

- Verbreitung der alluvialen Aquifere
- Gebiete mit aufsteigendem Grundwasser aus dem Malmkarst
- Maximaler Grundwasserstand in ausgesuchten Kopfeinzugsgebieten
- Pegel Passau-Achleiten mit Grundwasserstand in m ü. NN
- Fließrichtung des Grundwassers
- Isolinie Grundwasserstand
- Gebiete ohne alluviale Ablagerungen

GLOBAL CHANGE ATLAS
EINZUGSGEBIET OBERE DONAU

Herausgeber:
GLOWA-Danube-Projekt, Universität München (LMU)

2.2.1 Teilprojekt Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung und Wasserversorgung
Grundwassergleichenkarte der alluvialen Aquifere

Rastergröße: 1 x 1 km²
Maßstab: 1: 1.700.000



Datengrundlage:
Modellergebnisse aus der DANUBIA-Komponente Groundwater

Autoren:
R.Barthel, V. Rojanschi, J. Wolf
Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart

Grafik:
Abt. Kartographie, Dept. für Geo- und Umweltwissenschaften LMU

2.2.1 Teilprojekt Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung und Wasserversorgung - Grundwassergleichenkarte der alluvialen Aquifere im Einzugsgebiet der Oberen Donau

1. Einleitung

Grundwasser ist die wichtigste Quelle der Trinkwassergewinnung im Einzugsgebiet der Oberen Donau. Mehr als 90% des Trinkwassers werden aus Filterbrunnen in oberflächennahen wasserführenden Schichten (Aquifere) gewonnen. Die oberflächennahen Aquifere spielen als Empfänger der Grundwasserneubildung und als Schnittstelle zu den Flüssen eine wesentliche Rolle im hydrologischen Kreislauf. Die Untersuchung der Auswirkungen von globalen Veränderungen auf das Wasserdargebot dieser Aquifere ist somit ein wichtiges Ziel des Projektes GLOWA-Danube.

Wie die Analyse der Hydrogeologie im Einzugsgebiet zeigt (siehe Kapitel 1.10), sind die alluvialen Aquifere (junge quartäre Ablagerungen in Flusstälern; Basisklasse 1 in Kapitel 1.10) die ergiebigsten Grundwasserleiter im Einzugsgebiet. Viele bedeutende Entnahmen stammen aus diesen Aquiferen.

Für eine Beurteilung eines Aquifers wird in der Hydrogeologie vor allem die so genannte Grundwassergleichenkarte eingesetzt. Sie zeigt Linien gleicher Grundwasserstände bezogen auf ein Bezugsniveau (m ü. NN) an. Mit einer Grundwassergleichenkarte können wichtige Informationen über Grundwasserbewegung und Fließrichtung gewonnen werden.

Eine Grundwassergleichenkarte für die alluvialen Aquifere ist somit ein wichtiges Werkzeug für die Beurteilung des Zustands und Grundlage für die Planung und Verwaltung von (Trink-) Wasserressourcen. Grundwasserstände und ihre zeitlich-räumlichen Veränderungen sind weiterhin nützliche Informationen für die Beurteilung der ökologischen Rolle des Grundwassers in grundwasserabhängigen Ökosystemen (Feuchtgebiete, Auen). Auf der regionalen Skala kann eine solche Karte allerdings nicht zur Beurteilung lokaler Phänomene (Absenkungen einzelner Brunnen, standort-spezifische Veränderungen) herangezogen werden. Für Detailbetrachtungen müssen lokale Modelle entwickelt werden. Das in GLOWA-Danube erstellte Grundwassermodell (*GroundwaterFlow*) und die darauf basierenden Auswertungen liefern für lokale Fragestellungen aber die wesentlichen Randbedingungen (seitliche Zuflüsse, Verbindung zu weiteren Aquiferen, usw.).

2. Datenaufbereitung

Für die Erstellung des Grundwassermodells sind zwei Arten von Informationen erforderlich:

1. die statischen Parameter: sie beschreiben die nach menschlichen Zeitmaßstäben unveränderlichen Eigenschaften des Untergrundes – hierzu zählen Daten zur Beschreibung von Geometrie und Verbreitung von Grundwasserleitern und -geringleitern sowie die hydraulischen Parameter, die die Bewegung und Speicherung von Grundwasser im Untergrund bestimmen (siehe Abbildung 2.2.1.1),
2. die dynamischen Parameter: dazu gehören alle zeitlich variablen Größen wie Entnahmen, die Grundwasserneubildung aus Niederschlägen und der Austausch zwischen Grund- und Oberflächengewässern.

Da die entsprechende Datenbasis für das gesamte Einzugsgebiet der Oberen Donau nicht im erforderlichen Umfang bzw. in der erforderlichen räumlichen Auflösung zur Verfügung steht, müssen die vorhandenen Basisinformationen in vielfältiger Weise aggregiert, interpoliert, approximiert und v.a. stark abstrahiert werden. Das Modell zeigt deshalb nur eine beschränkte Variabilität, die lokale Besonderheiten häufig nicht berücksichtigt. Ausdruck dessen ist beispielsweise die Zusammenfassung der geologischen Eigenschaften im Einzugsgebiet der Oberen Donau in zehn hydrogeologische Basisklassen (siehe Kapitel 1.10).

Wichtigster Eingangsdatensatz für die Erzeugung eines Grundwassergleichenplans auf der Basis des Grundwassermodells ist die Grundwasserneubildung. In einem Grundwassermodell für ein komplettes Einzugsgebiet ohne seitlichen Zufluss liefert sie den gesamten Wassereintrag für das Grundwassermodell. In GLOWA-Danube wurde aus den Ergebnissen des Modells *Soil* aus der Hauptkomponente *Landsurface* eine gemittelte Grundwasserneubildung (siehe Kapitel 2.1.1) für die Periode 1990-2000 berechnet. Mittels einer Transferfunktion wird diese Neubildung für das Grundwassermodell bereitgestellt.

Neben der Grundwasserneubildung ist der Wasserstand in den Flüssen eine weitere wichtige Randbedingung des Modells. Er wurde wie die oberflächennahe Aquifergeometrie an das DGM 1000 angepasst, um einen hydrologisch konsistenten Datensatz zu erhalten. Die Darstellung der Aquifergeometrie auf einem groben Raster ist insbesondere für die alluvialen Aquifere eine besondere Herausforderung, da deren räumliche Ausdehnung verglichen mit dem in GLOWA-Danube gewählten Quadratkilometerraster sehr gering ist. Es gilt, integrativ die drei Datensätze

- oberflächennahe Aquifergeometrie
- Geometrie der Gewässer
- Wasserstand der Gewässer

für ein Quadratkilometerraster zu erstellen. Eine detailliertere Darstellung dieses Problems geben Wolf et al. (2004).

3. Modellbeschreibung

Ziel von *GroundwaterFlow* innerhalb von DANUBIA ist die Berechnung der zeitlichen Veränderungen der Grundwasserstände und damit die Änderung der Grundwasserverfügbarkeit für die Trinkwassergewinnung und für ökologische Belange in Abhängigkeit von naturräumlichen und zeitlichen Veränderungen. Das Modell *GroundwaterFlow* berechnet deshalb in DANUBIA täglich neue Werte für alle Modellzellen (Proxel). Da eine Darstellung dieser zeitlichen Veränderungen in einer Einzelkarte nicht praktikabel ist, wurde hier entschieden, ein stationäres Modellergebnis abzubilden, das auf Eingaben beruht, die über einen Zeitraum von 1990-2000 gemittelt wurden.

Das der Komponente *Groundwater* und ihrem Modell *GroundwaterFlow* zugrunde liegende Grundwassermodell ist ein Finite-Differenzen-Modell (FD-Modell). Ausgewählt wurde mit MODFLOW (McDonald & Harbaugh, 2000) ein aktuell gültiger internationaler Standard für diese Problemstellung. MODFLOW ist in nahezu unveränderter Form in die Java-Umgebung von DANUBIA integriert.

MODFLOW basiert auf der allgemeinen Grundwasserströmungsgleichung, die für ein isotropes, inhomogenes Medium im stationären dreidimensionalen Fall lautet:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(T \frac{\partial h}{\partial z} \right) = Q$$

x,y,z	kartesische Ortskoordinaten
h	Grundwasserspiegel
Q	Quellen- bzw. Senkenterm
T	Transmissivität

In einem FD-Modell wird dieses kontinuierliche System entweder mittels einer Taylorreihen-Näherung oder eines integralen Ansatzes in ein algebraisches Gleichungssystem überführt. Die Transmissivität T entspricht dem Produkt aus der wassererfüllten Mächtigkeit und der hydraulischen Durchlässigkeit K der wasserführenden Schicht. Sie ist bei gespannten Aquiferen konstant und bei ungespannten Aquiferen das Produkt aus hydraulischem Potential (dem Grundwasserspiegel) h und K.

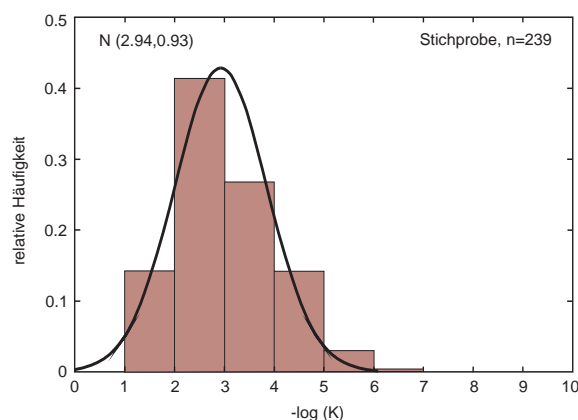


Abbildung 2.2.1.1: Das Histogramm und die daran angepasste Log-Normalverteilung der gemessenen Durchlässigkeiten im Einzugsgebiet der Oberen Donau.

K ist somit der wesentliche Parameter des stationären Modells. K wird in der Regel durch inverse Kalibrierung ermittelt, da selten genügend Daten für eine unabhängige Bestimmung zur Verfügung stehen. In der Komponente *Groundwater* wurde für die alluvialen Aquifere eine einfache Zonie-

rung gewählt und für diese aufgrund der aus der Literatur bekannten Messungen (239 Messungen für das gesamte Einzugsgebiet mit einem Mittelwert von $1,2 \times 10^{-3}$ m/s) Durchlässigkeiten zwischen 10^{-3} und 5×10^{-3} m/s zugelassen (siehe Abbildung 2.2.1.1).

4. Darstellung der Ergebnisse

Das Ergebnis der stationären Modellierung ist die Verteilung der Grundwasserspiegel in den alluvialen Aquiferen. Aus diesen Ergebnissen wurde die Grundwassergleichenkarte erstellt. In der Karte sind die 10 m-Isolinien sowie die maximalen Höhen des Grundwasserspiegels in einigen Kopfeinzugsgebieten als Mittel für die Dekade 1990-2000 in m ü. NN dargestellt. Zusätzlich sind diejenigen Bereiche gekennzeichnet, in denen großräumig Tiefengrundwasser aus dem Malmkarst in die oberflächennaheren Aquifere aufsteigt. Diese Gebiete spielen bei der Beurteilung des gesamten Grundwasserströmungssystems eine wichtige Rolle. Ein Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Grundwasserständen ist nur eingeschränkt aussagekräftig, da die berechneten Grundwasserstände sich jeweils auf eine 1×1 km² große Zelle beziehen. Innerhalb einer solchen Zelle können an verschiedener Stelle gemessene Grundwasserhöhen bereits erhebliche Unterschiede aufweisen.

Im Rahmen dieser Einschränkung zeigt Abbildung 2.2.1.2 den Vergleich zwischen beobachteten und berechneten Grundwasserständen in den alluvialen Aquiferen. Der mittlere absolute Fehler liegt bei 13,2 m bzw. 0,7% des Gesamtgradienten in den alluvialen Aquiferen (siehe Karte mit dem maximalen Wert von 2175 m ü. NN in den Alpen und dem Minimalwert von 309 m ü. NN am Pegel Passau-Achleiten).

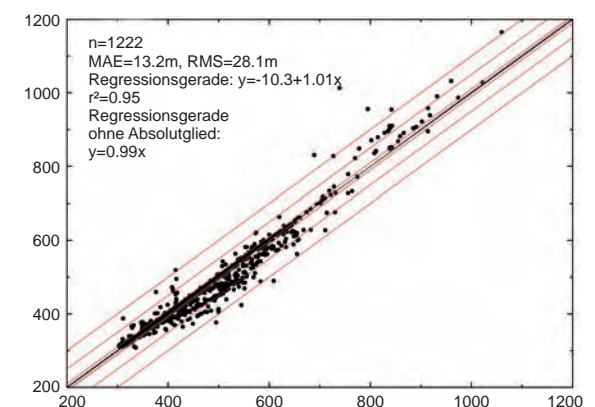


Abbildung 2.2.1.2: Vergleich zwischen 1222 beobachteten (x-Achse) und berechneten Grundwasserständen (y-Achse) in den alluvialen Aquiferen (in m ü. NN).

Die entstandene Gleichenkarte zeigt vergleichbare Ergebnisse mit der Veröffentlichung von Andres & Wirth (1985).

Literatur

- Andres, G. & Wirth, H. (1985): *Grundwassergleichenkarte von Bayern 1:500 000*. – Schriftenreihe Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, Heft 20, München.
- McDonald, M.G. & Harbaugh, A.W. (1988): *A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model*. U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 6, chap. A1.
- Wolf, J., Rojanschi, V., Barthel, R. & Braun, J. (2004): *Modellierung der Grundwasserströmung auf der Mesoskala in geologisch und geomorphologisch komplexen Einzugsgebieten*. – 7. Workshop zur großskaligen Modellierung in der Hydrologie, Kassel university press, S. 155-162.