbüro Heitfeld-Schetelig GmbH, Aachen

### ZUSAMMENFASSUNG:

*Zum sicheren Betrieb der aktiven Steinkohlenbergwerke im Ruhrgebiet wird ein komplexes System aus Betriebswasserhaltungen auf den fördernden Schachtanlagen und Zentralen Wasserhaltungen in den bereits stillgelegten Bergwerken betrieben. Gemäß den politischen Vereinbarungen der „Kohlerunde“ vom 07.02.2007 soll der subventionierte Steinkohlenbergbau bis zum Jahre 2018 eingestellt werden, vorbehaltlich des Ergebnisses einer für das Jahr 2012 vorgesehenen Überprüfung dieser Entscheidung. Ab diesem Zeitpunkt wäre aus rein grubensicherheitlicher Sicht ein Weiterbetrieb der in Rede stehenden Wasserhaltungen nicht länger erforderlich. Eine Einstellung der Wasserhaltungen hätte einen weitflächigen Anstieg des Grubenwassers zur Folge. Im Zuge des Grubenwasseranstiegs ist im Ballungsraum Ruhrgebiet mit vielfältigen Einwirkungen u.a. auf den Grundwasserhaushalt im Deckgebirge und die Tagesoberfläche zu rechnen. Die möglichen Auswirkungen müssen frühzeitig prognostiziert und der Grubenwasseranstieg durch ein auf die potenziell betroffenen Schutzgüter ausgerichtetes Monitoring zielgerichtet überwacht werden, um letztlich darüber entscheiden zu können, bis in welches Niveau das Grubenwasser wieder ansteigen darf. Im Auftrag der Bergbehörde des Landes Nordrhein-Westfalen wurde in diesem Zusammenhang in einem ersten Arbeitsschritt ein Musterkatalog von Maßnahmen zur differenzierten Überwachung der Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs in den verschiedenen Stadien und bergbaulich-geologisch-hydrogeologischen Bereichen des Ruhrreviers erarbeitet.*

### ABSTRACT:

*For safe operations of the active hard coal mines in the Ruhr-area, a complex system of mine water drainage facilities at active and already abandoned coal mines is in use. According to the political agreement of the "Kohlerunde" from 07.02.2007, the subsidised hard coal mining will end until the year 2018, if this decision will not be revised in 2012. Beyond this point of time, further operations of these water drainage measures would not be necessary any more from the mere point of view of mine safety. A cessation of pumping would cause a rising mine water level in a large area. Along with the mine water recovery, in the urban area of the Ruhr-area various impacts on the ground-water balance in the caprock and the ground surface are to be expected amongst others. The potential effects have to be predicted at an early stage and the mine water recovery has to be monitored with regard to the potentially harmed objects in order to finally be able to decide on the levels up to which the mine water is allowed to rise. On behalf of the mining authorities of the state North Rhine-Westphalia, a sample catalogue for a differentiated monitoring of the effects of the mine water recovery in different stages and different mining-geological-hydrogeological parts of the Ruhr-area has been worked out as a first work step in this context.*

## 1 Einleitung

Zum sicheren Betrieb der aktiven Steinkohlenbergwerke im Ruhrgebiet wird ein komplexes System aus Betriebswasserhaltungen auf den fördernden Schachtanlagen und Zentralen Wasserhaltungen in bereits stillgelegten Bergwerken betrieben. Am 07.02.2007 haben sich der Bund und die Revierländer unter Beteiligung der RAG AG als dem letzten verbliebenen Unternehmen des deutschen Steinkohlenbergbaus auf eine kohlepolitische Verständigung geeinigt, deren Leitgedanke es ist, die subventionierte Förderung der Steinkohle in Deutschland bis zum Jahre 2018 zu beenden. Ab diesem Zeitpunkt wäre aus grubensicherheitlicher Sicht ein Weiterbetrieb der in Rede stehenden Wasserhaltungen nicht länger erforderlich.

Die kohlepolitische Verständigung vom 07.02.2007 und das vom Bund in Auftrag gegebene Gutachten zur Höhe der Ewigkeitslasten gehen davon aus, dass die zum Zeitpunkt der Stilllegung des Steinkohlenbergbaus im Ruhrgebiet vorhandenen Wasserhaltungen zunächst bis auf Weiteres weiter betrieben werden. Gleichwohl ist davon auszugehen, dass im Zuge der sukzessiven Stilllegung der noch fördernden Bergwerke Überlegungen angestellt werden, die Kosten für den Betrieb der Wasserhaltungen durch eine teilweise oder gegebenenfalls auch vollständige Flutung der noch offenen Grubengebäude zu reduzieren. Die Durchführung solcher Maßnahmen hätte einen mehr oder weniger weitflächigen Anstieg des Grubenwassers zur Folge, der unter Berücksichtigung der bei der Stilllegung anderer Bergbaureviere gewonnenen Erfahrungen zu vielfältigen Einwirkungen u.a. auf den Grundwasserhaushalt im Deckgebirge und die Tagesoberfläche führen kann. Die sich hieraus für das Ruhrgebiet gegebenenfalls ergebenden Risiken müssen frühzeitig abgeschätzt und der Verlauf des Grubenwasseranstiegs auf eine Minimierung dieser Risiken ausgelegt werden. Eine wesentliche Grundlage dazu bildet einerseits die Entwicklung wissenschaftlich fundierter Prognosemodelle sowie andererseits die Bestandsaufnahme und Überwachung potenzieller Einwirkungsbereiche vor Beginn und im Verlauf des Grubenwasseranstiegs.

In diesem Rahmen wurde im Auftrag der Bergbehörde des Landes Nordrhein-Westfalen (Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung 8 Bergbau und Energie in NRW) ein Gutachten zur Erfassung von potenziellen Einwirkungsbereichen und Risiken eines flächenhaften Grubenwasseranstiegs im Ruhrrevier erarbeitet. Dabei wurden der Untersuchungs- und Forschungsbedarf zur Schließung von Erkenntnislücken aufgezeigt und der Rahmen für einen Maßnahmenkatalog zur differenzierten Erfassung und Überwachung der möglichen Einwirkungen vorgelegt.

## 2 Ausgangssituation

Anhand der bisherigen Erfahrungen zu den Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs in Stilllegungsbereichen des nordrhein-westfälischen und europäischen Raumes wurden in dem Gutachten zusammenfassend folgende Einwirkungspotenziale identifiziert:

Im Rahmen der Flutung des Grubengebäudes:

- Einwirkungen auf die Wasserqualität im Karbon
- Bodenhebungen, insbesondere diskontinuierliche Bodenhebungen
- Zustrom von Grubengas an der Tagesoberfläche diffus oder konzentriert über Auflockerungszonen und/oder an Schächten
- Erhöhung der Tagesbruchgefahr durch Einstau ungesicherter Schächte
- Erhöhung der Setzungs-, Senkungs-, Tagesbruchgefahr durch Einstau von oberflächen- und tagenahen Abbaubereichen

Im Zuge des Einstaus des Deckgebirges:

- Einwirkungen auf die Grundwasserqualität im Deckgebirge
- Anstieg der Wasserstände im Deckgebirge
- Ausbildung von Vernässungszonen an der Tagesoberfläche
- Flutung von Altlasten
- verstärkte Bodenhebungen

Im Zuge des Anstiegs bis in das Vorflutniveau:

- verstärkter Abfluss in den Vorflutern
- Einwirkungen auf die Gewässergüte der Vorfluter
- schwallartige Wasseraustritte an alten Entwässerungsstollen

Die unterschiedlichen Einwirkungspotenziale wurden unter den besonderen geologisch-hydrogeologischen und bergbaulichen Verhältnissen des Ruhrreviers grundsätzlich untersucht und im Hinblick auf ihre Relevanz bewertet.

Im Falle des Weiterbetriebs der Wasserhaltungen sind die qualitativen und quantitativen Einwirkungen auf die Vorfluter zu betrachten.

### 3 Naturraum „Ruhrgebiet“

Das Ruhrgebiet (s. Abb. 1) bildet mit einer Fläche von rd. 4.435 km<sup>2</sup> den größten Wirtschaftsraum in Europa. Von dieser Fläche sind rd. 40 % Siedlungs- und Verkehrsfläche, 15 % Wald und 5 % Wasserfläche sowie 40 % Landwirtschaftsfläche. Etwa 45 % der Gesamtfläche sind unmittelbar durch den Bergbau beeinflusst. Im Ruhrgebiet leben rund 5,3 Millionen Menschen.

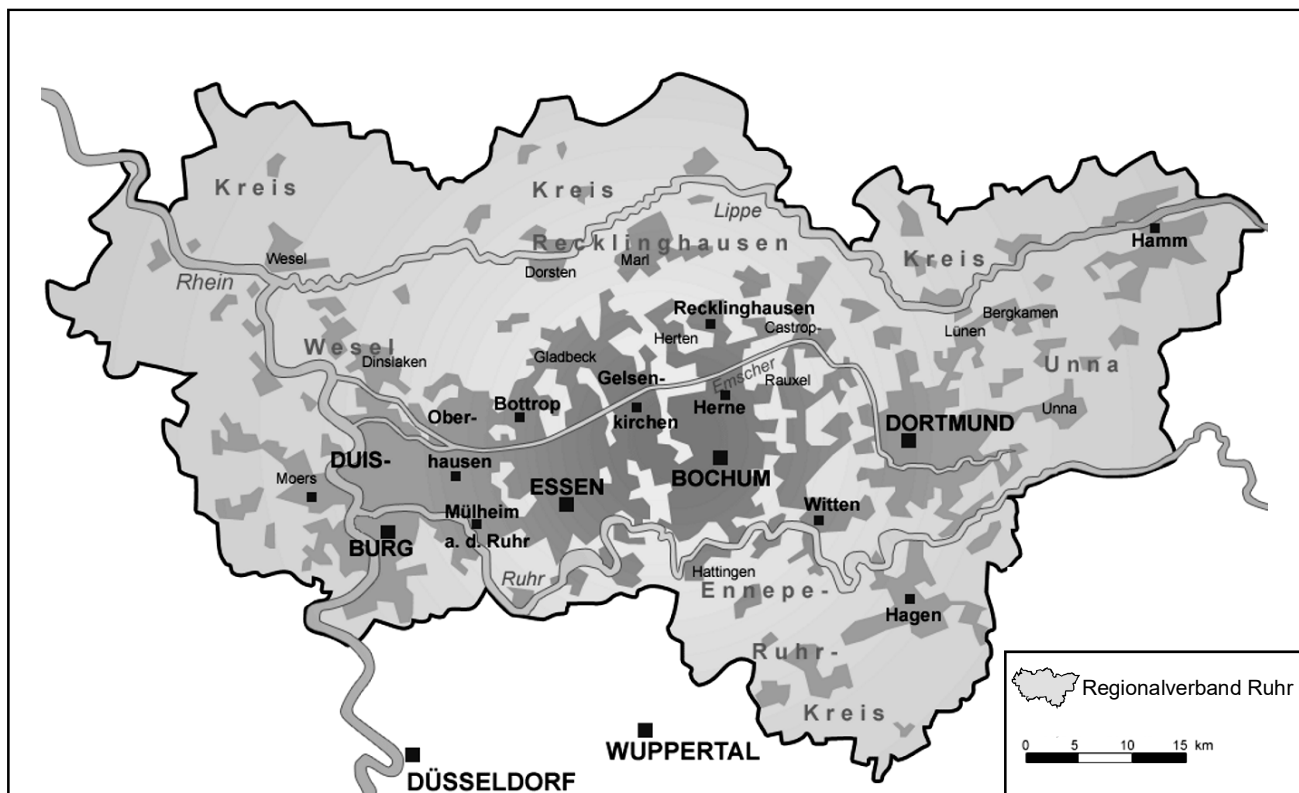


Abb.1 : Siedlungsstruktur des Ruhrgebietes (verändert aus [www.wikipedia.org/wiki/Ruhrgebiet](http://www.wikipedia.org/wiki/Ruhrgebiet))

Das Ruhrgebiet stellt einen wirtschaftsgeographischen Raum dar, der sich über mehrere Landschaftsräume - der Westfälischen Bucht im Norden, dem Rheinischen Schiefergebirge im Süden und der Niederrheinischen Bucht im Westen - und historisch-politische Einheiten erstreckt. In den Niederungen von Rhein, Lippe und Emscher liegt das Geländeniveau zwischen rd. 20 und 40 mNHN. Zwischen Lippe und Emscher steigt das Gelände im nördlichen Ruhrgebiet auf Höhen zwischen 100 und 150 mNHN im Raum Recklinghausen an. Im südlichen Ruhrgebiet erreichen die Höhenzüge um das Ruhrtal Höhen zwischen 100 und 250 mNHN. Im westlichen Randbereich des Reviers, zwischen Duisburg und Wesel, nimmt der Rhein u.a. die aus dem Ruhrgebiet zutretenden Gewässer in einem Niveau zwischen rd. 17 und 20 mNHN auf.

## 4 Bergbauliche Einflußfaktoren

### 4.1 Bergbauzonen

Im südlichen Ruhrrevier tritt das Steinkohlengebirge auf einer Breite von maximal rd. 18 km unter geringmächtiger quartärer Überdeckung bzw. teilweise auch ohne Überdeckung zutage (Abb. 2). Hier nahm der Ruhrbergbau etwa im 14. Jahrhundert seinen Anfang. Nach Nordwesten sinkt das Karbon unter mächtige permische bis quartäre Ablagerungen ab. Im nördlichen Randbereich der Zone des aktiven Bergbaus liegt die Karbonoberfläche auf einem Niveau zwischen rd. 1.000 und 1.200 mNHN. Das Steinkohlengebirge wurde variszisch gefaltet und durch eine intensive syn- bis postvariszische Bruchtektonik überprägt. Eine der für den Steinkohlenbergbau bedeutsamen tektonischen Hauptbaueinheiten des zentralen Ruhrreviers ist die Emscher-Mulde.

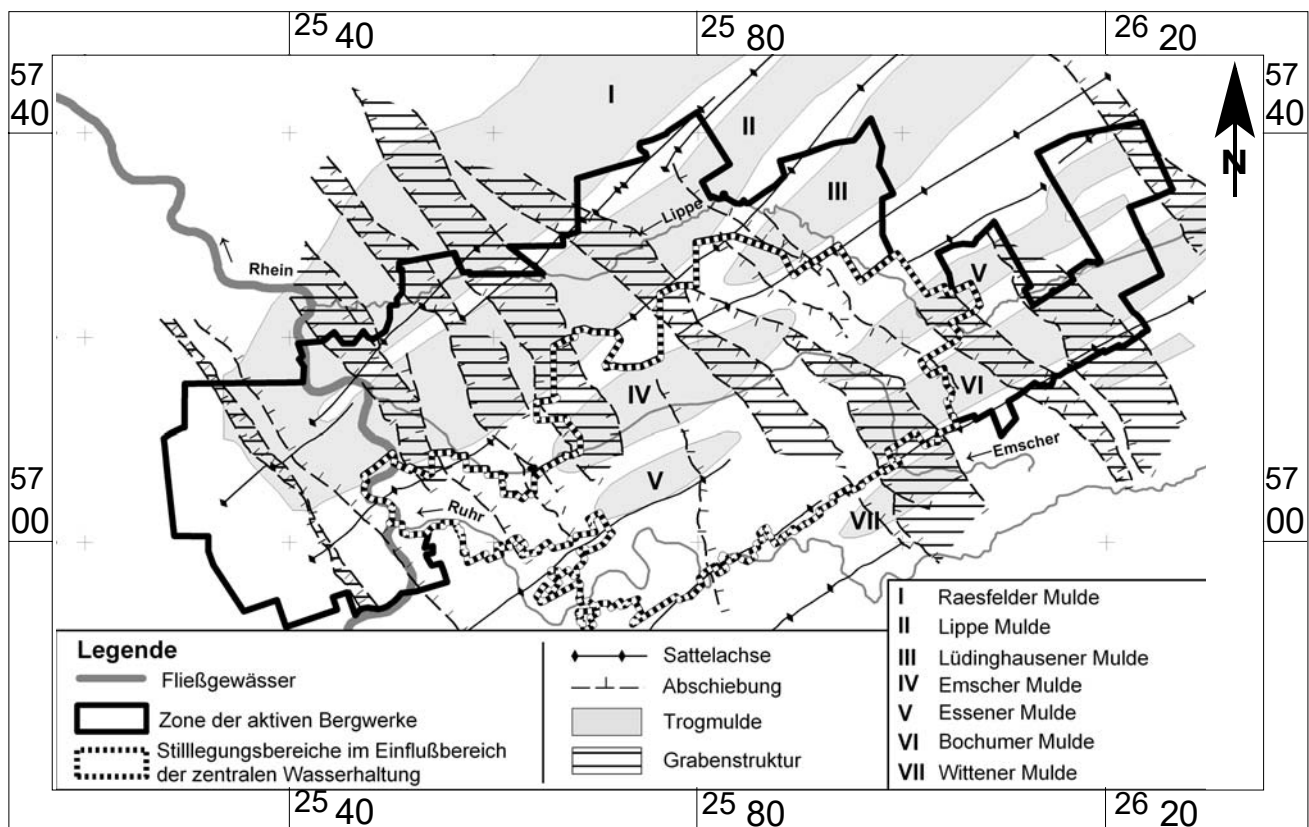


Abb.2 : Geologische Hauptstrukturen des Ruhrreviers (nach HAHNE & SCHMIDT, 1982)

Im Zuge der Nordwanderung des Steinkohlenbergbaus wurden die Steinkohlenzechen im südlichen Ruhrgebiet sowie im Bereich der Emscher-Mulde sukzessive stillgelegt. Die Steinkohleförderung in

der Emscher-Mulde wurde im Jahre 2000 eingestellt. Aufgrund der zahlreichen untertägigen Verbindungen zwischen den Stilllegungsbereichen und den aktiven Bergwerken muss die Wasserhaltung in den Stilllegungsbereichen der Emscher-Mulde zum Schutz der aktiven Bergwerke weiter betrieben werden. Zu diesem Zweck betreibt die DSK derzeit acht zentrale Wasserhaltungen im zentralen und südlichen Teil des Ruhrreviers. Somit lässt sich das Ruhrrevier heute im Hinblick auf die Grubenwassersituation in drei Hauptzonen unterteilen (s. Abb. 3):

1. Aktive Bergbauzone im Norden, Westen und Osten des Reviers
2. Stilllegungsbereiche im Einflussbereich der zentralen Wasserhaltung im zentralen und südlichen Teil des Reviers
3. Stilllegungsbereiche (Bereiche des oberflächen- und tagesnahen Bergbaus) außerhalb des Einflussbereiches der zentralen Wasserhaltung im südöstlichen und östlichen Randbereich des Reviers

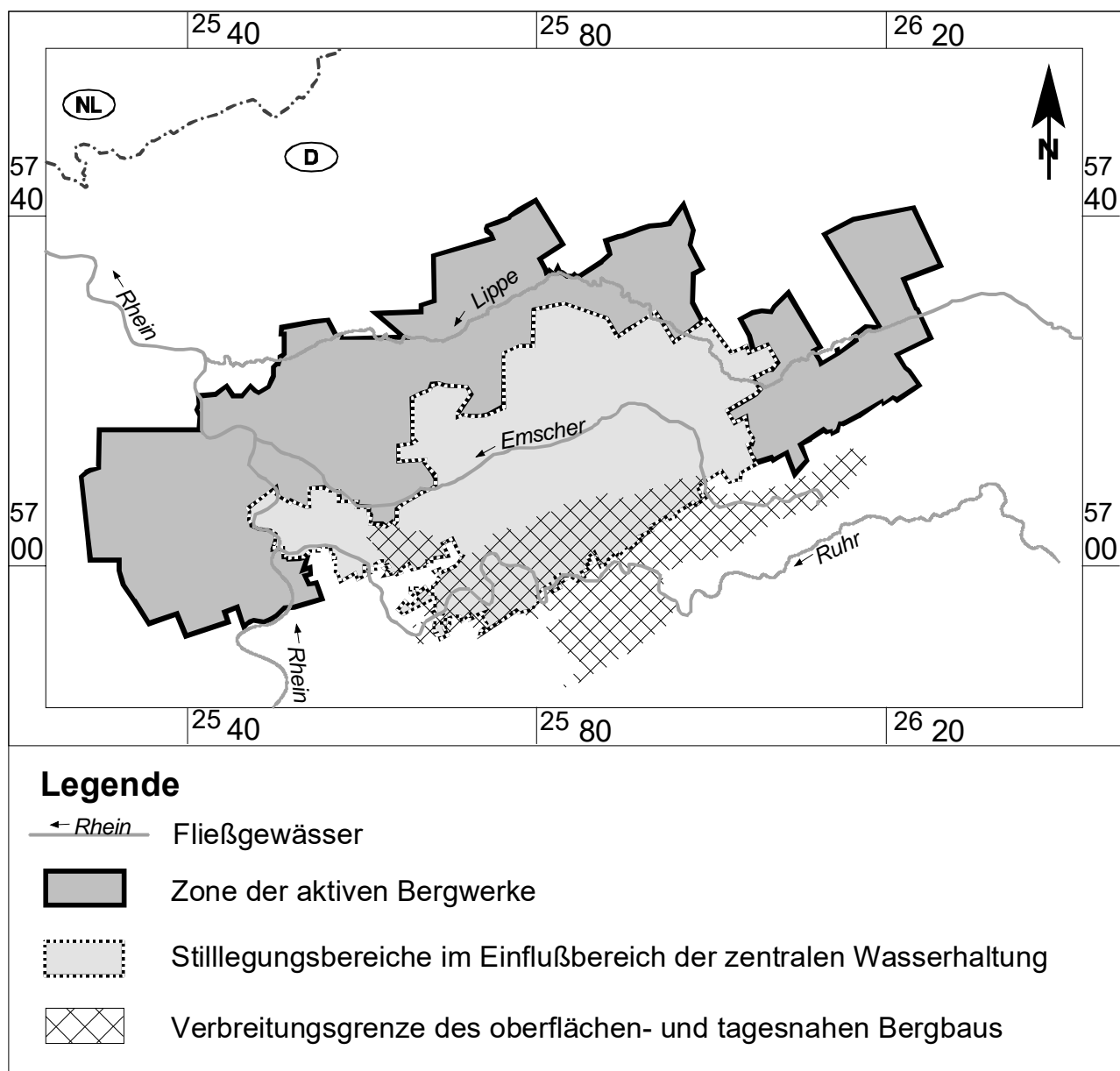


Abb.3 : Zonen der bergbaulichen Wasserwirtschaft im Ruhrrevier mit Bereich des oberflächen- und tagesnahen Bergbaus (Stand 12.2006)

Die Zone des aktiven Bergbaus umfasst heute ein Fläche von rd. 1.540 km<sup>2</sup> mit den Bergwerken West, Walsum, Prosper Haniel, Lippe, Auguste Victoria und Ost. Das innerhalb dieser Zone gelegene Bergwerk Lohberg wurde zum 01.01.2006 stillgelegt. Weitere Stilllegungen in dieser Zone betreffen in den nächsten Jahren die Bergwerke Walsum und Lippe.

Der Einflussbereich der zentralen Wasserhaltungen erstreckt sich nach Süden bis an die Ruhr und umfasst eine Fläche von insgesamt rd. 1.060 km<sup>2</sup>. Das Grubenwasser wird hier an den Standorten der zentralen Wasserhaltung im Wesentlichen auf einem Niveau zwischen rd. -445 mNHN und -950 mNHN abgepumpt.

Im südöstlichen Randbereich des Reviers, wo der Steinkohlenbergbau seinen Anfang nahm, liegen größere Teilflächen des Altbergbaus (rd. 290 km<sup>2</sup>) außerhalb des Einflussbereiches der zentralen Wasserhaltung. Das Grubenwasser ist hier bereits weitflächig bis in das natürliche Vorflutniveau angestiegen (vgl. OBERSTE-BRINK, 1940). Grundsätzlich ist aber damit zu rechnen, dass Teilbereiche dieser Zone auch noch zur zentralen Wasserhaltung entwässern.

## **4.2 Hinterlassenschaften des Bergbaus**

Die Abbauflächen des Steinkohlenbergbaus erstrecken sich flächenhaft über das gesamte Ruhrrevier. Bezüglich der Art und des Ausmaßes der möglichen Einwirkungen auf die Tagesoberfläche sind gemäß der Vorgehensweise der Bergbehörde des Landes NRW folgende bergbauliche Hohlräume zu unterscheiden (BEZIRKSREGIERUNG ARNSBERG, 28.09.2006):

- Grubenbaue des tiefen Bergbaus (Teufe > 100 m)
- Grubenbaue des oberflächennahen Bergbaus (Teufe < 100 m, Festgesteinsüberlagerung > 30 m)
- Grubenbaue des tagesnahen Bergbaus (Teufe < 100 m, Festgesteinsüberlagerung < 30 m)
- Tagesöffnungen des Bergbaus (Schächte, Stollenmundlöcher)

In der Zone des tiefen Bergbaus sind Einwirkungen auf die Tagesoberfläche infolge konvergierender Grubenbaue nach allgemeiner Lehrmeinung in der Regel in einem Zeitraum von 5 Jahren nach Ende der Abbautätigkeit abgeschlossen. Die in diesem Zusammenhang heute auftretenden Bodenbewegungen betreffen daher im Wesentlichen die Zone des aktiven Bergbaus.

In der Zone des oberflächennahen Bergbaus sind auch lange nach Ende der Abbautätigkeit Einwirkungen auf die Tagesoberfläche nicht auszuschließen. Im allgemeinen beschränken sich die Einwirkungen auf die Tagesoberfläche in dieser Zone auf flache Senkungsmulden im Dezimeterbereich; allerdings können auch Tagesbrüche auftreten.

Kennzeichnendes Merkmal des tagesnahen Bergbaus ist darüber hinaus, dass grundsätzlich ohne zeitliche Begrenzung mit Tagesbrüchen gerechnet werden muss. Die Zone des oberflächen- und tagesnahen Bergbaus erstreckt sich im südöstlichen Teil des Ruhrreviers, im Bereich der Städte Mülheim, Essen, Bochum, Dortmund, Hattingen und Witten, über eine Fläche von rd. 550 km<sup>2</sup> (Stand 2006, s. Abb. 3).

Für den Bereich des Ruhrreviers sind nach einer Zusammenstellung der Bezirksregierung Arnsberg (BEZIRKSREGIERUNG ARNSBERG, 28.09.2006) bisher insgesamt 11.500 verlassene Tagesöffnungen (Schächte und Stollenmundlöcher) registriert. Der größte Anteil dieser Tagesöffnungen liegt in der Zone des oberflächen- und tagesnahen Bergbaus im südöstlichen Randbereich des Ruhrreviers. Nur ein Bruchteil dieser Schächte ist entsprechend dem heutigen Stand der Technik gesichert.

Im Rahmen des Grubenwasseranstiegs sind Einwirkungen auf die Standsicherheit der Tagesoberfläche im Bereich des oberflächen- und tagesnahen Bergbaus sowie außerhalb dieser Zone im Bereich von unzureichend gesicherten Schächten des tiefen Bergbaus zu besorgen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in diesen Bereichen auch unabhängig vom Grubenwasseranstieg Tagesbrüche auftreten. Seit den 1960er Jahren wurden bei den Bergbehörden für den Bereich des Ruhrreviers rd. 1.500 Tagesbrüche (entsprechend rd. 30 Tagesbrüche pro Jahr) dokumentiert.

### 4.3 Bergbauliche Wasserhaltung

Im Hinblick auf die Bewertung der möglichen Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs in das Grundwasser-führende Deckgebirge und der Belastungssituation in den Vorflutern, in die die gehobenen Grubenwässer eingeleitet werden, ist neben den zusitzenden Grubenwassermengen insbesondere die Qualität der Grubenwässer von wesentlicher Bedeutung. Mit zunehmender Teufe und abnehmendem Anteil an niederschlagsbürtigem Grundwasser nimmt die Mineralisation der in den Steinkohlengruben zusitzenden Wässer von Südosten nach Nordwesten generell zu. Grundsätzlich können dabei nach HAHNE & SCHMIDT (1982) die folgenden drei Zonen unterschieden werden (s. Abb. 4):

Zone a - südliches Ruhrgebiet, Bereiche ohne Deckgebirge mit aufgelockertem Steinkohlengebirge; Niederschlags-bedingte und -abhängige Grubenwasserzuflüsse;  $\text{HCO}_3$ - und  $\text{SO}_4$ -Wässer (Pyrit-oxidation).

Zone b - mittleres Revier mit geringmächtiger Kreideüberdeckung (Deckgebirgsüberlagerung bis 400 m) bis in Höhe der Emscher-Mulde; Wasserzuflüsse mit verzögerter Niederschlagsabhängigkeit, z.T. aus tieferen Deckgebirgsschichten; stark mineralisierte Mischwässer.

Zone c - nördliches Revier mit mächtiger Kreideüberdeckung (Deckgebirgsmächtigkeit > 400 m); kein direkter Oberflächenwasserzufluss; Zuflüsse aus Steinkohlengebirge und seltener aus tieferem, durch Abbaueinwirkung aufgelockertem Deckgebirge über tektonische Störungen; NaCl-Wässer mit Temperaturen bis zu 60 °C.

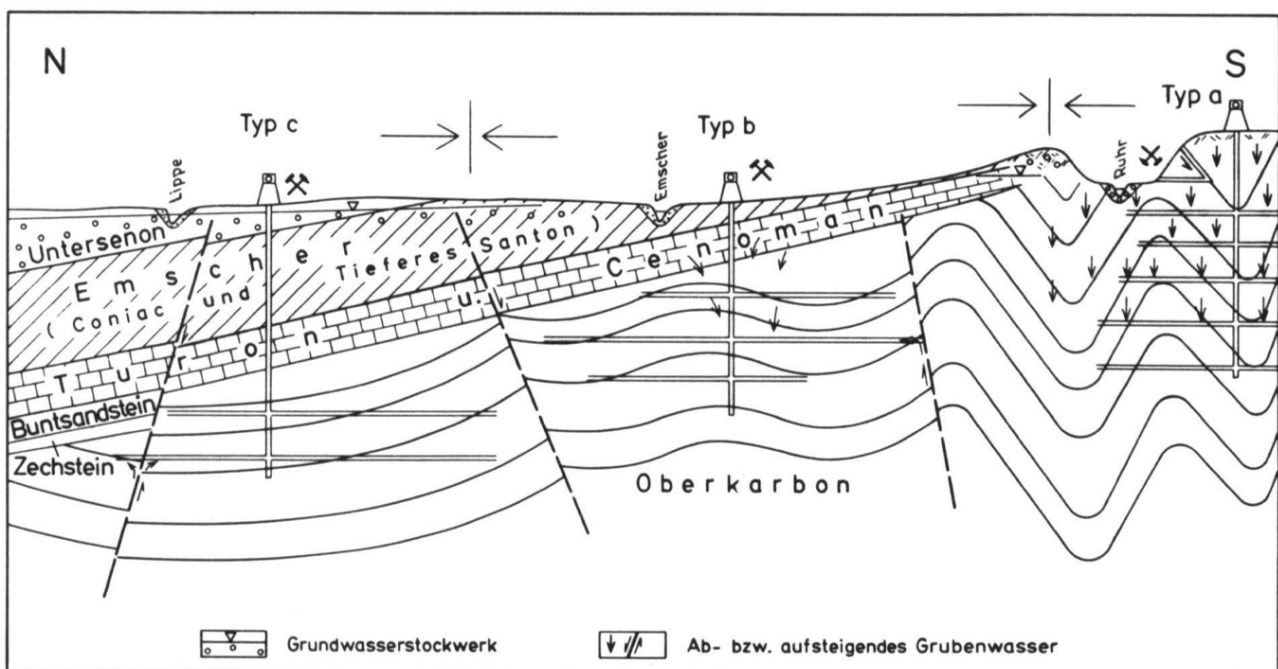


Abb.4 : Grubenwasserzonen im Ruhrrevier; schematischer Schnitt nach

HAHNE &amp; SCHMIDT (1982)

Die unterschiedlichen Charakteristika der Wasserzutritte spiegeln sich insbesondere in Menge und Qualität der im Rahmen der Wasserhaltungen gehobenen Wässer wider. Im Jahre 2005 wurden durch die DSK insgesamt 89,5 Mio. m<sup>3</sup> Grubenwasser gehoben (DSK, 04.2006). Der überwiegende Anteil der Wasserhaltung entfällt mit 64,7 Mio. m<sup>3</sup> auf die Zentralen Wasserhaltungen im Stilllegungsbereich. Die stärksten Wasserzuflüsse mit der geringsten Mineralisation zwischen 2.000 und 6.000 µS/cm treten dabei in den Stilllegungsbereichen nahe des Ruhrtals auf. Auf den aktiven Bergwerken kann von elektrischen Leitfähigkeiten der gehobenen Grubenwässer von > 30.000 µS/cm bis über 100.000 µS/cm ausgegangen werden.

Im Rahmen des Grubenwasseranstiegs ist in Abhängigkeit von den Strömungsverhältnissen zunächst eine differenzierte Schichtung unterschiedlicher Wasserzutritte zu erwarten. In Teilbereichen des Reviers muss mit einem Anstieg stark mineralisierter Grubenwässer in das Deckgebirge gerechnet werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Grundwasser in den basalen Deckgebirgsschichten vielfach bereits natürlicherweise eine erhebliche Mineralisation aufweist. Insbesondere im südlichen Teil des Reviers kann langfristig dagegen auch mit der Ausbildung einer Süßwasserkappe gerechnet werden.

Letztlich wird die Entwicklung des Grubenwasserchemismus entscheidend von der Steuerung der Wasserhaltungsmaßnahmen im Rahmen der sukzessiven Stilllegung abhängen.

#### **4.4      *Methan-Zuströmungen an der Tagesoberfläche***

Im Ruhrgebiet sind Methan-Zuströmungen aus dem Deckgebirge seit 1859 und an der Tagesoberfläche seit 1924 bekannt (HOLLMANN, 2001). Zur räumlichen Abgrenzung der Grubengasproblematik wurde von HOLLMANN (u.a. 2001) eine Hüllkurve der CH<sub>4</sub>-Zuströmungen angegeben. EDELHOFF-DAUBEN (2001) ergänzte die Darstellung von HOLLMANN um eine Zonierung, die Bereiche unterschiedlicher Deckgebirgsausbildung berücksichtigt (s. Abb. 5). Verstärkte Methan-Zuströmungen treten danach im südlichen Randbereich des Reviers, im Bereich der Städte Bochum und Dortmund sowie im östlichen Teil des Reviers im Bereich der Städte Ahlen, Hamm, Werne, Bergkamen und Kamen auf. Darüber hinaus liegen aber auch zahlreiche Beobachtungen von tagesnahen Ausgasungen und Methan-Zuströmungen in Tiefbohrungen aus dem Bereich des Münsterlandes, nördlich des durch den Steinkohlenbergbau beeinflussten Gebietes, vor.

Gasaustritte erfolgen an der Tagesoberfläche in der Regel flächenhaft diffus oder linienhaft entlang von Auflockerungszonen. Darüber hinaus muss grundsätzlich im Bereich von Schächten mit Ausgasungen gerechnet werden. Dort, wo sich die im allgemeinen diffusen Methangasaustritte in Gebäuden oder unterirdischen Hohlräumen, wie z.B. Kellerräumen oder Kanalleitungen, ansammeln, stellen sie eine erhebliche Explosionsgefahr dar.

Im Rahmen des Grubenwasseranstiegs wird das in den bis dahin nicht gefluteten bergbaulichen Hohlräumen angesammelte Grubengas sukzessive verdrängt. Der Gasdruck steigt dabei an und das Einwirkungspotenzial auf die Tagesoberfläche wird über eine zeitlich begrenzte Dauer verstärkt.

Sobald der Wasserdruck höher wird als der Restgasdruck im Gebirge wird die Entgasung unterbrochen. Durch den Grubenwasseranstieg kann somit langfristig die Restausgasung insgesamt erheblich reduziert werden. Darüber hinaus kann die Problematik der Methan-Austritte an der Tagesoberfläche durch aktive Absaugmaßnahmen, z.B. im Rahmen einer Verwertung des Grubengases, erheblich entschärft werden.



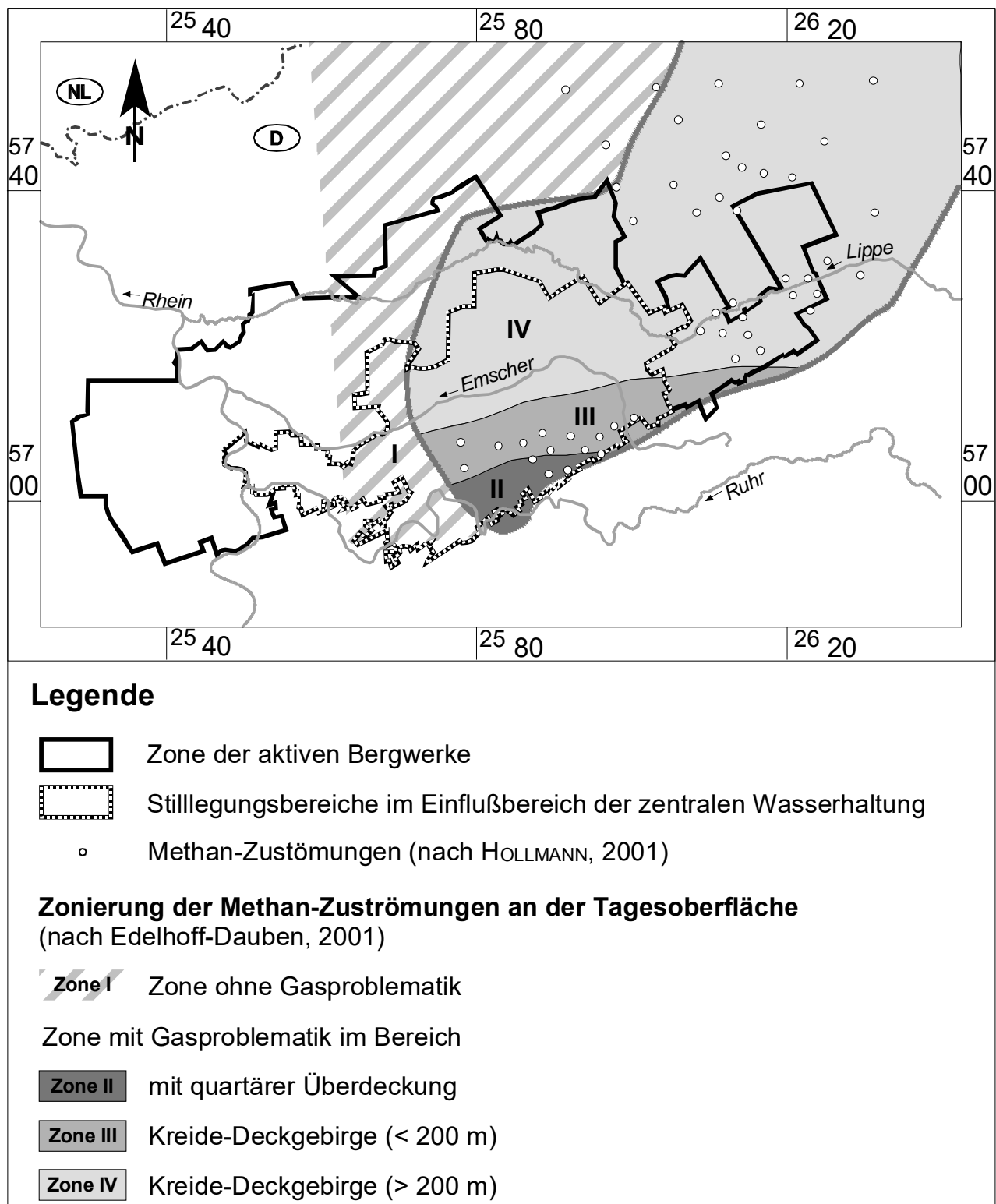


Abb.5 : Zonierung von Methan-Ausströmungen an der Tagesoberfläche  
(nach EDELHOFF-DAUBEN, 2001)

#### 4.5 Bergbaulich bedingte flächenhafte Bodenbewegungen

Die Hinterlassenschaften des Steinkohlenbergbaus im Ruhrgebiet umfassen neben den untertägigen Hohlräumen und Tagesöffnungen insbesondere auch Bergsenkungsgebiete, in denen auf Dauer flä-

chenhaft Entwässerungsmaßnahmen erforderlich sind, um eine Vernässung bzw. Überflutung besiedelter Bereiche zu verhindern (Polderflächen). Die infolge Bergsenkung künstlich entwässerten Poldergebiete umfassen im Ruhrgebiet eine Gesamtfläche von rd. 970 km<sup>2</sup>. Die Poldergebiete erstrecken sich weitflächig über die zentralen Bereiche des Ruhrreviers zwischen Lippe und Emscher sowie nördlich der Lippe. In weiten Teilen der Emscher-Region ist das natürliche Grundwasserfließsystem durch die Folgewirkungen des Steinkohlenbergbaus erheblich gestört. Die Flurabstands-regulierenden Maßnahmen müssen hier dauerhaft durchgeführt werden. Im Rahmen des Grubenwasseranstiegs kann sich der Wasserzulauf zu den Pumpstationen lokal erhöhen, wenn bisher in das Grubengebäude versickernde Grundwässer dem oberflächennahen Grundwasserstockwerk nicht mehr entzogen werden.

Im Zuge des Grubenwasseranstiegs ist nach den vorliegenden Erfahrungen aus anderen Stilllegungsbereichen mit dem Eintreten von Bodenhebungen zu rechnen. Mit dem Einstau des Deckgebirges und möglichen Einwirkungen auf die Druckniveaus der Grundwasserkörper im Deckgebirge sind nochmals stärkere Bodenbewegungen zu erwarten. Solche flächenhaften Bodenhebungen sind mittlerweile auch aus anderen Stilllegungsbereichen bekannt (HEITFELD ET AL., 2005).

Schadensrelevante Hebungs differenzen sind nach dem derzeitigen Kenntnisstand lokal dort nicht auszuschließen, wo im Zuge des Grubenwasseranstiegs z.B. an tektonischen Störungen ein deutlich unterschiedlich starker Wiederanstieg von Grundwasserständen im Deckgebirge erfolgt (HEITFELD ET AL., 2004). In diesem Zusammenhang kommt der Bewertung und Überwachung der Grundwasser verhältnisse im Deckgebirge eine besondere Bedeutung zu.

## 5 Das geologisch-hydrogeologische Modell

Als Grundlage für die Identifikation und Bewertung der möglichen Auswirkungen eines flächenhaften Grubenwasseranstiegs wurde ein geologisch-hydrogeologisches Modell des Ruhrreviers erarbeitet. Dabei wurde im Wesentlichen auf die durch JÄGER ET AL. (1990) im Zusammenhang mit den Untersuchungen zur Untertageverbringung von Abfall- und Reststoffen im Ruhrrevier geschaffenen Grundlagen zurückgegriffen. Wesentliche Bedeutung kommt dabei dem Aufbau des Deckgebirges zu.

Das Ruhrrevier lässt sich hinsichtlich des Deckgebirgsaufbaus generell in einen zentralen und östlichen, im Wesentlichen von Oberkreideablagerungen aufgebauten „Westfälischer Raum“ (Münsterländer Becken) und ein westliches, von mächtigen Perm-, Trias- und Tertiär-Schichten aufgebautes „Niederrhein-Gebiet“ (Niederrheinische Bucht) unterteilen (s. Abb. 6).

Der „Westfälische Bereich“ ist grob gekennzeichnet durch eine 3-Gliederung des Deckgebirges (s. Abb. 7):

- ein tiefes Kluft-Grundwasserstockwerk an der Deckgebirgsbasis (im Wesentlichen Cenoman/Turon-Kalksteine)
- den Emscher-Mergel im Hangenden als hydraulische Barrierschicht
- ein oberes Grundwasserstockwerk im Hangenden des Emscher-Mergels (u.a. Halterner Sande).

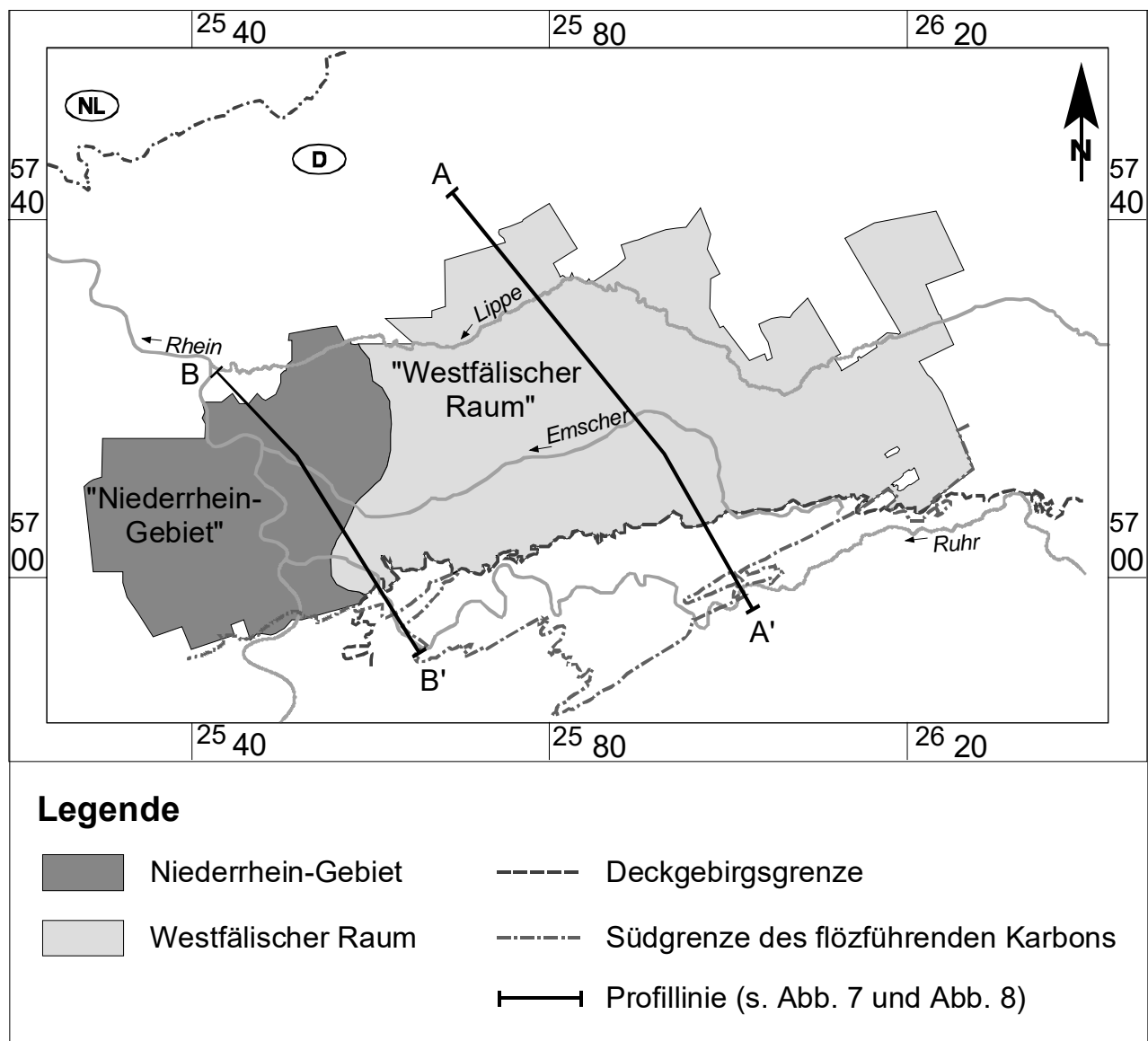


Abb.6 : Geologische Grobgliederung des Ruhrreviers

In den Cenoman/Turon-Schichten ist ein weitflächiger Kluftgrundwasserleiter ausgebildet; die Schichten erreichen eine Gesamtmächtigkeit bis zu rd. 300 m. Im südöstlichen Ruhrrevier beißen diese Schichten in einem zwischen rd. 3 und 6 km breiten Streifen in einem Höhenniveau zwischen rd. 50 und 200 mNHN an der Geländeoberfläche aus. Das tiefe Grundwasserstockwerk führt im Allgemeinen hoch mineralisierte Wässer und kann unter einem nahezu der Tiefe entsprechenden hydrostatischen Druck stehen.

Eine zentrale Bedeutung bei der Bewertung der möglichen Einwirkungen eines Grubenwasseranstiegs auf die Grundwasserverhältnisse im Deckgebirge kommt dem Emscher-Mergel als Barrierschicht zu. In Teufen > rd. 50 m gilt er als grundwasserfrei. In Bereichen mit einer Mächtigkeit > rd. 100 m wird der Emscher-Mergel auch unter Bergbaueinfluss als hydraulische Barriere betrachtet (JÄGER ET AL., 1990).

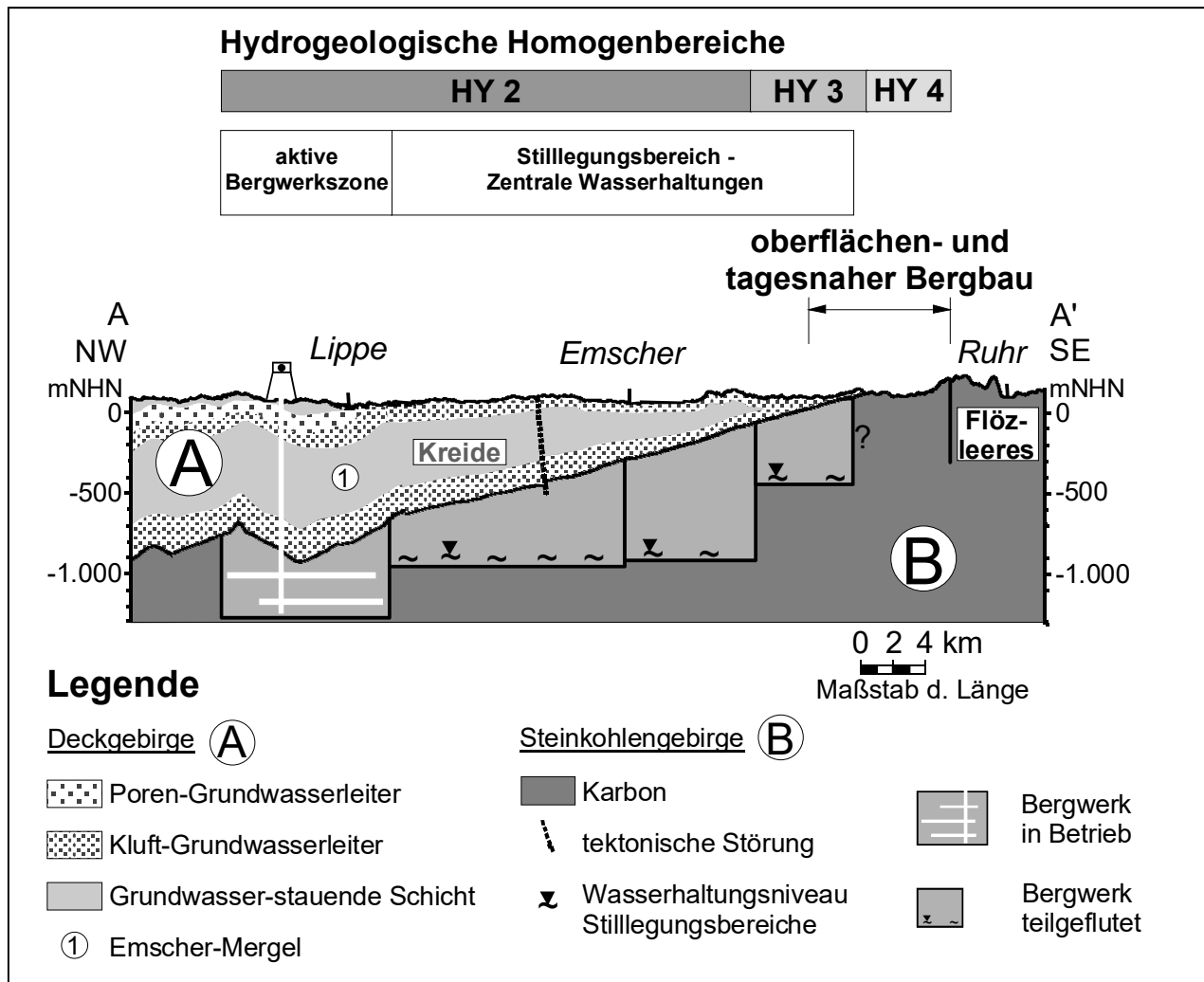


Abb.7 : Hydrogeologisches Übersichtsprofil (NW-SE) durch den „Westfälischen Bereich“ (nach JÄGER ET AL., 1990)

In den oberen rd. 50 m des Emscher-Mergels ist ein oberflächennaher Kluftgrundwasserleiter ausgebildet. In den südlichen Bereichen des Reviers, in denen die Mächtigkeit des Emscher-Mergels unter 50 m absinkt, bestehen daher hydraulische Kontakte zwischen dem tiefen Grundwasserstockwerk (Cenoman/Turon-Schichten) und dem oberflächennahen Grundwasserstockwerk.

Das obere Grundwasserstockwerk im Hangenden des gering durchlässigen Emscher-Mergels ist entsprechend der räumlichen Verteilung der in Oberflächennähe auftretenden überwiegend kretazischen Deckgebirgsschichten (Mergel, Sandmergel, Sande) sehr heterogen aufgebaut. Von wesentlicher Bedeutung für die Wassergewinnung im nördlichen Ruhrrevier ist der Verbreitungsbereich der Halterner und Osterfelder Sande. Dabei handelt es sich um zumeist ergiebige Porengrundwasserleiter, in denen gering mineralisierte Süßwässer zirkulieren.

Das Niederrhein-Gebiet ist gekennzeichnet durch einen wesentlich komplexeren Aufbau des Deckgebirges (Abb. 8). Die Ablagerungen beginnen hier bereits im Zechstein (Perm). Die Mächtigkeit der Kreidesedimente nimmt in westlicher Richtung stark ab; am Top treten mächtige Tertiärsedimente sowie wasserwirtschaftlich relevante quartäre Ablagerungen (Rhein-Terrassen) auf.

Aus hydrogeologischer Sicht und im Hinblick auf die möglichen Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs lässt sich hier eine generelle Unterteilung in vier Haupteinheiten vornehmen:

- einen basalen Grundwasserstauer an der Deckgebirgsbasis (Zechstein)
- ein tiefes, heterogen aufgebautes Grundwasserstockwerk im Liegenden des Ratinger Tons und der Lintforter Schichten (Tertiär)
- der Ratinger Ton sowie die bindigen Horizonte der Lintforter Schichten als oberflächennaher Grundwasserstauer
- ein oberes Grundwasserstockwerk im Hangenden der Lintforter Schichten (tertiäre und quartäre Sande und Kiese)

Dieses Profil ist nur im nordwestlichen Randbereich des Reviers weitgehend vollständig ausgebildet. In westlicher und südlicher Richtung keilen die Schichten im Liegenden der tertiären Ablagerungen sukzessive aus. In östlicher Richtung erfolgt ein kontinuierlicher Übergang zum „Westfälischen Raum“.

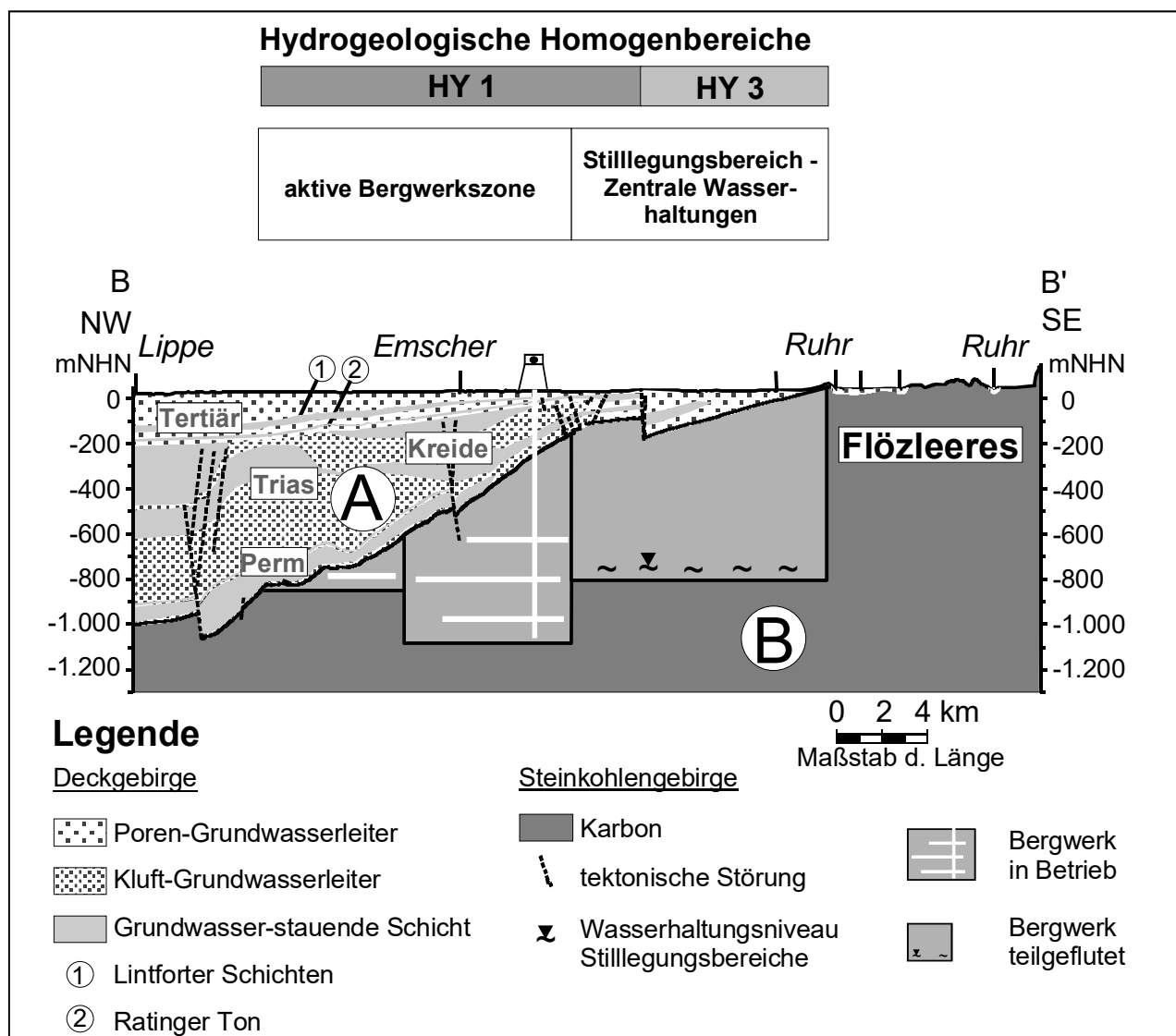


Abb.8 : Hydrogeologisches Übersichtsprofil (NW-SE) durch das „Niederrhein-Gebiet“ (nach JÄGER ET AL., 1990)

Das tiefe Grundwasserstockwerk ist insbesondere im westlichen Teil des Reviers bis in das Niveau der Walsumer Sande gekennzeichnet durch das Auftreten stark mineralisierter NaCl-Wässer. Die Lintforter Schichten bilden zusammen mit dem Ratinger Ton im „Niederrhein-Gebiet“ analog dem Emscher-Mergel im „Westfälischen Raum“ einen flächenhaft verbreiteten, oberflächennahen Grundwasserstauer, der die stärker mineralisierten Tiefenwässer von den oberflächennahen Süßwässern trennt. Im Hangenden der Lintforter Schichten bilden quartäre Rhein-Terrassen und tertiäre Sande ein oberflächennahes Grundwasserstockwerk, das durch niederschlagsbürtige Süßwässer gekennzeichnet ist.

Unter Berücksichtigung dieser Hauptgliederungselemente des Deckgebirges und der bergbaulichen Einflussfaktoren wurden für das Ruhrrevier im Hinblick auf die möglichen Auswirkungen eines Grubenwasseranstiegs in einer ersten Näherung vier Hydrogeologische Homogenbereiche abgegrenzt (s. Abb. 9).

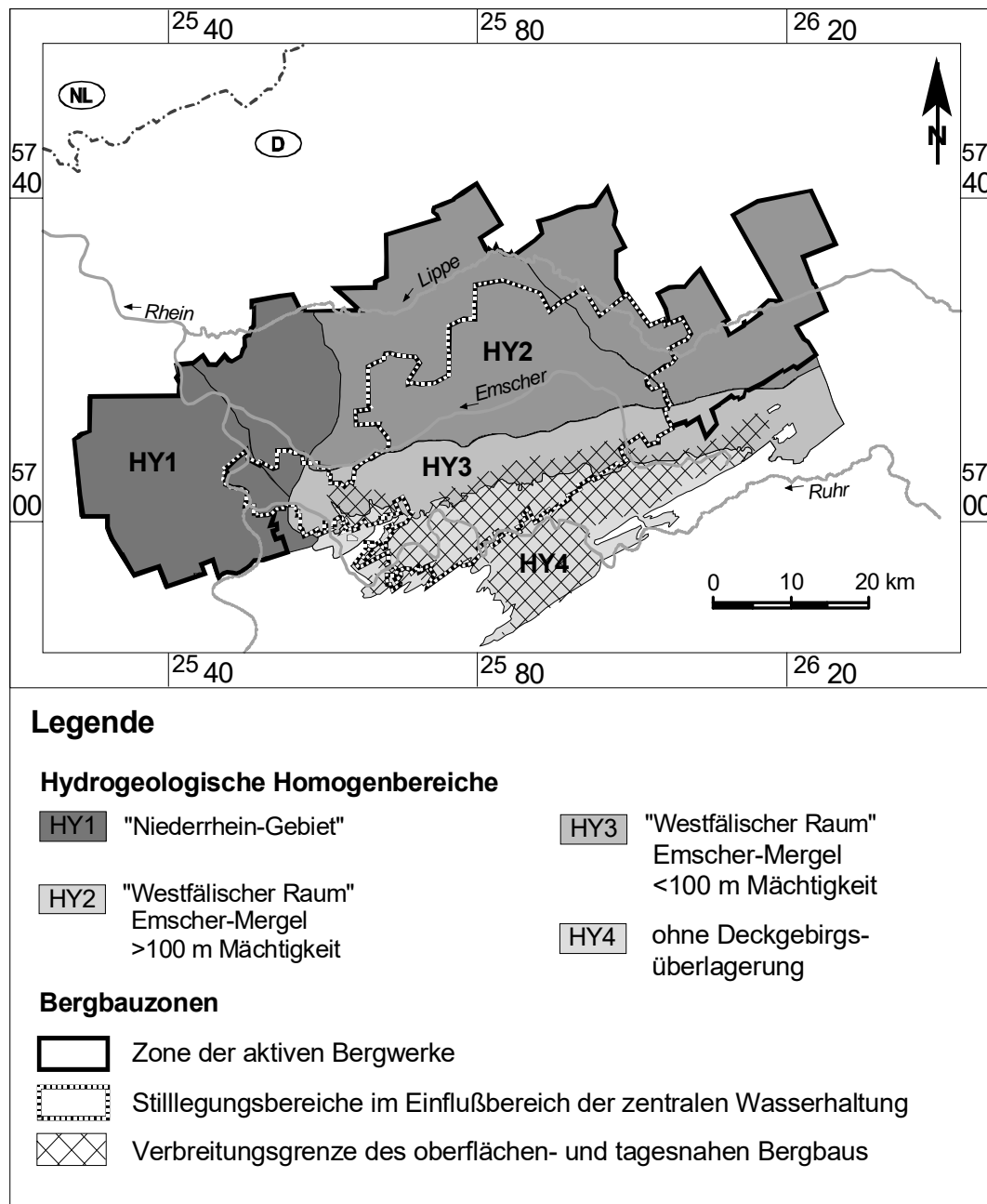


Abb.9 : Hydrogeologische Homogenbereiche im Ruhrrevier -  
Übersichtsdarstellung

Die wesentlichen Kenndaten können wie folgt zusammengefasst werden:

#### Hydrogeologischer Homogenbereich 1

- „Niederrhein-Gebiet“ im Verbreitungsbereich der Lintforter Schichten
- hydraulische Trennung eines unteren, stark mineralisierten Aquifers in verschiedenen Ablagerungen des Buntsandsteins, der Kreide und des Tertiärs von dem oberflächennahen Süßwasser-führenden Aquifer im Hangenden der gering durchlässigen Lintforter Schichten (quartäre Rhein-Terrassen, tertiäre Grafenberger Schichten);
- im nördlichen Teil zusätzlich basale Abdichtung durch Zechstein-Ablagerungen

#### Hydrogeologischer Homogenbereich 2

- Hauptbereich des „Westfälischen Raums“ im Verbreitungsbereich des Emscher-Mergels mit einer Mächtigkeit > 100 m
- hydraulische Trennung des unteren stark mineralisierten Cenoman/Turon-Aquifers von dem oberflächennahen Süßwasser-führenden Aquifer im Hangenden des gering durchlässigen Emscher-Mergels

#### Hydrogeologischer Homogenbereich 3

- Südlicher Randbereich des „Westfälischen Raums“ mit eingeschränkter hydraulischer Wirksamkeit der hydraulischen Barriere Emscher-Mergel (Mächtigkeit < 100 m) bzw. fehlendem Emscher-Mergel (Ausbisszone Cenoman/Turon-Schichten)

#### Hydrogeologischer Homogenbereich 4

- südöstlicher Randbereich des Reviers ohne signifikante Deckgebirgsüberlagerung (lokal quartäre Decklehme und Talablagerungen der Ruhr)

Die Abgrenzungskriterien stellen erste Annahmen dar, die im Rahmen von weiterführenden Detailbetrachtungen verifiziert werden müssen. Diese hydrogeologische Zonierung wurde auch für eine erste flächenhafte Bewertung der Ausgasungsproblematik im Rahmen des Grubenwasseranstiegs zugrunde gelegt, da die hydraulischen Eigenschaften der Deckgebirgsschichten im Wesentlichen auch deren Gaswegigkeit kennzeichnen. Dabei sind allerdings zusätzlich immer auch punktuelle Zutritte über verlassene Schächte und Stollenmundlöcher zu berücksichtigen.

## 6 Naturräumliche Schutzgüter

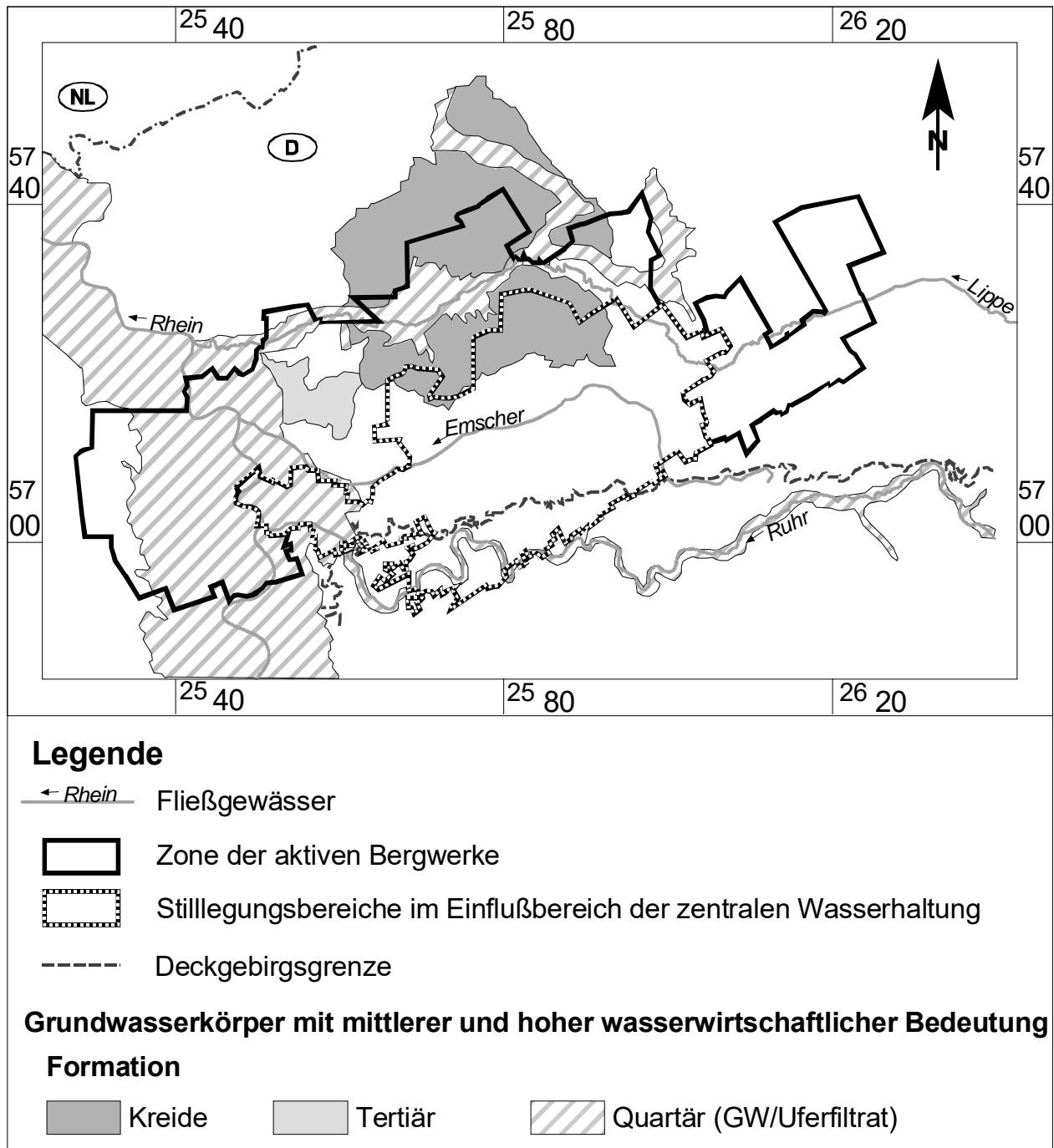
Eine wichtige Grundlage für die Bewertung der möglichen Einwirkungen des Grubenwasseranstiegs bildet die Bestandsaufnahme der betroffenen Schutzgüter. Dies betrifft neben wasserwirtschaftlich relevanten Grundwasserkörpern, Bereichen der Trink- und Mineralwassergewinnung, Vorflutern und ökologisch wertvollen Naturräumen auch die Bereiche, in denen der Anstieg von Wasserständen im Grund- oder Deckgebirge unmittelbar Auswirkungen auf die Geländeoberfläche haben kann (Tagesbrüche, Vernässungen, Einstau von Altlasten etc.).

### 6.1 Grundwasserkörper

Wasserwirtschaftlich bedeutsame Grundwasserkörper sind insbesondere im nördlichen Ruhrrevier und am Niederrhein ausgebildet. Im Lippebereich wird aus den quartären Lippesedimenten und den kretazischen Halterner Sanden Grundwasser gewonnen. Im Niederrheingebiet, der grundwasserreichsten Landschaft von Nordrhein-Westfalen, ist das von quartären Terrassenbildungen des Rheins aufgebaute oberste Grundwasserstockwerk mit freiem Grundwasserspiegel von großer was-

servwirtschaftlicher Bedeutung. Die oberflächennah genutzten Grundwasserkörper werden in diesen Bereichen grundsätzlich im tieferen Untergrund durch den als hydraulische Barriere ausgebildeten Emscher-Mergel (Lippe-Gebiet) bzw. die Lintforter Schichten (Niederrhein-Gebiet) gegen qualitative Veränderungen des Grundwassers infolge des Grubenwasseranstiegs (Salzwasseraufstieg) geschützt. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand sind aber Einwirkungen nicht vollständig auszuschließen, da die Schutzfunktion dieser hydraulischen Barriereformationen insbesondere im Bereich von Störungszonen noch nicht im Detail untersucht ist.

Abb.10 : Wasserwirtschaftlich bedeutsame Grundwasserkörper im



Ruhrrevier

Die Emscher-Region hat für die großindustrielle Wasserversorgung keine Bedeutung; lokal wird das oberflächennahe Grundwasser aber auch hier für die Wassergewinnung genutzt. Im Rahmen des



Grubenwasseranstiegs kann es im Kontaktbereich zwischen dem tiefen und dem oberflächennahen Grundwasserstockwerk zu Salzwasseraufstiegen kommen.

Eine zentrale Bedeutung für die Trinkwasserversorgung des Ruhrgebiets kommt der Ruhr zu. Ein wichtiges Charakteristikum der Trinkwassergewinnung im Ruhrtal ist, dass es sich dabei nur zu einem sehr geringen Teil um die Gewinnung von natürlicherweise vor Ort zuströmenden Grundwassers handelt. Zwischen Meschede und Mülheim wird in großem Umfang (ca. 200 Mio. m<sup>3</sup>/a) Wasser aus der fließenden Welle der Ruhr entnommen, über Versickerungsbecken in den Grundwasserleiter infiltriert und dann für die Trinkwasserversorgung gefördert. Der an den meisten Ruhr-Wasserwerken zusätzlich genutzte Anteil an Uferfiltrat und natürlichem Grundwasser beträgt nahezu immer weniger als 10 % der Gesamtförderung.

Im Rahmen eines Grubenwasseranstiegs ist mit Erreichen des natürlichen Vorflutniveaus mit Grubenwasserzutritten in die Wasserversorgungsbereiche im Ruhrtal zu rechnen. Die möglichen Einwirkungen auf die Trinkwassergewinnung können derzeit noch nicht prognostiziert werden.

## **6.2 Mineralbrunnen**

Neben der Trinkwasserversorgung sind bei der Bewertung möglicher Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs aus wasserwirtschaftlicher Sicht auch zahlreiche Mineralbrunnen zu berücksichtigen. Nach einer Zusammenstellung des GEOLOGISCHEN DIENSTES NRW (2002) werden im Ruhrrevier, innerhalb des Einwirkungsbereiches der Wasserhaltungen, insgesamt 42 Mineralwasserbrunnen betrieben. Nach ihrer Herkunft handelt es sich dabei grundsätzlich um zwei verschiedene Herkunftstypen: Mineralbrunnen im Niederrhein-Gebiet mit mineralisierten Grundwässern aus den tertiären Walsumer Meeressanden und Mineralbrunnen im südlichen Teil des Ruhrreviers mit mineralisierten Grundwässern aus den kretazischen Cenoman/Turon-Schichten. Im Niederrhein-Gebiet wird das Förderniveau (Walsumer Sande) durch eine mächtige z.T. als hydraulische Barriere wirkende Folge von kretazischen, triassischen und permischen Deckgebirgsschichten unterlagert. Das Einwirkungspotenzial ist daher in diesem Bereich begrenzt. Für die im südlichen Teil des Ruhrgebiets gelegenen Mineralquellen kann eine Beeinflussung durch den Grubenwasseranstieg nicht ausgeschlossen werden. Die Mineralquellen liegen hier im Wesentlichen im hydraulischen Kontaktbereich zwischen Deckgebirgsschichten und Steinkohlengebirge. Zur Bewertung des jeweiligen konkreten Einwirkungspotenzials sind eine Detailbetrachtung der hydrogeologischen Verhältnisse sowie ein entsprechendes Monitoring der genutzten Aquifere erforderlich.

## **6.3 Grundwasserabhängige Naturschutzgebiete („Natura 2000“)**

In Bereichen, in denen es infolge des Grubenwasseranstiegs zur Veränderung von Grundwasserständen oder der Grundwasserqualität kommt, sind grundsätzlich auch Einwirkungen auf Fauna und Flora nicht auszuschließen. Im Einwirkungsbereich der Wasserhaltungen des Steinkohlenbergbaus sind insbesondere entlang der Lippe nahezu durchgängig FFH-Gebiete und am Niederrhein schwerpunktmäßig Vogelschutzgebiete ausgewiesen. Die wasserabhängigen Schutzgebiete liegen fast ausschließlich im nördlichen Teil des Reviers, wo der Emscher-Mergel eine wirksame hydraulische Barriere im Liegenden der oberflächennahen Grundwasserleiter bildet (Hydrogeologische Homogenbereiche 1 und 2). Im Rahmen des Grubenwasseranstiegs sind in diesen Bereichen keine signifikanten Einwirkungen auf diese Schutzgebiete zu erwarten, da kein direkter hydraulischer Kontakt zum Grubenwasser besteht.

## 6.4 Vorfluter

Mit den Grubenwässern der stillgelegten und aktiven Bergwerke werden erhebliche Wassermengen mit erhöhter Temperatur sowie Salzfrachten (Chloride, Sulfate) in Lippe, Emscher, Ruhr und Rhein sowie in kleine Nebengewässer eingeleitet. Neben den sonstigen industriellen Abwassereinleitungen bilden diese Einleitungen eine erhebliche Belastung für die lokalen Vorfluter. Der überwiegende Anteil der insgesamt gehobenen Grubenwässer wird aus dem Bereich der zentralen Wasserhaltung zwischen Bochum und Essen in die Ruhr eingeleitet (rd. 36,3 Mio. m<sup>3</sup> im Jahr 2005 entsprechend rd. 40 % der Gesamthebungsmenge). Die Hauptsalzfrachten aus den aktiven Bergwerken und den nördlichen Stilllegungsbereichen werden dagegen über Lippe und Emscher bzw. am linken Niederrhein über die Fossa Eugeniana in den Rhein sowie auch direkt in den Rhein (Bergwerk Walsum) abgeleitet.

Im Rahmen eines Grubenwasseranstiegs sind außerhalb des Ruhrtals keine unmittelbaren Einwirkungen auf die Vorfluter zu erwarten. Durch die Einstellung der Grubenwassereinleitungen kann jedoch eine erhebliche Verbesserung der Gewässergüte erreicht werden.

## 6.5 Altlasten

Die Lage von Altlasten und Altlastverdachtsflächen ist heute weitgehend umfassend in den Altlastenkatastern der Kreise und Kommunen dokumentiert. In den heutigen Polderflächen ist zukünftig keine signifikante Veränderung hinsichtlich der Altlastenproblematik zu erwarten. Hier werden dauerhaft Flurabstands-regulierende Maßnahmen erforderlich sein. Im Rahmen des Grubenwasseranstiegs kann es hier gegebenenfalls zu verstärkten Wasserzutritten zu den Pumpwerken kommen.

Außerhalb der Reichweite der heutigen Pumpwerke ist eine Detailbetrachtung der Risiken eines Grundwasseranstiegs im Deckgebirge bzw. des Grubenwasseranstiegs erforderlich. Dies betrifft aber neben der Altlastenproblematik grundsätzlich die Frage der Vernässung von besiedelten Bereichen und der Beeinflussung von wasserwirtschaftlich relevanten Grundwasservorkommen. Besondere Aufmerksamkeit ist dieser Problematik daher dort zu widmen, wo das Grubenwasser unmittelbar in Kontakt mit dem oberflächennahen Grundwasser treten kann (Hydrogeologische Homogenbereiche 3 und 4).

# 7 Aufbau eines Monitoring-Systems

Der Umfang und die zu betrachtenden Schutzgüter des Monitoring-Systems werden in Abhängigkeit vom Einwirkungspotenzial der verschiedenen Phasen des Grubenwasseranstiegs festgelegt. Dabei ist einerseits die räumliche Gliederung des Ruhrreviers nach Zonen unterschiedlicher Einwirkungspotenziale (u.a. Hydrogeologische Homogenbereiche, Verbreitung des oberflächen- und tagesnahen Bergbaus) und andererseits die Abhängigkeit des Einwirkungspotenzials von der Höhe des Standwasserniveaus zu berücksichtigen. Darüber hinaus ist immer auch ein ausreichender Vorlauf der Untersuchungen zur Erfassung des Ist-Zustandes vor Einsetzen konkreter Einwirkungen einzuhalten.

Nach dem derzeitigen Kenntnisstand stellen die Hydrogeologischen Homogenbereiche 3 und 4 insbesondere im Verbreitungsgebiet des oberflächen- und tagesnahen Bergbaus im Hinblick auf die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse und die Grubengas-Situation die Hauptproblemzonen eines flächenhaften Grubenwasseranstiegs dar. Hier muss dementsprechend auch der Schwerpunkt von Monitoring- und Schutz-Maßnahmen liegen.

Bestehende Unsicherheiten bei der Prognose und Bewertung der Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs sind durch entsprechende Monitoring-Maßnahmen abzudecken.

Für die einzelnen Hydrogeologischen Homogenbereiche wurde ein Musterkatalog von Monitoring-Maßnahmen erarbeitet. Dieser Musterkatalog stellt einen ersten groben Rahmen für ein zukünftiges revierübergreifendes Monitoring im Ruhrgebiet dar. Messmethoden, Messintervalle und Parameter sind flexibel an den stetigen Erkenntniszuwachs im Verlauf des Grubenwasseranstiegs anzupassen.

## 8 Schlussbemerkungen

Mit dem nunmehr vorliegenden Musterkatalog für ein Monitoring-System zur Überwachung der Auswirkungen eines flächenhaften Grubenwasseranstiegs im Ruhrrevier hat sich die Bergbehörde grundsätzlich auf die Herausforderungen der politischen Vereinbarungen der „Kohlerunde“ vom 07.02.2007 eingestellt.

Tatsächlich steht heute noch nicht fest, ob das Grubenwasser im Ruhrrevier nach der Stilllegung des letzten Bergwerks jemals bis in das natürliche Vorflutniveau ansteigen oder aus sicherheitlichen Gründen eine dauerhafte Wasserhaltung auf einem bisher unbestimmten Niveau erforderlich sein wird.

Eine solche Entscheidung wird erst auf der Grundlage einer fachtechnisch fundierten Abwägung der Auswirkungen verschiedener Szenarien des Grubenwasseranstiegs unter Beteiligung der betroffenen Behörden, Verbände und Bergwerksunternehmen getroffen werden können. Entsprechend zielgerichtete Monitoring-Maßnahmen bilden dabei eine wichtige Grundlage zur Schaffung von Entscheidungsgrundlagen.

In diesem Zusammenhang sind möglichst frühzeitig auch die Möglichkeiten zur langfristigen Nachnutzung der Bergwerksstandorte (Grubengas, Erdwärme etc.) zu berücksichtigen.

## Qellennachweis

BEZIRKSREGIERUNG ARNSBERG (BZR ARNSBERG, 28.09.2006):

Hinterlassenschaften des Bergbaus - Probleme, Aufgaben und Chancen aus Sicht der Bergbehörde.- Bericht der Bergbehörde zur Sitzung des Regionalrates am 28.09.2006 in Herne, 32 S., 13 Anl.; Dortmund.

COLDEWEY, W. G. (1976):

Hydrogeologie, Hydrochemie und Wasserwirtschaft im mittleren Emschergebiet.- Mitt. WBK, 38, 143 S., 15 Abb., 1 Anh., 71 Anl.; Bochum.

DSK (04.2006):

Grubenwasserbericht DSK-Ruhr 2005.- Unveröffentlichte Stellungnahme des Servicebereich Standort und Geodienste, Markscheidewesen/Liegenschaften der DSK, 32 S., 29 Abb., 1 Tab., 8 Anl.; Herne.

EDELHOFF-DAUBEN, J. (2001):

Beherrschung von großflächigen Gasaustritten an der Tagesoberfläche in Bereichen stillgelegter Bergwerke in Abhängigkeit unterschiedlicher Deckgebirgsüberlagerungen.- DMT-Berichte aus Forschung und Entwicklung, 104, 249 S., 104 Abb., 31 Tab., 19 Anl.; Bochum.

GEOLOGISCHER DIENST NRW (2002):

Geothermie - Daten zur Nutzung des oberflächennahen geothermischen Potenzials.- CD-ROM, Stand der Karten und Dateninhalte: 2000 bis 2002; Krefeld.

GRIGO, W., WELZ, A. & HEITFELD, M. (2007):

Technische Herausforderungen in Folge eines großräumigen Rückgangs des Steinkohlenbergbaus an der Ruhr.- 9. Aachener Altlasten- und Bergschadenkundliches Kolloquium, 112, S. 9 - 26; Aachen.

HAHNE, C. & SCHMIDT, R. (1982):

Die Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes - Einführung in das Steinkohlengebirge und seine Montangeologie.- 106 S., 88 Abb., 11 Tab., 1 Taf.; Verlag Glückauf, Essen.

HEITFELD, M., ROSNER, P., MÜHLENKAMP, M. & SAHL, H. (2004):

Bergschäden im Erkelenzer Steinkohlenrevier.- 4. Altbergbau-Kolloquium, S. 281 - 295, 10 Abb.; Leoben.

HEITFELD, M., ROSNER, P., SAHL, H. & SCHETELIG, K. (2005):

Grubenwasseranstieg im Steinkohlenbergbau - Einflussfaktoren, Auswirkungen und Folgenutzung am Beispiel des Aachener und Erkelenzer Reviers.- 5. Altbergbau-Kolloquium, S. 433 - 452, 10 Abb.; Clausthal-Zellerfeld.

HOLLMANN, F. (2001):

Methan (CH<sub>4</sub>)-Zustömungen an der Geländeoberfläche am Beispiel des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes.- Tagungsband Oberhausener Grubengas-Tage 2001, UMSICHT-Schriftenreihe, 37, S. 38 - 56, 9 Abb.; Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

JÄGER, B., OBERMANN, P. & WILKE, F.L. (1990):

Studie zur Eignung von Steinkohlenbergwerken im rechtsrheinischen Ruhrkohlenbezirk zur Untertageverbringung von Abfall- und Reststoffen.- Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Wasser und Abfall NW, 1. Band, S. 1 - 60, 2. Band: S. 1 - 267, 3. Band: S. 1 - 318, 4. Band: S. 1 - 79; 52 Anl.; Düsseldorf.

OBERSTE-BRINK, K. (1940):

Die Frage der Bodenbewegungen infolge Bergbaus.- Glückauf, 76, S. 249 - 256, 14 Abb.; VGE-Verlag, Essen.

ROSNER, P., HEITFELD, M., SCHETELIG, K. & SAHL, H. (2006):

Monitoring des Grubenwasseranstiegs im Aachener Steinkohlenrevier.- 8. Aachener Altlasten- und Bergschadenkundliches Kolloquium, 108, S. 23 - 36, 7 Abb.; Aachen.