

# GEOZENTRUM HANNOVER



## Allgemeine Hydrogeologie und Grundwasserbewirtschaftung

PD Dr. C. Neukum

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)  
Referat L3.2 „Grundwasser- und Abfallwirtschaft, Altlasten“



# Inhalt und Gliederung

- Aufgaben des GLD
  - Dienststellen des GLD
  - Umfang der Beratung durch den GLD
- Allgemeine Hydrogeologie
  - Wasserkreislauf
  - Bodenwasser
  - Grundwasserneubildung
  - Grundwasser
  - Wasserströmung im Untergrund
  - Einzugsgebiet & Absenkung
  - Beweissicherung / Monitoring
- Grundwasserbewirtschaftung
  - Allgemeine Grundlagen
  - Bewirtschaftungsziele
  - Abschätzung des Grundwasserdargebots



# Aufgaben des Gewässerkundlichen Landesdienstes (GLD)

## → GLD-Erlass

- Dienststellen des GLD
  - Dienststellen des GLD sind der NLWKN und das LBEG.
- Umfang der **Beratung** durch den GLD
  - Der GLD soll **allen Stellen des Landes** und den der Aufsicht des Landes unterstehenden Körperschaften **quantitative und qualitative Daten** über die **Gewässer** nutzbar machen.
  - Er **bewertet die Vorhaben** hinsichtlich ihrer Vereinbarkeit mit den **wasserwirtschaftlichen Zielen** [...] und kommt der **Beratungspflicht** im Rahmen der Beteiligung bei zu erwartenden **wesentlichen Auswirkungen** auf den **Wasserhaushalt** vorrangig durch die Bereitstellung von aufbereiteten Daten nach.
  - [...]
  - Es ist nicht Aufgabe des GLD, Einzellösungen auszuarbeiten oder vorzuschlagen.
  - Er hat im Interesse eines hydrologischen Gesamtbildes entsprechende hydrologische **Mengen- und Gütedaten des Gewässers** zu benennen oder zu empfehlen [...].



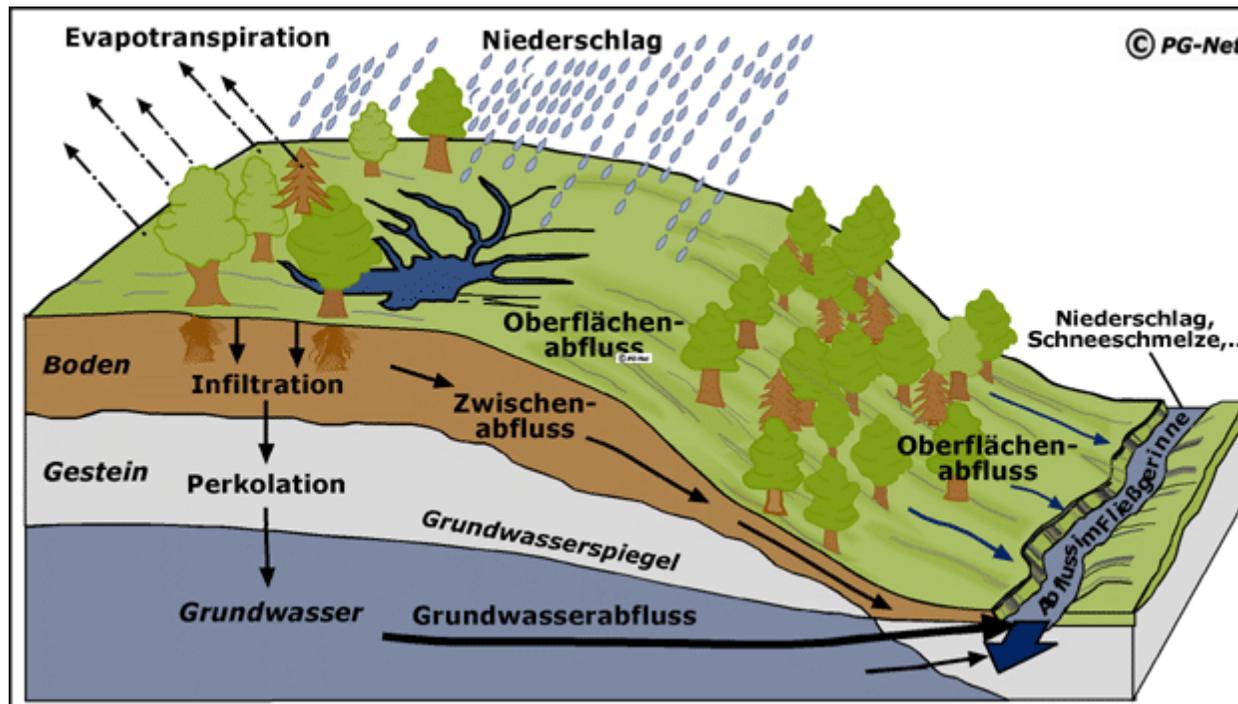
# Aufgaben des Gewässerkundlichen Landesdienstes (GLD)

## → GLD-Erlass

- Umfang der **Beteiligung** des GLD
  - Planung, Entscheidung und Maßnahmen im Zusammenhang mit
    - Der **Benutzung von Gewässern**,
    - der Herstellung oder der wesentlichen Änderung von baulichen Anlagen, Aufschüttungen oder Abgrabungen in und an oberirdischen Gewässern [...] oder in deren Überschwemmungsgebieten [...] oder in Vorranggebieten für den Hochwasserschutz [...] oder in oder an Küstengewässern [...] bei möglichen wesentlichen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt,
    - der Beurteilung und Sanierung von Grundwasserverunreinigungen in Fällen von übergeordneter Bedeutung [...],
    - Betriebsplanverfahren nach dem BBergG mit möglichen wesentlichen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt,
    - der Festlegung von Anzahl und Lage von erforderlichen Vorfeldmessstellen sowie mit der Bestimmung von Art und Umfang der Messungen [...],
    - der Überwachung und Genehmigung von Abfallentsorgungsanlagen,
    - sonstigen Vorhaben, für die eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt wird, soweit wesentliche Auswirkungen auf den Wasserhaushalt möglich sind,
    - der Aufstellung von Bewirtschaftungsplänen und Bestandsaufnahmen, Monitoring- und Maßnahmenprogrammen, die [...] zum wasserrechtlichen Ordnungsrahmen aufgestellt werden.



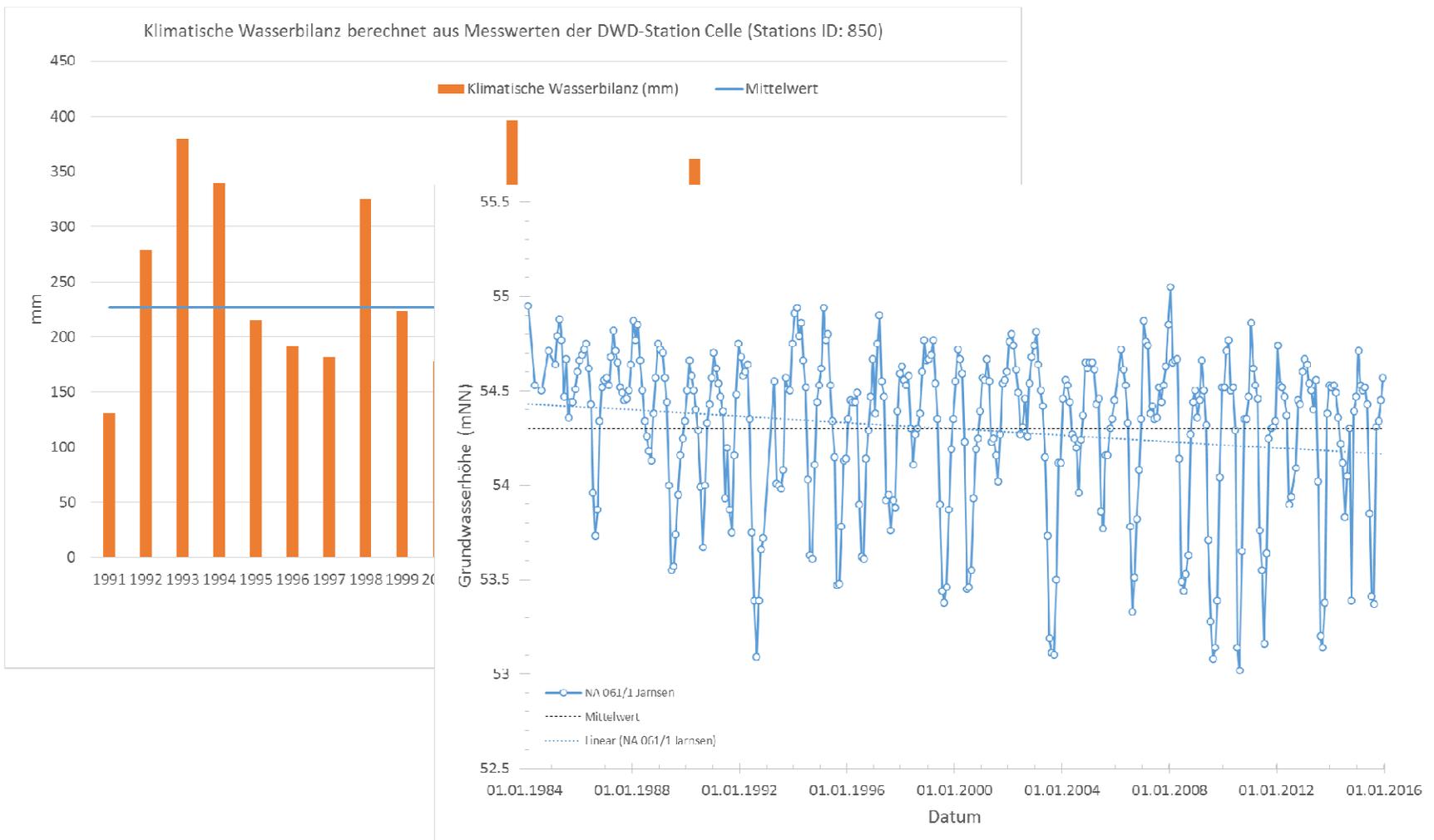
# Wasserkreislauf



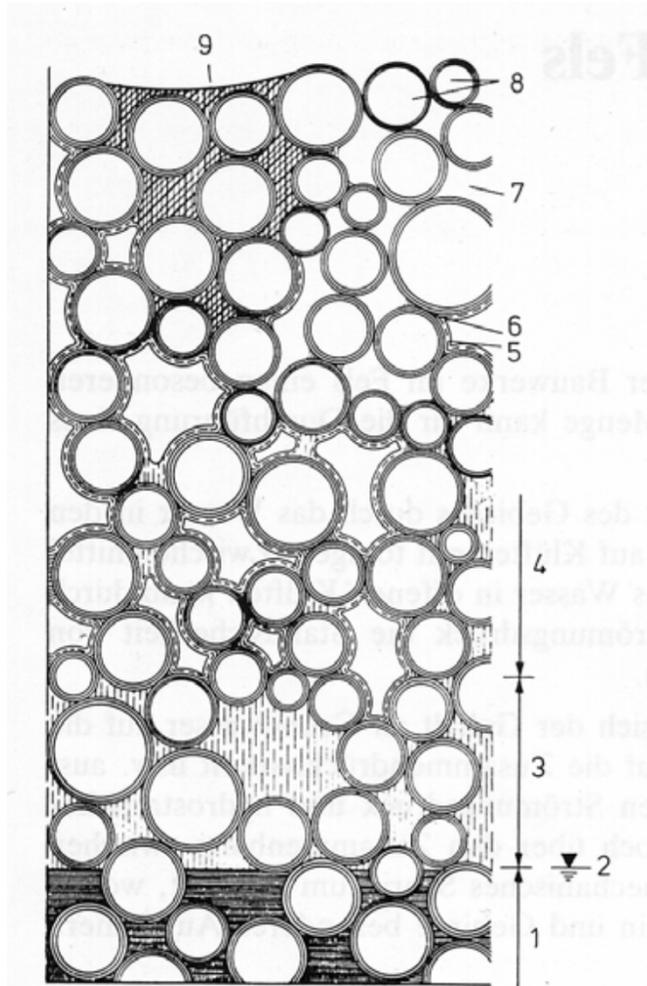
[http://www.geo.fu-berlin.de/v/pg-net/hydrogeographie/medien\\_hydrogeographie/medien\\_hg\\_wasserkreislauf/wasserkreislauf\\_lokal\\_626.gif](http://www.geo.fu-berlin.de/v/pg-net/hydrogeographie/medien_hydrogeographie/medien_hg_wasserkreislauf/wasserkreislauf_lokal_626.gif)



# Wasserkreislauf



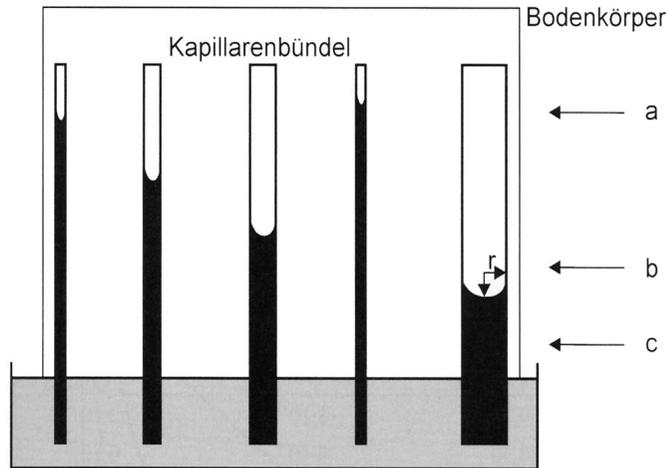
# Bodenwasser



Quelle: Zunker (1930)

- 1 Grundwasser
- 2 Grundwasserspiegel
- 3 geschlossenes Kapillarwasser
- 4 offenes Kapillarwasser
- 5 Haftwasser
- 6 Porenwinkelwasser
- 7 Gas (Grundluft mit Wasserdampf)
- 8 Mineralkorn mit adsorbiertem Wasser
- 9 Sickerwasser

# Bodenwasser



Quelle: Mull & Holländer (2002)

$$\text{Aufstiegshöhe} = f(1/r)$$

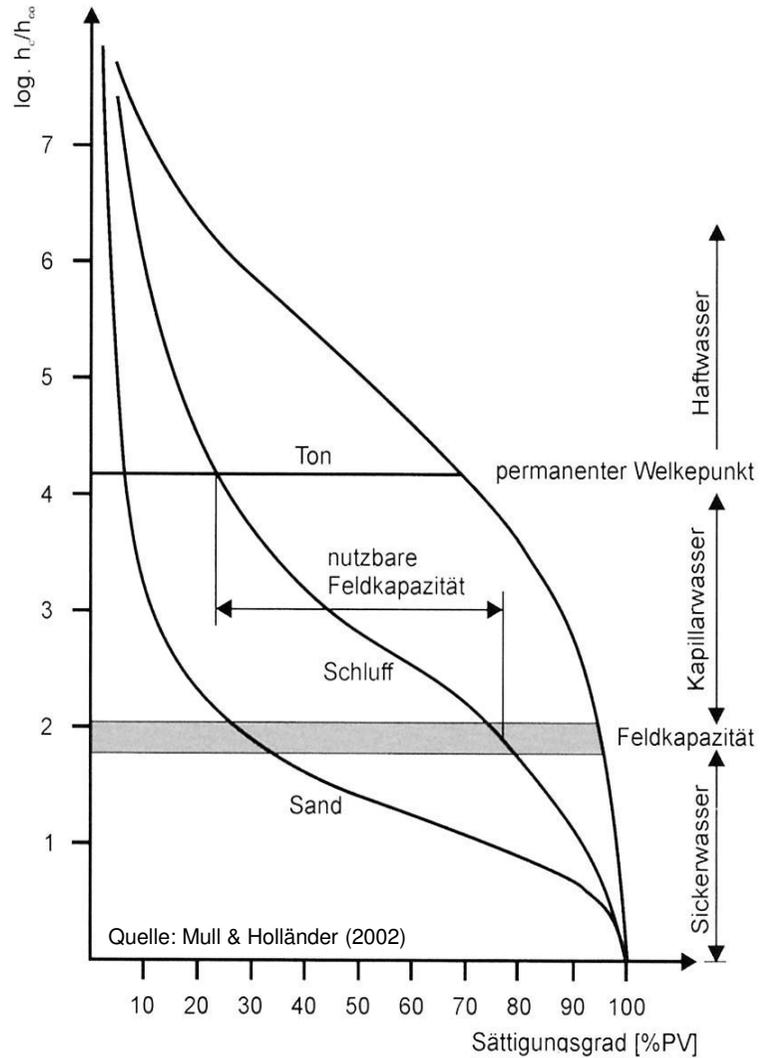
$$h_c = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}{\rho \cdot g \cdot r}$$

- $\rho$  = Dichte Fluid [M/L<sup>3</sup>]
- $g$  = Erdbeschleunigung [L/T<sup>2</sup>]
- $r$  = Radius Kapillare [L]
- $h_c$  = kapillare Aufstiegshöhe [L]
- $\sigma$  = Oberflächenspannung [M/T<sup>2</sup>]
- $\theta$  = Kontaktwinkel ( $\cos 0 = 1$ )

	Grobporen	Mittelporen	Feinporen
Porengröße	> 50 – 10 $\mu\text{m}$	10 – 0,2 $\mu\text{m}$	< 0,2 $\mu\text{m}$
Wasserbewegung	beweglich	pflanzenverfügbar	nicht pflanzenverfügbar



# Bodenwasser – Hydraulik ungesättigte Zone

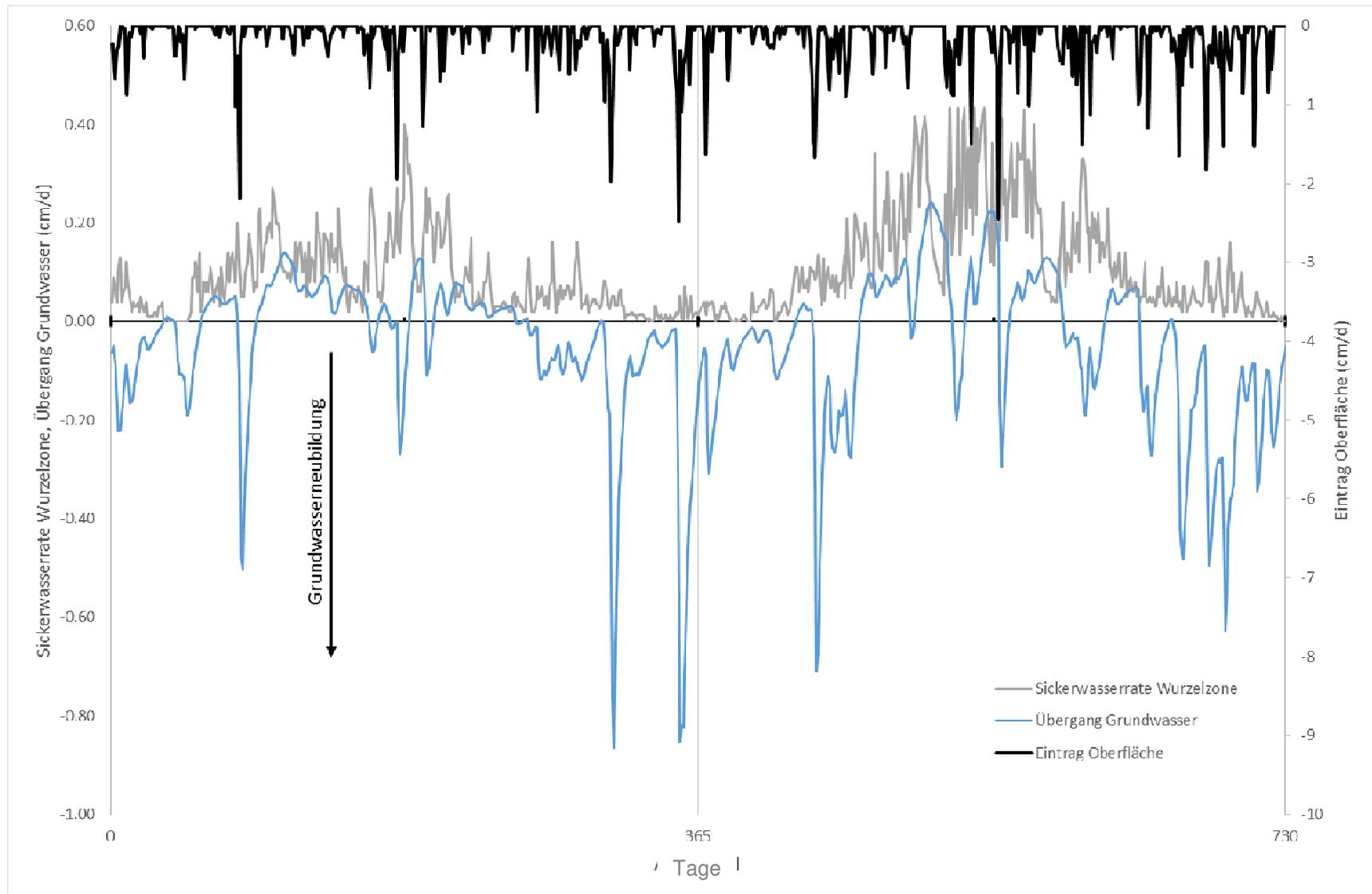


## Richards-Gleichung

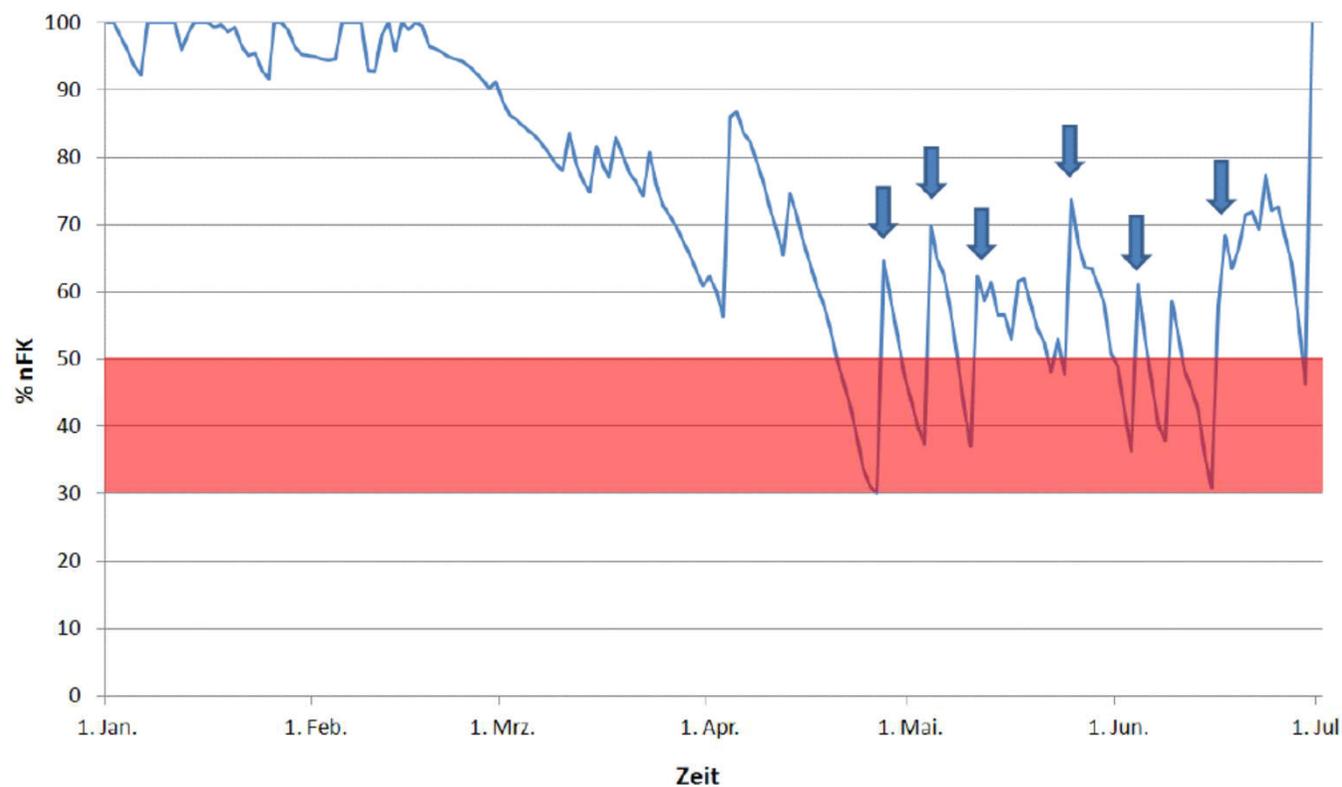
$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left[ k(\psi_m) \cdot \left( \frac{\partial \psi_m}{\partial z} - 1 \right) \right]$$



# Bodenwasser – Hydraulik ungesättigte Zone



# Bodenwasser und Feldberegnung

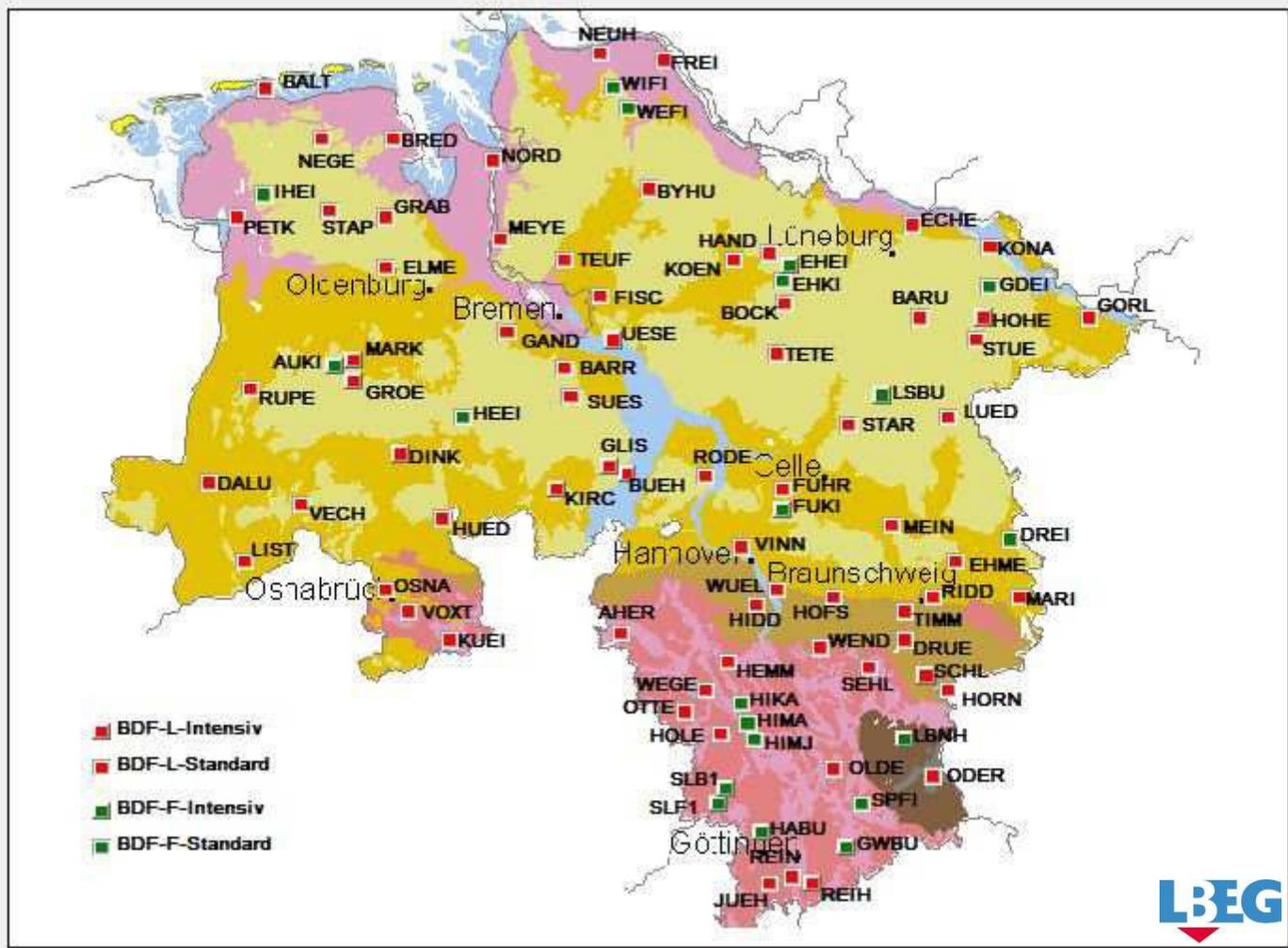


Quelle: LBEG, Geoberichte 20: Klimawandel und Bodenwasserhaushalt;  
[http://www.lbeg.niedersachsen.de/startseite/karten\\_daten\\_publicationen/publikationen/geoberichte/geoberichte\\_20/geoberichte-20-105002.html](http://www.lbeg.niedersachsen.de/startseite/karten_daten_publicationen/publikationen/geoberichte/geoberichte_20/geoberichte-20-105002.html)

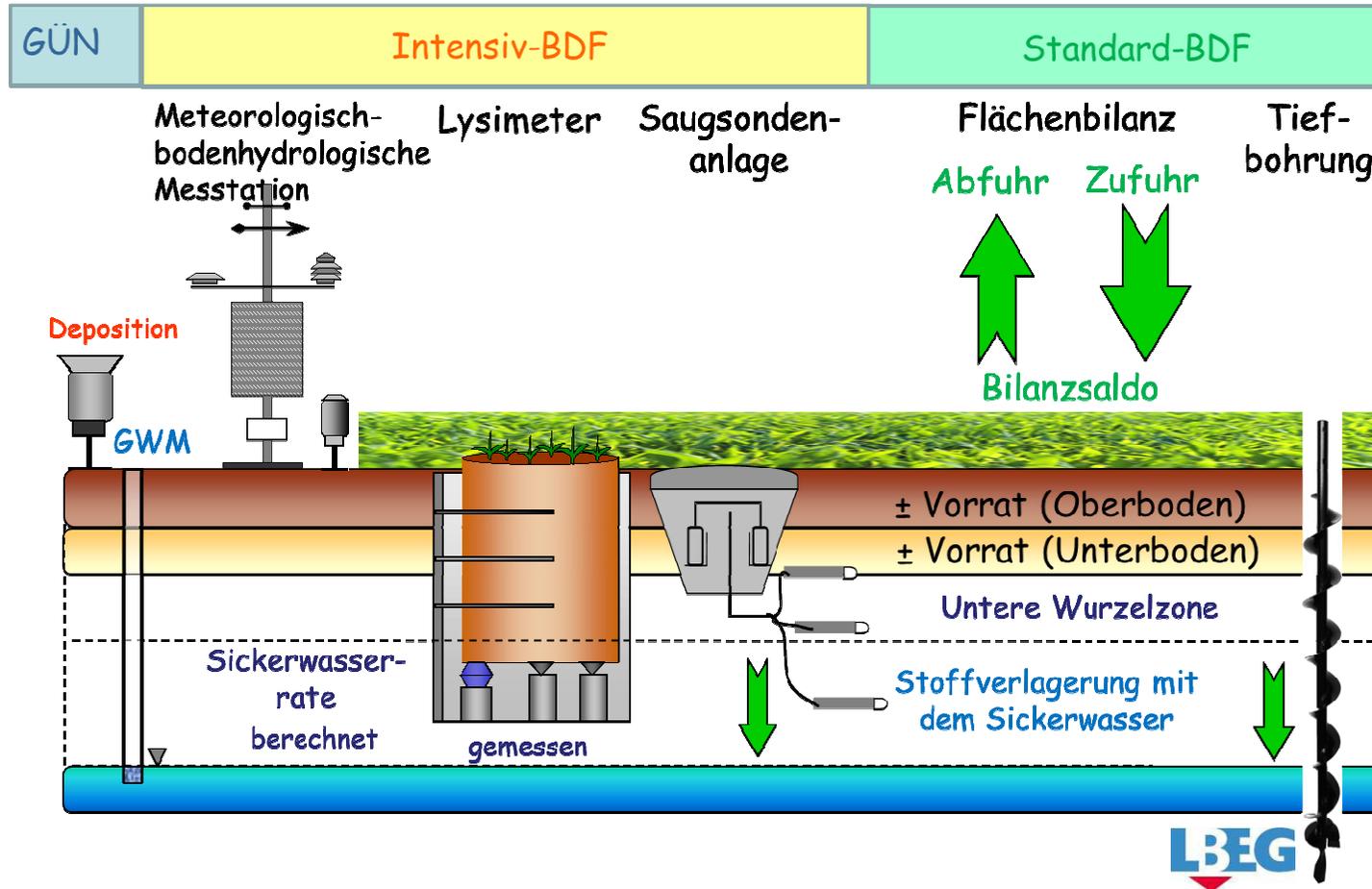


# Bodenwasser – messtechnische Erfassung

Lage der Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Niedersachsen

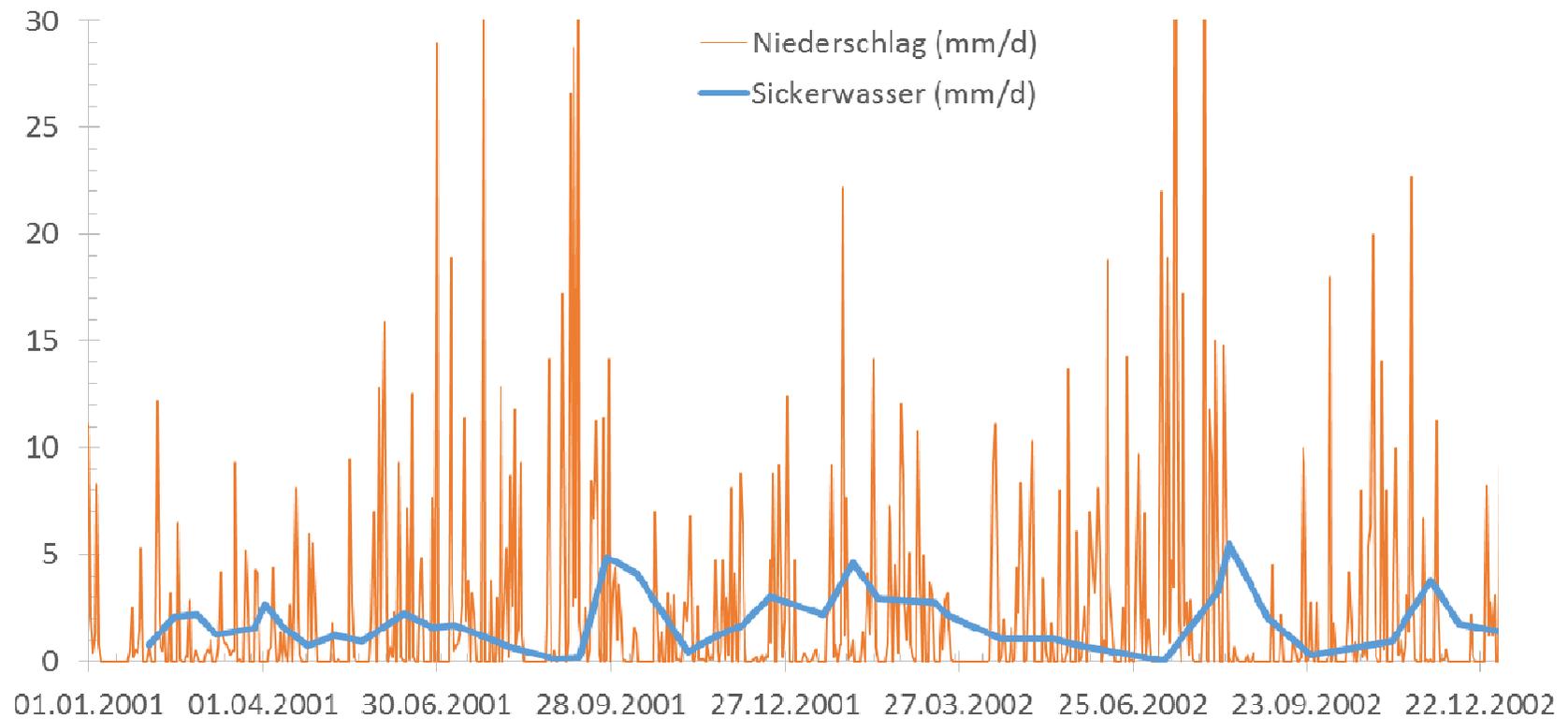


# Bodenwasser – messtechnische Erfassung



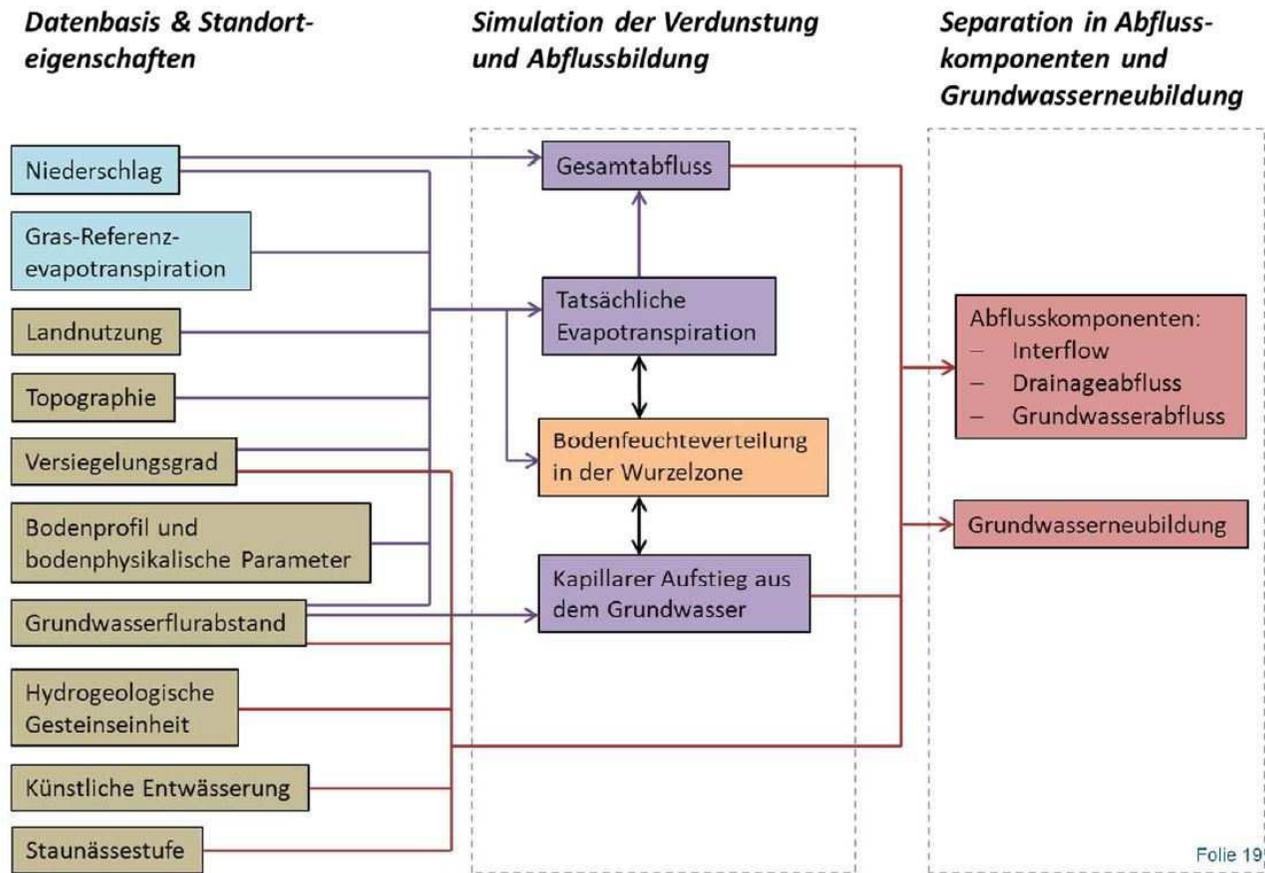
# Bodenwasser – messtechnische Erfassung

Feldlysimeter Hohenzethen



# Grundwasserneubildung

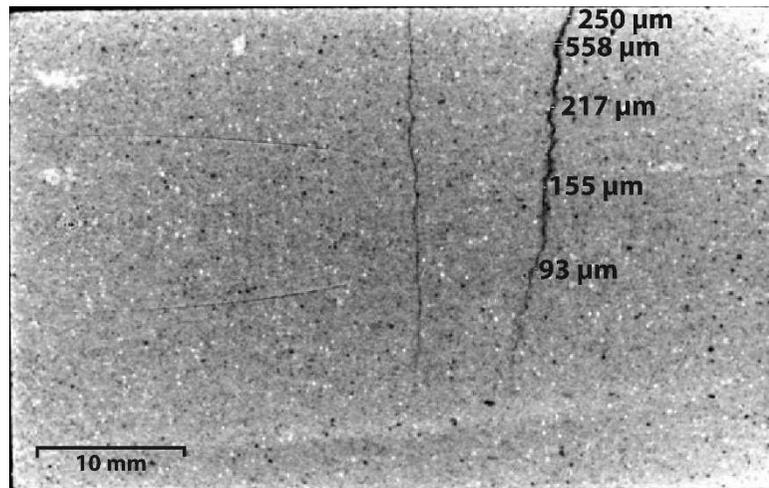
Grundwasserneubildung ist der Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser (DIN 4049-3)



[http://www.bwk-niedersachsen.de/fileadmin/Dokumente/Veranstaltungen/Seminare/2013\\_Hannover/3\\_Herrmann\\_mGROWA\\_Teil\\_2.pdf](http://www.bwk-niedersachsen.de/fileadmin/Dokumente/Veranstaltungen/Seminare/2013_Hannover/3_Herrmann_mGROWA_Teil_2.pdf)



# Porenraum Grundwasserleiter



Quelle: Neukum 2013

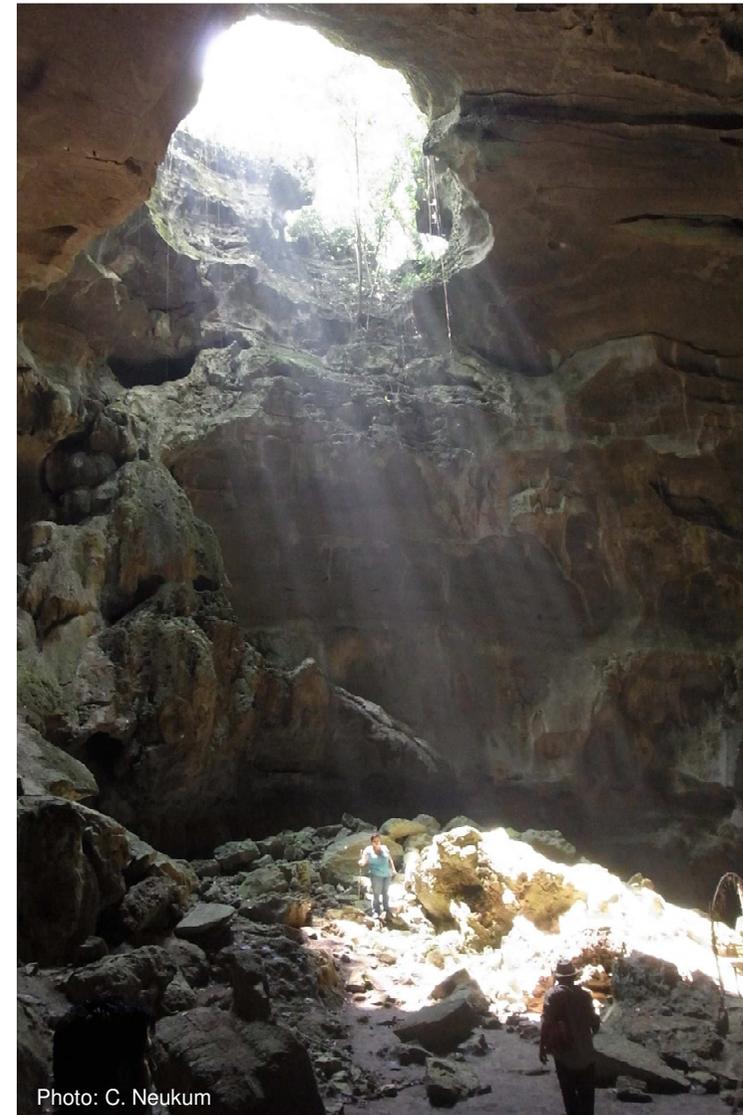


Photo: C. Neukum

# Genese Grundwasserleiter

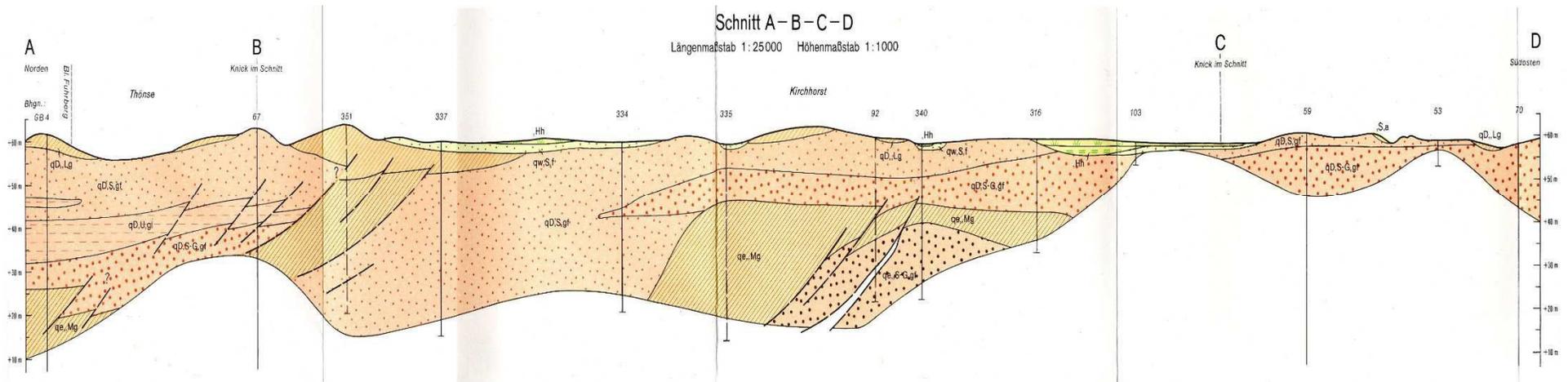


Quelle: [http://dellabella.ch/wp-content/uploads/2012/10/dellabella\\_gletscher\\_08.jpg](http://dellabella.ch/wp-content/uploads/2012/10/dellabella_gletscher_08.jpg)



# Grundwasser

Unterirdisches Wasser [...], das Hohlräume der Lithosphäre zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegungsmöglichkeit ausschließlich durch die Schwerkraft bestimmt wird (DIN 4049-3)

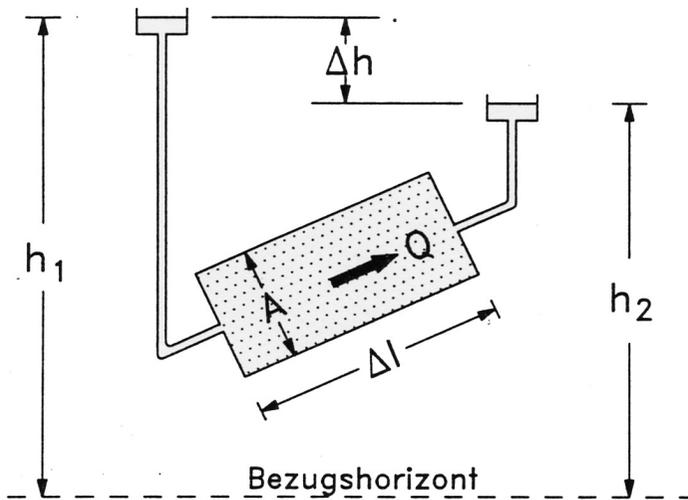


Quelle: NIBIS Kartenserver

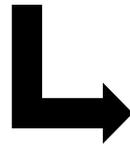


# Grundwasser - Hydraulik

## Hydraulische Durchlässigkeit



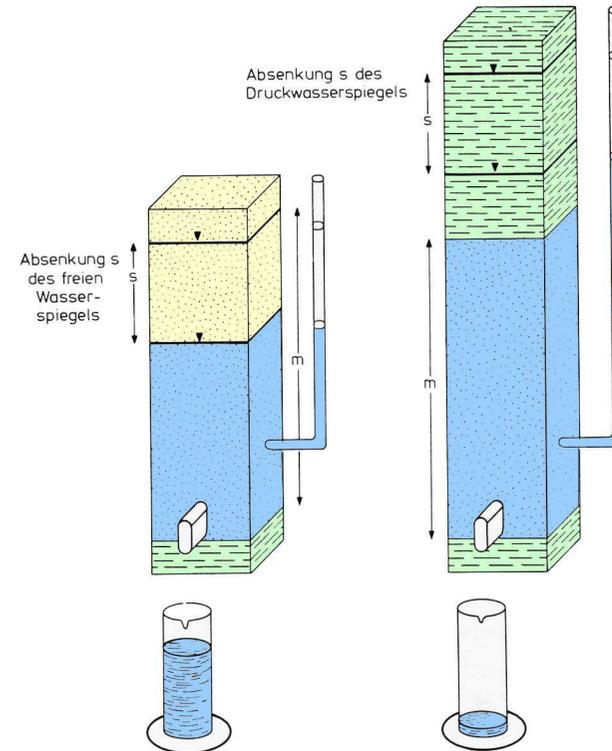
$$Q = A \cdot k_f \cdot \frac{(h_1 - h_2)}{\Delta l} = A \cdot k_f \cdot l_0$$



$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$$



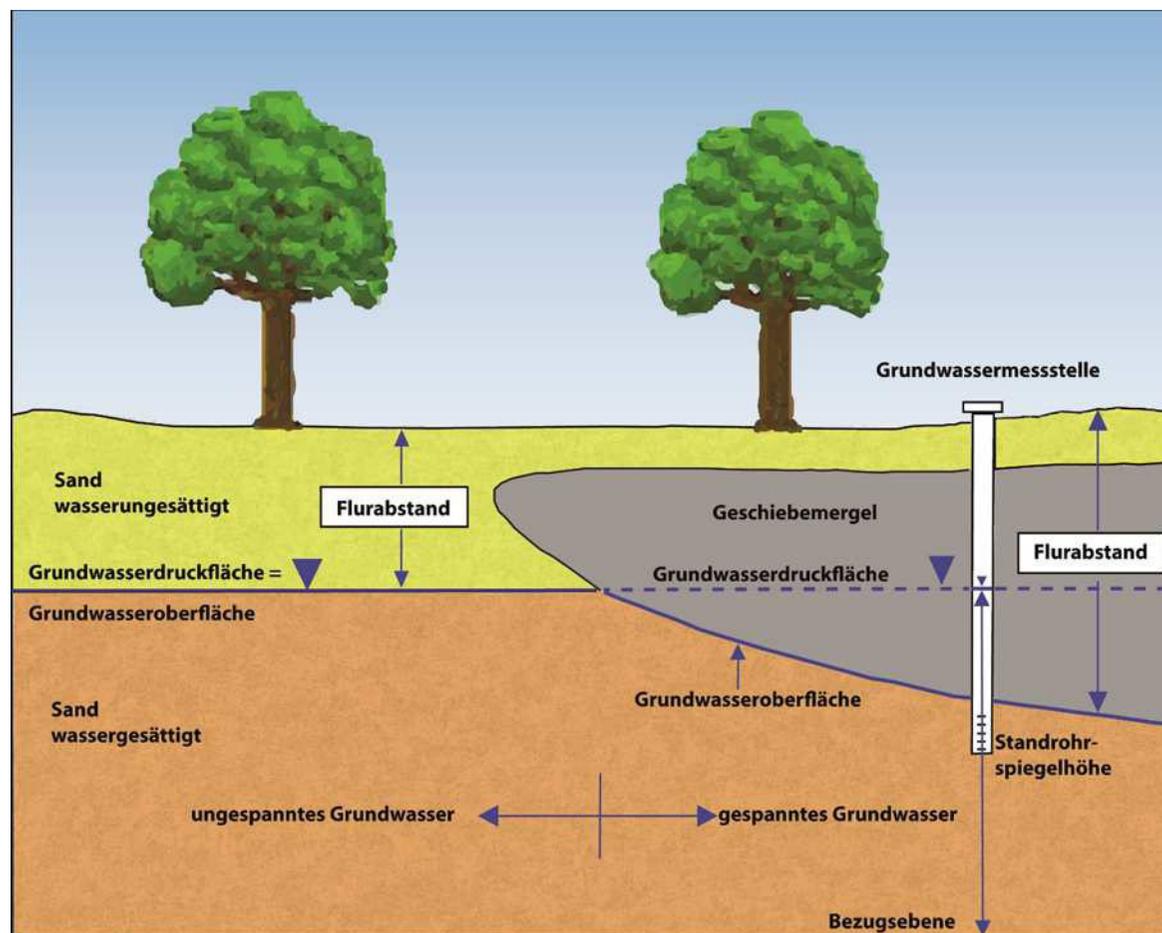
## Speicherkoefizient



Quelle: Langguth & Voigt 1980



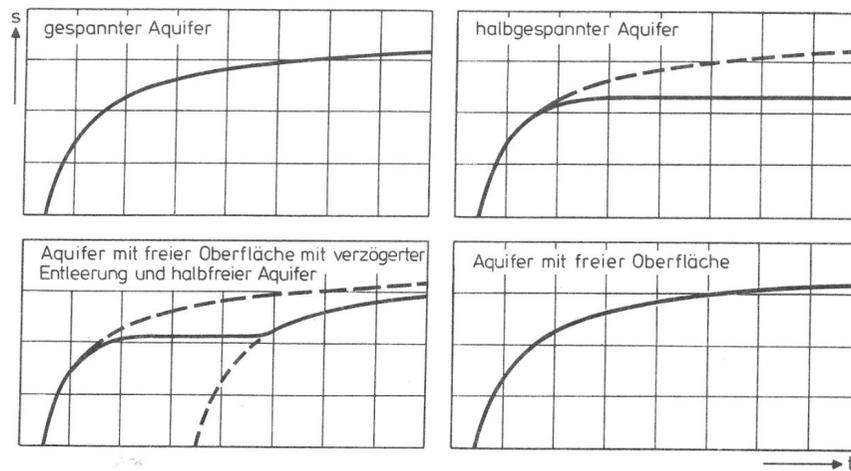
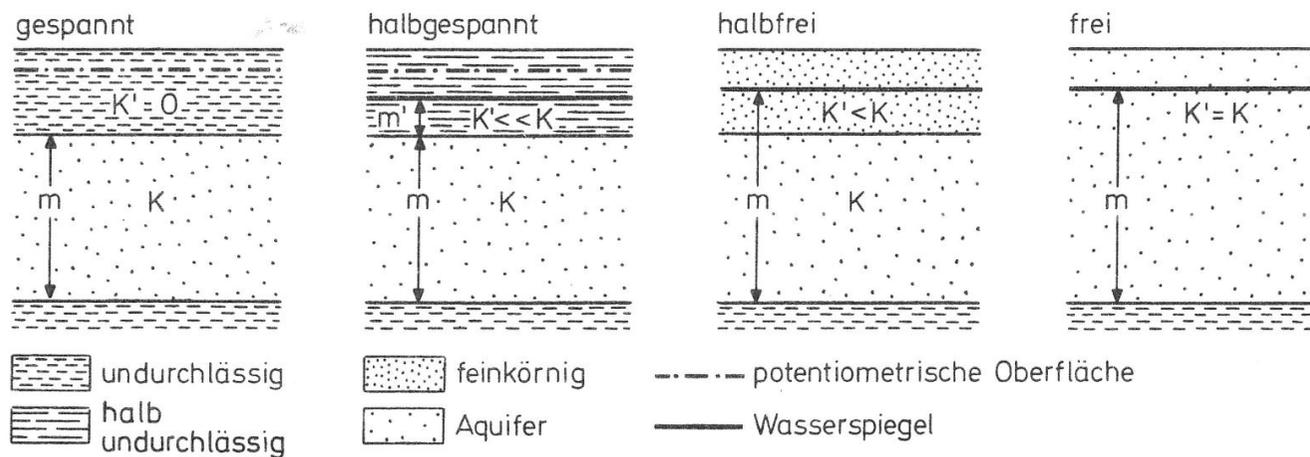
# Grundwasser - Hydraulik



Quelle: verändert nach: Umweltatlas Berlin – 02.07 Flurabstand des Grundwassers (Ausgabe 2010, [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dd207\\_01.htm#Abb1](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/dd207_01.htm#Abb1))



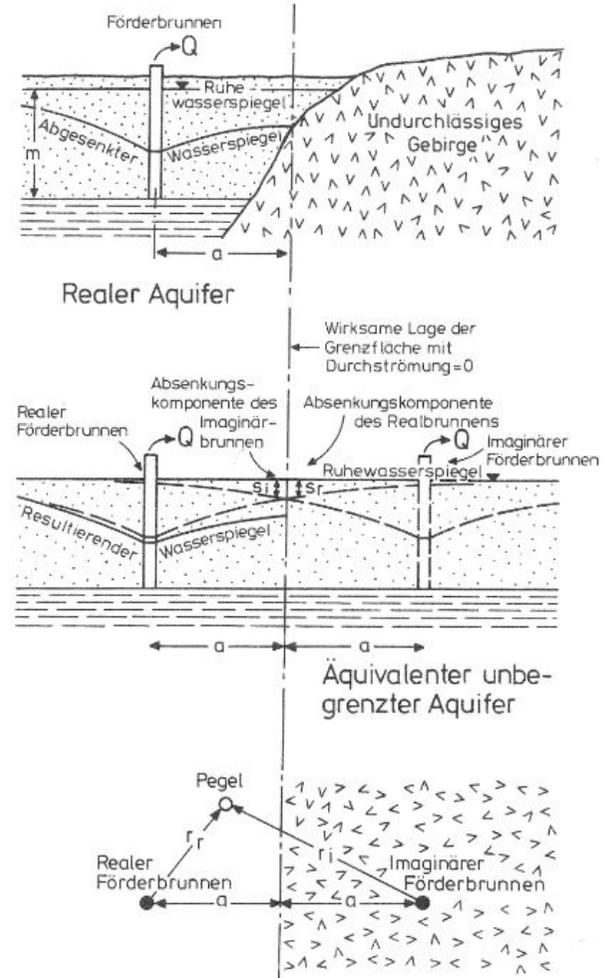
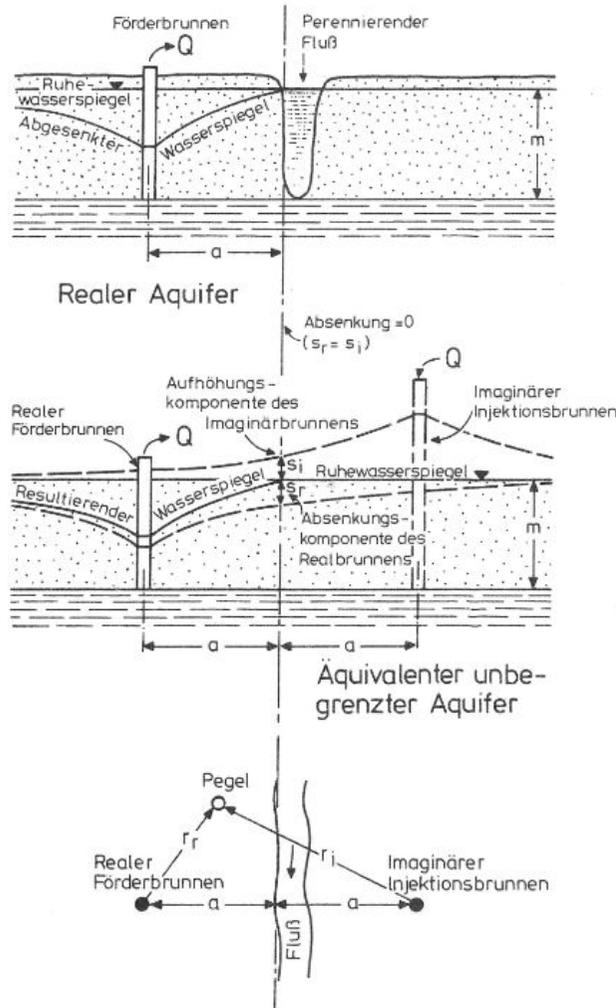
# Grundwasser - Hydraulik



Quelle: Langguth & Voigt 1980



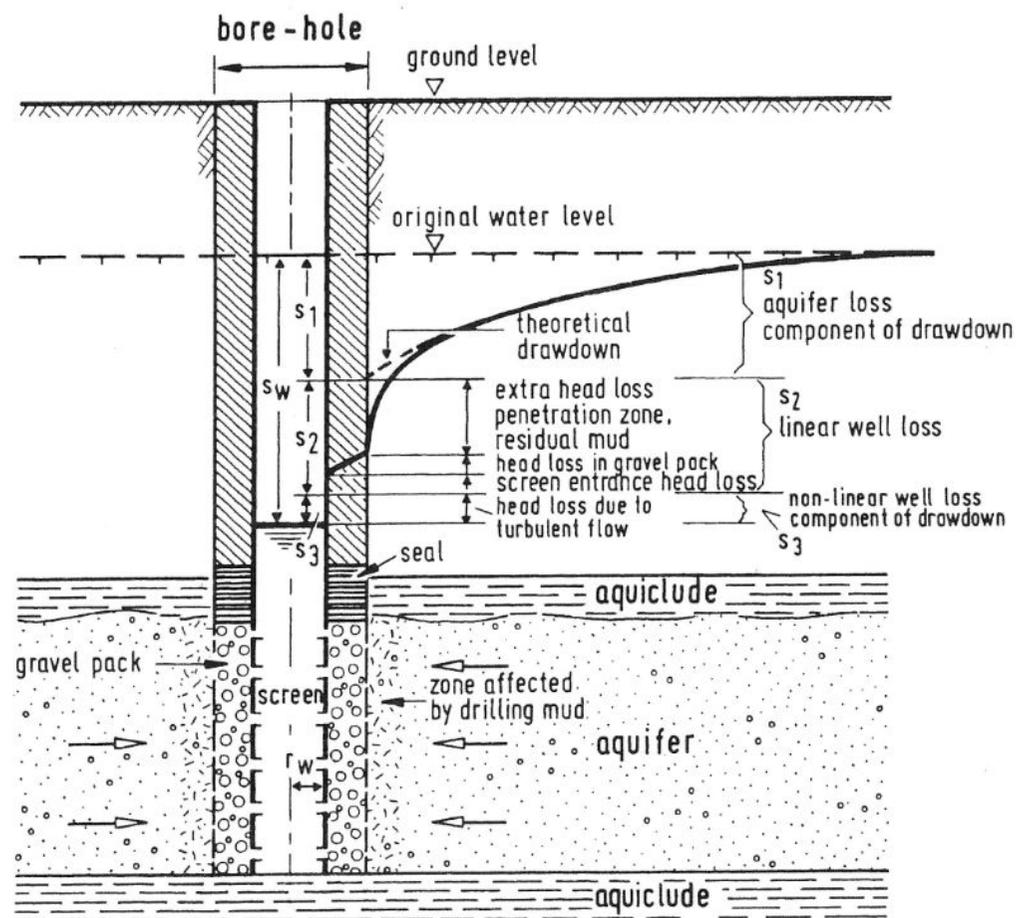
# Grundwasser - Hydraulik



Quelle: Langguth & Voigt 1980



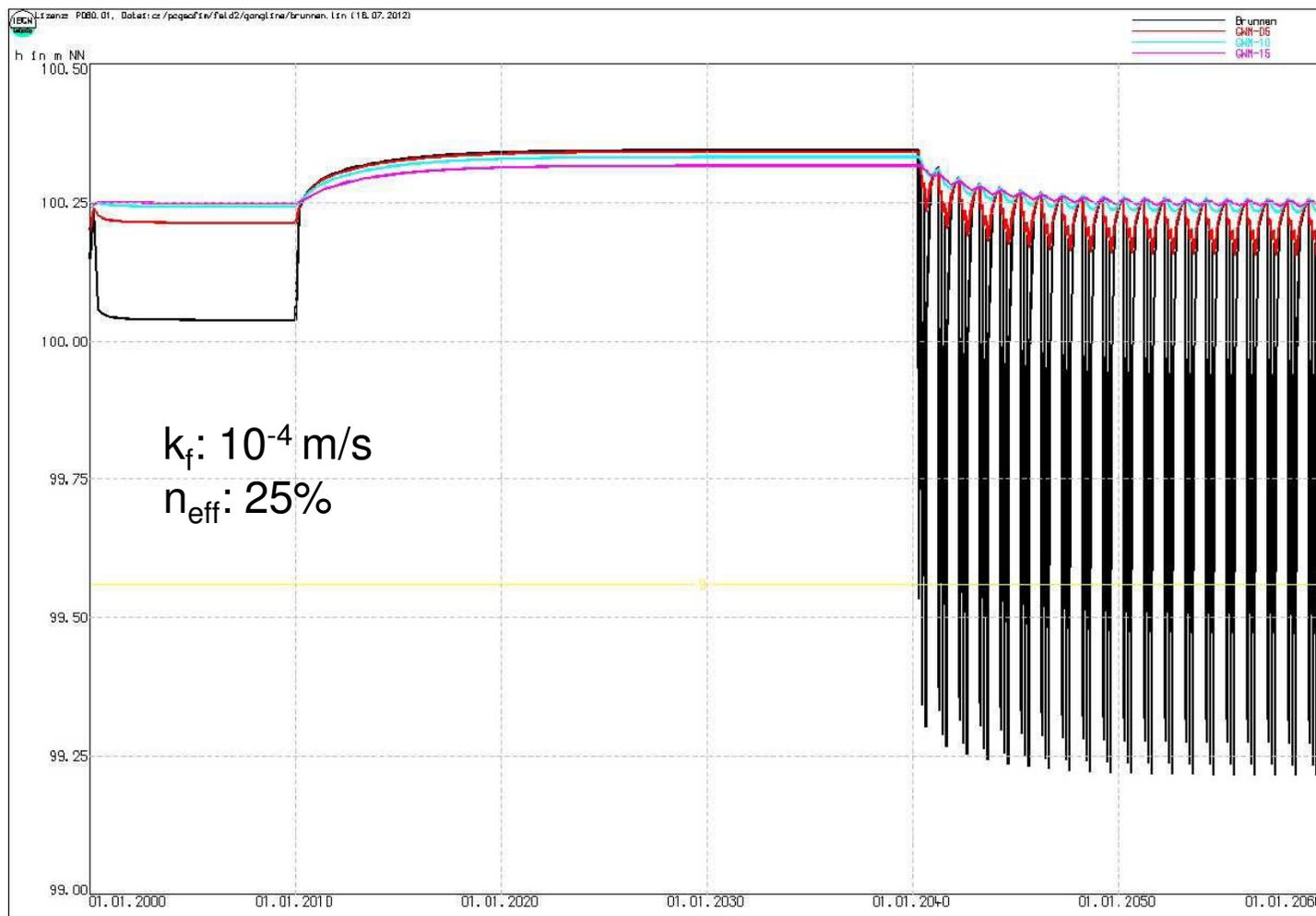
# Grundwasser - Hydraulik



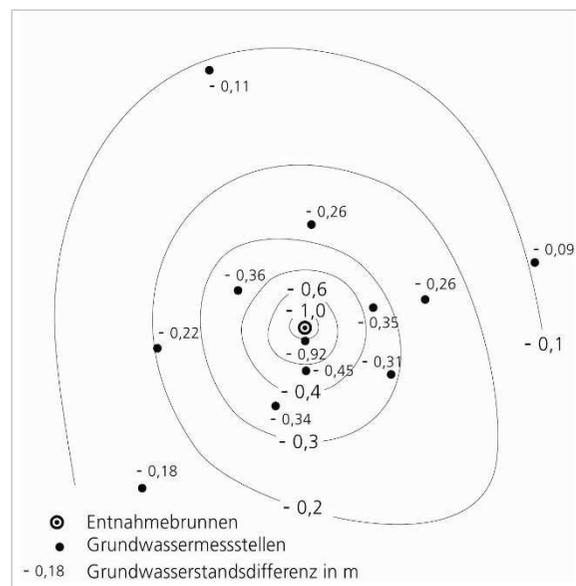
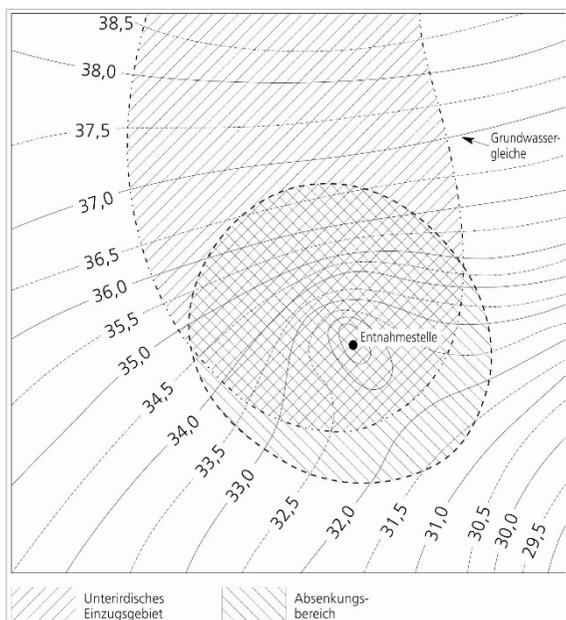
Quelle: Langguth & Voigt 1980



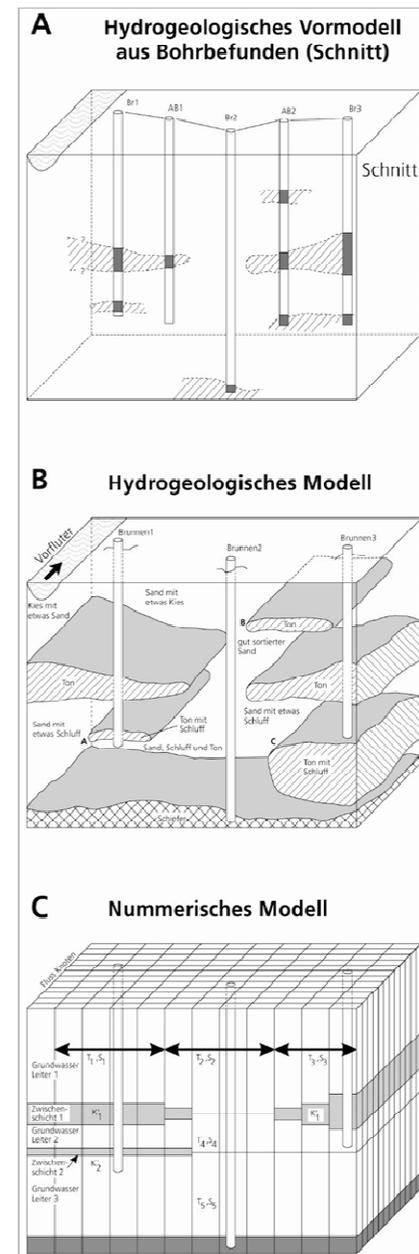
# Grundwasserdynamik – stationär vs. instationär



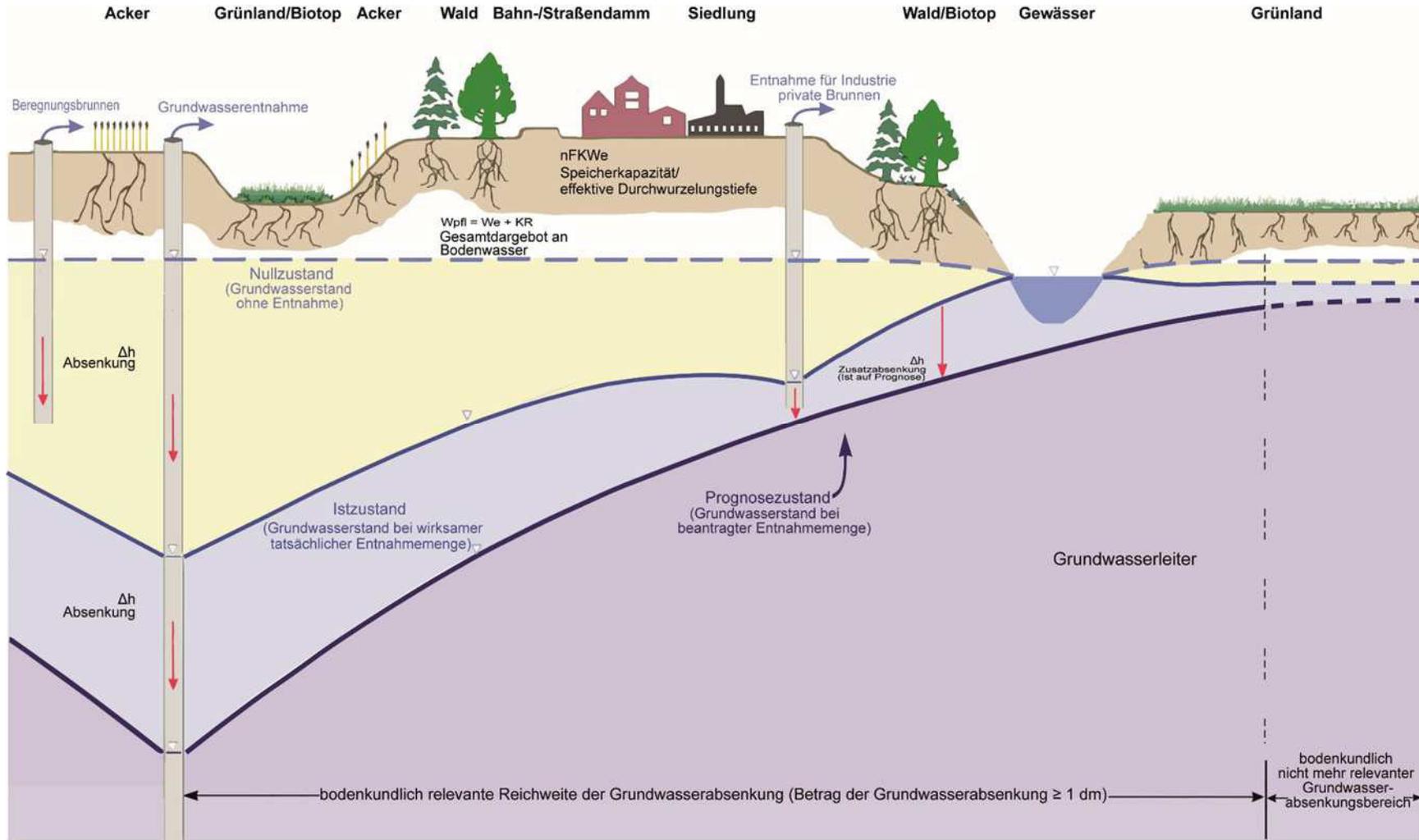
# Abgrenzung Einzugs- & Absenkungsgebiet



Quelle: Geoberichte 15, LBEG 2009



# Absenkungsprognose



Quelle: verändert nach Geoberichte 15, LBEG 2009; [http://www.lbeg.niedersachsen.de/karten\\_daten\\_publicationen/publicationen/geoberichte/geoberichte\\_15/878.html](http://www.lbeg.niedersachsen.de/karten_daten_publicationen/publicationen/geoberichte/geoberichte_15/878.html)



# Beweissicherung / Monitoring

<b>Auswirkungen auf den Wasserhaushalt</b>	Abflussminderung in Vorflutern
	Reduzierung des Grundwasserdargebots für andere Nutzer (z. B. mit der Folge einer Veränderung von Einzugsgebietsgrenzen benachbarter Fassungsanlagen)
	Flächenhafte Absenkung des Grundwasserspiegels durch Überbeanspruchung des Grundwasserdargebots
<b>Veränderung der Grundwasserbeschaffenheit</b>	Zunahme der Mineralisation, Verschiebung von Salz-Süßwassergrenzen
<b>Absenkung des Grundwasserspiegels</b>	Beeinträchtigung von grundwasserstandsabhängiger Vegetation (Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Naturschutz)
	Absenkung des Wasserstandes in Feuchtgebieten
	Absenkung des Wasserspiegels in Brunnen anderer Nutzer
	Absenkung des Wasserspiegels von Grundwasserblänken (z. B. Badeseen, Fischteiche) und von Vorflutern
	Setzungen (Bauwerksschäden)

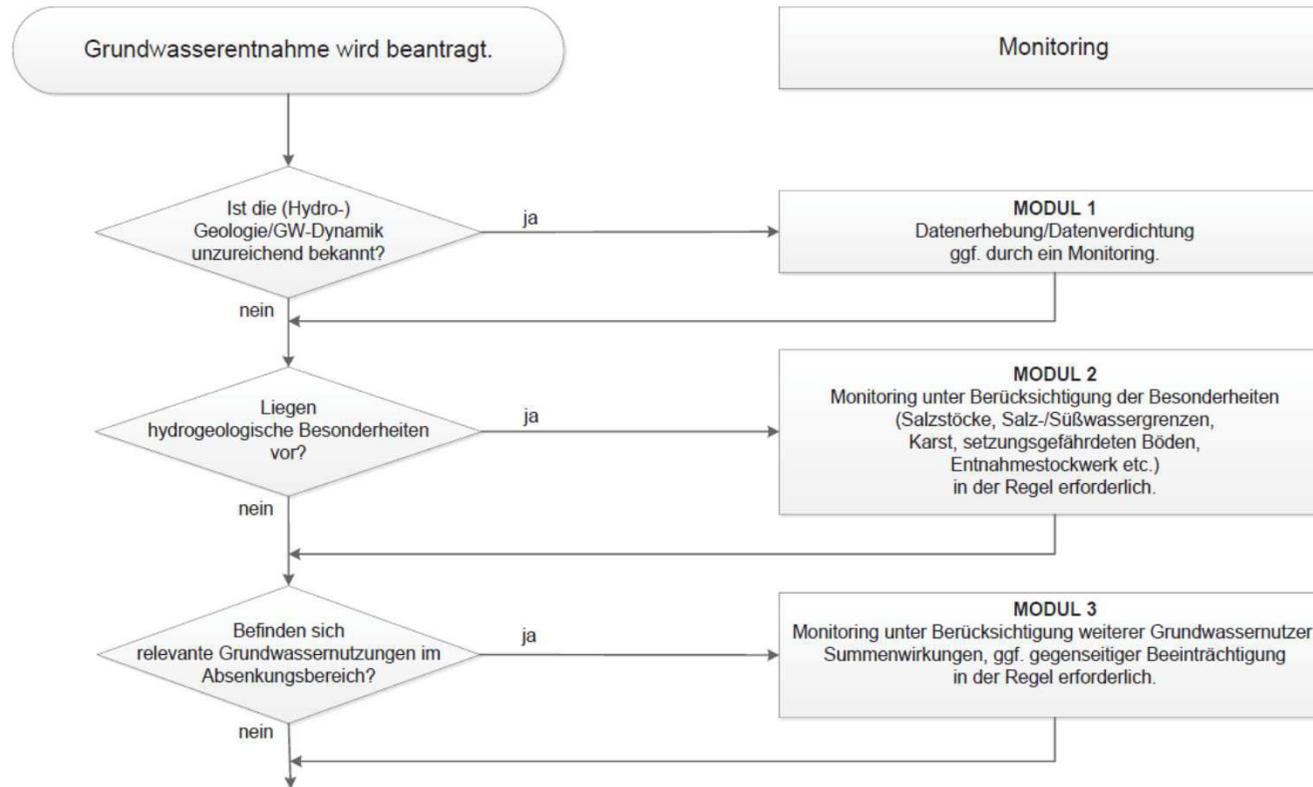
Quelle: Geoberichte 15, LBEG 2009; ;

[http://www.lbeg.niedersachsen.de/karten\\_daten\\_publicationen/publikationen/geoberichte/geoberichte\\_15/878.html](http://www.lbeg.niedersachsen.de/karten_daten_publicationen/publikationen/geoberichte/geoberichte_15/878.html)



# Beweissicherung / Monitoring

## Kriterien zur Ermittlung von Art und Umfang eines Monitorings

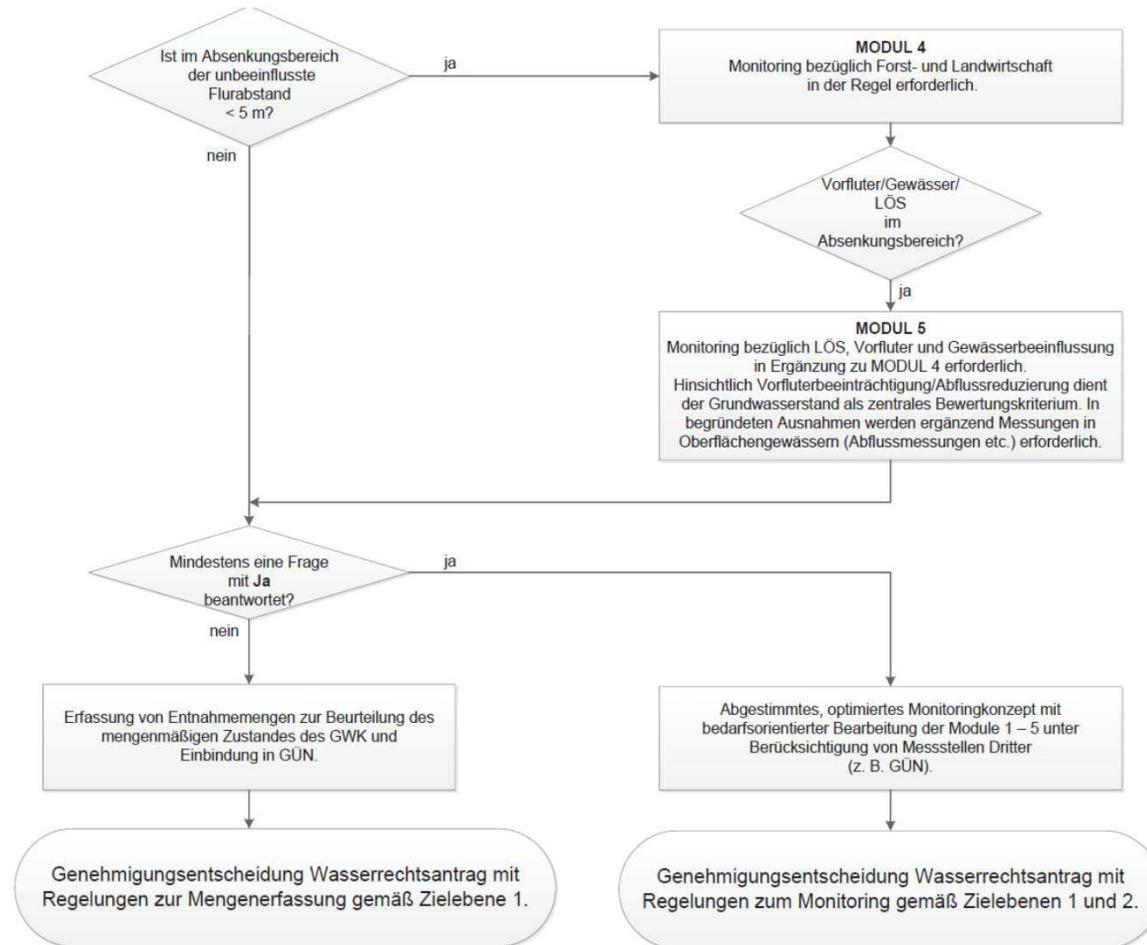


Quelle: Zukunftsfähige Sicherung der Feldberegnung, NMU 2014;

[http://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/wasser/grundwasser/grundwassermenge\\_stand/gesamtkonzept\\_zukunftsfae\\_hige\\_sicherung\\_feldberegnung\\_/gesamtkonzept-zukunftsfae\\_hige-sicherung-der-feldberegnung-121889.html](http://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/wasser/grundwasser/grundwassermenge_stand/gesamtkonzept_zukunftsfae_hige_sicherung_feldberegnung_/gesamtkonzept-zukunftsfae_hige-sicherung-der-feldberegnung-121889.html)



# Beweissicherung / Monitoring



Quelle: Zukunftsfähige Sicherung der Feldberegnung, NMU 2014;

[http://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/wasser/grundwasser/grundwassermenge\\_stand/gesamtkonzept\\_zukunftsaehige\\_sicherung\\_feldberegnung\\_gesamtkonzept-zukunftsaehige-sicherung-der-feldberegnung-121889.html](http://www.umwelt.niedersachsen.de/startseite/themen/wasser/grundwasser/grundwassermenge_stand/gesamtkonzept_zukunftsaehige_sicherung_feldberegnung_gesamtkonzept-zukunftsaehige-sicherung-der-feldberegnung-121889.html)



# Grundwasserbewirtschaftung

- **Wasserhaushaltsgesetz § 47** (Bewirtschaftungsziele für das Grundwasser)
  - Das Grundwasser ist so zu bewirtschaften, dass
    1. eine **Verschlechterung** seines mengenmäßigen und seines chemischen Zustands **vermieden wird**;
    2. alle signifikanten und anhaltenden **Trends ansteigender Schadstoffkonzentrationen** auf Grund der Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten **umgekehrt werden**;
    3. ein **guter mengenmäßiger und ein guter chemischer Zustand erhalten oder erreicht werden**; zu einem guten mengenmäßigen Zustand gehört insbesondere ein **Gleichgewicht zwischen Grundwasserentnahme und Grundwasserneubildung**.
- **Niedersächsisches Wassergesetz § 87** (Bewirtschaftungsziele)



# Grundwasserbewirtschaftung

- **Grundwasserverordnung**
  - Umsetzung der EG Richtlinien 2000/60/EG, 2006/118/EG, 2009/90/EG
  - Einstufung des **mengenmäßigen Zustands**
    - die mittlere jährliche GW-Entnahme übersteigt nicht das nutzbare Grundwasserdargebot
    - Anthropogene Änderungen des GW-Standes dürfen zukünftig nicht dazu führen, dass
      - die **Bewirtschaftungsziele für Oberflächengewässer**, die mit GW in Verbindung stehen nicht eingehalten werden
      - sich der **Zustand dieser Oberflächengewässer** im Sinne des WHG signifikant verschlechtert
      - **Landökosysteme** signifikant geschädigt werden
      - Durch **Zustrom von Salzwasser** oder **anderen Schadstoffen** das GW infolge Änderungen der GW-Fließrichtung nachteilig verändert wird
  - Beurteilung des **chemischen GW-Zustands**



# Mengenbewirtschaftungserlass - Ziel

Überörtliche Beurteilungshilfe für die Untere Wasserbehörde bei der Frage, ob die Erhaltung oder Erreichung des guten mengenmäßigen Zustands eines Grundwasserkörpers durch die beantragte Nutzung des Grundwassers gefährdet ist:

**Beantragte Entnahme + genehmigte Entnahmen < Nutzbare Grundwasserdargebot**  
(Bezugsebene: Grundwasserkörper)

## Erläuterung (DIN 4049-3)

- Grundwasserdargebot
  - Summe aller positiven Glieder des Wasserhaushalts für einen Grundwasserabschnitt
- Gewinnbares Grundwasserdargebot
  - Teil des Grundwasserdargebots, der mit technischen Mitteln entnehmbar ist
- Nutzbares Grundwasserdargebot
  - Teil des gewinnbaren Grundwasserdargebots, der für die Wasserversorgung unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen genutzt werden kann



## Mengenbewirtschaftungserlass - Ziel

Überörtliche Beurteilungshilfe für die Untere Wasserbehörde bei der Frage, ob die Erhaltung oder Erreichung des guten mengenmäßigen Zustands eines Grundwasserkörpers durch die beantragte Nutzung des Grundwassers gefährdet ist:

**Beantragte Entnahme + genehmigte Entnahmen < Nutzbare Grundwasserdargebot**  
(Bezugsebene: Grundwasserkörper)

## Vorgaben

- Sicherung der Wasserversorgung in mehrjährigen Trockenwetterperioden.
- Sicherung und Erhaltung grundwasserabhängiger Landökosysteme und Oberflächengewässer.
- Bereits erfolgte Veränderungen des Grundwasserstandes aufgrund abgeschlossener wasserbehördlicher Erlaubnisverfahren sind grundsätzlich zu akzeptieren („Bestandsschutz“).

## Realisierung

Inhaltliche Festlegungen: LBEG, NMU, NLWKN, Untere Wasserbehörden  
Technische Umsetzung: LBEG



# Verfahrensweise für GWK

- **Ausgangsgrößen: Grundwasserdargebot:** Grundwasserneubildung nach GROWA06V2



**Trockenwetterdargebot:** Mittleres Grundwasserdargebot in  
Trockenwetterjahren

- **Abschläge:** Ergiebigkeitsklasse 3 (20%), Versalzungsbereiche (50/100%)  
Ökosensitivität (70 –90%)

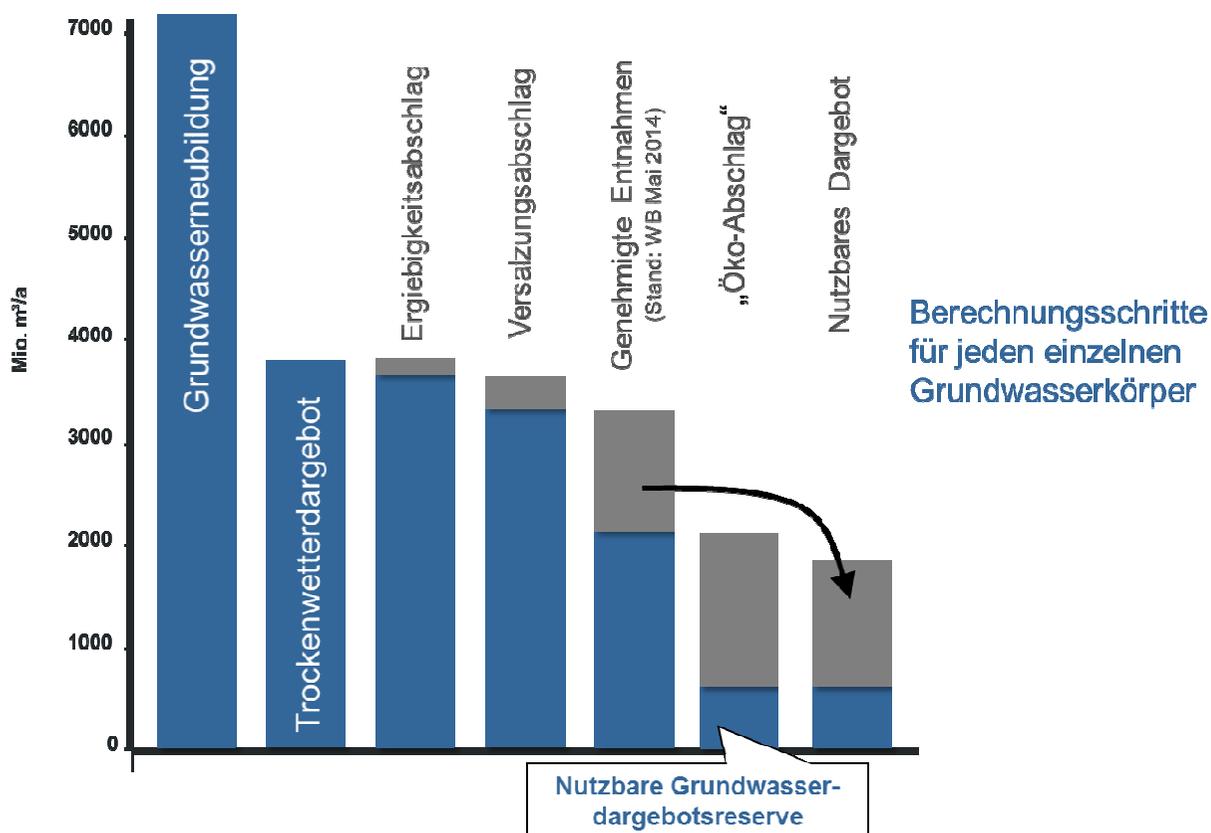
- **Abschätzung:**

—	<b>Trockenwetterdargebot</b>
—	<b>Ergiebigkeitsabschlag</b>
—	<b>Versalzungsabschlag</b>
—	<b>Genehmigte Entnahmen</b>
—	<b>Öko-Abschlag</b>
+	<b>Genehmigte Entnahmen (Wasserbuch)</b>
=	<hr/> <b>Nutzbares Dargebot</b>



# Verfahrensweise für GWK

- 1) Trockenwetterdargebot – Ergiebigkeitsabschlag – Versalzungsabschlag = **Gewinnbares Trockenwetterdargebot**
- 2) Gewinnbares Trockenwetterdargebot – genehmigte Entnahmen = **Gewinnbare Dargebotsreserve**
- 3) Gewinnbare Dargebotsreserve – Öko-Abschlag = **Nutzbare Dargebotsreserve**
- 4) Nutzbare Dargebotsreserve + genehmigte Entnahme = **Nutzbares Dargebot**



# Verfahrensweise Untere Wasserbehörde

**GWK**  **Teilkörper**

**Grundwasserdargebot**  
**Trockenwetterdargebot**  
**Entnahmemengen**

Verschneidung der Gebietsgrenzen der UWB mit GWK

analog zu GWK

analog zu GWK

Entnahmemengen des GWK werden anteilig aufgrund der Flächenanteile der Teilkörper am GWK aufgeteilt

**Gewinnbares Trockenwetterdargebot**  
**Öko-Abschlag**  
**Gewinnbare Dargebotsreserve**  
**Nutzbare Dargebotsreserve**

analog zu GWK

analog zu GWK

analog zu GWK

Nutzbare Dargebotsreserve des GWK wird anhand des Anteils des Nutzbaren Dargebots der Teilkörper an der Summe der Nutzbaren Dargebote der Teilkörper im jeweiligen GWK aufgeteilt

**Nutzbares Dargebot**

analog zu GWK



## Verfahrensweise Untere Wasserbehörde

UWB vergleicht beantragte Menge mit Nutzbarer Dargebotsreserve

### Nutzbare Dargebotsreserve vorhanden

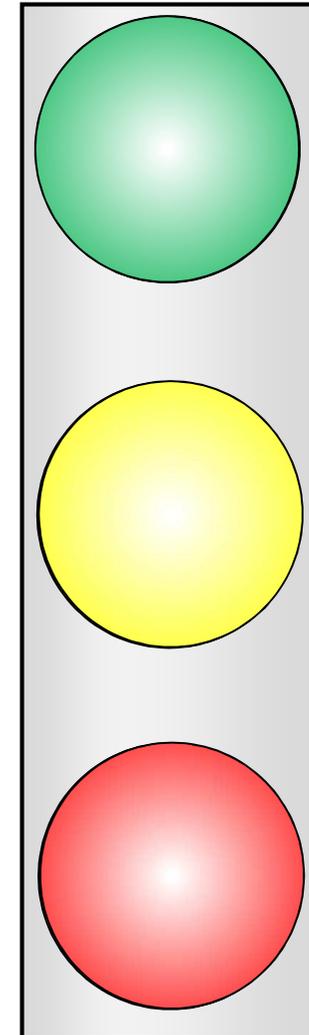
- Prüfung auf örtliche Auswirkungen durch die UWB
- keine überregionale Prüfung notwendig

### GWK mit Sonderregelung

#### Überschreitung Nutzbarer Dargebotsreserve

- Einschalten des GLD  
stufenweise vertiefte Wasserhaushaltsbetrachtung des GWK

- ➔ Entnahme v. Grundwasser
  - Korrektur der Nutzbarer Dargebotsreserve
  - Prüfung auf örtliche Auswirkungen durch die UWB
- ➔ keine Entnahme v. Grundwasser
  - Reserve nach abschließender Wasserhaushaltsbetrachtung nicht vorhanden
  - keine Genehmigung weiterer GW-Entnahmen



# Zusammenfassung

- Die Bewirtschaftungsziele sind gesetzlich festgelegt → WHG und NWG
- Die Grundwasserverordnung setzt u.a. die EG-Wasserrahmenrichtlinie um und definiert u.a. die Einstufungen der Grundwasserkörper hinsichtlich der Menge und der Güte
- Mengenbewirtschaftungserlass unterstützt die Unteren Wasserbehörden bei der Beurteilung des Nutzbaren Dargebots
- Der GLD hat eine gesetzliche Beratungspflicht; es besteht eine per Erlass geregeltes Beteiligungserfordernis
- Der GLD prüft und berät fachlich neutral und wirtschaftlich unabhängig
- Hinsichtlich des notwendigen Inhalts und Umfangs von hydrogeologischen und bodenkundlichen Fachgutachten hat das LBEG einen Leitfaden veröffentlicht → GeoBerichte 15
- Anlassbezogen ergeben sich regelmäßig spezifische Anforderungen an die Antragsunterlagen aufgrund hydrogeologischer Besonderheiten



# GEOZENTRUM HANNOVER



## HERZLICHEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

Allgemeine Hydrogeologie und Grundwasserbewirtschaftung

PD Dr. C. Neukum

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG)  
Referat L3.2 „Grundwasser- und Abfallwirtschaft, Altlasten“



# Quellenangaben

- DIN 4049-3 (1994): Hydrologie, Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH; Berlin.
- ECKL, H. & RAISSI, F. (2009): Leitfaden für hydrogeologische und bodenkundliche Fachgutachten bei Wasserrechtsverfahren in Niedersachsen. Geoberichte 15, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie; Hannover.
- LANGGUTH, H.-R. & VOIGT, R. (1980): Hydrogeologische Methoden. Springer-Verlag; Berlin, Heidelberg, New York.
- MULL, R. & HOLLÄNDER, H. (2002): Grundwasserhydraulik und Hydrogeologie: Eine Einführung. Springer-Verlag; Berlin und Heidelberg.
- MÜLLER, U., ENGEL, N., HEIDT, L., SCHÄFER, W., KUNKEL, R., WENDLAND, F., RÖHM, H. & ELBRACHT, J. (2012): Klimawandel und Bodenwasserhaushalt. Geoberichte 20, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie; Hannover.
- NEUKUM, C. (2013): Transport von Kolloiden durch wassergesättigte, geklüftet poröse Medien am Beispiel von synthetischem partikulärem Silber. Habilitationsschrift an der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik der RWTH Aachen.
- ZUNKER, F. (1930): Das Verhalten des Bodens zum Wasser. – Handbuch der Bodenlehre, 6, Springer, Berlin

