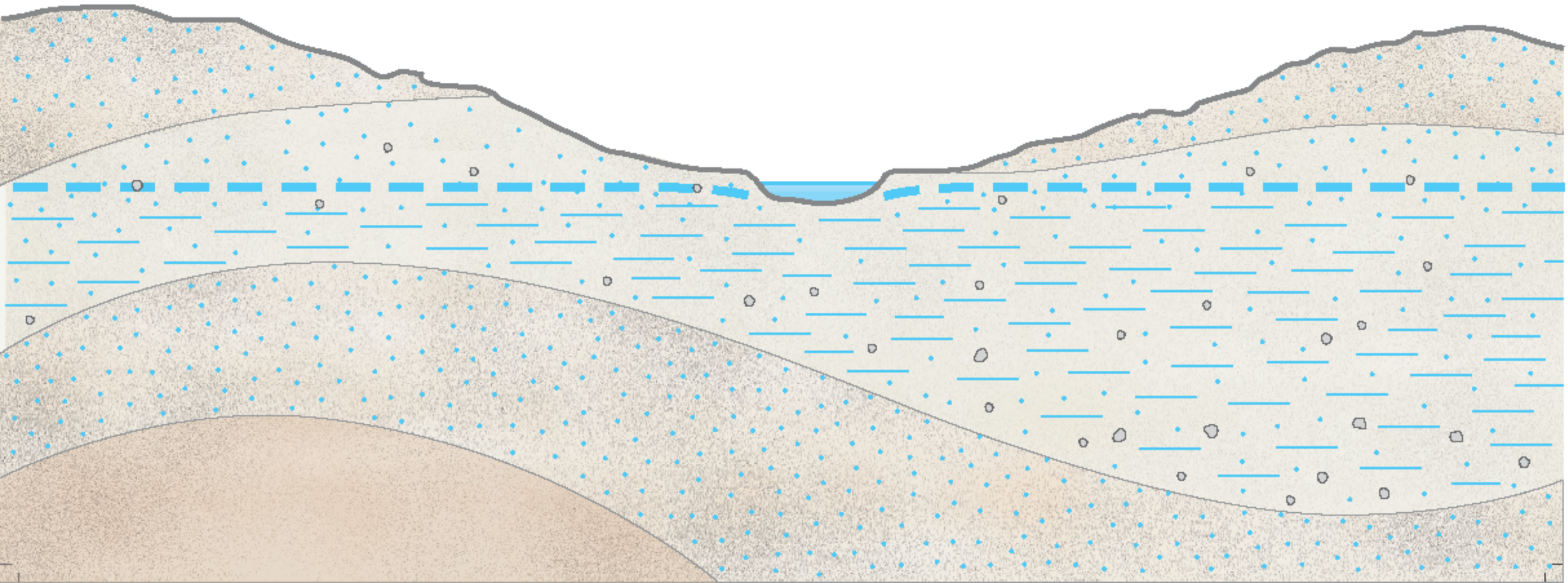
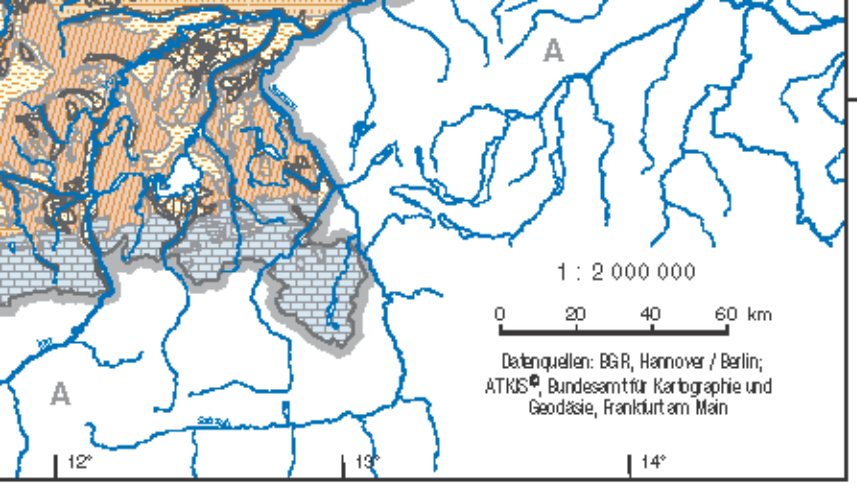
5 Grundwasser





en

mergelsteine

ksandsteine

marsch

hstoffe, Hannover

HYDROLOGISCHER ATLAS VON DEUTSCHLAND

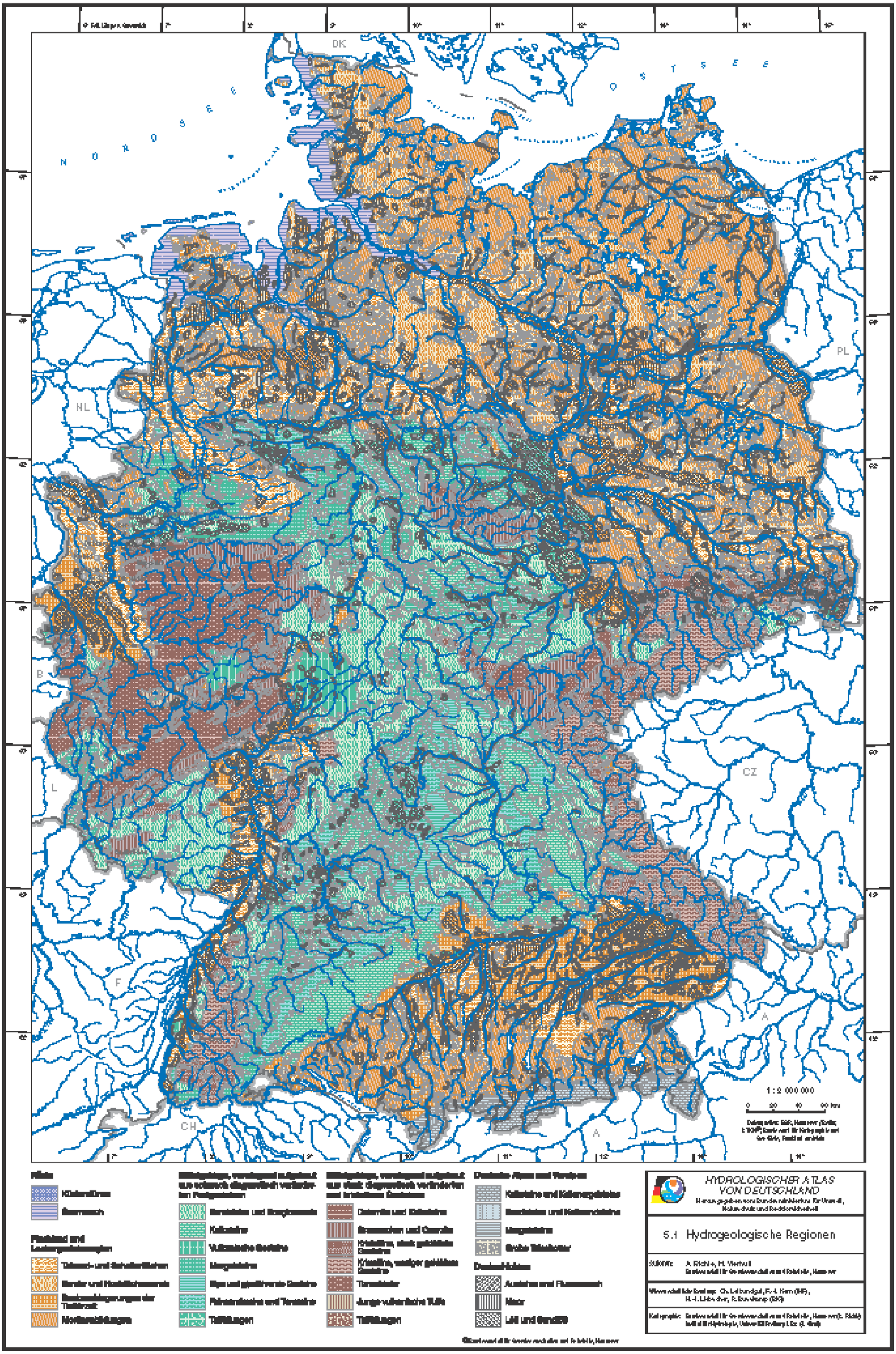
Herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

5.1 Hydrogeologische Regionen

Autoren: A. Richts, H. Vierhuff
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

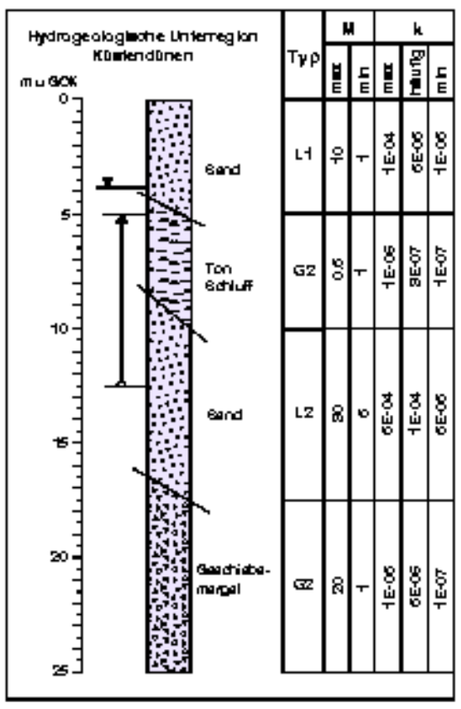
Wissenschaftliche Beratung: Ch. Leibundgut, F.-J. Kern (IHF), H.-J. Liebscher, R. Busskamp (BfG)

Kartographie: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover (A. Richts)
Institut für Hydrologie, Universität Freiburg i. Br. (J. Strub)

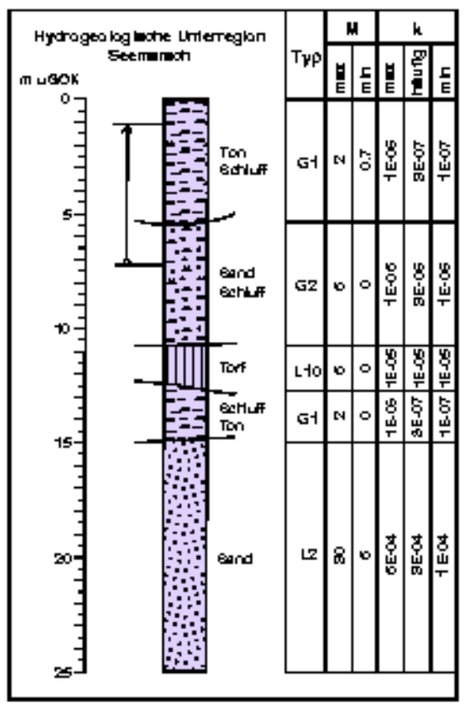

DK
NORDSEE
OSTSEE
NL
PL
B
L
CZ
F
A
CH
1 : 2 000 000
0 20 40 60 km
Klimaeinfluss
Seemasch
Fluviatil und Lockergesteinsregionen
Tideeinfluß
Sander und Hochflächensande
Rückzugsgebiete der Tiefkarst
Moränenablagerungen
Mittelgebirge, vorwiegend aufgebaut aus relativ diagenetisch veränderten Festgesteinen
Sandsteine und Konglomerate
Kalksteine
Vulkanische Gesteine
Mergelsteine
Ton- und gipshaltige Gesteine
Feinsandsteine und Tonsteine
Tiefbohrungen
Mittelgebirge, vorwiegend aufgebaut aus stark diagenetisch veränderten und kristallinen Gesteinen
Dolomite und Kalksteine
Sandsteine und Quarzite
Kristalline, stark gefaltete Gesteine
Kristalline, weniger gefaltete Gesteine
Tonschiefer
Junge vulkanische Tuffe
Tiefbohrungen
Deutsche Alpen und Voralpen
Kalksteine und Kalkmergelsteine
Sandsteine und Kalkmergelsteine
Mergelsteine
Grobe Talschotter
Deutsche Küsten
Ausstriche und Flussmarsch
Moor
Löß und Sandlöß
HYDROLOGISCHER ATLAS VON DEUTSCHLAND
5.1 Hydrogeologische Regionen

5.1 Hydrogeologische Regionen – Typprofile I

Hydrogeologische Region Küste



Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
L1	10	1	1E-04	5E-05	1E-05
G2	0,5	1	1E-05	5E-07	1E-07
L2	30	5	5E-04	1E-04	5E-05
G2	20	1	1E-05	5E-05	1E-07



Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
G1	2	0,7	1E-05	5E-07	1E-07
G2	5	0	1E-05	5E-05	1E-05
L10	5	0	1E-05	1E-05	1E-05
G1	2	0	1E-05	5E-07	1E-07
L2	30	5	5E-04	5E-04	1E-04

Erläuterungen zur Profilbeschreibung

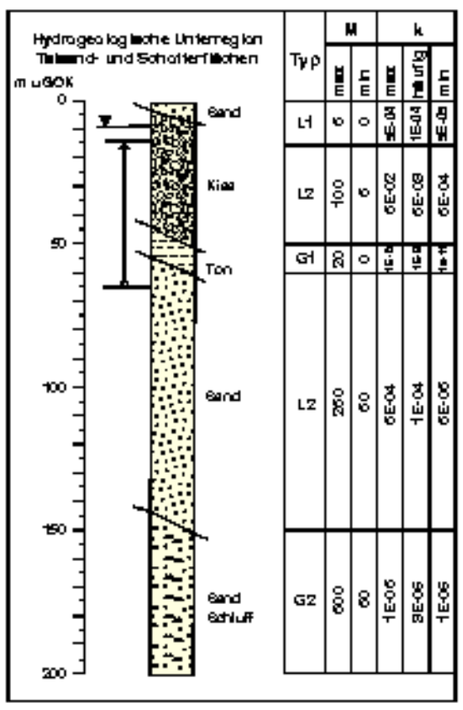
Typen der hydrogeologischen Einheiten

Grundwasserleiter	L	Grundwassergeringleiter	G
Porengrundwasserleiter		**Lockergestein**	
silikatisch	L1	silikatisch	G1
silikatisch/carbonatisch	L2	silikatisch/carbonatisch	G2
carbonatisch	L3		
organisch	L10		
Kluftgrundwasserleiter		**Festgestein**	
silikatisch	L4	silikatisch	G4
silikatisch/carbonatisch	L5	silikatisch/carbonatisch	G5
carbonatisch	L6	silikatisch/carbonatisch sulfatisch	G6
sulfatisch	L7	organisch	G10
Karstgrundwasserleiter		Grundwassernichtleiter	N
carbonatisch	L8		
sulfatisch	L9		

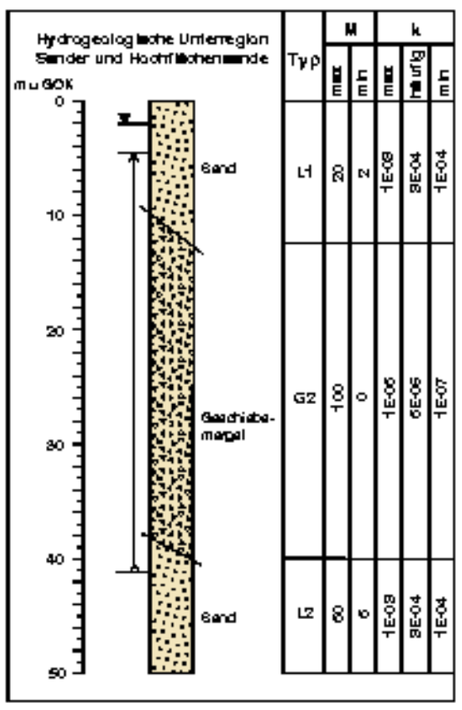
Typ — Typ der hydrogeologischen Einheit
M — Mächtigkeit in m
k — k_f-Wert in m/s; 1E-03 = 10^{-3} = 0,001
m u GOK — Tiefe unter Geländeoberkante in m

Grundwasserspiegel, frei
Grundwasserdruckspiegel

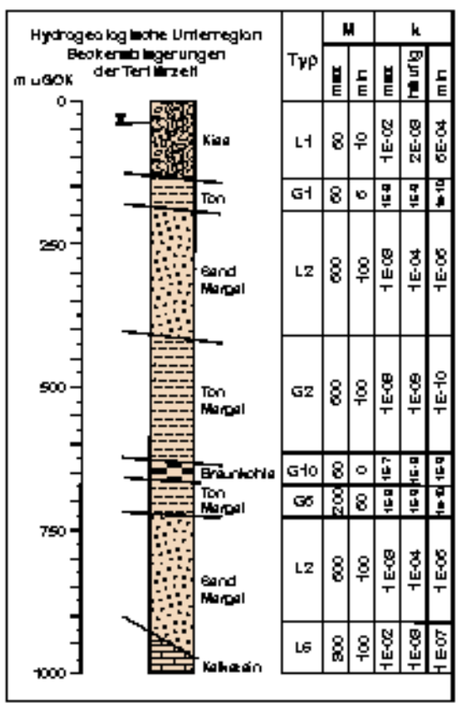
Hydrogeologische Region Flachland und Lockergesteinsregion



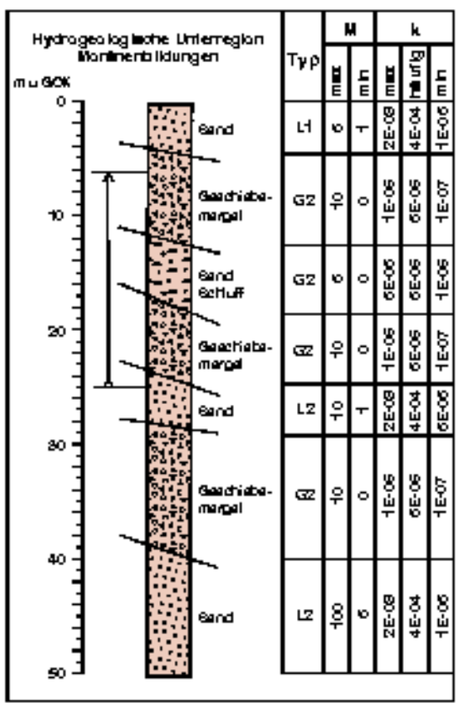
Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
L1	5	0	5E-04	1E-04	5E-05
L2	100	5	5E-02	5E-03	5E-04
G1	20	0	1E-05	1E-06	1E-07
L2	250	50	5E-04	1E-04	5E-05
G2	500	50	1E-05	5E-06	1E-06



Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
L1	20	2	1E-03	5E-04	1E-04
G2	100	0	1E-05	5E-05	1E-07
L2	50	5	1E-03	5E-04	1E-04

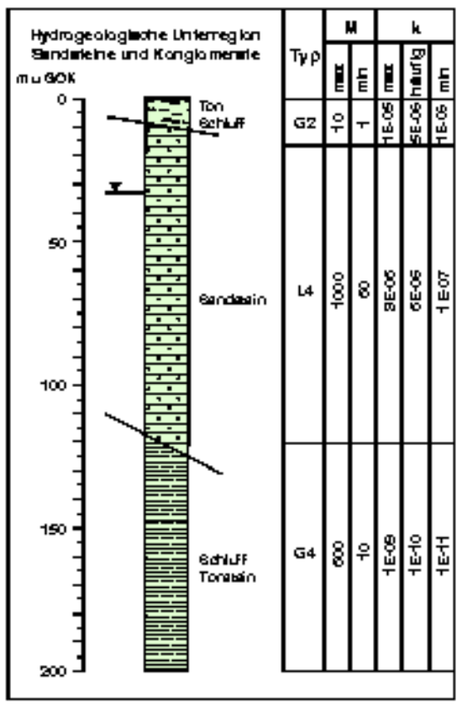


Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
L1	50	10	1E-02	2E-03	5E-04
G1	50	5	1E-4	1E-4	1E-5
L2	500	100	1E-03	1E-04	1E-05
G2	500	100	1E-03	1E-04	1E-05
G10	50	0	1E-7	1E-8	1E-9
G5	200	50	1E-4	1E-5	1E-6
L2	500	100	1E-03	1E-04	1E-05
L5	300	100	1E-02	1E-03	1E-07

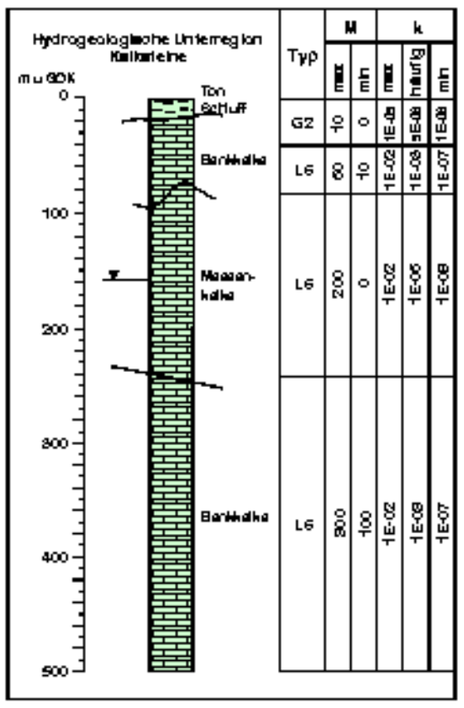


Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
L1	5	1	2E-03	4E-04	1E-05
G2	10	0	1E-05	5E-05	1E-07
G2	5	0	5E-05	5E-05	1E-05
G2	10	0	1E-05	5E-05	1E-07
L2	10	1	2E-03	4E-04	5E-05
G2	10	0	1E-05	5E-05	1E-07
L2	100	5	2E-03	4E-04	1E-05

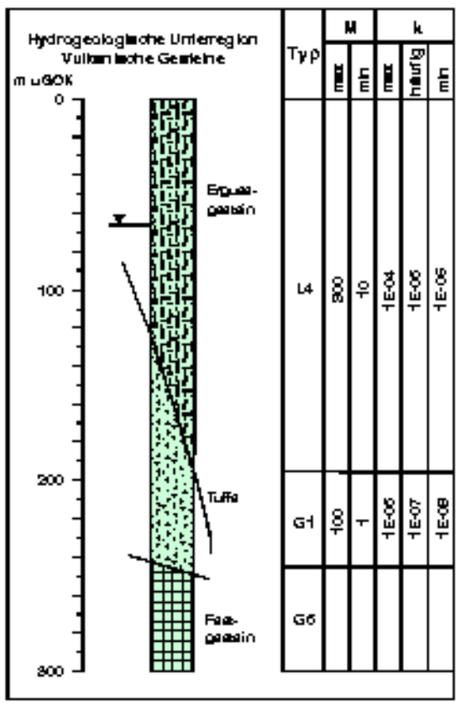
Hydrogeologische Region Mittelgebirge, vorwiegend aufgebaut aus schwach diagenetisch veränderten Festgesteinen



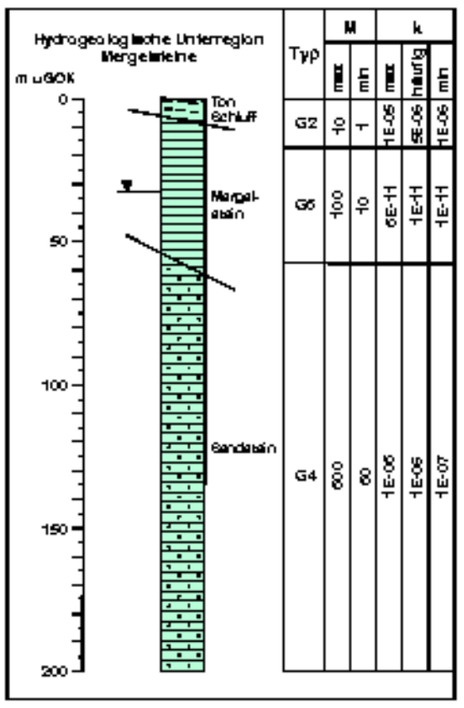
Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
G2	10	1	1E-05	5E-06	1E-05
L4	1000	50	5E-05	5E-05	1E-07
G4	500	10	1E-03	1E-10	1E-11



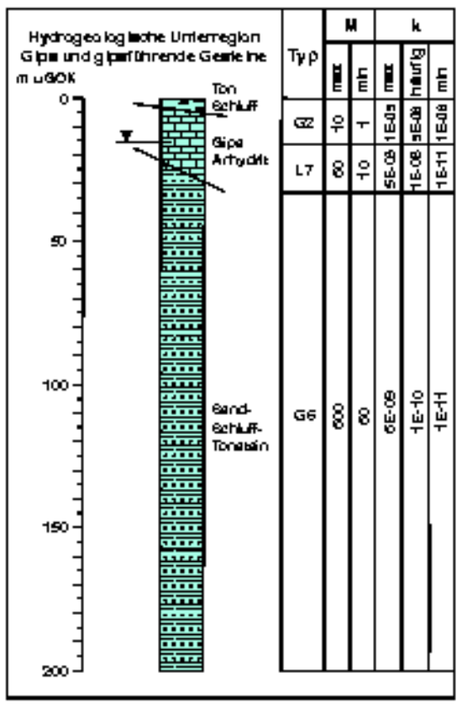
Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
G2	10	0	1E-05	5E-06	1E-06
L5	50	10	1E-02	1E-03	1E-07
L5	200	0	1E-02	1E-05	1E-08
L5	500	100	1E-02	1E-08	1E-07



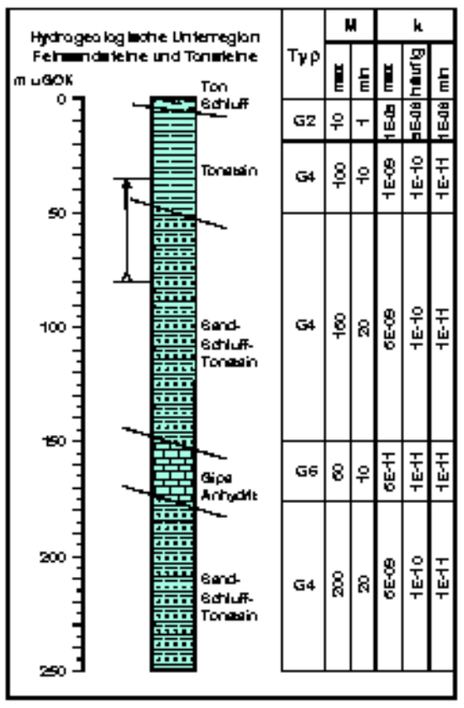
Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
L4	500	10	1E-04	1E-05	1E-05
G1	100	1	1E-05	1E-07	1E-08
G5					



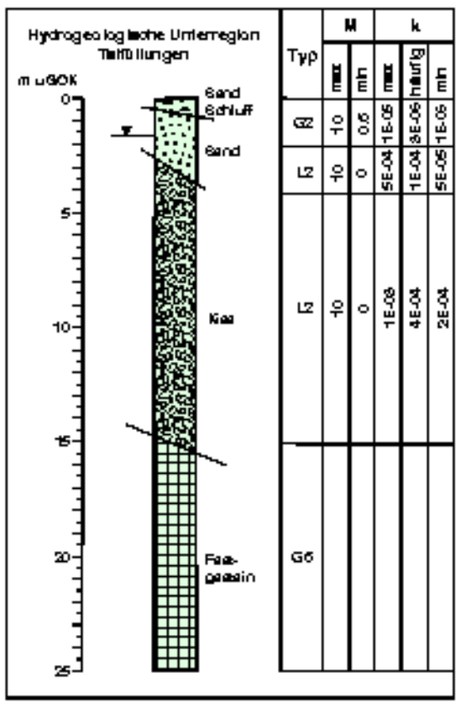
Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
G2	10	1	1E-05	5E-06	1E-06
G5	100	10	5E-11	1E-11	1E-11
G4	500	50	1E-05	1E-05	1E-07



Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
G2	10	1	1E-03	1E-08	1E-08
L7	50	10	5E-03	1E-08	1E-11
G5	500	50	5E-09	1E-10	1E-11



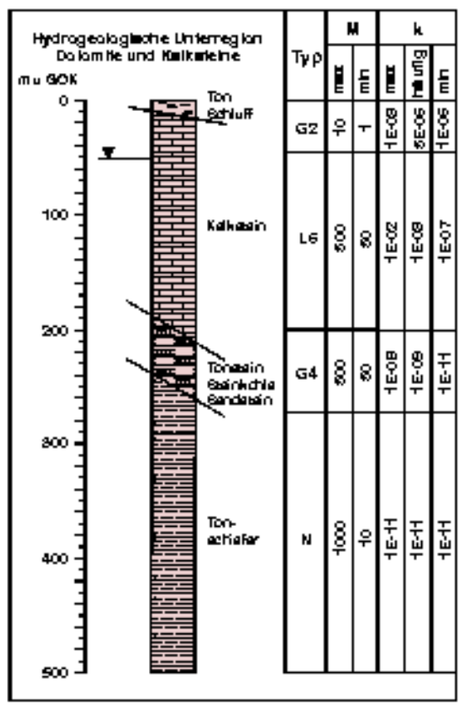
Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
G2	10	1	1E-03	1E-08	1E-08
G4	100	10	1E-09	1E-10	1E-11
G4	150	20	5E-09	1E-10	1E-11
G5	50	10	5E-11	1E-11	1E-11
G4	200	20	5E-09	1E-10	1E-11



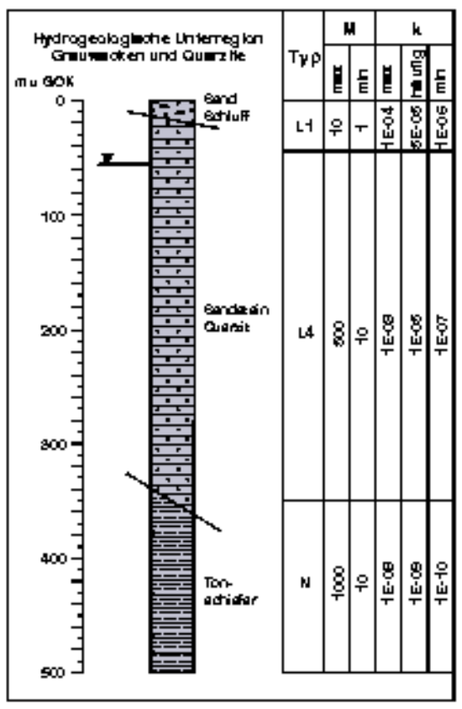
Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
G2	10	0,5	1E-05	3E-06	1E-05
L2	10	0	5E-03	1E-03	5E-05
L2	10	0	1E-03	4E-04	2E-04
G5					

5.1 Hydrogeologische Regionen – Typprofile II

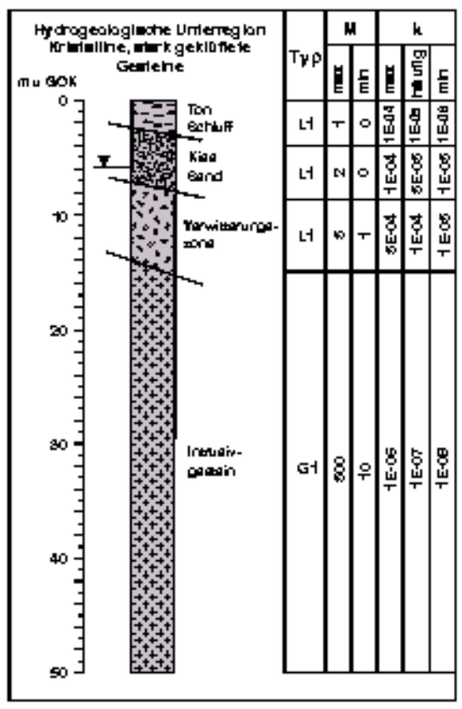
Hydrogeologische Region Mittelgebirge, vorwiegend aufgebaut aus stark diagenetisch veränderten und kristallinen Gesteinen



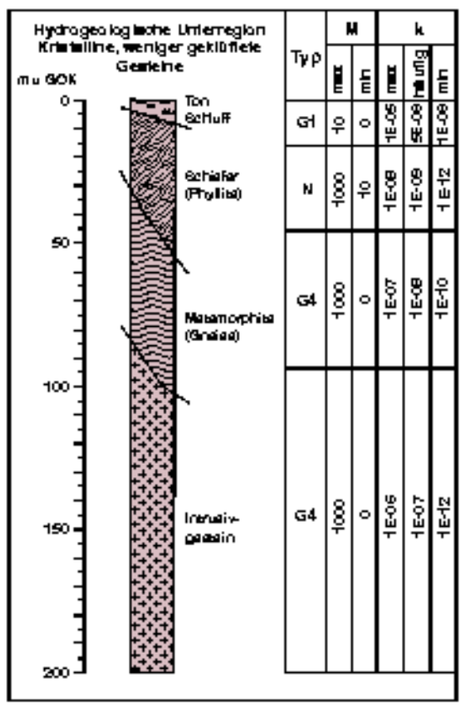
Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
G2	10	1	1E-03	5E-05	1E-05
L6	500	50	1E-02	1E-03	1E-07
G4	500	50	1E-08	1E-09	1E-11
N	1000	10	1E-11	1E-11	1E-11



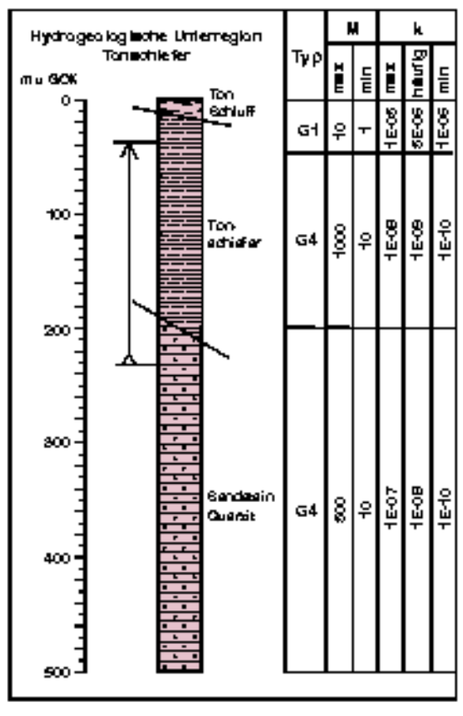
Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
L1	10	1	1E-04	5E-05	1E-05
L4	500	10	1E-08	1E-05	1E-07
N	1000	10	1E-08	1E-09	1E-10



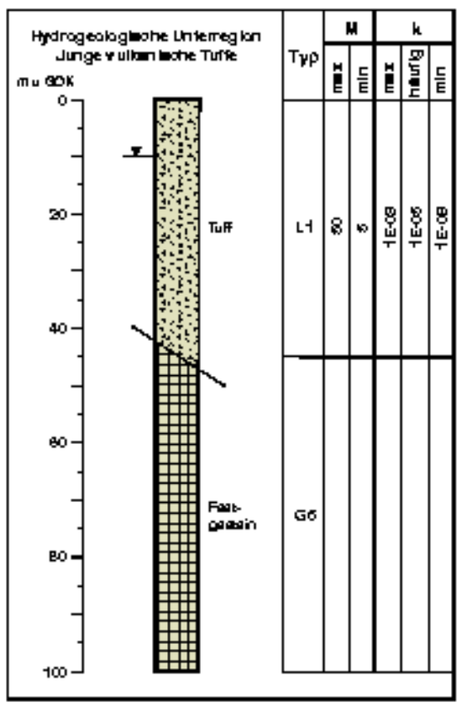
Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
L1	1	1	1E-04	1E-04	1E-06
L1	2	0	1E-04	5E-05	1E-06
L1	5	1	5E-04	1E-04	1E-05
G1	500	10	1E-06	1E-07	1E-08



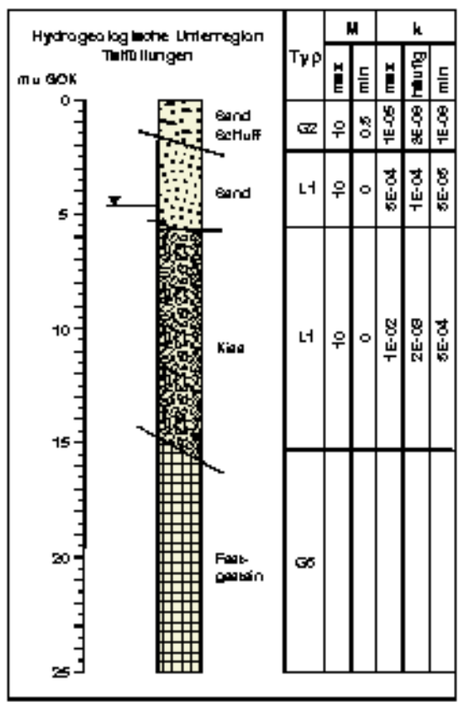
Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
G1	10	0	1E-05	5E-06	1E-08
N	1000	10	1E-08	1E-09	1E-12
G4	1000	0	1E-07	1E-08	1E-10
G4	1000	0	1E-06	1E-07	1E-12



Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
G1	10	1	1E-05	5E-06	1E-05
G4	1000	10	1E-08	1E-09	1E-10
G4	500	10	1E-07	1E-08	1E-10

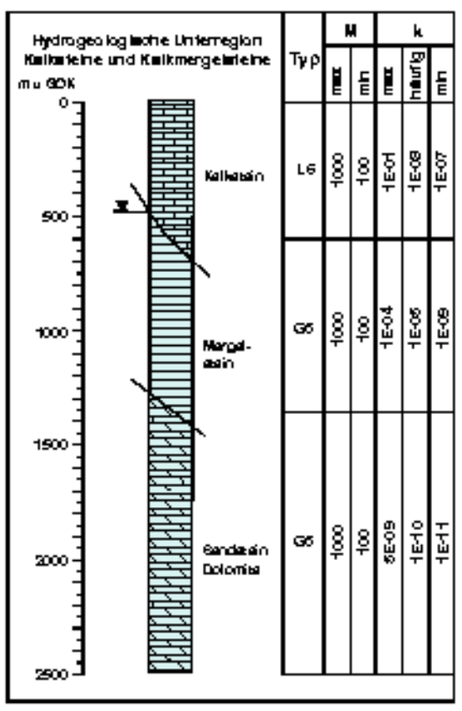


Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
L1	50	5	1E-08	1E-05	1E-08
G5					

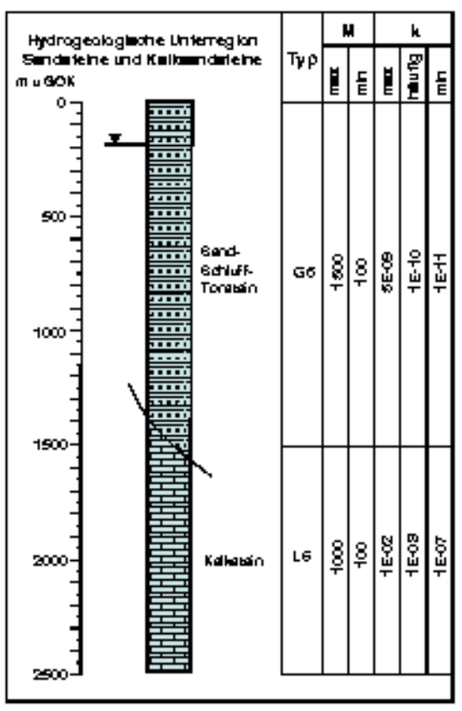


Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
G2	10	0.5	1E-05	5E-06	1E-08
L1	10	0	5E-04	1E-04	5E-05
L1	10	0	1E-02	2E-03	5E-04
G5					

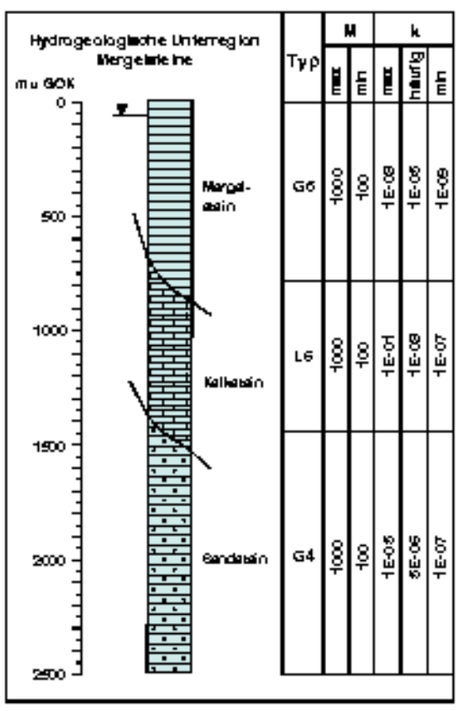
Hydrogeologische Region Deutsche Alpen und Voralpen



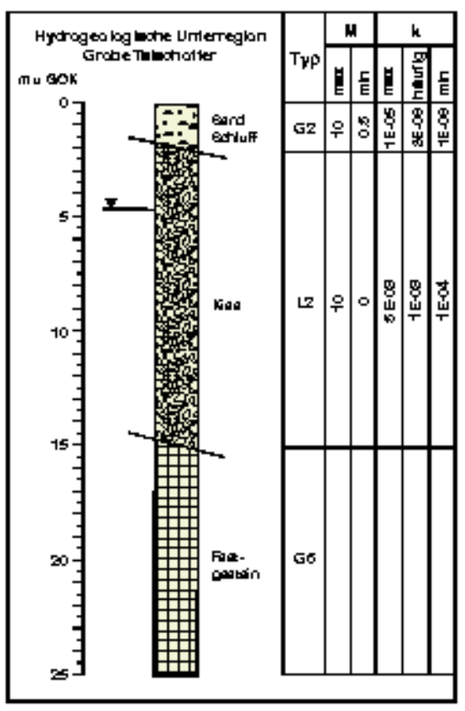
Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
L6	1000	100	1E-01	1E-03	1E-07
G5	1000	100	1E-04	1E-05	1E-09
G5	1000	100	5E-09	1E-10	1E-11



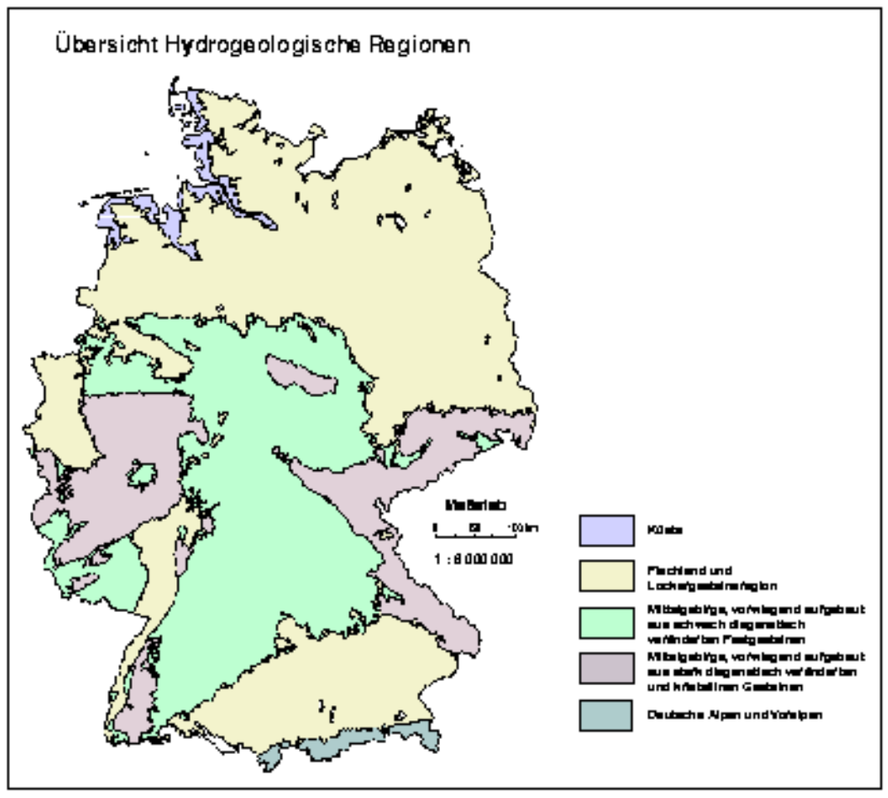
Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
G5	1500	100	5E-09	1E-10	1E-11
L6	1000	100	1E-02	1E-03	1E-07



Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
G5	1000	100	1E-03	1E-05	1E-09
L6	1000	100	1E-01	1E-03	1E-07
G4	1000	100	1E-05	5E-06	1E-07



Typ	M max	M min	k max	k häufig	k min
G2	10	0.5	1E-05	5E-06	1E-08
G2	10	0	5E-03	1E-03	1E-04
G5					



Erläuterungen zur Profilbeschreibung

Typen der hydrogeologischen Einheiten

Grundwasserleiter	L	Grundwassergeringleiter	G
Porengrundwasserleiter		Lockergestein	
silikatisch	L1	silikatisch	G1
silikatisch/carbonatisch	L2	silikatisch/carbonatisch	G2
carbonatisch	L3		
organisch	L10		
Kluftgrundwasserleiter		Festgestein	
silikatisch	L4	silikatisch	G4
silikatisch/carbonatisch	L5	silikatisch/carbonatisch	G5
carbonatisch	L6	silikatisch/carbonatisch sulfatisch	G6
sulfatisch	L7	organisch	G10
Karstgrundwasserleiter		Grundwassernichtleiter	N
carbonatisch	L8		
sulfatisch	L9		

Typ	Typ der hydrogeologischen Einheit
M	Mächtigkeit in m
k	k_f-Wert in m/s 1E-03 = 10^{-3} = 0,001
m u GOK	Tiefe unter Geländeoberkante in m

Grundwasserspiegel, frei

Grundwasserdruckspiegel

5.1 Hydrogeologische Regionen

Die Atlastafel „Hydrogeologische Regionen" gliedert Deutschland in Flächeneinheiten, die sich hinsichtlich der Art und Stärke der Grundwasserführung sowie der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers einheitlich beschreiben und voneinander abgrenzen lassen. Diese hydrogeologischen Eigenschaften werden direkt oder mittelbar von der Art der Gesteine einer Region und deren räumlicher Verteilung im Untergrund bestimmt. Jede Kartiereinheit wird durch ein schematisches Typprofil näher erläutert. Es zeigt den vertikalen Aufbau der angesprochenen Formationen und ist ergänzt durch Angaben zu Mächtigkeiten, Grundwasserspiegellagen und Wasserwegsamkeit.

Zur Methodik

Grundlage für die Karte 5.1 sind die digital vorliegenden Daten zur Geologischen Karte 1 : 1 000 000 (GK1000), aus der auch die lithologische Karte (Atlastafel 1.5) und die hydrogeologische Karte (Atlastafel 1.6) abgeleitet wurden. In einem ersten Arbeitsschritt werden die enthaltenen geologischen und lithologischen Attribute der Flächeneinheiten entsprechend ihrer hydrogeologisch wichtigen Merkmale interpretiert und wenigen hydrogeologisch unterscheidbaren Gesteinsklassen zugeordnet. Die Geometrie der so entstandenen hydrogeologischen Kartiereinheiten stimmt daher mit den Kartiereinheiten der lithologischen Karte in großen Gebieten überein.

Die oberflächennahen Einheiten sind jedoch nicht immer von Grundwasser erfüllt, sondern bilden gelegentlich die Grundwasserüberdeckung. Deshalb werden zur hydrogeologischen Charakterisierung der Flächen noch zusätzlich Kenntnisse über die Eigenschaften der darunter liegenden Gesteine, in denen der oberflächennahe Grundwasserkörper sich befindet oder vermutet werden kann, eingearbeitet. Hierzu wurde für bestimmte geologische Schichten (z. B. Löß, Auelehm) die Funktion einer Grundwasserüberdeckung angenommen. An solchen Stellen erhält die darunter liegende Schicht die hydrogeologische Charakterisierung als Grundwasserleiter. Ihre Abgrenzung wird durch Interpolation aus der geologischen Karte gewonnen.

Gesteinseinheiten, die hinsichtlich ihrer Wasserdurchlässigkeit ähnlich sind, können sich jedoch in ihrer hydrogeologischen Bewertung unterscheiden, je nach dem, in welcher landschaftlichen Region sie liegen. So kann z. B. ein Tal einer Mittelgebirgsregion in seiner sandigen Füllung ein eng begrenztes Grundwasservorkommen enthalten, das lateral von den umliegenden Hängen gespeist wird und in Beschaffenheit und Volumen von den Gesteinen der Talhänge abhängt; aus einem ähnlichen Sand können jedoch auch weite Flachlandgebiete aufgebaut sein, in denen selbständige und großräumige Grundwasservorkommen ausgebildet sind. Um diesen räumlichen Bezug herzustellen, wurden die hydrogeologischen Kartiereinheiten den wichtigsten Landschaftseinheiten Deutschlands, die sich mit hydrogeologischen Merkmalen beschreiben lassen, zugeordnet. Diese fünf übergeordneten hydrogeologischen Regionen umfassen jeweils zwei bis sieben Unterregionen (Tab. 1).

Tab. 1 Hydrogeologische Charakterisierung der Grundwasserregionen und Unterregionen

Hydrogeologische Region	
Unterregion	**Hydrogeologische Eigenschaften**
Küste	
Küstendünen Feinsandvorkommen in Küstennähe	Porengrundwasserleiter mit lokalen Süßwasservorkommen in Kontakt mit Salzwasser
Seemarsch Tone und Schlufe	gering durchlässige Überdeckung, meist über salzwasserbeeinflusstem Grundwasserleiter
Flachland und Lockergesteinsregion	
Talsand- und Schotterflächen Urstromtäler, Niederterrassen	Porengrundwasserleiter, meist ergiebig; verbreitet geringer Flurabstand
Sander und Hochflächensande sandige Geest	Porengrundwasserleiter, meist ergiebig; z. T. in mehreren Stockwerken
Beckenablagerungen der Tertiärzeit Molasse, Sande mit Braunkohleeinlagerungen	Porengrundwasserleiter, teilweise ergiebig; in Norddeutschland häufig bergbaulich genutzt und beeinflusst
Moränenbildungen Grund-, Stauch- und Endmoränen	meist Grundwassergeringleiter; örtlich stark wechselnde Durchlässigkeiten
Mittelgebirge vorwiegend aufgebaut aus schwach diagenetisch veränderten Festgesteinen	
Sandsteine und Konglomerate Berg- und Tafellandschaften	Kluftgrundwasserleiter mit wechselndem Anteil an Porenwasser; örtlich starke Grundwasserführung
Kalksteine Berg- und Tafellandschaften	Karstgrundwasserleiter mit verbreitet starker Grundwasserführung in Klüften und in Karsthohlräumen
Vulkanische Gesteine Vulkankegel, -schlote und -decken	Kluftgrundwasserleiter mit meist geringem Anteil an Porenwasser; örtlich starke Grundwasserführung im unverwitterten Gestein
Mergelsteine Kalkmergel und Tonmergel	Grundwassergeringleiter mit meist nur oberflächennaher, geringer Grundwasserführung, mineralstoffreich
Gips u. gipsführende Gesteine Gips, Gipsmergel	Kluftgrundwasserleiter mit meist geringer Grundwasserführung, mineralstoffreich; stellenweise Gipskarst
Feinsandsteine und Tonsteine Schiefertone, Letten	Grundwassergeringleiter mit verbreitet sehr geringer Grundwasserführung
Talfüllungen Alluvionen, Niederterrasse	Porengrundwasserleiter, häufig von Auelehm überdeckt; örtlich wichtige Grundwasservorkommen
Mittelgebirge vorwiegend aufgebaut aus stark diagenetisch veränderten und kristallinen Gesteinen	
Dolomite und Kalksteine meist nur örtlich begrenzte Vorkommen	Karstgrundwasserleiter mit örtlich starker Grundwasserführung in Klüften und in Karsthohlräumen
Grauwacken und Quarzite	Kluftgrundwasserleiter mit geringem Anteil an Porenwasser; meist geringe Grundwasserführung in Klüften
Kristalline, stark geklüftete Gesteine Granit, Porphyr, Orthogneis	Kluftgrundwasserleiter mit geringer, örtlich größerer Grundwasserführung; in der Verwitterungszone auch Porengrundwasser
Kristalline, weniger geklüftete Gesteine Paragneis, alte Vulkanite	Kluftgrundwasserleiter mit meist sehr geringer Grundwasserführung
Tonschiefer kristalline Schiefer, Phyllite	Grundwassergeringleiter, fein geklüftet; keine nennenswerten Grundwasservorkommen
Junge vulkanische Tuffe Bims, Tuffit, auch mit Basaltlagen	Grundwasserleiter, lokal mit großem Porenraum; in Tallagen starke Grundwasserführung möglich
Talfüllungen Alluvionen, Niederterrasse	Porengrundwasserleiter; örtlich wichtige Grundwasservorkommen
Deutsche Alpen und Voralpen	
Kalksteine u. Kalkmergelsteine	Grundwasserführung in Klüften und in Karsthohlräumen; meist großer Flurabstand
Sandsteine u. Kalksandsteine	Kluftgrundwasserleiter; örtlich Grundwasserführung
Mergelsteine	Grundwassergeringleiter; örtlich geringe Grundwasserführung
Grobe Talschotter Alluvionen, Niederterrasse	häufig sehr ergiebige Porengrundwasserleiter

Typprofile

Die beiden Ergänzungsblätter „Hydrogeologische Regionen – Typprofile I und II" erschließen quantitative Zusatzinformationen zum Kartenbild. Für jede Unterregion bzw. Kartiereinheit wurde auf der Grundlage von Publikationen zur regionalen Hydrogeologie Deutschlands ein schematisches lithologisches Säulenprofil entworfen. Es zeigt den prinzipiellen Schichtenaufbau des Untergrundes, wie er in der angesprochenen Region vorherrscht. Die farbliche Zuordnung der Profile orientiert sich an den entsprechenden Flächenfarben der Atlaskarte.

Die Gesteinsarten werden zusätzlich nach den hydrogeologischen Haupttypen Grundwasserleiter (L), Grundwassergeringleiter (G) und Grundwassernichtleiter (N) unterschieden. Die Grundwasserleiter lassen sich entsprechend der Art ihrer Grundwasserführung in die drei Klassen Poren-, Kluft- und Karstgrundwasserleiter aufteilen, während die Grundwassergeringleiter nach ihrem Charakter als Locker- oder Festgestein unterschieden werden. Eine weitere Unterscheidung der Typen der hydrogeologischen Einheiten geschieht nach dem vorherrschenden chemischen Milieu des Gesteins (hauptsächlich silikatisch, carbonatisch, daneben auch sulfatisch und organisch). Im Ergebnis kann zwischen zehn Typen von Grundwasserleitern (L1 – L10) und sechs Typen von Grundwassergeringleitern (G1 – G6) differenziert werden. Grundwassernichtleiter kommen nur als Grundwassersohlschicht im tieferen Untergrund vor und werden nicht weiter untergliedert.
Den Profilen zugeordnet sind Angaben zur Durchlässigkeit und Mächtigkeit der einzelnen Schichteinheiten sowie zur Lage des Grundwasserspiegels oder des Druckspiegels im Falle eines gespannten Grundwasserleiters. Naturgemäß können die Werte, die zum großen Teil auf statistischen Auswertungen von Bohrungen beruhen, nur grobe Übersichten oder Schätzwerte mit großen Spannweiten angeben. Aus den Tiefenangaben in den Säulenprofilen lassen sich jedoch in grober Näherung typische hydrogeologische Größen wie z. B. Mächtigkeit und Art der Überdeckung, Mächtigkeit des Grundwasserleiters, Grundwasserstand und die Druckverhältnisse (frei für den unbedeckten und gespannt für den bedeckten Grundwasserleiter) ableiten.

Da die geochemischen Eigenschaften der Grundwasserleiter und der Deckschichten die natürliche chemische Zusammensetzung der Grundwässer bestimmen, wurden die Abgrenzungen der hydrogeologischen Regionen auch für die flächenhafte statistische Auswertung und Darstellung der geogenen Grundwasserbeschaffenheit verwendet (Atlastafel 5.7).

Zur Kartendarstellung

Die hydrogeologische Region *Küste* ist durch den Einfluss von Nord- und Ostsee gekennzeichnet. Hier sind nur eng begrenzte nutzbare Grundwasserkörper vorhanden, z. B. auf den Düneninseln vor der friesischen Küste. Zumeist stehen aber die grundwasserführenden Lockergesteine in direktem Kontakt zu unterirdisch eingedrungenem Meerwasser und sind deshalb von Salzwasser beeinflusst.

Die hydrogeologische Region *Flachland und Lockergesteinsregion* erstreckt sich über große Teile von Nord- und Süddeutschland. Sie ist hauptsächlich aus lockeren Ablagerungen (Sand, Kies, Lehm) der jüngsten geologischen Geschichte aufgebaut. Da sich hier der Aufbau des Untergrundes meist nicht aus der Art der oberflächennahen Schichten ableiten lässt, erfolgt die hydrogeologische Gliederung dieser Region großenteils aufgrund der Landschaftsform. Dabei werden die Tallagen der Flüsse im Alpenvorland mit jungen, groben Schottern und die Urstromtäler in Norddeutschland in einer Einheit zusammengefasst und den Hochlagen der Terrassen bzw. den Sanderhochflächen gegenübergestellt. Bezeichnend sind hierbei die häufigen Abgrenzungen von unterschiedlichen Deckschichten (Auelehm, Moor). Daneben werden die Flächen mit ausgedehnten Vorkommen von oberflächennah anstehenden Moränen, d. h. geringleitenden Schichten, unterschieden, wobei jedoch nicht ausgeschlossen wird, dass im tieferen Untergrund noch bedeutende Grundwasserleiter vorhanden sein können. Hier sind besonders die eiszeitlichen Erosionsrinnen Norddeutschlands zu nennen (Atlastafel 5.2 „Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen"). Ebenfalls zu dieser Region werden die tertiären Beckenablagerungen gerechnet, die weite Teile des Alpenvorlandes sowie Teile des nördlichen Oberrheins, der Kölner Bucht und der Wetterau am Fuße des Rheinischen Schiefergebirges aufbauen.

Die deutschen Mittelgebirge werden zwei Regionen zugeteilt, die sich in den hydrogeologischen Eigenschaften der dort vorherrschenden Gesteinsarten unterscheiden.

Die hydrogeologische Region *Mittelgebirge aus schwach diagenetisch veränderten Festgesteinen* umfasst Gebiete, in denen vorwiegend Schichtgesteine des geologischen Mittelalters (Mesozoikum) vorkommen. In Süddeutschland bauen diese Gesteine eine weiträumige Schichtstufenlandschaft auf. Die hydrogeologischen Einheiten, die hier im Untergrund als mächtige Schichtpakete übereinander liegen, erscheinen an der Oberfläche nebeneinander als deutlich abgrenzbare Unterregionen vergesellschaftet. Unterschiedliche Abtragungsintensitäten haben die Schichtfolge eindrucksvoll aus der Landfläche herausmodelliert. In eingeschnittenen Tälern ergeben sich dadurch kleinräumig verästelte Darstellungen, die im Übersichtsmaßstab stark generalisiert werden müssen. In Nord- und Mitteldeutschland sind diese Gesteinsserien häufig in ihrer Lagerung gestört und bilden Faltenzüge oder Talungen, so dass die Flächen hier andere Formen aufweisen.

Die hydrogeologische Region *Mittelgebirge aus stark diagenetisch veränderten und kristallinen Gesteinen* umfasst Gebiete, in denen vorwiegend Gesteine aus dem Erdaltertum (Paläozoikum) den Untergrund bilden, die einer starken Umformung durch Druck und Hitze ausgesetzt waren. Solche Gesteine haben einen sehr geringen Porenraum, so dass sich Grundwasser nur in eventuell vorhandenen Klüften bewegen kann. Die meisten hier vorkommenden Gesteine – außer den echten kristallinen Tiefengesteinen – neigen darüber hinaus auch nur wenig zur Klüftung. Lokal begrenzte Grundwasserkörper finden sich jedoch auch hier in den Unterregionen der teilweise verkarsteten Kalk- und Dolomitvorkommen, in Füllungen der Täler oder in der Unterregion der jungen, vulkanischen Tuffe, die stellenweise das Grundgebirge überdecken.

Die hydrogeologische Region *Deutsche Alpen und Voralpen* nimmt nur eine relativ kleine und stark gegliederte Fläche im Süden Deutschlands ein. In ihr sind die topographischen, kleinräumigen Höhenunterschiede so stark ausgebildet, dass zusammenhängende Grundwasservorkommen praktisch nur in der Unterregion der Talfüllungen entwickelt sind. Das Grundwasser, das sich in den alpin gefalteten Schichten und Decken der Gebirgszüge (Regionen der Kalkmergelsteine oder der Kalksandsteine) bildet, lässt sich kaum in Bohrungen fassen, sondern tritt in zahlreichen schicht- oder kluftgebundenen Quellen zu Tage.

Praktische Hinweise

Die Abgrenzung von hydrogeologischen Regionen richtet sich hauptsächlich nach den Eigenschaften des Untergrundes. Die Flächengrenzen verlaufen daher prinzipiell anders als die Grenzen oberirdischer Wasserscheiden (Abb. 1).
Grundwasserkörper, wie sie entsprechend der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie beschrieben werden sollen, können durch die Überlagerung der hydrogeologischen Regionen und Unterregionen mit den Flusseinzugsgebieten abgegrenzt werden. Jeder Grundwasserkörper kann sich dabei über mehrere hydrogeologische Regionen oder deren Teile erstrecken. In der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe liegen die Daten der nicht generalisierten Darstellung im Maßstab 1 : 1 000 000 vor. Für eine Darstellung in größerem Maßstab (z. B. 1 : 200 000, derzeit in Arbeit), müssen die hydrogeologischen Einheiten und die darin enthaltenen Grundwasserkörper noch stärker nach ihren regionalen Eigenschaften differenziert werden.

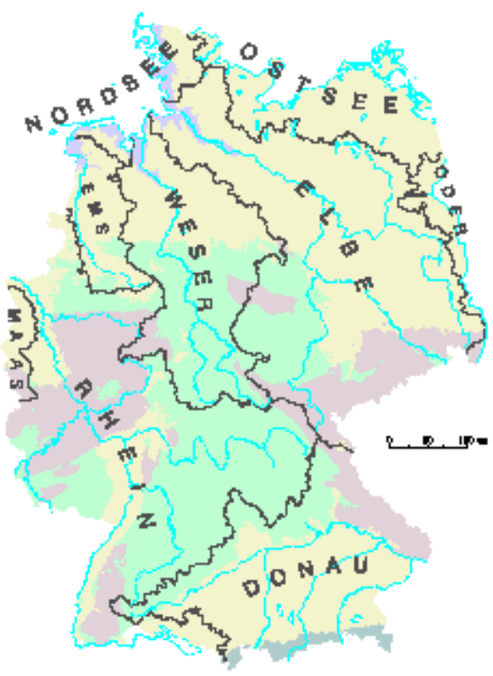


Abb. 1 Überlagerung der hydrogeologischen Regionen mit Flussgebieten erster Ordnung

5.1 Hydrogeological Regions

The Map "Hydrogeological Regions" is divided into map units that can be described and distinguished on the basis of hydrogeological parameters, i. e. those parameters that describe the properties of the rocks and topography that determine the flow and chemical composition of groundwater. A standard columnar section gives the sequence of hydrogeologically important formations within the areas of each map unit, giving bed thicknesses, information about groundwater level and hydraulic conductivity.

Methodology

Map 5.1 "Hydrogeological Regions" depends, like Map 1.5 "Lithology" and Map 1.6 "Hydrogeology" on the digital data of the 1 : 1 000 000 Geological Map of Germany. The geological and lithological attributes were first interpreted in terms of their hydrogeological parameters. The rocks were then classified in terms of hydrogeological units. Therefore, the map units defined in this way correspond to the map units for large parts of the lithological map.

The surficial deposits shown on the lithological map, however, do not always contain groundwater. For this reason, the properties of the underlying rocks are also used to characterise the map units. Certain kinds of surficial deposits, e. g. loess and alluvial loam, are assumed to have a groundwater cover function. The boundaries of the underlying beds are derived from the geological map by interpolation.

Rock units that have similar permeabilities can have different hydrogeological significance, depending on the topography. For example, the amount and quality of groundwater in a sandy aquifer in a valley in the mountains is strongly determined by the properties of the surrounding slopes. It will be considerably less and of different quality than that in a similar sandy aquifer in the wide plains of northern and southern Germany. For this reason, the hydrogeological map units are defined as subunits of the major landscape units (Table 1).

Table 1 Hydrogeological characterisation of the groundwater regions

hydrogeological regions	
subregion	**hydrogeological description**
coastal region	
coastal dunes fine sand near the coast	pore-water aquifer with local fresh water occurrences in contact with saline water
coastal marsh clay and silt	low-permeability confining layer, usually overlying a saline aquifer
region of unconsolidated rocks	
river valleys urstromtals, low terraces	pore-water aquifers, usually high yield; at shallow depth
high terraces, sandur sandy geest	pore-water aquifers, usually high yield; sometimes subdivided by aquicludes
Tertiary basin sediments Molasse, fine sand and clay, lignite	pore-water aquifers, sometimes high yield; often affected in northern Germany by mining
moraines boulder clay, sand, end moraines	usually aquitards; large local variations in permeability
German uplands – slightly indurated rocks	
sandstones, conglomerates mountains and plateaus	groundwater in fractures, sometimes in pores; locally high yield
limestones mountains and plateaus	karst aquifer, often high yield from fractures and karst cavities
volcanic rocks volcanic cones, pipes, and lava flows	groundwater in fractures, seldom in pores; locally high yield from unweathered rock
marlstones calcareous marl and clay marl	aquicludes, low yield, moderately mineralised
gypsum and gypsum-bearing rocks Gipskeuper marl, Permian Gypsum	groundwater in fractures, usually low yield, highly mineralised; locally karstified
siltstones and claystones laminated silt stones, shale and clay	aquicludes, low yield
valley fill alluvial deposits, low terraces	pore-water aquifers, often with an alluvial loam cover; locally important groundwater occurrence
German uplands – strongly indurated and crystalline rocks	
dolomites and limestones usually only local occurrences	karst aquifer, often high yield from fractures and karst cavities
graywackes and quartzites	groundwater in fractures, seldom in pores; normally low yield from fractures
highly jointed crystalline rocks granites, porphyries, orthogneises	groundwater in fractures, normally low yield, locally moderate yield; pore water in weathered rock
slightly jointed crystalline rocks paragneises, old volcanic rocks	groundwater in fractures, normally very low yield
slates crystalline schists, phyllites	aquicludes, closely spaced joints; no significant groundwater occurrences
tuff pumice, tuffite, basalt layers	aquifers, locally highly porous; high yield possible in valleys
valley fill alluvial deposits, low terraces	pore-water aquifers; locally important groundwater occurrences
Alpine region	
limestones, calcareous marlstones	Groundwater in fractures and karst cavities; usually at considerable depth
sandstones, calcareous sandstones	local groundwater occurrences in fractures
marlstones	aquitard, low yield
coarse gravel alluvial deposits, low terraces	often high yield pore-water aquifers

The standard sections

The standard columnar sections in 5.1 "Hydrogeologische Regionen – Typprofile I und II" show the underground structures in the different hydrogeological regions, complimenting the map by providing quantitative information for each region. For each map unit, a schematic lithological log was compiled from the published literature, showing the main lithological units in the area. Assignment of color is like on the map.

All rocks are assigned to one of the following hydrogeological units: aquifer (L), aquitard (G), and aquiclude (N). The aquifers are classified according to the type of porosity: pore-water aquifer, fissured aquifer, and karst aquifer. The aquitards are classified according to whether they consist of consolidated or unconsolidated rocks. A further distinction is made on the basis of the chemical properties of the rocks: predominantly siliceous, carbonaceous, sulphatic, or organic. These subdivisions yield ten classes of aquifers (L1 – L10) and six classes of aquitards (G1 – G6). Aquicludes occur only as the base of an aquifer and are not subdivided.

Permeability values and bed thicknesses are given, as well as the location of the groundwater table in unconfined aquifers or the potentiometric surface in the case of a confined aquifer. Because these values are averages from drilling data and depend strongly on the local situation, they can only give the order of magnitude. From the depth data, however, approximate values can be derived for the following hydrogeological parameters: thickness and type of cover, aquifer thickness and depth to groundwater table, and whether the aquifer is confined or unconfined.

Because the chemical properties of the aquifers and cover rocks determine the chemical properties of the groundwater, the boundaries of the hydrogeological map units were also used for the Map 5.7 "Geogenic Groundwater Quality".

Map Structures

The *coastal region* is characterised by the influence of the North Sea or Baltic Sea. There are limited groundwater occurrences on the North Sea islands, for example, owing to intrusion of saline water from the sea.

Large parts of northern and southern Germany are relatively flat *regions of unconsolidated rocks* (sand, gravel, boulder clay). Because the deeper rocks are usually not the same kind as the surficial deposits, this map unit is subdivided according to type of landscape: the river valleys in the Alpine piedmont regions and the urstromtals of northern Germany are classified together, and the high terraces in southern Germany and the sandy areas above the urstromtals in northern Germany are in the same class. Frequent changes in the groundwater cover (e. g. alluvial loam and peat) occur in these areas. Extensive areas of near-surface boulder clay are classified separately; however, major groundwater occurrences can exist below the boulder clay. Examples are the deep glacial erosion channels in northern Germany. Areas of unconsolidated Tertiary basin sediments are also classified separately. They are found mainly at the northern margins of the German Upland region and the Alps and in the Alpine piedmont. In many of these areas, their hydrogeological properties have been influenced by lignite mining.

The uplands between the coast and the Alps are divided into two regions with different hydrogeological properties:

The *region of slightly indurated rocks* contains mostly stratified Mesozoic rocks. In southern Germany, these are extensive areas of cuesta landscape, in which the stratigraphically successive hydrogeological units are adjacent hydrogeological map units. The valleys are thus divided into small branching units that must be considerably generalised at the small scale of this map. In northern Germany, these rocks have been folded into anticlines and synclines, yielding a different pattern of map units than in southern Germany.

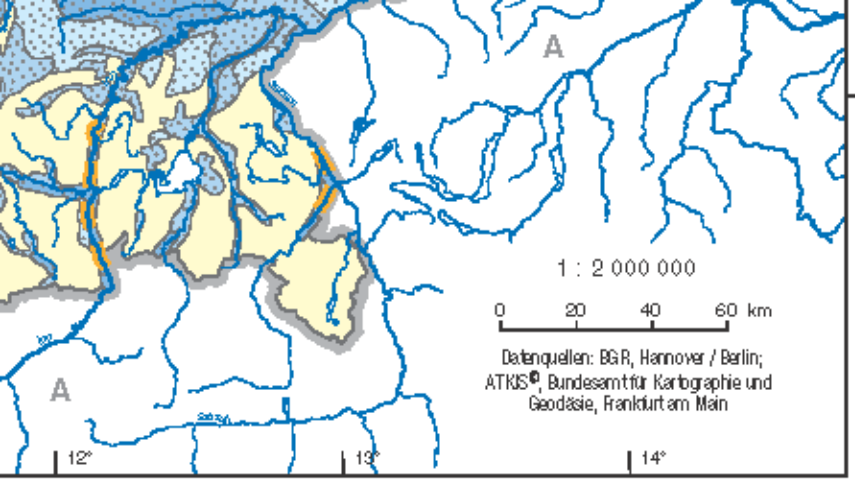
The *region of strongly indurated and crystalline rocks* contains mostly Paleozoic rocks. These rocks are highly deformed at high pressure and temperatures; they have a very low pore volume and groundwater can flow only in fractures. Most of these rocks, except for the plutonic and high-grade metamorphic rocks, have few fractures. Local groundwater bodies occur in karst areas, in valley sediments, or in areas of tuff overlying the basement.

The *Alpine region* is a narrow strip along the southern margin of the map sheet. Owing to the high topographic relief, groundwater occurs practically only in the sediments of the valleys. Groundwater in the rocks of the ridges cannot be developed in wells; it flows from springs associated with fractures.

Practical Information

The boundaries of the hydrogeological regions are based on the properties of the rocks and are therefore generally not the same as the surface water divides, a fact which is shown on Figure 1. The boundaries of the groundwater bodies within river basins, as required for the implementation of the European Water Directive, can be obtained by overlaying a map of the river catchment areas on the map of the hydrogeological regions. Each groundwater body would consist of various hydrogeological regions or parts of them. The digital data needed to draw such a map in the scale 1 : 1 000 000 exist in the Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
For the elaboration of a more differentiated map in a larger scale, e. g. 1 : 200 000, the hydrogeological mapping units have to be subdivided further on, according to their regional characteristics.

Fig. 1 Overlaying of the hydrogeological regions with first order river catchments



Gesteine

Tuff
erleiter)

olomit, Gips
rleiter)

Quarzit,
mergelstein
rleiter)

hstoffe, Hannover

HYDROLOGISCHER ATLAS VON DEUTSCHLAND

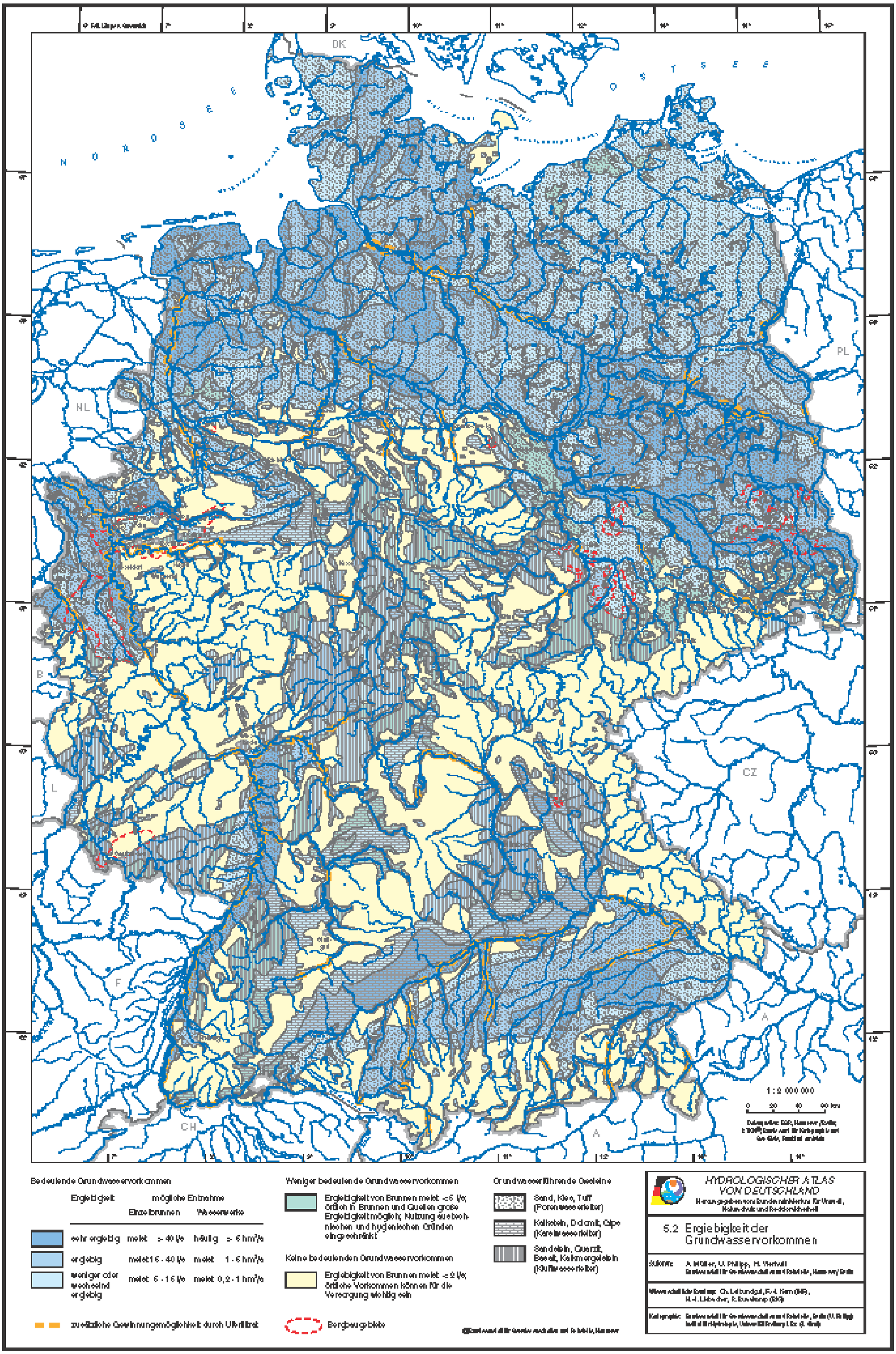
Herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

5.2 Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen

Autoren: A. Müller, U. Philipp, H. Vierhuff
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover / Berlin

Wissenschaftliche Beratung: Ch. Leibundgut, F.-J. Kern (IHF), H.-J. Liebscher, R. Busskamp (BfG)

Kartographie: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Berlin (U. Philipp)
Institut für Hydrologie, Universität Freiburg i. Br. (J. Strub)


DK
NORDSEE
OSTSEE
NL
PL
B
L
CZ
F
A
CH
1 : 2 000 000
0 20 40 60 km
Bedeutende Grundwasservorkommen
Ergiebigkeit
mögliche Entnahme
Einzelbrunnen
Wasserwerke
sehr ergiebig
meist > 40 l/s
häufig > 5 hm³/a
ergiebig
meist 15 - 40 l/s
meist 1 - 5 hm³/a
weniger oder wechselnd ergiebig
meist 5 - 15 l/s
meist 0,2 - 1 hm³/a
zusätzliche Gewinnungsmöglichkeit durch Uferfiltrat
Weniger bedeutende Grundwasservorkommen
Ergiebigkeit von Brunnen meist < 5 l/s; örtlich in Brunnen und Quellen große Ergiebigkeit möglich; Nutzung aus hydrochemischen und hygienischen Gründen eingeschränkt
Keine bedeutenden Grundwasservorkommen
Ergiebigkeit von Brunnen meist < 2 l/s; örtliche Vorkommen können für die Versorgung wichtig sein
Bergbaugebiete
Grundwasserführende Gesteine
Sand, Kies, Tuff (Porenwasserleiter)
Kalkstein, Dolomit, Gipse (Karstwasserleiter)
Sandstein, Quarzit, Basalt, Kalkmergelstein (Kluftwasserleiter)
HYDROLOGISCHER ATLAS VON DEUTSCHLAND
5.2 Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen

5.2 Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen

Deutschland ist, verglichen mit anderen europäischen Ländern, reich an Grundwasservorkommen. Grundwasser wird vorrangig für die Trinkwasserversorgung genutzt, da es gegenüber Oberflächenwasser höheren Qualitäts- und Sicherheitsansprüchen genügt. Nur in Bundesländern mit großem Wasserbedarf aber ungünstigen Voraussetzungen für die Grundwassergewinnung überwiegt die Nutzung von Oberflächenwasser (Atlastafel 7.2 „Wasserversorgung"). Bei raumordnerischen Überlegungen, z. B. für Entscheidungen in Konflikten über die Nutzung verschiedener natürlicher Ressourcen, spielt die wasserwirtschaftliche Bedeutung von Grundwasservorkommen eine große Rolle. Die Bedeutung eines Grundwasservorkommens wird durch seine natürlichen (geologischen, hydrologischen und hydrochemischen) Eigenschaften und den Bedarf (Menge und Nutzungsort) bestimmt. Eine der maßgeblichen natürlichen Eigenschaften von Grundwasservorkommen ist ihre *Ergiebigkeit*, synonym auch *Grundwasserhöffigkeit* genannt. Darunter versteht man das Volumen an Grundwasser, das durch eine Wasserfassung mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand auf Dauer gewinnbar ist.

Ergiebige Grundwasservorkommen entstehen durch das Zusammenwirken der folgenden Faktoren:

- ausreichende und über das Jahr ausgeglichene Niederschläge (= positive Wasserbilanz)
- mächtige Grundwasserleiter (Gesteinskomplexe aus sandig-kiesigem Lockergestein oder Festgestein mit Klüften oder Hohlräumen)
- günstige Geländebeschaffenheit und Vorflutverhältnisse (weder extrem steiles noch sehr flaches Relief)

Der Einfluss dieser regionalen Verhältnisse führt zu einer starken Differenzierung der Grundwasserhöffigkeiten. Die regional unterschiedlichen Werte der klimatischen Wasserbilanz (Atlastafel 2.14) wirken sich nur relativ wenig auf die Verteilung der Grundwasserhöffigkeit aus, denn die Gebirgsregionen mit großen Wasserüberschüssen werden häufig von Gesteinen aufgebaut, die wenig Grundwasser führen können. Ein starkes Bodenrelief vergrößert meist die schnellen Abflusskomponenten der Niederschläge auf Kosten der Versickerung (Oberflächen- und oberflächennaher Abfluss), wogegen bei einem sehr schwach ausgeprägten Relief die mangelnde Vorflut zu einem hohem Grundwasserstand und damit zu einem relativ großen Verdunstungsanteil führt.

Den stärksten Einfluss auf die Ergiebigkeit von Grundwasservorkommen in Deutschland hat daher die Ausbildung der grundwasserführenden Gesteine, wobei den Ablagerungen von Sand und Kies aus der jüngsten geologischen Geschichte die größte Bedeutung zukommt.

Für Darstellungen der regionalen Verteilung von Grundwasserergiebigkeiten werden Erfahrungswerte über langjährige Leistungen von Brunnen oder Wasserwerken in hydrogeologisch bekannten Gebieten auf naturräumlich ähnliche Gebiete übertragen (HÖLTING 1992). Die Karte bietet eine bundesweit vergleichbare regionale Übersicht über die Grundwasservorkommen in Deutschland und erlaubt über die Bewertung der Ergiebigkeit eine Einschätzung ihrer großräumigen Bedeutung.

Zur Methodik

Die Karte basiert auf einer Darstellung, die die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) 1977/1978 erarbeitet und 1992/1993 auf das Gebiet der neuen Bundesländer erweitert hat.

Für das Gebiet der alten Bundesländer ist die Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen in Abstimmung mit den Geologischen Landesämtern, dem Senator für Bau- und Wohnungswesen Berlin und dem Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft im Maßstab 1 : 1 000 000 dargestellt worden (VIERHUFF, WAGNER & AUST 1981). Die ausgewerteten Karten aus den verschiedenen Bundesländern liegen in mittleren Maßstäben (1 : 200 000 bis 1 : 500 000) vor.
Im Gebiet der neuen Bundesländer stützt sich die Bewertung der Ergiebigkeiten und ihre Abgrenzung auf die umfangreichen hydrogeologischen und statistischen Untersuchungen von BAMBERG, GABRIEL, GARLING & ZIEGLER aus den siebziger Jahren sowie auf die darauf aufbauende „Karte der Grundwasserlagerstättentypen" im Maßstab 1 : 500 000 (1983).

Die Bewertung der Grundwasserergiebigkeit in den genutzten Unterlagen ist recht unterschiedlich. Meist wird sie als Mittelwert von gemessenen oder zu erwartenden Brunnenergiebigkeiten (in l/s oder m^3/d) bzw. von Förderleistungen von bestehenden oder möglichen Wasserwerken (in hm^3/a = Mio. m^3/a) angegeben, oder man findet beschreibende Ergiebigkeitsstufen.

Diese verschiedenen Angaben wurden im regionalen Bezug aufeinander abgestimmt und mit einer einheitlichen Legende beschrieben. Dabei ist berücksichtigt, dass in Gebieten mit ergiebigen oder sehr ergiebigen Lockergesteins-Grundwasserleitern die Anlage von großen Wasserwerken mit häufig mehr als fünf Förderbrunnen und entsprechend großen Einzugsgebieten wirtschaftlich ist und dass Wasserfassungen in ergiebigen Festgesteinen dagegen meist mit durchschnittlich drei Förderbrunnen kleiner sind, während in Gebieten mit weniger bedeutenden Vorkommen oder ohne bedeutende Vorkommen häufig Einzelfassungen vorliegen. Die flächenmäßige Abgrenzung der Legendeneinheiten erfolgte nach den hydrogeologischen Grenzen der tatsächlich genutzten grundwasserleitenden Gesteinseinheiten. Die Darstellung ist stärker generalisiert und wurde nicht, wie z. B. die Atlastafeln 1.6 „Hydrogeologie" und 5.1 „Hydrogeologische Regionen", aus einer Geologischen Übersichtskarte entwickelt, in der die Verbreitung der oberflächennahen Gesteinsformationen dargestellt ist.

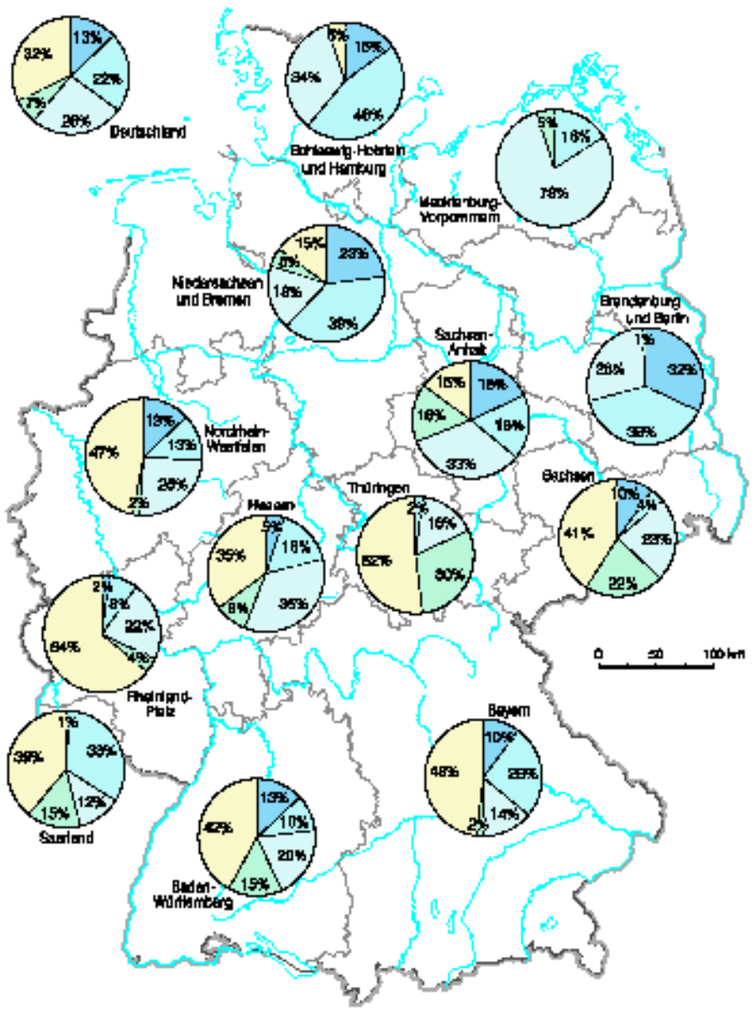


Abb. 1 Anteile der Grundwasservorkommen nach den in Karte 5.2 dargestellten Ergiebigkeitsklassen an der Fläche Deutschlands und der Bundesländer

Zur Kartendarstellung

Die Atlaskarte zeigt in generalisierter Form eine flächendeckende Darstellung der Grundwasservorkommen in Deutschland, differenziert nach der Ergiebigkeit bestehender Anlagen bzw. der daraus abgeleiteten Grundwasserhöffigkeit. Die Ergiebigkeit der Vorkommen ist in fünf Wertigkeitsstufen unterteilt. Aus ihnen ist auch eine Rangfolge der Grundwasservorkommen in ihrer Bedeutung für die Trinkwasserversorgung ablesbar. Neben Flächen mit bedeutenden oder weniger bedeutenden Vorkommen werden solche Flächen ausgeschieden, in denen keine zusammenhängenden und regional bedeutenden Grundwasserressourcen vorhanden bzw. zu erwarten sind. Die regional bedeutenden Grundwasservorkommen sind in drei Klassen mit grob quantifizierten Ergiebigkeitsstufen weiter unterteilt.

Für die Erschließung und Nutzung von Grundwasser zur Trinkwasserversorgung ist neben dem Volumen des Grundwassers auch die Art des wasserführenden Gesteins von Bedeutung. In Lockergesteinen sind die Prospektionskosten meist kleiner, die Brunnenbaukosten und die Kosten für die Aufbereitung des Wassers meist etwas höher als in klüftigem Festgestein. Bei Nutzung von Karstwasserleitern besteht ein großes Kontaminationsrisiko. Deshalb sind die Grundwasservorkommen einer der drei großen Gruppen wasserführender Gesteine zugeordnet. Für die Trinkwasserversorgung in Deutschland spielen als Kostenfaktor andere Förderbedingungen, wie die Tiefenlage des Grundwasserleiters und des Grundwasserspiegels unter der Erdoberfläche, keine bedeutende Rolle und werden daher nicht näher berücksichtigt.

Wasserwerke mit großen Förderraten nutzen neben dem natürlichen Grundwasserabstrom in der Regel eine meist nicht genau bekannte oder wechselnde Menge an Oberflächenwasser, das wegen des künstlich geschaffenen Gefälles bei der Grundwasserentnahme durch die Sohle eines Gewässers in den Grundwasserleiter eintritt und den Brunnen zuströmt (Uferfiltration). Talgebiete, in denen diese wichtige Ergänzung des Grundwasserdargebotes aufgrund der hydrogeologischen Situation möglich und wirtschaftlich sinnvoll erscheint, sind in der Karte zusätzlich gekennzeichnet. Es sind dies Stellen, wo das Bett größerer Flüsse mit ausreichender Gewässergüte in mächtigen, kiesig-sandigen Sedimenten liegt und ein großer Wasserbedarf in der Nähe gedeckt werden muss.

Abb. 2 Ergiebigkeitstest an einem artesischen Brunnen

In manchen Gebieten Deutschlands wurde und wird das Grundwasser durch Maßnahmen des Bergbaues (Abbau von Deckschichten, Wasserhaltung von Tief- und Tagebauen) in seiner Erschließungsmöglichkeit nachteilig beeinträchtigt. Während des Abbaus wird der Grundwasserhaushalt durch das Sümpfen weiträumig beeinflusst (Grundwasserabsenkung). Nach der Auflassung der Werke und der Wiederauffüllung der Grundwasserspeicher bestehen große Risiken, dass sich die Grundwasserbeschaffenheit nachteilig verändert. In der Karte sind solche Gebiete daher besonders markiert.

Die räumliche Verteilung der Grundwasservorkommen in Deutschland

Das größte zusammenhängende Gebiet mit reichen Grundwasservorkommen ist die Norddeutsche Tiefebene, die – besonders im Gebiet außerhalb der Verbreitung von Ablagerungen der jüngsten Vereisungsperiode (Jungmoränengebiet) – durch mächtige Schichten lockerer Sande und Kiese (Quartär und Tertiär) aufgebaut ist. Besonders bedeutend sind hier Vorkommen, die in Oberflächennähe im Verlauf der Urstromtäler oder in tieferen eiszeitlich gebildeten Strukturen, den „quartären Rinnen", ausgebildet sind. Ebenfalls sehr grundwasserreich ist das hauptsächlich aus Lockergesteinen des Quartärs und Tertiärs (Molasse) aufgebaute Alpenvorland. Weiterhin zählt zu den Gebieten mit sehr ergiebigen Grundwasservorkommen der gesamte Oberrheingraben und das Niederrheingebiet mit der Kölner Bucht. Hier füllen mächtige Schichten an gut durchlässigen Flussschottern die Niederungen.

Weniger ergiebige Grundwasservorkommen finden sich in Gebieten mit Lockergesteinen dort, wo neben Sandschichten feinkörnig-lehmige Ablagerungen wie Grundmoränen und Beckenablagerungen überwiegen oder insgesamt nur wenige eiszeitliche Schichten abgelagert wurden. Beispiele zeigen sich im nördlichen und östlichen Schleswig-Holstein und in Mecklenburg. In den Mittelgebirgsregionen sind z. B. die Sandsteinformationen des Keupers in Franken zu nennen.

Im Mittelgebirge finden sich regional bedeutende Grundwasservorkommen in den Kalkformationen des Schwäbischen und Fränkischen Juras und in Thüringen, im Muschelkalk zwischen Main und Schwarzwald und der Kreide von Ostwestfalen (Karstwasserleiter), in den mächtigen Sandsteinen von Pfälzer Wald, Schwarzwald, Spessart und Solling und nicht zuletzt im Basalt des Vogelsberges (Kluftwasserleiter). Klüftige und poröse Festgesteine bieten jedoch im allgemeinen nur relativ kleine Ergiebigkeiten; bei geringer Mächtigkeit und verhältnismäßig schnell wechselnden Eigenschaften der wasserführenden Horizonte können sich Grundwasservorkommen bilden, die zwar häufig für die örtliche Wasserversorgung genutzt werden, aber keine regionale Bedeutung haben.

Große Gebiete Deutschlands, insgesamt mehr als ein Drittel des Landes, verfügen über keine bedeutenden Grundwasservorkommen. Es sind dies die Bereiche der Mittelgebirge, die aus schlecht wasserführenden Gesteinen wie Tonschiefer, kristallinen Schiefern und Tiefengesteinen aufgebaut sind: Rheinisches Schiefergebirge, Harz, Thüringer und Bayerischer Wald, Erzgebirge, Hochschwarzwald und andere. Als lokale Grundwasservorkommen können hier fast ausschließlich die Talfüllungen genutzt werden, wenn sie sandig-kiesige Ablagerungen enthalten, sowie die im Schiefergebirge örtlich eingelagerten Vorkommen an verkarstungsfähigen Kalk- und Dolomitgesteinen. Andererseits besitzen solche Gebiete aufgrund der Landschafts- und Gesteinseigenschaften große Ressourcen an Oberflächenwasser, die durch Dammbauten erschlossen werden können, so dass aus diesen Gebieten bedeutende Mengen an Trinkwasser in Ballungsgebiete geliefert werden können (Atlastafel 7.2 „Wasserversorgung"). Abbildung 1 zeigt, wie sich die fünf Ergiebigkeitsklassen der Grundwasservorkommen auf die Gesamtfläche Deutschlands und auf die einzelnen Bundesländer verteilen.

Praktische Hinweise

Die Atlaskarte bewertet die Grundwasservorkommen nach Ergiebigkeitsstufen und setzt diese in Zusammenhang mit (möglichen) Förderleistungen. Diese haben keinen Bezug auf eine bestimmte Flächengröße oder einen bestimmten Ort in dieser Fläche. Die genauer gefassten Begriffe „Grundwasserdargebot, gewinnbares bzw. nutzbares Grundwasserdargebot" (nach DIN 4049) beziehen sich auf Teile eines Grundwasserkörpers im Zusammenhang mit einem konkreten Vorhaben. Sie eignen sich nicht zur Verwendung in einer Übersichtskarte, weil sie bei einer Generalisierung zu widersprüchlichen Aussagen führen würden.

Es ist deshalb nicht möglich, aus den angegebenen Abgrenzungen auf eine absolute Größe für das gewinnbare oder nutzbare Grundwasserdargebot eines Vorkommens zu schließen oder den günstigsten Platz für eine Fassungsanlage zu ermitteln. Auch Probleme der Übernutzung von Vorkommen mit großer Ergiebigkeit aber kleinem Speicherinhalt, oder der Gefährdung von Ökosystemen durch die Grundwassernutzung hängen unter anderem von der genauen Lage der Fassung und ihrer technischen Einrichtung ab. Die Beantwortung solch maßnahmenbezogener Fragestellungen ist nicht Gegenstand der Karte. Sie muss in jedem Fall speziellen örtlichen Untersuchungen vorbehalten bleiben.

5.2 Groundwater Yields

Germany has considerably more groundwater than some of the other European countries. This groundwater can usually be used for drinking water supplies, owing to its good quality and because it is less vulnerable to pollution than surface water supplies. Only in those parts of the country with a high demand and conditions that are unfavorable for groundwater production do surface water supplies prevail (Atlas Map 7.2 "Water Supply"). The considerable importance of groundwater occurrences for the water supply plays a large role in regional planning, e. g. when there are conflicts of interest about the use of natural resources. The importance of a groundwater occurrence is determined by its natural (i. e. geological, hydrological, and chemical) properties and demand (amounts and location). One of the properties of a groundwater occurrence is its potential yield, i. e. the amount of groundwater that can be economically obtained from a well over a long period of time.

High-yield groundwater occurrences are due to the following factors:

- sufficient precipitation evenly distributed over the year,
- a thick aquifer in sandy, gravelly unconsolidated rock, fractured consolidated rock, or karst,
- favorable relief (neither extremely steep nor very flat areas) and surface water conditions.

The effects of these regional conditions lead to a large difference in potential groundwater yield. The regional differences in the climate (Atlas Map 2.14 "Climatic Water Balance") have relatively little effect on the potential yield: The mountainous regions with high precipitation rates very often consist of rocks that are unsuitable for aquifers. A high relief normally increases fast runoff components at the expense of infiltration; a very flat relief with little runoff leads to a high groundwater table and a relatively high percentage of evapotranspiration.

The most influence on the potential yield of groundwater occurrences in Germany is the composition of the aquifer rocks. The geologically young deposits of sand and gravel are the most important for the water supply.

The regional distribution of potential groundwater yields can be plotted from the long-term performance data for wells and waterworks. The data for hydrogeologically well-known areas can be extrapolated to other, similar areas (HÖLTING 1992). The map provides an overview of the groundwater occurrences in Germany and permits an estimate of their regional significance in terms of their potential yield. In the relatively large areas in which no significant groundwater occurrences are shown, groundwater can be obtained in many places for the local water supply.

Methodology

The map is based on studies made by the Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR, Federal Institute for Geosciences and Natural Resources) in 1977/78 and extended to the new Federal States in 1992/1993.
The map of the potential yields of groundwater occurrences was prepared at a scale of 1 : 1 000 000 in cooperation with the state Geological Surveys, the Senator für Bau- und Wohnungswesen Berlin (West Berlin Senator for Building Construction and Housing) and the Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Bavarian Water Management Office) (VIERHUFF, WAGNER & AUST 1981). The maps evaluated for the 1 : 1 000 000 map were at scales of 1 : 200 000 to 1 : 500 000.

The extensive hydrogeological and statistical studies of BAMBERG, GABRIEL, GARLING & ZIEGLER conducted in the 1970s, as well as the 1 : 500 000 map of types of groundwater occurrences ("Karte der Grundwasserlagerstättentypen", 1983) derived from their studies, were used to prepare the potential groundwater yield map of the new Federal States.

The potential groundwater yield was assessed quite differently in the various sources of data. Usually, the values were given as the mean of measured or expected well yields (in L/s or m^3/d), as the mean of the annual production of existing or possible waterworks (in hm^3/a or $10^6 m^3/a$), or as yield classes.
The different types of data were harmonised regionally and a common legend was prepared. In this process, it was taken into consideration that waterworks in areas with high-yield or very high-yield aquifers in unconsolidated rock usually have many wells and a correspondingly large catchment area, waterworks in areas of high-yield consolidated rock are smaller, averaging three wells, and in areas with less significant groundwater occurrences or none at all, single wells are the rule. The boundaries of the legend units were drawn along the boundaries of the aquifers. In contrast to Map 1.6 "Hydrogeology" and Map 5.1 "Hydrogeological Regions", the map was not derived from the geological map, which shows the distribution of near-surface rock units, and is thus more generalised.

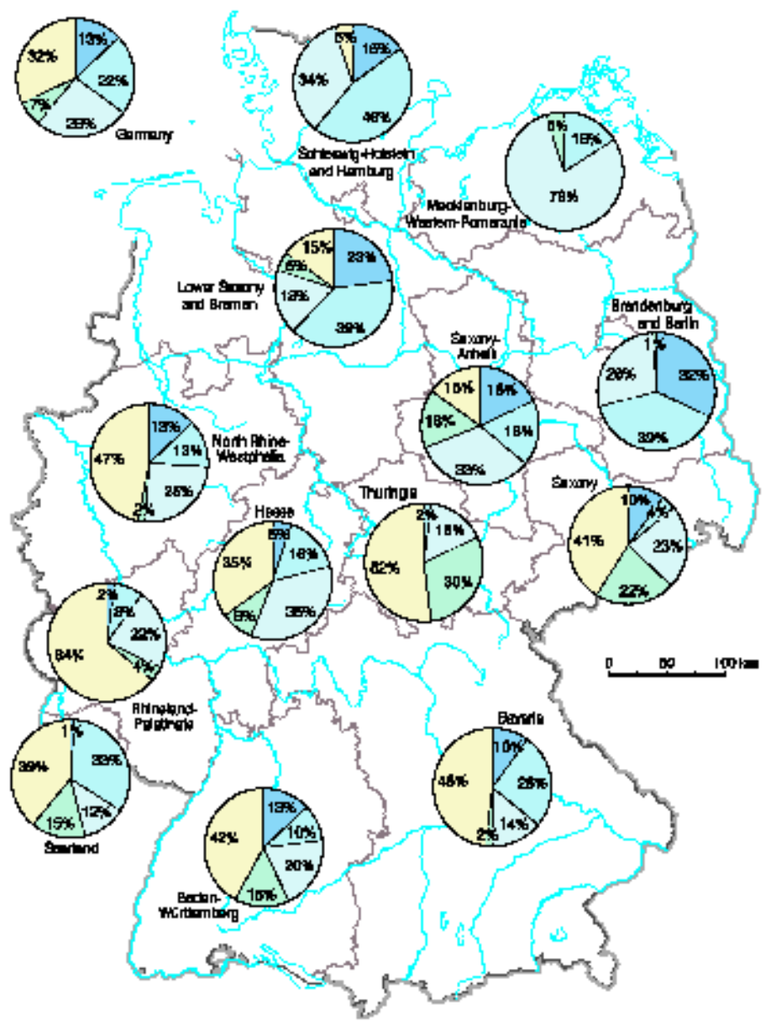


Fig. 1 Distribution of the five classes of groundwater yields shown in Map 5.2 in Germany and in the individual Federal States

Map Structures

The map shows a generalised representation of the distribution of groundwater resources in Germany based on the yields of existing waterworks or potential yields derived from this data. The importance of the groundwater occurrences for the water supply can be read from their classification in five yield classes, which range from significant and less significant occurrences to areas with no or regionally insignificant groundwater resources. The regionally significant occurrences are subdivided into subclasses of roughly quantified yields.

Both the amount of groundwater and type of aquifer rock are important for the decision to develop a groundwater occurrence for the drinking water supply. Exploration costs are usually less for areas of unconsolidated rock than for areas of fractured consolidated rock, whereas the cost of well construction and water treatment is usually higher. Aquifers in karst areas are vulnerable to pollution. For this reason, groundwater occurrences are classified according to these three types. Other characteristics that govern the cost of groundwater production, e. g. the depth of the aquifer and of the groundwater table or potentiometric surface, are less important in Germany and were thus not taken into consideration.

Waterworks with high production rates, in addition to the natural groundwater flow, take advantage of the infiltration of surface water resulting from the gradient artificially produced by the groundwater abstraction. These amounts are not well known and vary with time. Valleys in which the water supply can be economically augmented in this way owing to the hydrogeological conditions are marked on the map. These are areas in which the streams with sufficient water quality flow over thick gravelly, sandy sediments and there are nearby areas with a high water demand.

In some parts of Germany, the possibility of developing groundwater occurrences for the water supply has been detrimentally affected by mining measures, e. g. removal of the cover rock, mine drainage. The pumping of water from the mine affects the groundwater table over a wide area. When the mine is abandoned, the quality of the groundwater that refills the aquifer may be impaired. Such areas are marked on the map.

Fig. 2 Testing the yield of an artesian flowing well

Areal distribution of the varying groundwater yields in Germany

The largest area of high-yield groundwater occurrences is the Norddeutsches Tiefland (North German Lowlands). This area, especially outside the deposition areas of the most recent glaciation period, consists of thick layers of unconsolidated Quaternary and Tertiary sand and gravel. Especially occurrences in near-surface sediments in urstromtals and in deeper aquifers in Quaternary erosion channels are important. The corresponding groundwater-rich area in southern Germany is the forelands of the Alps, which also consists mainly of unconsolidated Quaternary and Tertiary (Molasse) rocks. Other areas with very high-yield aquifers are the entire Oberrheingraben (Upper Rhine Valley) and the Kölner Bucht (Cologne bight) of the Lower Rhine region, owing to the very permeable river gravels.

Aquifers with a lower yield are found in areas with unconsolidated rock where fine-grained loamy deposits predominate, e. g. till and basin sediments, or on the whole few glacial sediments were deposited, e. g. in northern and eastern Schleswig-Holstein and Mecklenburg. In the central mountain regions, the Keuper sandstones are an example of such aquifers.

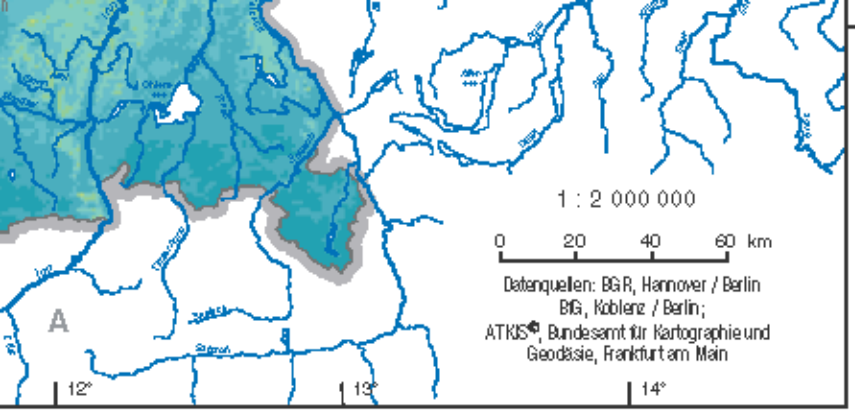
In the central upland area of Germany, there are regionally important groundwater occurrences in the limestone formations of the Schwäbischer and Fränkischer Jura (Swabian and Franconian Jura) and Thuringia, of the Muschelkalk between the River Main and the Schwarzwald (Black Forest), and of the Cretaceous in eastern Westphalia; in the thick sandstone formations in the Pfälzer Wald (Palatinate Forest), the Black Forest, the Spessart and Solling regions; and, last but not least, in the basalt of the Vogelsberg region.

Fractured and porous consolidated rocks in general have a relatively low potential yield. When the aquifers are not very thick and their properties change over relatively short distances, the groundwater can serve local water supplies but will have no regional significance.

Large parts of Germany, totaling more than a third of the country, have no groundwater occurrences of significance. Examples of such areas are in the central uplands where the rocks are shale, schist, and crystalline rocks: the Rheinisches Schiefergebirge (Rhenish Slate Mountains), the Harz Mountains, the Thuringian and Bavarian Forests, the Erzgebirge (Ore Mountains), the upper Black Forest. The locally usable groundwater occurrences are almost only in the valley sediments where sandy, gravelly deposits are found. Of special significance are the local limestones and dolomites in the Slate Mountains, which can be karstified and can contain limited, but valuable amounts of groundwater.
Such regions, however, have considerable surface water resources and, owing to the rock properties and the topographic relief, dams can be built so that drinking water can be supplied to the large cities (Atlas Map 7.2 "Water Supply"). Figure 1 shows the relative areal distribution of the five classes of groundwater occurrences, according to their potential yield, in Germany and in the individual Federal States.

Practical Information

The production figures on the map are not related to a specific area size or a specific location within the area. Thus, a specific value for the amount of water that can be produced from an aquifer or the best location for a waterworks cannot be derived from the area boundaries shown. Moreover, the problem of overdraft from a high-yield aquifer with a low storage volume or the risk to the environment depend on the location of the waterworks and its construction. Such problems were not considered in this study and in any case have to be investigated in special site studies.



500

hstoffe, Hannover

HYDROLOGISCHER ATLAS VON DEUTSCHLAND

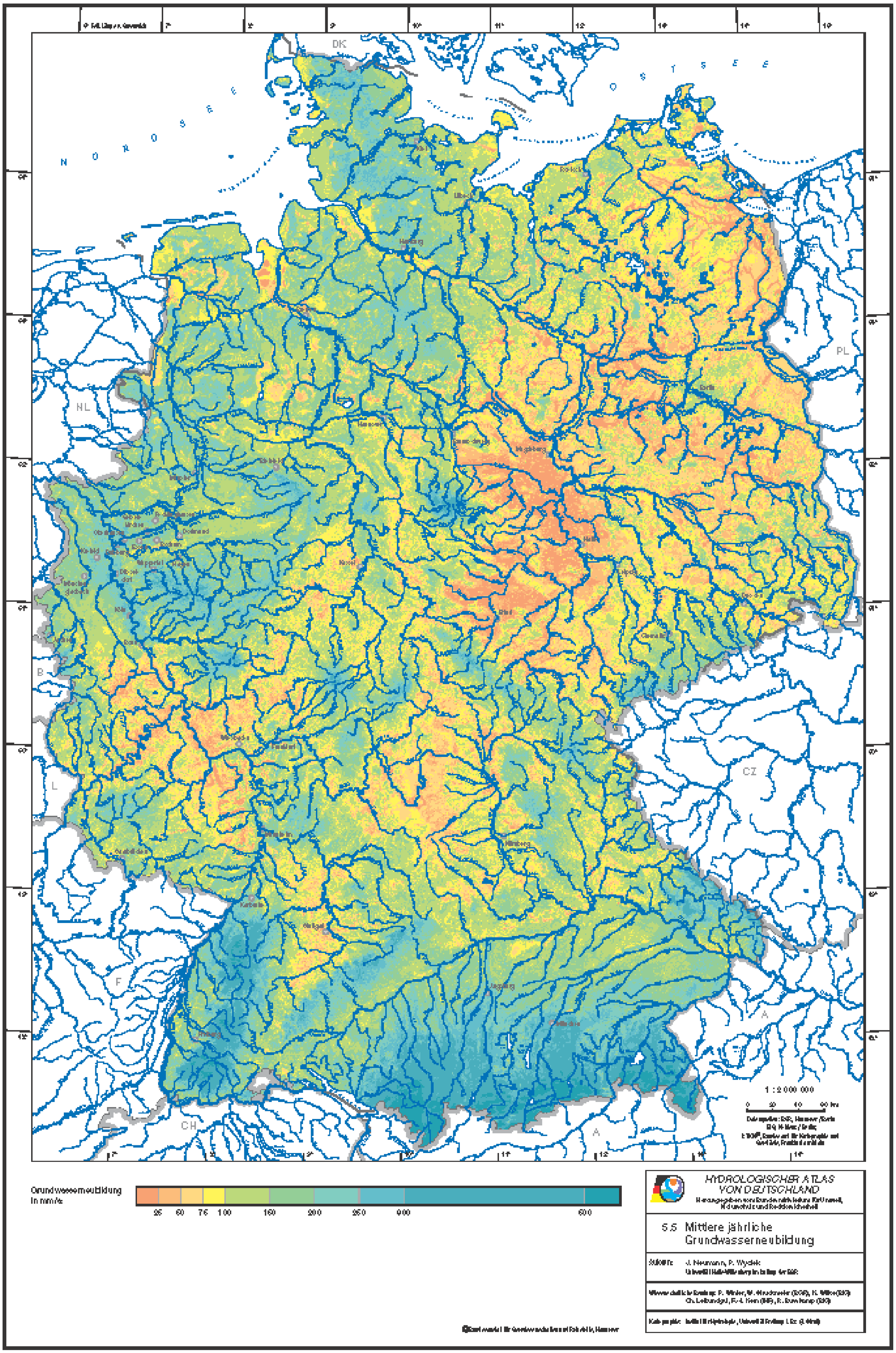
Herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

5.5 Mittlere jährliche Grundwasserneubildung

Autoren: J. Neumann, P. Wycisk
Universität Halle-Wittenberg im Auftrag der BGR

Wissenschaftliche Beratung: P. Winter, W. Struckmeier (BGR), K. Wilke (BfG)
Ch. Leibundgut, F.-J. Kern (IHF)

Kartographie: Institut für Hydrologie, Universität Freiburg i. Br. (J. Strub)


DK
NORDSEE
OSTSEE
NL
PL
B
L
CZ
F
A
CH
1 : 2 000 000
0 20 40 60 km
Grundwasserneubildung
in mm/a
25 50 75 100 150 200 250 400 600
HYDROLOGISCHER ATLAS
VON DEUTSCHLAND
5.5 Mittlere jährliche
Grundwasserneubildung

5.5 Mittlere jährliche Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung (GWN) ist als wichtige Wasserhaushaltsgröße ein Maß für die natürliche Regenerationsfähigkeit unserer Grundwasserressourcen. Ihre Höhe ist von besonderem wasserwirtschaftlichen Interesse, da in Deutschland im Mittel mehr als 63% des gewonnenen Trinkwassers aus dem Grundwasser stammen (Atlastafel 7.2). Gemäß DIN 4049 ist die Grundwasserneubildung der Wasserüberschuss, der vom korrigierten Niederschlag (P_{korr}) nach Abzug der verdunstenden (ETa) und schnell abfließenden Anteile übrig bleibt. Im langjährigen Mittel entspricht dieser Rest dem aus dem Grundwasserspeicher stammenden Basisabfluss (R_B). Maßeinheiten für die Grundwasserneubildung bzw. den Basisabfluss sind mm/Zeiteinheit bzw. m^3/Zeiteinheit oder l/Zeiteinheit.

Abbildung 1 zeigt die Grundwasserneubildung als Teilgröße des Gebietswasserhaushalts. Ausgehend vom Gesamtabfluss (R, Atlastafel 3.5 „Mittlere jährliche Abflusshöhe"), der den abflusswirksamen Niederschlagsanteil darstellt, erfolgt eine Differenzierung in die beiden Komponenten Direktabfluss (R_D) und Basisabfluss (R_B). Der Direktabfluss umfasst dabei als Summengröße die nach einem Niederschlagsereignis „schnell reagierenden" Abflusskomponenten. Neben Oberflächenabfluss sowie Zwischenabfluss aus der ungesättigten Bodenzone können darin auch Anteile aus dem Grundwasserraum enthalten sein. Der Basisabfluss repräsentiert demgegenüber die langfristig und auch in Trockenperioden stabilen Abflüsse aus dem Grundwasserspeicher. Er wird daher auch häufig als Niedrigwasserparameter eingesetzt (Atlastafel 3.10 „Niedrigwasserabflussspende MN 10q"). Ermittelt wird der Basisabfluss in der Regel mit Hilfe von Separationsverfahren aus der am Pegel aufgezeichneten Abflussganglinie.

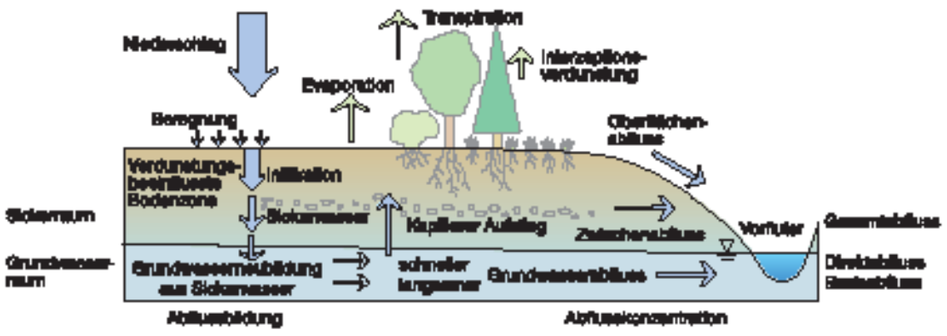


Abb. 1 Einflussfaktoren auf die Grundwasserneubildung (vgl. Atlastafel 3.5, Abb. 1)

Aus den dargestellten Zusammenhängen folgt, dass der Netto-Eintrag in den Grundwasserspeicher (Grundwasserneubildung) im langjährigen Mittel und ohne Berücksichtigung von Speichervorratsänderungen der Abgabe aus dem System (Basisabfluss) gleichgesetzt werden kann. Die Abhängigkeiten zwischen der Grundwasserneubildung und den beschriebenen Bilanzgrößen sind in den Gleichungen (1) bis (3) dargestellt:

$$GWN = R_B \quad \text{in mm/a} \quad (1)$$

$$\text{bzw.} \quad GWN = R - R_D \quad \text{in mm/a} \quad (2)$$

$$\text{bzw.} \quad GWN = P_{korr} - ETa - R_D \quad \text{in mm/a} \quad (3)$$

Zur Methodik

Die Bestimmung mittlerer jährlicher Werte der Grundwasserneubildung basiert auf einem speziell für den Maßstabsbereich des HAD und die entsprechenden Modelldaten entwickelten Regressionsansatz (NEUMANN et al. 2003). Zielgrößen der Regression sind einerseits der pegelbezogene Basisabfluss und andererseits der entsprechende Baseflow-Index BFI (= R_B/R) als Maßzahl für den Anteil des Basisabflusses am Gesamtabfluss. Die Abtrennung dieser Anteile aus der Abflussganglinie beruht auf dem empirischen Ansatz nach KILLE (1970). Danach können die reduzierten mittleren monatlichen Niedrigwasserabflüsse ($MoMNQ_{red}$) der Grundwasserneubildung gleichgesetzt werden. Diese Annahme wird auch durch physikalisch basierte Separationsverfahren wie das Linearspeichermodell DIFGA (SCHWARZE et al. 1999) bestätigt. Als unabhängige Variablen wurde auf bundesweit flächendeckend verfügbare Daten und daraus abgeleitete Kennwerte zurückgegriffen. Die Kalibrierung des Modells ist auf der Grundlage von Gebietsmittelwerten an langjährigen Reihen täglicher Abflüsse aus 106 Einzugsgebieten in Deutschland (Abb. 4) durchgeführt worden. Deren Auswahl erfolgte mit dem Ziel, eine für die naturräumlichen Bedingungen in Deutschland repräsentative Datenbasis aufzubauen. Als Auswahlkriterien waren z. B. die weitgehende Übereinstimmung von unter- und oberirdischem Einzugsgebiet, geringe bzw. quantifizierbare anthropogene Beeinflussung sowie eine möglichst lückenlose und messtechnisch nachvollziehbare Aufzeichnung der Abflusswerte von Bedeutung. Die zur Modellierung der Grundwasserneubildung herangezogenen digitalen Flächeninformationen stammen hauptsächlich aus dem Datenbestand des HAD.

Für die vorliegende Atlastafel wurde der nachfolgend beschriebene und in Abbildung 3 dargestellte zweistufige Ansatz konzipiert. Dies geschah mit der Absicht, in allen Bereichen eine bestmögliche Modellanpassung an die realen Basisabflussverhältnisse zu erzielen. Im gewählten Bearbeitungsmaßstab von 1:1 000 000 ist dies von besonderer Bedeutung, da die flächendeckenden Eingangsdaten mit sensitiven Unsicherheiten behaftet sind, die sich direkt auf die Güte der modellierten Grundwasserneubildungsraten auswirken können.

In einem ersten Regressionsschritt wurden die statistischen Zusammenhänge zwischen dem Baseflow-Index (BFI, Abb. 2) und den signifikanten Einflussfaktoren (Gebietsmittelwerte) bestimmt, als Regressionsgleichung formuliert und anschließend rasterbezogen regionalisiert:

BFI = f (	Anteil R_D an R	Atlastafel 5.1
	Hangneigung (Flächenanteil > 5°)	DGM/Atlastafel 1.1
	Gewässernetzdichte	Atlastafel 1.2
	Bodenbedeckung (Flächenanteil Wald)	Atlastafel 1.4
	Nutzbare Feldkapazität	BÜK1000/Atlastafel 1.3
	Grundwasserflurabstand (Flächenanteil 0-10 dm)	BÜK1000)

Darauf aufbauend wurden zwei voneinander unabhängige Herangehensweisen für die Wertebereiche < 200 mm/a und > 200 mm/a Gesamtabfluss konzipiert. Die Grundwasserneubildung des unteren Wertespektrums (< 200 mm/a Gesamtabfluss) ergibt sich aus einer multiplikativen Verknüpfung des rasterbasierten BFI mit dem flächendifferenzierten Gesamtabfluss (Atlastafel 3.5) nach dem Verfahren BAGLUVA (GLUGLA et al. 2003). Für die höheren Werte (> 200 mm/a Gesamtabfluss) wurde eine zweite Regressionsgleichung ermittelt, die neben dem in Schritt 1 bestimmten Baseflow-Index (BFI) auch den Gesamtabfluss ($R_{BAGLUVA}$) sowie den mittleren Grundwasserflurabstand als unabhängige Variablen umfasst:

GWN = f (	$R_{BAGLUVA}$	Atlastafel 3.5
	Grundwasserflurabstand	BÜK1000
	BFI regionalisiert	Regression Gleichung 1)

Aus beiden Teilansätzen resultiert schließlich die im Kartenbild dargestellte mittlere jährliche Grundwasserneubildung. Die rasterbasierten Modellergebnisse zeigen mit einem Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,8 eine insgesamt gute Übereinstimmung mit den pegelbezogenen Basisabflusswerten (Abb. 4). Die gering streuenden Werte < 300 mm/a sind dabei bereits für einen Anteil von mehr als 95% der Gesamtfläche Deutschlands relevant. Die stärkere Streuung am oberen Skalenende (> 300 mm/a) spielt letztlich nur in den niederschlagsreichen Hochlagen von Schwarzwald und Alpen eine Rolle.

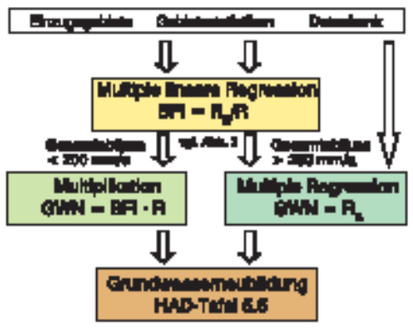


Abb. 3 Flächendifferenzierte Ermittlung der Grundwasserneubildung mit Hilfe der multiplen linearen Regression auf der Basis einer zweistufigen Vorgehensweise

Zur Kartendarstellung

Die Karte 5.5 stellt die mittlere jährliche Grundwasserneubildung des Zeitraums 1961–1990 als Rasterfelddarstellung in der Auflösung 1 km^2 dar. Die Werte liegen unter 25 mm/a im Nordosten Deutschlands und über 500 mm/a in den Hochlagen der Alpen. Die dargestellten Klassenbreiten betragen 25 mm/a für die Werte unter 100 mm/a und 50 mm/a für den Bereich bis 300 mm/a.

Im Vergleich zur Atlastafel 3.5 „Mittlere jährliche Abflusshöhe" zeigt die Karte der Grundwasserneubildung ein ähnliches Gesamtbild für Deutschland, allerdings ist die räumliche Differenzierung ausgeprägter. Großräumig prägt die Verteilung der korrigierten Niederschlagshöhen (Atlastafel 2.5) das Kartenbild. So treten die niederschlagsreichen Mittelgebirge wie Schwarzwald, Harz und Rheinisches Schiefergebirge ebenso deutlich hervor wie die niederschlagsarmen Regionen Thüringer Becken oder Mainfranken. Im Gegensatz zu den hydrometeorologischen Einflüssen wirken sich alle weiteren relevanten Größen wie Hangneigung, Grundwasserflurabstand, Böden, Bodenbedeckung, Gewässernetzdichte, Hydrogeologie, u.a. eher kleinräumig aus. Sehr anschaulich wird dies am Beispiel Nordwestdeutschlands, wo sowohl Flusstäler als auch Moor- und Marschgebiete auffällige Abweichungen vom klimatisch dominierten Gesamtgeschehen zeigen. Ein weiteres Beispiel dafür stellt auch der urbane Großraum Berlin dar, der sich als Folge der spezifischen Verdunstungseigenschaften durch höhere Grundwasserneubildungswerte von seinem Umland abhebt.

Für Deutschland ergibt sich die folgende mittlere Wasserbilanz:

GWN	=	P_{korr}	–	ETa	–	R_D	in mm/a
135	=	859	–	532	–	192	mm/a

Der flächendifferenzierte Baseflow-Index (Abb. 2) ist als Ergebnis des ersten Regressionsschrittes ein Kennwert, dessen räumliche Verteilung das standortspezifische und grundwasserneubildungsrelevante Abflussverhalten beschreibt. Dieser stellt somit einen im langjährigen Mittel vom zeitlich variablen Klimageschehen entkoppelten Modellparameter dar und spiegelt insbesondere den großen Einfluss von Hydrogeologie (Atlastafel 5.1), Landnutzung (Atlastafel 1.4) und Reliefeigenschaften (Atlastafel 1.1) wider. Deutlich erkennbar ist dies z.B. an hohen Direktabflussanteilen im Rheinischen Schiefergebirge und auf drainierten Flächen des norddeutschen Tieflandes (~0,2), aber auch an hohen Basisabflussanteilen (~0,8) in den Lockergesteinsgebieten der norddeutschen Tiefebene, der süddeutschen Molasse und des Rheingrabens.

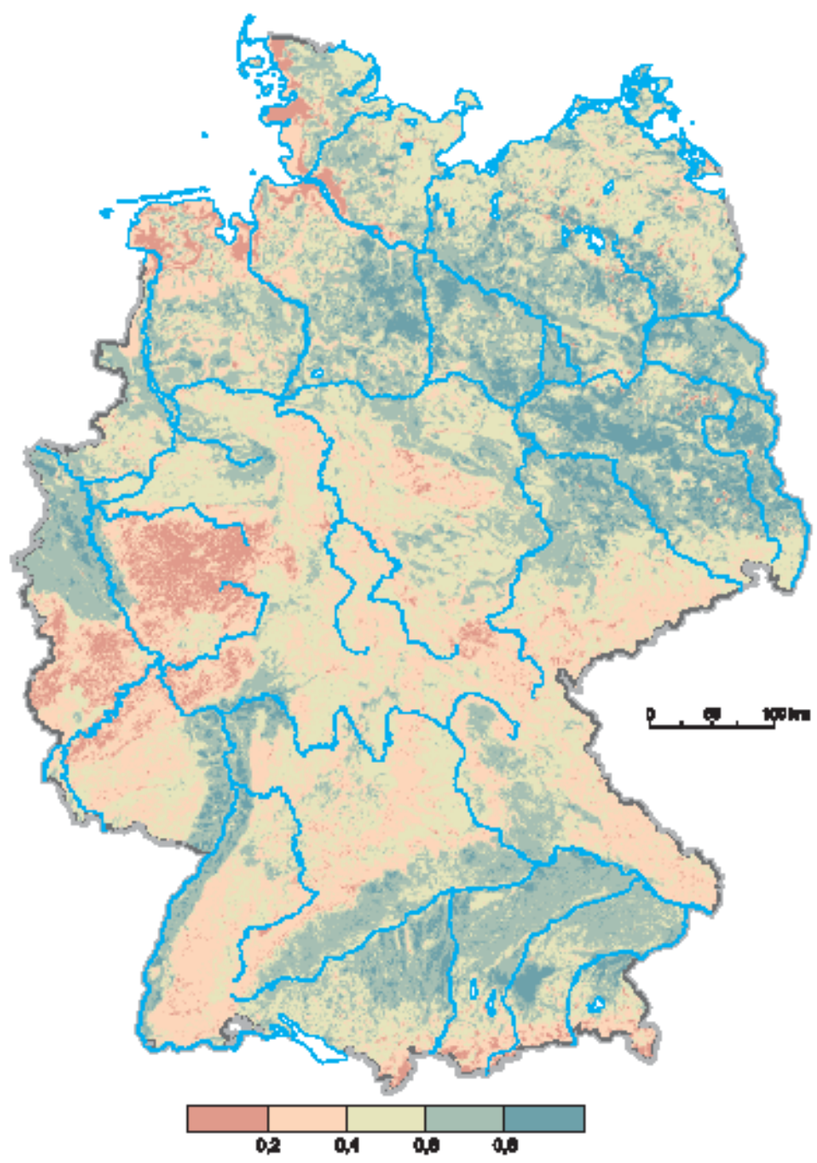


Abb. 2 Ergebnis des ersten Regressionsschrittes: Flächendifferenzierter Baseflow-Index (BFI) als ein vom Klimageschehen unabhängiger Modellparameter für den Anteil der Grundwasserneubildung (Basisabfluss) am Gesamtabfluss

Praktische Hinweise

Die Grundwasserneubildung ist nicht nur durch ein hohes Maß an räumlicher Differenzierung, sondern auch durch eine starke zeitliche Variabilität geprägt. Diese temporären, klimatisch bedingten Unterschiede werden im Gelände z.B. am zeitlichen Verlauf von Grundwasserspiegelhöhen deutlich und sind eng mit der natürlichen Schwankungsbreite der Niederschläge verknüpft (Begleittext Atlastafel 2.2). In ähnlicher Weise können sich auch Landnutzungsänderungen und andere anthropogene Einflüsse auswirken. In diesem Sinne liefert ein 30jähriger Mittelwert der Grundwasserneubildung immer nur ein stark geglättetes Bild des realen Wasserhaushaltsgeschehens (Atlastafel 2.9 „Ausgewählte Nass- und Trockenjahre").

Neben der vorliegenden Atlastafel und der Atlastafel 3.5 „Mittlere jährliche Abflusshöhe" befasst sich auch Atlastafel 4.5 „Mittlere jährliche Sickerwasserrate aus dem Boden" mit einer thematisch verwandten Fragestellung. Die inhaltlich-methodischen Unterschiede sind im wesentlichen darin zu sehen, dass Atlastafel 3.5 den Gesamtabfluss als undifferenzierte Summe aller Abflusskomponenten ermittelt, während Sickerwasserrate und Grundwasserneubildung zusätzlich unterschiedliche Anteile schneller Abflusskomponenten berücksichtigen. Da außerdem für die Sickerwasserrate im Gegensatz zur Grundwasserneubildung nur der reine Oberflächenabfluss von Bedeutung ist, ergibt sich für die Bundesrepublik Deutschland die folgende Abstufung der mittleren Bilanzwerte:

Gesamtabfluss > Sickerwasserrate > Grundwasserneubildung

Ein detaillierter Vergleich der Modellergebnisse wurde von JANKIEWICZ et al. (2003) durchgeführt.

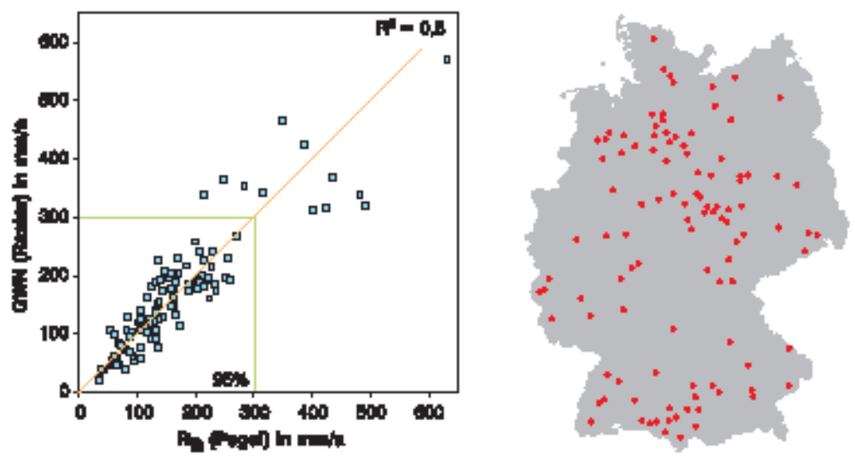


Abb. 4 Vergleich der flächendifferenziert modellierten Grundwasserneubildung (Gebietsmittelwerte) mit den am Pegel abgeleiteten Basisabflusswerten (der Wertebereich innerhalb des grünen Rechtecks deckt ca. 95% der Fläche Deutschlands ab). Rechts: Lage der 106 ausgewählten Testeinzugsgebiete

5.5 Mean Annual Groundwater Recharge

The groundwater recharge (GWN) is an important parameter of the water budget, because it provides a measure of the regeneration of our groundwater resources. It is of special interest for water resources management, since more than 63 % of the drinking water supply in Germany is from the groundwater (Map 7.2). According to DIN 4049 the groundwater recharge rate is obtained by substracting the rate of evapotranspiration (ETa) and fast runoff components from the corrected precipitation rate (P_{corr}). The long-term mean of this parameter is equivalent to the baseflow (R_B) from the aquifer. Groundwater recharge and baseflow are given in mm per unit time, m^3 per unit time, or liter per unit time.

Groundwater recharge is shown in Figure 1 as part of the water budget of the region. The total runoff (R) (Map 3.5) can be subdivided into direct runoff (R_D) and baseflow (R_B). The direct runoff is the sum of the surface runoff, interflow and part of the groundwater flow. The baseflow is the long-term, stable flow into a stream from the aquifer even during dry periods. It is often considered equivalent to low flow (Map 3.10). The baseflow is normally determined from the discharge hydrograph recorded by the stream gauge.

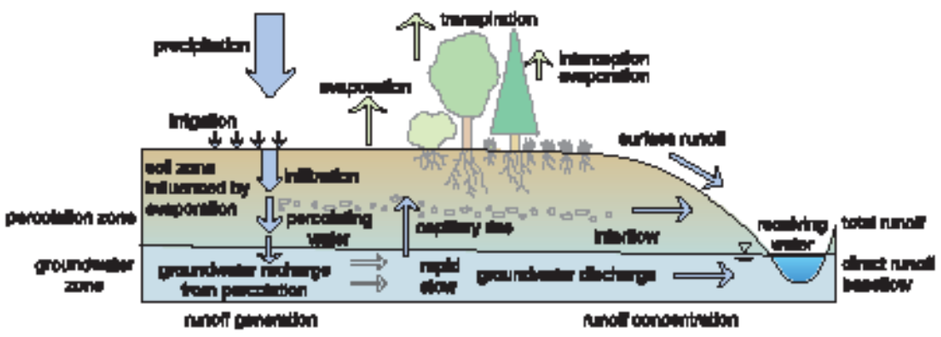


Fig. 1 Factors that influence groundwater recharge (Map 3.5, Fig. 1)

Thus, the long-term, mean net flow into the aquifer (i.e., the groundwater recharge), without consideration of changes in storativity can be considered equivalent to the baseflow. The groundwater recharge is given in equations 1 to 3 as a function of the baseflow, total runoff, direct runoff, infiltrated precipitation, and evapotranspiration:

$$GWN = R_B \quad \text{in mm/a} \quad (1)$$
$$GWN = R - R_D \quad \text{in mm/a} \quad (2)$$
$$GWN = P_{corr} - ETa - R_D \quad \text{in mm/a} \quad (3)$$

Methodology

A regression model designed for the scale of the Hydrological Atlas of Germany (HAD) and the given data (NEUMANN et al. 2003) was used to calculate the mean annual groundwater recharge. The output parameters of the model are the measured baseflow and the corresponding baseflow index BFI (= R_B/R), which is used as a measure of the ratio of baseflow to the total runoff. The determination of the baseflow index from the hydrograph is based on an empirical equation of KILLE (1970). This equation sets the reduced monthly mean low flow equal to the rate of groundwater recharge. This assumption is supported by physically based procedures such as the linear storage model DIFGA (SCHWARZE et al. 1999). Data available for all of Germany and parameters derived from them were used as independent variables. The model was calibrated using the long-term regional mean values of the daily runoff data from 106 catchment areas in Germany (Fig. 4). The catchment areas were selected to obtain an environmentally representative database. Criteria were, for example, correspondence of the surface water and groundwater drainage areas, little or quantifiable anthropogenic influence, and a data set that is as complete as possible. The digital data used for modeling groundwater recharge were taken mainly from the HAD database.

The two-step procedure described in the following paragraphs and represented in Figure 3 was developed for the preparation of the map. This was done to obtain the best fit of the model results to the actual baseflow conditions in all regions. This is of particular importance for the 1 : 1 000 000 map scale, because the uncertainties in the data can have a direct influence on the quality of the groundwater recharge rates produced by the model.

In the first step of the regression analysis, the relationship between the baseflow index (BFI) and the factors that significantly influence the mean baseflow is formulated in a regression equation and applied to each grid cell:

BFI = f (	ratio of R_B to R	Map 5.1
	slope gradient (percent area with > 5°)	DEM/Map 1.1
	drainage density	Map 1.2
	land cover (percent forest area)	Map 1.4
	available field capacity	BÜK 1000/Map 1.3
	depth to groundwater table (percent area 0–100 cm)	BÜK 1000)

This equation was then used to analyse catchment areas with a total runoff of less than 200 mm/a separately from those with more than 200 mm/a total runoff. The groundwater recharge rates in the catchment areas with < 200 mm/a were calculated by multiplying the regional BFI with the total runoff (Map 3.5) calculated using the Bagluva procedure (GLUGLA et al. 2003). The groundwater recharge rates in the catchments with > 200 mm/a were determined using a second regression model that includes the total runoff ($R_{Bagluva}$) and the mean depth to the groundwater table as independent variables, in addition to the baseflow index determined in the first step:

BFI = f (	$R_{Bagluva}$	Map 3.5
	depth to groundwater table	BÜK 1000
	regionalised BFI	Regression Equation 1)

The results of the analyses are shown on the map of mean annual groundwater recharge. The mean annual groundwater recharge rates show a good agreement (variance explained 0.8) with the baseflow values derived from the stream gauge data (Fig. 4). The values for recharge < 300 mm/a show little scatter and represent more than 95 % of the area of Germany. The areas of the Schwarzwald (Black Forest) and the Alps with a high precipitation rate (> 300 mm/a) show more scatter.

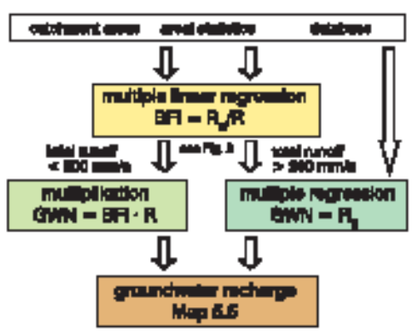


Fig. 3 Determination of the rate of groundwater recharge via a multiple linear regression calculation in a two-path procedure

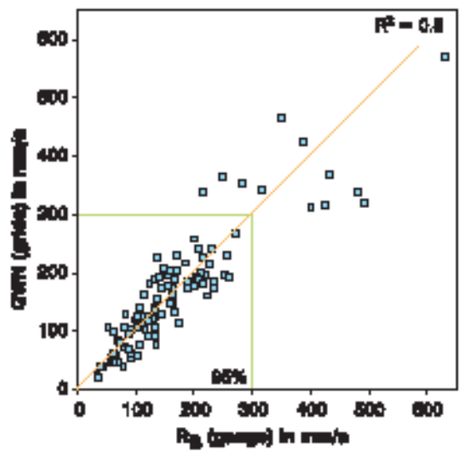


Fig. 4 Comparison of the calculated groundwater recharge (mean value for each catchment area) with the baseflow determined from the stream gauge records. The catchment areas represented within the green box cover 95% of Germany. Right: Locations of the 106 selected catchment areas.

Map Structures

Map 5.5 shows the mean annual groundwater recharge with a spatial resolution of 1 km^2 for the period 1961–1990. The values range from less than 25 mm/a in northeastern Germany to more than 500 mm at high elevations in the Alps. The class intervals are 25 mm for recharge values < 100 mm/a and 50 mm/a for values from 100 mm/a to 300 mm/a.

Map 5.5 and Map 3.5 show similar distributions, but the contrasts within regions are greater on Map 5.5. On this map, the areas of high precipitation (e.g., Black Forest, Harz Mts., and Rheinisches Schiefergebirge (the Rhenish Slate Mts.)) and those with little precipitation (e.g., the Thüringer Becken (Thuringian Basin) and the Main-Franken (Main/Franconia) region) show prominently, like on Map 2.5, which shows the corrected precipitation depths. In contrast to the influence of hydrometeorological parameters, all the other parameters, such as slope gradient, depth to the groundwater table, type of soil, land cover, drainage density, and hydrogeology, have only local effects. This is best seen in northwestern Germany, where the locations of rivers, marshes, and bogs show little correlation with the climate. A further example of this is the greater Berlin region, where the groundwater recharge rates are significantly higher than in the surrounding area due to differences in evaporation rates.

The following mean water balance is obtained for Germany as a whole:

$$\mathbf{GWN = P_{corr} - ETa - R_D \quad \text{in mm/a}}$$
$$\mathbf{135 = 859 - 532 - 192 \quad \text{mm/a}}$$

The baseflow index (Fig. 2) obtained in first step of the regression calculation describes the site-specific and recharge-relevant runoff. The BFI provides a long-term model parameter that is independent of the short-term variability of the climate and reflects the large influence of hydrogeology (Map 5.1), land cover (Map 1.4), and relief (Map 1.1) on runoff. This can be clearly seen, for example, in the high proportion of direct runoff in the Rhenish Slate Mts. and the drained areas of the lowlands of northern Germany (~0.2) and in the high proportion of baseflow (~0.8) in the areas of unconsolidated rock in the North German Lowlands, the Molasse region of southern Germany, and the Rhine graben region.

Fig. 2 Results of the first step of the regression: baseflow index (BFI) as a measure for the proportion of groundwater recharge (baseflow) in the total runoff. This parameter is independent of climate

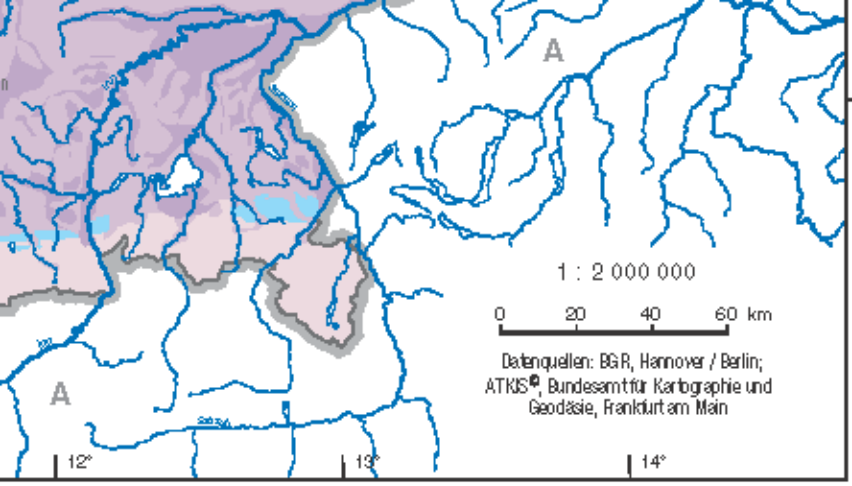
Practical Information

The groundwater recharge varies considerably, not only from area to area, but also with time. The variation with time caused by the climate is reflected in changes of the depth to the groundwater table and is closely related to the variation in the amount of precipitation (see explanatory notes to Map 2.2). Similarly, changes in land cover and other anthropogenic situations can affect the rate of groundwater recharge. Thus, a 30-year mean recharge rate provides only an approximation of the actual water balance (Map 2.9).

The theme of Map 5.5 is related to those of Maps 3.5 and 4.5. Map 3.5 deals with the total runoff without consideration of the individual flow components. Maps 4.5 and 5.5 deal with different fast flow components of the total runoff. Because only surface runoff is of importance for the percolation rate of Map 4.5, in contrast to the groundwater recharge rate for which all the fast flow components reduce recharge, these three water balance parameters have the following hierarchy:

total runoff > percolation rate > groundwater recharge.

A detailed comparison of the model results is given by JANKIEWICZ et al. (2003).



dalkalische
cht alkalische
rbonatisch
carbona-
ch-sulfatische
ässer

Rohstoffe, Hannover

HYDROLOGISCHER ATLAS VON DEUTSCHLAND

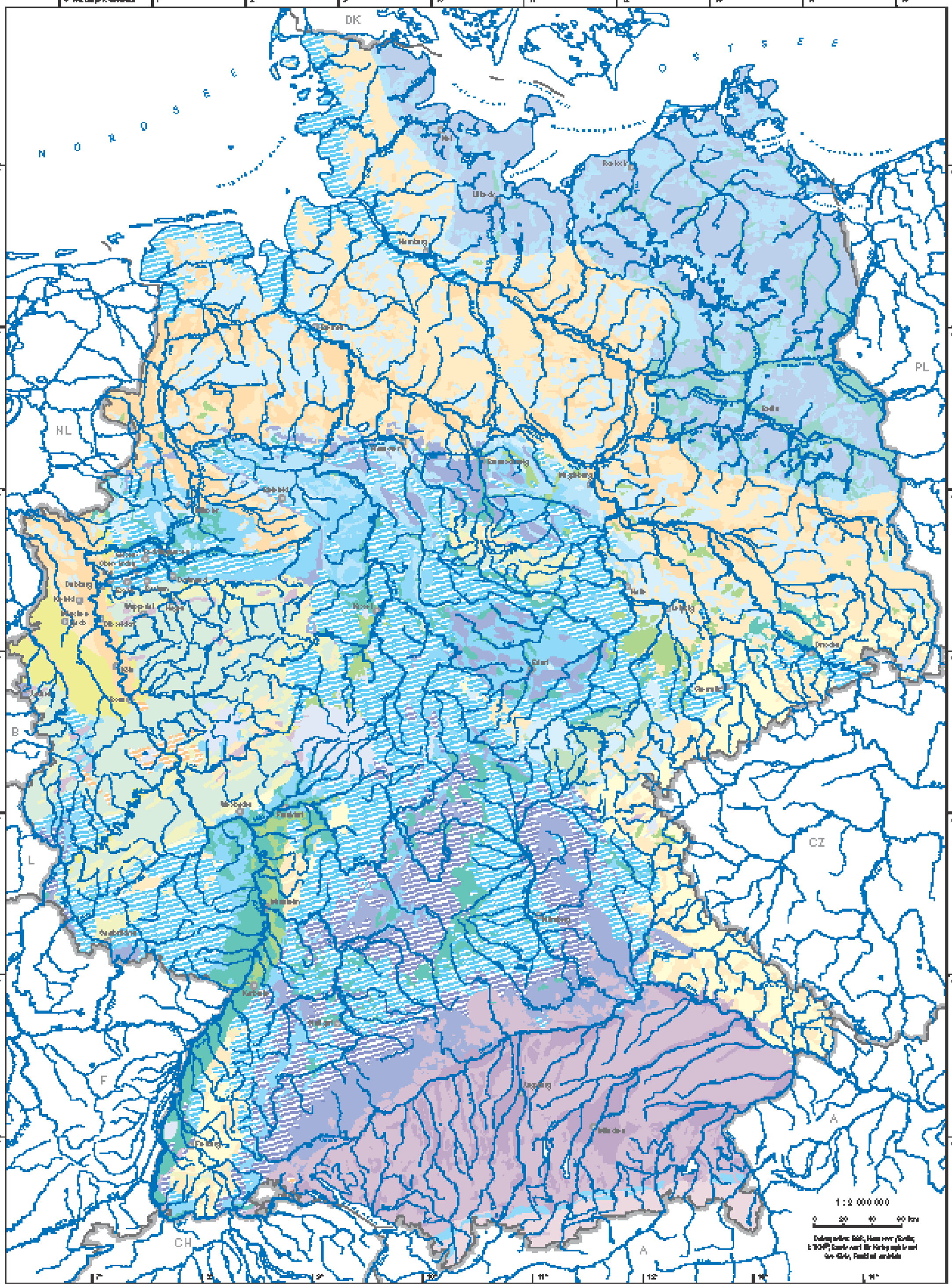
Herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

5.7 Geogene Grundwasser-beschaffenheit

Autoren: W. Hiltmann, W. Kantor
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Wissenschaftliche Beratung: H. Vierhuff (BGR), Ch. Leibundgut, F.-J. Kern (IHF), H.-J. Liebscher, R. Busskamp (BfG)

Kartographie: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover (A. Tallig)
Institut für Hydrologie, Universität Freiburg i. Br. (J. Strub)



Chemismus / Gesamtmineralisation	Erdalkalisch-carbonatische Wässer	Erdalkalisch-carbonatische und carbonatische, schwach sulfatische Wässer	Erdalkalisch-carbonatische, schwach sulfatische Wässer	Erdalkalische carbonatisch-schwach sulfatische und carbonatisch-sulfatische Wässer	Erdalkalische carbonatisch-sulfatische Wässer	Erdalkalisch-sulfatische, auch sulfatisch-carbonatische Wässer, z. T. stärker alkalisch	Erdalkalische Wässer mit stark wechselndem Anionengehalt	Erdalkalische leicht alkalische carbonatisch bis carbonatisch-sulfatische Wässer
60 - 200 mg/l								
200 - 450 mg/l								
450 - 600 mg/l								
600 - 700, vereinzelt bis > 1000 mg/l								
stark wechselnder Lösungsinhalt 200 - 700 mg/l								

©Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

HYDROLOGISCHER ATLAS VON DEUTSCHLAND

Herausgegeben von Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

5.7 Geogene Grundwasserbeschaffenheit

Autoren: W. Hillmann, W. Konkel
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Wissenschaftliche Beratung: H. Wenzel (BGR), Ch. Leibundgut, F.-J. Kron (BfG), H.-J. Liebscher, R. Bandelow (BfG)

Kartographie: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover; Tätigkeitsbereich Kartographie, Universität Freiburg i. Br. (J. Ungt)

5.7 Geogene Grundwasserbeschaffenheit

Der Bedarf an Trinkwasser wird in Deutschland zum überwiegenden Teil aus dem Grundwasser gedeckt. Es muss in ausreichender Menge und angemessener Qualität zur Verfügung stehen. Die Atlastafeln 5.1 bis 5.6 und 7.2 geben bereits einen umfassenden Überblick über wichtige Aspekte der Grundwasservorkommen in Deutschland.
Grundwasser enthält von Natur aus eine Vielzahl an gelösten mineralischen Stoffen. Es führt daneben auch zunehmend Inhaltsstoffe, die auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen sind (Düngung, Abwässer, Austrag aus Altlasten etc.). Atlastafel 5.7 zeigt die chemische Beschaffenheit des Grundwassers, wie sie dem natürlichen, also rein geogenen Zustand ohne anthropogene Beimengungen entspricht.

Der Chemismus des Grundwassers stellt sich in der Art und Menge der gelösten Stoffe dar. Er wird maßgeblich vom mineralogischen Aufbau des Grundwasserleiters, d. h. des Speichergesteins bestimmt. Weitere Faktoren, die den Austausch und die Durchmischung des Wassers und damit die Grundwasserbeschaffenheit beeinflussen, sind die vom Niederschlagswasser durchsickerten Bodenschichten, der Grundwasserflurabstand (d. h. die Tiefenlage der Grundwasseroberfläche) und die Verweilzeit des Wassers im Gestein, die wiederum durch die Wasserwegsamkeit bestimmt wird.
Durch die Summe dieser die hydrogeologischen und hydrochemischen Eigenschaften des Untergrundes bestimmenden Merkmale lassen sich sogenannte hydrogeologische Regionen definieren (Atlastafel 1.6 und 5.1). Diese Regionen sind durch eine jeweils relativ homogene Ausprägung ihres hydrogeologischen Aufbaus gekennzeichnet. Entsprechend kann für eine bestimmte Region eine spezifische chemische Zusammensetzung des Grundwassers als typisch angesehen werden. Die vielfältige geologische Gliederung Deutschlands läßt eine große Zahl an hydrogeologischen Regionen unterscheiden, und entsprechend stark variiert auch die naturbedingte Beschaffenheit des Grundwassers.

Zur Methodik

Grundlage für die Kartierung der Grundwasserbeschaffenheit ist die Karte 5.1 „Hydrogeologische Regionen", in der fünf hydrogeologische Regionen und 23 Unterregionen unterschieden werden. Für jede dieser hydrogeologischen Unterregionen wurde die repräsentative chemische Grundwasserbeschaffenheit ermittelt und in der Karte dargestellt.
Es zeigte sich, dass der Wasserchemismus innerhalb einer Reihe solcher hydrogeologischen Unterregionen erhebliche regionale Unterschiede aufweist (z. B. die Moränenbildungen der Präweichsel- und der Weichselzeit in Norddeutschland und die des Alpenvorlandes). Dies führte zu einer Regionalisierung der betreffenden hydrogeologischen Unterregion in dem Sinne, dass die Teilgebiete jeweils separat ausgewertet und in der Karte dargestellt wurden.
Die Wasserbeschaffenheitsdaten stammen aus den Grundwassermessnetzen (Qualitäts-, Güte- oder Beschaffenheitsmessnetz) der deutschen Bundesländer, die von den Landesämtern für Geologie/Bodenforschung bzw. Umwelt erhoben wurden. Weitere Analysen gehen auf den Datenbestand des ehemaligen Zentralen Geologischen Instituts der DDR zurück.

Aus dem Gesamtdatenbestand wurden 7575 Grundwassermessstellen ausgewählt. Die Auswahl erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Bei Mehrfachbeprobung einer Messstelle wurde in der Regel die letzte Probennahme (bei zweimaliger jährlicher Entnahme: letzte Herbstentnahme) ausgewählt.
- Um einer ungleichen Gewichtung der Analysendaten zu begegnen, wurden bei lokal sehr dichter Belegung von Entnahmestellen (z. B. Brunnenfelder) die Mittelwerte aus den Einzelanalysen verwendet.
- Die Entnahmetiefe liegt < 100 m, um Analysen oft hoch mineralisierter Tiefenwässer auszuschließen.
- Die Analyse ist vollständig, alle Hauptionen (Na, K, Ca, Mg; HCO_3, Cl, SO_4, NO_3) sind analysiert.
- Ionenbilanzfehler < ± 10 %
- pH 4 – 10
- K < 5 mg/l bzw. bei > 5 mg: < 5 % ecmol-%. Höhere Werte sind als anthropogener Eintrag anzusehen.
- NO_3 < 20 mg/l. Höhere Werte sind als anthropogener Eintrag anzusehen. In Gebieten mit geringer Dichte der Entnahmestellen wurden auch Analysen mit etwas höherem NO_3-Gehalt berücksichtigt, um einen zu hohen Ausfall von Datensätzen zu vermeiden. Aus diesen Analysen wurde der als anthropogen gewertete Anteil von > 20 mg/l subtrahiert und entsprechend der Ca-Gehalt [mmol(eq)], oder der K-Gehalt, wenn überhöht, um den gleichen Äquivalentbetrag reduziert. In entsprechender Weise wurde bei geringer Probendichte auch bei Analysen mit erhöhtem K-Gehalt verfahren. Hier wurde dem K-Betrag entsprechend NO_3 oder ggf. SO_4 reduziert.
- Cl < 50 mg/l. Bei gebietsweise nur sehr geringer Analysenzahl wurden aus Wässern mit überhöhtem und als anthropogen anzunehmendem Chloridgehalt der nicht geogene Anteil (i. d. R. > 20 mg/l) abgerechnet sowie die entsprechende Äquivalentmenge an Natrium oder auch Kalium. Oft liegen in solchen Fällen aber auch $CaCl_2$-Wässer vor, wie der zu geringe Anteil an Alkalien anzeigt. Sie bilden sich durch Ionenaustauschreaktionen beim Eindringen alkalischer Wässer in primär erdalkalisch geprägte Bereiche. Aus solchen Wässern wurde der äquivalente Calcium-Anteil abgerechnet. Regionen mit verbreitet höheren Chloridgehalten werden auf der Begleitkarte Abbildung 3 dargestellt.
- SO_4 < 250 mg/l. Regionen mit verbreitet höheren Sulfatgehalten sind auf der Begleitkarte Abbildung 3 hervorgehoben.

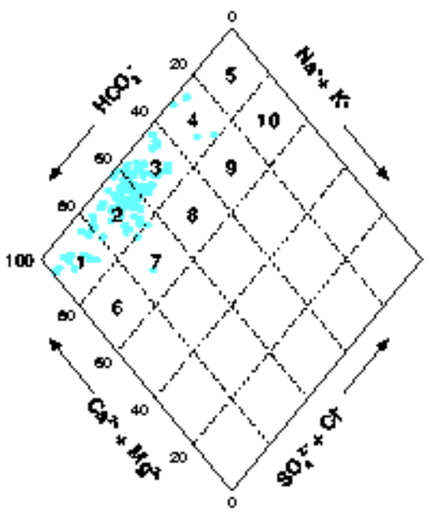


Abb. 1 Wassertypisierung im Vierstoffdiagramm nach Piper mit Wasserproben aus den Kiessedimenten des Oberrheingrabens (ein Punkt je Beobachtung)

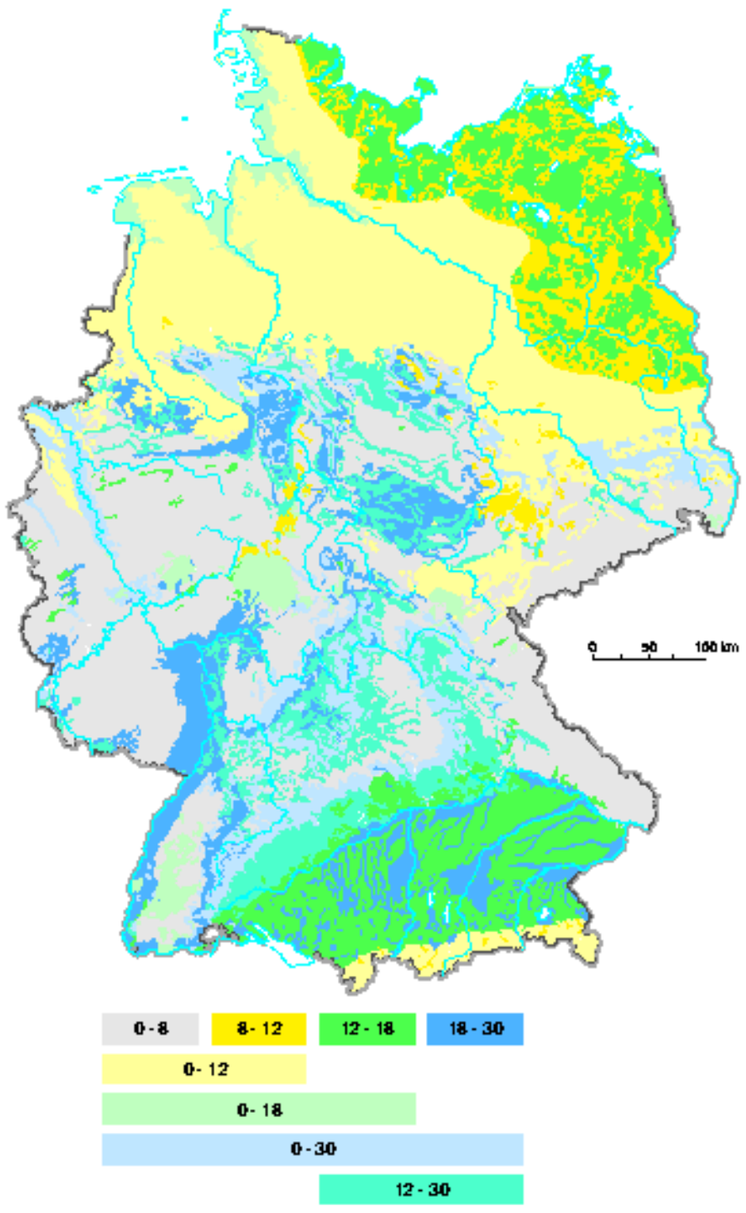


Abb. 2 Wasserhärte in °dH

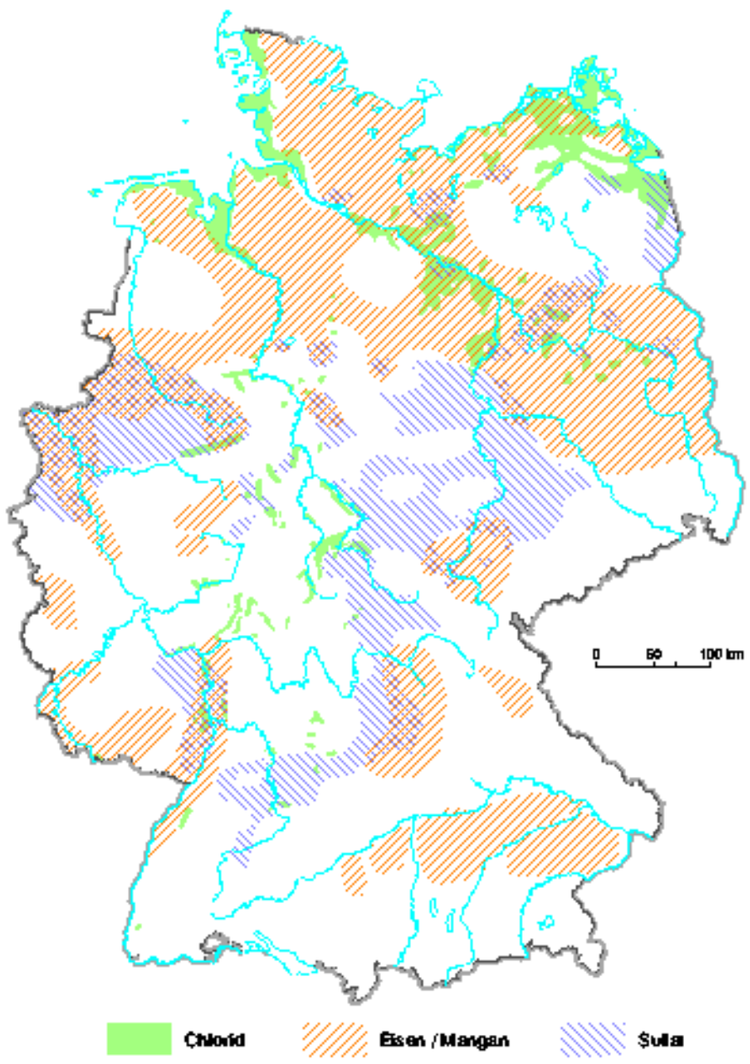


Abb. 3 Grundwässer mit erhöhten Chlorid-, Sulfat- und Eisen-/Mangangehalten

Zur Kartendarstellung

Zur Ermittlung des repräsentativen Wasserchemismus wurden die Wasserdaten jeder hydrogeologischen Unterregion (HGUR) typisiert.

Die wichtigsten chemischen Merkmale des Gundwassers sind der *Lösungsinhalt* (Menge der gelösten Mineralstoffe, Salzgehalt, Mineralisation oder TDS [Total Dissolved Solids], sowie Abdampfrückstand, der mit der elektrischen Leitfähigkeit korrespondiert) und der *chemische Stoffbestand*, d. h. die Anteilsverhältnisse der Hauptwasserkomponenten Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen, Mangan, Hydrogencarbonat, Chlorid, Sulfat und Nitrat.

Der Lösungsinhalt stellt diejenige Eigenschaft des Grundwassers dar, die am stärksten von der Ausbildung des Trägergesteins beeinflusst ist. Dieses Kriterium bildete daher den Hauptparameter für die hydrochemische Typisierung. Auf der Basis der Medianwerte (50-Perzentile) der Analysen aller hydrogeologischen Unterregionen wurden fünf Klassen der Gesamtmineralisation gebildet (Kartenlegende):

- Wässer mit sehr geringem Lösungsinhalt (50–200 mg/l)
- Wässer mit geringem Lösungsinhalt (200–350 mg/l)
- Wässer mit mittlerem Lösungsinhalt (350–500 mg/l)
- Wässer mit hohem Lösungsinhalt (500–700, vereinzelt bis 1000 mg/l)
- Wässer mit stark wechselndem Lösungsinhalt (etwa 200–700 mg/l)

Die Streuung der Werte aller Klassen beträgt dabei – bezogen auf das 25- bzw. 75-Perzentil – in der Regel < 50–100 mg/l.

Die Typisierung der Wässer nach ihrem chemischen Stoffbestand bildet den zweiten Einteilungsparameter und erfolgte auf der Basis von Äquivalentprozenten der Hauptkationen und -anionen. Sie orientierte sich an dem bekannten Vierstoffdiagramm nach Piper, in dem der Stoffbestand, ausgedrückt als c(ec) %, in 20 %-Schritten klassifiziert wird (Abb. 1).

Die weit überwiegende Menge der natürlichen Grundwässer fällt in weniger als 10 der insgesamt 25 Klassen. Der Chemismus der Wässer einer hydrogeologischen Unterregion wird charakterisiert durch das Feld/die Felder im Vierstoffdiagramm, in das der überwiegende Teil der Analysenwerte fällt (d. h. in der Regel mehr als 50 %, die als repräsentativ für die betreffende hydrogeologische Unterregion angesehen werden).
Die Felder lassen sich wie folgt kennzeichnen (Abb. 1):

1. Erdalkalisch-carbonatische Wässer
2. Erdalkalische carbonatisch-schwach sulfatische Wässer
3. Erdalkalische carbonatisch-sulfatische Wässer
4. Erdalkalische sulfatisch-schwach carbonatische Wässer
5. Erdalkalisch-sulfatische Wässer

6–10. Erdalkalisch-schwach alkalische Wässer, Anionen wie Felder 1–5.

Die so durchgeführte chemische Klassifizierung führte zur Ausgrenzung von 8 Grundwassertypen. Jeder Grundwassertyp liegt wiederum in verschiedenen Mineralisierungsgraden vor. Auf diese Weise ließen sich deutschlandweit 22 geogene Grundwassertypen unterscheiden. Diese Wassertypen sind in der Karte durch Farbgebung dargestellt: Die Leitfarbenblöcke stehen für die chemische Zusammensetzung des Wassers, die Farbtiefe entspricht der Gesamtmenge der gelösten Inhaltsstoffe.

Als Beispiel für eine solche Typisierung seien die Wässer der Talsedimente des Oberrheingrabens angeführt. Sie sind als erdalkalische carbonatisch-schwach sulfatische und carbonatisch-sulfatische Wässer zu charakterisieren (Abb. 1).

Die Darstellung der *Wasserhärte* (Abb. 2, Gesamthärte (Gehalt an Erdalkalien Ca und Mg), ausgedrückt als Grad deutscher Härte °dH) erfolgt entsprechend der Einteilung nach Kluth-Olszewski (0 - 8° dH sehr weich und weich; 8 - 12° dH mittelhart; 12 - 18° dH ziemlich hart; 18 - 30° dH hart; >30° dH sehr hart).
In der Karte Abbildung 3 sind Gebiete mit örtlich überhöhten Chlorid-, Sulfat- und Eisen-/Mangan-Gehalten dargestellt.
Höhere *Chlorid*-Werte können auf Küstenversalzung, Aufstieg von versalztem Tiefenwasser oder Vorkommen von Salinargesteinen, aber auch auf anthropogenen Eintrag zurückgehen. Die Darstellung entspricht derjenigen in Karte 1.6 „Hydrogeologie".

Deutlich überhöhte *Sulfatgehalte* sind neben Pyritverwitterung meist auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen. Dargestellt sind Gebiete mit verbreitet > 240 mg/l Sulfat (entsprechend dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung).

In sauerstoffarmen Grundwässern sowie bei niedrigem pH-Wert sind häufig erhöhte *Eisen- und Mangangehalte* anzutreffen. In der Karte hervorgehoben sind Gebiete mit verbreitet > 0,1 mg/l Eisen bzw. > 0,05 mg/l Mangan.

Regionale Grundwasserbeschaffenheit

Im folgenden werden, nach einem zusammenfassenden Überblick, die hydrogeologischen Unterregionen bezüglich ihrer chemischen Grundwasserbeschaffenheit im einzelnen beschrieben.
Alle Angaben zum Wasserchemismus sind als generalisierte Aussagen anzusehen. Der Chemismus kann innerhalb der einzelnen hydrogeologischen Unterregionen mehr oder weniger stark variieren. Die geogene Beschaffenheit des Grundwassers – das gilt vor allem für die Wässer der Festgesteine – wird, wie bereits erwähnt, wesentlich vom Mineralbestand der wasserleitenden Gesteine geprägt. Die hydrogeologischen Unterregionen sind jedoch petrographisch durchaus nicht homogen. Hinzu kommt, dass der Wasserchemismus lokal oder gebietsweise von weiteren Faktoren beeinflusst werden kann, wie dem Austausch mit Wässern anderer hydrogeologischer Einheiten oder überlagernden Bodenschichten (z. B. kalkhaltigen Lößüberdeckungen).

Die *diagenetisch stark veränderten*, i. allg. geologisch älteren *Festgesteine*, und die *kristallinen* Gesteine führen gering mineralisierte, weiche, meist carbonatisch-sulfatische Wässer, die chemisch relativ homogen sind.

5.7 Geogene Grundwasserbeschaffenheit – Fortsetzung

In den *diagenetisch schwach veränderten*, geologisch jüngeren *Festgesteinen* ist das Bild uneinheitlicher: In den klastischen Sedimenten (Sand- und Tonsteinen) liegen überwiegend mittelhohe Mineralisation und Härte vor, die Schwankungen sind aber vielfach sehr stark. Die Wässer der chemischen Sedimente (Kalke, Mergel, Gipsgesteine) sind durch hohe Mineralisation und Härte gekennzeichnet. Von den gipsführenden Gesteinen abgesehen, sind diese Wässer insgesamt carbonatisch und allenfalls schwach sulfatisch.

Lockergesteine sind anders als Festgesteine meist aus sehr unterschiedlichen Gesteinskomponenten zusammengesetzt. Dies hat einen sehr wechselhaften Wasserchemismus zur Folge. Darüberhinaus trägt die höhere Fließgeschwindigkeit und entsprechend kürzere Verweilzeiten des Grundwassers und damit geringere Intensität der Lösungsprozesse im Speichergestein zu der verbreiteten Heterogenität dieser Wässer bei.
Die Grundwässer in den Schottern, Sanden und Moränen des Norddeutschen Tieflandes zeigen eine deutliche Differenzierung in carbonatische, stärker mineralisierte und härtere Wässer in den weichseleiszeitlichen Ablagerungen (Ablagerungen nordöstlich einer Linie Flensburg - Hamburg - Schwerin - Wittstock - Brandenburg - Jüterbog - Guben) und in Wässer der vorweichseleiszeitlichen Gesteine, die durch Entkalkung geringer mineralisiert, etwas weicher und etwas stärker sulfatisch sind.

In der folgenden Einzeldarstellung werden die Wässer vorwiegend qualitativ charakterisiert. L steht für Lösungsinhalt in mg/l, H für Härte in °dH. Darüber hinausgehende statistische Kennwerte sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Küste

Küstendünen
L gering (200–300). Calciumcarbonatisch-schwach sulfatisch, H sehr weich bis mittelhart.

Seemarsch
L stark schwankend (250–600). Überwiegend calciumcarbonatisch, z. T. schwach sulfatisch, daneben auch schwach alkalisch. Verbreitet stark erhöhte Cl-Gehalte (200–<1000) infolge Küstenversalzung (Abbildung 3), H sehr weich bis ziemlich hart.

Flachland und Lockergesteinsregion

Talsand- und Schotterflächen
- Präweichselzeitliche Ablagerungen Norddeutschlands: L gering (200–400), erdalkalisch (Ca), z. T. schwach alkalisch mit stark variierendem Anionengehalt, H sehr weich bis mittelhart.
- Weichselzeitliche Ablagerungen Norddeutschlands: L mittel (300–500), erdalkalisch (Ca), z.T. schwach alkalisch, H mittelhart bis ziemlich hart. Anders als in den Präweichselsedimenten sind die Wässer immer carbonatbetont, der Sulfatanteil erreicht maximal 50 Äquivalent-%. Im Vergleich zu den Präweichselwässern deutlich erhöhte Mineralisation (300–500) und höhere Härte (vgl. dazu hydrogeologische Unterregion „Moränenbildungen").
- Niederrheinische Bucht: L 200–500, erdalkalisch (Ca) mit stark wechselndem Anionengehalt, H sehr unterschiedlich.
- Oberrheingraben: L hoch (450–700), calciumcarbonatisch-schwach sulfatisch und calciumcarbonatisch-sulfatisch, hart.
- Alpenvorland: L hoch (500–600), calciumcarbonatisch, hart.

Sander und Hochflächensande
- Präweichselzeitliche Ablagerungen Norddeutschlands: L gering (150–350), erdalkalische (Ca) und schwach alkalische Wässer mit sehr wechselhaftem Anionengehalt (überwiegend carbonatisch-sulfatische, aber auch rein carbonatische und sulfatische Wässer), weich bis mittelhart.
- Weichselzeitliche Ablagerungen Norddeutschlands: Überwiegend calciumcarbonatisch-schwach sulfatisch. Im Küstenbereich verbreitet stark erhöhte Cl-Gehalte (200–< 1000) infolge Küstenversalzung. Gegenüber den Wässern der Präweichselsande sind diese Wässer wesentlich carbonatreicher, stärker mineralisiert (300–500) und deutlich härter (mittelhart und ziemlich hart).
- Rhein-Main-Neckargebiet: L mittel (350–550), Ca-carbonatisch-sulfatisch, ziemlich hart und hart.

Beckenablagerungen der Tertiärzeit
- Rheinland: L überwiegend gering (150–350), Ca-carbonatisch-sulfatisch, sehr weich und weich.
- Nord- und Mitteldeutschland: Überwiegend Ca- carbonatisch-sulfatisch, aber auch sulfatisch-carbonatisch, die sulfatreichen Wässer vielfach schwach alkalisch, L mittel (300–500), H ziemlich hart.
- Rhein-Main-Gebiet: L hoch (500–800), Ca-Mg-carbonatisch-schwach sulfatisch, hart.
- Bayern: L mittel (400–550), Ca-Mg-carbonatisch, ziemlich hart.

Moränenbildungen
- Präweichselzeitliche Ablagerungen Norddeutschlands: Ca-carbonatisch bis carbonatisch-sulfatisch. Die Wässer sind gegenüber denen der weichselzeitlichen Moränen mit 200–450 mg/l deutlich schwächer mineralsiert und weicher. Dies ist auf die langanghaltende, oberflächennahe Entkalkung dieser älteren kaltzeitlichen Ablagerungen zurückzuführen. In tieferen Grundwasserleitern ist auch hier ein den weichselzeitlichen Wässern vergleichbarer Chemismus anzutreffen.
- Weichselzeitliche Ablagerungen Norddeutschlands: L mittel (400–550), Ca-carbonatisch und carbonatisch-schwach sulfatisch. Im Küstenbereich verbreitet stark erhöhte Cl-Gehalte (200–>1000) infolge Küstenversalzung, mittelhart bis ziemlich hart.
- Alpenvorland: L mittel (450–550), ähnlich wie in den norddeutschen weichselzeitlichen Moränenlandschaften, Wässer allerdings rein calciumcarbonatisch, ein Hinweis auf die überwiegend kalkigen Gesteine der Nordalpen, die das Material dieser Moränen lieferte, ziemlich hart, z. T. auch hart.

Mittelgebirge, vorwiegend aufgebaut aus schwach diagenetisch veränderten Festgesteinen

Sandsteine und Konglomerate
L stark schwankend (150–>500); die z. T. hohen Werte können auf Gipse bzw Anhydrite aus dem oberen Buntsandstein oder Überprägung durch Zechsteinwässer zurückgehen, vorwiegend erdalkalisch (Ca-Mg) carbonatisch-schwach sulfatisch, überwiegend weich, daneben aber auch mittelhart bis hart. Von den ganz überwiegend dem Buntsandstein angehörenden Wässern heben sich deutlich die mit 50–250 mg/l nur sehr gering mineralisierten (in der Karte nicht gesondert ausgewiesenen) Rotliegend-Wässer des Saar-Nordpfälzer Raumes ab.

Kalksteine
L hoch (450–650), Ca- und Ca-Mg-carbonatisch und carbonatisch-schwach sulfatisch, ziemlich hart und hart.

Vulkanische Gesteine
L sehr gering (100–200), Ca-Mg-carbonatisch bis carbonatisch-schwach sulfatisch, sehr weich bis ziemlich hart.

Mergelsteine
L hoch (400–650), Ca- und Ca-Mg-carbonatisch-schwach sulfatisch, hart.

Gips- und gipsführende Gesteine
L hoch (400–>600), Ca-Mg-carbonatisch-sulfatisch, H ziemlich hart und hart; extrem harte (>30) sulfatdominierte Gipswässer haben nur begrenzte Verbreitung. Die Mehrzahl der Wässer ist an die vorherrschenden tonig-schluffigen Gesteine gebunden.

Feinsandsteine und Tonsteine
- Norddeutsche Mittelgebirge: Ca-Mg-carbonatisch-schwach sulfatische Wässer mit mittlerem Lösungsinhalt (250–500) und stark variierender Härte (sehr weich bis hart).
- Thüringer Becken: Ca-Mg- und Mg-Ca-carbonatisch-schwach sulfatisch. Gegenüber den Vorkommen dieser hydrogeologischen Unterregion in den norddeutschen Mittelgebirgen zeichnen sich diese Wässer des Thüringer Beckens durch eine erheblich höhere Mineralisation (650–800), höhere Härte (hart) sowie einen vielfach hohen Mg-Gehalt aus. Ursache dafür ist neben den salzführenden Gesteinen des Oberen Buntsandsteins und Keupers (Chlorid) der Einfluss der Zechsteinsalze in der Umrandung bzw. im Untergrund des Thüringer Beckens (Sulfat).
- Süddeutschland: Die Ca-Mg-carbonatischen und schwach sulfatischen Wässer des schwäbisch-fränkischen Raumes sowie Südthüringens ähneln denen Norddeutschlands, sind aber etwas stärker carbonatisch. Stark schwankender Lösungsinhalt (250–700) und Härtegrad (sehr weich bis z.T. sehr hart).

Talfüllungen
L hoch (400–650), Ca- und Ca-Mg-carbonatisch-schwach sulfatisch und -carbonatisch-sulfatisch, H ziemlich hart bis hart.

Mittelgebirge, vorwiegend aufgebaut aus stark diagenetisch veränderten und kristallinen Gesteinen

Dolomite und Kalksteine
L mittel (400–500), Ca-Mg-carbonatisch und z. T. schwach sulfatisch, ziemlich hart.

Grauwacken und Quarzite
- Rheinisches Schiefergebirge, Harz: L sehr gering (50–150), Ca-Mg-carbonatisch-sulfatisch und sulfatisch, H sehr weich bis weich.
- Thüringen, Sachsen: Die Ca-Mg-carbonatischen und z.T. schwach sulfatischen Wässer sind durch eine geringe, mit 200–400 mg/l gegenüber den Wässern des Rheinischen Schiefergebirges und Harzes allerdings wesentlich stärkere Mineralisation und vielfach größere Härte (bis mittelhart) gekennzeichnet. Dies ist auf Zufluss von Zechsteinwässern vorzugsweise entlang bruchtektonischer Störungslinien zurückzuführen.

Kristalline, stark geklüftete Gesteine
L gering (100–400), Ca-Mg-carbonatisch-sulfatisch und Ca-Mg-sulfatisch, sehr weich und weich.

Kristalline, weniger geklüftete Gesteine
L sehr gering (50–200), Chemismus sehr wechselhaft: sowohl Ca-Mg-carbonatische als auch -sulfatische, verbreitet schwach alkalische Wässer, H sehr weich und weich.

Tonschiefer
- Rheinisches Schiefergebirge, Harz: L sehr gering (50–200), Ca- und Ca-Mg-carbonatisch-sulfatisch und -sulfatisch, H sehr weich und weich.
- Thüringen, Sachsen: L gering (200–400), Ca-Mg-carbonatisch-sulfatische und -sulfatische Wässer, H sehr weich bis mittelhart. Wie in der hydrogeologischen Unterregion der Grauwacken und Quarzite macht sich auch bei den Tonschiefern Thüringens der Einfluss des Zechsteinsalinars in erhöhter Mineralisation und Härte bemerkbar.

Junge vulkanische Tuffe
L stark schwankend (350–700), Ca-Mg-carbonatisch-sulfatisch und sulfatisch, vielfach schwach alkalisch, H sehr wechselhaft (weich bis z.T. sehr hart).

Talfüllungen
L gering (200–350) Ca-, z.T schwach Mg-haltig, carbonatisch-sulfatisch und sulfatisch. Sulfatreichere Wässer sind oft schwach alkalisch (Natriumsulfat), H sehr weich und weich.

Deutsche Alpen und Voralpen

Kalksteine und Kalkmergelsteine, Sandsteine und Kalksandsteine, Mergelsteine
L gering (200–300), Ca-Mg-carbonatisch, H mittelhart.

Grobe Talschotter
Wie in den Festgesteinen Ca-Mg-carbonatisch, doch etwas härter und stärker mineralisiert (300–400).

Tab. 1 Statistische Kennwerte zum Lösungsinhalt in mg/l. Angegeben sind die 25-, 50- und 75-Perzentile (P25, P50, P75), d. h. diejenigen Konzentrationen, unter denen 25, 50, und 75 % aller Werte liegen; P 50 ist der Medianwert
(* ungenügende Datengrundlage)

Hydrogeologische Unterregion		Lösungsinhalt P 25	Lösungsinhalt P 50	Lösungsinhalt P 75	Härte [°d H]
Küstendünen		228	261	307	0 - 12
Seemarsch		239	444	584	0 - 18
Talsand- und Schotterflächen	Präweichsel Norddeutschland	235	322	416	0 - 12
	Weichsel Norddeutschland	316	420	511	8 - 18
	Niederrheinische Bucht	230	382	495	0 - 30
	Oberrheingraben	445	593	692	18 - 30
	Alpenvorland	489	546	597	18 - 30
Sander, Hochflächensande	Präweichsel Norddeutschland	151	244	331	0 - 12
	Weichsel Norddeutschland	306	376	463	8 - 18
	Rhein-Main-Neckargebiet	365	447	574	12-18, z.T. bis >30
Beckenablagerungen der Tertiärzeit	Rheinland	151	231	369	0 - 8
	Nord- und Mitteldeutschland	324	394	511	8 - 18
	Rhein-Main-Gebiet	509	573	832	18 - > 30
	Bayern	394	446	540	8-18, z.T. bis 30
Moränenbildungen	Präweichsel Norddeutschland	207	328	475	0 - 12
	Weichsel Norddeutschland	395	470	546	12 - 18
	Alpenvorland	430	466	557	12 - 30
Sandsteine u. Konglomerate		164	365	519	0-8, z.T. bis 30
Mesozoische Kalksteine		444	532	647	12 - 30
Vulkanische Gesteine		118	149	191	0 - 18
Mergelsteine		424	552	645	18 - 30
Gips- und gipsführende Gesteine		405	506	629	12 - 30
Feinsandsteine und Tonsteine	Norddeutsche Mittelgebirge	250	424	518	0 - 30
	Thüringer Becken	645	725	814	18 - 30
	Süddeutschland, Südthüringen	256	471	687	0 >30
Talfüllungen im Mesozoikum		425	548	649	12 - 30
Paläozoische Dolomite und Kalksteine		409	423	523	12 - 18
Grauwacken u. Quarzite	Rhein. Schiefergebirge, Harz	66	84	122	0 - 8
	Thüringen, Sachsen	227	334	434	0 - 12
Kristalline, stark geklüftete Gesteine		79	235	374	0 - 8
Kristalline, weniger geklüftete Gesteine		51	128	221	0 - 8
Tonschiefer	Rhein. Schiefergebirge, Harz	70	107	169	0 - 8
	Thüringen, Sachsen	194	289	418	0 - 12
Junge vulkanische Tuffe		345	496	714	0 - 8
Talfüllungen im Paläozoikum		193	233	340	8 - 12
Alpine Festgesteine		225	228	248	8 - 18
Alpen: Grobe Talschotter				363*	

Praktische Hinweise

Weitere Informationen zur Wasserqualität in Deutschland können über diesen Atlas hinaus u. a. folgenden Publikationen entnommen werden: „Geochemischer Atlas Bundesrepublik Deutschland, Verteilung von Schwermetallen in Wässern und Bachsedimenten", herausgegeben von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Neuauflage, erweitert um das Gebiet der Neuen Bundesländer, ist in Vorbereitung); „Beschaffenheit der Fließgewässer in der Bundesrepublik Deutschland, Beschaffenheit der Fließgewässer in der DDR, Grundwasserbeschaffenheit in der DDR" in: Daten zur Umwelt 1990/91 (Umweltbundesamt Berlin 1992). Darüber hinaus sei auf die in einer Reihe von Bundesländern in Abständen erscheinenden länderbezogenen Berichte zur Grundwassersituation oder Grundwasserbeschaffenheit hingewiesen. Für Niedersachsen liegt ferner eine umfangreiche Dokumentation „Digitaler Atlas Hintergrundwerte natürliche chemische Gehalte von Bachsedimenten, Böden, Gesteinen und Grundwasser" vor (CD, Hrsg.: Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung). Vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg wurde eine flächenhafte Darstellung des Grundwasserchemismus von Baden-Württemberg herausgegeben („Geogene Grundwasserbeschaffenheit" in: Geowissenschaftliche Übersichtskarten von Baden-Württemberg 1 : 350 000, CD, Freiburg 1998).

5.7 Geogenic Groundwater Quality

Most of the drinking water demand in Germany is covered by groundwater. It must be available in sufficient amounts and required quality. Maps 5.1 – 5.6 and 7.2 show important aspects of the groundwater occurrences in Germany.

Groundwater naturally contains numerous dissolved minerals. Increasingly, it also contains substances from human activities, e. g. fertilizers and substances from sewage, landfills, and industrial sites. Map 5.7 shows groundwater quality in terms of the geogenic background, i. e. the natural chemical content of the groundwater.

The chemical content (type and amount) of the groundwater is determined mainly by the minerals in the aquifer. Other factors are the cover layers through which surface water percolates into the groundwater, the depth of the groundwater table, and the residence time of the groundwater in the aquifer, which is determined by the permeability of the rock.

Hydrogeological regions (Maps 1.6 and 5.1) can be defined on the basis of the properties of the rocks the water passes through. These regions are characterised by relatively homogeneous hydrogeological and hydrochemical properties. Accordingly, the groundwater in a hydrogeological region can be expected to have a typical chemical composition. Owing to the differences in the geology in different parts of Germany, there are many hydrogeological regions and the natural quality of the groundwater varies accordingly.

Methodology

Map 5.1 "Hydrogeological Regions" was used as the base map for the map of groundwater quality. On Map 5.1, the representative chemical content of the groundwater is shown for five hydrogeological regions and 23 subregions.
There are considerable differences in the chemical content of the groundwater within the hydrogeological subregions, e. g. between the pre-Weichselian and Weichsel moraine regions of northern Germany and those of the Alpine foreland. For this reason, the subregions were subdivided in many cases further.

The groundwater observation wells of the individual Federal States provided the water quality data. Other data is from the Central Geological Institute of the GDR. Of the observation wells, 7575 were selected according to the following criteria:

- The analysis of the last sample taken was usually selected (if two samples were taken each year, the last one in the autumn was chosen).
- To avoid uneven weighting of the data, a mean value was taken in the case closely spaced wells, e. g. well fields.
- The samples were taken at depths of less than 100 m in order to exclude the highly mineralized water often found at depths greater than 100 m.
- All of the main ions (Na, K, Ca, Mg, HCO_3, Cl, SO_4, NO_3) were analysed.
- The ion balance error was less than ± 10 %.
- The pH lies between 4 and 10.
- K < 5 mg/l, or if > 5 mg/l then < 5 mol-%. Higher values are viewed as including an anthropogenic component.
- NO_3^- < 20 mg/l. Higher values are viewed as including an anthropogenic component. In areas with a low density of observation wells, samples with a somewhat higher nitrate content were accepted in order to avoid having too few values. In such cases, the amount > 20 mg/l (viewed as being anthropogenic) was subtracted from these values; elevated Ca and K concentrations were reduced by an equivalent amount. In the case of a low sample density, if the K concentration was elevated it was reduced in the same way and corresponding to the K value, the NO_3 and SO_4 concentrations were also reduced.
- Cl < 50 mg/l. If there were very few samples from an area, concentrations in samples with elevated chloride concentrations which were viewed as anthropogenic (normally > 20 mg/l) were reduced by subtraction of the anthropogenic component, and the Na and K concentrations were reduced by an equivalent amount. Often in the case of an elevated chloride concentration, there was also an elevated Ca concentration and corresponding low alkali concentrations. Such water results from ion exchange during the percolation of alkali water into rocks with a high alkaline earth component. In such cases, the equivalent calcium concentration was subtracted. Regions with a wide distribution of elevated chloride concentrations are shown in Figure 3.
- SO_4 < 250 mg/l. Regions with a wide distribution of elevated sulfate concentrations are shown in Figure 3.

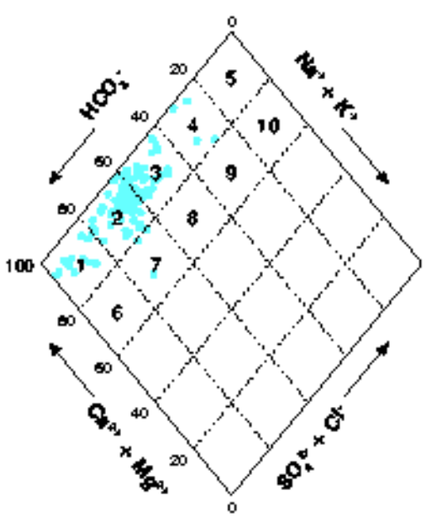


Fig. 1 Classification of the chemical composition of the groundwater using a Piper diagram; data points = water in the valley sediments of the Upper Rhine graben (each point represents one observation well)

Map Structures

In order to determine the representativity of the chemical content of the groundwater, the water data for each hydrogeological subregion was classified. The most important chemical parameters of groundwater are the TDS value (total dissolved solids), i. e. the residue on evaporation (which correlates with the electrical conductivity of the sample), and the ionic composition (i. e. the relative amounts of the main components: Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, HCO_3, Cl, SO_4, and NO_3).

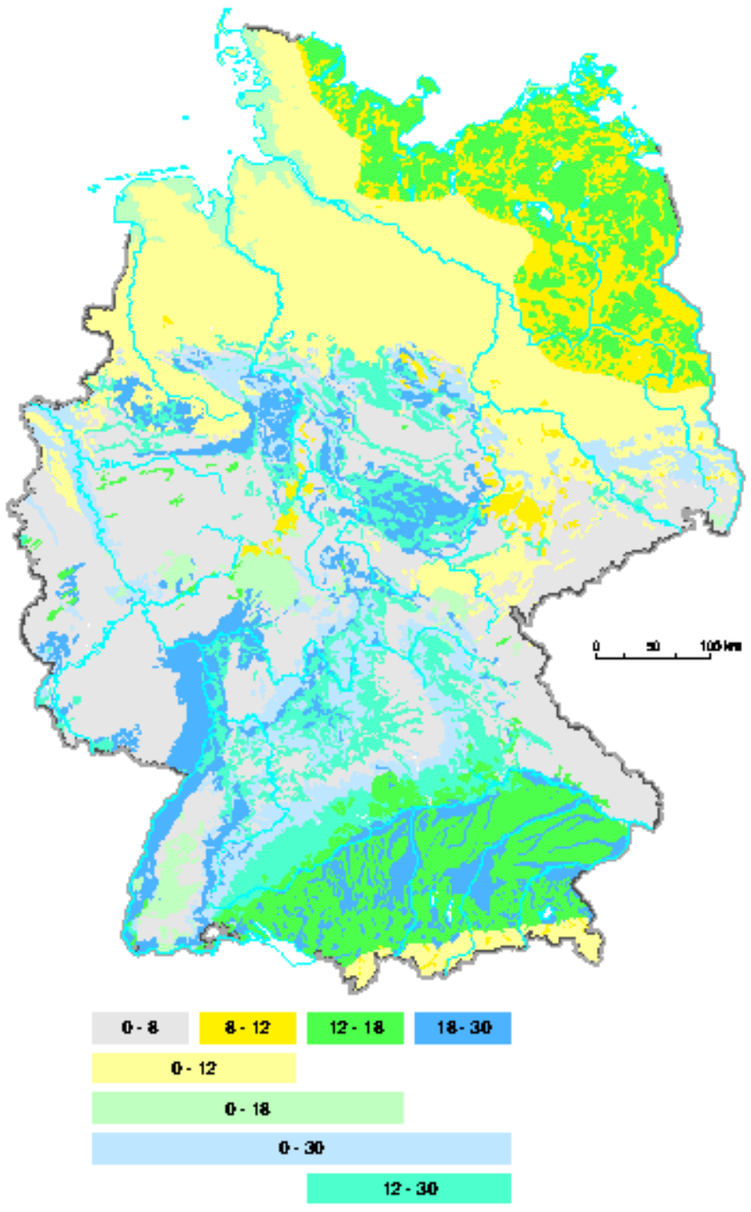


Fig. 2 Distribution of water hardness in °dH

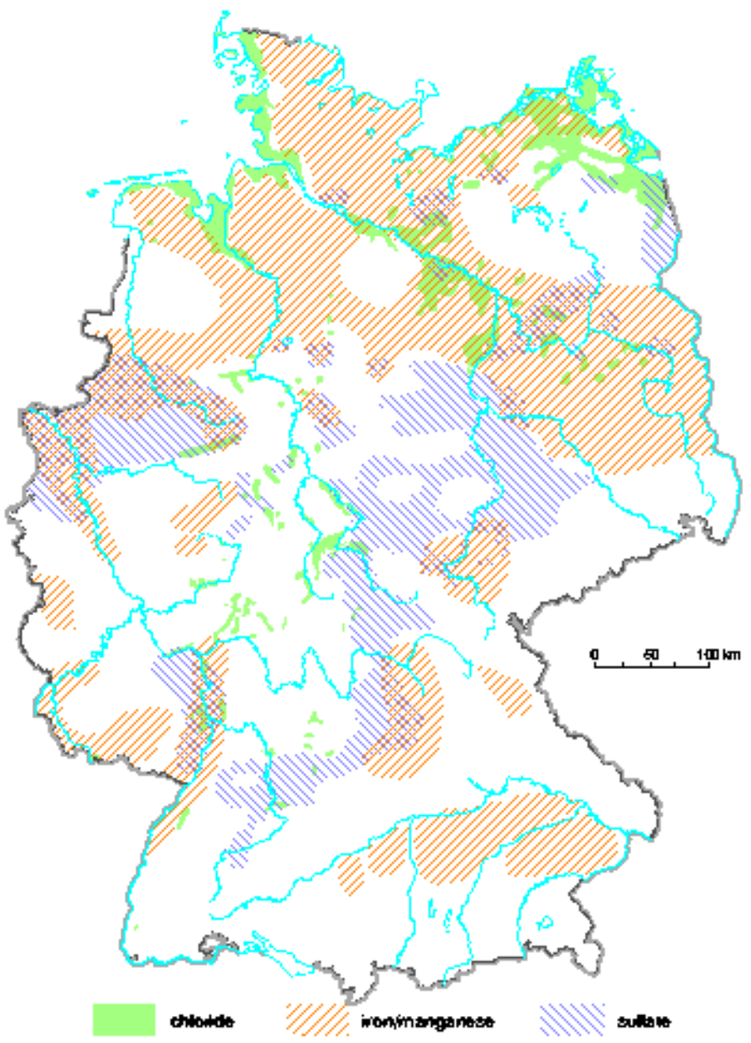


Fig. 3 Distribution of elevated chloride, sulfate, and iron/manganese concentrations

The TDS value of the groundwater is strongly influenced by the composition of the aquifer rock. This parameter is, therefore, the main one for classifying the hydrochemical composition. Five TDS classes were formed on the basis of the median values (the middle values) as follows:

- very low TDS (50–200 mg/l)
- low TDS (200–350 mg/l)
- medium TDS (350–500 mg/l)
- high TDS (500–700 mg/l, sometimes as high as 1000 mg/l)
- highly varying TDS (200–700 mg/l)

The scatter in the values (the range between the 25 and 50 percentiles) was normally <50 – 100 mg/l.

The chemical composition of the groundwater is the second classification parameter. For this purpose, the equivalent percents of the main cations and anions are plotted in a Piper diagram (Fig. 1).

Most groundwater is represented by fewer than ten of the 25 classes. The chemical composition of the water of a hydrogeological subregion is characterised by the field or fields in the Piper diagram in which most of the analytical values plot (normally more than 50 % of the values that are considered representative of the subregion). The fields (Fig. 1) are characterised as follows:

1. alkaline earth-carbonate water
2. alkaline earth-carbonate, low sulfate water
3. alkaline earth-carbonate-sulfate water
4. alkaline earth-sulfate, low carbonate water
5. alkaline earth-sulfate water
6.–10. alkaline earth, low alkali water, anions as in 1. – 5.

Eight types of groundwater can be distinguished using the Piper diagram. Each of these types occurs in different concentrations, leading to 22 geogenic groundwater subtypes in Germany (Map Legend).

An example of such a classification is the water in the valley sediments of the Upper Rhine graben, which is classified as carbonate, low sulfate water and carbonate-sulfate water (Fig. 1).

The *water hardness* (i. e. content of Ca and Mg, Fig. 2) is classified according to Kluth-Olszewski: (0 – 8° dH, very soft and soft; 8 – 12° dH, medium hard; 12 – 18° dH, rather hard; 18 – 30° dH, hard; >30° dH, very hard).

Areas with locally elevated chloride, sulfate, iron and manganese concentrations are shown in Figure 3.

Elevated *chloride* values can be due to salt water intrusion along the coast, ascent of saline water from deeper depths or from salt rocks, as well as anthropogenic input.

Elevated *sulfate* values can be due to the weathering of pyritic rocks, but is usually due to anthropogenic activities. Areas with sulfate values frequently > 240 mg/l (the limit for drinking water in Germany) are shown on the map.

Elevated *iron and manganese* values often occur in groundwater with little or no oxygen and low pH values. Areas with Fe values > 0.1 mg/l and Mn values > 0.05 mg/l are shown on the map.

Regional Groundwater Quality

The brief descriptions of groundwater composition in the hydrogeological regions given here are generalised and the composition within a region can vary somewhat or considerably. The statistical parameters are given in Table 1. The geogenic composition, especially for aquifers in consolidated rocks, depends largely on the minerals in the aquifer rocks. The hydrogeological regions, however, are not petrographically homogeneous. Moreover, the composition can be locally influenced by other factors, such as inflow of water from other hydrogeological units or overlying soil layers, e. g. calcareous loess.

Of the *consolidated rocks*, the *strongly indurated and crystalline* rocks normally contain water with a low concentration of dissolved minerals, i. e. soft, usually carbonate-sulfate water whose chemical composition is relatively uniform.
The chemical composition of the water in *slightly indurated* rocks that have been subjected to little diagenesis is less uniform. Medium concentrations and water hardness occur with large variations in clastic sediments (e. g. sandstone and claystone). Water in chemical sediments (e. g. limestone, marlstone, gypsum) is characterised by high concentrations and water hardness. Except for the gypsum-bearing rocks, the water in these rocks is carbonatic and, at the most, weakly sulfatic.

Unconsolidated rock, in contrast to consolidated rock, usually contains many kinds of rock components. Thus, the water composition varies considerably. The higher groundwater flow rates in unconsolidated rock, and thus shorter residence times and less dissolution, also lead to more heterogeneity in the water in these rocks.
The groundwater in gravel, sand, and till on the North German Plain is carbonatic, highly mineralized hard water in the Weichsel deposits northeast of a line from Flensburg-Hamburg-Schwerin-Wittstock-Brandenburg-Jüterbog-Guben. In the pre-Weichselian deposits southwest of this line, the water is softer, has a low mineralization, and has a higher sulfate concentration.

In the following description, the waters are characterised mainly in a qualitative manner. L defines solute content in mg/l, H hardness in °dH. More detailed descriptions with statistical figures can be obtained from Table 1.

Coastal region

Coastal dunes
TDS 200–300 mg/l. Ca-carbonate-low sulfate water, hardness: very soft to medium hard.

Coastal marsh
TDS 250–600 mg/l. Mostly Ca-carbonate, sometimes low sulfate water or low alkali concentrations. Widespread elevated chloride (200–<1000 mg/l) due to salt water intrusion (Fig. 3). Hardness: very soft to medium hard.

5.7 Geogenic Groundwater Quality – Continuation

Regions of unconsolidated rocks

River valleys
- Pre-Weichselian deposits in northern Germany: TDS 200–400 mg/l. Alkaline earth (Ca) water, sometimes with low alkali concentrations, with a large variation in the anion species present. Hardness: very soft to medium hard.
- Weichsel deposits in northern Germany: TDS 300–500 mg/l. Alkaline earth (Ca) water, sometimes with low alkali concentrations; mainly carbonate water, sulfate reaches a maximum of 50 e (ec) %. Hardness: medium hard to hard.
- Lower Rhine embayment: TDS 200–500 mg/l. Alkaline earth (Ca) water, sometimes with low alkali concentrations, with a large variation in the anion species present. Hardness: varies greatly.
- Upper Rhine graben: TDS 450–700 mg/l. Ca-carbonate-low sulfate and Ca-carbonate-sulfate water. Hardness: hard.
- Alpine foreland: TDS 500–600 mg/l. Ca-carbonate water. Hardness: hard.

High terraces, sandur
- Pre-Weichselian deposits in northern Germany: TDS 150–350 mg/l. Alkaline earth (Ca) water, sometimes with low alkali concentrations, with a large variation in the anion species present (mostly carbonate-sulfate, but also carbonate and sulfate water). Hardness: soft to medium hard.
- Weichsel deposits in northern Germany: TDS 300–500 mg/l. Mostly Ca-carbonate, sometimes low sulfate water; widespread elevated chloride (200–<1000 mg/l) in the coastal area due to salt water intrusion (Fig. 3). Considerably more carbonate-rich, more strongly mineralized, and harder than the water in the pre-Weichselian deposits. Hardness: medium hard to hard.
- Rhine–Main–Neckar region: TDS 350–550 mg/l. Ca-carbonate-sulfate water. Hardness: medium hard to hard.

Tertiary basin sediments
- Rhineland: TDS 150–350 mg/L. Ca-carbonate-sulfate water. Hardness: very soft to soft.
- Northern and Central Germany: TDS 300–500 mg/l. Mostly Ca-sulfate water, sometimes sulfate–carbonate water; the sulfate-rich water often has low alkali concentrations. Hardness: medium hard.
- Rhine–Main region: TDS 500–800 mg/l. Ca-Mg-carbonate-low sulfate water. Hardness: hard.
- Bavaria: TDS 400–550 mg/l. Ca-Mg-carbonate water. Hardness: medium hard.

Moraines
- Pre-Weichselian deposits in northern Germany: TDS 200–450 mg/l. Ca-carbonate to carbonate-sulfate water, distinctly softer than the Weichsel deposits, due to dissolution of carbonate in the near-surface deposits over a long period of time. In the deeper aquifers, the groundwater is similar to the groundwater in the Weichsel deposits.
- Weichsel deposits in northern Germany: TDS 400–550 mg/l. Ca-carbonate and carbonate-low sulfate water; widespread elevated chloride (200–<1000 mg/l) in the coastal area due to salt water intrusion (Fig. 3). Hardness: medium hard to hard.
- Alpine foreland: TDS 450–550 mg/l. Similar to the groundwater in the Weichselian deposits in northern Germany, but purely Ca-carbonate water, due to the mostly calcareous rocks of the northern Alps that were the source of the till. Hardness: medium hard to hard.

German uplands – slightly indurated rocks

Sandstones and conglomerates
TDS 150–500 mg/l; hardness: usually soft, but sometimes medium hard to hard. The partly elevated TDS values are due to dissolved gypsum or anhydrite in the upper Bunter or to salt from the Zechstein. Mostly alkaline earth (Ca-Mg)-carbonate-low sulfate water. Groundwater in the Rotliegend in the Saar–Northern Palatinate region is distinctly less mineralized (50–250 mg/l) than that in the Bunter.

Limestones
TDS 450–650 mg/l. Ca- and Ca-Mg-carbonate and carbonate-low sulfate water. Hardness: medium hard to hard.

Volcanic rocks
TDS 100–200 mg/l. Ca-Mg-carbonate and carbonate-low sulfate water. Hardness: very soft to medium hard.

Marlstones
TDS 400–650 mg/l. Ca-Mg-carbonate-low sulfate water. Hardness: hard.

Gypsum and gypsum-bearing rocks
TDS 400–600 mg/l. Ca-Mg-carbonate-sulfate water. Extremely hard sulfate gypsum water has limited distribution. Most of the water is in clayey, silty rock. Hardness: medium hard to hard.

Siltstones and claystones
- North-central uplands: TDS 250–500 mg/l. Ca-Mg-carbonate-low sulfate water. Hardness: varies from very soft to hard.
- Thuringian basin: TDS 650–800 mg/l. The Ca-Mg- and Mg-Ca-carbonate-low sulfate water has a considerably higher mineralization, and Mg concentration than the water in the north-central uplands. This is due to dissolved salt from the Upper Bunter and Keuper (chloride) and Zechstein in and around the Thuringian basin (sulfate). Hardness: hard.
- Southern Germany: TDS varies considerably, 250–700 mg/l. The Ca-Mg-carbonate and carbonate-low sulfate water in the Swabian and Franconian regions and southern Thuringia is similar to that in northern Germany but has a higher carbonate concentration. Hardness: varies considerably from very soft to very hard.

Valley fill
TDS 400–650 mg/l. Ca- and Ca-Mg-carbonate-low sulfate and carbonate-sulfate water. Hardness: medium hard to hard.

Table 1 Values (mg/l) for the 25th, 50th, and 75th percentiles (P25, P50, and P75) of the ions dissolved in the groundwater in the hydrogeological subregions, i. e., the concentrations below which 25 %, 50 %, and 75 % of the values lie.
(* insufficient data)

hydrogeological subregion		solute contents			hardness
		P 25	P 50	P 75	[°d H]
coastal dunes		228	261	307	0 - 12
coastal marsh		239	444	584	0 - 18
river valleys	pre-Weichselian North Germany	235	322	416	0 - 12
	Weichselian North Germany	316	420	511	8 - 18
	Lower Rhine embayment	230	382	495	0 - 30
	Oberrheingraben	445	593	692	18 - 30
	Alpine Foreland	489	546	597	18 - 30
high terraces, sandur	pre-Weichselian North Germany	151	244	331	0 - 12
	Weichselian North Germany	306	376	463	8 - 18
	Rhine-Main-Neckar region	365	447	574	12-18, partly >30
tertiary basin sediments	Rhineland	151	231	369	0 - 8
	North and Central Germany	324	394	511	8 - 18
	Rhine-Main region	509	573	832	18 - >30
	Bavaria	394	446	540	8-18, partly 30
moraines	pre-Weichselian North Germany	207	328	475	0 - 12
	Weichselian North Germany	395	470	546	12 - 18
	Alpine Foreland	430	466	557	12 - 30
sandstones, conglomerates		164	365	519	0-8, partly 30
mesozoic limestones		444	532	647	12 - 30
volcanic rocks		118	149	191	0 - 18
marlstones		424	552	645	18 - 30
gypsum and gypsum-bearing rocks		405	506	629	12 - 30
siltstones and claystones	North-German uplands	250	424	518	0 - 30
	Thuringian Basin	645	725	814	18 - 30
	South Germany, South Thuringia	256	471	687	0 >30
valley fill in mesozoic rocks		425	548	649	12 - 30
paleozoic dolomites and limestones		409	423	523	12 - 18
graywacken and quartzites	Rhein. Schiefergebirge, Harz	66	84	122	0 - 8
	Thuringia, Saxony	227	334	434	0 - 12
highly jointed crystalline rocks		79	235	374	0 - 8
slightly jointed crystalline rocks		51	128	221	0 - 8
slates	Rhein. Schiefergebirge, Harz	70	107	169	0 - 8
	Thuringia, Saxony	194	289	418	0 - 12
tuff		345	496	714	0 - 8
valley fill in paleozoic rocks		193	233	340	8 - 12
Alps: consolidated rocks		225	228	248	8 - 18
Alps: coarse gravel				363*	

German uplands – strongly indurated and crystalline rocks

Dolomites and limestones
TDS 400–500 mg/l. Ca-Mg-carbonate, sometimes low sulfate water. Hardness: medium hard to hard.

Graywackes and quartzites
- Rhenish Slate Mountains and Harz Mountains.: TDS 50–150 mg/l. Ca-Mg-carbonate-sulfate and sulfate water. Hardness: very soft to soft.
- Thuringia and Saxony: TDS 200–400 mg/l. The Ca-Mg-carbonate, sometimes low sulfate water has a low mineralization and hardness that is, however, considerably higher than in the water of the Rheinisches Schiefergebirge (Rhenish Slate Mountains.) and Harz Mountains. This is due to dissolved salt from the Zechstein along fault zones. Hardness: soft to medium hard.

Highly jointed crystalline rocks
TDS 100–400 mg/l. Ca-Mg-carbonate-sulfate and sulfate water. Hardness: very soft to soft.

Slightly jointed crystalline rocks
TDS 50–200 mg/l. Ionic concentrations vary greatly: Ca-Mg-carbonate and sulfate water, as well as low alkali concentrations. Hardness: very soft to soft.

Slates
- Rhenish Slate Mountains and Harz Mountains.: TDS 50–200 mg/l. Ca- and Ca-Mg-carbonate-sulfate and sulfate water. Hardness: very soft to soft.
- Thuringia and Saxony: TDS 200–400 mg/l. Ca-Mg-carbonate-sulfate and sulfate water. Like in the graywacke and quartzite hydrogeological region in Thuringia and Saxony, elevated mineralization and hardness are due to dissolved Zechstein salt. Hardness: very soft to medium hard.

Tuff
TDS 350–700 mg/l. Ca-Mg-carbonate-sulfate and Ca-Mg-sulfate water. Hardness: soft to very hard.

Valley fill
TDS 200–500 mg/l. Ca-carbonate-sulfate and Ca-sulfate water, sometimes with low Mg concentrations. The more sulfate-rich water often has low alkali (Na) concentrations. Hardness: very soft to soft.

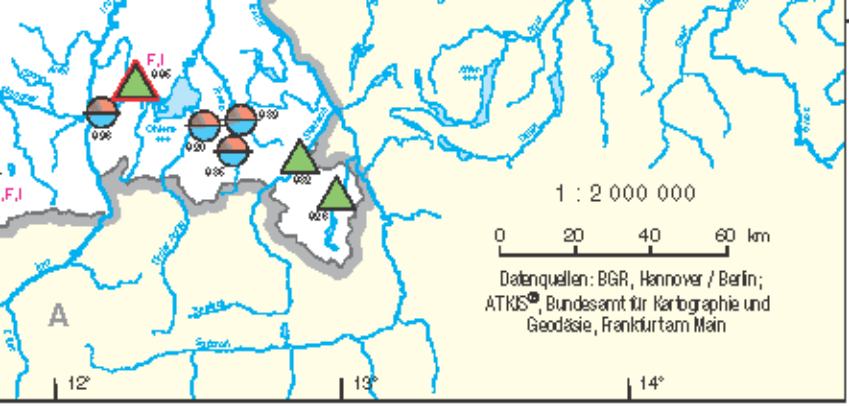
Alpine region

Limestones, calcareous marlstones, sandstones and calcareous sandstones, marlstones
TDS 200–300 mg/l. Ca-Mg-carbonate water. Hardness: medium hard.

Coarse gravel
TDS 300–400 mg/l. Ca-Mg-carbonate water, like in the consolidated rocks. Hardness: somewhat harder and more highly mineralized.

Practical Information

Further information about water quality in Germany can be obtained from the "Geochemischer Atlas Bundesrepublik Deutschland, Verteilung von Schwermetallen in Wässern und Bachsedimenten" (Geochemical Atlas of Germany: Distribution of Heavy Metals in Surface Water and Stream Sediments) published by the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), Hannover (a new edition is in preparation to include the new Federal States of eastern Germany); "Beschaffenheit der Fließgewässer in der Bundesrepublik Deutschland, Beschaffenheit der Fließgewässer in der DDR, Grundwasserbeschaffenheit in der DDR" (Quality of Stream Water in the Federal Republic of Germany, Quality of Stream Water in the GDR" in "Daten zur Umwelt 1990/91" (Data on the Environment 1990/91) published by the Federal Environmental Agency (UBA), Berlin, 1992; and reports issued by the individual Federal States on groundwater. For Lower Saxony, information on "Digitaler Atlas Hintergrundwerte natürliche chemische Gehalte von Bachsedimenten, Böden, Gesteinen und Grundwasser" (digital atlas background values of natural chemical concentrations in streams sediments, soils rocks and groundwater) can be obtained from the CD issued by the Lower Saxony Geological Survey (NLfB), Hannover. For Baden-Württemberg, groundwater composition is available on the CD "Geowissenschaftliche Übersichtskarten" (Geoscientific Maps of Baden-Württemberg, 1 : 350 000) issued by the Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (Baden-Württemberg Geological Survey), Freiburg, 1998.



HYDROLOGISCHER ATLAS VON DEUTSCHLAND

Herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

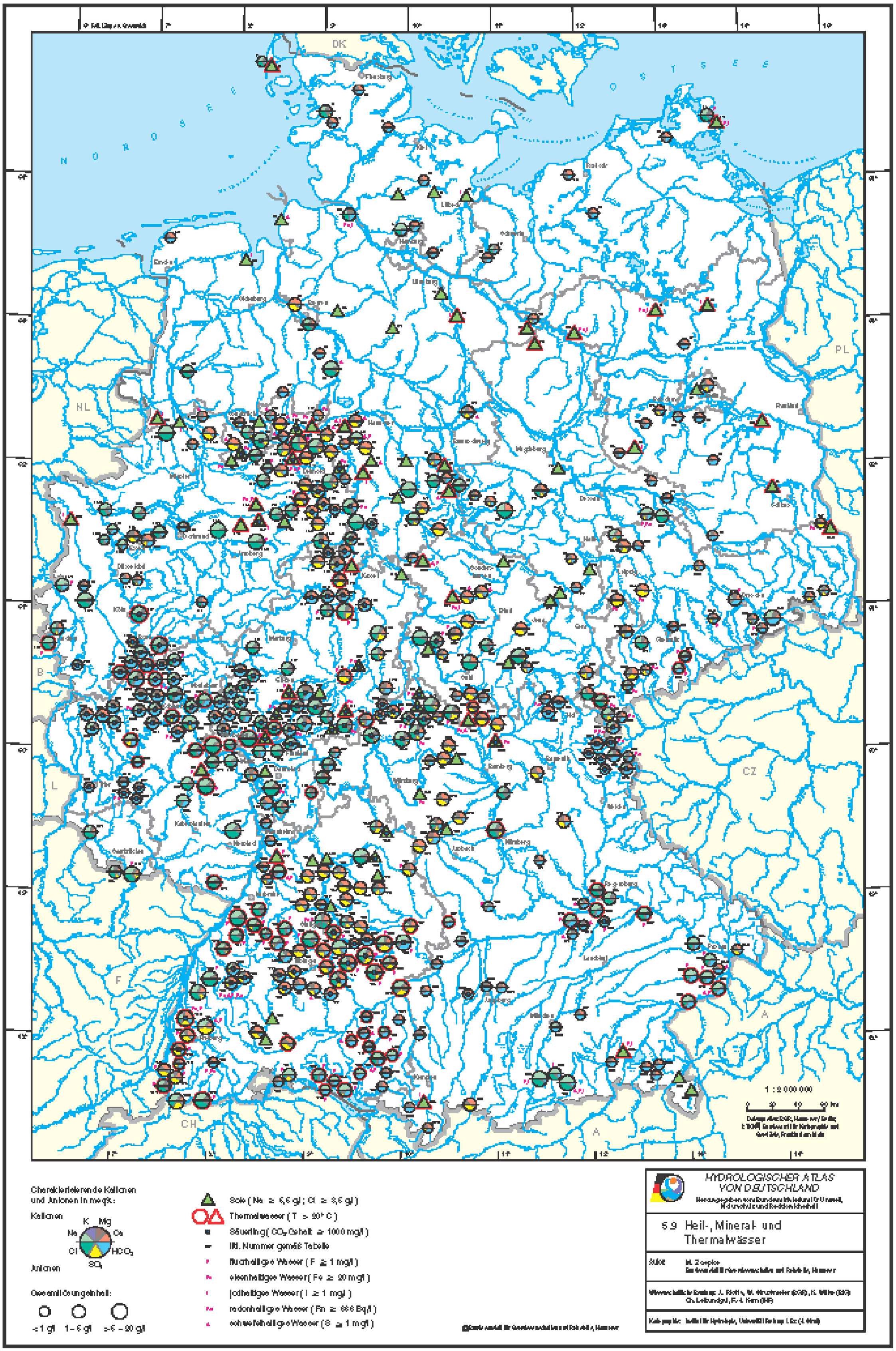
5.9 Heil-, Mineral- und Thermalwässer

Autor: M. Zaepke
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

Wissenschaftliche Beratung: A. Richts, W. Struckmeier (BGR), K. Wilke (BfG)
Ch. Leibundgut, F.-J. Kern (IHF)

Kartographie: Institut für Hydrologie, Universität Freiburg i. Br. (J. Strub)

nstoffe, Hannover


DK
NL
B
L
F
CH
CZ
A
PL
1 : 2 000 000
Charakteristische Kationen und Anionen in meq%:
Kationen
K Mg
Na Ca
Cl HCO3
SO4
Anionen
Gesamtlösungsinhalt:
< 1 g/l
1 – 6 g/l
> 6 – 30 g/l
Sole (Na ≥ 6,6 g/l ; Cl ≥ 9,6 g/l)
Thermalwasser (T > 20° C)
Säuerling (CO2-Gehalt ≥ 1000 mg/l)
lfd. Nummer gemäß Tabelle
fluorhaltiges Wasser (F ≥ 1 mg/l)
eisenhaltiges Wasser (Fe ≥ 20 mg/l)
jodhaltiges Wasser (I ≥ 1 mg/l)
radonhaltiges Wasser (Rn ≥ 666 Bq/l)
schwefelhaltiges Wasser (S ≥ 1 mg/l)
HYDROLOGISCHER ATLAS VON DEUTSCHLAND
5.9 Heil-, Mineral- und Thermalwässer

5.9 Heil-, Mineral- und Thermalwässer – Verzeichnis

Nr.	Land	Ort	Quelle	Tiefe	TDS	Typ
1	SH	Bad Bramstedt	Sole-Brunnen 2	270	214,0	Sole
2	SH	Groß Wittensee	Wittenseer Quelle	203	0,4	Ca-HCO_3
3	SH	Husum	St. Willehad Urquelle	81	1,1	Na-Ca-Cl
4	SH	Mildstedt	Mildstedter Urquelle	82	0,4	Ca-HCO_3
5	SH	Nordestedt	Alstertaler Quelle	430	1,0	Na-Cl-HCO_3
6	SH	Nordestedt-Glashütte	Sankt Georg-Quelle	50	0,3	Ca-HCO_3
7	SH	Rantum/Sylt	Sylt-Quelle	17	0,8	Na-Cl-HCO_3
8	SH	Rantum/Sylt	Thermalsole-Quelle	680	82,6	Sole
9	SH	Reinbek	Fürst-Bismarck-Quelle	12	0,3	Ca-HCO_3
10	SH	Bad Schwartau	Holstein-Therme	348	31,0	Sole
11	SH	Bad Segeberg	Bohrung am Kalkberg	120	267,0	Sole
12	SH	Tarp	Treenetaler Quelle	50	0,4	Ca-HCO_3
13	SH	Teppenkamp	Helis-Quelle	179	0,3	Ca-HCO_3
14	MV	Binz	Bohrung HyT 1/94		109,0	Sole
15	MV	Binz	Heilwasser-Bohrung		1,6	Na-Cl-HCO_3
16	MV	Bad Doberan	Glashäger Quelle		0,5	Ca-HCO_3-SO_4
17	MV	Dodow	Bischoffs-Quelle		0,9	Na-Ca-HCO_3-Cl
18	MV	Dodow	Wenden-Quelle		0,3	Ca-HCO_3-Cl
19	MV	Güstrow	Schloß-Quelle		0,5	Ca-HCO_3
20	MV	Stralsund	Pommern-Quelle		0,7	Ca-HCO_3-SO_4
21	HB	Lesum	Lesumer Ur-Quelle	96	1,4	Ca-SO_4-HCO_3
22	NI	Belm	Avenus-Brunnen	110	0,5	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
23	NI	Bad Bentheim	Fürsten-Quelle	1187	305,0	Sole
24	NI	Bad Bevensen	Jod-Sole-Quelle	700	104,0	Sole
25	NI	Bissendorf-Wesche	Ewinaris-Quelle	115	2,3	Na-Cl
26	NI	Blenhorst	Schwefel-Quelle 2	10	5,8	Na-Cl
27	NI	Bodenfelde	Sollinger Brunnen	25	0,8	Na-Mg-Ca-Cl-HCO_3
28	NI	Bodenwerder	Sole-Bohrung Addeshall	485	37,0	Sole
29	NI	Bruchhausen-Vilsen	Vilse-Brunnen	39	0,3	Ca-HCO_3
30	NI	Dangast	Jod-Sole-Quelle	565	80,7	Sole
31	NI	Dorum	Sole-Brunnen Dorumer Tief	48	20,4	Sole
32	NI	Bad Eilsen	Georgen-Brunnen	6	3,0	Ca-Mg-SO_4
33	NI	Bad Essen	Sole-Quelle Bergstraße	227	24,0	Sole
34	NI	Fallersleben	Hoffmann-Quelle	30	1,6	Ca-Na-SO_4-HCO_3
35	NI	Bad Gandersheim	Wilhelm-Quelle	4	9,0	Na-Cl
36	NI	Gartow	Thermalsole-Brunnen	216	237,2	Sole
37	NI	Goslar	Harzer Grauhof-Brunnen	50	0,6	Ca-HCO_3
38	NI	Bad Harzburg	Hermes-Schneider-Quelle (neu)	840	22,0	Sole
39	NI	Bad Harzburg	Julius-Schacht	80	1,2	Na-Cl
40	NI	Haselünne	Emsland-Quelle	124	1,1	Na-Cl-HCO_3
41	NI	Hess. Oldendorf-Zersen	Keuzstein-Quelle		0,5	Ca-HCO_3-SO_4
42	NI	Höhbeck-Pevestorf	Voelkel Vital-Quelle	63	0,2	Ca-HCO_3-SO_4
43	NI	Bad Iburg	Schwefel-Quelle am Limberg	4	2,3	Ca-SO_4
44	NI	Katlenburg am Harz	Katlenburger Mineral-Brunnen	69	1,2	Na-Cl-SO_4-HCO_3
45	NI	Bad Laer	Augustinus-Quelle	160	73,2	Sole
46	NI	Langelsheim	Harzer Viktoria-Brunnen	16	2,2	Na-Cl
47	NI	Bad Lauterberg	Quelle Königshagen	80	2,1	Ca-SO_4
48	NI	Lüneburg	Glückauf-Brunnen	42	238,0	Sole
49	NI	Melle	Neue Quelle	117	19,8	Na-Cl-SO_4
50	NI	Bad Münder	St. Annen-Quelle	12	2,6	Na-SO_4-HCO_3-Cl
51	NI	Bad Nenndorf	Gewölbe-Quelle	5	2,1	Ca-SO_4-HCO_3
52	NI	Bad Nenndorf-Soldorf	Landgrafen-Quelle (neu)	297	195,2	Sole
53	NI	Norden	St. Ansgari-Quelle	120	0,6	Ca-HCO_3
54	NI	Osterode-Förste	Grafen-Quelle	2	1,3	Ca-SO_4-HCO_3
55	NI	Bad Pyrmont	Brunnen 2a	171	0,4	Ca-Mg-HCO_3
56	NI	Bad Pyrmont	Salinen-Quelle 1	227	49,6	Sole
57	NI	Rinteln-Exten	Weld-Quelle	4	1,6	Ca-Mg-SO_4
58	NI	Bad Rothenfelde	Weidtmann-Sprudel	75	60,7	Sole
59	NI	Salzderhelden	Sole-Bohrung 2	435	250,3	Sole
60	NI	Bad Salzdetfurth	St. Georgs-Quelle	100	79,0	Sole
61	NI	Bad Salzgitter	Irenen-Quelle	20	1,6	Ca-Mg-HCO_3-SO_4-Cl
62	NI	Bad Salzgitter	Sole-Bohrung	243	250,0	Sole
63	NI	Salzhemmendorf	Sole-Bohrung	18	58,8	Sole
64	NI	Soltau	Brunnen am Böhmebad	207	202,0	Sole
65	NI	Sottrum-Stuckenborstel	Sole-Bohrung	285	18,5	Sole
66	NI	Springe-Altenhagen	Katzberg-Quelle	36	2,6	Ca-SO_4
67	NI	Wagenfeld	Graf Rudolf-Quelle	45	0,7	Ca-HCO_3
68	NI	Weyhe	St. Willehad-Brunnen	18	1,6	Na-Ca-Cl
69	NI	Wischhafen	Dynamaris-Brunnen	42	2,5	Mg-Na-Cl-HCO_3
70	ST	Arendsee	Thermalsole-Bohrung	1550	218,0	Sole
71	ST	Blankenburg	Wiesen-Quelle	150	0,7	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
72	ST	Bad Dürrenberg	Sole-Bohrung	250	57,0	Sole
73	ST	Gänsefurth	Schloß-Quelle	50	1,2	Ca-Mg-Cl-SO_4-HCO_3
74	ST	Jessen	Himmelsberg-Quelle		0,3	Ca-HCO_3
75	ST	Bad Kösen	Borlach-Brunnen	175	47,2	Sole
76	ST	Bad Lauchstädt	Schiller-Brunnen		0,9	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
77	ST	Leißling	Leissinger Mineral-Brunnen		0,6	Ca-Mg-HCO_3
78	ST	Bad Salzelmen	Bade-Quelle	85	104,0	Sole
79	ST	Bad Schmiedeberg	Kurfürsten-Brunnen	215	1,0	Na-SO_4-HCO_3
80	ST	Bad Suderode	Behringer Quelle	43	19,5	Na-Ca-Cl
81	ST	Wernigerode	Wernigeröder Mineral-Brunnen	51	0,6	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
82	ST	Zahna	Zahnaer Mineral-Brunnen		0,2	Ca-HCO_3-SO_4
83	BB	Baruth	Brandenburger Urstrom-Quelle		0,2	Ca-HCO_3
84	BB	Belzig	Thermalsole-Bohrung Stein-Therme	780	196,0	Sole
85	BB	Burg	Bohrung Spreewald-Therme	1310	250,0	Sole
86	BB	Diedersdorf	Diedersdorfer Schloß-Quelle		0,5	Ca-Na-HCO_3
87	BB	Grüneberg	Grüneberg-Quelle		0,6	Ca-HCO_3
88	BB	Lehnin	Helis 2-Quelle		0,2	Ca-HCO_3
89	BB	Bad Liebenwerda	Lausitzer Quelle		0,1	Ca-Na-Mg-HCO_3
90	BB	Potsdam	Märkischer Mineral-Brunnen		0,4	Na-Ca-HCO_3
91	BB	Rheinsberg	Thermalsole-Bohrung	1700	196,0	Sole
92	BB	Bad Saarow	Bohrung Saarow-Therme	450	24,6	Sole
93	BB	Templin	Thermalsole-Bohrung	1960	163,0	Sole
94	BB	Werder	Werder Quelle		0,4	Ca-SO_4-HCO_3
95	BB	Wiesenburg	Brandenburger Kurfürst-Quelle		0,3	Ca-HCO_3-SO_4
96	BB	Bad Wilsnack	Thermalsole-Bohrung	1010	161,0	Sole
97	BE	Berlin-Mitte	Bohrung am Reichstag	560	28,5	Sole
98	BE	Berlin-Weissensee	Amalien-Brunnen	45	1,2	Ca-SO_4-HCO_3-Cl
99	NW	Aachen	Genius-Quelle	125	1,2	Na-Ca-HCO_3-Cl-SO_4
100	NW	Aachen-Burtscheid	Landesbad-Quelle	8	4,3	Na-Cl-HCO_3
101	NW	Bielefeld	Carolinen-Urquelle	262	1,2	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
102	NW	Bielefeld-Ummeln	Brunnen 11	33	0,6	Na-HCO_3
103	NW	Bochum	Fortis-Quelle	44	1,2	Ca-HCO_3-SO_4
104	NW	Bochum	Herzog-Quelle	94	1,5	Na-Cl-HCO_3
105	NW	Borgholzhausen	Ravenna-Brunnen	23	1,6	Na-Ca-Cl-HCO_3
106	NW	Bornheim-Roisdorf	Neu-Roisdorfer Quelle	51	0,9	Ca-HCO_3-SO_4
107	NW	Brakel	Kaiser-Brunnen	11	0,7	Ca-Mg-HCO_3
108	NW	Borsten	Dustina-Brunnen	552	1,1	Na-Cl-HCO_3
109	NW	Dortmund	Selina-Brunnen	30	0,8	Na-Ca-HCO_3
110	NW	Bad Driburg	Rabe-Quelle	9	3,0	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
111	NW	Drolshagen	St. Clemens-Quelle	101	0,2	Ca-Mg-Cl-HCO_3
112	NW	Duisburg-Walsum	Burgwallbronn-Quelle	275	0,9	Na-HCO_3-Cl
113	NW	Emsdetten	Salvus-Quelle	20	0,4	Ca-HCO_3-SO_4-Cl
114	NW	Erkrath	Siegfried-Quelle	402	0,5	Ca-Na-HCO_3
115	NW	Essen	Hetali-Quelle	40	1,3	Ca-SO_4-HCO_3
116	NW	Bad Godesberg	Kurfürsten-Quelle	200	3,4	Na-HCO_3-Cl
117	NW	Gütersloh-Isselhorst	Feldquell-Brunnen	45	1,7	Na-Cl
118	NW	Haan	Haaner Felsen-Quelle	146	0,4	Ca-Mg-HCO_3-SO_4-Cl
119	NW	Bad Hermannsborn	Stahl-Quelle	5	1,4	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
120	NW	Holzhausen	Elisabeth-Schwefel-Quelle	8	2,4	Ca-SO_4
121	NW	Bad Honnef	Edelhoff-Thermal-Quelle	502	7,4	Na-Mg-HCO_3-Cl
122	NW	Horn-Bad Meinberg	Beinkerbruch	124	1,7	Ca-Mg-SO_4
123	NW	Höxter-Godelheim	Benediktus-Quelle	10	5,2	Na-Ca-Cl-HCO_3
124	NW	Jackerath	Tiefbohrung	760	7,2	Na-Cl
125	NW	Kalkdorf	Mineral-Quelle		7,4	Na-Ca-Cl-SO_4
126	NW	Kevelaer	Sole-Thermal-Bohrung	554	20,2	Sole
127	NW	Köln-Deutz	Messe-Brunnen 3	364	14,0	Na-Cl
128	NW	Bad Lippspringe	Martinus-Quelle	507	1,7	Ca-Na-SO_4-HCO_3
129	NW	Löhne	Rondorfer-Brunnen	78	3,9	Ca-Na-SO_4-Cl
130	NW	Minden-Bölhorst	Sole-Quelle	300	81,7	Sole
131	NW	Mönchengladbach	Amadeus-Quelle	195	0,3	Ca-Mg-HCO_3
132	NW	Moers	Union Brunnen	142	0,9	Na-Cl-HCO_3
133	NW	Mülheim a. d. Ruhr	Ursteiner Brunnen	65	0,8	Na-HCO_3-Cl
134	NW	Bad Oeynhausen	Bali-Therme (neu)	200	6,7	Na-Ca-Cl-SO_4
135	NW	Bad Oeynhausen	Dr. Schmid-Quelle	184	87,0	Sole
136	NW	Paderborn	Ottilien-Quelle		2,1	Na-Ca-Cl-HCO_3
137	NW	Petershagen-Hopfenberg	Hermanns-Quelle	9	0,7	Ca-HCO_3-SO_4
138	NW	Randringhausen	Wilmsmeier 2	23	0,5	Ca-HCO_3-SO_4
139	NW	Recke-Steinbeck	Schwefel-Quelle	11	0,5	Ca-Mg-HCO_3-Cl-SO_4
140	NW	Rheine-Bentlage	Gottesgabe	440	50,0	Sole
141	NW	Salzkotten	Neuer Sprudel	288	3,1	Na-Cl
142	NW	Salzkotten	Sültsoiden		24,7	Sole
143	NW	Bad Salzuflen	Gustav-Horstmann-Thermal-Sprudel	1014	125,9	Sole
144	NW	Bad Sassendorf	Sole-Bohrung 14	411	96,3	Sole
145	NW	Schieder-Schwalenberg	Nessenberg-Quelle	22	7,2	Na-Ca-Cl
146	NW	Schleiden	Heilstein-Quelle	52	0,8	Na-Ca-HCO_3
147	NW	Seebruch	Schwefelwasser-Brunnen	25	2,4	Ca-SO_4
148	NW	Steinheim-Vinsebeck	Graf-Metternich-Quelle	46	3,1	Ca-Na-SO_4-HCO_3
149	NW	Stemwede-Levern	Schwefel-Quelle	51	0,6	Ca-Na-Mg-HCO_3-Cl
150	NW	Tecklenburg	Schwefel-Quelle Bad Holthausen		1,5	Ca-SO_4-HCO_3
151	NW	Bad Waldliesborn	Sole-Quelle 1	510	125,0	Sole
152	NW	Warburg-Germete	Franziskus-Quelle	9	6,9	Na-Ca-Cl-SO_4-HCO_3
153	NW	Warstein-Belecke	Kaiser-Heinrich-Brunnen	33	5,4	Na-Cl
154	NW	Wegberg	Wildenrath-Quelle	367	1,6	Na-HCO_3-Cl
155	NW	Werl	Brunnen Goebel	38	9,7	Na-Cl
156	NW	Wesel	Mercator-Quelle	223	1,1	Na-Cl-HCO_3
157	NW	Bad Westernkotten	Sole-Quelle 2	79	69,4	Sole
158	NW	Wettringen	Salz-Brunnen		14,7	Na-Cl
159	NW	Willebadessen	Egge-Quelle	13	2,0	Ca-SO_4
160	HE	Alsbach-Hähnlein	Bohrung Hähnlein-West 1	435	11,2	Na-Ca-Cl
161	HE	Bad Arolsen	Schloß-Brunnen	404	1,8	Ca-Mg-SO_4
162	HE	Aßmannshausen	Graf-Adolf-Quelle	12	1,1	Na-Cl-HCO_3
163	HE	Bensheim	Basinus-Quelle	180	1,1	Ca-HCO_3
164	HE	Biskirchen	Karls-Sprudel	35	2,2	Na-Ca-Cl-HCO_3
165	HE	Borken	Tief-Bohrung	1103	9,9	Na-Ca-Cl-SO_4
166	HE	Büdingen	Fischhäuser-Quelle	15	2,9	Na-Ca-Cl-HCO_3
167	HE	Calden-Westuffeln	Bohrung 1	200	2,6	Ca-Mg-HCO_3
168	HE	Bad Camberg-Oberselters	Catharinen-Quelle		1,0	Na-HCO_3-Cl
169	HE	Dornheim	Bohrung Wölfiskehlen 2	1066	62,8	Sole
170	HE	Ebersburg-Weyhers	Rhön-Sprudel	160	1,0	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
171	HE	Eibach	Steinbruch-Quelle (neu)	266	1,9	Na-Cl
172	HE	Bad Emstal	Thermal-Brunnen	795	4,0	Ca-Na-SO_4-Cl
173	HE	Frankfurt	Bohrung Hauptbahnhof	80	4,4	Na-Cl
174	HE	Geisenheim	Echter-Quelle	20	3,0	Na-Cl
175	HE	Geismar	Donar-Quelle		1,9	Ca-Mg-HCO_3
176	HE	Gelnhausen	Sole-Bohrung	82	39,0	Sole
177	HE	Gießen-Wieseck	Graf-Meinhard-Quelle	164	2,2	Na-Cl
178	HE	Groß-Karben	Ludwigs-Brunnen	20	5,9	Na-Ca-HCO_3-Cl
179	HE	Grund-Schwalheim	Römer-Brunnen	30	6,2	Mg-Na-Ca-HCO_3-Cl
180	HE	Heppenheim	Odenwald-Quelle	68	1,3	Na-Ca-Cl-HCO_3
181	HE	Herbstein	Vogelsberg-Therme	1000	3,5	Ca-Na-SO_4
182	HE	Bad Hersfeld	Vitalis-Brunnen	440	7,6	Na-Ca-SO_4-Cl
183	HE	Hofgeismar	Gesund-Brunnen	60	2,9	Na-Ca-HCO_3-Cl-SO_4
184	HE	Bad Homburg v.d.H.	Seedamm-Quelle	853	3,7	Na-Ca-Cl-HCO_3
185	HE	Bad Homburg v.d.H.	Sol-Sprudel	505	20,4	Sole
186	HE	Bad Karlshafen	Sole-Bohrung (neu)	70	13,4	Na-Cl
187	HE	Kassel-Wilhelmshöhe	Thermalsole-Quelle 3	675	31,5	Sole
188	HE	Kiedrich	Virchow-Quelle	184	9,0	Na-Cl
189	HE	Bad König	Kurpark-Brunnen	366	0,6	Ca-Na-Mg-Cl-HCO_3
190	HE	Kronberg-Kronthal	Kronthal-Quelle	60	3,3	Na-Ca-Cl-HCO_3
191	HE	Lindenholzhausen	Lubentius-Brunnen	15	2,0	Na-HCO_3
192	HE	Löhnberg-Selters	Friedrich-Christian-Quelle		3,2	Na-Ca-HCO_3-Cl
193	HE	Melsfeld-Beiseförth	Wildsberg-Quelle	48	2,9	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
194	HE	Bad Nauheim	Sprudel 12	180	32,6	Sole
195	HE	Bad Nauheim-Schwalheim	Löwen-Quelle	20	3,6	Na-Ca-Cl-HCO_3
196	HE	Niederselters	Börnchen am Emsbach	4	4,7	Na-Cl-HCO_3
197	HE	Niederwalluf	Waldlaffe-Quelle	155	3,1	Na-Cl-HCO_3
198	HE	Oberaula-Jungen	Brunnen	230	6,9	Ca-Mg-Na-HCO_3-SO_4
199	HE	Obershausen-Nenderoth	Prinz-Heinrich-Quelle	100	1,7	Na-Ca-Mg-HCO_3
200	HE	Offenbach	Kaiser-Friedrich-Quelle	275	4,0	Na-Cl-HCO_3
201	HE	Bad Orb	Philipps-Quelle	75	18,3	Na-Cl
202	HE	Ortenberg-Selters	Benediktus-Quelle	56	12,1	Na-Cl
203	HE	Rosbach v.d.H.	Gloria-Quelle		0,5	Ca-Mg-HCO_3
204	HE	Rothenkirchen	Salz-Brunnen		5,0	Na-Ca-Cl-SO_4
205	HE	Rückershausen	Antonius-Sprudel	3	1,5	Ca-Na-HCO_3
206	HE	Bad Salzhausen	Nibelungen-Quelle	204	28,0	Sole
207	HE	Bad Salzschlirf	Sprudel-Brunnen	310	47,6	Sole
208	HE	Schlangenbad	Römer-Quelle		0,4	Na-Cl-HCO_3
209	HE	Bad Schwalbach	Wein-Brunnen		1,2	Mg-Ca-HCO_3
210	HE	Bad Soden am Taunus	Neuer Sprudel 27	375	19,1	Sole
211	HE	Bad Soden-Salmünster	König-Heinrich-Sprudel	535	96,4	Sole
212	HE	Bad Sooden-Allendorf	Gradierwerks-Brunnen 4	200	105,7	Sole
213	HE	Bad Vilbel	Friedrich-Karl-Quelle	227	4,8	Na-Ca-HCO_3-Cl
214	HE	Volkmarsen	Sauer-Brunnen	36	0,7	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
215	HE	Weilbach	Natron-Lithion-Quelle	25	3,2	Na-HCO_3-Cl
216	HE	Wiesbaden	Koch-Brunnen	43	8,4	Na-Cl
217	HE	Bad Wildungen	Helenen-Quelle	73	4,8	Na-Mg-Ca-HCO_3-Cl
218	HE	Bad Wildungen-Reinhardshsn.	Reinhards-Quelle		1,1	Ca-Mg-HCO_3
219	HE	Bad Zwesten	Löwen-Quelle	10	3,0	Na-Ca-Cl-HCO_3
220	TH	Bad Berka	Goethe-Brunnen	35	2,6	Ca-SO_4
221	TH	Bad Blankenburg	Antonius-Quelle	398	6,0	Na-Ca-Cl
222	TH	Bad Blankenburg	St. Hiltugard-Quelle	562	89,4	Sole
223	TH	Bad Colberg	Quelle 74	910	1,7	Ca-SO_4
224	TH	Bad Colberg	Quelle 94	1401	62,7	Sole
225	TH	Dingsleben	Osta-Mineral-Brunnen	43	0,8	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
226	TH	Bad Frankenhausen	Kyffhäuser-Quelle	54	84,0	Sole
227	TH	Friedrichroda	Schloß-Quelle	72	1,9	Ca-Mg-SO_4-Cl
228	TH	Gotha	St. Gothardus-Quelle	114	1,9	Ca-SO_4
229	TH	Heiligenstadt	Heiligenstädter Mineral-Quelle	105	0,3	Ca-Mg-HCO_3
230	TH	Heiligenstadt	Martins-Brunnen	534	274,9	Sole
231	TH	Heßberg	Brunnen Röt	65	2,0	Ca-SO_4
232	TH	Heßberg	Brunnen Solling 1	95	0,3	Mg-Ca-HCO_3
233	TH	Bad Langensalza	Schwefelwasser-Quelle	6	2,8	Ca-SO_4-HCO_3
234	TH	Bad Langensalza	Thermalsole-Bohrung 1	850	303,6	Sole
235	TH	Bad Liebenstein	Schwarzbach-Quelle	165	3,6	Na-Ca-Cl
236	TH	Plaue	Reinsberg-Quelle	50	1,4	Na-Ca-Cl
237	TH	Saalfeld a. d. Saale	Grals-Quelle	75	0,9	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
238	TH	Bad Salzungen	Sole-Quelle 4	153	58,3	Sole
239	TH	Bad Salzungen	Sole-Quelle 5	135	8,4	Na-Cl
240	TH	Schmalkalden	Thüringer Wald-Quelle	80	0,8	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
241	TH	Suhl	Ottilien-Quelle	10	5,8	Na-Ca-Cl
242	TH	Bad Sulza	Sole-Bohrung	625	97,8	Sole
243	TH	Bad Tennstedt	Goethe-Brunnen	4	2,0	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
244	SN	Berggießhübel	Bohrung 1/94	140	0,2	Ca-Na-Mg-HCO_3
245	SN	Bad Brambach	Wettin-Quelle	6	1,8	Na-Ca-HCO_3-SO_4
246	SN	Burkhardswalde	Magonwasser		0,5	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
247	SN	Crotenleide	Tiefbrunnen 60/1	125	1,1	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
248	SN	Delitzsch	Bohrung 357/74	596	1,1	Na-Ca-SO_4-Cl-HCO_3
249	SN	Dresden-Briesnitz	Bohrung 504/90	65	1,2	Ca-Na-Mg-HCO_3
250	SN	Eilenburg	Sachsen-Quelle		0,4	Ca-HCO_3
251	SN	Bad Elster	Moritz-Quelle	17	3,4	Na-SO_4-Cl-HCO_3
252	SN	Hagenest	Hagenest 1	110	1,6	Ca-SO_4
253	SN	Königstein	Hecht-Quelle		7,5	Na-Mg-HCO_3
254	SN	Krostitz	Krostitzer Mineral-Brunnen	45	1,3	Ca-SO_4-HCO_3-Cl
255	SN	Bad Lausick	Matthes-Brunnen		1,9	Ca-Mg-SO_4
256	SN	Löbau	Salz-Quelle		0,7	Ca-Na-K-SO_4-HCO_3-Cl
257	SN	Bad Muskau	Berg-Quelle	5	0,7	Ca-Mg-SO_4
258	SN	Bad Muskau	Thermalwasser-Bohrung	1500	75,5	Sole
259	SN	Naundorf	Brunnen 4	80	0,3	Ca-Na-HCO_3-SO_4
260	SN	Neumühle	Bohrung Neumühle	1174	4,7	Ca-Na-Cl
261	SN	Niederlichtenau	Lichtenauer Mineral-Quelle	140	0,4	Ca-HCO_3-SO_4
262	SN	Oberbrambach	Henri-Klinkert-Brunnen	100	0,5	Ca-Mg-HCO_3

5.9 Heil-, Mineral- und Thermalwässer – Verzeichnis (Fortsetzung)

Nr.	Land	Ort	Quelle	Tiefe	TDS	Typ
263	SN	Oberoranitz	Radium-Quelle		1,1	Ca-Mg-SO_4
264	SN	Oberschlema	Gleesberg-Quelle		0,2	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
265	SN	Oppach	Oppacher Mineral-Quelle	100	0,2	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
266	SN	Rauna	Albert-Quelle	4	1,3	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
267	SN	Prettin	Bohrung SDAG Wismut	300	1,6	Na-Cl
268	SN	Bad Reiboldsgrün	Christine-Eberhardinen-Brunnen		0,2	Na-Ca-HCO_3-SO_4
269	SN	Riesa	Unstein-Quelle	44	0,5	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
270	SN	Schönbrunn	Therme Quelle Grube Schönbrunn	453	2,3	Na-Ca-Cl
271	SN	St. Egidien	Tiefbohrung 109/84	90	2,5	Na-Ca-Cl
272	SN	Wiesenbad	Georgs-Quelle	79	0,5	Na-HCO_3
273	SN	Wolkenstein	Silber-Therme-Warmbad	11	0,4	Na-Ca-HCO_3
274	RP	Bad Bergzabern	Petronella-Quelle	412	3,3	Na-Cl
275	RP	Bad Bertrich	Berg-Quelle	22	2,4	Na-HCO_3-SO_4
276	RP	Birresborn	Adonis-Quelle	100	2,9	Na-HCO_3
277	RP	Bad Bodendorf	St. Josef-Sprudel	150	1,6	Na-Mg-HCO_3
278	RP	Bad Breisig	Geyr-Sprudel	605	5,3	Na-Mg-HCO_3-Cl
279	RP	Brohl-Lützing	Oranien-Quelle	308	3,7	Na-Mg-HCO_3-Cl
280	RP	Burgbrohl	Fellbuhr-Quelle	100	2,7	Mg-Na-Ca-HCO_3
281	RP	Daun	Dunaris-Quelle	12	3,3	Na-Mg-HCO_3
282	RP	Dreis	Nürburg-Quelle		3,8	Mg-Na-HCO_3
283	RP	Bad Dürkheim	Fronmühl-Quelle	136	13,5	Na-Cl
284	RP	Bad Ems	Robert-Kempe-Sprudel	73	3,7	Na-HCO_3-Cl
285	RP	Fachingen	Fachingen-Quelle		2,6	Na-HCO_3
286	RP	Gerolstein	Gerolsteiner Brunnen		2,5	Ca-Mg-HCO_3
287	RP	Heppingen	Heppinger Brunnen	25	4,0	Na-Mg-HCO_3
288	RP	Bad Hönningen	Deutschland-Sprudel	373	4,3	Na-Mg-HCO_3-Cl
289	RP	Katzenelnbogen	Taunus-Sprudel		1,1	Ca-Mg-HCO_3
290	RP	Kell	Pöntermühlen-Quelle		2,2	Mg-Ca-HCO_3
291	RP	Bad Kreuznach	Brunnen Theodorshalle (neu)	505	18,0	Sole
292	RP	Lahnstein	Victoria-Quelle	359	3,7	Na-HCO_3-Cl
293	RP	Leiningen-Lamscheid	Lamscheider Stahl-Brunnen	4	1,2	Ca-Mg-HCO_3
294	RP	Melborn	St. Nikolaus-Quelle	25	0,9	Ca-Mg-HCO_3
295	RP	Medard	St. Medardus-Quelle	90	1,2	Na-HCO_3-Cl
296	RP	Mendig	Regineris-Brunnen	250	2,9	Na-Ca-Mg-HCO_3
297	RP	Bad Münster am Stein	Rheingrafen-Quelle	20	8,6	Na-Cl
298	RP	Niemedy	Niemedy-Sprudel	250	12,0	Na-HCO_3-Cl
299	RP	Bad Neuenahr	Apollinaris-Quelle	414	2,2	Na-Mg-HCO_3
300	RP	Nierstein	Sirona-Quelle		1,1	Mg-Ca-Na-HCO_3-Cl-SO_4
301	RP	Oberhambach	Peters-Quelle		0,3	Mg-Ca-HCO_3
302	RP	Pleidt	Burg-Quelle	56	1,7	Na-Mg-Ca-HCO_3
303	RP	Remagen-Kripp	Maria-Luisen-Quelle	122	3,0	Na-HCO_3-Cl
304	RP	Rhens	Kaiser-Ruprecht-Quelle	359	3,2	Na-HCO_3-Cl-SO_4
305	RP	Rockeskyll	Rocky 1		2,5	Ca-Mg-HCO_3
306	RP	Bad Salzig	Leonoren-Quelle	448	7,6	Na-Cl-HCO_3-SO_4
307	RP	Schwollen	Hochwald-Sprudel		0,4	Ca-Mg-HCO_3
308	RP	Sinzig	Sinziger Quelle	50	0,7	Mg-Na-Ca-HCO_3
309	RP	Bad Sobernheim	Felke-Quelle	90	1,9	Na-Cl
310	RP	Thalfang	Diamant-Quelle	180	0,1	Mg-Ca-Na-HCO_3
311	RP	Thühr	Ariston-Sprudel	222	2,0	Na-Ca-Mg-HCO_3
312	RP	Trier-Feyen	Römer-Sprudel	11	0,9	Mg-Ca-HCO_3
313	RP	Bad Wildstein	Wildstein-Therme		0,4	Na-HCO_3
314	SL	Merzig-Bietzen	Bietzener Heil-Quelle	150	3,7	Na-Ca-Cl
315	SL	Ribhingen-Hanweiler	Amandus-Quelle	250	1,3	Na-Ca-Mg-Cl-SO_4-HCO_3
316	SL	Ribhingen-Hanweiler	Neue Auguste-Quelle		12,5	Na-Ca-Cl-SO_4
317	BY	Bad Abbach	Kaiser-Heinrich-Quelle		0,7	Na-Ca-Mg-HCO_3
318	BY	Bad Abbach	Kaiser-Therme	421	2,4	Na-HCO_3-Cl
319	BY	Abensberg	St. Berta-Wild-Brunnen		0,6	Na-Ca-Mg-HCO_3
320	BY	Bad Adelholzen	Primus-Quelle		0,6	Ca-Mg-HCO_3
321	BY	Bad Alexanderbad	Luisen-Quelle	65	0,5	Ca-Mg-HCO_3
322	BY	Augsburg	Mozart-Quelle	217	0,3	Mg-Ca-Na-HCO_3
323	BY	Autenried	Schloßgarten-Quelle	74	0,5	Ca-Mg-HCO_3
324	BY	Bammersdorf	Tief-Brunnen	190	4,4	Na-Cl
325	BY	Barbing	Barbinger Quelle	478	1,4	Na-Cl
326	BY	Berchtesgaden	Watzmann-Therme		290,0	Sole
327	BY	Bad Birnbach i. Rottal	Chrysanti-Quelle	1618	1,5	Na-HCO_3-Cl
328	BY	Bissingen	Auer-Quelle	342	0,6	Na-Ca-Mg-HCO_3
329	BY	Bad Bocklet	Balthasar-Neumann-Quelle		4,9	Na-Ca-Mg-HCO_3-Cl
330	BY	Bad Brückenau	König-Ludwig-I-Quelle	300	0,4	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
331	BY	Bad Brückenau	St. Georgi-Sprudel	554	3,7	Ca-SO_4-HCO_3-Cl
332	BY	Burgbernheim	Doktors-Brunnen		1,0	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
333	BY	Burgsinn	Bavaria-Sprudel	478	18,5	Na-Cl-HCO_3
334	BY	Dasing	Albertus-Quelle		0,5	Mg-Ca-HCO_3
335	BY	Bad Endorf	Bohrung Endorf 2	4949	17,8	Sole
336	BY	Bad Faulenbach	Notburga-Quelle		2,4	Ca-SO_4
337	BY	Fürth	Espan-Quelle	448	12,5	Na-Ca-Cl-SO_4
338	BY	Bad Füssing	Johannes-Quelle	1061	1,2	Na-HCO_3-Cl
339	BY	Glashütten	Fasl-Brunnen		1,6	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
340	BY	Bad Gögging	Limes-Therme		1,3	Na-HCO_3
341	BY	Bad Gögging	Römer-Quelle		0,6	Na-Ca-Mg-HCO_3
342	BY	Grettstadt	Burkharts-Brunnen	10	0,1	Mg-Ca-HCO_3-SO_4
343	BY	Bad Griesbach i. Rottal	Nikolaus-Quelle		1,5	Na-HCO_3-Cl
344	BY	Großalbershof	Quelle		1,4	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
345	BY	Groschlattengrün	Silvana-Quelle	15	0,3	Ca-Mg-Na-HCO_3
346	BY	Großwallstadt	Bohrung	836	2,7	Na-Ca-Cl
347	BY	Grub am Forst	Kupfer-Brunnen		2,4	Ca-SO_4
348	BY	Gundelfingen a.d. Donau	Abisius-Quelle		0,4	Ca-Mg-HCO_3
349	BY	Haßfurth	Benediktiner-Quelle	6	2,8	Ca-SO_4
350	BY	Bad Heilbrunn	Adelheid-Quelle		6,6	Na-Cl
351	BY	Heustreu	Salz-Brunnen	70	34,5	Sole
352	BY	Hohenberg a.d. Eger	Karolinen-Quelle	3	0,7	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
353	BY	Bad Höhenstadt	Königs-Brunnen	10	0,7	Ca-Na-HCO_3
354	BY	Hohlstadt	Sauer-Brunnen	3	5,9	Na-Cl-SO_4
355	BY	Niederhölle	Hölle-Sprudel	162	1,2	Ca-HCO_3
356	BY	Bad Kellberg	Ottilien-Quelle		0,2	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
357	BY	Bad Kissingen	Luitpold-Sprudel (neu)	578	7,1	Na-Ca-Cl-HCO_3-SO_4
358	BY	Bad Kissingen	Max-Brunnen	10	5,9	Na-Cl
359	BY	Kitzingen	Solebrunnen Reubelshof	175	18,5	Sole
360	BY	Knetzgau	Mineralwasser-Bohrung	410	20,6	Sole
361	BY	Kondrau	Antonien-Quelle	250	1,1	Na-Ca-HCO_3
362	BY	Bad Königshofen i.Gr.	Urbani-Quelle		6,9	Na-Ca-SO_4-Cl
363	BY	Kothen	Pfister-Quelle		0,2	Ca-Mg-Na-HCO_3
364	BY	Kothigenbibersbach	Sauer-Quelle	3	1,4	Ca-Mg-HCO_3
365	BY	Künzing	Römerbad-Quintana		1,3	Na-Cl-HCO_3
366	BY	Kutzenhausen	Rappen-Quelle	246	0,4	Ca-Mg-HCO_3
367	BY	Markt Schwaben	Silence-Quelle		0,5	Ca-Mg-HCO_3
368	BY	München	Paulaner Tief-Brunnen	240	0,5	Na-HCO_3
369	BY	Neualbenreuth	Katharinen-Quelle	81	0,1	Ca-Na-HCO_3-Cl
370	BY	Neualbenreuth	Sibyllen-Quelle	245	2,0	Na-Ca-HCO_3
371	BY	Neumarkt i.d. Oberpfalz	Neumarkter Mineral-Brunnen	150	0,4	Ca-Mg-HCO_3
372	BY	Neustadt a.d. Aisch	Bonaris-Quelle		1,6	Ca-SO_4-HCO_3
373	BY	Bad Neustadt a.d. Saale	Bonifazius-Quelle	8	31,0	Sole
374	BY	Bad Neustadt a.d. Saale	Marien-Quelle	8	2,4	Na-Ca-Cl-HCO_3
375	BY	Neu-Ulm	Donau-Therme	1037	6,5	Na-Ca-SO_4-Cl
376	BY	Niederrieden	Remus-Quelle		0,4	Mg-Ca-HCO_3
377	BY	Nördlingen	Bohrung Tuchfabrik Busse	200	0,6	Na-HCO_3
378	BY	Obernscheinfeld	Steigerwald-Quelle		2,5	Ca-Mg-SO_4
379	BY	Oberstdorf	Christlesee-Quelle		0,3	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
380	BY	Rocking	Redinger Mineral-Brunnen		1,4	Na-HCO_3-Cl
381	BY	Regensburg	Ratisbona-Quelle	623	2,3	Na-Cl-HCO_3
382	BY	Bad Reichenhall	Gruttenstein-Quelle		259,6	Sole
383	BY	Bad Rodach	Therme I-Brunnen 1	652	0,7	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
384	BY	Rothenburg o.d. Tauber	Stahl-Quelle	2	2,4	Ca-SO_4
385	BY	Ruhpolding	Zeller Quelle		0,5	Ca-Mg-HCO_3
386	BY	Saale a.d. Saale	Brunnen Nenninger	18	0,8	Mg-Ca-HCO_3-SO_4
387	BY	Saibaf	Vitus-Quelle		0,2	Ca-HCO_3-Cl
388	BY	Schierling	St. Sebastian-Brunnen		0,7	Na-Ca-HCO_3
389	BY	Siegsdorf	Petrus-Quelle		0,6	Ca-Mg-HCO_3
390	BY	Simmbach am Inn	Simbach-Braunau	1948	1,1	Na-HCO_3-Cl
391	BY	Bad Sodenthal	Rochus-Quelle (neu)	16	1,0	Na-Ca-HCO_3-Cl
392	BY	Bad Staffelstein	Obermain-Therme	1600	111,2	Sole
393	BY	Bad Steben	Max-Marien-Quelle		2,1	Ca-HCO_3
394	BY	Bad Steben	Tempel-Quelle	32	0,3	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
395	BY	Stein i. Allgäu	Tief-Bohrung		22,3	Sole
396	BY	Stephanskirchen/Simssee	St. Leonhards-Quelle		0,5	Ca-Mg-HCO_3
397	BY	Straubing	Therme I-Bohrung	825	1,4	Na-Cl-HCO_3
398	BY	Thalkirchdorf	Allgäu-Quelle		0,4	Ca-Mg-HCO_3
399	BY	Bad Tölz	Neue Sauersberger Jod-Quelle	85	2,6	Na-Cl-HCO_3
400	BY	Treuchtlingen	Riedbach-Quelle		0,5	Na-Ca-HCO_3
401	BY	Wiesau	Neue-Otto-Quelle	46	0,7	Mg-Na-Ca-HCO_3
402	BY	Bad Wiessee	Wilhelmina-Quelle	632	10,4	Na-Cl
403	BY	Bad Windsheim	Sole-Quelle	148	250,0	Sole
404	BY	Bad Windsheim	St. Anna-Quelle (neu)	47	1,8	Ca-Na-Mg-Cl-HCO_3-SO_4
405	BY	Wonfurt	Rote Quelle		2,8	Ca-SO_4
406	BY	Zeitlofs	Heilsberg-Quelle		2,0	Ca-HCO_3-SO_4
407	BW	Aalen	Tief-Brunnen 1	650	3,6	Ca-Na-SO_4
408	BW	Bad Antogast	Antonius-Quelle	4	3,0	Na-Ca-Mg-HCO_3-SO_4
409	BW	Aspach-Rietenau	Kloster-Quelle	25	1,9	Ca-SO_4-HCO_3
410	BW	Aulendorf	Therme Iwasser-Bohrung 1	2076	0,6	Na-Ca-HCO_3-Cl
411	BW	Baden-Baden	Friedrich-Stollen	10	2,7	Na-Cl
412	BW	Badenweiler	Römer-Quelle	12	0,4	Ca-Na-HCO_3-SO_4
413	BW	Bahlingen	Therme Iminerelwasser-Bohrung	250	5,4	Ca-Na-SO_4-HCO_3-Cl
414	BW	Bad Bellingen	Markus-Quelle	1115	4,7	Na-Ca-Cl
415	BW	Beuren	Wilhelm-Quelle	755	6,4	Na-Ca-Cl-SO_4-HCO_3
416	BW	Biberach an der Riss	Jordanbad	1036	0,4	Na-Ca-HCO_3
417	BW	Bietigheim-Bissingen	Wörsinger Mineral-Quelle	134	0,8	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
418	BW	Böblingen	Therme Iwasser-Bohrung 3	554	6,1	Na-Cl
419	BW	Bad Boll	Therme Iminerelwasser-Quelle	467	7,7	Na-Ca-Cl-SO_4
420	BW	Bruchsal	Schönborn-Quelle	40	0,9	Ca-SO_4-HCO_3
421	BW	Bad Buchau	Adelindis-Quelle	795	0,5	Ca-Mg-HCO_3
422	BW	Bad Cannstatt	Gottlieb-Daimler-Quelle	135	11,5	Na-Ca-Cl
423	BW	Dammemühle	Mineralwasser-Bohrung	75	7,8	Na-Ca-Cl-SO_4
424	BW	Bad Dietenbronn	Lazarus-Quelle	100	0,4	Ca-Mg-HCO_3
425	BW	Bad Ditzenbach	Dionisius-Quelle	561	7,3	Na-Ca-Cl-SO_4
426	BW	Bad Dürrheim	Johannis-Quelle	61	1,6	Ca-SO_4-HCO_3
427	BW	Bad Dürrheim	Sole-Bohrung 9	208	269,5	Sole
428	BW	Ebenstadt-Buchhorn	Steinberg-Quelle	45	2,8	Ca-Mg-Na-SO_4
429	BW	Eislingen/Fils	Ludwig-Uhland-Brunnen	77	6,1	Na-HCO_3
430	BW	Filderstadt-Bonlanden	Bonlanden 1	365	1,1	Ca-SO_4-HCO_3
431	BW	Freiburg im Breisgau	Heil-Quelle 1	965	4,5	Ca-Na-Mg-SO_4-HCO_3
432	BW	Friedrichshafen-Fischbach	Therme Iwasser-Bohrung	710	1,6	Na-HCO_3-Cl-SO_4
433	BW	Gaggenau-Bad Rotenfels	Laurentius-Quelle	220	5,3	Na-Cl
434	BW	Gärtringen-Rohrau	Friedrichs-Quelle	52	2,4	Ca-SO_4
435	BW	Gemmingen	Gemminger Quelle	140	2,1	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
436	BW	Göppingen	Staufer-Quelle	512	5,5	Na-Ca-SO_4-Cl
437	BW	Göppingen-Jebenhausen	Schloss-Quelle	25	1,6	Ca-HCO_3
438	BW	Gottmadingen-Randegg	Ottilien-Quelle	123	0,6	Ca-Mg-HCO_3
439	BW	Grenzach-Wyhlen	Emilien-Quelle	32	6,0	Na-Ca-SO_4-Cl
440	BW	Hagerloch-Bad Imnau	Casper-Quelle	19	2,8	Ca-SO_4-HCO_3
441	BW	Hattenhofen	Sauerbrunnen Hattenhofen	3	0,9	Ca-HCO_3
442	BW	Heilbronn-Biberach	Biberacher Mineral-Quelle	22	1,9	Ca-SO_4-HCO_3
443	BW	Bad Herrenalb	Therme I-Quelle 1	600	2,4	Na-Ca-Cl-SO_4
444	BW	Horb-Mühringen	Schloss-Quelle	25	2,0	Ca-HCO_3-SO_4
445	BW	Ingelfingen	Schloss-Brunnen	77	28,1	Sole
446	BW	Kißlegg	Krumbach-Quelle	45	0,6	Ca-Mg-HCO_3
447	BW	Kleinengstingen	Säuerling Kleinengstingen	5	1,7	Ca-HCO_3
448	BW	Konstanz	Therme Iwasser-Bohrung 1	660	0,6	Na-HCO_3
449	BW	Bad Krozingen	Theresien-Quelle	596	4,1	Ca-Na-SO_4-HCO_3
450	BW	Bad Liebenzell	Paul-Sybillen-Quelle	250	1,2	Na-Cl-HCO_3
451	BW	Löwenstein	Löwensteiner Mineral-Quelle	179	2,6	Ca-SO_4
452	BW	Ludwigsburg-Hoheneck	Sole-Bohrung (neu)	177	22,8	Sole
453	BW	Mainhardt-Bad	Römer-Quelle	4	2,3	Ca-SO_4
454	BW	Mannheim	Eichbaum-Brauerei Brunnen	133	0,5	Ca-Mg-HCO_3
455	BW	Meersburg	Meersburg 1	2400	0,7	Na-HCO_3
456	BW	Bad Mergentheim	Paul-Quelle	551	62,0	Sole
457	BW	Bad Mergentheim	Wilhelms-Quelle	9	4,6	Ca-Na-SO_4-Cl
458	BW	Neuenburg-Steinenstadt	Markgräfler Mineral-Quelle	200	2,4	Ca-SO_4
459	BW	Bad Niedernau	Römer-Quelle	25	2,0	Ca-Mg-HCO_3
460	BW	Niedernhall	Johann-Georg-Glenk-Sole	30	16,7	Na-Cl
461	BW	Nürtingen	Heinrichs-Quelle	80	11,7	Na-SO_4-HCO_3
462	BW	Ohlsbach	Mineralwasser-Bohrung	65	15,5	Na-Cl
463	BW	Bad Peterstal-Griesbach	Josefs-Quelle	92	2,0	Ca-Na-HCO_3-SO_4
464	BW	Plankstadt	Max-Wilhelm-Brunnen	161	0,4	Ca-Mg-HCO_3
465	BW	Bad Rappenau	Bohrung 9	212	243,5	Sole
466	BW	Ravensburg	Geothermie-Bohrung 1	540	0,5	Na-HCO_3
467	BW	Reutlingen-Rommelsbach	Silberbrunnen-Quelle	383	1,1	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
468	BW	Bad Rippoldsau	Theresien-Quelle	300	3,6	Ca-Na-HCO_3-SO_4
469	BW	Rottenburg-Obernau	Löwen-Sprudel	71	3,4	Ca-SO_4-HCO_3
470	BW	Rottweil	Sole-Bohrung	153	302,8	Sole
471	BW	Sachsenheim-Spielberg	Fontanis-Quelle	38	1,7	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
472	BW	Bad Säckingen	Fridolin-Quelle	600	7,4	Na-Cl
473	BW	Sasbach	Erlenbad-Quelle	41	2,5	Na-Ca-Cl-SO_4
474	BW	Bad Saulgau	Bohrung Sonnenhof-Therme	650	0,5	Ca-Mg-HCO_3
475	BW	Schliengen-Liel	Schloss-Brunnen	25	1,2	Ca-Na-SO_4
476	BW	Bad Schönborn	St. Ludwigs-Brunnen	215	1,7	Na-HCO_3-Cl
477	BW	Bad Schönborn	St. Lambertus-Quelle	637	31,2	Sole
478	BW	Schwäbisch Hall	Neuer Haal-Brunnen	51	68,3	Sole
479	BW	Schwäbisch Hall	Wildbad-Quelle	66	1,2	Ca-Mg-HCO_3-SO_4-Cl
480	BW	Bad Sebastiansweiler	Hungergraben-Quelle	14	1,4	Ca-Mg-Na-SO_4-HCO_3
481	BW	Singen	TB 1 Singen	685	1,3	Na-SO_4-HCO_3-Cl
482	BW	St. Blasien	Tief-Brunnen 4	112	0,1	Ca-HCO_3
483	BW	Stuttgart-Berg	Berger Ur-Quelle	61	4,6	Ca-Na-Cl-SO_4-HCO_3
484	BW	Bad Teinach-Zavelstein	Otto-Therme	1001	1,9	Na-Ca-HCO_3-SO_4
485	BW	Tuttlingen	Geothermie-Bohrung Tu Weiss	644	1,1	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
486	BW	Bad Überkingen	Otto-Therme 1	1020	4,9	Na-Ca-SO_4-Cl
487	BW	Überlingen am Bodensee	Bohrung Bodenseetherme	1006	1,1	Na-HCO_3-Cl
488	BW	Bad Urach	Therme Iwasser-Bohrung 2	760	5,4	Ca-Na-Cl-SO_4-HCO_3
489	BW	Urbach	Hermine-Quelle	100	1,9	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
490	BW	Uttenweiler	Brunnen Herlighof	364	0,5	Ca-Mg-HCO_3
491	BW	Vaihingen-Ensingen	Graf-Beirein-Quelle	40	1,9	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
492	BW	Waghäusel-Wiesental	Wiesentaler Mineral-Quelle	108	0,9	Ca-Mg-HCO_3-SO_4
493	BW	Weiblingen-Beinstein	Elisabethen-Quelle	76	3,6	Ca-Na-SO_4-Cl-HCO_3
494	BW	Waldbronn-Reichenbach	Therme Iwasser-Bohrung 2	2000	2,4	Na-Cl
495	BW	Waldkirch	Tief-Bohrung Waldkirch	660	6,5	Na-Ca-SO_4
496	BW	Bad Waldsee	Brunnen Waldsee-Therme	1570	1,1	Na-HCO_3-Cl
497	BW	Wallhausen	Eico-Quelle	141	1,8	Ca-Mg-SO_4-HCO_3
498	BW	Wangen im Allgäu	Nenatz-Quelle	76	0,3	Ca-Mg-HCO_3
499	BW	Wildbad im Schwarzwald	Therme Iwasser-Bohrung 5	134	0,6	Na-Ca-Cl-HCO_3
500	BW	Wildberg	Wildberg-Brunnen	160	1,7	Na-Ca-HCO_3
501	BW	Bad Wimpfen	Bohrung 15	170	258,3	Sole
502	BW	Bad Wurzach	Therme Iwasser-Bohrung	823	0,8	Na-HCO_3

Tabellenfelder	Tabular Fields
Nr. (Laufende Nummer)	Number
Land (Bundesland)	Federal State
Ort	Location
Quelle	Spring
Tiefe (in m)	Depth in m
TDS (Gesamtlösungsinhalt in g/l)	Total Dissolved Solids in g/l
Typ (chemischer Wassertyp)	Type of Water

Bundesländer / Federal States

BB	Brandenburg	NI	Niedersachsen
BE	Berlin	NW	Nordrhein-Westfalen
BW	Baden-Württemberg	RP	Rheinland-Pfalz
BY	Bayern	SH	Schleswig-Holstein
HB	Bremen	SL	Saarland
HE	Hessen	SN	Sachsen
HH	Hamburg	ST	Sachsen-Anhalt
MV	Mecklenburg-Vorpommern	TH	Thüringen

5.9 Heil-, Mineral- und Thermalwässer

Heil-, Mineral- und Thermalwässer sind Grundwässer, die sich durch besondere chemische und physikalische Eigenschaften auszeichnen. Seit jeher wird vielen dieser Wässer eine besondere heilkräftigende Wirkung zugeschrieben. Ihre Nutzung kann in Deutschland über rund 2000 Jahre zurückverfolgt werden. Einige der heute bekannten Bäder und Thermen, wie zum Beispiel Aachen, Bad Bertrich, Baden-Baden, Bad Gögging und Badenweiler, gehen in ihren Ursprüngen auf römische Bäderanlagen zurück.

Lange Zeit wurden die Wässer vor allem therapeutisch für Bade- und Trinkkuren genutzt. In neuerer Zeit steht der Gebrauch von Heil- und Mineralwässern als Getränk und Lebensmittel im Vordergrund. Seit einigen Jahrzehnten werden Thermalwasservorkommen auch zur Gewinnung geothermischer Energie erschlossen; Beispiele sind die Thermal-Bohrungen bei Erding und Straubing in Bayern.

In Deutschland sind rund 650 Mineralwässer und 70 Heilwässer am Markt (BUNDESANZEIGER 1999). Im Jahr 2001 gab es 235 Brunnenbetriebe, 29 davon in den neuen Bundesländern. Die deutschen Mineral- und Heilbrunnen haben laut einer Pressemitteilung des Verbandes Deutscher Mineralbrunnen e.V. (VDM) im Jahr 2001 bei einem Gesamtumsatz von 5,4 Mrd. DM (2,75 Mrd. Euro) rund 7832 Mio. Liter Mineralwässer und 265 Mio. Liter Heilwässer abgesetzt. Das entspricht einem jährlichen Pro-Kopf-Verbrauch von 104 Litern.

Rund 370 Heilbäder und Kurorte werden heute in Deutschland betrieben. An ungefähr 160 Standorten werden Heil-, Mineral- und Thermalwässer als Heilmittel verabreicht. Im Jahr 2001 verzeichneten die deutschen Mineral- und Moorheilbäder nach einer Mitteilung des Deutschen Heilbäderverbands e.V. bei 6,2 Mio. Gästen insgesamt 42 Mio. Übernachtungen.

Anforderungen an Mineral- und Heilwässer

Die heute gebräuchliche Definition und Einteilung der Mineral- und Heilwässer geht auf die „Nauheimer Beschlüsse" aus dem Jahr 1911 zurück. Darin wurden Mindestgehalte für die im Wasser enthaltenen gelösten Feststoffe, für den Gasgehalt, den Gehalt an Spurenelementen sowie für die Wassertemperatur festgelegt.

Mineralwasser
Die Anforderungen an natürliches Mineralwasser werden in der „Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser" gesetzlich geregelt (MINERAL- UND TAFELWASSERVERORDNUNG (MTVO) 1984, BGBl. I S. 1036, zuletzt geändert am 29. Oktober 2001, BGBl. I S. 2785). Danach hat natürliches Mineralwasser seinen Ursprung in unterirdischen, geschützten Wasservorkommen und wird aus einer oder mehreren natürlich oder künstlich erschlossenen Quellen gewonnen.

Mineralwasser soll von Natur aus rein sein und muss einen mikrobiologisch einwandfreien Zustand aufweisen. Zur Bewertung dienen festgelegte Grenz- bzw. Orientierungswerte. Zusammensetzung, Temperatur und wesentliche Merkmale des Wassers müssen im Rahmen natürlicher Schwankungen konstant bleiben. Festgeschrieben ist auch, dass Mineralwasser grundsätzlich am Quellort abgefüllt wird, für die Quelle eine Nutzungsgenehmigung vorliegt und das Wasser amtlich anerkannt ist.

Enthält ein Wasser weniger als 1000 mg/l gelöste Mineralstoffe oder weniger als 250 mg/l freies Kohlenstoffdioxid, müssen für eine Anerkennung als natürliches Mineralwasser ernährungsphysiologische Eigenschaften nachgewiesen werden.

Heilwasser
Die Anforderungen an natürliche Heilwässer stützen sich auf die „Begriffsbestimmungen – Qualitätsstandards für die Prädikatisierung von Kurorten, Erholungsorten und Heilbrunnen" (DEUTSCHER HEILBÄDERVERBAND e.V. & DEUTSCHER TOURISMUSVERBAND e.V. 1998), die jedoch keine Rechtsverbindlichkeit haben. Danach stammen natürliche Heilwässer aus natürlich zutage tretenden oder künstlich erschlossenen Quellen und sind geeignet, therapeutischen Zwecken zu dienen, wobei ihre Eignung zu Heilzwecken durch ein medizinisch-balneologisches Gutachten nachzuweisen ist. Durch Heilwasseranalysen sowie regelmäßige Kontrollanalysen soll die einwandfreie bakteriologische Beschaffenheit gewährleistet werden. Konzentrationsschwankungen der charakteristischen Bestandteile dürfen ±20 % nicht überschreiten; der Kohlenstoffdioxidgehalt darf nicht um mehr als ±50 % schwanken.

Unter Berücksichtigung der genannten Kriterien müssen natürliche Heilwässer am Ort der Anwendung einen Mindestgehalt von 1000 mg/l gelöste Mineralstoffe aufweisen oder einen der Grenzwerte in Tabelle 1 überschreiten. Ist keine dieser Voraussetzungen erfüllt, ist die Eignung als Heilmittel durch ein klinisches Gutachten nachzuweisen. Werden Heilwässer abgefüllt und versandt, gelten Sie als Fertigarzneimittel und bedürfen der Zulassung durch das Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM).

Tab. 1 Mindestgehalte bzw. Grenzwerte von Heilwässern

Eisenhaltige Wässer	≥	20 mg/l zweiwertiges Eisen (Fe^{2+})
Fluoridhaltige Wässer	≥	1 mg/l Fluorid (F^-)
Jodhaltige Wässer	≥	1 mg/l Jodid (I^-)
Schwefelhaltige Wässer	≥	1 mg/l Sulfidschwefel (S^{2-})
Radonhaltige Wässer	≥	666 Bq/l Radon (Rn)
Säuerlinge für Badezwecke	≥	500 mg/l freies gelöstes Kohlenstoffdioxid (CO_2)
Säuerlinge für Trinkzwecke	≥	1000 mg/l freies gelöstes Kohlenstoffdioxid (CO_2)
Solen	≥	5,5 g/l Natrium (Na^+) und 8,5 g/l Chlorid (Cl^-) ≈14 g/l NaCl
Thermalwasser	>	20°C natürliche Temperatur am Austrittsort

Die Kriterien zur Kennzeichnung natürlicher Mineralwässer weichen von den balneologischen Begriffsbestimmungen für natürliche Heilwässer ab. Da Heil- und Mineralwässer sich genetisch nicht unterscheiden, werden hier die Wässer aus Gründen der Vergleichbarkeit nach den Bestimmungen für Heilwässer beschrieben. Zur chemischen Charakterisierung von natürlichem Mineralwasser und Heilwasser werden alle Ionen herangezogen, deren Konzentration mindestens jeweils 20 Milli-Äquivalent-Prozente (meq-%) der Kationen- oder Anionen-Summe ausmacht.

Zur Entstehung von Mineralwässern

Heil-, Mineral- und Thermalwässer entstammen größtenteils dem allgemeinen Wasserkreislauf. Niederschlagswasser versickert und bewegt sich durch grundwasserleitende Schichten der Erdkruste, die in sehr unterschiedlichen Tiefen liegen können. In Poren und Klüften stehen die Wässer in direktem Kontakt zum anstehenden Gestein, aus dem sie Mineral- und Spurenstoffe herauslösen. In Abhängigkeit von der Zusammensetzung und Löslichkeit der Gesteine kommt es zu einer Mineralisierung der Wässer, wobei erhöhte Wassertemperaturen und erhöhte Gehalte an gelöster freier Kohlensäure die Löslichkeit des durchströmten Gesteins erhöhen können. Misch- und Ionenaustauschvorgänge bewirken schließlich, dass ein Wasser mit einer spezifischen stofflichen Zusammensetzung entsteht.

Entsprechend des dominierenden Anions lassen sich hydrogenkarbonatische, sulfatische und chloridische Wässer unterscheiden:

Hydrogenkarbonatische Mineralwässer entstehen durch Lösung von karbonathaltigen Sedimenten wie z.B. Kalk- oder Dolomitgesteinen. Dort herrschen Ca-HCO_3-Wässer bzw. Ca-Mg-HCO_3-Wässer vor. Na-HCO_3-Wässer entstehen durch Ionenaustauschvorgänge und sind charakteristisch für die Übergangszone Süß-/Salzwasser.

Sulfatische Mineralwässer sind weit verbreitet und entstehen hauptsächlich durch Lösung von Evaporiten wie Gips und Anhydrit oder durch Oxidation von sulfidhaltigen Gesteinen.

Chloridische Mineralwässer wie Na-Cl-Wässer sind meist Mischungen aus gering mineralisierten Süßwässern und Solen. Bei *Solen* handelt es sich in der Regel um Wässer, die mit Steinsalz in Kontakt stehen oder standen, oder um ehemalige marine Porenwässer.

Schwefel-Wässer können durch bakterielle Reduktion von Sulfaten entstehen. *Säuerlinge* stehen meistens in direktem Zusammenhang mit postvulkanischen Entgasungsprozessen und treten häufig in jungen Vulkangebieten auf.

Thermalwässer entstehen durch Erwärmung des Wassers in der Erdkruste. Am Austrittsort muss das Wasser eine natürliche Temperatur von über 20 °C haben. Bei einer mittleren Temperaturzunahme mit der Tiefe von 3 °C auf 100 m und einer Durchschnittstemperatur des oberflächennahen Grundwassers von 10 °C könnte Thermalwasser theoretisch in rund 400 m Tiefe gefasst werden. Im Bereich positiver Temperaturanomalien (z.B. junger Vulkanismus, Hochlagen von Magmakörpern) sind höhere Temperaturgradienten zu verzeichnen. Entlang von tiefreichenden, gut wasserwegsamen Gesteinszonen können Thermalwässer aufsteigen und als Quellen zu Tage treten.

Zur Kartendarstellung

Karte 5.9 gibt anhand von rund 500 Wässern einen Überblick über die Verbreitung und Beschaffenheit der Heil-, Mineral- und Thermalwasservorkommen in Deutschland. Grundlage der Karte sind Daten, die von den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesländer zur Verfügung gestellt oder ergänzend recherchiert wurden. In Gebieten, in denen sich Nutzungen von Mineralwässern mit ähnlicher chemischer Zusammensetzung häufen, wird maßstabsbedingt nur eine repräsentative Auswahl von Signaturen dargestellt. Liegen von einem Wasser mehrere Analysen vor, wird der aktuelle Wert verwendet.

Abb. 1 Vorkommen von Heil- und Mineralwasser in Lockergesteins- ( ) und Festgesteinsregionen ( )

Die Analysendaten der Wässer sind in Kreisdiagrammen dargestellt. Dabei werden die einzelnen Ionen als Kreissektoren proportional zu den jeweiligen Milli-Äquivalent-Prozenten (meq-%) aufgetragen; in der oberen Kreishälfte die Kationen Natrium (Na^+), Kalium (K^+), Magnesium (Mg^{2+}) und Calcium (Ca^{2+}), in der unteren Kreishälfte die Anionen Chlorid (Cl^-), Sulfat (SO_4^{2-}) und Hydrogenkarbonat (HCO_3^-).

Die Wässer werden entsprechend der Summe an gelösten Mineralstoffen in drei Klassen unterteilt, die in Form von Kreisgrößen dargestellt sind (0 bis 1 g/l, 1 bis 5 g/l, 5 bis 20 g/l); die hochmineralisierten Solen sind gesondert durch Dreiecksignaturen ausgewiesen.

Durch einen blaufarbenen Innenkreis werden Säuerlinge (CO_2 ≥ 1000 mg/l), durch eine rote Umrandung Thermalwässer (T > 20 °C) gekennzeichnet. Therapeutisch wirksame Anteile gemäß den Begriffsbestimmungen für Heilwässer wie Eisen (Fe^{2+}), Fluorid (F^-), Jodid (I^-), Sulfidschwefel (S^{2-}) und Radon (Rn) werden mit der entsprechenden chemischen Abkürzung neben dem jeweiligen Diagramm notiert.

Die Kreis- und Dreiecksignaturen sind durchnummeriert, um sie den im Tabellenverzeichnis aufgeführten Brunnendaten zuordnen zu können. Das Tabellenverzeichnis enthält neben der jeweiligen Orts- und Quellenbezeichnung soweit bekannt die Tiefe des Brunnens, die Gesamtmineralisation und den chemischen Typ des Wassers.

Die räumliche Verteilung der Wässer

Die Vorkommen der Heil-, Mineral- und Thermalwässer sind in Deutschland räumlich recht ungleich verteilt. Besondere Schwerpunkte liegen in Südwestdeutschland, in einem breiten Band in der Mitte Deutschlands zwischen Mittelrhein, hessischem Bergland und Fichtelgebirge sowie entlang des Leinegrabens und am Übergang zwischen westfälischem Bergland und nordwestdeutscher Tiefebene (Abb. 1). Für das Vorkommen von Wässern sind hier vor allem die weiträumigen tektonischen Verwerfungen und Bruchzonen im anstehenden Festgestein verantwortlich. Sie führen vielerorts mineralisierte Wässer aus großen Tiefen bis an die Erdoberfläche. Noch Anfang des 20. Jahrhunderts wurden die Wasservorkommen fast ausschließlich durch Quellen gewonnen. Die zunehmende Bohrtätigkeit führte dazu, dass die Wässer heute größtenteils durch Bohrbrunnen erschlossen und gefasst werden, auch in Regionen, in denen früher keine „natürlichen Vorkommen" existierten. Die Teufen der Fassungen variieren von einigen Metern bis zu 4850 m in der Bohrung Endorf 2 in Bayern. Der weitaus größte Teil der Brunnen liegt in Tiefen von weniger als 1000 m (Tab. 2).

Tab. 2 Häufigkeitsverteilung der Brunnen-Bohrtiefen

Bohrtiefe in m	0 – 10	>10 – 50	>50 – 100	>100 – 200	>200 – 500	>500–1000	>1000–4850
Anzahl der Bohrungen	39	87	67	64	72	58	27

Chloridische und sulfatische Wässer herrschen eindeutig vor. Mehr oder weniger stark konzentrierte Salzwässer und Solen sind im tieferen Untergrund weiter Teile Deutschlands bekannt, insbesondere in der Norddeutschen Tiefebene, im Münsterländer Kreidebecken, im niedersächsischen und hessischen Bergland, im Thüringer Becken, im Oberrheingraben und in Mittel- und Süddeutschland. Diese salinaren Wässer sind entweder durch Ablaugung entstanden oder es handelt sich dabei um marine Sedimentationswässer. Im Falle der Genese durch Ablaugung haben sie ihren Ursprung in den Salzablagerungen des Zechsteins, im Röt-Salinar des oberen Buntsandsteins, in den Salzen des mittleren Muschelkalks, im Salinar der Münder Mergel des Malms oder in den unteroligozänen Salzlagern.

Auffällig ist auch das gehäufte Auftreten von Säuerlingen in einem westöstlich verlaufenden Band mit tertiären und quartären vulkanischen Gesteinen. Dieser Gürtel beginnt in der Eifel, setzt sich im Siebengebirge, Neuwieder Becken, Westerwald und Vogelsberg fort und reicht über die Rhön bis ins Fichtelgebirge und in die Oberpfalz. Weitere Häufungen sind im Uracher Vulkangebiet der Schwäbischen Alb und in Nordhessen zu beobachten.

Natürliche Thermalwasservorkommen gibt es in Gebieten mit einer positiven Temperaturanomalie wie der mittleren Schwäbischen Alb und dem Oberrheingraben. Weitere Vorkommen häufen sich am Südrand des Taunus und am Mittelrhein.

Praktische Hinweise

Maßstabsbedingt kann auf dem Kartenblatt nur eine Auswahl deutscher Heil-, Mineral- und Thermalwässer dargestellt werden. Detailliertere Informationen liegen in Form von zahlreichen Veröffentlichungen und größenmaßstäbigen Karten für die einzelnen Bundesländer vor. Eine umfassende Beschreibung der Geologie, Chemie und Genese von rund 2200 mitteleuropäischen Mineralwasservorkommen bietet das Nachschlagewerk „Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa" von CARLÉ (1975). Das Werk „Mineral- und Thermalwässer – Allgemeine Balneogeologie" von MICHEL (1997) schließt an das vorher genannte an und befasst sich im Detail mit Begriffsbestimmungen, den physikalischen Eigenschaften, der Genese, den Untersuchungsmethoden, der Erschließungstechnik sowie mit rechtlichen und wirtschaftlichen Aspekten von Mineral- und Thermalwässern.

Weitere Informationen zu Mineralwässern in Deutschland sind beim VDM mit Sitz in Bonn erhältlich. Auskünfte zu deutschen Heilwässern geben die Deutschen Heilbrunnen im VDM. Der Deutsche Heilbäderverband e.V., Bonn, und die Heilbäderverbände der Bundesländer informieren über Heilquellen und deren Heilanzeigen.

5.9 Mineral Water, Thermal Water, and Medicinal Water

The terms mineral water, thermal water, and medicinal water describe water that has special chemical and physical properties. Special healing properties have been attributed to water from certain sources since antiquity. Such water has been used medicinally for more than 2 000 years. Some of the well-known health resorts, e.g., Aachen, Bad Bertrich, Baden-Baden, Bad Göggging, and Badenweiler, trace their origins back to Roman baths at these locations.

In the past, mineral water from natural springs was used primarily therapeutically, either for bathing or for drinking. In modern times, mineral water is used mainly for drinking in place of tap water. Thermal water occurrences have been increasingly used over the last several decades as a source of geothermal energy, e.g., at Erding and Straubing in Bavaria.

There are about 650 brands of mineral water and 70 brands of medicinal water on the market in Germany (BUNDESANZEIGER 1999). In 2001 there were 235 mineral water companies, 29 of these in the States of the former East Germany. According to a press release of the Verband Deutscher Mineralbrunnen e.V., about 7832 million liters of mineral water and 265 million liters of medicinal water were sold for EUR 2.75 billion in 2001. That corresponds to a consumption of 104 liters per person.

There are about 370 health resorts in Germany. At about 160 of these, mineral water, thermal water or medicinal water is used for therapeutical purposes. According to the Deutscher Heilbäderverband e.V., 6.2 million persons visited German mineral and balneological baths for a total of 42 million overnights.

Requirements placed on mineral water

The "Nauheimer Beschlüsse" of 1911 defined and classified mineral water according to the minimum content of dissolved minerals, gas, and trace elements, as well as temperature. The definitions in use today have developed from those of 1911.

Mineral water
The legal requirements placed on natural mineral water are laid out in the "Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser" (Regulations for Natural Mineral Spring Water and Table Water) (MINERAL- UND TAFELWASSERVERORDNUNG (MTVO) 1984, BGBl. I, p. 1036, revised on 29 October 2001, BGBl. I, p. 2785). According to this law, natural mineral water is derived from protected groundwater taken from one or more natural springs or from wells.

The mineral water must be naturally pure and contain no microorganisms. Limiting and guideline values are given in the regulations. Content and temperature must remain within the range of natural variation. The regulations also require that the water be bottled at the site of the spring or well, for which a permit is required, and the water must be officially certified. If the water contains less than 1000 mg/l total dissolved solids or less than 250 mg/l free carbon dioxide, the physiological nutrient properties of the water must be demonstrated in order to be certified.

Medicinal water
The requirements placed on natural medicinal water are laid out in the "Begriffsbestimmungen – Qualitätsstandards für die Prädikatisierung von Kurorten, Erholungsorten und Heilbrunnen" (Definition of Terms: Quality Standards for the Certification of Health Resorts and Mineral Water Springs and Wells) (DEUTSCHER HEILBÄDERVERBAND e.V. & DEUTSCHER TOURISMUSVERBAND e.V. 1998). These standards, however, do not have the force of law. According to these standards, natural medicinal water is taken from a spring or well and is suitable for pharmacological purposes. The suitability for therapeutic purposes must be demonstrated by a balneological medical study. The absence of bacteria must be demonstrated by regular control analyses. The concentrations of the characteristic components may not vary by more than 20 %; the carbon dioxide content may not vary by more than 50 %.

Fig. 1 Occurrences of mineral and medicinal water in unconsolidated ( ) and hard rocks ( )

According to the criteria laid out in the "Definition of Terms", natural medicinal water must have a minimum of 1000 mg/l or a concentration greater than the limit given in Table 1. If neither of these criteria are fulfilled, the suitability of the water for medicinal purposes must be clinically demonstrated. If the water is bottled and shipped, it is considered as a pharmaceutical and requires certification by the Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM).

Table 1 Minimum contents required to be classified as medicinal water

iron-bearing water	≥	20 mg/l	iron (Fe^{2+})
fluoride-bearing water	≥	1 mg/l	fluoride (F^-)
iodide-bearing water	≥	1 mg/l	iodide (I^-)
sulfur-bearing water	≥	1 mg/l	sulfide (S^{2-})
radon-bearing water	≥	666 Bq/l	radon (Rn)
carbonated water for bathing	≥	500 mg/l	free dissolved carbon dioxide (CO_2)
carbonated water for drinking	≥	1000 mg/l	free dissolved carbon dioxide (CO_2)
brine	≥	5.5 g/l sodium (Na^+) and 8.5 g/l chloride (Cl^-) ≈ 14 g/l NaCl	
thermal water	>	20 °C	natural temperature at the spring

The criteria for labeling as natural mineral water differ from those for natural medicinal water, which use balneological terms. Because the sources of mineral water and medicinal water do not differ, the two types of water are described here using the criteria for medicinal water to facilitate comparison. All ions with a concentration greater than 20 meq% (milliequivalent percent) of the sum of the cations and anions are included in the chemical characterisation of the water.

The genesis of mineral water

Mineral, thermal, and medicinal water are taken from the general water cycle. Precipitation infiltrates the ground and passes through porous rocks, called aquifers, which can lie at quite different depths. The water in the pores and fractures of the rocks is in direct contact with the rock, from which it dissolves minerals and trace elements. Depending on the composition and solubility of the rocks, as well as the temperature and free carbon dioxide concentration, the water becomes "mineralized". Mixing and ion exchange lead to the final composition of the water content.

Mineral water is classified as bicarbonate, sulfate, or chloride water, depending on which of the three anions predominates:

Bicarbonate mineral water results from the passage of the water through carbonate-bearing sediments, e.g., calcium bicarbonate or calcium magnesium bicarbonate water results from passage through limestone or dolomite. Sodium bicarbonate water results from ion exchange and is characteristic of the transition zone between fresh water and saline water.

Sulfate mineral water has a wide distribution and results mainly from the passage of water through evaporites, such as gypsum and anhydrite, or by the oxidation of sulfide-bearing rocks.

Chloride mineral water, e.g., sodium chloride water, is usually a mixture of fresh water and brine. Brine is usually mineral water formed by contact of water with rock salt or it is seawater that was originally in the pores of sediments deposited in the sea.

Sulfidic water is formed by bacterial reduction of sulfate. Most carbonated water results from post-volcanic degassing, and frequently occurs in the area of a recent volcano.

Thermal water is water that is heated during its passage through the earth's crust and must have a temperature of more than 20 °C at the spring or well. Considering a mean temperature gradient of 3 °C per 100 m depth and a mean temperature of 10 °C for near-surface groundwater, thermal water can be expected at depths below about 400 m. Higher temperature gradients are present in areas with a positive temperature anomaly (e.g., recent volcanic activity or a magma chamber at relatively shallow depth). Thermal water can ascend along deep-seated, highly permeable fracture zones, emerging from springs at the surface (Fig. 2).

Fig. 2 Thermal water spring

Map Structures

Map 5.9 shows the distribution and composition of the mineral, thermal, and medicinal water occurrences in Germany. The map was prepared using data from the State Geological Surveys and other sources. Only a representative selection of wells and springs is presented on the map for areas where mineral water with similar chemical composition is obtained from many springs or wells. If several analyses are available, only the most recent ones were used for the map.

The data are shown in pie charts on the map in meq %, with the cations sodium (Na^+), potassium (K^+), magnesium (Mg^{2+}), and calcium (Ca^{2+}) in the upper half and the anions chloride (Cl^-), sulfate (SO_4^{2-}), and bicarbonate (HCO_3^-) in the lower half.

The amount of total dissolved solids is indicated for each mineral water occurrence by the size of the pie chart: 0 to 1 g/l, 1 to 5 g/l, 5 to 20 g/l. Brine is indicated by a triangle.

Carbonated water (CO_2 ≥1000 mg/l) is indicated by a blue circle within the pie chart or triangle, thermal water (T > 20 °C) by a red margin. Components that are pharmaceutically effective according to the "Definition of Terms" for medicinal water, e.g., iron (Fe^{2+}), fluoride (F^-), iodide (I^-), sulfide (S^{2-}) and radon (Rn) are indicated by the respective chemical symbol next to the graph.

The numbers next to the pie charts and triangles correspond to the numbers in the tables of spring and well data. The tables give the name of the location of the spring or well, the depth of the spring or well, the total dissolved solids, and the chemical type of water.

Distribution of mineral, thermal, and medicinal water in Germany

Occurrences of mineral, thermal, and medicinal water are not evenly distributed throughout Germany. They are concentrated in southwestern Germany, in a wide band from the mid-Rhine across the Hessisches Bergland (Hessian Uplands) to the Fichtelgebirge (Fichtel Mts.), along the Leine graben, and between the Westfälisches Bergland (Westphalian Upland) and the Norddeutsches Tiefland (North German Lowlands). The occurrences are associated mainly with fault zones in the outcropping basement (Fig. 1), through which mineralized water ascends to the surface from great depths. Until the early 20th century, mineral water was taken mainly from springs. Today, the water is mostly taken from wells, also in regions in which there are no springs. The depths of today's mineral, thermal and medicinal water wells vary from several meters to 4850 m (the Endorf 2 well in Bavaria). Most of the wells have depths of less than 1000 m (Table 2).

Table 2 Distribution of well depths

depth in m	0 – 10	>10 – 50	>50 – 100	>100 – 200	>200 – 500	>500–1000	>1000–4850
number of wells	39	87	67	64	72	56	27

Most of the mineral water occurrences are chloride or sulfate water. Saline water and brine are widely distributed at depth, particularly in the area of the North German Lowlands, in the Cretaceous basin of the Münsterland region, in the upland region of Hesse and Lower Saxony, in the Thüringer Becken (Thuringian basin), the Upper Rhine graben, and central and southern Germany. The saline water and brine result from the leaching of salt rock or is former sea water in the pores of marine sediments. Leaching of salt occurred from deposits of the Zechstein, the Röt Formation of the Lower Triassic, the Middle Triassic, the Münder Mergel of the Upper Jurassic, and the Lower Oligocene.

Carbonated water occurs frequently in an East–West zone of Tertiary and Quaternary volcanic rocks. This zone extends from the Eifel mountain region through the Siebengebirge, Neuwieder basin, Westerwald, Vogelsberg, the Rhön region, to the Fichtel Mts. and the Oberpfälzer Hügelland (Upper Palatinate region). Other occurrences are in the Urach region of volcanic rocks in the Swabian Jura and in northern Hesse.

Natural occurrences of thermal water are found in areas with a positive temperature anomaly, e.g., in the Swabian Jura and the Upper Rhine graben. Occurrences are also found at the southern margin of the Taunus and along the Middle Rhine.

Practical Information

Owing to the small scale of the map, only a representative selection can be shown of the mineral, thermal, and medicinal water occurrences in Germany. Detailed information is available in numerous publications and larger scale maps of the individual Federal States. A comprehensive description of the geology, chemistry and genesis of about 2200 mineral water occurrences in Central Europe is given in "Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa" by CARLÉ (1975). "Mineral- und Thermalwässer – Allgemeine Balneogeologie" by MICHEL (1997) provides detailed information about the definition of terms, the physical properties, the genesis, investigation methods, development of well fields, and legal and economic aspects of mineral and thermal water.

Further information about mineral and medicinal water in Germany is available from the Verband Deutscher Mineralbrunnen e.V. in Bonn. The Deutscher Heilbäderverband e.V. in Bonn and the Heilbäderverbände (medicinal water associations) in the individual Federal States provide information about medicinal water and the therapeutical properties.