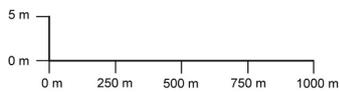
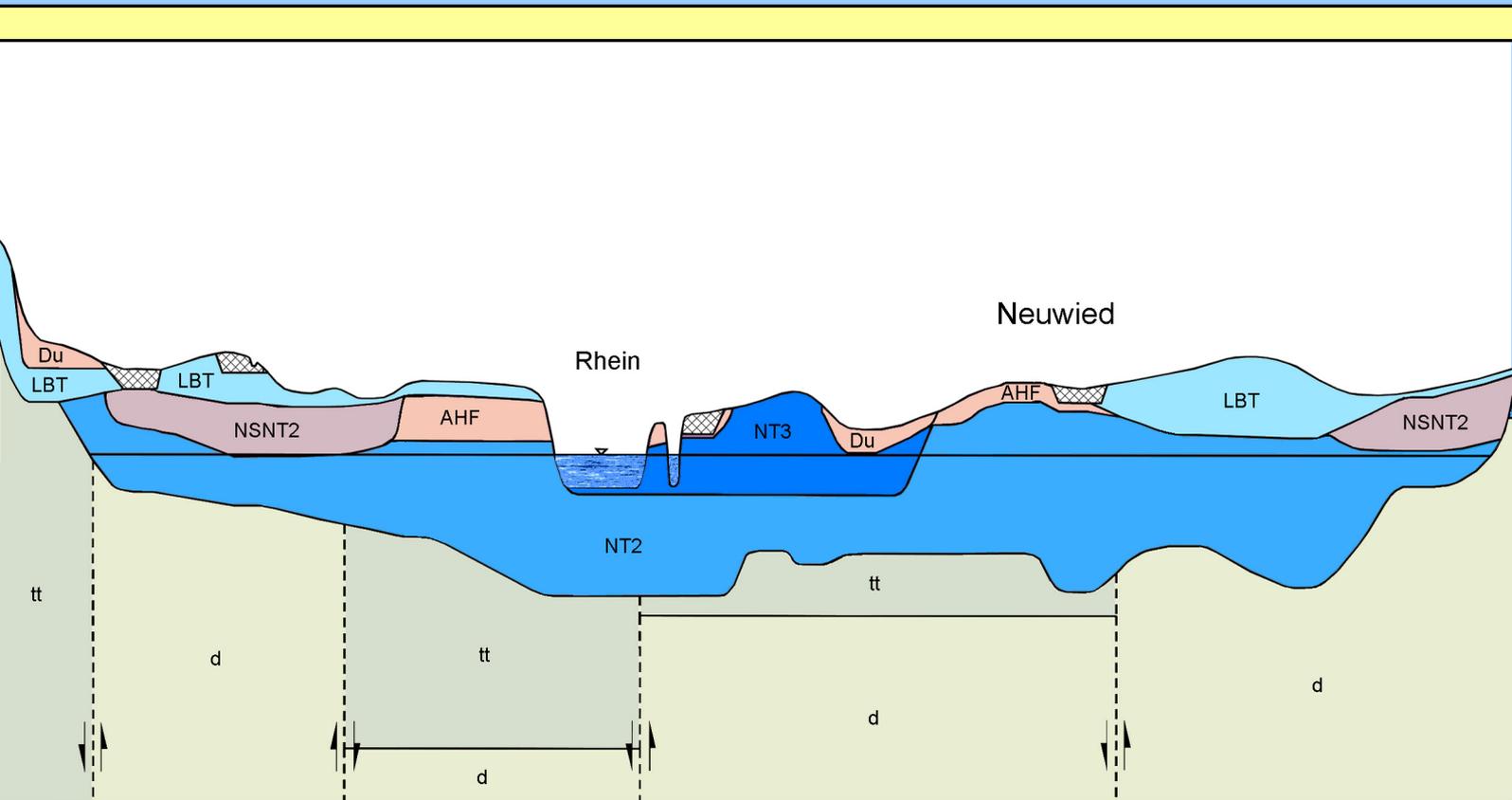


# Hydrogeologische Kartierung Neuwieder Becken



**Geologisches Landesamt Rheinland - Pfalz**

# **Hydrogeologische Kartierung**

## **Neuwieder Becken**

Projektleitung:

DR. KARL-HEINZ HOHBERGER, DR. BETTINA WAGNER

Bearbeitung:

DR. KURT AGSTEN, DR. MARTINA BODEM, DR. THOMAS DREHER,  
DR. WERNER R. FRANKE, DR. JÜRGEN GAD, RENATE GÖBEL,  
THORA HERKSTRÖTER, DR. ALEXANDER IKINGER, RUDOLF POPPE,  
DR. PETER SCHÄFER, DR. HANS-DIETER SCHEER, EWALD SIEBEN,  
DR. MICHAEL WEIDENFELLER, DR. ATHANASIOS WOURTSAKIS

GEOLOGISCHES LANDESAMT RHEINLAND-PFALZ

Mainz 2000

## Impressum

Herausgeber, Gesamtherstellung und Vertrieb:

Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz,  
Emy-Roeder-Straße 5, D-55129 Mainz  
[www.gla-rlp.de](http://www.gla-rlp.de)

Redaktion:

DR. KLAUS STEINGÖTTER

Digitale Kartographie:

ANDREAS DIETZ  
MICHAEL GOLDSCHMITT  
JOHANNES KRZYZANOWSKI  
DR. BETTINA WAGNER

## **Vorwort**

Das Geologische Landesamt führt im Rahmen der hydrogeologischen Landesaufnahme, häufig in enger Zusammenarbeit mit den wasserwirtschaftlichen Fachbehörden, Projektkartierungen für bedeutende Grundwasservorkommen in Rheinland-Pfalz durch.

Ziel ist die hydrogeologische und hydrochemische Beschreibung der Grenzen und Eigenschaften der Grundwasserleiter, ihre Beziehungen zu oberirdischen Gewässern, die Bewertung ihres Schutzes sowie die Ermittlung der Grundwassermengen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden jeweils in einem Kartenwerk dokumentiert, wobei die Kartenthemen und -maßstäbe sich nach den jeweiligen Erfordernissen richten. Für wasserwirtschaftlich intensiv genutzte Räume können solche Grundlagen u. a. dazu dienen, vorhandene Flächennutzungen (z. B. Landwirtschaft) und künftige Planungen (z. B. Ausweisung von Bau- und Gewerbegebieten, Abbau von Steinen und Erden) besser mit den Belangen eines vorsorgenden Grundwasserschutzes abzustimmen und damit eine langfristige Verbesserung der Grundwasserqualität zu erreichen. Sie erlauben erste Einschätzungen der Gefährdungspotentiale von Altablagerungen sowie möglicher Auswirkungen beim Eindringen wassergefährdender Stoffe in den Untergrund, können jedoch spezielle Einzeluntersuchungen nicht ersetzen. Weiterhin bildet die Hydrogeologische Kartierung eine Arbeitsgrundlage bei der Beantwortung von Fragen der Grundwasserbewirtschaftung, auf der weiterführende hydraulische Untersuchungen aufbauen können.

Ein durch den Abbau von Bims, Sand, Kies und Ton sowie durch intensive landwirtschaftliche Bodennutzung besonders beanspruchtes Gebiet ist das dicht besiedelte Neuwieder Becken, dessen Niederterrassensedimente des Rheins die wasserwirtschaftlich ergiebigsten Grundwasservorräte im nördlichen Landesteil von Rheinland-Pfalz enthalten und für die überörtliche Wasserversorgung von großer Bedeutung sind. Aufgrund der guten hydraulischen Anbindung an den Rhein und der damit verbundenen stützenden Wirkung treten weniger quantitative als vielmehr qualitative Probleme auf. Schwerpunkt dieser Untersuchungen ist deshalb nicht der Grundwasserhaushalt sondern der Grundwasserschutz.

Die Karten wurden mit Hilfe einer Bohrdatenbank sowie mit den Geoinformationssystemen ArcInfo und ArcView erarbeitet. Damit besteht die Möglichkeit einer zeitnahen Fortschreibung der Karteninhalte sowie einer Abgabe von Daten an interessierte Nutzer für weitere Bearbeitungen.



---

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>	
1.	Einleitung	1
2.	Geologie	3
2.1.	Unterdevon des Rheinischen Schiefergebirges	3
2.2.	Tertiär des Neuwieder Beckens	6
2.2.1.	Tektonische Übersicht	9
2.3.	Quartärgeologische Entwicklung	11
2.3.1.	Quartärer Vulkanismus der Osteifel	13
2.3.2.	Quartärmorphologie	16
2.3.3.	Höhenlage der Quartärbasis	16
3.	Geophysikalische Untersuchungen	18
3.1.	Geoelektrische Tiefensondierungen	18
3.2.	Elektromagnetik	18
3.3.	Refraktionsseismik / Reflexionsseismik	20
3.4.	Bodenmagnetik	20
4.	Böden	21
5.	Hydrogeologie	22
5.1.	Hydrogeologische Einheiten	22
5.1.1.	Schiefer-Sandstein-Wechselfolge des Unterdevon	22
5.1.2.	Kiese und Sande des Tertiär	22
5.1.2.1.	Vallendar-Schotter	22
5.1.2.2.	Arenberg-Formation	23
5.1.2.3.	Kieseloolith-Schotter	23
5.1.3.	Quartäre Vulkanite	23
5.1.4.	Kiese und Sande des Quartär	23
5.1.4.1.	Haupt- und Mittelterrassen	23
5.1.4.2.	Niederterrassen	24
5.1.4.2.1.	Basis, Aufbau und Überdeckung des Niederterrassen-Grundwasserleiters	24
5.2.	Hydraulische Kennwerte	25
5.3.	Grundwasseroberfläche	26
5.3.1.	Mittelwasserverhältnisse	26
5.3.2.	Mittlere Niedrigwasserverhältnisse	27
5.4.	Flurabstand	27
5.5.	Potentielle Grundwasserneubildung	27
5.5.1.	Berechnungsverfahren	27
5.5.1.1.	Niederschlag	28

	Seite	
5.5.1.2.	Potentielle Verdunstung nach HAUDE	29
5.5.1.3.	Bodennutzung	31
5.5.1.4.	Pflanzenverfügbares Bodenwasser	32
5.5.2.	Berechnung der potentiellen Grundwasserneubildungsrate	33
5.6.	Grundwasserbeschaffenheit	36
5.6.1.	Probenahme	36
5.6.2.	Analytik	37
5.6.3.	Hydrochemische Übersicht	37
5.6.4.	Kartendarstellungen	40
5.6.4.1.	Nitrat	41
5.6.4.2.	Sulfat	42
5.6.4.3.	Gesamthärte	42
5.6.4.4.	Chlorid	43
5.6.5.	Hydrochemische Zeitreihen	44
6.	Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung	47
6.1.	Verfahren zur Ermittlung der Schutzfunktion	47
6.2.	Kurzbeschreibung der flächenhaften Verteilung	49
7.	Potentielle Nitratauswaschung	50
8.	Schriften	53

## **Anhang**

- Anhang 1: Forschungsbohrung Rübenacher Höhe, Fotodokumentation, Teufenabschnitt: 23 m bis 40 m
- Anhang 2: Forschungsbohrung Schmidtenhöhe 1, Fotodokumentation, Teufenabschnitt: 18 m bis 36 m
- Anhang 3: Forschungsbohrung Rübenacher Höhe, Fotodokumentation, Teufenabschnitt: 72 m bis 90 m
- Anhang 4: Forschungsbohrung Schmidtenhöhe 2, Fotodokumentation, Teufenabschnitt: 66 m bis 84 m
- Anhang 5: Forschungsbohrung Miesenheim, Fotodokumentation, Teufenabschnitt: 88 m bis 107,25 m

<b>Verzeichnis der Abbildungen</b>	<b>Seite</b>
Abb. 1: Standardprofil durch die Abfolge tertiärer Sedimente im Neuwieder Becken und dem rechtsrheinischen Teil der TK 25 Blatt 5611 Koblenz	7
Abb. 2: Karte der Höhenlage der eozänen Tertiärbasis	10
Abb. 3: Terrassenschema am unteren Mittelrhein	12
Abb. 4: Isopachen der Mächtigkeit der Laacher See-Tephra nach BOGAARD v.d. & SCHMINCKE (1984); Mächtigkeit der Deckschicht über der Allerödoberfläche an den Aufnahmepunkten nach IKINGER (1995); Mächtigkeitsangaben in Meter	15
Abb. 5: Lage der Profillinien der geophysikalischen Untersuchungen	19
Abb. 6: Teilgebiete des Untersuchungsraumes	31
Abb. 7: Schematische Darstellung der Berechnungsschritte für die Ermittlung der potentiellen Grundwasserneubildungsrate, hier exemplarisch für Ackerstandorte (nach WESSOLEK in ALTHOFF et al. 1995, verändert)	33
Abb. 8: Boxplot-Darstellung zur Grundwasserbeschaffenheit im Neuwieder Becken	38
Abb. 9: Hydrochemische Zeitreihen des Rheins und der Mosel (Messstationen Koblenz) sowie der Grundwassermessstellen für die Kenngrößen Chlorid und Nitrat mit Angabe der Entfernung zum Rhein (alle Daten vom Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz)	45
Abb. 10: Hydrochemische Zeitreihen des Rheins und der Mosel (Messstationen Koblenz) sowie der Grundwassermessstellen für die Kenngrößen Sulfat und Gesamthärte mit Angabe der Entfernung zum Rhein (alle Daten vom Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz)	46
Abb. 11: Prozentuale Flächenanteile der Nitratauswaschungsgefährdungsklassen der landwirtschaftlich genutzten Böden	52

### **Verzeichnis der Tabellen**

Tab. 1: Stratigraphie und Schichtenfolge im Neuwieder Becken	4
Tab. 2: Korrigierte Werte der mittleren Niederschlagshöhen (Zeitraum 1961 bis 1994) im Bereich des Neuwieder Beckens und dessen Umgebung	29
Tab. 3: Potentielle Verdunstung nach HAUDE (1955) für den Zeitraum von 1961 bis 1994	30
Tab. 4: Prozentuale Flächenanteile der Bodennutzungsarten im Bearbeitungsgebiet	31

	Seite
Tab. 5: Gebietswerte der Niederschläge, der potentiellen Verdunstung und der potentiellen Grundwasserneubildung (Zeitraum 1961 bis 1994)	34
Tab. 6: Potentielle Grundwasserneubildung (mm/Jahr) in Abhängigkeit von der Bodennutzung	35
Tab. 7: Exemplarische Analysenergebnisse der Probenahme vom August / September 1993 im Niederterrassenaquifer; Labor des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz	39
Tab. 8: Klassifizierung der Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung	48
Tab. 9: Höhe und Beurteilung der Austauschhäufigkeit des Bodenwassers in Abhängigkeit von der Sickerwassermenge und der Feldkapazität im effektiven Wurzelraum FKWe (nach AG BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZ- UND –SCHONGEBIETEN DER DBG 1992)	51

### Verzeichnis der Kartenanlagen

Karte 1: Geologie	M	1 : 50 000
Karte 2: Quartärmorphologie	M	1 : 25 000
Karte 3: Höhenlage der Quartärbasis im Bereich der Niederterrassen	M	1 : 25 000
Karte 4: Böden	M	1 : 25 000
Karte 5: Hydrologische Grundlagen und Trinkwasserschutzgebiete	M	1 : 25 000
Karte 6: Hydrogeologische Längsschnitte	MdL	1 : 25 000
Schnitte A – A` bis B – B`	MdH	1 : 750
Karte 7: Hydrogeologische Querschnitte	MdL	1 : 25 000
Schnitte C – C` bis E – E`	MdH	1 : 750
Karte 8: Grundwassergleichen und Transmissivitäten	M	1 : 25 000
Karte 9: Flurabstand im Bereich der Niederterrassen	M	1 : 25 000
Karte 10: Mittlere potentielle Grundwasserneubildung	M	1 : 25 000
Karte 11: Grundwasserbeschaffenheit	M	1 : 50 000
Karte 12: Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung	M	1 : 25 000
Karte 13: Potentielle Nitratauswaschung	M	1 : 25 000

## 1. Einleitung

Das im Norden von Rheinland-Pfalz gelegene Neuwieder Becken umfasst Teile der Kreise Neuwied und Mayen-Koblenz sowie der Stadt Koblenz. In diesem, zwischen Westerwald und Eifel gelegenen, geologisch relativ jungen Senkungsgebiet wurden im Zentralbereich durch den Rhein hochdurchlässige klastische Sedimente abgelagert, deren Grundwasservorkommen intensiv genutzt werden. So betragen im Jahr 1995 die Entnahmen für die öffentliche Trinkwasserversorgung und durch die Industrie ca. 39 Mill. m<sup>3</sup> (ARBEITSGRUPPE WASSERVERSORGUNGSPLAN 1998, 1999).

Trotz dieser hohen Entnahmen sind Mengenprobleme von untergeordneter Bedeutung und auch aufgrund der Anreicherung mit Uferfiltrat in Zukunft nicht zu erwarten. Einschränkungen der Grundwasserentnahmen zur Trinkwassergewinnung ergeben sich deshalb fast ausschließlich vor dem Hintergrund, den Richtlinien entsprechende Trinkwasserschutzgebiete ausweisen zu können und damit die Grundwasserqualität vorsorgend zu sichern.

In den letzten Jahren wurden mehrere Grundwassermodelle für bestimmte Fragestellungen (Ermittlung von Entnahmen, Trinkwasserschutzgebietsabgrenzungen, Sanierung von Schadensfällen) durch verschiedene Ingenieurbüros und durch die Universität Mainz, Fachbereich Geowissenschaften, erarbeitet. Weiterhin liegt ein von der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, angefertigtes Großraummodell vor, dessen Ergebnisse ausführlich dokumentiert sind (GIEBEL et al. 1990).

Aufgrund der intensiven Flächennutzungen treten immer wieder qualitative Beeinträchtigungen im Grundwasser auf, sei es durch flächenhafte Stoffeinträge, z. B. aus der Landwirtschaft, oder durch punktuelle Einträge wassergefährdender Stoffe wie Mineralölprodukte oder leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe. Einer der Schwerpunkte dieser Untersuchungen ist deshalb die Ermittlung der Eingangsgrößen für die Bewertung der Geschütztheit des Grundwassers gegenüber Schadstoffen.

Die Erwartungen, im Rahmen dieses Projektes ein tieferes, vor Oberflächeneinflüssen besser geschütztes und eventuell wasserwirtschaftlich nutzbares Grundwasserstockwerk zu kartieren, haben sich nicht erfüllt. Die vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung – Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben der Geologischen Dienste der Länder und des Bundes (GGA) – durchgeführten geophysikalischen Untersuchungen, ergänzt durch eine größere Anzahl tiefer Erkundungsbohrungen, haben zwar die vermuteten tertiärzeitlichen Vallendar-Schotter unter mächtigeren Tonen als Rinnenfüllung nachgewiesen, diese sind jedoch aller Voraussicht nach aus quantitativen und qualitativen Gründen wasserwirtschaftlich unbedeutend.

Wegen der fachübergreifenden Themen erfolgte die Bearbeitung des vorliegenden Kartenwerkes mit insgesamt 13 Einzelkarten in enger Zusammenarbeit aller Fachgebiete des Geologischen Landesamtes. Die Karte mit Darstellung der geologischen und geomorphologischen

Verhältnisse vor Ausbruch des Laacher See-Vulkans (Karte 2), die z. B. für die Beurteilung des Abbaus von Bims hilfreich ist, basiert auf einer im Rahmen einer Dissertation angefertigten Karte (IKINGER 1995).

Ohne die Mithilfe Dritter wäre die Kartierung in diesem Umfang nicht möglich gewesen. Unser Dank gilt deshalb folgenden Institutionen:

- Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung – Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben der Geologischen Dienste der Länder und des Bundes (GGA) –, Hannover
- Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz, Mainz
- Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
- Deutscher Wetterdienst, Geschäftsbereich Hydrometeorologie, Berlin
- Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord, Regionalstellen für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft, Bodenschutz in Koblenz und Montabaur
- Kreisverwaltungen Neuwied und Mayen-Koblenz sowie der Stadtverwaltung Koblenz
- Trägern der öffentlichen Trinkwasserversorgung (Stadtwerke Neuwied, Kreiswasserwerk Neuwied, Stadtwerke Bendorf, Zweckverband RheinHunsrück Wasser, Wasserwerk Koblenz-Weissenthurm GmbH, Stadtwerke Andernach, Vereinigte Wasserwerke Mittelrhein GmbH (EVM), Verbandsgemeindewerke Ransbach-Baumbach)
- Björnsen Beratende Ingenieure, Koblenz
- Technologieberatung Grundwasser und Umwelt GmbH, Koblenz
- Chemisch-Technisches Laboratorium H. Hart, Melsbach

## 2. Geologie

Bei Koblenz öffnet sich das tief eingeschnittene Mittelrheintal mit Einmündung der Mosel zu einer breiten, nach beiden Seiten leicht ansteigenden Ebene zwischen Eifel und Westerwald. In diesem, mit Beginn des Tertiär tektonisch angelegten Neuwieder Becken und seiner Umrandung wird das Landschaftsbild von zwei geologischen Einheiten geprägt (Tab. 1 u. Karte 1):

- Dem unterdevonischen Rumpfgebirge des Rheinischen Schildes sowie
- den tertiären und quartären Sedimenten und vulkanischen Ablagerungen innerhalb des Beckens.

### 2.1. Unterdevon des Rheinischen Schiefergebirges

Das Rheinische Schiefergebirge ist ein Teilgebiet des variskischen Orogens, das in mehreren Phasen, vom Mitteldevon (380 Mill. Jahre) bis ins Oberkarbon (300 Mill. Jahre), aufgefaltet wurde. Entsprechend der von KOSSMAT (1927) vorgenommenen Gliederung wird es im Rahmen der Varisziden der äußeren Rhenoharzynischen Zone zugeordnet. Diese ist – im Gegensatz zu den inneren Zonen – durch Faltung, Schieferung und sehr schwache Metamorphose charakterisiert. Begrenzt wird sie im Nordwesten durch die zum Vorland überleitende Subvariskische Saumsenke, die mit oberkarbonischen Sedimenten ausgefüllt ist. Die Südostgrenze bildet die Mitteldeutsche Kristallinschwelle, die den nordwestlichen Teil der Saxothuringischen Zone (mit deutlich intensiverer Metamorphose) darstellt.

Die Gesteine des Rheinischen Schiefergebirges wurden im Rheinischen Trog, einem Sedimentationsraum zwischen dem ehemaligen „Old Red“-Festland im Nordwesten und der noch heute bestehenden Mitteldeutschen Kristallinschwelle (Odenwald, Spessart) im Südosten, abgelagert. Im Zentrum des Troges erreicht die Mächtigkeit 10 000 m, die Randbereiche weisen eine geringere Mächtigkeit auf. Nach GRABERT (1998, S. 28) zeigt das Unterdevon des Rheinischen Schiefergebirges „...den Bereich eines sehr flachen, dem Mündungsgebiet eines oder mehrerer Stromsysteme vorgelagerten Wattengebietes“. Im rheinischen Devon lassen sich drei Faziesbereiche unterscheiden:

- Die Fazies des inneren Schelfs mit rotgefärbten Sedimenten, die als Trübestrom-Ablagerungen vom „Old Red“-Festland antransportiert wurden,
- die küstennahe, sandige Rheinische Fazies,
- die küstenferne, karbonatische Herzynische Fazies.

Das Untersuchungsgebiet liegt fast vollständig in der heutigen Moselmulde bzw., aus paläogeographischer Sicht, im unterdevonischen Mosel-Lahn-Trog, der dem zentralen Ablagerungsbereich mit Sedimenten der Rheinischen Fazies entspricht. Die Moselmulde wird im Nordwesten

Tab. 1: Stratigraphie und Schichtenfolge im Neuwieder Becken.

Stratigraphie			Sedimente	Vulkanite
Quartär	Holozän		künstliche Aufschüttung Abschwemm-Massen Rinnensedimente Auensedimente Anmoor	
	Pleistozän - Holozän		Schwemmfächersedimente Rutschmassen Blockschutt	
	Pleistozän	Weichsel/Würm	Jüngere Niederterrasse  Hochflutsedimente Ältere Niederterrasse Älteste Niederterrasse	Laacher Bims-Tephra
		Alt- bis Jungpleistozän	Fließerde Löß, Lößlehm, Schwemmlöß	Tephrit Basanit-Tephrit Basische Tephra
		Mittelpleistozän Ältest- bis Mittelpleistozän	Mittelterrassen Hauptterrassen	
Tertiär	Pliozän Oligozän	Oberoligozän	Kieseloolith-Schotter Kärlich-Formation Knubb	Trachyt-Tuff
		Unteroligozän	Blauton Grünton Arenberg-Formation Neuwied-Gruppe Maifeld-Formation "Braunkohlenton-Serie" "Klebsand-Serie" Vallendar-Schotter	
	Eozän			
Unterdevon	Ober-Ems	Kondel	Kieselgallenschiefer Flaserschiefer	
		Laubach Lahnstein	Laubach-Schichten Hohenrhein-Schichten Emsquarzit	
	Unter-Ems	Vallendar	Nellenköpfchen-Schichten Rittersturz-Schichten Bendorf-Schichten Nauort-Schichten Oberbieber-Schichten Eckfeld-Schichten	
		Singhofen Ulmen	Deichselbach-Schichten Rüscheid-Schichten Augustenthal-Schichten Hamberg-Schichten	
Siegen	Obersiegen Mittelsiegen  Untersiegen			

durch die Siegener Hauptaufschiebung vom Sattel von Hönnigen-Seifen getrennt, im Südosten durch die Bopparder Überschiebung vom Salziger Sattel. Die Mulde enthält Gesteine, die ein stratigraphisches Alter von oberstem Untersiegen (Schelborn-Quarzit, ca. 400 Mill. Jahre) bis zum jüngsten Oberems (Kieselgallenschiefer, ca. 390 Mill. Jahre) besitzen (Alter nach HAQ & VAN EYSINGA 1987). Die ältesten Schichten sind im Nordwesten der Karte 1 aufgeschlossen, die jüngsten im Kern der Moselmulde, im Südosten.

Petrographisch handelt es sich überwiegend um eine Wechsellagerung von quarzitischen Sandsteinen mit Siltschiefern („Rauhschiefern“) oder Tonschiefern. Daneben gibt es Abfolgen mit relativ einheitlicher petrographischer Ausbildung. So sind z. B. die Kieselgallenschiefer meist aus Ton- und Siltschiefer aufgebaut, der Emsquarzit ist relativ einheitlich als „Glaswacke“ ausgebildet, besitzt allerdings im mittleren Abschnitt Einlagerungen von Siltsteinen. Der Wechsel zwischen Sandsteinen und Silt- bis Tonschiefern erfolgt entweder kleinräumig, wie z. B. bei den Rittersturz-Schichten, oder großräumig, wie dies für die Nellenköpfchen-Schichten typisch ist.

Das Untersuchungsgebiet wird tektonisch von zwei Großstrukturen aufgebaut. Der nordwestlich der Siegener Hauptaufschiebung liegende Sattel von Hönnigen-Seifen ist im Rheinprofil als Doppelsattel ausgebildet (MEYER & STETS 1996). Der südöstliche Teilsattel von Brohl ist durch stehende Falten (mit vertikaler Achsenebene und parallel angeordneten Schieferungsflächen) gekennzeichnet. Die Südostflanke des Teilsattels (Nordwest-Ecke der Karte 1) steht steil, im Grenzbereich zur Siegener Hauptaufschiebung liegt der Falten Spiegel jedoch flach (HOEPPENER 1955). Hier zeigt sich ein deutlicher Schuppenbau, der in die Zone der Hauptaufschiebung überleitet.

Die im Südosten anschließende Moselmulde ist durch überkippte (vergente) Falten und Fächer- bzw. Meilerstellung der Schieferungsflächen charakterisiert. Nordwestlich von Neuwied herrscht eine Nordwestvergenz, südöstlich bis zur Lahnmündung eine Südostvergenz. Die Schichten stehen größtenteils saiger oder sind nach Südosten überkippt. Die Gegenflügel der Falten sind kürzer und fallen flach nach Nordwesten ein. Der Falten Spiegel fällt steil zum Kern der Moselmulde ab (MEYER & STETS 1996).

Die Schieferungsflächen werden oft von einer 2. Schieferung geschnitten. Im Verlauf der Deformation haben die s<sub>2</sub>-Flächen die Rolle der 1. Schieferung übernommen und auf den älteren Flächen (Schichtung, 1. Schieferung) Runzelung bis kleine Falten hervorgerufen.

Aus den mehr oder weniger konstanten Ausstrichbreiten einzelner Schichten (Formationen) im Rheinischen Schiefergebirge ist auf eine generell subhorizontale Lage der Faltenachsen zu schließen. So wurde z. B. südlich der Siegener Hauptaufschiebung von MEYER (1965) ein Achsengefälle bis zu 25° nachgewiesen.

Im Untersuchungsgebiet sind zahlreiche streichende Störungen unterschiedlicher Größenordnung zu beobachten. Es handelt sich überwiegend um Auf- und Überschiebungen, die zu den Achsenflächen der Falten parallel liegen (MEYER & STETS 1996). Einzelne Schollen wurden von Südosten nach Nordwesten überschoben und kompensieren so das Abtauchen des Falten-

spiegels. Die dominierende Störung des Gebietes ist die Siegener Hauptaufschiebung mit einem steilen Einfallen von 60-80° nach Südosten und einer Sprunghöhe von mehr als 2000 m. Die mit der Faltung gleichalten Querstörungen sind senkrecht zur Faltenachse orientiert, haben also meist ein sehr steiles Einfallen. Oft trennen sie Bereiche mit unterschiedlichem Faltenbau voneinander. Im Vergleich zu den streichenden Störungen ist ihre Erstreckung wesentlich kürzer (etwa 2 km gegenüber bis zu 100 km).

Die sehr schwache Metamorphose (Anchimetamorphose) erfolgte im Rahmen der variskischen Deformation. Die Temperatur- und Druckverhältnisse entsprechen dem Grenzbereich Diagenese / Regionalmetamorphose i.e.S.. Makroskopisch ist nur schwer erkennbar, dass die Gesteine metamorph überprägt sind. Unterschiede im Metamorphosegrad sind nur durch Labormethoden zu ermitteln (Illitkristallinität und Inkohlungsgrad). Der maximale Druck wird auf 3 kbar geschätzt, die Temperatur auf 280 °C (HOLL 1995). Die Intensität der Metamorphose hängt von der Mächtigkeit der Überlagerung durch jüngere Sedimente ab – je älter die Schichten, um so größer die Überlagerung und um so stärker die Metamorphose.

Die schwächste Metamorphose im Untersuchungsgebiet wurde nordöstlich der Siegener Hauptaufschiebung festgestellt. Eine sprunghafte Zunahme der Intensität erfolgt südöstlich der Hauptaufschiebung, während sie wiederum in der Mosel-Mulde von Nordwesten nach Südosten schwächer wird (in südöstlicher Richtung treten immer jüngere Schichten an die Oberfläche). Eine erneute Zunahme ist südöstlich der Bopparder Überschiebungszone zu beobachten (MEYER & STETS 1996). Somit ist die Metamorphose älter als die Überschiebungen.

## 2.2. Tertiär des Neuwieder Beckens

Für die Gewinnung von stratigraphischen Daten zur Tertiärgliederung und zur Klärung der tektonischen Verhältnisse wurden zusätzlich zu den durch das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung – Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA) – abgeteuften Bohrungen in den Jahren 1994 bis 1999 im Auftrag des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz 15 Kernbohrungen mit einer Bohrstrecke von ca. 950 Bohrmeter niedergebracht.

Nach Auswertung der Bohrdaten kann das in Abb. 1 wiedergegebene Standardprofil durch die Abfolge tertiärer Sedimente im Bereich des Neuwieder Beckens und dem rechtsrheinischen Teil der TK 25 Blatt 5611 Koblenz zusammengestellt werden. Für eine genauere Untergliederung der hier als „Neuwied-Gruppe“ zusammengefassten Sedimentfolge sind weitergehende, vor allem auch biostratigraphische Untersuchungen notwendig. Lithologisch besonders charakteristische Ausschnitte der Bohrprofile sind im Anhang 1 bis 5 fotografisch dokumentiert.

Das Neuwieder Becken liegt innerhalb einer langgestreckten Senkungszone, die sich vom Pariser Becken in variskischem Streichen bis an den Ostrand des Rheinischen Schiefergebirges erstreckt (PFLUG 1959, Bild 12). Innerhalb dieser Zone, von PFLUG als Bitburg-Kasseler-Senkungsfeld bezeichnet, kam es verbreitet zur Ablagerung von kontinentalen mitteleozänen bis unteroligozänen Sedimenten.

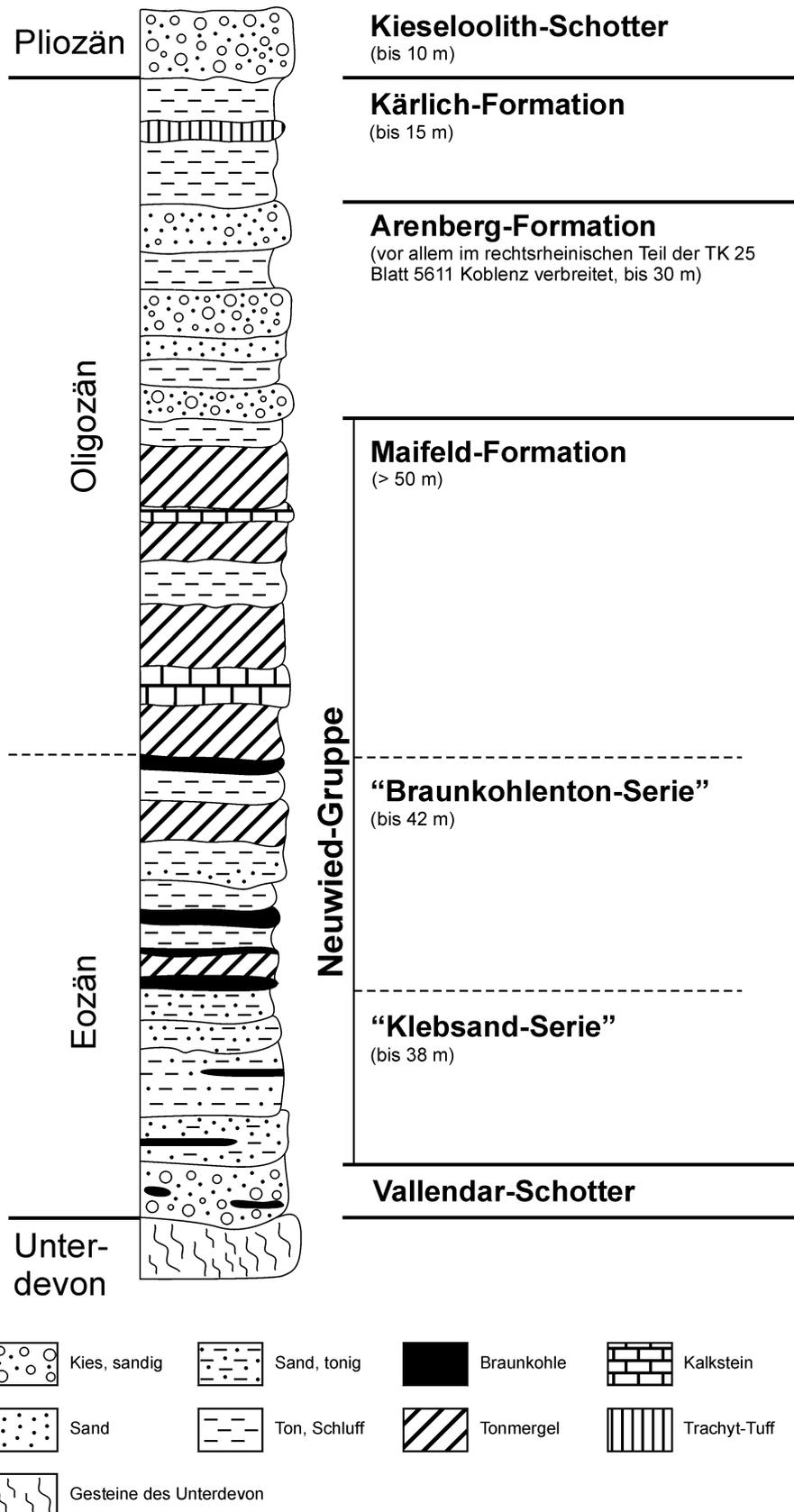


Abb. 1: Standardprofil durch die Abfolge tertiärer Sedimente im Neuwieder Becken und dem rechtsrheinischen Teil der TK 25 Blatt 5611 Koblenz.

Die ältesten Tertiärablagerungen sind die Vallendar-Schotter. Es handelt sich um mittel- bis obereozäne Quarzkiese und -sande. Als fluviatile Bildungen sind sie auf ehemalige Flussrinnen beschränkt, wo Mächtigkeiten von 4 bis 8 m erreicht werden. In die Kies-Sand-Abfolge können auch schluffig-tonige Horizonte eingelagert sein, die nicht selten Pflanzenreste führen und teilweise auch kohlig ausgebildet sind. Oberflächennah anstehend finden sich die Vallendar-Schotter am Mallendarer Berg bei Vallendar (TK 25 Blatt 5611 Koblenz) und nach QUIRING (1931, S. 28) auch noch am Pfahlberg nördlich Nauort (TK 25 Blatt 5511 Bendorf).

Im Zentralbereich des Neuwieder Beckens sind die Vallendar-Schotter nur aus dem tieferen Untergrund bekannt, wo sie durch Bohrungen vereinzelt nachgewiesen wurden.

Im Hangenden der Vallendar-Schotter folgen Sedimente, die auf der geologischen Karte vorläufig als tieferer Teil der Neuwied-Gruppe („Klebsand-Serie“) zusammengefasst werden. Die Schichtenfolge beginnt mit bis zu 38 m mächtigen hell- bis weißgrauen Sanden, tonigen Sanden (Klebsand) und sandigen Tonen mit meist typischer hellbrauner oder rötlicher Fleckung. Von Bubenheim bei Koblenz sind aus einer Bohrung auch kohlige Einschaltungen bekannt, und die tonig-sandigen Ablagerungen weisen hier eher bräunlich graue Farbtöne auf. An der Basis der „Klebsand-Serie“ ist fast immer eine wenige Dezimeter mächtige Kieslage nachweisbar, die zeitlich den Vallendar-Schottern entsprechen könnte.

Nach oben schließen sich bräunlich graue bis dunkelgraue oder auch olivgraue bis grünlich blaue Tone und Tonmergel an, in die mehrere Braunkohlenflöze eingelagert sind. Selten finden sich geringmächtige sandige Einschaltungen. Die größte bekannte Mächtigkeit der „Braunkohlenton-Serie“ beträgt südöstlich Mülheim im Bereich der Rübenacher Höhe ca. 42 m. Palynologische Untersuchungen ergeben ebenfalls ein mittel- bis obereozänes Alter (HOTTENROTT schriftl. Mitt. 1994).

Überlagert wird die „Braunkohlenton-Serie“ von olivgrünen bis olivgrauen Tonen und Tonmergeln, in die einzelne Kalksteinbänke sowie auch sandige Lagen eingeschaltet sein können. Der Fauneninhalt weist die Schichten als limnisch-brackische Bildungen des frühen Unteroligozän aus. Nach KADOLSKY (1975) können sie zur Maifeld-Formation (entspricht den Maifeld-Schichten) zusammengefasst werden. Am Kärlicher Berg erreichen sie eine Mächtigkeit von > 50 m, in der Forschungsbohrung Rübenacher Höhe eine Gesamtmächtigkeit von ca. 40 m. Die Maifeld-Formation bildet den höheren Teil der Neuwied-Gruppe.

Sedimente der Arenberg-Formation sind vor allem im rechtsrheinischen Teil der TK 25 Blatt 5611 Koblenz verbreitet. Sie bestehen aus einer Wechsellagerung von Kiesen, Sanden und bunten Tonen. Besonders im Basisbereich treten häufig Bänke von Süßwasserquarzit auf.

Auf der Horchheimer Höhe wird die Arenberg-Formation von frühunteroligozänen Sedimenten der Maifeld-Formation unterlagert und Ablagerungen der oberoligozänen Kärlich-Formation bilden stellenweise das Hangende. Altersmäßig ist die bis etwa 30 m mächtige Arenberg-Formation deshalb wahrscheinlich dem späten Unteroligozän zuzuordnen. Vereinzelt Funde von kleinen agglutinierten Foraminiferen deuten darauf hin, dass es sich um überwiegend fluviomarine Ablagerungen der Rupel-Transgression handeln könnte.

Nächstjüngeres Schichtglied ist die Kärlich-Formation. Diese Abfolge beginnt mit einem ca. 1,5 m mächtigen Grünton, der bisher nur vom Kärlicher Berg bekannt ist. Er wird als verwitterter Tuff (Bentonit) gedeutet. Darüber folgen graue bis dunkelgraue blautichige Feuerfesttone, die als Kärlicher Blauton von wirtschaftlicher Bedeutung sind. Abbaustellen finden sich am Kärlicher Berg, im Bereich der Rübenacher Höhe, auf der Dreitonnenkuppe bei Lonning und auf der Horchheimer Höhe. Die Mächtigkeit des Kärlicher Blautons schwankt zwischen 4 m und 8 m. Nicht selten sind kohlige oder verkieselte Holzreste eingelagert.

Überlagert wird der Blauton von trachytischen Tuffen, die nach oben in den sogenannten „Knubb“ übergehen. Dieser besteht am Kärlicher Berg aus tuffitischen Tonen im tieferen Teil und fluviatilen „Knubbsanden“ im höheren Teil. Datierbare Säugetier-Reste belegen ein ober-oligozänes Alter (HEIZMANN & MÖRS 1994) der Ablagerungen. Trachyt-Tuffe und Knubb zusammen besitzen am Kärlicher Berg eine Mächtigkeit von 7,4 m und sind in der Forschungsbohrung Rübenacher Höhe mit ca. 4 m Mächtigkeit nachzuweisen. Im Bereich der Tongrube auf der Horchheimer Höhe wird der Blauton von einer etwa 5 m mächtigen Abfolge von Tuffen und tuffitischen Tonen überlagert, die mit „Knubb“ und Trachyttuff von Kärlich parallelisiert werden können.

Vermutlich im Unterpliozän kamen in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes gut gerundete Quarzkiese zur Ablagerung, die allgemein als Kieseloolithschotter bezeichnet werden. Oftmals ist eine sandige, etwas lehmige, rötlich braune Matrix vorhanden und die ursprünglich rein weißen Milchquarze sind äußerlich durch hellbraune Eisenbeläge verfärbt. Das namensgebende Leitgeröll, ein verkieselter oolithischer Kalkstein, tritt nur sehr untergeordnet auf.

### 2.2.1. Tektonische Übersicht

Anhand von Bohrdaten, ergänzt durch geophysikalische Untersuchungen, wurde versucht, den Aufbau des tektonischen Schollenmosaiks für den zentralen Teil des Neuwieder Beckens zu erfassen. Bezugshorizont ist die Höhenlage der Eozänbasis (Abb. 2). Dargestellt sind lediglich die Großschollen mit ihren unterschiedlichen Absenkungsbeträgen.

Es muss davon ausgegangen werden, dass diese Großschollen nochmals in weitere Teilschollen zu untergliedern sind. Um dies zu bestätigen, fehlen derzeit noch eindeutige Bohrdaten. Der vor allem in den Nordwest-Südost ausgerichteten hydrogeologischen Schnitten A – A` und B – B` erkennbare unruhige Verlauf der Quartärbasis deutet jedenfalls auf weitere tektonische Bewegungen hin, da sich derartig sprunghafte Niveauveränderungen der Quartärbasis nicht durch die erosive Tätigkeit des Rheins erklären lassen.

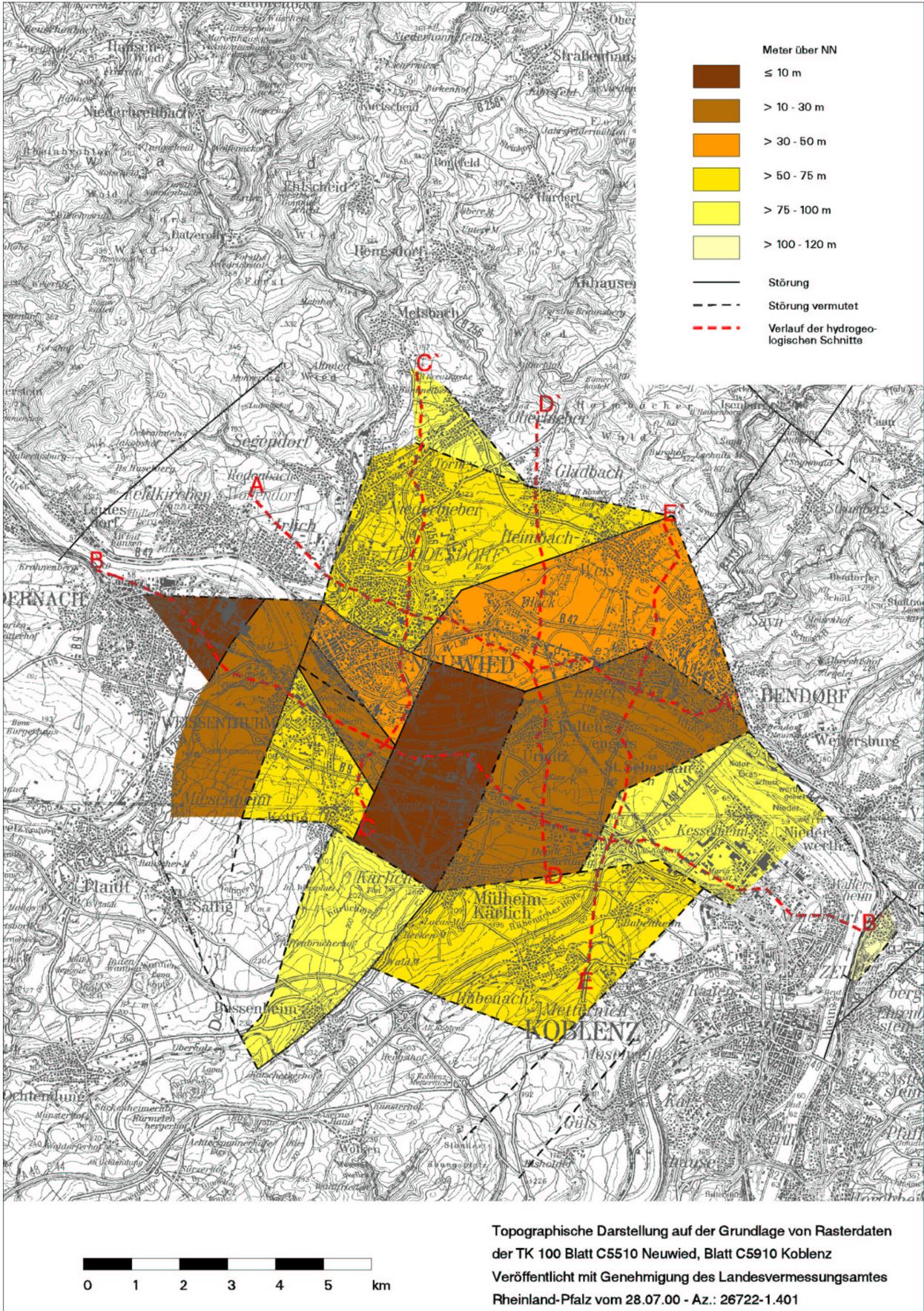


Abb. 2: Karte der Höhenlage der eozänen Tertiärbasis.

Die zwei am stärksten abgesunkenen Bereiche liegen im Gebiet zwischen Neuwied – Kärlich – Urmitz und Kettig sowie bei Andernach. Sie werden getrennt von einer NNE-SSW streichenden, in sich nochmals untergliederten horstartigen Struktur (Weissenthurmer Horst).

Nach Süden, Norden und Osten steigt die Höhenlage der Tertiärbasis treppenartig an. Für den westlichen bis südwestlichen Bereich des Neuwieder Beckens liegt eine nur unzureichende Datenbasis vor, so dass hier keine deutliche Begrenzung erkennbar wird.

Der heutige Rheinverlauf ist durch das känozoisch angelegte Schollenmuster vorgezeichnet.

In der unmittelbaren Umgebung und im Untergrund des Elektrizitätswerkes (KKW) von Mülheim-Kärlich befindet sich der Explosionstrichter eines quartären Tuffschlotes. Das bei der Eruption entstandene Massendefizit wurde in der Folgezeit durch kleinräumiges staffelartiges Nachbrechen des Kraterrandes zum Kraterzentrum hin ausgeglichen (Kraterrandverwerfungen). Die lokalen vulkanotektonischen Ereignisse dieses Gebietes werden in Abb. 2 nicht dargestellt.

### 2.3. Quartärgeologische Entwicklung

Im jüngsten Pliozän, etwa an der Wende von der Gauss- zur Matuyama-Epoche (vor 2,6 Mill. Jahren) vergrößerte sich das Einzugsgebiet des Rheins in Richtung Alpenvorland. Im Schwermineralspektrum der jüngstpliozänen Rheinsedimente vollzog sich ein Wechsel eines stabilen Spektrums zugunsten eines Spektrums mit weniger stabilen Mineralen, wie Titanit, Epidot und Hornblende. Das Niederrheingebiet verblieb noch als sumpfiges Delta (BOENIGK 1978), wenn auch die Küste am Ende des Pliozän im Nordwesten schon über die niederländische Grenze zurückgewichen war.

Auch im Pleistozän setzte sich die Hebung des Schiefergebirges und die Einsenkung des Neuwieder Beckens fort. Während am Niederrhein Senkung und Sedimentation vorherrschten, bildeten sich entlang des Rheins und seiner großen Nebenflüsse Terrassentreppe (Abb. 3). Nach Ablagerung der Hauptterrassensedimente kündigte sich im Mittelpleistozän ein Umbruch im Flussgeschehen des Rheins an (SEMMELE 1999), gekoppelt an eine Verstärkung der tektonischen Hebung. Die Tiefenerosion des Flusses dominierte und formte ein Engtal, in dem die Mittelterrassen häufig nur an Gleithängen oder als schmale Leisten erhalten blieben (BIBUS 1980). Die Niederterrassen als Bildungen der letzten Kaltzeit begleiten den heutigen Flussverlauf. In sie hat sich der Rhein seit Beginn des Holozän nur geringfügig eingeschnitten und überwiegend feinkörnige Auensedimente akkumuliert.

Die quartäre Terrassenentwicklung des Mittelheingebietes wird im Senkungsgebiet des Neuwieder Beckens tektonisch überprägt. Zwar blieb die Terrassentreppe in ihrer Abfolge erhalten, jedoch sind die Terrassen gegenüber dem unteren und oberen Mittelheintal tektonisch abgesenkt. Zwischen Neuwied und Bendorf ist die Terrassenabfolge vom Holozän über die Niederterrassen zur Mittelterrasse erschlossen. Nach SCHIRMER (1990a, S. 27-28) hinterließ der Rhein im Neuwieder Becken während der Würm- bzw. Weichsel-Eiszeit drei Niederterrassen (NT1 bis NT3).

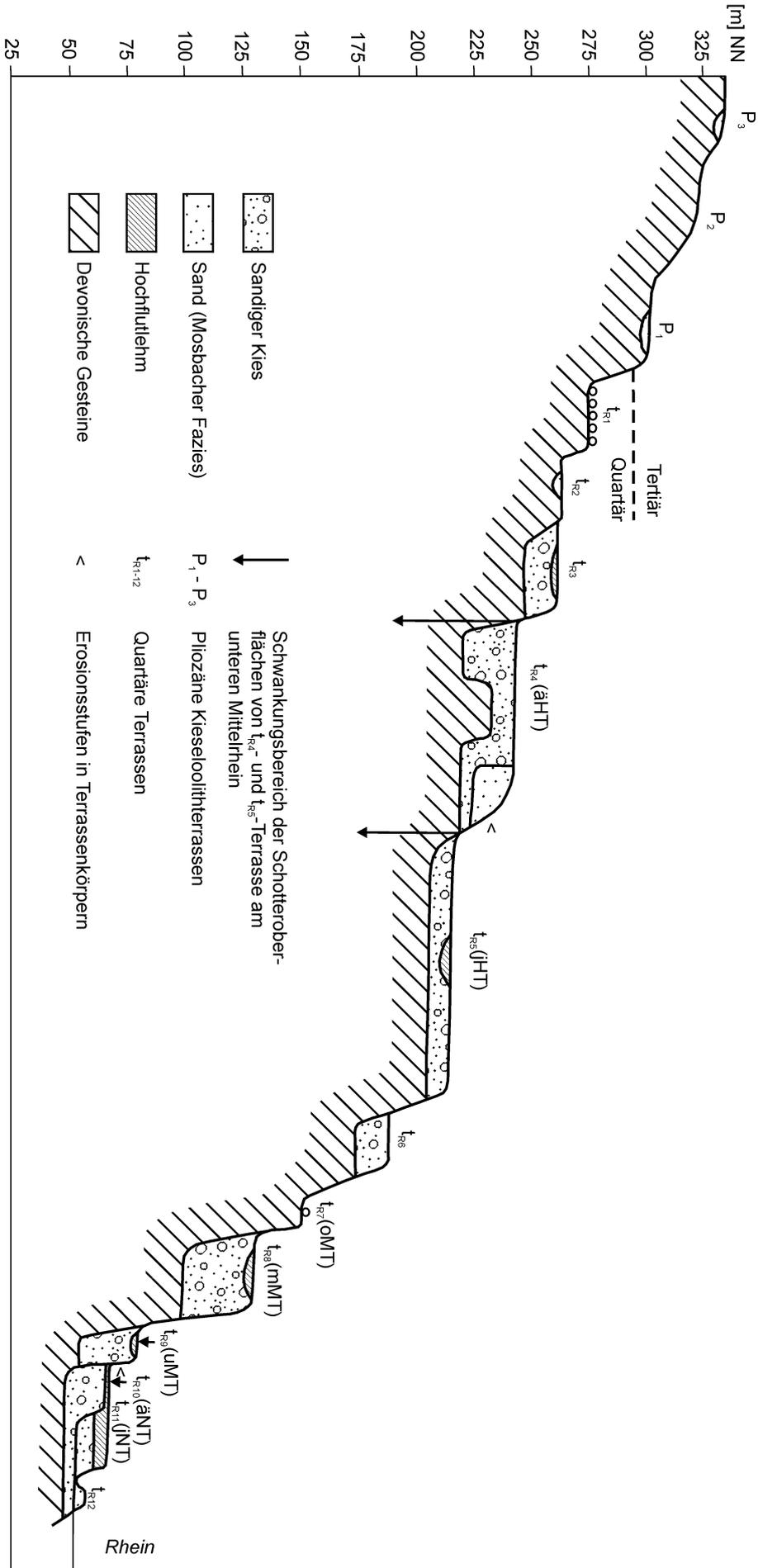


Abb. 3: Terrassenschema am unteren Mittelrhein (Bibus 1980, S. 249).

Altersangaben für die lößfreie NT1 des Rheins fehlen bisher. Die NT2 war präböllingzeitlich abgeschlossen. NT1 und NT2 werden von Bims überlagert, während die Schotter der NT3 bereits Laacher Bims-Gerölle enthalten. Die NT3 ist kaltzeitlicher Entstehung und entsprechend als jungdryaszeitlich einzustufen.

In der ausgehenden Jüngeren Dryas begann sich der Rhein einzuschneiden und hat dabei ein breites Hochflutbett geschaffen, das mehrere Meter in die Niederterrasse eingesenkt ist. Die Schotter der Niederterrasse wurden von sandigen Hochflutlehm überdeckt. Auch im Holozän traten Hochwasserperioden auf, die den Fluss zu kräftigem Mäandrieren und zur Sedimentumlagerung stimulierten (SCHIRMER 1990b); Auensedimente (Sande und Lehme) überlagern die Schotter.

Während der Kaltzeiten des Mittel- und Jungpleistozän wurde auch das Neuwieder Becken von Lößeinwehungen überdeckt. Auf den Mittel- und Hauptterrassen finden sich mächtige Quartärprofile, die durch Paläoböden und Tephren hochauflösend gegliedert werden können. In ihnen zeigt sich der wechselvolle Verlauf der klimatischen und vulkanologischen Entwicklung des Neuwieder Beckens während des Pleistozän am vollständigsten. Das Profil Kärlich südlich von Mülheim-Kärlich kann als eines der best untersuchtesten Quartärprofile am Mittelrhein bezeichnet werden (zuletzt BOENIGK & FRECHEN 1998). Zum ausgehenden Glazial wurden verstärkt Sandlöss akkumuliert, kleinräumig auch Flugsande.

Abspülung, Umlagerung durch Solifluktion (Fließerden), gravitative Massenbewegungen (Rutschungen, Blockschuttbildungen) führten in wärmeren Phasen der Kaltzeiten und in Warmzeiten zu deutlichen Veränderungen des Reliefs. Die Mächtigkeit dieser Sedimente schwankt zwischen Dezimetern und mehreren Metern in Abhängigkeit von ihrer Reliefposition.

### 2.3.1. Quartärer Vulkanismus der Osteifel

Im Quartär des Mittelrheinraumes spielt der pleistozäne Vulkanismus des Osteifel-Vulkanfeldes eine herausragende Rolle. Neben der Vielzahl von Vulkankegeln und Lavaströmen, die sich aus basaltischen Magmen gebildet haben, sind vor allem Aschen- und Bimsablagerungen phonolithischer Magmen verbreitet, wobei nach MEYER (1994) die Aufstiegswege nicht an die Störungen gebunden sind. Die Aschenlagen der Osteifelvulkane bilden in vielen Profilen des Mittelrheinraumes sehr gute chronostratigraphische Leithorizonte.

Die vulkanische Entwicklung der Osteifel lässt sich nach BOGAARD v. d. & SCHMINCKE (1990) in 6 Phasen gliedern:

- Phase 1: Aschenschichten der ältesten Phase (älter als ca. 650 000 Jahre)
- Phase 2: Nephelin-phonolithische Bimseruptionen und nephelinitische Basalteruptionen (vor ca. 620 000 - 450 000 Jahren). Entsprechende Ablagerungen finden sich in

den Liegendschichten nephelinitischer Schlackenkegel im nördlichen Osteifel-Vulkanfeld.

- Phase 3: Leuzit-phonolithische Bimseruptionen und Dom-Extrusionen und leuzitische Basalteruptionen (vor ca. 430 000 - 380 000 Jahren): "Riedener Phase".
- Phase 4: Phonolithisch-trachytische Bimseruptionen und basanitische Basalteruptionen (vor 215 000 - 190 000 Jahren). Ab Phase 4 verlagerte sich die Aktivität in den östlichen Bereich des Vulkanfeldes. In diese Phase fällt die erste große Bimseruption des Wehrer Vulkans.
- Phase 5: Plagioklas-phonolithische Bimseruptionen und tephritische Basalteruptionen (vor ca. 150 000 - 115 000 Jahren). Zweite große Eruption des Wehrer Vulkans.
- Phase 6: Subrezente Phase (seit 13 000 Jahren). Die bislang letzte Aktivitätsphase des Osteifel-Vulkanfeldes begann, nach einer Pause von ca. 100 000 Jahren, mit der Eruption des Laacher See-Vulkans. Die durch eine plagioklas-phonolithische Zusammensetzung charakterisierte Laacher See-Tephra als Leithorizont des Alleröd-Interstadials bedeckt flächenhaft das Neuwieder Becken und wird als bedeutender Rohstoff für die Bauindustrie heute großflächig abgebaut. In der Nähe des Vulkans erreicht die Tephra eine Gesamtmächtigkeit von mehr als 50 m. Sie nimmt nach Osten hin ab und beträgt im östlichen Teil des Neuwieder Beckens noch 2 m (Abb. 4). Die Pässe zwischen den älteren Schlackenkegeln wurden vor allem von Glutlawinen als Transportwege benutzt, die u. a. das Nettetal mit pyroklastischen Strömen partiell auffüllten. Sie bilden den inzwischen weitgehend abgebauten Trass.

Für den zentralen Bereich des Neuwieder Beckens sind lediglich die mächtigen „fallout“-Ablagerungen der Phase 6 von Bedeutung.

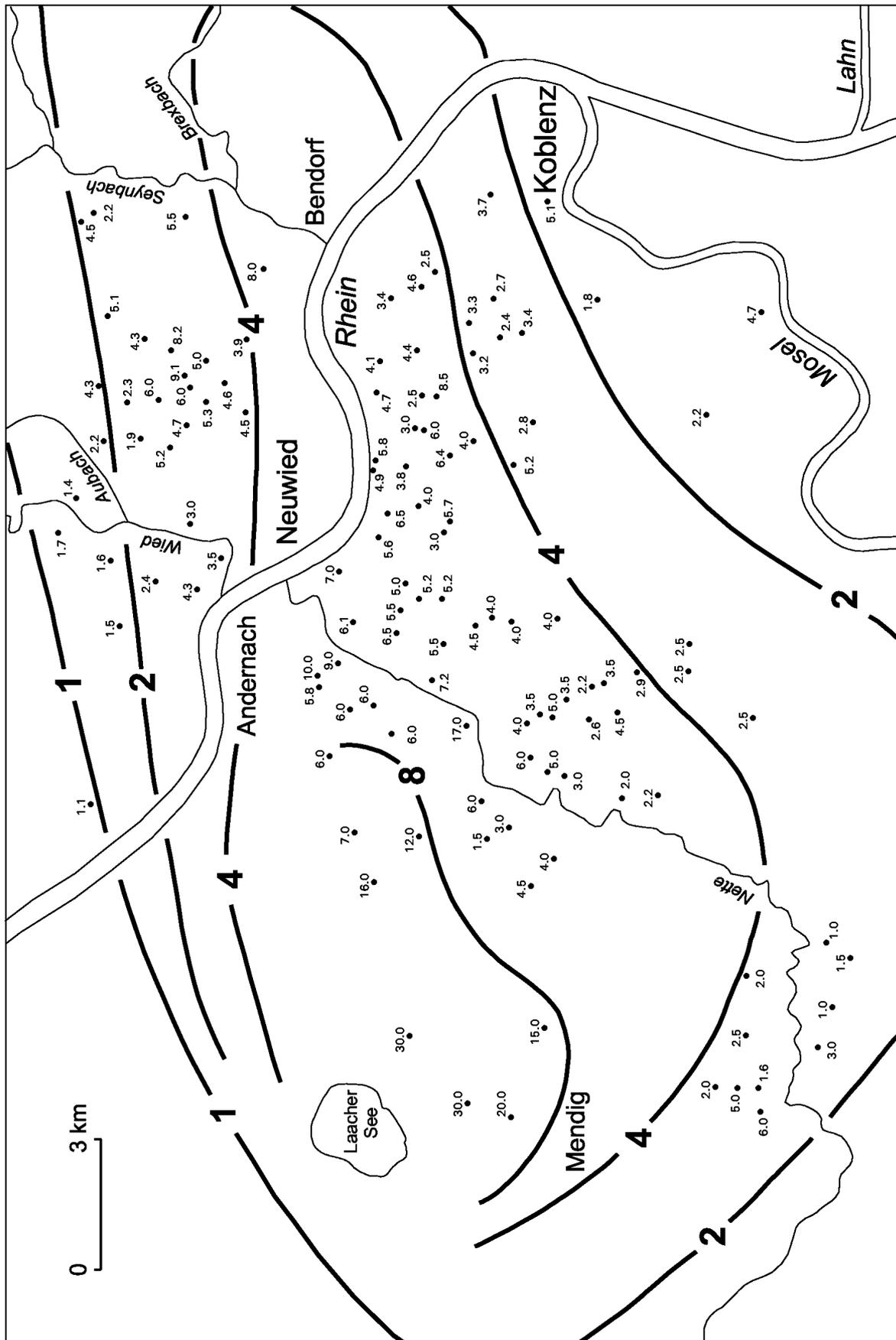


Abb. 4: Isopachen der Mächtigkeit der Laacher See-Tephra nach BOGAARD v.d. & SCHMINCKE (1984); Mächtigkeit der Deckschicht über der Allerödoberfläche an den Aufnahmeorten nach IKINGER (1995); Mächtigkeitsangaben in Meter.

### 2.3.2. Quartärmorphologie

Die quartärmorphologische Karte des Neuwieder Beckens (Karte 2) stellt die geologische Situation unter dem Bims des Laacher See-Vulkans dar. Auf der Basis der Kartengrundlagen von IKINGER (1995, 1996) sowie Schichtenverzeichnissen von Bohrungen aus dem Archiv des Geologischen Landesamtes beschreibt sie die quartärgeologischen Verhältnisse in Kombination mit morphologischen Elementen. Dadurch werden hydrogeologisch relevante Strukturen erkennbar, die in der geologischen Übersichtskarte 1 : 50 000 (Karte 1) wegen Bimsüberdeckung, Abgrabungen und Aufschüttungen verborgen bleiben. Während devonische und tertiäre Einheiten ungegliedert dargestellt sind, werden in der quartärmorphologischen Karte pleistozäne und holozäne Sedimente stärker differenziert.

Insbesondere die Paläorinnen des Rheins, die auf den ehemaligen Verlauf von Fließgewässern hinweisen, sind in der quartärmorphologischen Karte hervorgehoben. Zwischen Urmitz und Kesselheim wie auch zwischen Neuwied und Engers sind spätglaziale und holozäne Rinnen ausgebildet. Sie können von älteren Paläorinnen unterschieden werden, die auf der Niederterrasse 2 (NT2) und als Nahrinnen zwischen der NT2 und NT1 sowie zwischen Niederterrasse und Mittelterrasse (MT) verlaufen.

Nach den Ergebnissen von IKINGER (1995, 1996) erstreckt sich eine markante Paläorinne westlich von Kesselheim bis südöstlich von Weissenthurm. Ihre mäanderartigen Ausbuchtungen sind durch das Abdrängen der von Süden schüttenden Bäche zu erklären. Diese zwischen Nette- und Moseltal ausgebildeten Gerinne breiten ihre Schwemmfächer auf die Niederterrasse zwischen Kettig und Kesselheim aus. Ähnlich verhalten sich die zwischen Wied- und Saynbachtal verlaufenden kleinen Bäche aus dem Westerwald, die keine direkte Anbindung an den Rhein haben, sondern ebenfalls Schwemmfächer auf den Terrassenverebnungen ausgebildet haben.

Die Fließerden sind hinsichtlich ihrer lithologischen Zusammensetzung differenziert. In Abhängigkeit vom Liefergebiet werden Fließerden aus Kies und Sand pleistozäner Terrassen, basaltischen Gesteinsbruchstücken, Ton und Sand tertiärer Sedimente sowie Ton- und Siltschieferbruchstücken unterschieden.

Die dargestellten morphologischen Elemente wie Geländestufen, Sporne oder Nischen verdeutlichen den Zusammenhang zwischen Paläorelief und geologischer Entwicklung. Die von Rinnen begrenzten Terrassenkörper sind ebenso wie die Terrassenkanten markant hervorgehoben.

### 2.3.3. Höhenlage der Quartärbasis

Die Vielzahl und die Verteilung von Bohrungen, die im Bereich der Niederterrassen des Neuwieder Beckens den Kies-Schotterkörper durchteufen, erlauben eine flächenhafte Darstellung der Höhenlage der Quartärbasis bezogen auf Meter NN (Karte 3). Ein spezielles Problem ergab sich durch das häufige Fehlen von Angaben über die absolute Höhe des jeweiligen Bohran-

satzpunktes in den Schichtenverzeichnissen. Eine umfassende Recherche, die Überprüfung im Gelände sowie der Abgleich mit dem digitalen Höhenmodell bildeten die Grundlage für eine zuverlässige Datenbasis. Schichtenverzeichnisse von Bohrungen mit nicht eindeutig bestimm- baren Höhen blieben unberücksichtigt. Die rechnergestützte Interpolation wurde auf der Basis der geologischen Kartierung und unter Berücksichtigung des Paläoreliefs (Karte 2) modifiziert.

Die Quartärbasis wurde zu Beginn der letzten Kaltzeit durch Einschneiden des Rheins in den devonischen und tertiären Untergrund, der sich aus intensiv verwitterten devonischen Tonschie- fern und tertiären Tonen zusammensetzt, tiefergelegt. Niedrige Durchschnittstemperaturen und geringe Niederschlagsmengen führten in der Folge zu einer Überfrachtung des Flusses durch das mitgeführte Sediment. In einem „braided river“-System wurden Kiese und Sande in großer Mächtigkeit abgelagert. Diese Akkumulation erfolgte mehrphasig, wie die drei Unterstufen der Niederterrasse (NT1-NT3) belegen.

Die Basis der Niederterrasse steigt zu den umrahmenden Höhen hin an. Die Basis älterer Terrassen (Mittel- und Hauptterrassen) liegt höher, ein Indiz dafür, dass die Erosion des Rheins gegenüber der tektonischen Absenkung in diesen Teilen des Neuwieder Beckens dominierte.

Aus Karte 3 wird ersichtlich, dass die Basis im Bereich der Niederterrassen als eine auffällig stark strukturierte und in manchen Abschnitten sehr unruhig ausgebildete Fläche erscheint. Markant heben sich Rinnen hervor, die sich in den präquartären Untergrund eingeschnitten haben. Dabei sinkt die Quartärbasis auf  $< 40$  m NN ab. Höhenunterschiede der Basis von  $> 10$  m auf einer Distanz von  $< 500$  m sind durch flussmorphologische Genese wie Rinnen- bildung oder Auskolkung nicht erklärbar. Beobachtungen in Aufschlüssen der Mittel- und Haupt- terrassen zeigen, dass sich Rinnen, bei annähernd horizontaler Lage der Terrassenbasis, nur wenige Meter in den Untergrund einschneiden.

Auffällig ist, dass sich die tiefsten Rinnen, deren Verlauf sich am heutigen Rhein orientiert, nicht talabwärts fortsetzen, sondern ansteigen oder von einer Schwelle begrenzt werden. Diese Schwellen sind, wie die Beispiele östlich von Andernach, bei Neuwied und nördlich von Engers zeigen, Nordost-Südwest orientiert. Ihre Ausrichtung entspricht damit sowohl dem heutigen Ver- lauf der kleineren Bäche (Karte 2) wie auch dem Verlauf der Störungen, die auf der Grundlage der unterschiedlichen Höhenlage der Eozänbasis (Abb. 2) entwickelt wurden.

Es ist daher wahrscheinlich, dass die Höhenunterschiede in der Lage der Quartärbasis des Neuwieder Beckens neben flussmorphologischer Prägung auch auf tektonische Bewegungen jungquartären Alters zurückzuführen sind. Hinweise auf eine rezente Tektonik lassen sich aus den Untersuchungsergebnissen nicht ableiten.

### 3. Geophysikalische Untersuchungen

Mit Hilfe von gleichstromelektrischen, elektromagnetischen sowie reflexions- und refraktionsseismischen Messungen sollte – ergänzend zu den Bohrungen – sowohl die Auflagerungsfläche des quartären Deckgebirges auf die tertiären und devonischen Sedimente als auch die Verbreitung der grobklastischen Vallendar-Schotter unter der tertiären Ton-Schluff-Abfolge ermittelt werden. Die bodenmagnetischen Untersuchungen hatten das Ziel, eventuell durch tertiäre bzw. quartäre Sedimente verhüllte Vulkanite im tieferen Untergrund zu lokalisieren. Die Messungen wie auch die Auswertung wurden in den Jahren von 1991 bis 1995 durch das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung – Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA) – vorgenommen.

#### 3.1. Geoelektrische Tiefensondierungen

Mit Hilfe der geoelektrischen Tiefensondierungen (GTS, Profillinien in Abb. 5, Profile in GRINAT 1993a) sollte zum einen die Basis des quartären Grundwasserleiters erkundet werden, zum anderen das fluviatile Rinnensystem der grundwasserleitenden Vallendar-Schichten unter den tertiären Tonen kartiert werden.

Aus dem Vergleich mit Bohrprofilen hat sich jedoch gezeigt, dass die Methode nicht immer zuverlässige Daten liefert. Dies liegt vor allem daran, dass die Mächtigkeiten der Vallendar-Schotter im Vergleich zur Überdeckung häufig zu gering sind, und sich zudem durch Schluff-Ton-Beimengungen von den unterlagernden, z. T. stark zersetzten devonischen Schiefer-Sandsteinabfolgen in der elektrischen Leitfähigkeit nicht deutlich unterscheiden.

#### 3.2. Elektromagnetik

Anforderung an die elektromagnetischen Tiefensondierungen (EM) war die Erkundung sowohl der Basis des quartären Grundwasserleiters als auch der Tiefenlage und Verbreitung der Vallendar-Schotter. Die Messungen in den Jahren 1991/1992 erfolgten im selben Gebiet wie die zuvor durchgeführten geoelektrischen Tiefensondierungen (Abb. 5).

Sichere Ergebnisse liefert die EM-Methode nur für die Oberkante eines guten elektrischen Leiters. So zeigt sich nach GRINAT (1993b) im EM-Profil 5401 östlich von Neuwied (Abb. 5), dass die Oberkante des niederohmigen Komplexes gut übereinstimmt mit der Tertiär-/ Quartär-Grenze. Die Basis des niederohmigen Komplexes erfasst möglicherweise die Grenze von tonig-schluffigen zu sandigen Schichten. Aufgrund des inhomogenen Aufbaus können die im Liegenden anstehenden, hochohmigen Vallendar-Schotter mit dieser Methode nicht mehr aufgelöst werden. Die ergänzenden Messungen im Gebiet südwestlich Heimbach-Weis aus dem Jahr 1995 (GRINAT schriftl. Mitt. 1995) ergaben, dass hier kein guter elektrischer Leiter ( $< 20 \Omega m$ ) nachzuweisen ist. In diesem Bereich liegt das Quartär direkt dem Devon auf (Karte 7, Schnitte C – C` und D – D`).

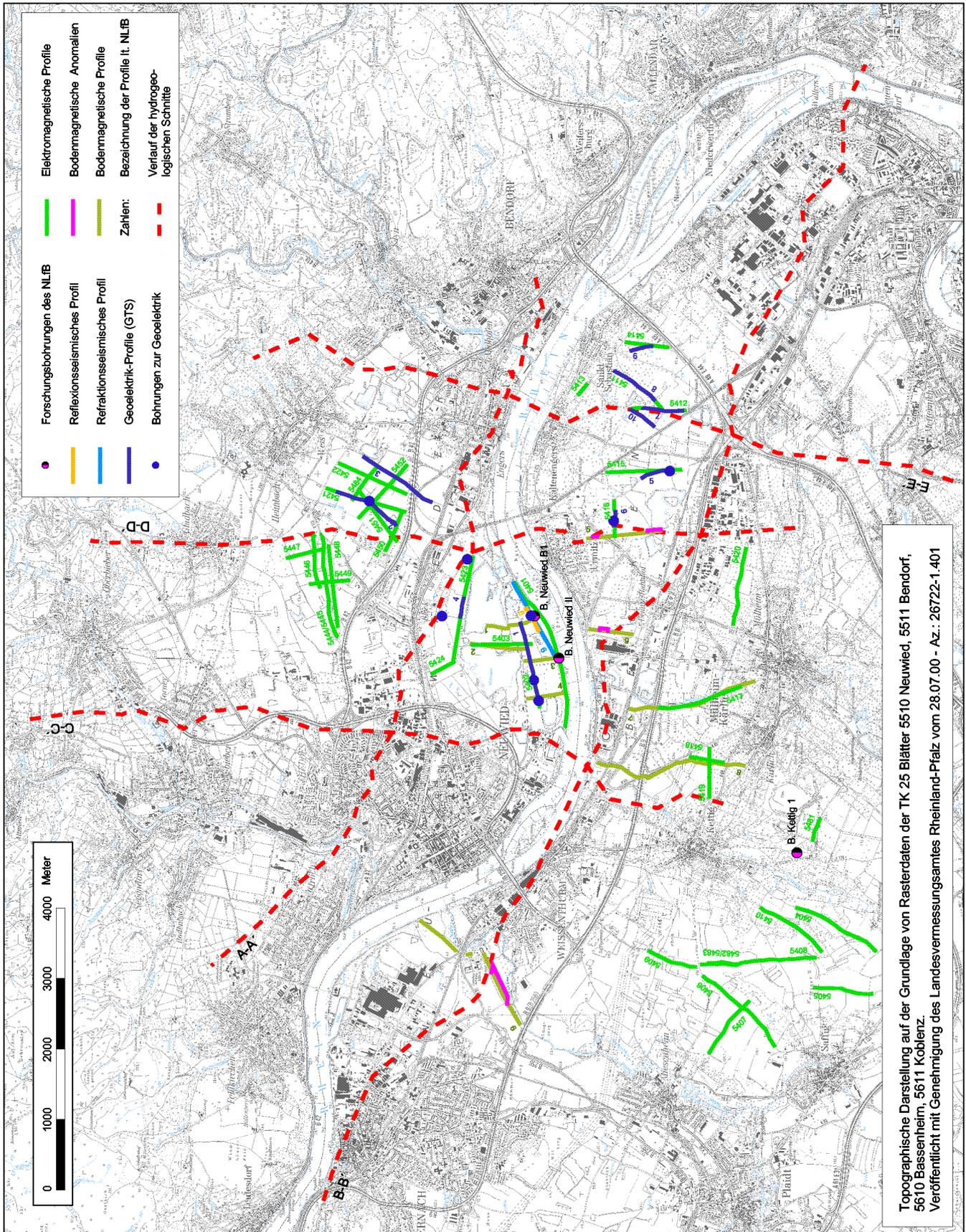


Abb. 5: Lage der Profilinien der geophysikalischen Untersuchungen.

### 3.3. Refraktionsseismik / Reflexionsseismik

Die seismischen Messungen (DEVAY 1994a, b) sollten Aufschluss geben über die Tiefenlage der Vallendar-Schotter bzw. den Top des devonischen Grundgebirges.

Der im Bereich der Forschungsbohrung Neuwied B 1 ausgewertete Refraktionshorizont (Profilinie in Abb. 5, Profil in DEVAY 1994a) ist jedoch nicht dem Top des Devon, sondern der Basis der stark wassergesättigten devonischen Verwitterungszone zuzuordnen. Aufgrund dieser Problematik wurden die seismischen Messungen eingestellt.

### 3.4. Bodenmagnetik

Die bodenmagnetischen Messungen (PUCHER 1993) wurden mit dem Ziel durchgeführt, mögliche vulkanische Strukturen im tieferen Untergrund zu lokalisieren.

Dieses stellte sich wegen der starken anthropogenen Überprägung (Bauwerke, technische Einrichtungen) als schwierig heraus. Nur aufgrund der sehr schwachen Magnetisierung der Sedimente im Untersuchungsgebiet war überhaupt eine Aussage über lokale, magnetisch wirksame Strukturen möglich. Insgesamt ergaben sich in den neun Profilen vier Bereiche, in denen Hinweise auf magmatische Strukturen gefunden wurden (bodenmagnetische Anomalien in Abb. 5).

#### 4. Böden

Die Bodenkarte 1 : 25 000 (Karte 4) bildet mit ihren Angaben über Bodenart, Bodenartenschichtung und Schichtmächtigkeiten die Datenbasis für die flächenbezogene Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (Kap. 5.5.). Sie liefert außerdem wichtige Hinweise zu Grundwasserständen, die im Verbreitungsgebiet grundwassernaher Böden Aussagen über das Ausmaß des kapillaren Aufstiegs in den Wurzelraum ermöglichen. Diese Daten werden u. a. benötigt für

- die Berechnung der Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag,
- die Beurteilung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung (Teilaspekt Boden),
- die Bewertung der natürlichen Standortverhältnisse im Hinblick auf die Nitratbelastung des Grundwassers.

Die Bodenkarte des Untersuchungsgebietes basiert auf Bodenkartierungen, die im Rahmen der Bodenkundlichen Landesaufnahme im Auftrag des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz in den Jahren 1991 bis 1997 durchgeführt wurden.

Die auf der Bodenkarte flächenhaft dargestellten Bodeneinheiten werden in der Randlegende nach lithofaziellen und bodensystematischen Kriterien gegliedert und erläutert. Sie stellen charakteristische Vergesellschaftungen von Bodenformen dar, die ihrerseits durch die Verknüpfung boden- und substratsystematischer Einheiten definiert sind. Die Beschreibung der Bodenformengesellschaften der einzelnen Legendeneinheiten, bei der jeweils nur die Bodenformen mit den größten Flächenanteilen (Leitbodenformen) berücksichtigt werden können, orientiert sich an der 4. Auflage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 1996) sowie der Systematik der Böden und der Bodenbildenden Substrate Deutschlands (ARBEITSKREIS FÜR BODENSYSTEMATIK DER DBG 1998). Die Dokumentation der bodenkundlichen Punkt- und Flächendaten erfolgte nach den Richtlinien des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz mit Hilfe von Formblättern und Datenschlüsseln. Zu jeder Profilbeschreibung existiert ein Formblatt und zu jeder Bodeneinheit (Bodenformengesellschaft) eine tabellarische datenbankgerechte Flächeninhaltsbeschreibung.

Die Datenbasis bilden Beschreibungen von durchschnittlich 70 Bodenprofilen pro Quadratkilometer, die anhand von Sondierungen oder natürlichen bzw. künstlichen Aufschlüssen bis zu einer Tiefe von 10 dm (im Bedarfsfall bis 20 dm) unter Geländeoberkante aufgenommen wurden. Hinzu kommen die bodenchemischen und -physikalischen Analysendaten von 60 ausgewählten Bodenprofilen, die zum Zweck ausführlicher Dokumentation und Probenahme aufgegeben wurden.

## 5. Hydrogeologie

### 5.1. Hydrogeologische Einheiten

Aufgrund des komplexen geologisch-tektonischen Aufbaus des Untersuchungsgebietes liegen bei den vorhandenen Locker- und Festgesteinen stark wechselnde Gebirgsdurchlässigkeiten vor.

#### 5.1.1. Schiefer-Sandstein-Wechselfolge des Unterdevon

Der devonische Grundwasserleiter tritt vorwiegend in der nordöstlichen und nordwestlichen Umrandung des Neuwieder Beckens zutage. In diesen stark gefalteten, z. T. überkippten und verschuppten geringdurchlässigen Schiefen und Sandsteinen des Unterdevon findet die Grundwasserspeicherung und -bewegung nur auf offenen Trennfugen (Klüfte, Störungen) statt. Die gewinnbaren Grundwassermengen sind relativ gering und reichen zumeist nur zur Deckung des örtlichen Bedarfs. Brunnen zur Trinkwassergewinnung befinden sich im Großbachtal nördlich Bendorf sowie bei Stromberg.

In den tektonisch tief abgesunkenen Schollen des Beckeninneren bilden die stark verwitterten bis zersetzten Gesteine die Sohlenschicht der überlagernden Grundwasserleiter.

Im Gebiet des devonischen Grundgebirges gibt es eine Vielzahl von Quellen. Sie treten meist an der Basis von Hangschuttmassen oder Lößbedeckung über Grundgebirge bzw. an der Grenzfläche von Bims zu verlehmttem Hangschutt, Lößlehm und Grundgebirge auf. Die Schüttung der Quellen ist stark niederschlagsabhängig und liegt vorwiegend unter 1,0 l/s (Karte 5), da sie häufig aus kleinen Einzugsgebieten mit geringmächtiger Grundwasserüberdeckung gespeist werden.

#### 5.1.2. Kiese und Sande des Tertiär

##### 5.1.2.1. Vallendar-Schotter

Diese eozänen Sande und Kiese treten im Zentralbereich des Neuwieder Beckens nicht zutage. Sie wurden im Rahmen der Standorterkundung für das KKW Mülheim-Kärlich in größerer Mächtigkeit zwischen 6 m NN und -17 m NN erbohrt (Karte 6). Sie bestehen an der Basis vorwiegend aus groben Quarzkiesen und -geröllen, deren Korngrößen nach oben hin abnehmen. Zu den jüngeren tertiären Tonen schließen sie mit einer Schluff-Feinsand-Abfolge von 2 m bis mehr als 6 m Mächtigkeit ab (ROMBERG 1989).

Dieser, durch die tertiäre Tonabdeckung sehr gut gegenüber Oberflächeneinflüssen geschützte Grundwasserleiter wurde im Rahmen der vorliegenden Kartierung zusätzlich zu den geophysikalischen Untersuchungen (Kap. 3) mit Hilfe mehrerer Tiefbohrungen näher erkundet. Es zeigte sich jedoch, dass diese klastische Abfolge für eine nennenswerte Grundwasserentnahme aus folgenden Gründen nicht in Frage kommt:

- Es handelt sich um relativ schmale Rinnenfüllungen,
- die Beimengungen an schluffig-tonigem Material sind z. T. beträchtlich, so dass die Durchlässigkeiten bereichsweise stark herabgesetzt sind,
- der hydraulische Anschluss an andere oberflächennah ausstreichende Grundwasserleiter ist nicht bekannt; dadurch lässt sich die langfristig zur Verfügung stehende Grundwassermenge nicht bilanzieren,
- mit erhöhten Konzentrationen bestimmter natürlicher Wasserinhaltsstoffe (z. B. freies Kohlenstoffdioxid) ist zu rechnen, was die Nutzung als Trinkwasser zusätzlich einschränkt.

#### 5.1.2.2. Arenberg-Formation

Diese bis zu 30 m mächtige oligozäne Abfolge aus Quarzkiesen und -sanden sowie Tonen findet man lediglich in der östlichen Umrandung des Neuwieder Beckens. Sie ist wasserwirtschaftlich ohne Bedeutung.

#### 5.1.2.3. Kieseloolith-Schotter

Die pliozänen Quarzkiese und -sande erreichen Mächtigkeiten von bis zu 10 m. Sie kommen in größerer Verbreitung im südwestlichen Randbereich des Neuwieder Beckens vor. Aufgrund ihrer exponierten Höhenlage stellen sie lediglich räumlich eng begrenzte Quellstockwerke dar. Sie werden wasserwirtschaftlich nicht genutzt.

#### 5.1.3. Quartäre Vulkanite

Potentiell wasserdurchlässig und -speichernd sind die geklüfteten quartären Vulkanite. Es handelt sich entweder um räumlich eng begrenzte Lavaströme oder Schlackenkegel. Zur Trinkwassergewinnung werden diese Grundwasservorkommen nicht genutzt.

Die z. T. mächtigen Tephra-Ablagerungen des Laacher See-Vulkanismus weisen sehr hohe Wasserdurchlässigkeiten auf, die vergleichbar mit denen der quartären Niederterrassenkiese sind. Aufgrund der relativ großen inneren Oberflächen besitzen sie ein erhöhtes Rückhaltevermögen gegenüber Schadstoffen. Infolge des seit langem betriebenen intensiven Abbaues dieses Rohstoffes ist die Nutzung dieses auch sehr gering geschützten Porengrundwasserleiters wasserwirtschaftlich ohne Bedeutung. Dies gilt auch für die Schichtquellen im Ausstreichen der Bimstoffe.

#### 5.1.4. Kiese und Sande des Quartär

##### 5.1.4.1. Haupt- und Mittelterrassen

In Abhängigkeit des Feinkornanteiles und des Verwitterungsgrades bilden die Schotter der Haupt- und Mittelterrassen einen Porengrundwasserleiter mit mäßiger bis mittlerer Durchlässigkeit. Sie werden z. T. über Randzuflüsse gespeist.

Zum Teil tritt das Grundwasser in Quellen aus oder es fließt in Richtung des Beckeninneren über geringer durchlässige schluffig-sandige Sedimente in den Niederterrassen-Grundwasser-

körper. Aufgrund ihrer geringen wassererfüllten Mächtigkeit sowie ihrer Ausdehnung und Höhenlage stellen diese Terrassensedimente keinen zusammenhängenden Grundwasserleiter dar und spielen deshalb wasserwirtschaftlich nur eine untergeordnete Rolle.

#### 5.1.4.2. Niederterrassen

Die klastischen und grobklastischen Sedimente der Niederterrassen stellen das wichtigste Grundwasservorkommen im Untersuchungsgebiet dar und sind von überörtlicher Bedeutung für die Trinkwasserversorgung.

##### 5.1.4.2.1. Basis, Aufbau und Überdeckung des Niederterrassen-Grundwasserleiters

Das Liegende dieses Grundwasserleiters bilden die tertiären Sedimente bzw. die devonischen, häufig tiefgreifend verwitterten Schiefer und Sandsteine (Karten 6, 7). Diese sind im Vergleich zu den Schottern der Niederterrassen generell als sehr gering bis nahezu undurchlässig anzusehen, auch wenn es z. B. bei geklüfteten quarzitischen Einlagerungen in den devonischen Schiefen örtlich zu gewissen Wasserwegsamkeiten kommen kann (GIEBEL et al. 1990). Generell bildet die Grundwassersohlschicht eine unruhige Fläche mit Mulden und Rücken, die mit geringer Neigung zum Rhein hin einfällt.

Aufgrund der fluviatilen Sedimentation der einzelnen Schüttkörper ist der Niederterrassen-Grundwasserleiter sowohl vertikal als auch horizontal kleinräumig sehr inhomogen aufgebaut (Karten 6, 7). Er wurde vom Rhein und seinen Zuflüssen Mosel, Nette, Wied und Saynbach geschüttet, und besteht aus sandigen, teils steinigen und mit Blöcken durchsetzten Kiesen, in die vereinzelt dm- bis m-mächtige Sandlinsen eingeschaltet sind. Die Kiese liegen als Fein-, Mittel- und Grobkiese vor. Zur Basis hin ist der Grobkornanteil häufig am größten. Der Anteil feinkörnigen Materials erhöht sich im Bereich der Nahtrinnensedimente, welche Ablagerungen in Altarmen des Rheins darstellen. Die Gesamtmächtigkeit des Terrassenkörpers liegt durchschnittlich zwischen 10 m und 20 m. Generell ist eine Mächtigkeitsabnahme der Schotter vom Rhein zum Beckenrand hin zu beobachten.

Eine direkte Verbindung zu den höher gelegenen Kiesen und Sanden der Mittelterrassen ist nur bereichsweise gegeben.

Über der Älteren Niederterrasse folgen stellenweise die schluffigen Sande und tonig-sandigen Schluffe der Hochflutsedimente. Zudem sind die fluviatilen Sedimente weitflächig von der bis zu mehreren Metern mächtigen Bims-Tephra des Lacher See-Vulkanismus überschüttet, die heute jedoch in weiten Bereichen abgebaut ist.

Die jüngeren holozänen Niederterrassensedimente enthalten diese bereits umgelagerte Bims-Tephra. Im Hangenden finden sich bereichsweise sandig-schluffige Hochflutsedimente.

Weitere holozäne Bildungen sind die Auensande und -lehme, die sandig bis tonigen Rinnensedimente sowie die Abschwemm-Massen.

## 5.2. Hydraulische Kennwerte

Zur Charakterisierung des Grundwasserleiters dienen der Durchlässigkeitsbeiwert  $k_f$  (m/s), die Transmissivität  $T$  ( $m^2/s$ ) und der Speicherkoeffizient  $S$ . Im Niederterrassenaquifer des Neuwieder Beckens liegen in der Regel ungespannte Verhältnisse vor, so dass Speicherkoeffizienten von 0,1 bis 0,25 (nutzbares Porenvolumen) auftreten. In Bereichen teilgespannter bzw. gespannter Verhältnisse können die Speicherkoeffizienten um mehrere Größenordnungen geringer sein.

Zur Ermittlung der Durchlässigkeitsbeiwerte sowie der Transmissivitäten konnten 95 zuverlässig erscheinende Daten von Pumpversuchen oder Kurzpumpversuchen in bestehenden Grundwassermessstellen und Wasserversorgungsbrunnen ausgewertet werden.

Die Auswertung der Pumpversuche erfolgte entweder nach dem Verfahren von THEIS (1935) oder bei instationären Bedingungen mit Hilfe der Korrekturformel nach KOZENY (1933). Konnten diese Berechnungsverfahren nicht angewendet werden, wurde der einfache Ansatz nach LOGAN (1964) benutzt. Der Vergleich mit den beiden anderen Methoden zeigt, dass sich meist leicht höhere Transmissivitäten ergeben.

An Grundwassermessstellen, für die keine Pumpversuche vorliegen, wurde die Transmissivität mit dem Einschwingverfahren nach KRAUSS (1977) ermittelt, bzw. wurden vorhandene Ergebnisse übernommen (MÜLLER 1984). Allerdings sind bei diesem Verfahren nur die Messstellen geeignet, bei denen der Wasserspiegel deutlich oberhalb der Filterstrecke liegt. Bei unvollkommenem Ausbau wurden die gemessenen Transmissivitätswerte durch die Filterlänge dividiert und der so errechnete Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ ) der verfilterten Schicht mit der Grundwassermächtigkeit multipliziert.

Die grundwassererfüllte Mächtigkeit der Niederterrassenkiese liegt zwischen 9 m und 14 m. Nur in seltenen Fällen reduziert sich die Grundwassermächtigkeit auf unter 6 m bzw. steigt auf über 17 m an.

Die Durchlässigkeitsbeiwerte liegen zumeist zwischen  $1,0 * 10^{-2}$  m/s und  $1,0 * 10^{-3}$  m/s. Es treten aber auch Maximalwerte von  $3,9 * 10^{-2}$  m/s und Minimalwerte von  $1,4 * 10^{-4}$  m/s auf.

Eine Übersicht der ermittelten Transmissivitätswerte findet sich in Karte 8, wobei die T-Werte zu Klassen zusammengefasst wurden. Eine flächenhafte Darstellung war aufgrund der zu geringen Anzahl von Belegpunkten nicht möglich. Da sich zwischen den Korngrößen und den ermittelten T-Werten keine ausreichende Korrelation ergab, konnten auch die Transmissivitäten aus den Schichtenverzeichnissen nicht abgeleitet werden.

Über 50 % der errechneten Transmissivitäten fallen in die Klasse  $> 400 * 10^{-4}$   $m^2/s$ , 18 % in die Klasse  $> 200$  bis  $400 * 10^{-4}$   $m^2/s$  und 12 % in die Klasse von  $> 100$  bis  $200 * 10^{-4}$   $m^2/s$ . Der Rest liegt bei  $\leq 100 * 10^{-4}$   $m^2/s$ . Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung zwischen dem links- und rechtsrheinischen Bereich sind nicht zu erkennen. Generell können die Transmissivitäten auf engem Raum stark variieren, wie z. B. im Bereich von Neuwied oder nordöstlich Bubenheim. Hierfür sind unterschiedliche Grundwassermächtigkeiten in einem kleinen Umkreis,

bedingt durch das Relief der Tertiäroberfläche und / oder eine inhomogene Ausbildung und die sich daraus ergebenden Durchlässigkeitsschwankungen der Kies- und Sandablagerungen, verantwortlich.

Insgesamt belegen die ermittelten  $k_f$ -Werte und Transmissivitäten, dass die Niederterrassen-sedimente einen Grundwasserleiter von sehr guter hydraulischer Leitfähigkeit darstellen.

### 5.3. Grundwasseroberfläche

Das Grundwasser der Niederterrasse ist hydraulisch an den Rhein angebunden, so dass Veränderungen des Rheinwasserstandes sich auf den Grundwasserstand auswirken. Dieses Wechselspiel zwischen dem Rhein- und dem Grundwasser ist durch effluente und influente Verhältnisse gekennzeichnet und verursacht einen sich rasch verändernden und mit großen Schwankungen versehenen Grundwassergang (GIEBEL et al. 1990). Der Einfluss des Rheins verringert sich allerdings mit zunehmender Entfernung, wie Analysen von Ganglinien des Grundwasserstandes und des Rheinwasserstandes belegen (GIEBEL & HOMMES 1988, GIEBEL et al. 1990). Die Grundwasseroberfläche ist bei Niedrig- und Mittelwasserverhältnissen zumeist frei, während sie unter Hochwasserbedingungen bereichsweise gespannt sein kann.

Da der Rheinwasserspiegel das Niveau der Grundwasseroberfläche bestimmt, ist bei der Konstruktion der Grundwasseroberfläche anhand von Stichtagsmessungen der Zeitpunkt, an dem Messungen durchgeführt werden, von großer Bedeutung. Für die in Karte 8 dargestellten Grundwasseroberflächen wurde das jeweilige Referenzdatum (30.6.1994 und 13.10.1992) so gewählt, dass die Stichtagsmessungen an den 250 Messpunkten (Grundwassermessstellen und Brunnen) annähernd mit dem Mittel- bzw. Niedrigwasserstand des Rheins zusammentrafen.

#### 5.3.1. Mittelwasserverhältnisse

Der Grundwasserstrom von Mosel und Rhein fließt bei Koblenz in nördlicher Richtung und wird im Bereich des Industriegebietes nach Nordwesten in rheinparallele Richtung umgelenkt. Durch die Einengung des Grundwasserleiters bei Weissenthurm kommt es ab Urmitz–Bahnhof zu einem Rückfluss des Grundwassers in den Rhein. Zwischen Weissenthurm und Andernach erfolgt der Zustrom aus dem Nettetal in Richtung Rhein.

Auf längeren Flussstrecken kommt es zur Infiltration von Rheinwasser in das Grundwasser, so z. B. linksrheinisch zwischen Sankt Sebastian und Kaltenengers. Auch rechtsrheinisch kommt es zur Infiltration von Rheinwasser ab Bendorf. Die hier vorliegende generelle Fließrichtung nach Südwesten wird überlagert durch die Entnahmen von Industrie und Wasserwerken. Allerdings sind lokale Absenktrichter im Bereich der Brunnen nur andeutungsweise erkennbar. Dies liegt zum einen an der hohen Durchlässigkeit der Niederterrassenkiese, zum anderen ist nicht bekannt, ob zum Zeitpunkt der Messungen die Brunnen in Betrieb waren.

### 5.3.2. Mittlere Niedrigwasserverhältnisse

Bei Niedrigwasserbedingungen liegen die Wasserstände zwischen 1 m und 3 m niedriger als bei Mittelwasserverhältnissen. Linksrheinisch ergibt sich in weiten Bereichen ein ähnliches Fließbild wie bei Mittelwasserverhältnissen. Lediglich die Wasserentnahmen machen sich etwas stärker bemerkbar. Rechtsrheinisch ist eine Rheinwasserinfiltration nur bei Bendorf erkennbar. Ansonsten ist der Rhein Vorfluter für das Grundwasser.

Das Gefälle der Grundwasseroberfläche ist bereichsweise etwas steiler als bei mittleren hydrologischen Bedingungen.

### 5.4. Flurabstand

Die geringsten Flurabstände, ermittelt aus der Differenz von Geländeoberfläche und Grundwasseroberfläche bei Mittelwasserverhältnissen, befinden sich in den Gebieten der jungen Paläorinnensedimente des Rheins. Auch die Talauen von Nette, Wied und z. T. des Saynbachs zeichnen sich ab. Ansonsten nimmt im Bereich der Niederterrassen der Flurabstand generell vom Rhein zum Niederterrassenrand hin zu (Karte 9). Im Bereich der älteren Niederterrassenschotter steigen die Flurabstände auf über 8 m bis 10 m, bereichsweise auf bis zu 12 m an. Flurabstände über 12 m sind dagegen nur kleinflächig vorhanden. Sie treten im Bereich der noch nicht wirtschaftlich genutzten Bimsflächen, z. B. zwischen Andernach und Weissenthurm, auf. Auch zum Rand der Niederterrassen hin, besonders im Gebiet von Schwemmfächern, wie z. B. bei Weis oder bei Mülheim, werden solche hohen Flurabstände erreicht.

### 5.5. Potentielle Grundwasserneubildung

#### 5.5.1. Berechnungsverfahren

Die Berechnung der potentiellen flächenhaften Grundwasserneubildung aus der klimatischen Bodenwasserbilanz erfolgte in Anlehnung an das Verfahren von WESSOLEK (1992). Diese Berechnung erlaubt die flächenhafte Ermittlung der mittleren jährlichen Sickerwassermenge unterhalb des Wurzelraumes mit Hilfe multipler Regressionen, in denen der Sommer- und Winterniederschlag, das pflanzenverfügbare Wasser, die potentielle HAUDE-Verdunstung und die Bodennutzung miteinander verknüpft werden. Die Sickerwassermenge ist nur bedingt mit der Grundwasserneubildung gleichzusetzen, da bei großen Grundwasserflurabständen und heterogenem Untergrund größere Mengen des Sickerwassers als Interflow oder über hangende Quellstockwerke relativ rasch dem nächsten Vorfluter zufließen und damit den oberen großräumig zusammenhängenden Grundwasserleiter nicht erreichen. Dies trifft besonders in den Bereichen mit starkem Relief zu, wie im devonischen Randgebirge des Beckens. Daher wird im folgenden die Bezeichnung „potentielle Grundwasserneubildung“ im Sinne der maximal möglichen Grundwasserneubildung verwendet. Im Zentralbereich des Beckens entspricht sie der Grundwasserneubildung.

Für die wichtigsten Nutzungsarten Acker, Grünland und Wald lauten die Gleichungen:

Acker

$$G_{\text{neu}} = (1,03 * N_{\text{W}} + 0,86 * N_{\text{S}} - 128,2 * \log W_{\text{pfl}} - 0,05 * \text{HAUDE} - 92,9) * R \quad r^2 = 0,97$$

Grünland

$$G_{\text{neu}} = (1,024 * N_{\text{W}} + 0,914 * N_{\text{S}} - 118,3 * \log W_{\text{pfl}} - 0,151 * \text{HAUDE} - 122,75) * R \quad r^2 = 0,95$$

Wald

$$G_{\text{neu}} = (0,907 * N_{\text{W}} + 0,925 * N_{\text{S}} - 129,8 * \log W_{\text{pfl}} - 0,13 * \text{HAUDE} - 118,92) * R \quad r^2 = 0,96$$

$G_{\text{neu}}$ :	Sickerwasserspende [mm/Jahr]
$N_{\text{W}}$ :	Winterniederschlag [mm] im Zeitraum 1.10. bis 31.3.
$N_{\text{S}}$ :	Sommerniederschlag [mm] im Zeitraum 1.4. bis 30.9.
HAUDE:	Potentielle Jahresverdunstung nach HAUDE [mm]
$W_{\text{pfl}}$ :	Pflanzenverfügbare Bodenwassermenge [mm] (nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes + kapillarer Aufstieg)
R:	Relieffaktor
$r^2$ :	Bestimmtheitsmaß

Die Berechnung der potentiellen Grundwasserneubildung unter Flächen mit Sondernutzungen erfolgte mit Hilfe der Regressionsgleichung für Acker unter Verwendung der von WESSOLEK (1992) angegebenen Zu- und Abschläge. Die Relieffaktoren wurden nach WESSOLEK (1992, Tab. 3, 4) in Abhängigkeit von der Bodennutzung, der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes und der Exposition unter Berücksichtigung der Hangneigung ermittelt. Die Reliefdaten wurden dem Digitalen Höhenmodell (DHM 20) des Landesvermessungsamtes Rheinland-Pfalz entnommen. Die verwendeten Regressionsgleichungen ermöglichen die Berechnung der potentiellen Grundwasserneubildung mit einer Genauigkeit von ca.  $\pm 40$  mm/Jahr.

Für die Berechnung sind flächenhafte Angaben zu folgenden Themen erforderlich:

- Niederschlag (für Sommer- und Winterhalbjahr),
- potentielle Verdunstung nach HAUDE (für das Jahr und das Sommerhalbjahr),
- Bodennutzung,
- nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes,
- Grundwasserflurabstand,
- kapillarer Aufstieg aus dem Grundwasser.

#### 5.5.1.1. Niederschlag

Die Datenbasis für den Standortfaktor Niederschlag sind die Monatswerte der Niederschlags Höhen von 4 Klimahauptstationen und 4 Niederschlagsmessstellen des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES (1995) im Gebiet des Neuwieder Beckens und in dessen näherer Umgebung. Da die verfügbaren Messreihen der benötigten Größen für den Berechnungszeitraum 1961 bis

1994 nicht vollständig vorlagen, waren zuvor durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) – Geschäftsbereich Hydrometeorologie, Berlin – umfassende Untersuchungen zur Ergänzung der Messreihen notwendig. Die Interpolation der Winter- und Sommerniederschläge sowie der potentiellen Verdunstung nach HAUDE (1955) von den Klimamessstationen in die Fläche erfolgte über höhenabhängige Regressionsgleichungen (WESSOLEK 1992).

Bei den in der Tab. 2 aufgelisteten Werten handelt es sich um vom Deutschen Wetterdienst (DWD) korrigierte Niederschlagswerte. Entsprechend dem Relief des Untersuchungsgebietes sind deutliche regionale Unterschiede in den mittleren jährlichen Niederschlagssummen zu verzeichnen. Mit Werten zwischen 926 mm und 991 mm weisen die Stationen Hillscheid und Rengsdorf im rechtsrheinischen Schiefergebirge die höchsten jährlichen Niederschlagssummen auf. Die geringsten jährlichen Niederschläge (679 mm) fallen infolge Lee-Lage in Andernach. Die Niederschlagshöhe des Sommerhalbjahres (April bis September) übertrifft im Untersuchungsraum mit 51 bis 57 % im Allgemeinen die des Winterhalbjahres (Oktober bis März).

Tab. 2: Korrigierte Werte der mittleren Niederschlagshöhen (Zeitraum 1961 bis 1994) im Bereich des Neuwieder Beckens und dessen Umgebung.

Station	Seehöhe [m NN]	langjährige mittlere Niederschlagshöhe [mm]		
		Jahr (1.10.-30.9.)	Winterhalbjahr (1.10.-31.3.)	Sommerhalbjahr (1.4.-30.9.)
Andernach	62	679	307	372
Bassenheim	170	709	318	391
Bendorf	73	723	320	403
Hillscheid	267	926	439	589
Koblenz-Horchheim	85	742	320	422
Neuwied-Wollendorf	121	773	361	412
Rengsdorf	285	991	489	502
Wassenach	305	782	370	412
Mittelwert		790	365	425

#### 5.5.1.2. Potentielle Verdunstung nach HAUDE

Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration, d. h. der Verdunstung über einem Pflanzenbestand bei ausreichender Wasserversorgung der Pflanzen, erfolgte nach HAUDE (1955). Dieses Verfahren wurde ausgewählt, weil es nicht nur vergleichsweise unkompliziert ist, d. h. mit wenigen, an relativ vielen DWD-Stationen gemessenen Kenngrößen auskommt, sondern sich aufgrund vergleichender Untersuchungen speziell für die klimatischen Verhältnisse in

Deutschland als gut geeignet erwiesen hat. Dabei wird das aus den jeweils um 14 Uhr gemessenen Werten der Lufttemperatur und der Luftfeuchte errechnete Sättigungsdefizit der Luft mit einem jahreszeitlich variierenden Faktor multipliziert. Eine Zusammenstellung der potentiellen HAUDE-Verdunstung über Gras an vier ausgewählten Klimastationen, berechnet aus monatlichen Mittelwerten der Lufttemperatur und der Luftfeuchte unter Verwendung der in SCHRÖDTER (1985) angegebenen Monatsfaktoren für den Zeitraum von 1961 bis 1994, zeigt Tab. 3.

Tab. 3: Potentielle Verdunstung nach HAUDE (1955) für den Zeitraum von 1961 bis 1994.

Station	langjährige mittlere potentielle Verdunstung [mm]		
	Jahr (1.10. bis 30.9.)	Winterhalbjahr (1.10. bis 31.3.)	Sommerhalbjahr (1.4. bis 30.9.)
Bendorf	742	137	605
Neuwied-Wollendorf	684	122	562
Koblenz-Horchheim	712	133	579
Rengsdorf	627	114	513

Mit 742 mm/Jahr weist die Station Bendorf die höchste potentielle Verdunstung auf. Die geringere Verdunstung des niederschlagsreichsten Standortes Rengsdorf ist auf das begrenzte Energiedargebot zurückzuführen (DEUTSCHER WETTERDIENST 1995).

Im Rechenmodell wurde die Verdunstung der freien Wasserflächen, hier Baggerseen, mit dem Wert der potentiellen Verdunstung gleichgesetzt. Bei den Baggerseen im Niederterrassenbereich übersteigt die Höhe der potentiellen HAUDE-Verdunstung die des Niederschlags. Diese negative klimatische Wasserbilanz wird auch bei Flächen mit einem Flurabstand des Grundwassers geringer als 1 m angenommen. Dadurch ergeben sich auch negative Werte für die Grundwasserneubildung.

## 5.5.1.3. Bodennutzung

Der Untersuchungsraum wird in die in Abb. 6 dargestellten Teilgebiete untergliedert.

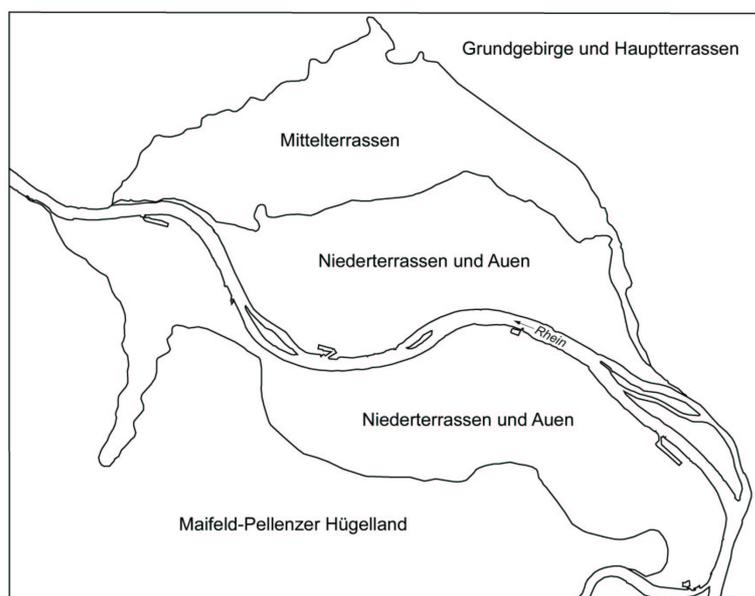


Abb. 6: Teilgebiete des Untersuchungsraumes.

Die Bodennutzung wurde neuesten Ausgaben der topographischen Karten 1 : 25 000 (TK 25) entnommen (Tab. 4).

Tab. 4: Prozentuale Flächenanteile der Bodennutzungsarten im Bearbeitungsgebiet.

Teilgebiet	Acker	Grünland	Wald	Siedlungsflächen	Stehende Gewässer	Deponie
Rechtsrheinisch:						
Grundgebirge und Hauptterrassen	10,5	19,5	58,6	11,3	-	0,2
Mittelterrassen	37,6	18,2	2,5	41,7	-	-
Niederterrassen und Auen	37,1	6,5	0,1	53,1	3,2	-
Linksrheinisch:						
Niederterrassen und Auen	47,1	5,3	0,1	46,7	0,8	-
Maifeld-Pellenzer Hügelland	65,2	2,4	5,0	25,8	0,1	1,5

Da keine exakten Daten über die Grundwasserneubildung im Bereich von Siedlungsflächen vorliegen, werden folgende Annahmen gemacht (ALTHOFF et al. 1995):

- Die Stadtzentren, Industriegebiete bzw. Bereiche von Industriegebieten mit dichter Bebauung werden als versiegelte Flächen angesehen, in denen der überwiegende Teil der Niederschläge durch das Kanalnetz direkt in die Vorfluter gelangt. Eine Versickerung in das Grundwasser kann hier, ebenso wie im Bereich von Deponien, praktisch ausgeschlossen werden.
- Alle übrigen Siedlungs- und Industriegebiete mit lockerer Bebauung sowie Sportplätze lassen eine verringerte Grundwasserneubildung aus Niederschlag zu, die etwa ein Drittel der Sickerwasserspense von Grünlandflächen im entsprechenden Gebiet beträgt.
- Bei Parks und Gartenanlagen wird eine Grundwasserneubildung angenommen, die dem Grünland entspricht.

#### 5.5.1.4. Pflanzenverfügbares Bodenwasser

Das pflanzenverfügbare Bodenwasser ( $W_{\text{pfl}}$ ) entspricht bei grundwasserfernen Standorten der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes ( $n\text{FKWe}$ ). Die  $n\text{FKWe}$  (mm) ist die Summe der nutzbaren Feldkapazität ( $n\text{FK} = \text{Volumenanteil der Poren mit einem Durchmesser von } 50 \text{ bis } 0,2 \mu\text{m}$ ) aller Bodenhorizonte bis zur effektiven Durchwurzelungstiefe ( $W_e$ ). Als effektive Durchwurzelungstiefe wurde auf Böden aus Lockersedimenten ohne Grundwassereinfluss und Verdichtungen oder Verfestigungen für einjährige landwirtschaftliche Nutzpflanzen 100-120 cm, für Waldbestände 170-190 cm und für Grünland 60-80 cm angenommen. Bei flach- und mittelgründigen, skelettreichen Böden bleibt die Durchwurzelungstiefe auf die Entwicklungstiefe der Böden beschränkt. Bei Grundwasserböden endet die effektive Durchwurzelungstiefe spätestens an der Obergrenze des Gr-Horizontes.

Die  $n\text{FK}$  der einzelnen Bodenhorizonte wurde nach der 4. Auflage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 1996) aus der Bodenart, der Lagerungsdichte und dem Gehalt an organischer Substanz unter Berücksichtigung der in den Jahren 1992 und 1993 durchgeführten bodenphysikalischen Untersuchungen an 60 Bodenprofilen abgeschätzt. Bodenartenschichtung und Schichtmächtigkeiten können der Bodenkarte (Karte 4) entnommen werden. Die  $n\text{FKWe}$  erhält man durch Addition der bis zur effektiven Durchwurzelungstiefe horizontweise berechneten  $n\text{FK}$ -Werte.

Bei grundwassernahen Böden ist bei der Ermittlung der Gesamtmenge an pflanzenverfügbarem Bodenwasser neben der  $n\text{FKWe}$  auch der kapillare Aufstieg aus dem Grundwasser in den Wurzelraum zu berücksichtigen. Die mittleren täglichen Aufstiegsraten wurden in Abhängigkeit von der Bodenart, dem Abstand zwischen der mittleren Grundwasseroberfläche und der Untergrenze des effektiven Wurzelraumes unter Annahme einer mittleren effektiven Lagerungsdichte der Tabelle 65 der Bodenkundlichen Kartieranleitung entnommen. Als mittlere Grundwasseroberfläche wurde der Grundwasserstand vom 30.6.1994 zugrunde gelegt. Bei der Berechnung des pflanzenverfügbaren Wassers müssen die täglichen Aufstiegsraten mit der Anzahl der Tage

des Sommerhalbjahres multipliziert und zur nFKWe hinzugezählt werden. Die jährliche Aufstiegsrate darf zusammen mit dem Niederschlag im Sommerhalbjahr nicht größer sein als die potentielle Evapotranspiration.

### 5.5.2. Berechnung der potentiellen Grundwasserneubildungsrate

Das Flussdiagramm (Abb. 7) verdeutlicht das Konzept und die verwendeten Eingabeparameter zur Berechnung der Sickerwassermenge unterhalb des Wurzelraumes (potentielle Grundwasserneubildung). Das dargestellte Flussdiagramm und die Rechenoperationen werden für jede Zelle (25 m \* 25 m) der betrachteten Fläche durchgeführt. Somit kann die Sickerwassermenge flächendeckend in Abhängigkeit von den standörtlichen Gegebenheiten dargestellt werden.

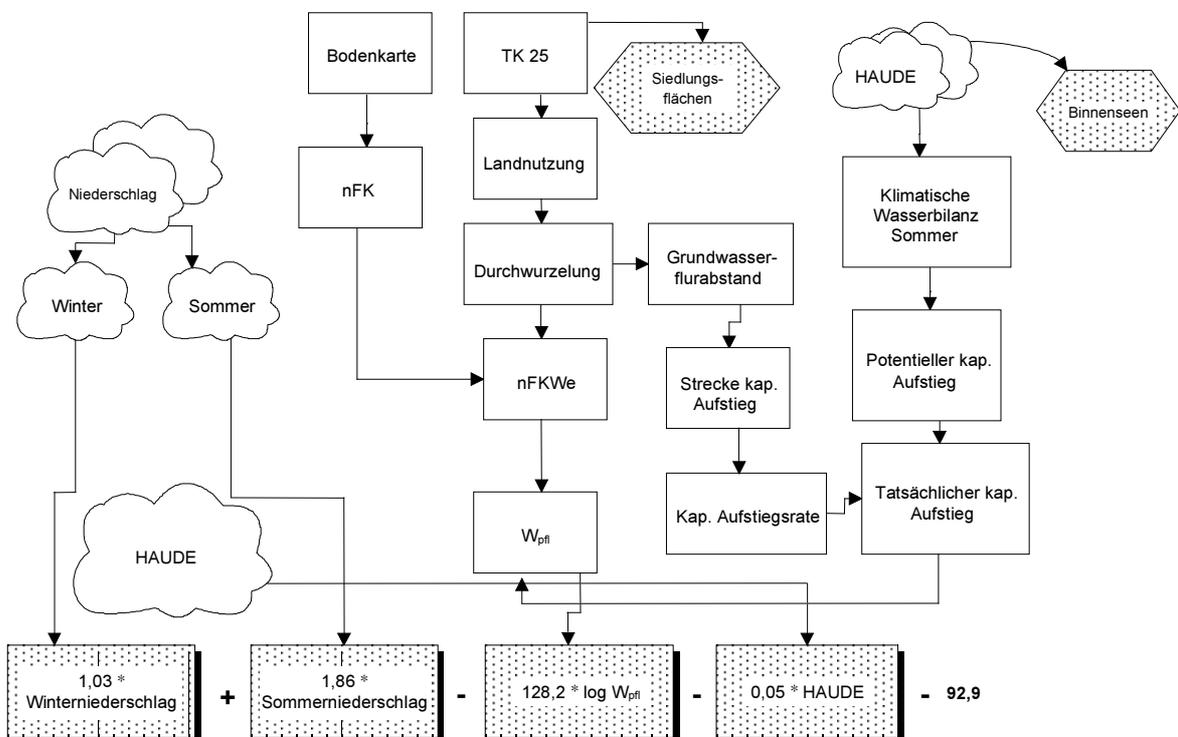


Abb. 7: Schematische Darstellung der Berechnungsschritte für die Ermittlung der potentiellen Grundwasserneubildungsrate, hier exemplarisch für Ackerstandorte (nach WESSOLEK in ALTHOFF et al. 1995, verändert).

Die berechnete potentielle Grundwasserneubildungsrate aus dem Niederschlag liegt zwischen  $-0,5 \text{ l/s} * \text{km}^2$  (bedingt durch einige freie Wasserflächen) und  $+20,4 \text{ l/s} * \text{km}^2$  (Tab. 5). Sie nimmt vom Niederterrassenbereich mit einem Wert von im Mittel  $4,7 \text{ l/s} * \text{km}^2$  zum Bereich der Mittelterrassen und des Maifeld-Pellenzer Hügellandes mit Neubildungsraten von im Mittel  $6,4-6,5 \text{ l/s} * \text{km}^2$  zu und steigt im Bereich der Hauptterrassen und des Grundgebirges auf im Mittel  $10,4 \text{ l/s} * \text{km}^2$ , entsprechend den gleichsinnig zunehmenden Niederschlagsmengen.

Die mittlere potentielle Grundwasserneubildungsrate für den gesamten Untersuchungsraum beträgt  $7,1 \text{ l/s} * \text{km}^2$  (= 250 mm/Jahr).

Tab. 5: Gebietswerte der Niederschläge, der potentiellen Verdunstung und der potentiellen Grundwasserneubildung (Zeitraum 1961 bis 1994).

Teilgebiet	Niederschlag [mm/a]	pot. Verdunstung [mm/a]	pot. Grundwasserneubildung [mm/a]	[l/s * km <sup>2</sup> ]
Rechtsrheinisch:				
Grundgebirge und Hauptterrassen	878 (668 – 982)	657 (612 – 715)	329 (0 – 644)	10,4 (0 – 20,4)
Mittelterrassen	762 (678 – 873)	660 (695 – 714)	202 (0 – 464)	6,4 (0 – 14,7)
Niederterrassen und Auen	710 (673 – 759)	709 (698 – 719)	149 (-16 – 405)	4,7 (-0,5 – 12,8)
Linksrheinisch:				
Niederterrassen und Auen	701 (665 – 724)	709 (700 – 715)	147 (-15 – 440)	4,7 (-0,5 – 13,9)
Maifeld-Pellenzer Hügelland	731 (662 – 782)	684 (638 – 717)	206 (0 – 433)	6,5 (0 – 13,7)
Gesamt-Arbeitsgebiet	767 (662 – 982)	686 (612 – 719)	225 (-16 – 644)	7,1 (-0,5 – 20,4)

Die Zahlen in Klammern geben die Niedrigst- und Höchstwerte an, bezogen auf einzelne Flächen innerhalb der Teilgebiete.

Im Vergleich der Teilgebiete weisen die Hauptterrassen und das Grundgebirge trotz des sehr hohen Waldanteils (58,6 % der Fläche) die höchsten mittleren jährlichen Summen der potentiellen Grundwasserneubildungsraten auf. Ursachen dafür sind vor allem die hohen Niederschläge, die geringe Verdunstung, der geringe Versiegelungsgrad (11,3 % der Fläche) und die größere Verbreitung von Böden geringer nutzbarer Feldkapazität. Aufgrund des heterogenen geologischen Untergrundes und der langen Sickerstrecke kann man in diesem Bereich jedoch davon ausgehen, dass ein Großteil der Sickerwassermenge als Interflow oder als hangendes Grundwasser lateral abfließt und damit nicht zur Erneuerung der Grundwasservorräte im großräumig zusammenhängenden Kluftgrundwasser beiträgt.

Die Berechnung der mittleren jährlichen potentiellen Grundwasserneubildung für verschiedene Vegetationsdecken der einzelnen Teilgebiete, d. h. bodenkundlich-geologisch einheitlich aufgebauter Gebiete mit gleichen klimatischen Bedingungen, zeigt, dass die Grundwasserneubildung in der Reihenfolge Acker > Grünland > Wald abnimmt (Tab. 6). Die Tatsache, dass der sehr hohe Waldanteil im niederschlagsreichen Bereich der Hauptterrassen und des Grundgebirges auf Böden mit geringer nutzbarer Feldkapazität und hoher Grundwasserneubildung anzutreffen

ist, hat aber zur Folge, dass die potentielle Grundwasserneubildung, bezogen auf den gesamten Untersuchungsraum, in der Reihenfolge Acker < Grünland < Wald zunimmt.

Aus Tab. 6 ersieht man weiterhin, dass bei hoher potentieller Grundwasserneubildung die Differenz zwischen den einzelnen Vegetationsdecken sehr gering ist. Dies ist besonders im Hauptterrassen- und Grundgebirgsbereich ausgeprägt, so dass hier der Einfluss der Vegetation auf die Grundwasserneubildung weitgehend zurücktritt.

Tab. 6: Potentielle Grundwasserneubildung (mm/Jahr) in Abhängigkeit von der Bodennutzung.

Teilgebiet	potentielle Grundwasserneubildung [mm/a]		
	Wald	Grünland	Acker
Rechtsrheinisch:			
Grundgebirge und Hauptterrassen	355 (37 – 644)	366 (90 – 567)	367 (137 – 607)
Mittelterrassen	212 (75 – 413)	281 (165 – 426)	297 (177 – 464)
Niederterrassen und Auen	106 (36 – 161)	215 (132 – 387)	265 (181 – 405)
Linksrheinisch:			
Niederterrassen und Auen	105 (665 – 724)	204 (700 – 715)	234 (155 – 440)
Maifeld-Pellenzer Hügelland	169 (27 – 333)	223 (212 – 407)	266 (169 – 433)
Gesamt-Arbeitsgebiet	337 (27 – 644)	311 (90 – 567)	270 (137 – 607)

Die Zahlen in Klammern geben die Niedrigst- und Höchstwerte an, bezogen auf einzelne Flächen innerhalb der Teilgebiete.

Die mittlere Grundwasserneubildung aus dem Niederschlag beträgt nach GIEBEL & THEIS (1989) im Niederterrassenbereich des Neuwieder Beckens  $5 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$  (= 157,8 mm/Jahr). GIEBEL et al. (1990) ermittelten hier für die Jahresreihe 1980 bis 1988 nach dem Verfahren von RENGER et al. (1974) eine Grundwasserneubildung von 158 mm/Jahr und nach der Methode von SCHENDEL (1969) von 173 mm/Jahr. Nach eigenen Berechnungen ergibt sich für die Jahresreihe 1961 bis 1994 eine mittlere potentielle Grundwasserneubildung von 148 mm/Jahr.

In Karte 10 sind die mittlere potentielle Grundwasserneubildung (Zeitraum 1961 bis 1994) aus dem Niederschlag sowie die zugrunde gelegten Niederschlagsisohyeten dargestellt.

## 5.6. Grundwasserbeschaffenheit

Die durchgeführten hydrochemischen Untersuchungen ermöglichen eine weitreichende Zustandsdokumentation der Grundwasserbeschaffenheit. Gleichzeitig lassen die Kartendarstellungen (Isolinienpläne bzw. Flächen von Konzentrationsklassen) bestimmte Transportmechanismen verschiedener Inhaltsstoffe erkennen und liefern somit einen Beitrag zum Verständnis der hydrodynamischen Zusammenhänge im Neuwieder Becken. Manche Inhaltsstoffe können, soweit die Randbedingungen (insbesondere Eintragsbedingungen) hinreichend abschätzbar erscheinen, in gewissem Maße die Funktion von Tracern übernehmen.

Wegen der wasserwirtschaftlichen Bedeutung als Grundwasserreservoir für das nördliche Rheinland-Pfalz konzentrierten sich die Untersuchungen und die nur auszugsweisen kartemäßigen Darstellungen auf die Niederterrassensedimente. Für die älteren Terrassenbildungen bzw. die unterlagernden Tertiär- und Devongesteine wurden nur vereinzelt Untersuchungen im Rahmen der vorliegenden Kartierung vorgenommen.

### 5.6.1. Probenahme

Die Beprobung von insgesamt 115 Grundwassermessstellen, Brunnen und Quelfassungen erfolgte vom 23.8.1993 bis zum 9.9.1993 meist durch Entnahme mittels Unterwasserpumpe in Anlehnung an die DVWK-Regeln 128 / 1992 (DEUTSCHER VEREIN FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU 1993).

Da die Grundwasserströmungs- und in der Folge die Stofftransportverhältnisse je nach Wasserstand in den Vorflutern Rhein und Mosel einer erheblichen Dynamik unterliegen, ist zum Verständnis der in den Karten dargestellten Stoffverteilungen die geohydraulische Situation zum Zeitpunkt der Probenahme (und einer gewissen Zeit vor der Probenahme) zu berücksichtigen.

Während des Probenahmezeitraums bestanden im Rhein relativ stabile Abflussverhältnisse, die mit einem mittleren Tagesabfluss von  $1434 \text{ m}^3/\text{s}$  (Minimum:  $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ , Maximum:  $1690 \text{ m}^3/\text{s}$ ) einem Stand zwischen "Mittlerem Niedrigwasser" (MNQ 1931 bis 1993 =  $879 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und "Mittelwasser" (MQ 1931 bis 1993 =  $2010 \text{ m}^3/\text{s}$ ) entsprechen. Alle Abflusswerte beziehen sich auf den Rheinpegel Andernach (DEUTSCHES GEWÄSSERKUNDLICHES JAHRBUCH 1997). Die Abflussverhältnisse der Mosel waren ähnlich ruhig und bewegten sich ebenfalls im Bereich des MNQ-Wertes.

Für den Zeitraum der Probenahme kann davon ausgegangen werden, dass die geohydraulischen Verhältnisse nicht durch Spezialsituationen, wie z. B. Starkniederschläge oder Hochwasserereignisse, überprägt sind. Vielmehr ist von allgemein effluenter bzw. rheinparalleler Grundwasserströmung auszugehen.

### 5.6.2. Analytik

Direkt im Anschluss an die Probenahme wurden einzelne Kenngrößen vor Ort bestimmt. Diese "Feldmessungen" beinhalten neben der Erfassung der Probenahmebedingungen (Pumpzeiten, Förderraten, etc.) vor allem:

- Wassertemperatur,
- elektrische Leitfähigkeit,
- pH-Wert,
- m-Wert.

Die chemischen Analysen der Wasserproben erfolgten in den Laboratorien des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz und des Geologischen Landesamtes Rheinland-Pfalz.

Folgende Inhaltsstoffe wurden analysiert:

- Kationen:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,
- Anionen:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,
- Spurenstoffe (teilweise): Al, As, Ba, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Sr, Zn,
- Organische Summenparameter (teilweise): DOC, AOX,  $\text{KMnO}_4$ -Verbrauch,
- sonstige Inhaltsstoffe (teilweise):  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{O}_2$ .

### 5.6.3. Hydrochemische Übersicht

Zur allgemeinen hydrochemischen Charakterisierung wurden für die wichtigsten Inhaltsstoffe bzw. Kenngrößen statistische Maßzahlen wie Minimum, Maximum, arithmetischer Mittelwert, Median sowie verschiedene Perzentilwerte der 92 beprobten Messstellen bestimmt und graphisch in Form von Box-Plots (Abb. 8) dargestellt.

Da der Rhein die bedeutendste hydraulische Grenze für das Grundwasser im Untersuchungsgebiet bildet, wurden die 60 linksrheinischen und 32 rechtsrheinischen Messstellen getrennt betrachtet. So lässt sich im linksrheinischen Teil des Aquifers insbesondere für die Kenngrößen Sulfat, Chlorid und Natrium eine deutliche Tendenz zu höheren Konzentrationen und einer größeren Streuung der Messwerte feststellen; sie spiegeln eine größere hydraulische Dynamik, höhere Eintragskonzentrationen von den südlichen Rändern und als Besonderheit die Infiltration von Moselwasser wider.

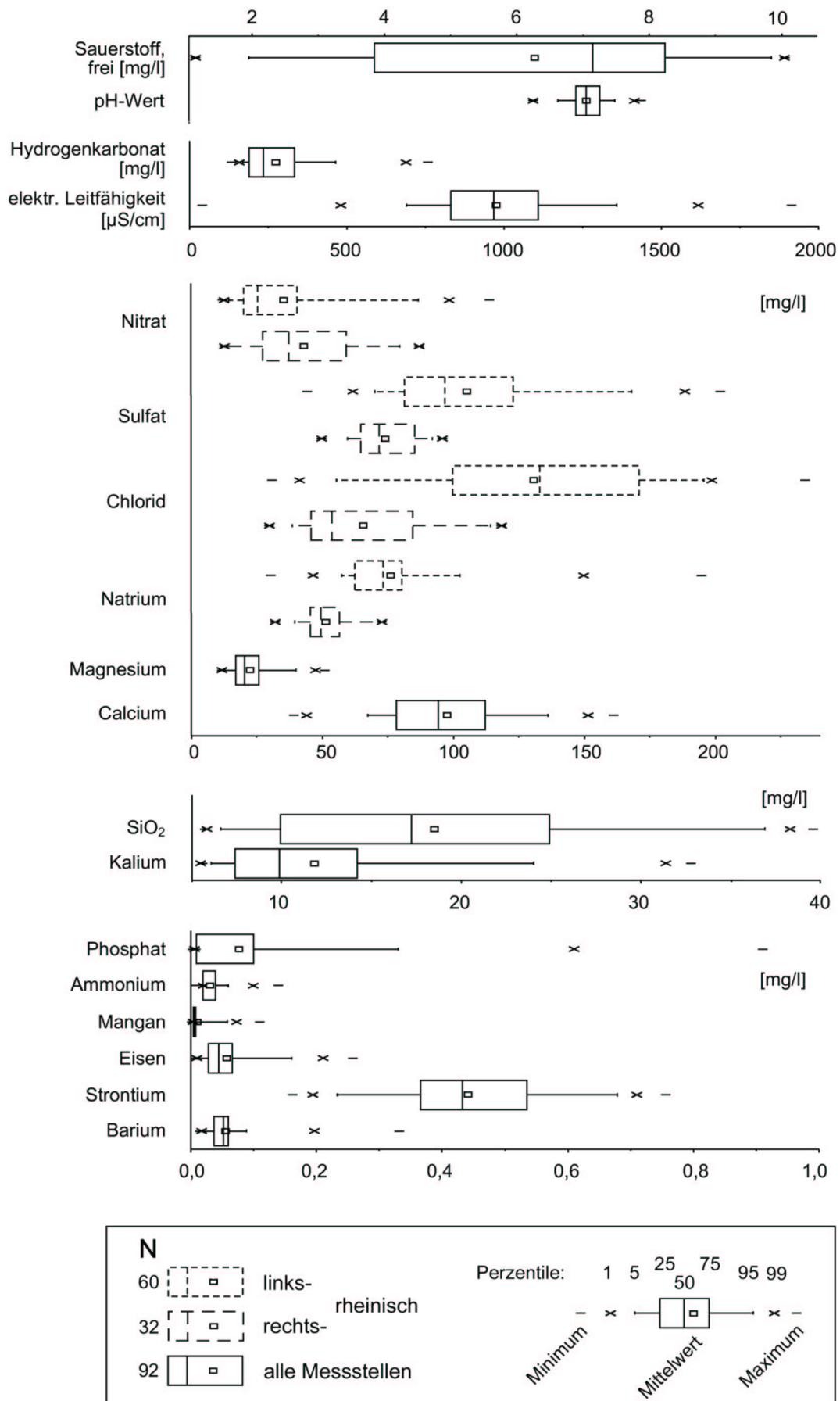


Abb. 8: Box-Plot-Darstellung zur Grundwasserbeschaffenheit im Neuwieder Becken.

Dagegen weist die Kenngröße Nitrat bei ähnlichen Minimalwerten von ca. 13 mg/l in Rheinnähe und höheren Maximalwerten für den linksrheinischen Bereich deutlich höhere Mittel- und Medianwerte im rechtsrheinischen Abschnitt auf. Erklärbar ist dies durch einen vergleichsweise geringeren Verdünnungseffekt für große Flächenanteile des rechtsrheinischen Bereichs.

Einen umfassenden Überblick zur Grundwasserbeschaffenheit anhand von einzelnen Analyseergebnissen des gesamten Untersuchungsumfanges bietet Tab. 7:

Tab. 7: Exemplarische Analyseergebnisse der Probenahme vom August / September 1993 im Niederterrassen-aquifer; Labor des Landesamtes für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz.

Grundwassermessstelle	5076	5078	5026	6057	6063	5020
Rechtswert	33 95 200	33 96 313	33 98 470	33 93 830	33 94 590	33 88 260
Hochwert	55 84 800	55 86 013	55 86 625	55 88 190	55 90 470	55 88 730
Lage	links- rheinisch / rheinfern	links- rheinisch	links- rheinisch / rheinnah	rechts- rheinisch / rheinnah	rechts- rheinisch / rheinfern	Seitentäl der Nette
Datum der Probenahme	2.9.1993	2.9.1993	2.9.1993	25.8.1993	30.8.1993	31.8.1993
Temperatur [°C]	12,6	12,1	12,8	11,8	11,7	11,5
Leitfähigkeit bei 25 °C [ $\mu$ S/cm]	1170	980	850	690	980	1040
gelöstes freies O <sub>2</sub> [mg/l]	7,9	8,3	3,8	7,4	10,0	2,9
pH	6,7	7	7,1	7,3	7,2	6,3
Karbonathärte [°dH]	21,3	12	7,8	8,1	18,5	21
Gesamthärte [°dH]	29,4	20,6	15,7	11,5	22,1	22
Na <sup>+</sup> [mg/l]	79	61	63	57	49	93
K <sup>+</sup> [mg/l]	22	10	6,3	7,2	18	21
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [mg/l]	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ca <sup>2+</sup> [mg/l]	144	103	89	64	120	93
Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	40	27	14	11	23	39
Fe <sup>2+</sup> [mg/l]	0,11	0,05	0,03	< 0,01	0,04	0,1
Mn <sup>2+</sup> [mg/l]	0,06	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,05
Cl <sup>-</sup> [mg/l]	86	134	144	84	41	59
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	87	37	14	13	88	44
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	464	262	171	177	403	458
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	144	93	82	61	84	123
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> [mg/l]	< 0,06	< 0,06	0,092	< 0,06	0,21	0,06
Pb [mg/l]	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Cu [mg/l]	< 0,002	< 0,002	0,0035	0,0036	< 0,002	0,0048
Ni [mg/l]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Zn [mg/l]	0,04	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,05
DOC [mg/l]	1,2	1	1,3	1	1	1,1
AOX [mg/l]	0,014	0,017	0,017	< 0,01	0,011	0,011
SiO <sub>2</sub> [mg/l]	32,96	16,48	6,85	9,42	37,45	34,45

Fünf der sechs für diese detaillierte Darstellung ausgewählten Messstellen bilden ein idealisiertes Süd-Nord Profil, das Änderungen der chemischen Beschaffenheit vom südlichen Rand des Aquifers zum Rhein hin (der Rhein verläuft zwischen den Messstellen 5026 und 6057) und weiter zum nördlichen Rand des Aquifers (Messstelle 6063) verdeutlicht. Dabei ergibt sich für nahezu alle Kenngrößen ein schlüssiges Gesamtbild von Messwerttrends zwischen den verschiedenen Messstellen, das im Wesentlichen durch Verdünnungseffekte zum Rhein hin erklärt werden kann.

Die untersuchten Kenngrößen, die Hinweise auf bedeutende Verunreinigungen geben könnten (Ammonium, Blei, Kupfer, Nickel, Zink, gelöster organisch gebundener Kohlenstoff, adsorbierbare organisch gebundene Chlorverbindungen) weisen generell unbedenkliche Gehalte bzw. meist Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenzen auf. Lediglich einige AOX-Werte im Bereich von 10 bis 20 µg/l (Nachweisgrenze 10 µg/l) belegen eine diffuse, aber unkritische anthropogene Beeinflussung.

#### 5.6.4. Kartendarstellungen

Eine Flächendarstellung von Wasserinhaltsstoffen ist wegen der unterschiedlichen Messnetzdichte mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet, die Aussagekraft darf daher nicht zu hoch bewertet werden. Die hydrochemischen Karten geben jedoch einen großräumigen Überblick über die flächenhafte Verteilung wichtiger Hauptinhaltsstoffe. Für die Kartendarstellungen (Karte 11) wurden vier chemische Kenngrößen (Chlorid, Sulfat, Nitrat, Gesamthärte) der 92 für die Zustandsbeschreibung relevanten Probenahmepunkte ausgewählt, die in besonderer Weise die Einflussfaktoren auf den Stofftransport und damit die Grundwasserbeschaffenheit als Funktion von Zeit und Ort verdeutlichen. Der betrachtete Raum wird durch die Ränder der Niederterrassen begrenzt.

Für die festgestellten Konzentrationsverteilungen können bestimmte Randbedingungen als maßgeblich angesehen werden:

- Die Wirkungen der großen Flüsse Rhein und Mosel, die – bis auf Chlorid – meist als Senken der Stoffgehalte aufgefasst werden können,
- die räumlich eng begrenzten "Randeinträge" aus den angrenzenden Mittelterrassen- bzw. Tertiär- und Devongesteinsbereichen,
- der Einfluss von Seihwasser aus den dem Rhein zuströmenden Bächen (Nette, Kettiger Bach, Mülheimer Bach, Bubenheimer Bach, Wied, Saynbach),
- Stoffeinträge aus dem Bereich der Niederterrassen selbst,
- das Strömungsgeschehen wird – als Basis des Stofftransports – je nach Wasserstand der Flüsse Rhein und Mosel durch wechselnde effluente bzw. influente Verhältnisse und durch die relativ großen Entnahmen aus dem Aquifer dominiert.

Die Regionalisierung der Daten erfolgte mittels Bildung gleitender Mittelwerte (Kriging) und einer anschließenden manuellen Überarbeitung. Die Eintragung der Belegpunkte in den Karten gestattet eine gewisse Einschätzung der Aussagequalität. Grundsätzlich gilt, dass aufgrund von z. B. jahreszeitlich bedingten Konzentrationsschwankungen durchaus Abweichungen bis zu zwei Klassen auftreten können. Das großräumige Verteilungsmuster des Stofftransports wird dadurch jedoch nicht entscheidend verändert.

#### 5.6.4.1. Nitrat

Die nachgewiesenen Nitratgehalte im Grundwasser des Niederterrassenaquifers des Neuwieder Beckens lagen zwischen 13 mg/l und 114 mg/l. Große Flächenanteile in Rheinnähe zeigten Werte um 20 mg/l.

Der Rhein wies im Beprobungszeitraum einen Nitratgehalt von ca. 7 mg/l (Einzelprobe der Rheinmessstelle Bad Honnef vom 30.8.1993), die Mosel von ca. 26 mg/l (Einzelprobe der Messstelle Koblenz vom 30.8.1993) auf. Die Jahresmittelwerte (1993) liegen für den Rhein bei ca. 12 mg/l und für die Mosel bei ca. 18 mg/l (DEUTSCHE KOMMISSION ZUR REINHALTUNG DES RHEINS 1995).

Die Verteilung der Nitratgehalte lässt sich als Produkt von Stoffeinträgen und dem Fließverhalten des Grundwassers verstehen. Ein Nitratabbau findet wegen oxidierender Verhältnisse im Grundwasserleiter nicht erkennbar statt. Hohe Konzentrationen von über 90 mg/l treten ganz überwiegend am Niederterrassenrand auf oder haben dort ihren Ursprung. Die Randbereiche der Niederterrasse und ebenso Zuströme aus den angrenzenden Mittelterrassen- und Tertiärbereichen, z. B. in den Gebieten Heimbach-Weis und Kettig / Mülheim-Kärlich, stellen "Quellen" der Nitratbelastung dar. Dagegen wirken Infiltrationen vom Rhein und auch von der Mosel als "Senken".

Zusätzlich überprägt wird dieses Verteilungsmuster durch Seihwasseranteile der Nebenbäche (Nette, Wied, Saynbach), wobei sich im Fall der Wied und des Saynbachs erhebliche Verdünnungseffekte einstellen, die für die Nette (aufgrund einer höheren Nitratbelastung des oberirdischen Gewässers) deutlich geringer ausfallen. Für den Bereich des Kettiger Baches (südlicher Nitratkonzentrationsbereich mit Werten > 90 mg/l) sind Verdünnungseffekte anhand der vorliegenden Daten nicht mehr feststellbar.

Als Ursache der hohen Nitrateinträge von den Rändern der Niederterrassen müssen in erster Linie die landwirtschaftlichen Nutzungen in diesen Gebieten angesehen werden.

Die Trinkwassergewinnung ist durch hohe Nitratwerte primär in "rheinfernere" Bereichen der Niederterrassen (östlich Neuwied, Block) beeinträchtigt. Dort wurden inzwischen Maßnahmen zur langfristigen Senkung der Nitratwerte eingeleitet. Die Wassergewinnungsanlagen südlich

des Rheins (Bereich Urmitz, Kaltenengers, St. Sebastian) profitieren von ihrer günstigen geohydraulischen Position, so dass hier die Situation weniger kritisch einzustufen ist.

#### 5.6.4.2. Sulfat

Die ermittelten Sulfatgehalte im Niederterrassenaquifer des Neuwieder Beckens lagen zwischen 50 mg/l und 250 mg/l. Große Flächenanteile in Rheinnähe und nahezu der gesamte Raum nördlich des Rheins zeigten Werte zwischen 70 mg/l und 90 mg/l.

Der Rhein wies im Beprobungszeitraum einen Sulfatgehalt von ca. 52 mg/l (Einzelprobe der Rheinmessstelle Bad Honnef vom 30.8.1993), die Mosel von ca. 113 mg/l (Einzelprobe der Messstelle Koblenz vom 16.8.1993) bzw. ca. 143 mg/l (Einzelprobe der Messstelle Koblenz vom 13.9.1993) auf. Die Jahresmittelwerte (1993) liegen dicht an den Werten während der Beprobung und betragen für den Rhein ca. 58 mg/l und für die Mosel ca. 113 mg/l (DEUTSCHE KOMMISSION ZUR REINHALTUNG DES RHEINS 1995).

Ebenso wie bei der Kenngröße "Nitrat" lässt sich die dargestellte Konzentrationsverteilung als Überlagerung aus Stoffeintrag, der bevorzugt von den Rändern des Untersuchungsraums stattfindet, und der verdünnenden Wirkung der oberirdischen Gewässer verstehen.

Das festgestellte "Verteilungsmuster" ist dem des Bildes für Nitrat recht ähnlich, was auf gemeinsame Ursachen schließen lässt, weist jedoch auch besondere Unterschiede auf: Die randlichen Einträge von Sulfat sind im Norden und Süden deutlich ungleichgewichtiger als dies bei Nitrat der Fall ist. So stellt sich als besonderer "Quellbereich" für Sulfat der südliche Niederterrassenrand dar. Möglicherweise kommt hierbei den aus dem südlich angrenzenden Pellenzer Hügelland zufließenden Bächen (Kettiger Bach, Mülheimer Bach, Bubenheimer Bach) wegen der Bildung von Seihwasser eine besondere Bedeutung zu.

#### 5.6.4.3. Gesamthärte

Die Kenngröße „Gesamthärte“ ist sowohl für die Verwendung von Wasser in der öffentlichen Wasserversorgung als auch für die technische Verwendbarkeit von Bedeutung.

Der Gehalt an Erdalkalien, aus dem sich die Gesamthärte errechnet, wird in Deutschland in °dH (Grad deutscher Härte) angegeben. Nach dem Waschmittelgesetz von 1986 werden vier Härtebereiche unterschieden:

- 1: < 7 °dH,
- 2: 7-14 °dH,
- 3: 14-21 °dH,
- 4: > 21 °dH.

Das Grundwasser, das dem Niederterrassenaquifer des Neuwieder Beckens entnommen wird, ist zum größten Teil den Härtebereichen 2 und 3 zuzuordnen. Der überwiegende, geogen bedingte Anteil an der Gesamthärte stammt vorwiegend aus den kalkhaltigen Deckschichten. Aufhärtungen durch anthropogene Einflüsse treten dahinter zurück.

Auffällig ist die Ähnlichkeit des Verteilungsmusters der Kenngröße „Gesamthärte“ mit denen von „Sulfat“ und „Nitrat“: Hohen Gesamthärten von über 24 °dH an den Rändern der Niederterrassen, die somit Quellen der Gesamthärte darstellen, stehen als Folge von Verdünnung in Rheinnähe oder beidseits einiger Nebenbäche (Saynbach, Nette, Wied) Gesamthärten zwischen 12 °dH und 16 °dH gegenüber.

Die mittlere Gesamthärte lag im Jahr 1993 für den Rhein bei 12 °dH, für die Mosel bei 20 °dH.

#### 5.6.4.4. Chlorid

Die Stoffkonzentrationsverteilung weicht für Chlorid erheblich von denen der bisher beschriebenen Kenngrößen ab. Ursache hierfür ist ganz offensichtlich die sehr hohe Chloridfracht der Mosel und abgeschwächt die des Rheins. So bildet sich südlich des Rheins eine „Chloridfahne“ im Niederterrassenaquifer aus, die ihren höchsten Wert von 233 mg/l Cl<sup>-</sup> am „Notbrunnen 11“ direkt neben der Moselbrücke der Bundesstraße 9 aufweist. Dies korrespondiert mit einem Gehalt von 234 mg/l Cl<sup>-</sup>, der für die Messstelle „Koblenz“ der Mosel für die 18. Messperiode (23.8.1993 bis 5.9.1993) angegeben wird. Der Chlorid-Mittelwert liegt für das Jahr 1993 an dieser Messstelle bei 207 mg/l (DEUTSCHE KOMMISSION ZUR REINHALTUNG DES RHEINS 1995).

Der Rhein weist an der Messstelle „Bad Honnef“ im gleichen Zeitraum eine Chloridkonzentration von 95 mg/l auf (Mittel 1993: 102 mg/l). An der Rheinmessstelle „Koblenz“ – ohne Mosel einfluss – wurden für die 18. Messperiode 85 mg/l ermittelt.

Die hohen Chloridgehalte des Rheins – und insbesondere der Mosel – bestimmen die Grundwasserqualität im Neuwieder Becken wesentlich stärker als die Chlorideinträge von den Rändern der Niederterrassen oder von den Niederterrassen selbst; dort wurden für große Teilbereiche im Norden des Untersuchungsgebietes Chloridgehalte um 40 mg/l festgestellt.

### 5.6.5. Hydrochemische Zeitreihen

Aus dem Untersuchungsgebiet liegen hydrochemische Zeitreihen von Rhein und Mosel (Pegelstellen Koblenz) sowie verschiedener Grundwassermessstellen vor. Für ausgewählte Messstellen sind für den Zeitraum 1988 bis 1999 die Kenngrößen Chlorid, Nitrat, Sulfat und Gesamthärte dargestellt (Abb. 9, 10), da die Stoffgehalte an diesen Messstellen durch die Infiltration von Flusswasser bzw. durch den landseitigen Grundwasserstrom dominiert werden.

Aus dem Vergleich der Gehalte von **Chlorid** im Rhein und in der durch Uferfiltrat beeinflussten Grundwassermessstelle GWM 6058 wird deutlich, dass sich die mittleren Salzkonzentrationen im Rhein seit 1992 verringert haben, dass dies jedoch aufgrund der langen Aufenthaltszeit des begleitenden Grundwasserstroms sowie des relativ hohen Anteils an landseitigem Grundwasser in der Messstelle noch nicht bemerkbar ist. Die Messstellen GWM 6063 und GWM 5076 zeigen exemplarisch die zeitliche Entwicklung des landseitigen Zustroms: Bei geringen Schwankungen bleiben die Konzentrationen im gesamten Zeitraum nahezu konstant.

Die jahreszeitlichen Konzentrationsschwankungen von **Nitrat** in Rhein und Mosel sind in den hier betrachteten Grundwassermessstellen nicht erkennbar.

An den GWM 6058 und GWM 5076 ist eine fallende Tendenz ersichtlich, die auf eine Verringerung von Stoffeinträgen hinweist.

Ein ähnliches Verhalten zeigt auch **Sulfat**, was auf die gleichen Eintragsquellen hinweist (s. a. flächenhafte Stoffverteilung in Karte 11).

Für die Kenngröße **Gesamthärte** sind – wie bei Nitrat und Sulfat – die jahreszeitlichen Schwankungen bei den beiden Flüssen sehr ausgeprägt. In den Grundwassermessstellen fehlen diese, auch ist eine fallende Tendenz nicht eindeutig erkennbar, was auf die relativ hohen, geogenen Karbonathärten zurückzuführen ist (Tab. 7).

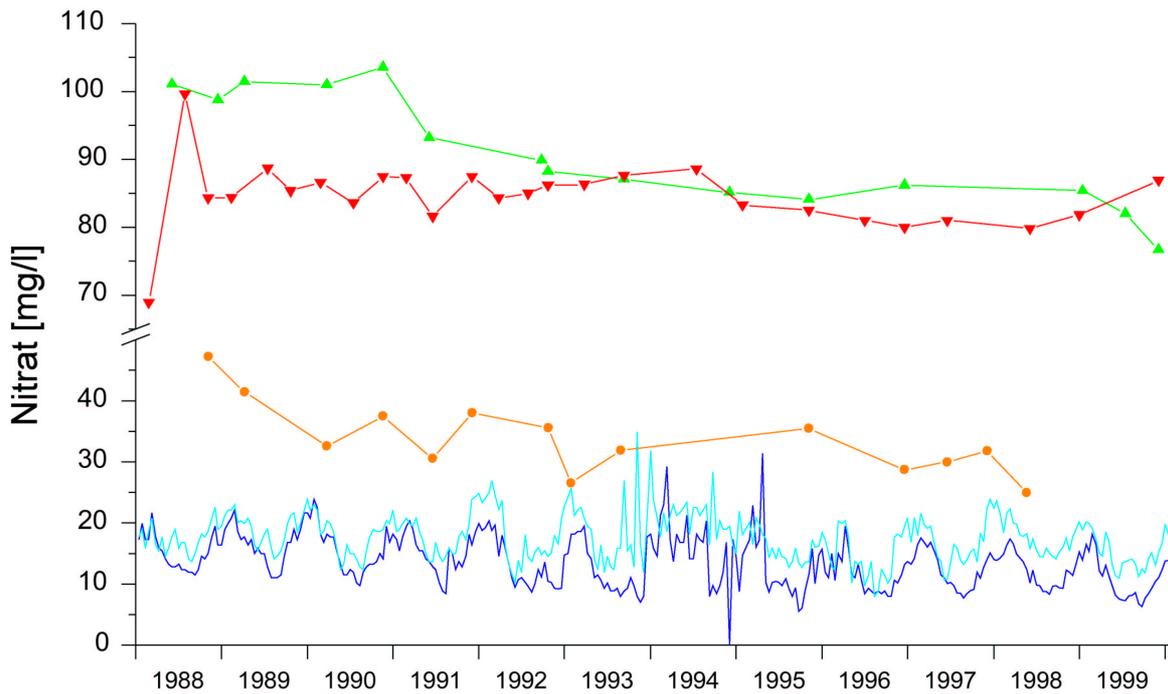
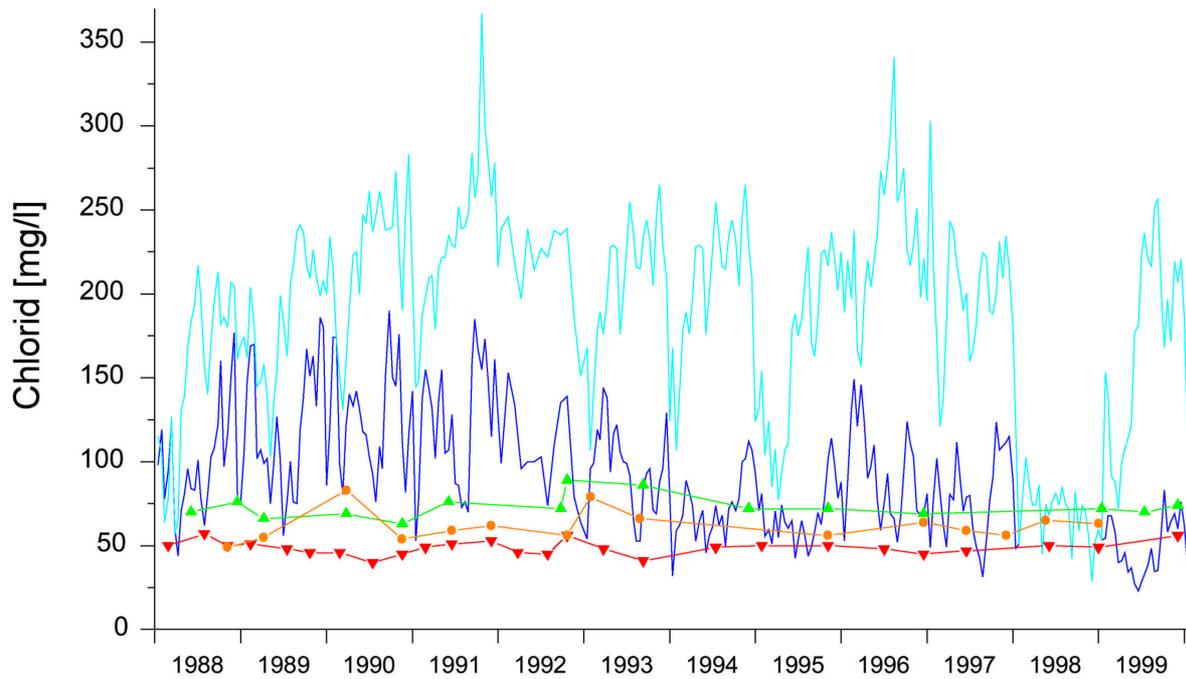


Abb. 9: Hydrochemische Zeitreihen des Rheins und der Mosel (Messstationen Koblenz) sowie der Grundwasser- messstellen für die Kenngrößen Chlorid und Nitrat mit Angabe der Entfernung zum Rhein (alle Daten vom Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz).

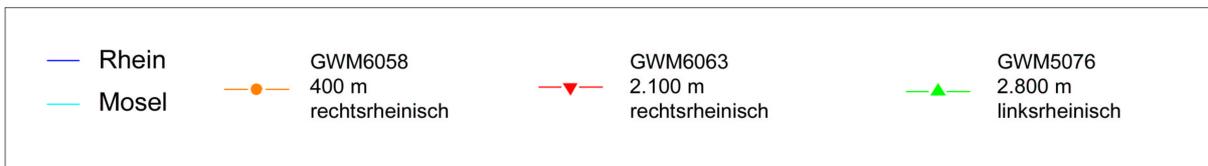
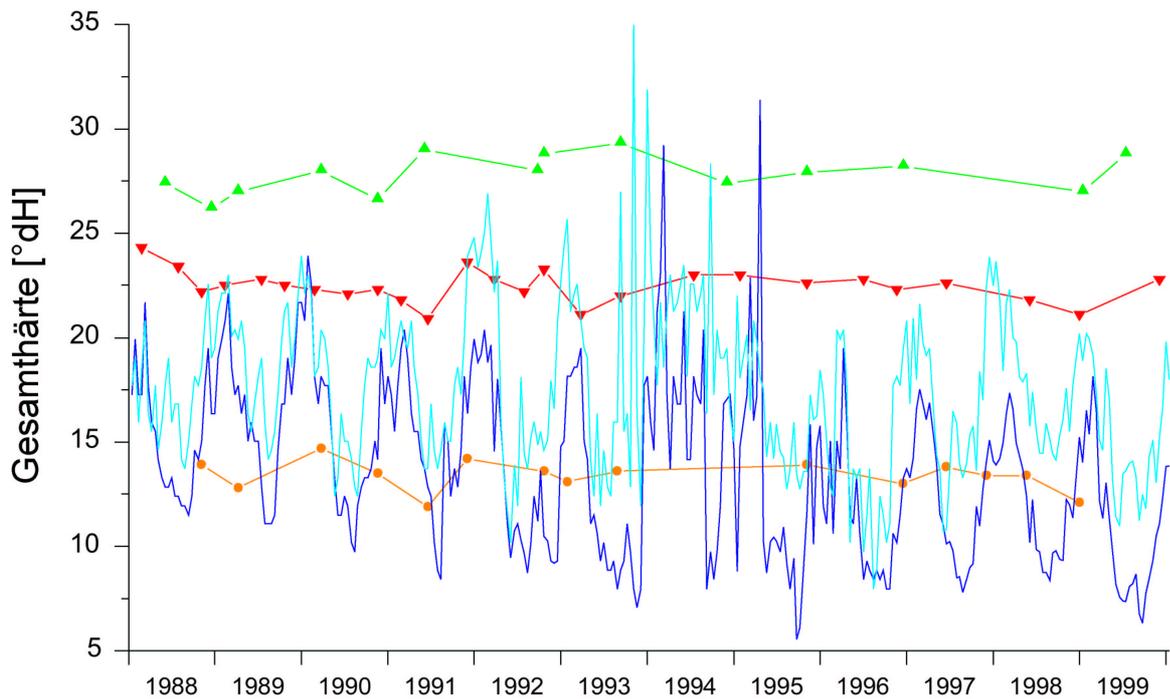
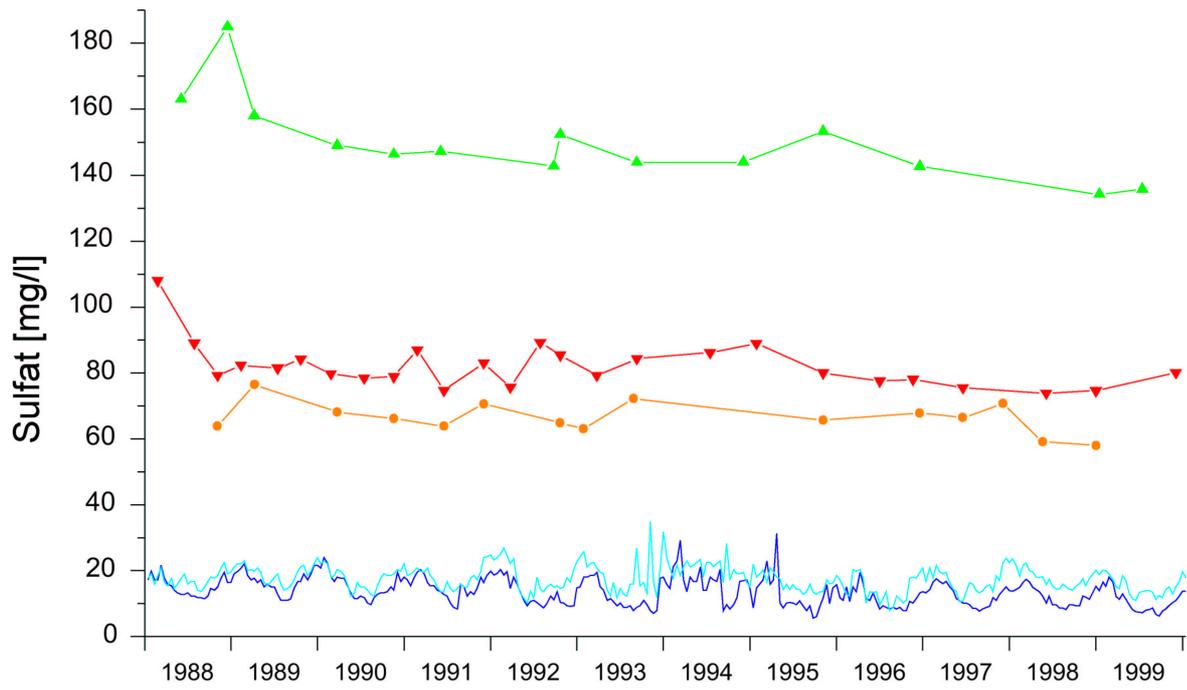


Abb. 10: Hydrochemische Zeitreihen des Rheins und der Mosel (Messstationen Koblenz) sowie der Grundwasser-messstellen für die Kenngrößen Sulfat und Gesamthärte mit Angabe der Entfernung zum Rhein (alle Daten vom Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz).

## 6. Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung

Die flächenhafte Darstellung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung (Karte 12) gibt einen Überblick über den natürlichen Schutz für das obere, großräumig zusammenhängende Grundwasser gegen Schadstoffverlagerungen mit dem Sickerwasser von der Erdoberfläche durch den Boden und den tieferen Untergrund. Die Karte liefert wertvolle Hinweise bei künftigen Planungen, bei Sanierungsvorhaben in Boden und Grundwasser sowie zur ersten Beurteilung der Auswirkungen von punktuellen Schadensquellen mit wassergefährdenden Stoffen, kann jedoch keinesfalls spezielle Detailuntersuchungen ersetzen.

### 6.1. Verfahren zur Ermittlung der Schutzfunktion

Das Verfahren, das der Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung zugrunde liegt, beschränkt sich dabei auf die Überlegung, dass die Wirksamkeit mechanischer, physiko-chemischer und mikrobieller Prozesse bei der Passage von Sickerwasser durch die Grundwasserüberdeckung maßgeblich von der Kationenaustauschkapazität des Substrates und der Verweildauer im Untergrund beeinflusst wird (HÖLTING et al. 1995).

Daher fließen in die Bewertung folgende Faktoren ein:

- Nutzbare Feldkapazität (nFK) bis 1 m  
Grundlage für die Bewertung der Schutzfunktion des Bodens anhand der nutzbaren Feldkapazität ist Karte 4,
- Gesteinsart  
Die petrographische Ausbildung der tieferen Grundwasserüberdeckung wurde aus 1225 Bohrprofilen abgeleitet. Weitere Informationen konnten anhand von Beschreibungen natürlicher Aufschlüsse und Abbaue gewonnen werden,
- Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung  
Die Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung errechnete sich für das Gebiet der Niederterrassen aus der Differenz von Geländeoberfläche und Grundwasseroberfläche bei Mittelwasserverhältnissen (Karte 9). Für das übrige Bearbeitungsgebiet lagen dagegen über die Grundwasseroberfläche nur Informationen in geringer Dichte vor, so dass der in der Fläche angesetzte Flurabstand mit einer höheren Unsicherheit behaftet ist,
- Sickerwasserrate  
Für den Parameter Sickerwasserrate wurde die nach dem Verfahren von WESSOLEK (1992) berechnete "Mittlere potentielle Grundwasserneubildung" eingesetzt (Kap. 5.5.).

Die Verknüpfung dieser unterschiedlichen Einflussgrößen erfolgt mit Hilfe eines Punktbewertungsverfahrens nach HÖLTING et al. (1995). Hierbei errechnet sich die Schutzfunktion des Bodens pauschal bis in 1 m Tiefe ( $S_1$ ) durch die Multiplikation der Punktzahl der nutzbaren Feldkapazität ( $B$ ) und der Sickerwassermenge, dargestellt als Faktor  $W$ :

$$S_1 = B * W$$

Zur Berechnung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung unterhalb des Bodens ( $S_2$ ) wird jede Einzelschicht getrennt bewertet und die Punktzahl (G) mit der jeweiligen Schichtmächtigkeit (Faktor M) multipliziert. Die Summe aller schichtspezifischen Punkte wird ebenfalls mit der Sickerwassermenge (W) multipliziert:

$$S_2 = (G_1 * M_1 + G_2 * M_2 + \dots + G_n * M_n) * W + Q^1 + D^2$$

Die Addition von  $S_1$  und  $S_2$  führt zu einer Maßzahl für die Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung, wobei für die flächenhafte Darstellung die Punktzahlen in fünf Klassen eingeteilt werden (Tab. 8):

Tab. 8: Klassifizierung der Gesamtschutzfunktion der Grundwasserüberdeckung.

Gesamtschutzfunktion	Punktzahl der Gesamtschutzfunktion	Erläuterungen
sehr gering	$\leq 500$	Grundwasserüberdeckung mit hoher bis sehr hoher vertikaler Wasserwegsamkeit und geringer bis sehr geringer Kationenaustauschkapazität bei häufig geringem bis sehr geringem Flurabstand
gering	$> 500 - 1000$	Grundwasserüberdeckung mit mäßiger bis hoher vertikaler Wasserwegsamkeit und geringer Kationenaustauschkapazität bei häufig geringem Grundwasserflurabstand
mittel	$> 1000 - 2000$	Grundwasserüberdeckung mit mäßiger bis geringer vertikaler Wasserwegsamkeit und / oder mittlerer Kationenaustauschkapazität bei häufig mittlerem Grundwasserflurabstand
hoch	$> 2000 - 4000$	Grundwasserüberdeckung mit häufig geringer vertikaler Wasserwegsamkeit und / oder hoher Kationenaustauschkapazität bei häufig hohem Grundwasserflurabstand
sehr hoch	$> 4000$	Grundwasserüberdeckung mit meist sehr geringer vertikaler Wasserwegsamkeit und / oder sehr hoher Kationenaustauschkapazität bei häufig sehr hohem Grundwasserflurabstand

<sup>1</sup> Punktzuschlag für schwebende Grundwasserstockwerke

<sup>2</sup> Punktzuschlag für artesisch gespannte Verhältnisse

## 6.2. Kurzbeschreibung der flächenhaften Verteilung

Eine streng flächendifferenzierte Beurteilung der Schutzfunktion konnte nur im Bereich der Niederterrassen erfolgen, da nur hier alle für die Berechnung der Gesamtschutzfunktion erforderlichen Parameter erhoben werden konnten. Allerdings sind, wie im übrigen Bearbeitungsgebiet, Unsicherheiten über den Aufbau der Grundwasserüberdeckung vorhanden. Diese ergeben sich vor allem aus dem fortschreitenden Bims- und Kiesabbau und den nachfolgenden Auffüllungen im Zuge der Rekultivierung.

In den Gebieten, welche die Niederterrassen umrahmen, ist z. T. keine zusammenhängende Grundwasseroberfläche ausgebildet. Darüber hinaus erlaubt eine zu geringe Anzahl von Bohrungen häufig keine zuverlässige Aussage über eine größere Fläche. Es wurden deshalb den geologisch abgrenzbaren Körpern aus zugehörigen Bohrprofilen Schutzfunktionswerte zugeordnet und diese – wegen der damit verbundenen größeren Unsicherheit – zu Schutzfunktionsklassen größerer Spannweite zusammengefasst (Farbschraffuren in Karte 12).

Keine Auswertung erfolgte für die Bereiche von Siedlungsflächen, da die Schichten der Grundwasserüberdeckung durch eine intensive Bebauung oft tiefreichend gestört, z. T. verdichtet oder abgetragen sind.

Für das Bearbeitungsgebiet ergibt sich deshalb folgendes Bild:

Im Zentralbereich des Neuwieder Beckens mit den pleistozänen Niederterrassensedimenten ist die Schutzfunktion der grundwasserüberdeckenden Schichten, aufgebaut aus hochdurchlässigen Kiesen und Sanden, bereichsweise überdeckt von Auensedimenten, Hochflutlehm und / oder Aufschüttungen nur gering bis sehr gering. Höhere Schutzfunktionswerte treten in Abhängigkeit von der Mächtigkeit der Bimsablagerungen, der Hochflutlehme und der feinkörnigen Nahtrinnensedimente zum Rand der Niederterrassen hin auf.

Die anhand von einzelnen Bohrungen ermittelten Schutzfunktionswerte der Grundwasserüberdeckung im Bereich der Mittelterrassen nördlich der Niederterrassen ergeben einen Schwankungsbereich von gering bis mittel. Nur in kleineren Arealen ist z. T. eine hohe Schutzfunktion gegeben aufgrund größerer Flurabstände in Verbindung mit geringdurchlässigen Schichten der Grundwasserüberdeckung.

In den nordöstlich und nordwestlich anschließenden Schiefen und Sandsteinen des Devon ist das Grundwasser nur gering bis sehr gering vor potentiell Schadstoffeintrag geschützt. Dies ist durch die relativ geringe Schutzfunktion der Festgesteine in Verbindung mit einem geringen Wasserspeichervermögen der Böden und einer im Untersuchungsgebiet relativ hohen Sickerwassermenge bedingt. Mittlere bis hohe Schutzfunktionswerte ergeben sich in Bereichen, in denen die devonischen Gesteine von Bims, Fließerde und / oder Löss, der teilweise über 10 m mächtig ist, bedeckt sind. Auch die feinkörnigen Sedimente des Tertiär bieten einen guten Schutz für das Grundwasser. Dagegen tragen die tertiären Kies- und Sandablagerungen sowie die Schotter der Hauptterrassen, die bereichsweise die devonische Abfolge überlagern, nur zu einer unwesentlichen Erhöhung der Schutzfunktion bei. Mögliche, über dem Hauptgrundwasserleiter ausgebildete schwebende Grundwasserstockwerke, die zu einer örtlichen Verbesse-

rung der Schutzfunktion führen würden, konnten wegen der geringen Datendichte nicht in der flächenhaften Berechnung berücksichtigt werden.

Südlich und südwestlich der Niederterrassen bilden Mittel- und Hauptterrassen den oberen Hauptgrundwasserleiter. Die Gesamtschutzfunktion im Bereich der Mittelterrassen bei Koblenz ist meist nur sehr gering bis gering. Sie verbessert sich südlich von Andernach auf mittlere bis hohe Werte. Auch im Verbreitungsgebiet der Hauptterrassen ergeben sich durch größere Flurabstände und mächtigere Lößauflagerungen mittlere bis hohe Schutzfunktionswerte, z. T. wird sogar die Schutzfunktionsklasse „sehr hoch“ erreicht. Nur im Bereich des Ausstreichens dieser grobklastischen Sedimente verringert sich die Schutzfunktion. Südlich von Andernach liegen aufgrund von mächtigen Lößablagerungen und Böden mit hoher nutzbarer Feldkapazität hohe Schutzfunktionswerte vor.

Im südwestlichen Teil des Untersuchungsgebietes wird der Grundwasserleiter von einem Basalt-Lavastrom gebildet. Aus Bohrprofilen ist ersichtlich, dass die Überdeckung der Basalte in ihrer Mächtigkeit sehr stark schwankt, woraus sich mittlere bis sehr hohe Schutzfunktionswerte ableiten. Geringere Werte treten in den vulkanischen Schlackenablagerungen auf.

Für die Flächen tertiärer Tone ist eine nur sehr geringe Schutzwirkung angegeben. Dieser scheinbare Widerspruch erklärt sich dadurch, dass das auf der Oberfläche gestaute Grundwasser dem nächstgelegenen oberen Grundwasserleiter zufließen kann.

In den Talauen, wie z. B. im Nettetal oder im Talbereich der Wied und des Aubachs, ergibt sich eine geringe bis sehr geringe Schutzfunktion.

## **7. Potentielle Nitratauswaschung**

Nitrat – die wichtigste Quelle für die Stickstoffversorgung der Pflanzen – wird wegen seiner negativen Ladung kaum an die ebenfalls überwiegend negativ geladenen Sorptionskomplexe des Bodens gebunden und wird daher mit dem Sickerwasser ausgewaschen.

Die Gefahr, dass Nitrat mit dem Sickerwasser den Wurzelraum verlässt und in das Grundwasser gelangt, ist umso größer,

- je geringer die Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (FKWe),
- je ausgeprägter das Quellungs- und Schrumpfungsverhalten des Bodens,
- je klüftiger der Untergrund,
- je größer die Sickerwassermenge,
- je geringer der Flurabstand ist.

Für die Bewertung der natürlichen Standortverhältnisse im Hinblick auf die Nitratbelastung des Grundwassers eignet sich nach der AG BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZ- UND -SCHONGEBIETEN DER DBG (1992) die Austauschhäufigkeit (%/Jahr) des Bodenwassers bei

Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (FKWe). Sie wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\text{Austauschhäufigkeit [\%/Jahr]} = \frac{\text{Sickerwassermenge [mm/Jahr]}}{\text{FKWe [mm]}} * 100$$

Die FKWe wurde nach der 4. Auflage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 1996), aus der Bodenart, der Lagerungsdichte und dem Gehalt an organischer Substanz unter Berücksichtigung der in den Jahren 1992 und 1993 durchgeführten bodenphysikalischen Untersuchungen an 60 Bodenprofilen abgeschätzt. Das Verfahren zur Berechnung der Sickerwassermenge ist in Kap. 5.5. beschrieben.

Die Austauschhäufigkeit beschreibt, wie oft im Verlauf eines Jahres die Bodenlösung im effektiven Wurzelraum durch die Sickerwasserbewegung ausgetauscht wird. Eine geringe Austauschhäufigkeit bedeutet ein geringes, eine hohe Austauschhäufigkeit ein hohes standörtliches Nitratverlagerungsrisiko (Tab. 9).

Tab. 9: Höhe und Beurteilung der Austauschhäufigkeit des Bodenwassers in Abhängigkeit von der Sickerwassermenge und der Feldkapazität im effektiven Wurzelraum FKWe (nach AG BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZ- UND -SCHONGEBIETEN DER DBG 1992).

FKWe	Austauschhäufigkeit					
	mittlere Sickerwassermenge [mm/Jahr]					
	50	100	150	200	300	400
[mm]	[%/Jahr]					
50	100%	200%	300%	400%	600%	800%
100	50%	100%	150%	200%	300%	400%
150	33%	67%	100%	133%	200%	267%
200	25%	50%	75%	100%	150%	200%
250	20%	40%	60%	80%	120%	160%
300	17%	33%	50%	67%	100%	133%
400	13%	25%	38%	50%	75%	100%
500	10%	20%	30%	40%	60%	80%
Bewertung des standörtlichen Verlagerungsrisikos (pot. Nitratauswaschung)						
Austauschhäufigkeit [%/Jahr]	< 70	70-100	100-150	150-250	> 250	
	sehr gering	gering	mittel	groß	sehr groß	

Böden aus verlagertem, mehr oder weniger humosem Bodenmaterial und tonreiche Böden, die zu Trockenrissbildung neigen, werden eine Stufe schlechter bewertet als es aufgrund ihrer Austauschhäufigkeit der Fall wäre. Grundwassernahe Standorte (Grundwasserflurabstand < 8 dm) und Standorte im Überflutungsbereich werden grundsätzlich als sehr hoch gefährdet eingestuft.

Durch Stauwasser oder Bodenverdichtungen erzeugter Luftmangel kann zu einer nicht quantifizierbaren Reduktion von Nitrat führen.

Die Ermittlung der Austauschhäufigkeit basiert allein auf bodenkundlichen und klimatischen Eingangsgrößen und ist nach HENNINGS (1994) zur Ableitung quantitativer Aussagen zur Nitrat- auswaschung nicht geeignet, da die angebauten Kulturarten, die zu- und abgeführten Stickstoff- mengen und die herbstlichen Nitratgehalte im Boden nicht berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse wurden in einer Karte der potentiellen Nitratauswaschung aus landwirtschaftlich genutzten Böden dargestellt (Karte 13). Die Flächenanteile der fünf Auswaschungsgefähr- dungsklassen sind Abb. 11 zu entnehmen.

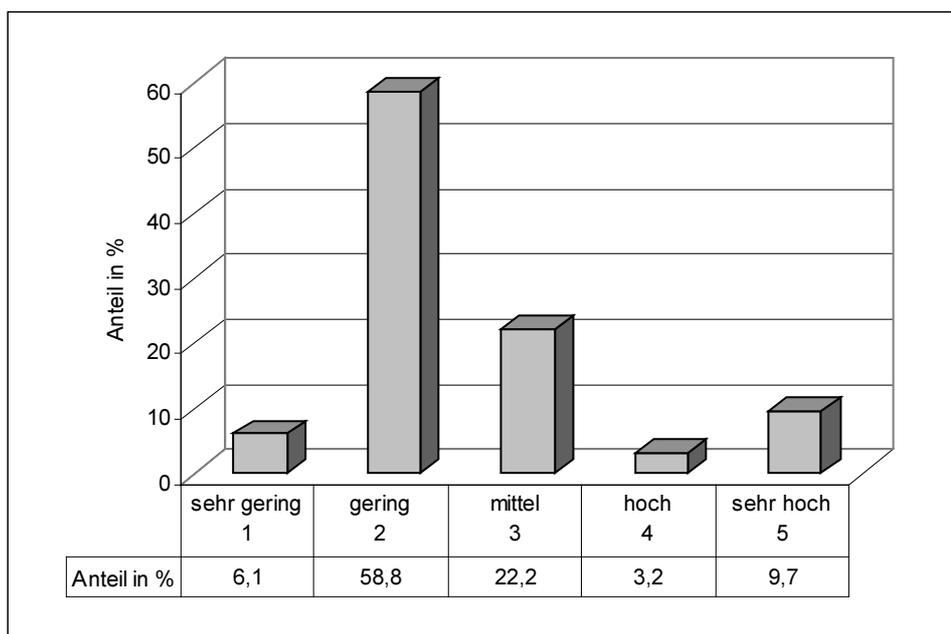


Abb. 11: Prozentuale Flächenanteile der Nitratauswaschungsgefährdungsklassen der landwirtschaftlich genutzten Böden.

Für ca. 13 % der Fläche ergibt sich eine sehr hohe bzw. hohe Nitratauswaschungsgefährdung. 65 % der Fläche weisen ein geringes bzw. sehr geringes Verlagerungsrisiko auf.

## 8. Schriften

- AD-HOC-ARBEITSGRUPPE HYDROGEOLOGIE (1997): Hydrogeologische Kartieranleitung. – Geol. Jb., G, **2**, 157 S., 15 Abb., 6 Tab., 10 Anl. – [Hrsg.]: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Staatliche Geologische Dienste in der Bundesrepublik Deutschland, Hannover.
- AG BODENNUTZUNG IN WASSERSCHUTZ- UND -SCHONGEBIETEN DER DBG (1992): Strategien zur Reduzierung standort- und nutzungsbedingter Belastungen des Grundwasser mit Nitrat. 42 S., Oldenburg.
- AG BODEN (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Aufl., Nachdr., 392 S., 33 Abb., 91 Tab. – [Hrsg.]: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Staatliche Geologische Dienste in der Bundesrepublik Deutschland, Hannover.
- AHRENS, W. & QUIRING, H. (1929): Geologische Karte von Preußen und benachbarten Ländern 1 : 25 000, Blatt Neuwied. – Preuß. Geologische Landesanstalt, Berlin.
- ALTHOFF, S. & BERTHOLD, G. & BRAHMER, G. & V. PAPE, W.-P. & TOUSSAINT, B. (1995): Mathematisch-numerisches Grundwassermodell Hessisches Ried – Teilmodell Ermittlung der Grundwasserneubildung. – HLFU, Jahresbericht 1994, **180**, S. 85-91, Wiesbaden.
- ARBEITSGRUPPE WASSERVERSORGUNGSPLAN (1998): Wasserversorgungsplan, Teilgebiet 1, 97 S., 12 Abb., 9 Tab., 6 Anl. – [Hrsg.]: Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, Mainz.
- (1999): Wasserversorgungsplan, Teilgebiet 2, 69 S., 12 Abb., 6 Tab., 6 Anl. – [Hrsg.]: Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, Mainz.
- ARBEITSKREIS FÜR BODENSYSTEMATIK DER DBG [Hrsg.] (1998): Systematik der Böden und der bodenbildenden Substrate Deutschlands. – Mitt. deutsch. bodenkundl. Ges., **86**, 180 S., Oldenburg.
- BIBUS, E. (1980): Zur Relief-, Boden- und Sedimententwicklung am unteren Mittelrhein. – Frankfurter geowiss. Arb., D, **1**, 296 S., 50 Abb., 8 Tab., Frankfurt a. M.
- BOENIGK, W. (1978): Gliederung der altquartären Ablagerungen in der Niederrheinischen Bucht. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **28**, S. 135-212, 6 Abb., 6 Tab., 2 Taf., Krefeld.
- BOENIGK, W. & FRECHEN, M. (1998): Zur Geologie der Deckschichten von Kärlich / Mittelrhein. – Eiszeitalter und Gegenwart, **48**, S. 38-49, 4 Abb., 2 Tab., Hannover.
- BOGAARD, P. v.d. & SCHMINCKE, H.U. (1984): The eruptive center of the late Quaternary Laacher See Tephra. – Geol. Rdsch., **73**, 3, S. 933-980, Stuttgart.
- (1990): Die Entwicklungsgeschichte des Mittelrheinraumes und die Eruptionsgeschichte des Osteifel-Vulkanfeldes. – In: SCHIRMER, W. [Hrsg.]: Rheingeschichte zwischen Mosel und Maas. – deuqua-Führer, **1**, S. 166-190, Hannover.
- DEUTSCHE KOMMISSION ZUR REINHALTUNG DES RHEINS [Hrsg.] (1995): Zahlentafeln der physikalisch-chemischen Untersuchungen, 1993. – 216 S., Wiesbaden.
- DEUTSCHER VEREIN FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU [Hrsg.] (1993): DVWK-Regeln **128/1992**: Entnahme und Untersuchungsumfang von Grundwasserproben. 36 S., Hamburg, Berlin.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1995): Niederschlags- und Verdunstungshöhen im Gebiet Neuwieder Becken und Katzenelnbogen. Gutachten Deutscher Wetterdienst, Bearbeitung: A. KLÄMT, Berlin. – [unveröff.].
- DEUTSCHES GEWÄSSERKUNDLICHES JAHRBUCH (1997): Rheingebiet, Teil III, 1993, 296 S. – [Hrsg.]: Landesumweltamt NRW, Essen.

- DEVAY, L. (1994a): Ergebnisse der Messungen in den Forschungsbohrungen Neuwied B 1 und Neuwied II; Vergleich mit der geophysikalischen Vorerkundung im Neuwieder Becken. Bericht NLFb-GGA, Archiv-Nr. 111 691, 32 S., 1 Tab., 24 Anl., Hannover.
- (1994b): Geophysikalische Bohrlochmessungen in der Forschungsbohrung Kettig 1 zur Erkundung des Aquifer-Potentials im Neuwieder Becken. Bericht NLFb-GGA, Archiv-Nr. 112 546, 23 S., 3 Tab., 9 Anl., Hannover.
- GIEBEL, H. & GÖLZ, E. & THEIS H.-J. & UBELL, K. (1990): Hydrogeologie und Grundwasserhaushalt im Neuwieder Becken. – Bes. Mitt. z. Dt. Gew. Jb., **54**, 57 S. – [Hrsg.]: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz.
- GIEBEL, H. & HOMMES, A. (1988): Zum Austauschvorgang zwischen Fluss- und Grundwasser. – Weitergehende Auswertung aus dem Neuwieder Becken. – Deutsche gewässerkundl. Mitt. (DGM), **32** (1, 2), S. 18-27, Koblenz.
- GIEBEL, H. & THEIS, H.J. (1989): Stationäre und instationäre Fließberechnungen mit dem Grundwassermodell „Neuwieder Becken“, Teil I: Stationäre Berechnungen. – Deutsche gewässerkundl. Mitt. (DGM), **33** (5, 6), S. 161-166, Koblenz.
- GRABERT, H. (1998): Abriß der Geologie von Nordrhein-Westfalen. 351 S., 204 Abb., 11 Tab., (Schweizerbart) Stuttgart.
- GRINAT, M. (1993a): Geoelektrische Tiefensondierungen im Neuwieder Becken. Bericht NLFb-GGA, Archiv-Nr. 110 707, 15 S., 2 Tab., 14 Anl., Hannover.
- (1993b): Elektromagnetische Messungen im Neuwieder Becken 1991 / 92. Bericht NLFb-GGA, Archiv-Nr. 110 025, 19 S., 1 Tab., 52 Anl., Hannover.
- HAQ, B.U. & VAN EYSINGA, F.W.B. (1987): Geological Time Table. (Elsevier) Amsterdam.
- HAUDE, W. (1955): Zur Bestimmung der potentiellen Verdunstung auf möglichst einfache Weise. – Mitt. Deutscher Wetterdienst, **11**, 2, S. 1-24, 11 Abb., 4 Tab., Bad Kissingen.
- HEIZMANN, E.P.J. & MÖRS, T. (1994): Neue Wirbeltierfunde aus dem Oberoligozän der Tongrube Kärlich und ihre Bedeutung für die Tertiär-Stratigraphie des Neuwieder Beckens (Rheinland-Pfalz, Deutschland). – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **192**, 1, S. 17-36, 24 Abb., 1 Tab., Stuttgart.
- HENNINGS, V. [Koordination] (1994): Methodendokumentation Bodenkunde – Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. – Geol. Jb., F, **31**, 242 S., 28 Abb., 123 Tab., Hannover.
- HOEPPENER, R. (1955): Tektonik im Schiefergebirge. – Geol. Rdsch., **44**, S. 26-58, 10 Abb., 1 Taf., Stuttgart.
- HOLL, H.-G. (1995): Die Siliziklastika des Unterdevon im Rheinischen Trog (Rheinisches Schiefergebirge). – Bonner geowiss. Schriften, **18**, 163 S., 39 Abb., 1 Taf., 10 Anl., Bonn.
- HÖLTING, B. & HAERTLÉ, T. & HOHBERGER, K.-H. & NACHTIGALL, K.H. & VILLINGER, E. & WEINZIERL, W. & WROBEL, J.-P. (1995): Konzept zur Ermittlung der Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. – Geol. Jb., C, **63**, S. 5-24, 5 Tab., Hannover.
- IKINGER, A. (1995): Bodenbildung unter Laacher Bims im Mittelrheinischen Becken. Diss. Univ. Düsseldorf, 131 S., 4 Beil., Düsseldorf. – [unveröff.].
- (1996): Bodentypen unter Laacher See-Tephra im Mittelrheinischen Becken und ihre Deutung. – Mainzer geowiss. Mitt., **25**, S. 223-284, 16 Abb., 6 Tab., 2 Ktn., Mainz.
- KADOLSKY, D. (1975): Zur Paläontologie und Biostratigraphie des Tertiärs im Neuwieder Becken. 1. Taxonomie und stratigraphische Bedeutung von Mollusken. – Decheniana, **128**, S. 113-137, 15 Abb., Bonn.
- KOSSMAT, F. (1927): Gliederung des varistischen Gebirgsbaues. – Abh. sächs. geol. L.-Anst., **1**, 39 S., Leipzig.

- KOZENY, J. (1933): Theorie und Berechnung der Brunnen. – Wasserkraft und Wasserwirtschaft, **28**, **8**, S. 88-92, **9**, S. 101-105, **10**, S. 113-116, München, Berlin.
- KRAUSS, I. (1977): Das Einschwingverfahren – Transmissivitätsbestimmung ohne Pumpversuch. – *gwf Wasser / Abwasser*, **118**, **9**, S. 407-410, München.
- LOGAN, J. (1964): Estimating transmissibility from routine production tests of water wells. – *Ground Water*, **2**, **1**, S. 35-37, 2 Tab., Columbus, Ohio.
- MEYER, W. (1965): Gliederung und Altersstellung des Unterdevons südlich der Siegener Hauptüberschiebung in der Südost-Eifel und im Westerwald (Rheinisches Schiefergebirge). *MAX-RICHTER-Festschr.*, S. 35-47, Claustal-Zellerfeld.
- (1994): *Geologie der Eifel*. 3. Aufl., 618 S., 154 Abb., 13 Tab., (Schweizerbart) Stuttgart.
- MEYER, W. & STETS, J. (1996): *Das Rheintal zwischen Bingen und Bonn*. – *Samml. geol. Führer*, **89**, 386 S., 44 Abb., (Borntraeger) Berlin, Stuttgart.
- MÜLLER, C. (1984): Transmissivitätsmessungen mit dem Einschwingverfahren: vergleichende Untersuchungen im vollkommenen und unvollkommenen Brunnen = Determination of transmissivity by free water level oscillation. *Diss. Univ. Kiel*, 105 S., Kiel.
- PFLUG, H.D. (1959): Die Deformationsbilder im Tertiär des rheinisch-saxonischen Feldes. – *Freib. Forsch.-H.*, **C**, **71**, S. 1-110, 13 Abb., 5 Tab., Berlin.
- PUCHER, R. (1993): Eine bodenmagnetische Vermessung bei Neuwied (Neuwieder Becken). *Bericht NLFb-GGA, Archiv-Nr. 110 376*, 13 S., 2 Tab., 5 Anl., Hannover.
- QUIRING, H. (1927): *Geologische Karte von Preußen und benachbarten Ländern 1 : 25 000, Blatt Bendorf*. – *Preuß. Geologische Landesanstalt*, Berlin.
- (1931): *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten deutschen Ländern 1 : 25 000, Blatt Bendorf*. 67 S., 4 Abb. – [Hrsg.]: *Preuß. Geologische Landesanstalt*, Berlin.
- QUIRING, H. & ZIMMERMANN, E. (1930): *Geologische Karte von Preußen und benachbarten Ländern 1 : 25 000, Blatt Bassenheim*. – *Preuß. Geologische Landesanstalt*, Berlin.
- RENGER, M. & STREBEL, O. & GIESEL, W. (1974): Beurteilung bodenkundlicher, kulturtechnischer und hydrologischer Fragen mit Hilfe von klimatischer Wasserbilanz und bodenphysikalischen Kennwerten, 4. Bericht: Grundwasserneubildung. – *Z. Kulturtechn. u. Flurbereinigung*, **15**, S. 353-366, Berlin, Hamburg.
- ROMBERG, W. (1989): *Geotechnisches Gesamtgutachten, Teil 1: Geologische Situation am Standort Mülheim-Kärlich, Baugrundverhältnisse und Gründungsbedingungen*. 72 S., Darmstadt. – [unveröff.].
- SCHENDEL, U. (1969): Klimatische Wasserbilanz und Bewässerungsbedarf. – *Z. Bewässerungswirtschaft*, **4**, **1**, S. 13-23, Frankfurt a. M.
- SCHIRMER, W. (1990a): Der känozoische Werdegang des Exkursionsgebietes. – In: SCHIRMER, W. [Hrsg.]: *Rheingeschichte zwischen Mosel und Maas*. – *deuqua-Führer*, **1**, S. 9-33, 10 Abb., Hannover.
- (1990b): Terrassentreppe am Ostrand von Neuwied. – In: SCHIRMER, W. [Hrsg.]: *Rheingeschichte zwischen Mosel und Maas*. – *deuqua-Führer*, **1**, S. 99-104, Hannover.
- SCHMIERER, TH. (1928): *Geologische Karte von Preußen und benachbarten Ländern 1 : 25 000, Blatt Koblenz*. – *Preuß. Geologische Landesanstalt*, Berlin.
- SCHRÖDTER, H. (1985): *Verdunstung, Anwendungsorientierte Messverfahren und Bestimmungsmethoden*. 186 S., (Springer) Berlin, Heidelberg, New York, Tokio.

- SEMMELE, A. (1999): Landschaftsentwicklung am Oberen Mittelrhein. – In: HOPPE, A. & STEININGER, F.F. [Hrsg.]: Exkursionen zu Geotopen in Hessen und Rheinland-Pfalz sowie naturwissenschaftlichen Beobachtungspunkten Johann Wolfgang von Goethes in Böhmen. – Schriftenreihe deutsch. geol. Ges., **8**, S. 127-149, 22 Abb., 5 Tab., Hannover.
- THEIS, C.V. (1935): Relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground water storage. – Trans. Am. Geophys. Union, **16**, S. 519-524, Richmond, Va.
- WEIDENFELLER, M. (1998): Geologische Manuskriptkarte 1 : 25 000, Quartär, Blatt 5611 Koblenz. – Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz. – [unveröff.].
- WESSOLEK, G. (1992): Untersuchungen zum Wasserhaushalt im Umlandverband Frankfurt (UVF). Studie im Auftrag des UVF, 40 S., 16 Abb., 13 Tab. – [unveröff.].

Anschriften der Bearbeiter:

DR. KURT AGSTEN  
DR. THOMAS DREHER  
DR. WERNER R. FRANKE  
DR. JÜRGEN GAD  
THORA HERKSTRÖTER  
DR. KARL-HEINZ HOHBERGER  
RUDOLF POPPE  
DR. PETER SCHÄFER  
EWALD SIEBEN  
DR. BETTINA WAGNER  
DR. MICHAEL WEIDENFELLER  
DR. ATHANASIOS WOURTSAKIS

Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Emy-Roeder-Straße 5, D-55129 Mainz

Dr. MARTINA BODEM  
ehemals Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz,  
jetzt Regierungspräsidium Darmstadt, Luisenplatz 2, D-64283 Darmstadt

RENATE GÖBEL  
Ginnheimer Landstraße 8, D-60487 Frankfurt a. M.

DR. ALEXANDER IKINGER  
Universität Düsseldorf, Geographisches Institut, Universitätsstraße 1, D-40225 Düsseldorf

DR. HANS-DIETER SCHEER  
Pfarrer-Bensheimer-Straße 18, D-55129 Mainz

# Anhang

# Forschungsbohrung Rübenacher Höhe

R: 33 93 920

H: 55 83 420

TK 25 Blatt 5611 Koblenz

194,8 m ü. NN

Sande und Kiese der  
**Hauptterrasse**

----- Teufe: 23,8 m -----

## **Kärlich-Formation**

Tone, dunkelblaugrau  
darüber tuffitische Tone  
(Knubb) und Trachyt-Tuff

----- Teufe: 32,5 m -----

## **Neuwied-Gruppe** höherer Teil

Tone und Tonmergel,  
graugrün bis hellbraun,  
mit Einschaltungen von  
hellen Kalkschluff-Lagen  
(Maifeld-Formation)

----- Teufe: 40,0 m -----



# Forschungsbohrung Schmidtenhöhe 1

R: 34 05 020

H: 55 99 600

TK 25 Blatt 5611 Koblenz

320,4 m ü. NN

----- Teufe: 18,0 m -----

Kiese, Sande und Tone der  
**Arenberg-Formation**



----- Teufe: 36,0 m -----

# Forschungsbohrung Rügenacher Höhe

R: 33 93 920

H: 55 83 420

TK 25 Blatt 5611 Koblenz

194,8 m ü. NN

## Neuwied-Gruppe

höherer Teil

Tonmergel, graugrün,  
mit Einschaltungen von hellen  
Kalkschluff-Lagen  
(Maifeld-Formation)

----- Teufe: 76,86 m -----

## Neuwied-Gruppe

tieferer Teil

„Braunkohlenton-Serie“

Tone und Tonmergel,  
graugrün, mit Einschaltungen  
von Braunkohle, einzelne  
schluffig-feinsandige Lagen

----- Teufe: 90,0 m -----



# Forschungsbohrung Schmidtenhöhe 2

R: 34 04 720

H: 55 78 970

TK 25 Blatt 5611 Koblenz

300,5 m ü. NN

----- Teufe: 66,0 m -----

## Neuwied-Gruppe tieferer Teil

„Klebsand-Serie“

Feinsande, tonig und Schluffe,  
tonig-feinsandig, weißgrau,  
intensiv gelbbraun und rot gefleckt

----- Teufe: 79,8 m -----

Zersetztes Unterdevon

----- Teufe: 84,0 m -----



# Forschungsbohrung Miesenheim

R: 26 01 760

H: 55 78 970

TK 25 Blatt 5510 Neuwied

ca. 120 m ü. NN

----- Teufe: 88,0 m -----

## Neuwied-Gruppe tieferer Teil

### „Klebsand-Serie“

Tone, schluffig und Schluffe,  
feinsandig, weißgrau,  
im höheren Teil stark  
hellbraun bis rot gefleckt

----- Teufe: 94,95 m -----

## Neuwied-Gruppe tieferer Teil

### „Vallendar-Schotter“

Sande und Kiese,  
dunkelgrau bis weißgrau,  
mit dünnen Braunkohle-  
Einschaltungen

----- Teufe: 107,25 m -----

## Unterdevonische Tonschiefer

