

# Praxisbezogene Bewertung der Güte und Prognosefähigkeit von Grundwasser-Modellen

Arbeitskreis "Kalibration und Prognosefähigkeit von Grundwasser-Modellen", Johannes Riegger

Grundwassermodelle sind wichtige Werkzeuge zur Beantwortung vieler wasserrechtlicher Fragestellungen. Reine Strömungsmodelle unterstützen hierbei die Bemessung von Schutzgebieten, die Dimensionierung von Wasserhaltungen oder die Bestimmung der Auswirkungen von Baumaßnahmen auf das Grundwasserregime. Transportmodelle helfen bei der Berechnung der Stoffausbreitung im Untergrund, unter anderem im Zusammenhang mit Grundwasser-Schadensfällen und -Sanierungsmaßnahmen. Dabei bestehen von Seiten der Auftraggeber, Behörden und der Öffentlichkeit hohe Erwartungen und qualitative Anforderungen an die Aussagefähigkeit solcher Modelle. Dies gilt insbesondere, wenn eine quantitative Beschreibung des Systems durchgeführt werden muss. Diesen Erwartungen steht eine komplexe Natur gegenüber, für die auch mit hohem Erkundungsaufwand häufig nur eine verhältnismäßig geringe Informationsdichte zur Verfügung steht.

Die Qualität und Prognosefähigkeit von Grundwassermodellen hängt entscheidend vom Hydrogeologischen Modell (HGM) ab. Dieses beschreibt das Grundwassersystem hinsichtlich Geometrie, (Hydro-)Geologie, Hydraulik und maßgeblicher Randbedingungen und bildet somit die wesentliche Grundlage für numerische Grundwassermodelle. Daher ist die Bewertung des HGM von zentraler Bedeutung für die Bewertung der Qualität von Grundwasser-Modellen.

Der Arbeitskreis "Kalibration und Prognosefähigkeit von Grundwassermodellen" hat praxisbezogene, quantitative Bewertungskriterien für die Güte von Hydrogeologischen Modell entwickelt, welche eine quantitative Einordnung der HGM zu den Qualitätsklassen bzw. Modellkategorien des DVGW-Arbeitsblattes W 107 „Aufbau und Anwendung numerischer Grundwassermodelle in Wassergewinnungsgebieten“ (Prinzip-, Planungs- und Bewirtschaftungsmodelle) erlaubt.

## 1. Bewertungsansatz HGM

Die Qualität des HGM hängt maßgeblich von der Datenlage und deren Relevanz für Modellaussagen ab, die wiederum von der Modell-Anwendung abhängen. Zudem ist die räumliche Skala von Datenlage und Modellanwendung wichtig für die Qualität der Modellaussagen. Das hier vorgestellte Bewertungsschema berücksichtigt ausdrücklich, dass sowohl Datenlage als auch Relevanz von der späteren Modellanwendung und von der räumlichen Skala abhängen.

Für den praktischen Einsatz des HGM-Bewertungsschemas in Ingenieurbüros oder bei Behörden wurde ein Vereinfachungsansatz entwickelt, der sich in einer einzigen EXCEL-Tabelle realisieren lässt.

Folgende Vereinfachungen werden getroffen:

- 3 Anwendungsklassen in Kombination von Anwendung und Lage (tief, flach) des Aquifers (tiefe oder flache großräumige Systeme, kleinräumige Systeme Stofftransport)
- 2 Vorhersagebereiche: global (über das Modellgebiet), lokal (über Modell-Teilbereiche/ Aussagegebiet)
- 3 Relevanzklassen: (0) irrelevant (1) mäßig relevant (2) hoch relevant
- 4 Daten- Klassen als Zusammenfassung von Daten-Dichte und -Repräsentativität

## Themen und Themenblöcke

Die Bewertung des HGM wird thematisch strukturiert, indem die zu bewertenden Aspekte in einzelnen Themen aufgeschlüsselt und folgenden Themenblöcken zugeordnet werden.

- Hydrogeologisches a priori Wissen und Ergebnisberichte
  - Abgrenzung des Bilanz- und Modellraumes
  - Strukturierung des Modellraumes, hydrostratigrafisch (vertikal, lateral)
  - Grundwasserhydraulik, Randbedingungen
  - Grundwasserbeschaffenheit
- Schichtgeometrien / -verbreitung
  - Schichtflächen (Verbreitung, Verläufe, Höhen, Mächtigkeiten)
  - Verlauf, Versatz und hydraulische Wirksamkeit von Störungszonen
- Geohydraulische Parameter
  - Transmissivität(en), Durchlässigkeit(en), horizontal
  - Durchlässigkeit(en), vertikal (Leakage-Faktor)
  - Speicherkoeffizient(en)
  - Leakage-Faktor(en) entlang von Oberflächengewässern
  - durchflusswirksame-Porosität (adv. Transport)
  - Dispersionsparameter
- Messwerte und Versuchsdaten
  - Piezometerhöhen, Vorflutniveaus
  - Konzentrationen / Temperaturen
  - Abfluss-/ Schüttungsdaten
- Hydraulische Randbedingungen
  - Herleitung und Lage von Randzuflüssen
  - Herleitung und Lage von Randstromlinien
  - Herleitung und Lage von höhenbezogenen Randbedingungen (Festpotential-, Leakage-, Drainage-)
  - Herleitung und Lage von Recharge-/ Dischargezonen zu benachbarten Aquiferen
- Quellen und Senken
  - Grundwasserneubildungsrate, flächenhaft
  - Entnahme- / Infiltrationsraten, punkt- oder linienhaft
  - Stoff-Quellen / Senken

## Anwendungsfälle

Für die unterschiedlichen Anwendungsfälle ist die Gewichtung und die Relevanz der Themen unterschiedlich festgelegt. Diese Anwendungsfälle sind wie folgt charakterisiert:

- Bilanzmodell für tiefe großräumige Grundwassersysteme: Großräumige Grundwassersysteme, für die nur wenige Messinformationen vorliegen, mit Strömungsverhältnissen, die sich nicht ausschließlich anhand von Piezometerhöheninformationen charakterisieren lassen. Die Einbindung von Wasserqualitäts- bzw. Isotopeninformationen ist zwingend erforderlich. Typische Anwendungsbereiche und Fragestellungen sind:
  - Geothermie
  - Mineralwasser
  - Wasserbilanz
  - Grundwasseralter
  - Austausch zwischen den Grundwasserleitern
- Strömungsmodell für oberflächennahe großräumige Grundwassersysteme: Grundwassersysteme, die eine direkte Anbindung an die oberirdischen Vorflutssysteme haben und über die Grundwasserneubildung aus Niederschlag gespeist werden. Typische Anwendungsbereiche und Fragestellungen sind:
  - Trinkwassergewinnung
  - Bauwasserhaltungen
  - Retentionsräume
  - Wasserbilanz
  - Prognose von Grundwasserspiegeländerungen
  - Bemessung Wasserschutzgebiet
- Transportmodell für kleinräumige Grundwassersysteme (Sanierung): Grundwassersysteme, in denen die Ausbreitung von Schadstoffen untersucht werden soll und hydraulische oder reaktive Sanierungsverfahren zur Anwendung kommen. Hier spielen insbesondere lokale Heterogenitäten der Aquiferkennwerte und ggf. auch von Reaktionsparametern eine dominante Rolle für die Aussageschärfe. Typische Anwendungsbereiche und Fragestellungen sind:
  - Transport von Wasserinhaltsstoffen
  - Sanierung und Sicherung von Schadstoffbahnen
  - Identifizierung von natürlichen Abbauprozessen

## Relevanz der Themen (vorgegeben)

Die Bedeutung jedes einzelnen Themas wird für die verschiedenen Modell-Anwendungen und die räumliche Skala (global - lokal) durch die Relevanzklassen (0, 1, 2) beschrieben und wurde basierend auf der Erfahrung der Mitglieder des Arbeitskreises definiert. Für die Gesamtwertung des HGMS werden die

Themenblöcke entsprechend ihrer Bedeutung für die jeweilige Modell-Anwendung in ihrer Relevanz gewichtet. Die Themenblöcke umfassen unterschiedlich viele Themen mit unterschiedlicher Bedeutung für den jeweiligen Themenblock und werden deshalb innerhalb des Themenblock relativ gewichtet. Die Gewichtung der Relevanz basiert auf der Erfahrung der Mitglieder des Arbeitskreises und ist für den Anwender nicht zugänglich, jedoch in Tabelle „Gewichtung“ des EXCEL-Spreadsheets dokumentiert.

**Datenlage (Datentypgewicht vorgegeben)**

Die Bewertung der Datensituation muss die Datendichte und die Repräsentativität der Daten bzgl. ihres Einflusses auf das Modell-Ergebnis berücksichtigen.

Die Informationen zu den jeweiligen Themen können verschiedenen Daten-Typen entstammen, die unterschiedlichen Informationsgehalt besitzen.

In der Tab. 1 (exemplarisch für das Thema Schichtflächen) sind zu jedem Thema die möglichen Datentypen und Informationen aufgelistet, die alternativ stehen oder sich ergänzen können. Diese werden entspricht ihrer Bedeutung mit relativen Daten-Typ-Gewichten (DTG) versehen, die sich für das Thema zu 100% aufsummieren. Das Gewicht mit dem der entsprechende Datentyp zur Datenqualität des jeweiligen Themas beiträgt ist vom Arbeitskreis vorgegeben und dokumentiert (Tabelle „Gewichtung“ des Spreadsheets).

Thema	Daten-Typ	Daten-Typ-Gewicht
Schichtflächen (Verbreitung, Verläufe, Höhen, Mächtigkeiten)	Bohrungen	50.0%
	Geophysik	30.0%
	hydro- / geologische Karten und Schnitte	20.0%
	<b>Summe</b>	100%

Tabelle.1 Daten-Typ und Daten-Typ-Gewicht

**Datenbewertung (Datenklasse vom Anwender einzustufen)**

Aufgabe des Anwenders bei der Bewertung des HGM ist es zu jedem Thema und für jeden Datentyp eine Bewertung der Datensituation anhand der vorgegeben Datenklassen vorzunehmen, wie sie in der nachfolgenden Tabelle 2 exemplarisch für den Datentyp Bohrungen beschrieben ist.

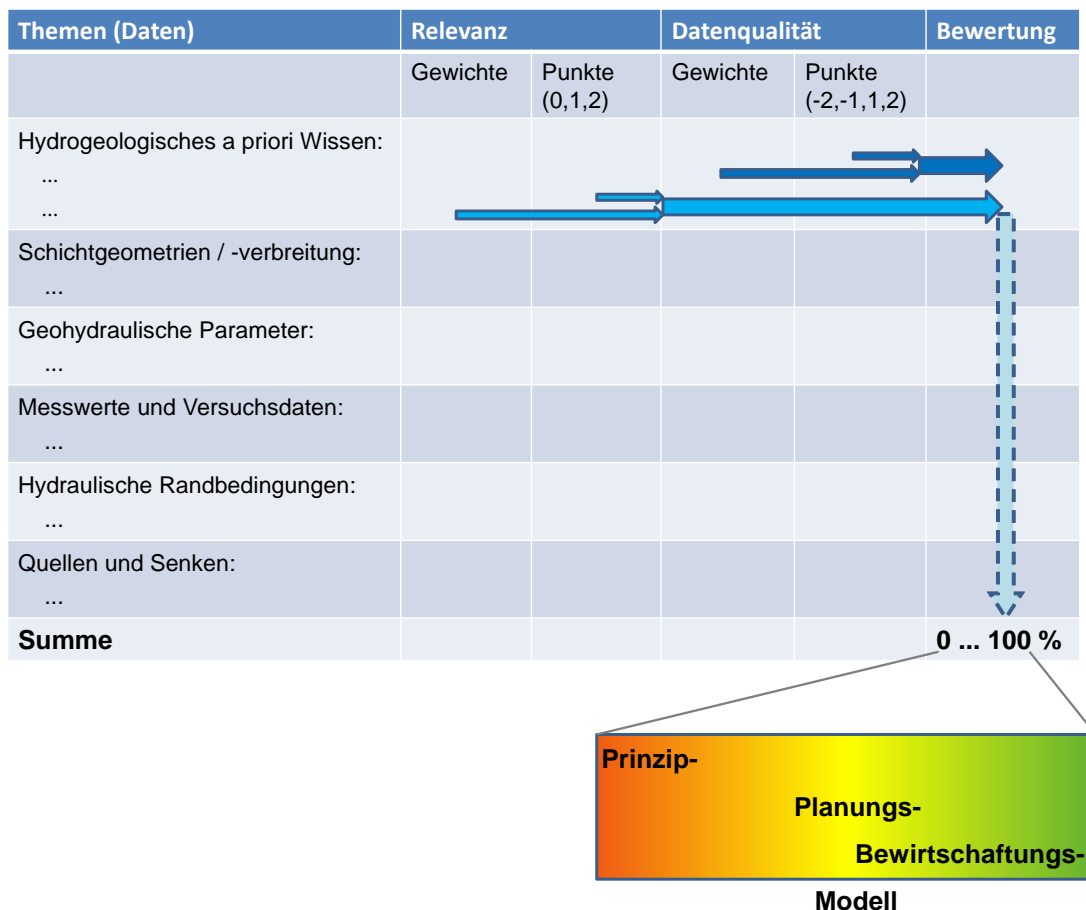
Die zugehörige Beschreibung ist für jeden Datentyp verfügbar über den Button „Eingabe“ am oberen Rand des -Spreadsheets

Daten-Typ	Daten-Klasse +2	Daten-Klasse +1	Daten-Klasse -1	Daten-Klasse -2
Bohrungen	umfangreich, gut verteilt, hohe Bohrqualität	umfangreich, ungleichmäßig verteilt, untersch. Bohrqualität	wenig, gut verteilt, mäßige Bohrqualität	wenig, schlecht verteilt

Tabelle.2 Themenbezogene Beschreibung der Datenklasse

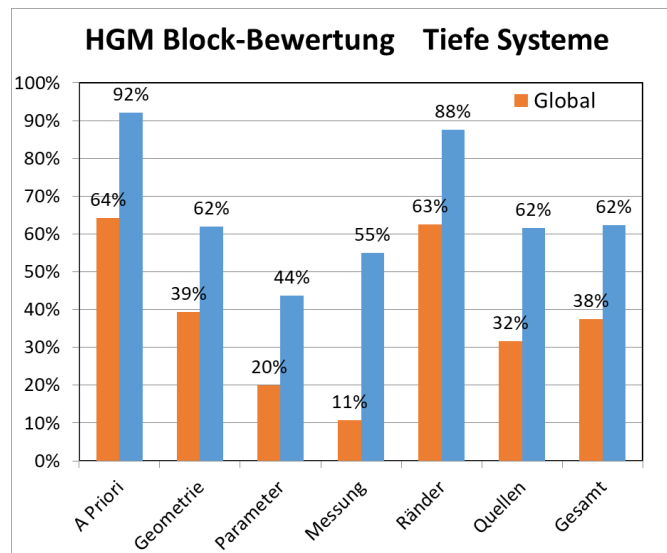
## 2. Bewertung des HGM

Aus den vorgegebenen Relevanz-Punkten und -Gewichten sowie aus den Anwender-definierten Datenpunkten und den vorgegebenen Datengewichten wird im EXCEL Spreadsheet für jeden Themenblock eine Punktzahl errechnet, die dem gewichteten Mittel der Datenpunkte bzw. umgerechnet einer Maßzahl zwischen 0-100% entspricht (s. Abb.1). Analog kann aus den Blockbewertungen mit den Blockgewichten eine Gesamtbewertung für das HGM mit einer Maßzahl zwischen 0-100% bestimmt werden. Die gesamte Struktur ist im Spreadsheet sichtbar über den Button „Detailansicht“.



**Abb. 1:** Schematische Darstellung des Berechnungsschemas, Struktur des Spreadsheets mit Berechnungsschritten

Das Ergebnis der Bewertung für die einzelnen Themen und Themenblöcke ist im Spreadsheet über den Button „Bewertung“ sichtbar dargestellt. Die Grafik der Blockbewertung (Abb. 2) gibt einen schnellen Überblick und visualisiert deutlich Stärken und Schwächen in der Datenlage der einzelnen Themenblöcke. Sie ist in die Zwischenablage kopierbar. Eine Differenzierung nach der Modellskala, global bzw. lokal, ist ebenfalls gegeben. Mit Hilfe dieses Bewertungsschemas können auch die Auswirkungen möglicher Maßnahmen zur Verbesserung der Datenqualität hinsichtlich der Auswirkungen auf die Qualität und Prognosefähigkeit eines Grundwassermodells eingeschätzt werden.



**Abb. 2:** Grafische Darstellung des Ergebnisses der Bewertungen der einzelnen Themenblöcke und des HGM insgesamt (in Zwischenablage kopierbar)

Die Gesamtbewertung des HGM mit einer Maßzahl zwischen 0% und 100% erlaubt eine quantitative Einordnung des HGM in die Qualitätsklassen bzw. Modellkategorien des DVGW-Arbeitsblattes W 107. Es werden vom Arbeitskreis folgende Grenzen vorgeschlagen, wobei die Grenzen als Übergangsbereiche zu verstehen sind:

Prinzip - Modell		Planung - Modell		Bewirtschaftung - Modell	
Schlecht	→	gut	Schlecht	→	gut
0%		33%	33%	66%	100%



### 3. Berechnungsansatz des EXCEL-Spreadsheet

Das Bewertungsschema im EXCEL-Spreadsheet basiert im Einzelnen auf folgenden Berechnungsschritten:

#### Relevanz der Themen

Zur Festlegung der Relevanz sind die Themenblöcke mittels der Blockgewichte (BG) relativ zueinander gewichtet. Die Themen innerhalb der Blöcke sind mittels Themenpunkten (TP) gewichtet. Daraus ergibt sich für die Gewichtung des Themas das Themengewicht:

$$TG = BG \times \frac{TP}{\sum_{T\text{-Block}} TP} .$$

In Abhängigkeit vom Anwendungsfall ist die Relevanz eines Themas separat sowohl für das Modellgebiet (global) als auch das Aussagegebiet (lokal) durch den Relevanzpunkt (RP<sub>g,l</sub>) festgelegt. Damit ergibt sich für das Modellgebiet (global) als auch das Aussagegebiet (lokal) das Relevanzgewicht eines Themas:

$$RGT_{g,l} = TG \times RP_{g,l} ,$$

bzw. eines Themenblocks:

$$RGB_{g,l} = \sum_{T\text{-Block}} RGT_{g,l} .$$

#### Datenlage

Die Gewichtungen und die Relevanzpunkte sind vorgegeben und können vom Anwender nicht verändert werden. Die Relevanzpunkte sind mittels der 3 Relevanzklassen vergeben:

0 - irrelevant,     1 - mäßig relevant,     2 - hoch relevant

Die Datenqualität ist durch Datenpunkte (DP<sub>g,l</sub>) definiert, die für jeden Datentyp jeweils für das Modellgebiet (global) und das Aussagegebiet (lokal) durch den Anwender vergeben werden. Die Datenpunkte sind mittels 4 Datenklassen charakterisiert und beinhalten die Dichte und Repräsentativität der Daten für den jeweiligen Datentyp (s.o. Bsp. Datentyp "Bohrungen"):

Darüber hinaus wird in jedem Thema die einzelnen Datentypen entsprechend ihrer Bedeutung für das HGM mittels des Datentypgewichts (DTG) relativ zueinander gewichtet (s.o. Bsp. Thema "Schichtflächen"):

Innerhalb des Themas erfolgt damit jeweils global und lokal die Datenbewertung (DB):

$$DB_{g,l} = \sum_{\text{Thema}} DTG \times DP_{g,l}$$

bzw. die Themenbewertung (TB):

$$TB_{g,l} = \sum_{T\text{-Block}} RGB_{g,l} \times DB_{g,l} .$$



## Bewertung des HGM (gesamt, Themenblöcke)

Damit ist es nun möglich, eine Gesamtbewertung für das HGM (HB) in Prozent zu generieren, wieder jeweils global und lokal:

$$HB_{g,l} = \frac{1}{4} \times \frac{\sum_{\text{HGM}} TB_{g,l}}{\sum_{\text{HGM}} RGB_{g,l}} + \frac{1}{2}.$$

Für die einzelnen Themenblöcke wird eine entsprechende Bewertung (BB) angegeben werden:

$$BB_{g,l} = \frac{1}{4} \times \frac{TB_{g,l}}{\sum_{\text{HGM}} RGB_{g,l}} + \frac{1}{2}.$$