

Vorlesung und Übung

**Grundwasserhydraulik
und -erschließung**

DR. THOMAS MATHEWS

Teil 1

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 1 von 35
-------	---	--	----------------

INHALT

INHALT	2
1 GRUNDBEGRIFFE DER HYDROLOGIE UND HYDROGEOLOGIE	5
1.1 BEGRIFFE NACH DIN 4049	5
1.2 BEGRIFFE ZUR GRUNDWASSERDYNAMIK NACH DVWK MERKBLATT 206 „GRUNDWASSERMODELLE“	18
2 WASSERBILANZ	20
2.1 GRUNDWASSERHAUSHALTSGLEICHUNG	20
2.2 GRUNDWASSERNEUBILDUNG	22
2.3 VERDUNSTUNG	23
2.4 HYDROGEOLOGISCHE KARTENWERKE	24
3 GRUNDWASSERDYNAMIK	26
4 ÜBERBLICK ÜBER GRUNDWASSERMODELLE	28
4.1 INTERNETADRESSEN GRUNDWASSERMODELLE.....	28
4.2 ASMWIN (AQUIFER SIMULATION MODEL FOR WINDOWS)	29
4.3 MODFLOW / PMWIN	30
4.4 FE-FLOW	32
5 AUFGABEN	34

Teil 1: Grundbegriffe der Hydraulik

- a) Grundbegriffe der Hydrogeologie nach DIN 4049 mit Beispielen
- b) Begriffe der quantitativen Hydrologie nach DIN 4049, Teil 3.
- c) Wasserbilanz: Wasserhaushaltsberechnungen (Niederschlag, Verdunstung, oberirdischer Abfluss, Speicherung und unterirdischer Abfluss) mit Fallbeispielen.
- d) Grundwasserdynamik: Konstruktion und Interpretation von Grundwassergleichungen (mit Beispielen von stationären und instationären Strömungsfeldern).
- e) Überblick über Demonstrationsmodelle ASMWIN, ModFlow, FeFlow.

Teil 2: Geochemische Prozesse im Grundwasserleiter

- a) Grundlagen der geochemischen Prozesse im Grundwasserleiter
- b) Grundlagen der Schadstoffausbreitung im Grundwasserleiter
- c) Lösung, biologischer Abbau, hydrochemischer Abbau, Verdünnung, Filtration
- d) Oxidation, Reduktion,
- e) Gasaustausch, Gleichgewichtsmodelle
- f) Adsorption und Desorption von Schadstoffen,
- g) Modelle zur Sorptionskinetik von Schadstoffen

Teil 3: Mathematische Grundlagen der Grundwassermodelle

- a) Datenakquisition; Ermittlung von Eingabeparameter mit unterschiedlicher Datenqualität (Schätzwert, Kartenablesung, Messwert, Messwertdichte).
- b) Mathematische Grundlagen für ein- und zweidimensionale analytische Modelle.
- c) Berechnung des Strömungsfeldes.
- d) Berechnung der Schadstoffausbreitung.
- e) Darstellung und Interpretation von hydrogeologischen Daten

Teil 4: Wasserrecht und Grundwasserbewirtschaftung

- a) Wasserhaushaltsgesetz, Grundwasserrichtlinie, Wasserrahmenrichtlinie der EU, Bewirtschaftungsgrundsätze des Grundwassers

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 3 von 35
-------	---	--	----------------

- b) Bundes Bodenschutzgesetz, Bundes Bodenschutzverordnung
- c) Beispielfälle für das Zusammenwirken der Rechtsvorschriften
- d) Wasserrechtliche Genehmigung von Erdwärmesondenanlagen in NRW

Teil 5 : Anwendung von ASMWIN auf das Fallbeispiel „Baugrube“

- a) Berechnung der Wasserhaltung für mehrere Beispielfälle „Baugrube“.
- b) Visualisierung der Grundwasserabsenkung mit unterschiedlichen Methoden.
- c) Lösung eines Beispielfalles „Simulation der Grundwasserabsenkung mit dem Modell ASMWIN im Bereich einer Baugrube“.
- d) Simulation der zweidimensionalen Grundwasserabsenkung.
- e) Vergleich der Ergebnisse und Diskussion.

Teil 6: Darstellung von Fallbeispielen

- a) Beispielfall Deponiestandort
- b) Beispielfall Gaswerkstandort
- c) Beispielfall LHKW Standort
- d) Ausgaben: Berechnung der Grundwasserneubildung für mehrere Beispielfälle.

Teil 7: Demonstration des Modells MODFLOW (PMWIN)

- a) Vorstellung des Modells MODFLOW
- b) Lösung eines Beispielfalles „Simulation mit dem Modell MODFLOW“.
- c) Visualisierung der Ergebnisse mit unterschiedlichen Methoden.
- d) Berechnung von Aufgaben.

1 Grundbegriffe der Hydrologie und Hydrogeologie

1.1 Begriffe nach DIN 4049

Abfluß	Q	l/s, m³/s	a)Allgemein: Unter dem Einfluß der Schwerkraft auf und unter der Landoberfläche sich bewegendes Wasser b) Quantitativ: Wasservolumen, das einen bestimmten Querschnitt in der Zeiteinheit durchfließt und einem Einzugsgebiet zugeordnet ist
Abflußhöhe (auch: Gebietsabfluß)	hA	mm	Quotient aus Abflußsumme und der Fläche des zugeordneten Einzugsgebietes
Abflußinhalt	-	m³, hm³, km³	Wasservolumen, das in einer bestimmten Zeitspanne unter einem gewählten Schwellenwert des Abflusses bzw. Durchflusses abgeflossen ist
Abflußkonzentration	-	-	Transformation des Effektivniederschlags in die Ganglinie des Direktabflusses aus einem oberirdischen Einzugsgebiet
Abflußkurve	-	-	Bezugskurve zwischen den Wasserständen und den zugehörigen Abflüssen bzw. Durchflüssen für einen bestimmten Gewässerquerschnitt
Abflußspende	Q	l/(s km²)	Quotient aus Abfluß und Fläche des zugeordneten Einzugsgebietes
abgesetzter Niederschlag	-	-	Wasser der Atmosphäre, das nach Kondensation oder Sublimation von Wasserdampf aus der Lufthülle unmittelbar an der Erdoberfläche ausgeschieden wurde
aktueller Dampfdruck	e	hPa	Partialdruck des Wasserdampfes bei gegebener Lufttemperatur
Aufbrauch	hB	mm	Verkleinerung des ober- und unterirdischen Wasservorats, gemittelt über ein bestimmtes Gebiet, ausgedrückt als Wasserhöhe über einer horizontalen Fläche in einer Betrachtungszeitspanne
Ausfluß	Qa	l/s, m³/s	Das aus einem Raum in der Zeiteinheit ausfließende Wasservolumen ANMERKUNG: Der gesteuerte Ausfluß aus Speichern wird als Abgabe bezeichnet (siehe DIN 4044)
Basisabfluß	Qb	l/s, m³/s	Teil des Abflusses, der nicht Direktabfluß ist ANMERKUNG: Der Basisabfluß kann Einleitung und Überleitung enthalten
Bemessungsniederschlag	-	mm	Niederschlagshöhe eines bestimmten Niederschlagsereignisses, das der wasserwirtschaftlichen und baulichen Planung zugrunde gelegt wird
Bestandsniederschlag	-	-	Niederschlag der sich aus Kronendurchlaß und Stammabfluß zusammensetzt
Bestrahlungsstärke	E	W/m²	Quotient aus der auf eine Fläche auftreffenden Strahlungsleistung und dieser Fläche (siehe DIN 5031-1)
Dauerniederschlag	-	-	Lang andauerndes Niederschlagsereignis (mehr als etwa sechs Stunden) mit geringer, sich meist wenig ändernder Niederschlagintensität und ausgedehntem Niederschlagsfeld (größer als etwa 1000 km²) ANMERKUNG: Durch überwiegend horizontale Luftbewegung (advektion) entstanden und daher auch als advektiver Niederschlag bezeichnet. Dauerniederschlag in flüssiger Form: Landregen, Dauerregen
Direktabfluß	Qd	l/s, m³/s	Summe aus Oberflächenabfluß und Zwischenabfluß
durchfallender Niederschlag	-	-	Niederschlag in einem Pflanzenbestand, der ohne Interzeption zum Boden gelangt
Durchsickerung, Perkolation	-	-	Durchgang von Wasser durch den Sickerraum
Einheitsganglinie	-	-	Ganglinie des Direktabflusses als Reaktion auf einen effektiven Einheitsniederschlag

			ANMERKUNG: Die Einheitsganglinie ist eine lineare, zeitinvariante Übertragungsfunktion zwischen dem effektiven Einheitsniederschlag und dem Direktabfluß. Sie kann z.B. mit einer linearen Speicherkaskade beschrieben werden
effektiver Niederschlag, Effektivniederschlag, abflußwirksamer Niederschlag	hNe	mm	Teil des Gebietsniederschlags, der als Direktabfluß wirksam wird
Evaporation (auch: Evaporationshöhe)	hE	mm	Verdunstungshöhe von - unbewachsener Erdoberfläche (Bodenverdunstung) - auf Pflanzenoberflächen zurückgehaltenem Niederschlag, biotische Prozesse ausgeschlossen (Interzeptionsverdunstung) - freien Wasserflächen (Seeverdunstung)
Evapotranspiration (auch Evapotranspirationshöhe)	hET	mm	Summe aus Bodenverdunstung, Interzeptionsverdunstung und Transpiration
Feldkapazität (auch: Speicherfeuchte)	FK	l	Volumenanteil des Wassers im Gesteinskörper, das unter bestimmten Randbedingungen in der ungesättigten Zone maximal gegen die Schwerkraft gehalten werden kann (siehe DIN 19682-6 und DIN 4047-10)
Fließgeschwindigkeit	v	m/s	Geschwindigkeit des Wassers in Fließrichtung (siehe DIN 4044)
Fließzeit (nicht: Translationszeit)	Tfl	h, min	Zeitspanne, in der ein bestimmtes Wasserteilchen eine bestimmte Strecke zurücklegt
Flussgebietsmodell	-	-	Flächendetailliertes mathematisches Modell zur Ermittlung von Abflussganglinien aus einem Einzugsgebiet, wobei die verschiedenen abflußbestimmenden Gegebenheiten (z.B. Niederschlagsgeschehen, Gebietsmerkmale, anthropogene Beeinflussung) getrennt erfaßt werden ANMERKUNG: Ein Flußgebietsmodell besteht in der Regel aus N-A-Modellen für die einzelnen Teileinzugsgebiete sowie aus Modellen für die Wellenverformung entlang der Gewässerstrecke (flood routing) und die Simulation des Betriebes von Stauanlagen
Flusslänge	lF	km	Länge eines Wasserlaufes zwischen zwei Punkten, gemessen in der ausgeglichenen Mittellinie zwischen den Uferlinien in der Horizontalprojektion
freier Wassergehalt der Schneedecke	-	l, mm	Flüssiges Wasser in einer Schneedecke, ausgedrückt als Volumenanteil oder als Wasserhöhe über einer horizontalen Fläche
Freilandniederschlag	-	-	Niederschlag unmittelbar über dem Pflanzenbestand
Gebietsmerkmale	-	-	Geologische, geomorphologische, vegetationskundliche und anthropogene Gegebenheiten eines Einzugsgebietes, die das Abflußverhalten bestimmen ANMERKUNG: Bei Niederschlag-Abfluß-Modellen werden u.a. folgende Gebietsmerkmale berücksichtigt: -Größe und Form des Einzugsgebiets -Gefälle -Länge des Hauptvorfluters -Bodenart -Flächennutzung
Gebietsniederschlag, Gebietsniederschlagshöhe	hN	mm	Niederschlagshöhe, gemittelt über ein bestimmtes Gebiet
Gebietsrückhalt	hNr	mm	Teil des Gebietsniederschlags, der nicht als Direktabfluß wirksam wird ANMERKUNG: Ursache für den Gebietsrückhalt sind z.B. Benetzungsverlust einschließlich Interzeption, Muldenverlust, Verdunstung, Versickerung
Gebietsverdunstung (auch: Gebietsverdunstungshöhe)	hV	mm	Verdunstungshöhe, gemittelt über ein bestimmtes Gebiet
gesättigte Zone	-	-	Gesteinskörper, der zum Betrachtungszeitpunkt vollständig mit Wasser gefüllt ist ANMERKUNG: Die gesättigte Zone umfaßt den Grundwasserraum und den geschlossenen Kapillarraum

Gewässerbelastung	-	-	Einwirkung auf den Gewässerzustand durch nachteilige Faktoren, z.B. Belastungsstoffe, Schadstoffe ANMERKUNG: Die einwirkenden Faktoren können geogenen, biogenen oder anthropogenen Ursprungs sein. Übermäßige Gewässerbelastungen können zu Gewässerschädigung führen
Gewässerbeschaffenheit	-	-	Durch physikalische, chemische und biologische Kenngrößen sowie beschreibende Begriffe wertneutral angegebene Eigenschaften einer Gewässers
Gewässergüte	-	-	Nach vorgegebenen Kriterien bewertete Gewässerbeschaffenheit ANMERKUNG: Solche Kriterien sind z.B.: Schutzziele, Nutzungsansprüche
Gewässergütwirtschaft	-	-	Zielbewußte Ordnung aller menschlichen Einwirkungen auf die Gewässerbeschaffenheit
Gewässerverunreinigung (auch: Gewässerverschmutzung)	-	-	Vorgang und sein Ergebnis, bei dem Stoffe oder Gegenstände in das Gewässer gelangen oder dort entstehen, so daß die Möglichkeiten zur Gewässernutzung beeinträchtigt werden ANMERKUNG: Gewässerverunreinigung durch radioaktive Stoffe oder Krankheitserreger: Kontamination
Grundwasser	-	-	Unterirdisches Wasser, das Hohlräume der Lidosphäre zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegungsmöglichkeit ausschließlich durch die Schwerkraft bestimmt wird
Grundwasserabsenkung	-	-	Absenkung einer Grundwasserdruckfläche als Folge technischer Maßnahmen
grundwasserbürtiger Abfluß	Qg	l/s, m³/s	Teil des Basisabflusses, der dem Vorfluter aus dem Grundwasser zugeflossenes ist
Grundwasserdargebot	-	m³/s, hm³/a	Summe aller positiven Glieder der Wasserbilanz für einen Grundwasserabschnitt ANMERKUNG: Positive Bilanzglieder sind z.B. Grundwasserneubildung aus Niederschlag und Zusickerung aus oberirdischen Gewässern
Grundwasserentnahme	-	-	Entnehmen von Grundwasser durch technische Maßnahmen
Grundwasserflurabstand	-	m	Lotrechter Abstand zwischen einem Punkt der Erdoberfläche und der Grundwasser Oberfläche des ersten Grundwasserstockwerks
Grundwasserkörper	-	-	Abgegrenztes Grundwasservorkommen oder abgrenzbarer Teil eines solchen
Grundwasserleiter	-	-	Gesteinskörper, der geeignet ist, Grundwasser weiterzuleiten
Grundwassermessstelle (nicht: Grundwasserpegel, Peilrohr)	-	-	Anlage zur Ermittlung hydrologischer Werte des Grundwassers, z.B. von Grundwasserstand, Grundwasserbeschaffenheit ANMERKUNG: Werden an einem Ort mehrere Teufenintervalle jeweils getrennt erfasst, so spricht man von einer Mehrfachmessstelle oder einer Grundwassermessgruppe
Grundwassermodell	-	-	Schematische Nachbildung ausgewählter Eigenschaften und Vorgänge im Grundwasserraum ANMERKUNG: Z.B. Grundwasserströmungs- und Grundwassertransportmodelle sowie grundwasserchemische, grundwasserthermische und andere Modelle
Grundwasserneubildung	-	-	Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser ANMERKUNG: Spezialfall der Zusickerung
Grundwasseroberfläche	-	-	Obere Grenzfläche eines Grundwasserkörpers
Grundwasserspiegel	-	-	Ausgeglichene Grenzfläche des Grundwassers gegen die Atmosphäre, z.B. in Brunnen, Grundwassermeßstellen
Grundwasserstand	-	m	Höhe des Grundwasserspiegels über oder unter einer waagerechten Bezugsebene, in der Regel über oder unter der amtlich festgelegten Ausgangs- und Bezugsfläche für Höhenmessungen
Haftwasser	-	-	Wasser in der ungesättigten Zone, das gegen die Schwerkraft gehalten wird

			ANMERKUNG: Als Haftwasser im engeren Sinne wird hygroskopisches Wasser, Adsorptionswasser und Porenwinkelwasser verstanden. Der Begriff umfaßt nicht das durch Oberflächenkräfte in der gesättigten Zone gebundene Wasser
Hagel	-	-	Fester fallender und fester gefallener Niederschlag in Form kugelschallig aufgebauter, durchscheinender Eiskörner (Hagelkörner) mit Durchmesser ab etwa 5 mm
Haupttabelle	-	-	Tabellarische Zusammenstellung von Hauptwerten
Hochwasser	-	-	Zustand in einem oberirdischen Gewässer, bei dem der Wasserstand oder der Durchfluß einen bestimmten Wert (Schwellenwert) erreicht oder überschritten hat ANMERKUNG: Je nach Betrachtungsweise können unterschiedliche Werte maßgebend sein
Hochwasserabfluß	HQ	m ³ /s, l/s	Höchster Wert der Abflüsse in einer Zeitspanne
Hochwasserereignis	-	-	Anschwellung des Wasserstandes oder Durchflusses in einem oberirdischen Gewässer, die zu einem Hochwasser geführt hat
Hochwasserganglinie	-	-	Ganglinie des Wasserstandes oder Durchflusses beim Durchgang einer Hochwasserwelle durch einen bestimmten Querschnitt
Hochwasserscheitel	-	-	Höchster Wert einer Hochwasserganglinie
Hochwasserstand	HW	cm	Höchster Wert der Wasserstände in einer Zeitspanne
Hochwasserwelle	-	-	Ablauf eines Hochwasserereignisses längs eines Fließgewässers
hydrologisches Risiko	-	-	Wahrscheinlichkeit, daß ein Wert mit einer bestimmten Jährlichkeit innerhalb einer Zeitspanne von n Jahren erreicht oder überschritten wird ANMERKUNG: Für die hydrologische Bemessung von wasserwirtschaftlichen und wasserbaulichen Anlagen ist in der Regel T>n
Hydrologie			Wissenschaft vom Wasser, seinen Eigenschaften: seinen Erscheinungsformen auf und unter der Landberfläche sowie in den Küstengewässern
Hydrogeologie			Wissenschaft von den Erscheinungen des Wassers in den Hohlräumen der Lithosphäre und seinen Wechselwirkungen mit dem Gestein ANMERKUNG: Die Benennung ist entsprechend dem Schwerpunkt der Betrachtungsweise zu wählen
Infiltration	-	-	Zugang von Wasser durch enge Hohlräume in die Lithosphäre ANMERKUNG: Man unterscheidet Infiltration aus Niederschlag, Beregnung oder Überstauung und Infiltration aus Oberirdischen Gewässern (Influenz oder Bildung von Seihwasser); vergleiche dagegen "Versickerung" nach DIN 4049-1 : 1992-12
Interzeption	-	-	Vorübergehendes Speichern von gefallenem Niederschlag oder abgesetztem Niederschlag an Pflanzenoberflächen
Interzeptionshöhe	hi	mm	Wasservolumen des an Pflanzenoberflächen aufgefangenen und vorübergehend gespeicherten Niederschlags, ausgedrückt als Wasserhöhe über einer horizontalen Fläche in einer Betrachtungszeitspanne
Interzeptionsverlust	hV	mm	Differenz der Niederschlagshöhen aus Freilandniederschlag und Bestandsniederschlag infolge Interzeptionsverdunstung in einer Betrachtungszeitspanne
kapillarer Aufstieg	-	-	Bewegung von Wasser aus dem Grundwasserraum in den Sickerraum durch Kapillarkräfte entgegen der Schwerkraft
Kapillarraum (nicht: Saugraum)	-	-	Gesteinskörper unmittelbar über dem Grundwasserraum, der zum Betrachtungszeitpunkt Kapillarwasser enthält ANMERKUNG: Man unterscheidet zwischen geschlossenem und offenem Kapillarraum
Kapillarwasser	-	-	Unterirdisches Wasser, das durch Überwiegend der Kapillarkräfte gehoben oder gehalten wird

Karstgrundwasser	-	-	Grundwasser im verkarsteten Gestein
klimatische Wasserbilanz	-	mm	Differenz zwischen Niederschlagshöhe und potentieller Verdunstung für einen Betrachtungsort in einer Betrachtungszeitspanne
Kluftgrundwasser	-	-	Grundwasser im Festgestein, dessen durchflußwirksamer Hohlraumanteil aus Klüften und anderen Trennfugen gebildet wird
Konzentrationszeit	Tc	h, min	Zeitspanne, die bei flächenhaft gleichmäßiger Überregnung vergeht, bis das gesamte Einzugsgebiet zum Direktabfluß beiträgt
Lattenpegel	-	-	Maßgebender Teil des Pegels, aus Pegellatte und Pegelfestpunkten bestehend
Laufzeit	Tl	h, min	Zeitspanne zwischen dem Eintreten einander entsprechender Wasserstände oder Durchflüsse eines bestimmten Ereignisses in aufeinanderfolgenden Querschnitten eines Fließgewässers
Lysimeter	-	-	Anlage zum Erfassen von Sickerwasser als Grundlage zur Mengen- und Stoffbilanz in Abhängigkeit von Boden, Gestein, Bewuchs, lokalem Klima und anderen Randbedingungen ANMERKUNG: In der Regel wird die Durchsickerungshöhe bestimmt, bei speziellen Bauarten können auch die aktuelle Verdunstungshöhe oder die Grundwasserneubildungsrate ermittelt werden
Meßflügel	-	-	Gerät zur Ermittlung der Fließgeschwindigkeit, die aus der Anzahl der Umdrehungen eines Rotors (einer Schaufel) in einer bestimmten Zeitspanne berechnet wird ANMERKUNG: Man unterscheidet: - Stangenflügel - Schwimmflügel
Meßpunkt, einer Grundwassermeßstelle	-	-	Festgelegter Punkt an einer Grundwassermeßstelle als Bezugspunkt für die Messung von Höhenunterschieden
Mittelwasserstand	MW	cm	Arithmetischer Mittelwert der Wasserstände in einer Zeitspanne
mittlere Fließgeschwindigkeit in der Meßlotrechten	Vim	m/s	Quotient aus der vertikalen Geschwindigkeitsfläche und der Wassertiefe
mittlerer Abfluß	MQ	m ³ /s, l/s	Arithmetischer Mittelwert der Abflüsse in einer Zeitspanne
Modell			Schematische Nachbildung eines Systems bezüglich ausgewählter Eigenschaften und Vorgänge z.B. für ein Einzugsgebiet, eine Gewässerstrecke, einen Grundwasserkörper) ANMERKUNG: Je nach Berücksichtigung des zeitlichen Verhaltens der Vorgänge unterscheidet man: - stationäres Modell - instationäres Modell
Mathematisches Modell			Modell, bei dem die ausgewählten Eigenschaften und Vorgänge mit Hilfe mathematischer Gleichungssysteme beschrieben werden ANMERKUNG: Bei den mathematischen Modellen unterscheidet man: nach den Verfahren zur Lösung der mathematischen Gleichungen: - analytisches Modell - numerisches Modell Nach der Berücksichtigung von zufallsbedingten Systemänderungen oder Systemenflüssen: - Stochastische Modelle - Deterministische Modelle Nach der physikalischen Interpretierbarkeit der verwendeten mathematischen Gleichungen - empirisches Modell - konzeptionelles Modell

			<p>Nach der Berücksichtigung der Abhängigkeit der Modellparameter vom momentanen Systemzustand</p> <ul style="list-style-type: none"> - lineares Modell - nicht lineares Modell <p>Nach der Berücksichtigung der Abhängigkeit der Modellparameter vom zeitlichen Systemverhalten</p> <ul style="list-style-type: none"> - zeitinvariantes Modell - zeitvariantes Modell
Niederschlag	-	-	Wasser der Atmosphäre, das nach Kondensation oder Sublimation von Wasserdampf in der Lufthülle ausgeschieden wurde und sich infolge der Schwerkraft entweder zur Erdoberfläche bewegt (fallender Niederschlag) oder zur Erdoberfläche gelangt ist (gefallener Niederschlag)
Niederschlagsereignis	-	-	Niederschlagsgeschehen, dessen Niederschlagsdauer, Niederschlagsverlauf und räumliche Verteilung an der Erdoberfläche natürlich gegeben oder je nach Fragestellung hieraus festzulegen sind ANMERKUNG: Das Niederschlagsgeschehen kann sich sowohl auf einen Standort als auch auf ein wanderndes Niederschlagsfeld beziehen
Niederschlagsgebiet	-	-	Von einem bestimmten Niederschlagsereignis betroffenes Gebiet, in der Horizontalprojektion gemessen ANMERKUNG: Das Niederschlagsgebiet wird durch die Umhüllende der zugehörigen wandernden Niederschlagsfelder beschrieben; es hat bei Schauern kleine und bei Dauerniederschlägen große Ausdehnung
Niederschlagshöhe (nicht: Niederschlagssumme)	hN	mm	Niederschlag an einem bestimmten Ort, ausgedrückt als Wasserhöhe über einer horizontalen Fläche in einer Betrachtungszeitspanne
Niederschlagsintensität	in	mm/min, mm/h	Quotient aus Niederschlagshöhe und Zeit
Niederschlagsmesser	-	-	Standardisiertes Meßgerät zum Erfassen der Niederschlagshöhe ANMERKUNG: Messung in der Regel für einen Niederschlagstag
Niederschlagsreihe	-	-	Zeitliche Folge von Niederschlagshöhen für eine vieljährige Zeitspanne, z.B. tägliche, monatliche, jährliche
Niederschlagsschreiber	-	-	Standardisiertes Meßgerät zur kontinuierlichen Registrierung der Niederschlagshöhe
Niederschlagsspende	rn	l/(s km ²), l/(s ha)	Quotient aus dem Volumen des in einer bestimmten Zeitspanne auf eine bestimmte Fläche gefallenen Niederschlags und dem Produkt aus dieser Zeitspanne und dieser Fläche
Niederschlagstag	-	-	24stündige Zeitspanne zwischen zwei festgesetzten Meßterminen ANMERKUNG: Meßtermin bei den Niederschlagsstationen in der Bundesrepublik Deutschland jeweils 7:30 Uhr (gesetzliche Zeit). Der Meßwert wird dem vorangegangenen Kalendertag zugeordnet.
Niederschlagsverlauf	-	-	Zeitliche Abfolge der Niederschlagsintensität an einem bestimmten Ort während eines Niederschlagsereignisses
Niederschlag-Abfluß-Modell (N-A-Modell)	-	-	Mathematisches Modell zur Ermittlung von Abflußganglinien aus einem Einzugsgebiet als Folge bestimmter Niederschlagsereignisse unter Berücksichtigung des jeweils gegebenen Abflußverhaltens ANMERKUNG: Ein N-A-Modell besteht im wesentlichen aus Teilmodellen für die Abflußbildung und die Abflußkonzentration
Niedrigwasser	-	-	Zustand in einem oberirdischen Gewässer, bei dem der Wasserstand oder der Durchfluß einen bestimmten Wert (Schwellenwert) erreicht oder unterschritten hat ANMERKUNG: Je nach Betrachtungsweise können unterschiedliche Werte maßgebend sein
Niedrigwasserabfluß	NQ	m ³ /s, l/s	Niedrigster Wert der Abflüsse in einer Zeitspanne
Niedrigwasserstand	NW	cm	Niedrigster Wert der Wasserstände in einer Zeitspanne
nutzbares Grundwasserdargebot	-	m ³ /s, hm ³ /a	Teil des gewinnbaren Grundwasserdargebots, der für die Wasserversorgung unter bestimmten Randbedingungen genutzt werden kann

Oberflächenabfluß	Qo	l/s, m³/s	Teil des Abflusses, der dem Vorfluter als Reaktion auf ein auslösendes Ereignis (Niederschlag oder Schneeschmelze) über die die Bodenoberfläche unmittelbar zugeflossen ist
Oberflächengeschwindigkeit	Vo	m/s	Fließgeschwindigkeit in Höhe des Wasserspiegels
oberirdisches Gewässer (nicht: Oberflächengewässer)	-	-	Gewässer auf der Landoberfläche ANMERKUNG: Quellen gehören nicht zu den oberirdischen Gewässern
Pegel	-	-	Einrichtung zum Messen des Wasserstandes oberirdischer Gewässer ANMERKUNG: An einem Pegel sind häufig auch Vorrichtungen zur Ermittlung anderer hydrologischer Kenngrößen (z.B. Fließgeschwindigkeit, Wassertemperatur) vorhanden
Pegelbezugscurve	-	-	Graphische Darstellung der Beziehung zwischen einander entsprechenden Wasserständen bzw. Abflüssen zweier Pegel
Pegellatte	-	-	Festinstallierte Meßlatte, an der der Wasserstand abgelesen wird
Pegelnullpunkt	PNP	m	Höhenlage des Nullpunktes der Pegellatte bezogen auf eine amtlich festgelegte Ausgangs- und Bezugsfläche für Höhenmessungen
Porengrundwasser	-	-	Grundwasser im Locker- oder Festgestein, dessen durchflußwirksamer Hohlraumanteil von Poren gebildet wird
potentielle Verdunstung (auch: potentielle Verdunstungshöhe)	hVp	mm	Verdunstungshöhe von Oberflächen bei gegebenen meteorologischen Bedingungen und unbegrenzt verfügbarem Wasser ANMERKUNG: Man unterscheidet zwischen potentieller Evaporation, potentieller Transpiration und potentieller Evapotranspiration
Quelle	-	-	Ort eines räumlich begrenzten Grundwasseraustritts ANMERKUNG: Quellen treten vielfach örtlich in größerer Zahl auf. Sie können z.B. in Form von Gruppen oder Bändern angeordnet sein (Siehe DIN 4046 : 1983-09)
Radar-Niederschlagsmessung	-	-	Bestimmung der Niederschlagsintensität aus dem Radarecho des Niederschlagsfeldes über eine halbempirische Beziehung
Regen	-	-	Flüssiger fallender Niederschlag in Form von Tropfen mit Durchmessern über etwa 0,5 mm
relative Luftfeuchte	U	1	Aktueller Dampfdruck in Prozent des Sättigungsdampfdruckes (siehe: DIN 4047-10 : 1985-07)
relative Sonnenscheindauer	Srel	1	Verhältnis von tatsächlicher zu maximal möglicher Sonnenscheindauer ANMERKUNG: Die maximal mögliche Sonnenscheindauer entspricht der astronomischen Sonnenscheindauer unter Einbeziehung orographisch verursachter Horizonteneinschränkungen. Die tatsächliche Sonnenscheindauer ergibt sich durch zusätzliche Berücksichtigung der meteorologischen Bedingungen
Retention	-	-	Durchflußverzögerung infolge der Speicherwirkung natürlicher Gegebenheiten oder künstlicher Maßnahmen ANMERKUNG: Die Retention in Seen oder seeähnlichen Gewässern wird als Seeretention bezeichnet
Rücklage	hR	mm	Vergrößerung des ober- und unterirdischen Wasservorrats, gemittelt über ein bestimmtes Gebiet, ausgedrückt als Wasserhöhe über einer horizontalen Fläche in einer Betrachtungszeitspanne
Sättigungsdampfdruck	Ew, Ee	hPa	Bei gegebener Lufttemperatur über einer Wasseroberfläche (Ew) oder Eisoberfläche (Ee) maximal möglicher Partialdruck des Wasserdampfes
Sättigungsdefizit	DVP	hPa	Differenz von Sättigungsdampfdruck und aktuellem Dampfdruck ANMERKUNG: Für Verdunstungsberechnungen meist aus der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte bestimmt
Saugspannung (auch: Wasserspannung)	-	Pa	Spannung, die durch die Wechselwirkung zwischen Gestein und Wasser im Sickerraum hervorgerufen wird

			ANMERKUNG: Als Maß für die Saugspannung wird auch der pF-Wert verwendet (siehe DIN 4047-10)
Saugspannungskurve	-	-	Graphische Darstellung der Saugspannung in Abhängigkeit vom Wassergehalt des betrachteten Gesteinskörpers
Schauer	-	-	Kurz andauerndes Niederschlagsereignis (bis maximal 45 Minuten) mit meist hoher, manchmal schnell wechselnder Niederschlagsintensität und eng begrenztem Niederschlagsfeld (kleiner als etwa 10 km ²) ANMERKUNG: Durch stark vertikale Luftbewegung (Konvektion) entstanden und daher auch als konvektiver Niederschlag bezeichnet
Schnee	-	-	a) Fester fallender Niederschlag in Form einzelner oder zusammenhängender Eiskristalle b) Fester, auf der Erdoberfläche abgelagerter Niederschlag aus zusammenhängenden Eiskristallen, deren Gefüge im Porenraum Luft, Wasserdampf und gelegentlich flüssiges Wasser enthält
Schneebedeckungsgrad	-	1	Schneebedeckter Anteil einer Bezugsfläche ANMERKUNG: Man unterscheidet folgende Schneebedeckungsgrade: - 1,0: geschlossene Schneedecke - unter 1,0 bis 0,5: durchbrochene Schneedecke - unter 0,5 bis 0,1: Schneeflecken - unter 0,1: Schneereste
Schneedecke	-	-	Schnee mit einem Schneebedeckungsgrad von mindestens 0,5
Schneedeckenausfluß (nicht: Schneedeckenabfluß)	Qas	l/s, m ³ /s	a) Vorgang, bei dem Wasser aus der Schneedecke ausfließt b) Volumenstrom des aus einer Schneedecke in flüssiger Form abgegebenen Wassers
Schneedeckenhöhe, Schneehöhe	HS	cm	Lotrechte Höhe des Schnees
Schneedichte	Qs	g/cm ³ kg/m ³	Lagerungsdichte des Schnees
Schneegrenze	-	-	Linie, die Gebiete mit und ohne Schneedecke trennt ANMERKUNG: Die höchstgelegene Schneegrenze innerhalb eines Jahres wird orographische Schneegrenze genannt. Die klimatische Schneegrenze stellt das vieljährige Mittel aller orographischen Schneegrenzen eines Gebiets dar
Schneemetamorphose	-	-	Vorgang der Umwandlung zusammenhängender Eiskristalle in Schnee, gelegentlich auch deren Neubildung
Schneesmelzabfluß	Qs	l/s, m ³ /s	Aus dem Schneedeckenausfluß stammender Teil des Abflusses
Schreibpegel	-	-	Pegel mit Analogaufzeichnung des Wasserstandes durch Trommel- oder Bandschreiber
Schwimmer	-	-	a) Schwimmkörper zur Erfassung des Wasserstandes bei einer Meßeinrichtung mit Schwimmersystem b) frei treibender Schwimmkörper, der in einem Fließgewässer zur Ermittlung der Strömungsrichtung und Fließgeschwindigkeit in der Schwimmbahn dient ANMERKUNG: Durch entsprechende Ausbildung des Schwimmkörpers können mittlere Fließgeschwindigkeit für unterschiedliche Tiefenbereiche ermittelt werden
Sickerwasser	-	-	Unterirdisches Wasser, das sich durch Überwiegen der Schwerkraft im Sickerraum abwärts bewegt
Sickerwassermodell	-	-	Schematische Nachbildung ausgewählter Eigenschaften und Vorgänge im Sickerraum
Sohlengefälle	Iso	m/km, ‰	Neigung der Gewässersohle in Fließrichtung (siehe: DIN 4044)
Sohlengeschwindigkeit	Vs	m/s	Fließgeschwindigkeit in unmittelbarer Nähe der Gewässersohle

Sonnenscheinschreiber, Sonnenscheinautograph	-	-	Meßgerät zur Aufzeichnung der tatsächlichen Sonnenscheindauer eines Tages
Speicherkaskaden	-	-	Modellansatz, mit dem ein hydrologischer Prozeß durch hintereinander liegende fiktive Speicher beschrieben wird ANMERKUNG: Eine lineare Speicherkaskade besteht aus Linearspeichern. Eine Doppelspeicherkaskade besteht aus zwei parallel angeordneten Speicherkaskaden
Sprühregen, Nieselregen	-	-	Flüssiger fallender Niederschlag in Form von Tropfen mit Durchmessern unter etwa 0,5 mm
Stammabfluß, Stammablauf	-	-	Niederschlag, der an Baumstämmen und Pflanzenstengeln abfließend zum Boden gelangt
Starkregen	-	-	Regen, der im Verhältnis zu seiner Dauer eine hohe Niederschlagsintensität hat und daher selten auftritt, z.B. im Mittel höchstens zweimal jährlich
Strahlungsbilanz	-	W/m ² , Ws/m ²	Differenz der Bestrahlungsstärke bzw. Bestrahlung der aus dem oberen Halbraum einfallenden kurzwelligigen und der aus dem unteren Halbraum kommenden langwelligigen Strahlung
Strahlungsbilanzmesser	-	-	Meßgerät zur kontinuierlichen Erfassung der Strahlungsbilanz
tatsächliche Verdunstung (auch: tatsächliche Verdunstungshöhe) (nicht: aktuelle Verdunstung)	hVt	mm	Verdunstungshöhe von Oberflächen bei gegebenen meteorologischen Bedingungen und begrenztem Wassernachschub ANMERKUNG: Man unterscheidet zwischen tatsächlicher (realer) Evaporation, tatsächlicher (realer) Transpiration und tatsächlicher (realer) Evapotranspiration
Tensiometer	-	-	Meßgerät zur Ermittlung der Saugspannung
Totalisator, Niederschlagssammler	-	-	Meßgerät zum Erfassen der Niederschlagshöhe für eine längere Zeitspanne
Translationszeit	Tt	h, min	Zeitspanne, um die in einem bestimmten Abschnitt eines Fließgewässers die Ausflußganglinie gegenüber der zugehörigen formgleichen Zuflußganglinie verschoben ist ANMERKUNG: In hydrologischen Modellen als theoretische Größe verwendet
Transpiration (auch: Transpirationshöhe)	hT	mm	Verdunstungshöhe von Pflanzenoberflächen aufgrund biotischer Prozesse
Überschwemmungsgebiet	-	-	Fläche, die durch Ausufern vom Wasser eingenommen wird ANMERKUNG: Die seitliche Begrenzung des Überschwemmungsgebietes ist abhängig vom Wasserstand. Das Gewässerbett gehört nicht zum Überschwemmungsgebiet
ungesättigte Zone	-	-	Gesteinskörper, der zum Betrachtungszeitpunkt nicht vollständig mit Wasser gefüllt ist ANMERKUNG: Die ungesättigte Zone umfaßt den Sickerraum ohne den geschlossenen Kapillarraum
unterirdisches Wasser	-	-	Wasser in den Hohlräumen der Lithosphäre
Unterschiedshöhe	hU	mm	Differenz aus Niederschlagshöhe und Abflußhöhe; $hU = hN - hA$
Verdunstung	-	-	Vorgang, bei dem Wasser - bei Temperaturen unter dem Siedepunkt - vom flüssigen oder festen Zustand in den gasförmigen (Wasserdampf) übergeht
Verdunstungshöhe	hV	mm	Wasserabgabe durch Verdunstung an einem bestimmten Ort, ausgedrückt als Wasserhöhe über einer horizontalen Fläche in einer Betrachtungszeit-

			spanne
Verdunstungsmesser	-	-	Meßgerät zur Ermittlung der örtlichen potentiellen Verdunstung mit Hilfe von feuchten Probekörpern ANMERKUNG: Nach Art der benutzten Probekörper werden z.B. unterschieden: Atmometer, Evaporimeter mit class-A-pan, Verdunstungskessel
Verlustrate des Niederschlags	fv	mm/min, mm/h	Intensität des Teils des Gebietsrückhaltes, der nach Einsetzen des Direktabflusses wirksam wird
vertikale Geschwindigkeitsfläche	fv	m ² /s	Integral der Fließgeschwindigkeit über die Wassertiefe in einer Meßlotrechten
Vorhersage, Echtzeit-Vorhersage	-	-	Auf der Grundlage von aktuellen Gegebenheiten basierende Vorausschätzung eines hydrologischen Wertes (z.B. Wasserstand) unter Angabe seiner Eintrittszeit ANMERKUNG: Wird die Vorhersage im aktuellen Fall routinemäßig betrieben, spricht man von operationeller Vorhersage
Vorland	-	-	Gelände außerhalb des Gewässerbettes, in der Regel durch Deich, Dünen oder Hochufer begrenzt ANMERKUNG: Im Binnenland: Teil des Überschwemmungsgebietes, der unmittelbar durchflußwirksam ist. Im Küstengebiet: Wasserwärtig durch die Uferlinie bei MW oder MThw begrenzt
Vorratsänderung	hS	mm	Differenz aus Rücklage und Verbrauch als Komponente der Wasserbilanz; hS = hR - hB
Wasserbeschaffenheit (auch: Wasserqualität)	-	-	Durch physikalische, chemische und biologische Kenngrößen sowie beschreibende Begriffe wertneutral angegebene Eigenschaften des Wassers
Wasserbilanz	-	-	Volumenmäßige Erfassung des Wasserkreislaufs in einem Betrachtungsgebiet während einer Betrachtungszeitspanne
Wasserbilanzschreiber	-	-	Meßgerät zur kontinuierlichen Erfassung der klimatischen Wasserbilanz
Wassergüte	-	-	Nach vorgegebenen Kriterien bewertete Wasserbeschaffenheit ANMERKUNG: Solche Kriterien sind z.B.: Schutzziele, Nutzungsansprüche
Wasserinhaltsstoffe	-	-	Bestandteile des Wassers, die im Wasser gelöst und ungelöst organischen und anorganischen Stoffe umfassend
Wasseroberfläche	-	-	Grenzfläche eines Wasserkörpers gegen die Atmosphäre
Wasserspiegel	-	-	Ausgeglichene Wasseroberfläche
Wasserspiegelgefälle	Im	m/km, ‰	Neigung des Wasserspiegels in Hauptfließrichtung (aus: DIN 4044/07.80)
Wasserstand	W	m, cm	Lotrechter Abstand eines Punktes des Wasserspiegels über oder unter einem Bezugshorizont, z.B. durch einen Pegelnullpunkt festgelegt ANMERKUNG: Der Wasserstand von Seen wird auch als Seestand bezeichnet
Wassertiefe	h	m, cm	Lotrechter Abstand eines Punktes des Wasserspiegels vom Gewässerbett oder im Überschwemmungsgebiet von der Geländeoberfläche
Zufluß	Qz	l/s, m ³ /s	Das einem Raum in der Zeiteinheit zufließende Wasservolumen (siehe DIN 4044)
Zusickerung	-	-	Zugang von Wasser durch die Grundwasseroberfläche oder die Grundwassersohle, z.B. zu einem Grundwasserabschnitt
Zwischenabfluß	Qi	l/s, m ³ /s	Teil des Abflusses, der dem Vorfluter als Reaktion auf ein auslösendes Ereignis (Niederschlag oder Schneeschmelze) aus den oberflächennahen Bodenschichten zugeflossen ist ANMERKUNG: Der Zwischenabfluß ist gegenüber dem Oberflächenabfluß zeitlich verzögert

Erklärende Diagramme der DIN 4049 Teil 1 –3

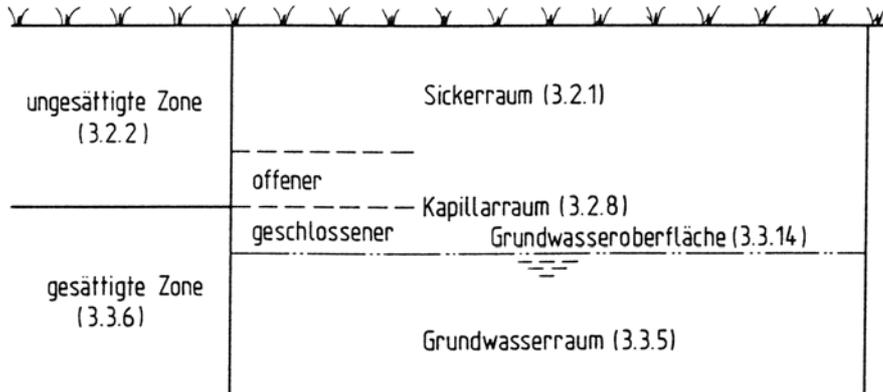


Bild 15: Schematische Einteilung des Gesteinskörpers nach den Erscheinungsformen des unterirdischen Wassers (3.1.1)

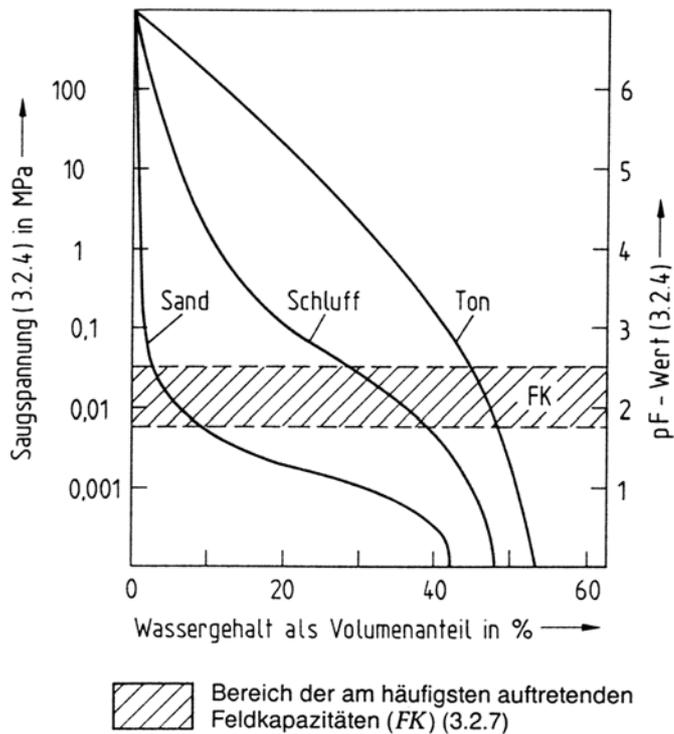


Bild 16: Saugspannungskurven (3.2.5) verschiedener Lockersedimente

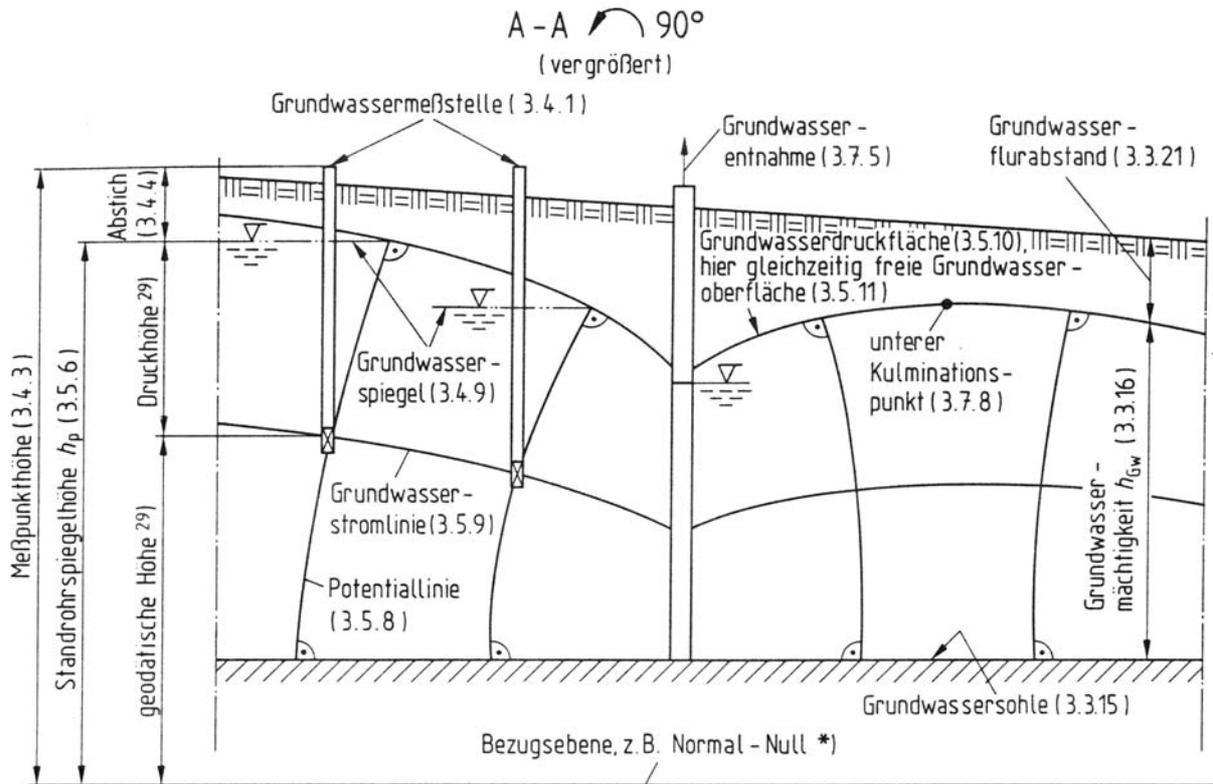
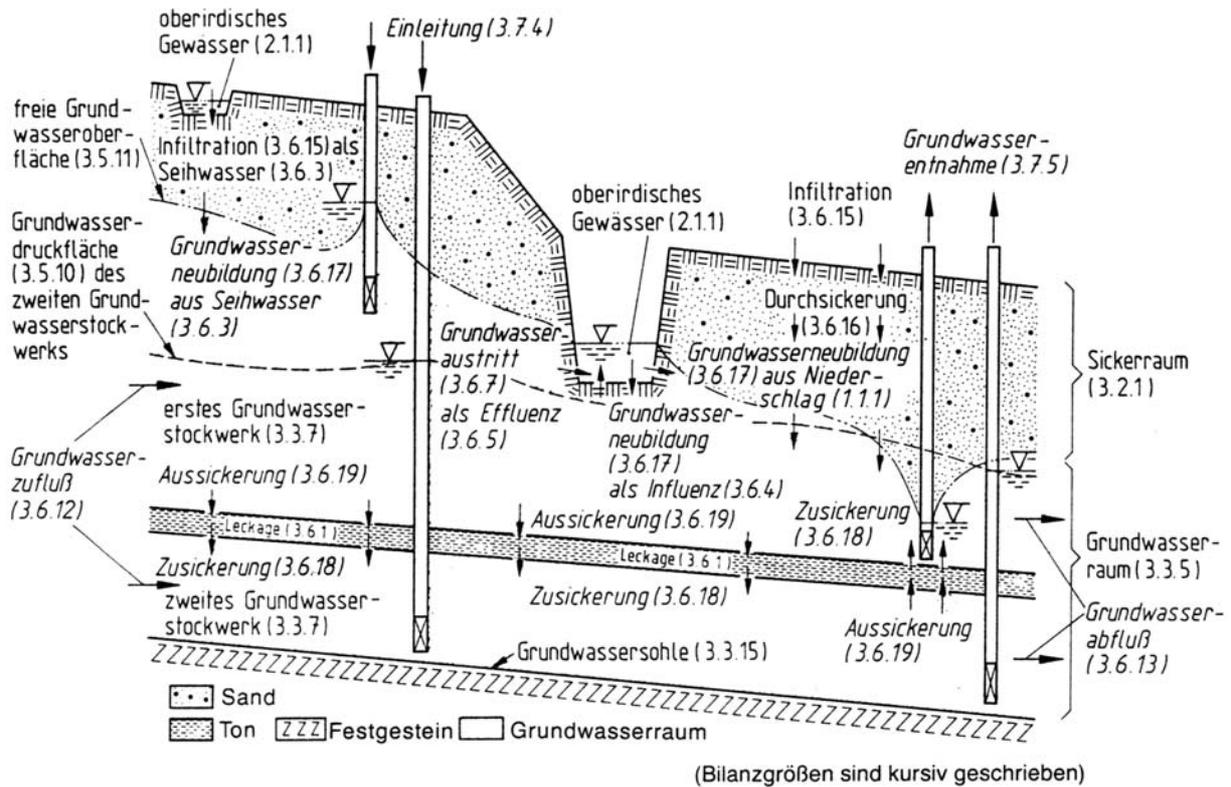


Bild 18: Schematischer Grundwasserlängsschnitt (3.3.17) bei freiem Grundwasser (3.5.1) mit einer Grundwasserentnahme (3.7.5) (Schnitt A—A aus Bild 19)



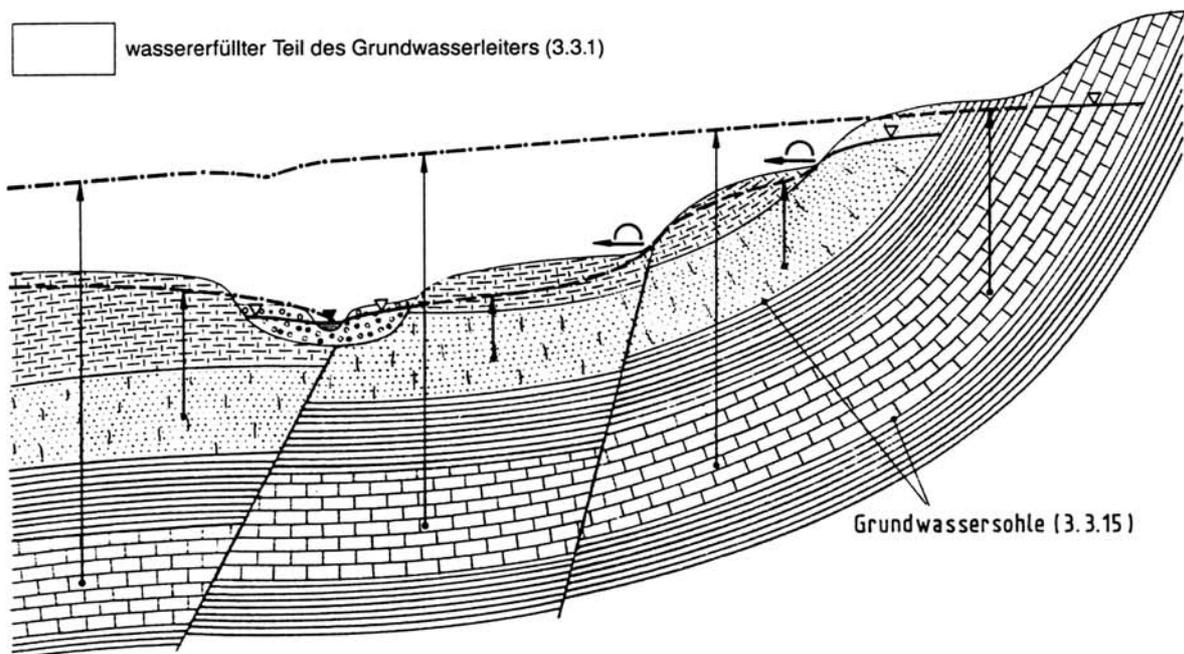
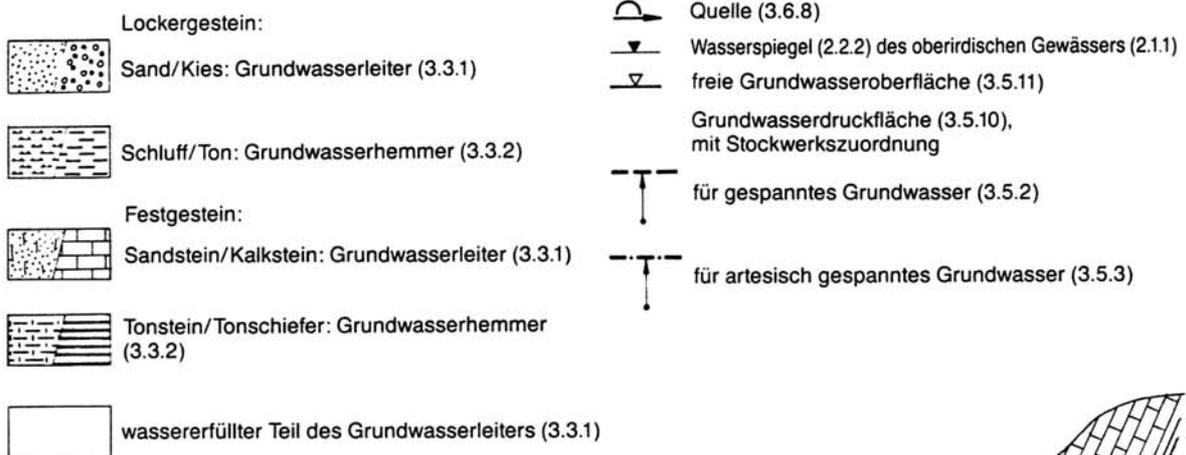
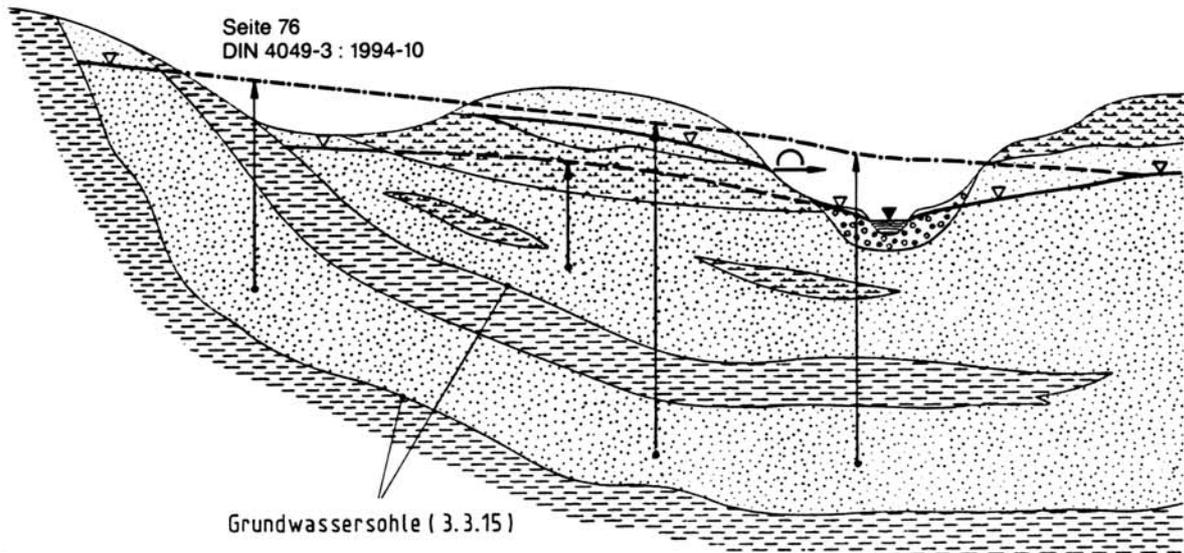


Bild 17: Schematische Schnitte (überhöht) von Grundwasserdruckflächen (3.5.10) im Lockergestein (oben) und im Festgestein (unten)

1.2 Begriffe zur Grundwasserdynamik nach DVWK Merkblatt 206 „Grundwassermodelle“

Grundwasser ist nach DIN 4049 das Wasser, das die Hohlräume des Gesteins zusammenhängend ausfüllt und nur der Schwerkraft und den aus der Bewegung herrührenden Reibungskräften unterliegt. Ein Hohlräume enthaltender - und eine Wasserbewegung oder -speicherung erlaubender - Gesteinskörper wird als Grundwasserleiter (Aquifer) bezeichnet. Mehrere Grundwasserleiter können durch schlechter leitende Schichten getrennt sein. Einer solchen vertikalen Gliederung entsprechen Grundwasserstockwerke. Der hydraulische Kontakt muss dabei nicht fehlen. Unterschiedliche Gesteinskörper bilden mit dem in den Hohlräumen enthaltenen, unterirdischen Wasser den Grundwasserkörper.

Man unterscheidet freies oder **gespanntes Grundwasser**. Im ersten Fall ist die obere Begrenzung des wassererfüllten Bereichs strömungsabhängig, sie stellt sich frei ein. Im zweiten Fall ist sie strömungsunabhängig und wird durch eine unveränderliche feste geometrische Fläche (z. B. Basis einer undurchlässigen Gesteinsschicht) gebildet. Beobachten kann man diese Verhältnisse in einem Bohrloch. In einer Bohrung, die im Grundwasserbereich verfiltert und in der Regel mit einem Standrohr versehen ist, stellt sich ein Wasserspiegel ein, die Standrohrspiegelhöhe bzw. das Grundwasserpotential.

Die Standrohrspiegelhöhe h entspricht dem gewichtsspezifischen Energieinhalt eines Wasserelements (im Filterbereich). Sie wird gebildet durch einen Energieanteil der Lage (z) und einen Energieanteil des Drucks, der durch die auf dem Wasserelement lastende Wassersäule bedingt ist. Der Energieanteil aus der Bewegung des Wassers wird in der Regel wegen der geringen Geschwindigkeit vernachlässigbar sein. Damit wird die Energiehöhe gleich der Standrohrspiegelhöhe.

Die Bewegung des Grundwassers wird durch Potential-(Standrohrspiegelhöhen) unterschieden in einem Grundwassersystem bewirkt. Art und Umfang der Bewegung hängen von den Randbedingungen (Bedingungen am Rande des Systems) und den Systemeigenschaften, der zeitliche Ablauf zusätzlich von den Anfangsbedingungen (zu Beginn der Bewegung herrschenden Bedingungen) ab. Die Verknüpfung erfolgt über ein Fließgesetz und die Kontinuitätsbedingung.

Zur Behandlung von Strömungsprozessen müssen daher die Berandungen des Grundwassersystems festgelegt, die dort herrschenden Bedingungen ermittelt und die Systemeigenschaften bestimmt werden.

Zu den Rändern eines Grundwassersystems gehören nicht nur die seitlichen (geographischen) Grenzen, sondern auch die obere und untere Berandung. Es muss die gesamte, den Grundwasserkörper umschließende Randfläche erfaßt werden. Die auf dieser Berandung herrschenden Randbedingungen, z. B. Standrohrspiegelhöhen oder Wasseraustausch über den Rand bestimmen die Bewegung.

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 18 von 35
-------	---	--	-----------------

Über die seitlichen Ränder des Grundwassersystems strömt Grundwasser aus benachbarten Gebieten zu - **Zustrom** - oder in benachbarte Gebiete ab - **Abstrom** -. Sonderfälle sind Grenzen über die keine Strömung erfolgt: die Grundwasserscheide oder die undurchlässige Barriere.

Über die obere und untere Kante des Grundwassersystems kann ebenfalls Wasser zu- oder aussickern. Am oberen Rand erfolgende Niederschlagszusickerung führt zu Grundwasserneubildung oder Regeneration, entsprechend führen durch natürliche Prozesse bedingte Verluste über den oberen Rand - wie z.B. Verdunstung, Evapotranspiration zur Grundwasserzehrung.

Daneben können weitere Zusickerungen über die obere Berandung aus Vorflutern und Seen, durch künstliche Beregnung und Grundwasseranreicherung (über Schluckbrunnen oder Becken) erfolgen. Ebenso sind weitere Verluste über die obere Berandung durch Grundwasserabfluß über Vorfluter oder in Seen und in Meere, künstliche Dränung, Entnahmen über Brunnen o.ä. möglich.

Wasseraustausch kann auch zwischen verschiedenen Grundwasserstockwerken erfolgen. Sofern nur Teile des gesamten Grundwassersystems, z.B. nur einzelne Stockwerke, betrachtet werden, sind die Grenzen zu darüber oder darunter gelegenen Stockwerken als Ränder anzusehen und die dort herrschenden Bedingungen festzulegen. Zur Abschätzung müssen die Durchlässigkeit und Mächtigkeit der Trennschicht und die Potentialunterschiede zwischen den Stockwerken bekannt sein.

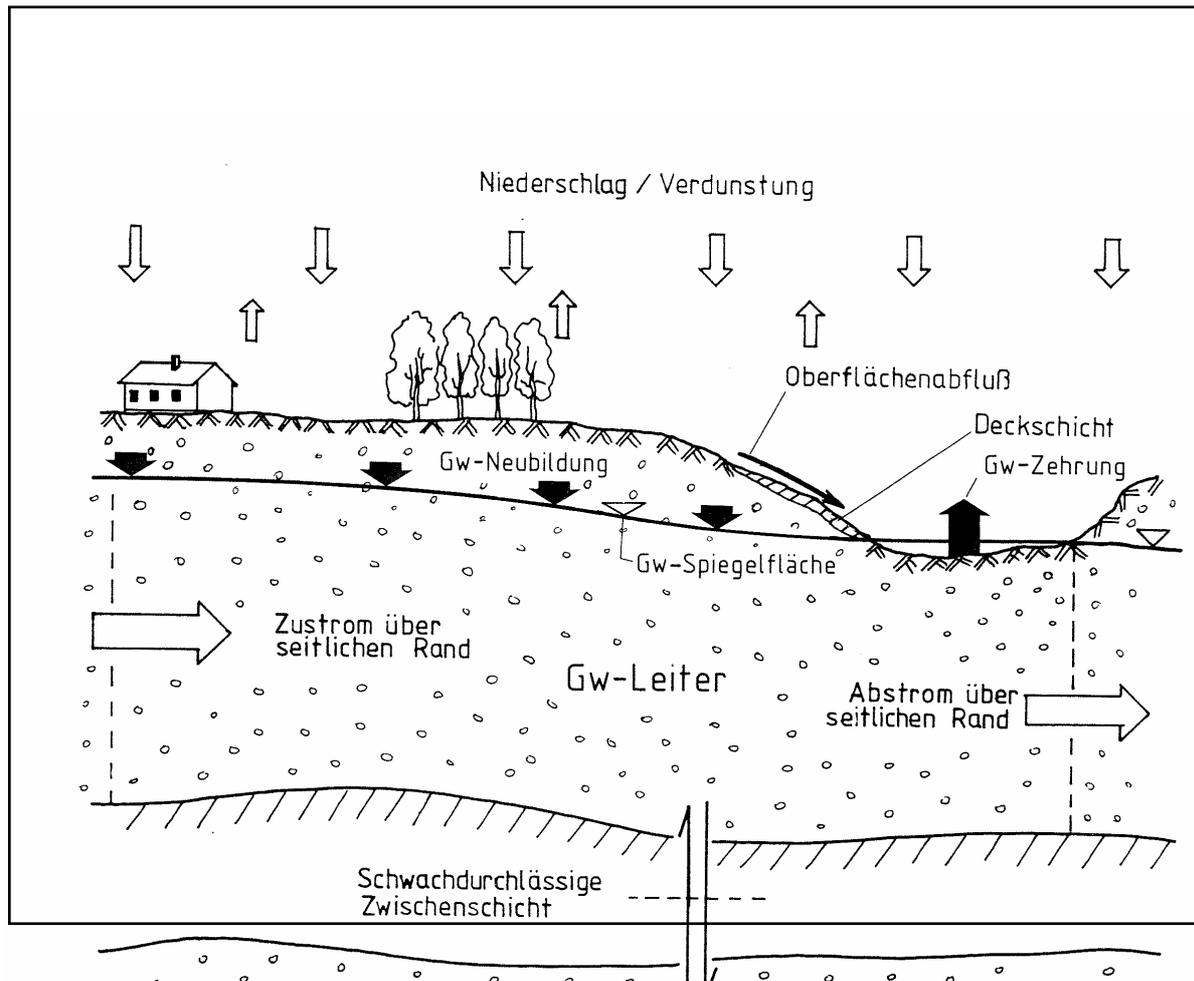
Wenn die Summe von Zu- und Abstrom über alle Ränder des Systems zu jedem Zeitpunkt verschwindet, herrscht ein Gleichgewichtszustand: **stationäre Strömung**. Ist sie nicht gleich Null, ändert sich der Inhalt des Grundwasserreservoirs mit der Zeit: **nichtstationäre Strömung**.

Bei gespannten Verhältnissen beinhaltet der Speicherkoeffizient S nur den Anteil (abhängig von elastischen Eigenschaften des Wassers und des Korngerüsts und von der Porosität). Bei Freispiegelverhältnissen tritt im Bereich der Spiegelschwankungen der nutzbare Hohlraumanteil im Speicherkoeffizienten S hinzu und überwiegt.

Eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst und bestimmt den Aufbau des Grundwassersystems und die Grundwasserdynamik. Die lückenlose Erfassung dieser Einflussfaktoren ist, wie man leicht einsehen kann, unmöglich. Deshalb muss man sich auf einen begrenzten Datenumfang stützen und daraus eine Modellvorstellung entwickeln. Diese kann von einem groben, qualitativen Bild bis zu einer detaillierten, quantifizierten Beschreibung reichen.

2 Wasserbilanz

2.1 Grundwasserhaushaltsgleichung

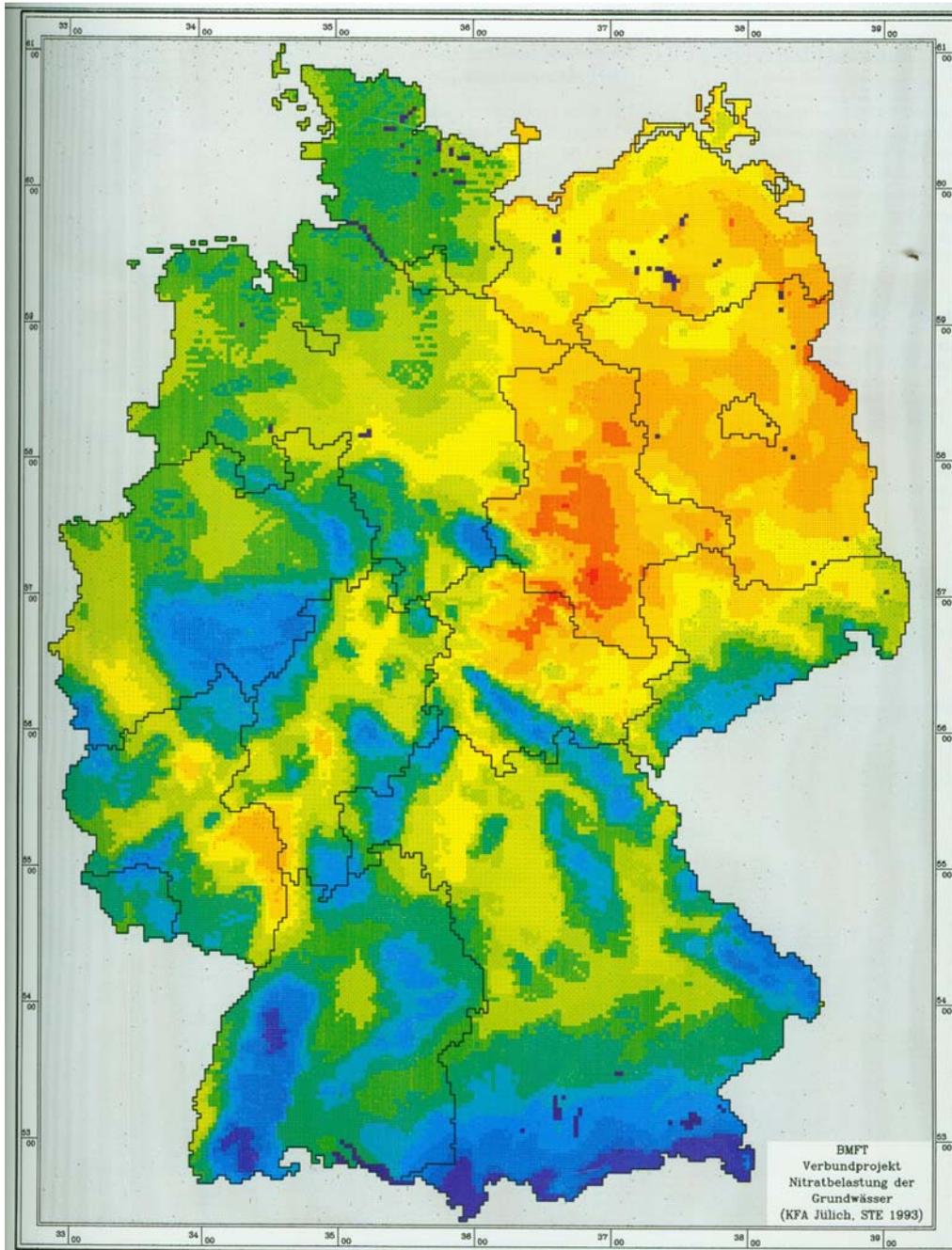


$$N = ET + (A_o + A_u) + (R - B)$$

- N = Niederschlag [mm/a]
 A_o = Oberflächenabfluß [mm/a]
 A_u = unterirdischer Abfluß [mm/a]
 ET = Evapotranspiration [mm/a]
 R = Speicherung [mm/a]
 B = Verbrauch [mm/a]

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 20 von 35
-------	---	--	-----------------

Für langfristige Betrachtungen wird $(R - B) = \Delta R$ konstant. Die Größe der Grundwasservorratsänderung hängt ab vom Speichervolumen des Grundwasserleiters bzw. des betrachteten Grundwasserkörpers, bestimmt durch Speicherkoeffizient bzw. effektive Porosität, vom Grundwasserstand (-spiegel) und der Fläche der entsprechenden Grundwasseroberfläche.



2.2 Grundwasserneubildung

Für weite Teile der alten Bundesländer ergibt sich eine Grundwasserneubildung Q_{GW} von über 150 mm/a. Für NRW kann eine mittlere Q_{GW} von 200 mm/a angenommen werden. In den Landschaften nördlich der Mittelgebirge, z.B. im Norddeutschen Flachland und im Münsterland, umfaßt die berechnete Sickerwasserhöhe in Abhängigkeit von den örtlichen Verhältnissen eine Bandbreite von ca. 150 bis ca. 350 mm/a dies entspricht 150 bis ca. 350 (l/a km²). Die Grundwasserneubildungsspende wird in der Einheit (l/s km²) angegeben.

Obwohl im Lockergesteinsbereich der neuen Bundesländer geologisch und pedologisch ähnliche Bedingungen vorherrschen wie im Norddeutschen Flachland, treten dort in weiten Teilen Sickerwasserhöhen unter 100 mm/a auf. Allgemein wirkt dort das eingeschränkte Niederschlagsangebot limitierend auf die Höhe der Sickerwasserbildung. Ausgedehnte Landschaftsräume, für die diese Bedingungen gelten, liegen in Sachsen-Anhalt und in Brandenburg. Gebiete in den westlichen Bundesländern mit vergleichbaren Bedingungen liegen im nordwestlichen Teil des Oberrheingrabens, im Saar-Nahe-Berg- und -Hügelland, in der Hessischen Senke sowie in Mainfranken.

Weite Bereiche der Gebiete mit geringem Flurabstand, wie z.B. die Marschgebiete an der Nordseeküste, die Moorgebiete oder die Talauen entlang der größeren Flüsse (Elbe, Oder Weser) werden künstlich entwässert, wodurch der größte Teil des versickernden Niederschlagswassers bereits nach einer kurzen vertikalen Passage in Entwässerungsgräben wieder austritt und oberirdisch abfließt.

Ausgesprochen hohe Sickerwasserraten werden nach dem angewendeten Verfahren für Gebiete mit einem weit über dem bundesdeutschen Durchschnitt (ca. 750 mm/a) liegenden Niederschlagsniveau berechnet. Hierbei handelt es sich u.a. um den Alpenraum, den Schwarzwald, den rechtsrheinischen Teil des Schiefergebirges sowie die Kristallingebiete Ostbayerns und des Erzgebirges. In allen diesen Landschaftsräumen kommen jedoch nutzbare Grundwasservorkommen größerer Ausdehnung und Ergiebigkeit nur relativ selten vor. Der Widerspruch zwischen einer hohen Sickerwasserrate einerseits und geringen Ergiebigkeiten andererseits ist darauf zurückzuführen, daß die in diesen Gebieten als grundwasserführende Gesteinseinheiten auftretenden Kluftaquifere aus paläozoischen Schiefen, Kristallingesteinen oder massigen Karbonaten nur ein geringes Wasserspeichervermögen besitzen. Bei diesen Untergrundverhältnissen ist die Wasseraufnahmekapazität des grundwasserführenden Gesteins rasch erschöpft. Nur ein Bruchteil des Sickerwassers wird dann zu echtem Grundwasser (in der Pegel weniger als 10%). Die Differenz zwischen tatsächlicher und berechneter Sickerwasserhöhe kann in den oben aufgeführten Gebieten interpretiert werden als lateraler Wasserabfluss aus dem wasserungesättigten Untergrund (Zwischenabfluß, Interflow).

U III	Insitut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 22 von 35
-------	---	--	-----------------

$$G = Q_{GWA} - Q_{GWZ} + Q_i \pm \Delta R$$

- G = Grundwasserneubildung [mm/a]
- Q_{GWA} = Grundwasserabstrom [mm/a]
- Q_{GWZ} = Grundwasserzustrom [mm/a]
- Q_i = Grundwasserabflusskomponente [mm/a]
- ΔR = Grundwasservorratsänderung

Es wird die Grundwasserneubildungshöhe [mm/a] und -spende [l/(s km²)] angegeben.

Die Bestimmung erfolgt mittels:

- Lysimetermessung
- Bodenwasserhaushalt
- Trockenwetterabflussmessung
- Wasserwerksdaten: $G = Q_{\text{Fördermenge}} / A_{GW}$ [m²] in l/(s km²).

2.3 Verdunstung

Die Verdunstung ist die wichtigste Verlustgröße der Wasserbilanz. Eine überschlägige Bilanzierung des Wasserkreislaufs der Bundesrepublik Deutschland für die Standardperiode 1931-1960 zeigt, daß ca. 50% der durchschnittlichen Jahresniederschlagsmenge von 829 mm in den alten Bundesländern und ca. 75% der durchschnittlichen Jahresniederschlagsmenge von 608 mm/a in den neuen Bundesländern verdunstet. Die Verdunstungsmenge ist in der Vegetationszeit (Mai-Oktober) bedeutend höher als im Winterhalbjahr. Berechnet wird die Verdunstung nach u.g. Gleichung als Jahresdurchschnittswert aus der Differenz zwischen Niederschlag und Gesamtabfluss.

Die Verdunstungskarte zeigt die sich ergebenden Verdunstungshöhen für die Bundesrepublik. Mit geringen Verdunstungshöhen von weniger als 470 mm/a werden Gebiete nachgezeichnet, in denen im langjährigen Mittel ein klimatisches Wasserbilanzdefizit während der Sommermonate auftritt, z.B. im Mainzer Becken oder in größeren Gebieten in den neuen Bundesländern. Verdunstungsraten von 470-540 mm/a sind typisch für den größten Teil der Bundesrepublik. Verdunstungshöhen von über 540 mm/a treten nur auf in Regionen, in denen das jährliche Niederschlagsdargebot 1200 mm/a übersteigt. Neben den Höhenlagen der Mittelgebirge treten diese Verhältnisse nur in den Alpen und im Alpenvorland auf.

Die potentielle **Evapotranspiration** ist definiert als die maximale Verdunstungshöhe, die unter gegebenen Klimabedingungen erzielt wird, unter der Voraussetzung, dass genügend Wasser verfügbar ist.

Nach TURC wird die Evapotranspiration wie nachfolgende beschrieben berechnet. In die Berechnung geht neben der Lufttemperatur auch die Globalstrahlung bzw. die Sonnenscheindauer ein, in Trockengebieten zusätzlich die relative Luftfeuchte.

$$ET_{p_{Turc}} = 0,0031 \cdot C \cdot (R_G + 209) \cdot (T / (T + 15))$$

$$C = C = 1 + ((50 - U) / 70) \text{ bei } U < 50\% \text{ und } C = 1 \text{ bei } U > 50\%$$

$$U = \text{Tagesmittel der Lufttemperatur in } \%$$

$$R_G = \text{Globalstrahlung in } J/cm^2; R_G = R_0 \cdot (0,19 + 0,55 \cdot (S / S_0))$$

$$R_0 = \text{extraterrestrische Strahlung in } J/cm^2$$

$$S = \text{Sonnenscheindauer des Tages in h}$$

$$S_0 = \text{astronomisch mögliche Sonnenscheindauer in h}$$

$$T = \text{Tagesmittel der Lufttemperatur in } ^\circ C$$

2.4 Hydrogeologische Kartenwerke

Die für NRW verfügbaren Kartenwerke sind nachfolgend aufgelistet:

- Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25.000 (GK 25), GD NRW1)
- Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 100.000 (GK 100), GD NRW
- Geologische Übersichtskarte 1 : 200.000 (GÜK 200), GD NRW
- Hydrologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1: 25.000 (HyK 25), LUA NRW2)
- Hydrologische Karte des Rheinisch-Westfälischen Steinkohlenbezirks 1 : 10.000, DMT Essen
- Hydrologische Karte des Ibbenbürener Steinkohlenbezirks 1 : 10.000, DMT Essen
- Hydrogeologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 50.000 (HK 50), GD NRW
- Hydrogeologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 100.000 (HK 100) GD, NRW

- Karte der Verschmutzungsgefährdung der Grundwasservorkommen in Nordrhein-Westfalen 1 : 500.000, GD NRW
- Grundwassergleichen 1 : 50.000, Oktober 1963 (GwK 50/63), Oktober 1973 (GwK 50/73) April 1988 (GwK 50/88), LUA NRW
- Grundwasserstände unter Flur 1 : 50.000, Oktober 1963 (GwFK 50/63), LUA NRW
- Grundwasserstände Venloer Scholle und Rur Scholle 1 : 100.000 (GwK 100 VS, GwK 100 RS), LUA NRW
- Grundwassergleichen 1 : 300.000 (GwK 300), LUA NRW
- Ingenieurgeologische Karte; 1 : 25.000 (IK 25), GD NRW
- Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25.000 (BK 25), GD NRW
- Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1 : 50.000 (BK 50), GD NRW
- Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1 : 100.000 (BK 100), GD NRW
- Karte der mittleren jährlichen Sickerwasserrate aus dem Boden 1 : 50.000 (1 : 5.000), GD NRW

3 Grundwasserdynamik

Die auf ein Wasserelement im Gesteinskörper einwirkenden Kräfte werden im Fließgesetz von DARCY zusammengefasst. Je nach Gesteinskörperbau, Form, Größe und Verteilung der Hohlräume und Umfang der Kräfte ergeben sich unterschiedliche Fließgesetze. Die Kombination von Fließgesetz und Kontinuitätsbewegung führt zur Differentialgleichung der Grundwasserbewegung. Die Vorgehensweise ist für alle Gesteinskörper bzw. Fließgesetze identisch, führt aber zu unterschiedlichen Differentialgleichungen.

Zu den porösen Medien bei Grundwassersystemen zählen Lockergesteine, verfestigte Lockergesteine und poröse Festgesteine mit einer Hohlraumverteilung, die zwar unterschiedlich ausgebildete Poren, aber auf der betrachteten, durchströmten Fläche eine statistische Verteilung aufweist. Für ein Volumenelement mit endlichen Abmessungen ergibt sich danach:

$$Q = v_f \times F = k_f \times \Delta h / \Delta l \times F$$

- Q = Grundwasserdurchfluß durch eine Querschnittsfläche [m³/s]
- F = Durchströmter Querschnitt [m²]
- v_f = Filtergeschwindigkeit [m/s]
- k_f = Durchlässigkeit [m/s]
- h = Standrohrspiegelhöhe, Potential [m]
- l = Koordinate in Fließrichtung [L]
- Δh = Differenz der Standrohrspiegelhöhen über eine Länge [m]
- Δl = Länge des Volumenelements in Fließrichtung [m]

Für dieses Volumenelement muss die Kontinuitätsbedingung (Massenerhaltung) erfüllt sein, d.h., es muss die Summe über alle zu- und abströmenden Massen gleich der Masseninhaltsänderung sein.

In gut durchlässigen Porengrundwasserleitern wie z.B. den Hauptterrassen-Schottern des Rheins werden Abstandsgeschwindigkeiten von ca. 150 - 600 m/a gemessen. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über übliche Abstandsgeschwindigkeiten in Lockergesteins-Grundwasserleitern. Die Abstandsgeschwindigkeit beeinflusst das Ergebnis der Schadstofftransportberechnung in ausschlaggebender Weise. Deshalb ist es angeraten, diesen Parameter im Tracerversuch zu ermitteln. Für Lockergesteins-Grundwasserleiter kann die Abstandsgeschwindigkeit v_a alternativ näherungs-

weise über die Filtergeschwindigkeit v_f , die effektive Porosität n_e und den verwendeten Strömungsgradienten I abgeschätzt werden.

$$v_a = v_f / n_e$$

$$v_f = Q / F_B$$

- v_a = Abstandsgeschwindigkeit [m/s]
 v_f = Filtergeschwindigkeit [m/s]
 n_e = effektive Porosität [1]
 F_B = $2 r \times h$ als Filterfläche des Brunnens

Geographischer Raum	Grundwasserlandschaft	$K [m s^{-1}]$ $m [m]$ $T [m^2 s^{-1}]$	Grundwasserleiter	mögl. Abstandsgeschw. [$m a^{-1}$]
Schleswig-Holstein	norddeutsches Flachland	$10^{-4} - 10^{-5}$ 100 - 200 0,001 - 0,05	pleistoz. Rinnen in Tertiärsanden	50 - 200
Hannover/Norddeutschland	norddeutsches Flachland	$10^{-5} - 10^{-3}$ 100 - 200	pleistozäne Rinnen in Tertiärsanden	50 - 200
Halterm	Münstersches Becken	$10^{-5} - 10^{-3}$	Halterner-Sande	100-500
Rheintal bei Köln	Niederrheinische Bucht	$10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}$ 10 - 25	Rheinterrasse	300-600
Ertfbecken	Niederrheinische Bucht	$10^{-6} - 5 \cdot 10^{-4}$	Tertiär bis Pleistozän Sande, Kiese, Tone	sehr unterschiedlich
Rhein/Neckar	Oberheingraben	$5 \cdot 10^{-4} - 10^{-4}$	Talschotter	150 - 600
Freiburg/Offenburg	Oberheingraben	$10^{-4} - 10^{-3}$ 20 - 100 0,02 - 0,2	Talschotter	150 - 600
Zillertal	Gebiet zw. Alpen und Donau	$10^{-2} - 2 \cdot 10^{-2}$ 10 - 15	Talschotter	300 - >1000
Lechmündung	Gebiet zw. Alpen und Donau	$10^{-2} - 2 \cdot 10^{-2}$ 6 - 10	großflächige Schotter	300 - >1000
Münchener Schotterebene	Gebiet zw. Alpen und Donau	$3 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-2}$ 5 - 50	großflächige Schotter	300 - >1000
München	Gebiet zw. Alpen und Donau	$10^{-6} - 10^{-5}$	Sand Tertiär	50 - 150
Loisachtal n. Garmisch	Deutsche Alpen	$10^{-2} - 2 \cdot 10^{-2}$ 30 - 100 0,03 - 0,08	Talschotter	300 - >1000

4 Überblick über Grundwassermodelle

4.1 Internetadressen Grundwassermodelle

Das sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie bietet innerhalb des Systems "SALFA-WEB" die Nutzung einer Datenbank zur Auswahl von Simulationsmodellen ("DASIMA") an. Die Bereitstellung der Datenbasis und der hierarchischen Suche von Simulationsprogrammen mit dem Programmsystem DASIMA liefert einen Beitrag zur Qualitätssicherung und wird vom LfUG laufend aktualisiert.

<http://www.mines.edu/research/igwmc/zipfiles/>

Es handelt sich um eine Seite der IGWMC (International Ground Water Modeling Center), einer US-Institution, die sich ausschließlich mit Grundwassermodellierung beschäftigt. Unter der angegebenen Adresse findet man Informationen über die nachfolgend genannten Modelle:

BIOSCREEN	BIOCHLOR	BIOPLUM III	FLOWPATH
GEOEAS	GEOPACK	GMS HYDRUS 2D	
INFINITE EXTENT	MICRO-FEM	MODELGIS	
MODFLOWT	NAPL Simulator	NETPATH	
MODFLOW GUI-PIE	MPNE1D MT3DMS	PHREEQC	u. a.

I.d.R. besteht unter den dort angegebenen Links die Möglichkeit zum Herunterladen von Voll- oder Demoversionen.

<http://www.epa.gov/ada/csmos/models/vleach.html>

Eindimensionales Stofftransportmodell VLEACH zur Berechnung der Ausbreitung von organischen Stoffen in der ungesättigten Bodenzone. Das Programm kann von den Seiten der US-EPA kostenfrei heruntergeladen werden.

<http://www.geo.uni-bayreuth.de/bodenphysik/public.html>

1D-Simulationsmodell WHNSIM zur Lösung der Richard's-Gleichung (Strömung und Transport). Das Programm kann von den Seiten der Uni Bayreuth kostenfrei heruntergeladen werden.

<http://www.ussl.ars.usda.gov/models/hydrus2d.HTM>

U.S. Salinity Laboratory, USDA/ARS, Riverside, California

<http://www.epa.gov/ada/csmos.html>

Center for Subsurface Modeling Support (CSMoS)

http://www.scisoftware.com/products/cat_flow_unsaturated/cat_flow_unsaturated.html

Ground Water Flow Models Unsaturated Zone

<http://wwwrcamnl.wr.usgs.gov/uzf/theory.cent.html>

U.S. Geological Survey: Science for the changing world; Unsaturated Flow in a Centrifugal Field

<http://www.epa.gov/ceampubl/przm3.htm>

U.S.EPA, Centre for Exposure Assessment Modeling

<http://www.ce.udel.edu/faculty/cheng/wenet/swmm.html>

Public Domain Softwares and Their Specifications

http://ces.iisc.ernet.in/energy/HC270799/all_models.html

Energy and Wetlands Research Group, Center for Ecological Science, Indian Institute of Science, INDIA List of models

4.2 ASMWIN (Aquifer Simulation Model for Windows)

Das Programm ASMWIN setzt ein vollständiges 2-dimensionales Grundwasserströmungs- und Stofftransportmodell um. ASMWIN ist die weiterentwickelte Version von ASM 5.0, DOS-Programm, Kinzelbach & Rausch. ASMWIN weist eine windows-konforme grafische und interaktive Benutzeroberfläche auf. Der Lösungsalgorithmus basiert auf der Finite-Differenzen-Methode.

Das Programm beinhaltet ein Modul

- zur Parameteridentifikation (inverse Modellierung)
- zur Simulation des Stofftransports mit Random Walk
- zur Simulation des Stofftransports auf der Basis der Konvektions-Dispersions-Gleichung (FD)

und viele andere nützliche Werkzeuge.

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 29 von 35
-------	---	--	-----------------

Die graphische Benutzer-Schnittstelle erlaubt, Modelle mit bis 150×150 Zellen und 1000 Zeitabschnitten zu erzeugen.

Der Anbieter des Programms ist Herr Prof. Wolfgang Kinzelbach ETH Zürich Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft ETH Zürich.

WWW: <http://www.verw.ethz.ch/cgi-win/whoShow.exe/ws7?ID=589&lang=dt>

WWW: http://www.ihw.ethz.ch/software_de.html

4.3 MODFLOW / PMWIN

Der USGS (U.S. Geological Survey) hat seinem Programm, das zur Simulation 3-dimensionaler Strömungs- und Schadstofftransportprozesse dient, den Namen MODFLOW gegeben. MODFLOW besteht aus einem Hauptprogramm und einer Vielzahl von Subroutinen, die als Module dazugeschaltet werden können. Mit Hilfe dieser Module können dann spezifische Strömungs-, Schadstofftransportprozesse sowie Parameteridentifikationsprobleme gelöst werden.

Die wichtigsten Module sind:

Strömungsmodell

Brunnen (WEL1)

Dränagen (DRN1)

Generelle Randbedingungen (GHB1)

Flüsse (RIV1)

Streamflow-Routing (STR1)

Reservoir (RES1)

Grundwasserneubildung (Recharge) (RCH1)

Evapotranspiration (EVT1)

Horizontale Barrieren (HFB1)

Zwischenspeicherung (IBS1)

zeitvariante Wasserspiegel (CHD1)

Rückvernässungsmöglichkeit trocken gefallener Zellen (BCF2)

MODFLOW Löser

Direktes Lösungspaket (DE45)

U III	Institut für Wasser und Umwelt der FH Bochum	Grundwasserhydraulik und -erschließung Dr. Thomas Mathews	Seite 30 von 35
-------	---	--	-----------------

Strongly Implicit Procedure (SIP)

Slice-Successive Overrelaxation approach (SSOR)

Preconditioned Conjugate-Gradient 2 (PCG2)

Transport Modell

Advection (MTADV1)

Dispersion (MTDSP1)

Chemical Reaction (MTRCT1)

Chemical Reaction (MTRCT2)

Daneben existieren auch Module die unabhängig von Modflow als gesondertes Programm ausführbar sind. Dazu gehören:

PEST (Parameteridentifikation)

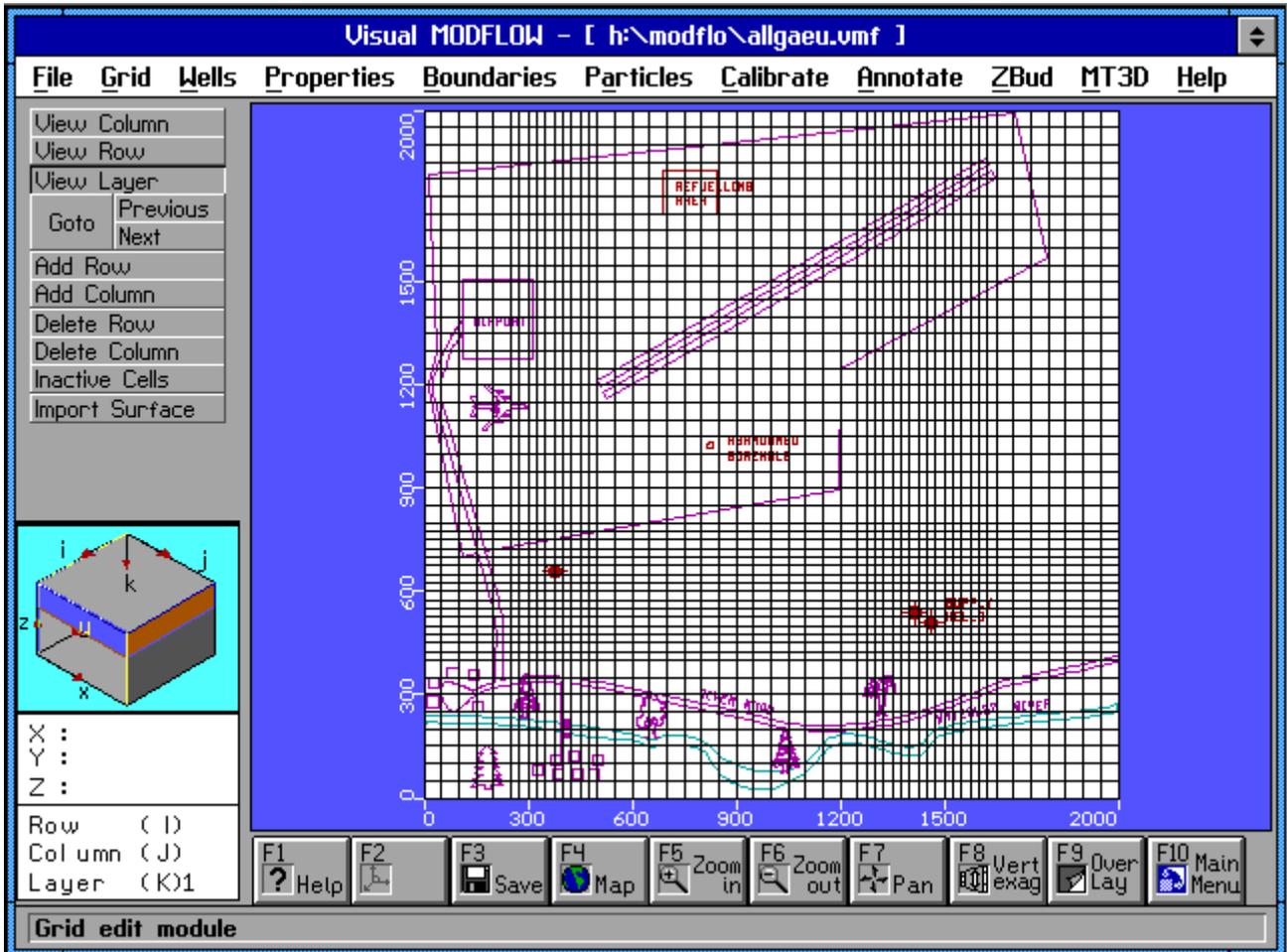
PMPATH (Stromlinienkonstruktion)

MT3D (Schadstofftransport)

Da MODFLOW nicht mit einer grafischen Benutzeroberfläche geliefert wird, muss diese gesondert erworben werden. Die Benutzeroberflächen sind kostenpflichtig und können über verschiedene kommerzielle Anbieter (zusammen mit dem MODFLOW source code) erworben werden.

Die wichtigsten sind:

- GMS (Groundwater Modeling System)
- ModIME
- ARGUS ONE (nur Pre- und Postprocessing)
- Visual Modflow
- PMWIN (Processing Modflow für Windows)
- Groundwater Vistas



4.4 FE-FLOW

Für die Analyse und Prognose von Grundwasserströmungs- und Stofftransportprozessen sind in vielen Anwendungsbereichen mathematisch numerische Modelle unverzichtbar.

Integrale Bausteine des Systems sind die interaktive Graphik, GIS-Schnittstelle, Datenregionalisierung, Visualisierungsverfahren und eine leistungsfähige Numerik. Sie gewährleisten eine effiziente interaktive Modellgenerierung, -berechnung und -auswertung innerhalb einer Serie von Simulationsläufen, z.B. bei Szenarioanalysen.

FEFLOW ist ein Finite Element subsurface FLOW system.

Die Haupteigenschaften sind:

- Die Komplexität des Problementwurfs, des Problemgenerierungs- und des Lösungsprozesses bleibt vollkommen im Hintergrund.
- Das System funktioniert selbsterklärend.
- Der Anwender wird ausschließlich über graphisch orientierte Schnittstellen (64K) geführt.
- Das System ist auf eine hierarchische Struktur aufgebaut.
- Es besteht eine Modularität und eine offene Systemarchitektur.

Die wesentlichen Softwaremerkmale sind:

- FEFLOW läuft auf Rechnern der UNIX-Architektur und Windows NT/95/98 PC's (INTEL) und ist in der Programmiersprache C (ANSI) programmiert.
- Es enthält ca. 850.000 Code-Zeilen.
- FEFLOW läuft unter X-Windows (ab v. 11.4) und OSF/Motif (ab v. 1.2).

5 Aufgaben

Aufgabe 1)

- Konstruieren Sie ein morphologisches Profil mit Angabe der Maßstäbe in Länge und Höhe aus den Blättern Essen, Brackwede, Wuppertal-Barmen oder Blankenheim. Wählen Sie den Maßstab der Höhe so, dass das Relief gut sichtbar wird.
- Konstruieren Sie einen Grundwassergleichenplan und an den zwei Fallbeispielen die Grundwasserfließrichtungen (Blatt Bocholt).
- Wie groß ist das Grundwassergefälle ($\Delta h/s$) an zwei Meßpunkten in den Fallbeispielen?
- Geben Sie die Durchmesser der Absenkungstrichter an.

Aufgabe 2)

- Von welchen Kräften wird die Grundwasserströmung (Filtergeschwindigkeit) in erster Linie beeinflusst?
- Wie lautet die Bewegungsgleichung für die Filtergeschwindigkeit?

Aufgabe 3)

Skizzieren Sie den technischen Ausbau für einen vollkommenen und einen unvollkommenen Beobachtungsbrunnen. Wie wird der Grundwasserstand (Handmessung und automatische Registrierung) gemessen und welche Informationen benötigen Sie für eine fachgerechte Interpretation der erhobenen Messdaten zur Grundwasserfließrichtung?

Aufgabe 4)

Zeichnen Sie effluente und influente Verhältnisse. Wie wird der Austausch zwischen Aquifer und Vorfluter pro Bezugsfläche formell beschrieben? Was besagt der Leakage-Faktor?

Aufgabe 5)

Konstruieren Sie einen gespannten und einen ungespannten Grundwasserleiter anhand einer Prinzipskizze und den dazugehörigen Standrohrspiegelhöhen.

Aufgabe 6)

- a) Berechnen Sie die Wassermenge Q (m^3/s), die durch einen Grundwasserkörper fließt, mit einer Kantenlänge 100 m unter Verwendung folgender Angaben: hydraulische Leitfähigkeit von Sand: $k_f = 1,0\text{E-}04$ m/s, $i = 0,001$, Mächtigkeit des wassergesättigten Grundwasserleiters = 5 m (konstant).
- b) Welcher Beitrag der Grundwasserneubildung kommt zum unterirdischen Grundwasserabstrom hinzu, wenn der Mittelwert von NRW von 200 mm/a verwendet wird.
- c) Welche Evapotranspiration ist für das Untersuchungsgebiet zu erwarten?