



Karten: Bewertung des dynamischen Grundwasserindex für die Dekade 2050-2059

- Sehr gut
- Gut
- Moderat
- Schlecht
- Sehr schlecht

Karte 1: Gesellschaftsszenario *Baseline*
Karte 2: Gesellschaftsszenario *Performance*

Diagramme 1a-d:
Austragswahrscheinlichkeit, Vulnerabilitätsindex und Grundwasserqualitätsindex als Differenz zum Referenzzeitraum unter dem Gesellschaftsszenario *Baseline*

Diagramme 2a-d:
Austragswahrscheinlichkeit, Vulnerabilitätsindex und Grundwasserqualitätsindex als Differenz zum Referenzzeitraum unter dem Gesellschaftsszenario *Performance*

Die Berechnungen fanden unter dem Klimatrend *REMO regional* und der Klimavariante *Baseline* statt.

GLOBAL CHANGE ATLAS
EINZUGSGEBIET OBERE DONAU



Herausgeber:
GLOWA-Danube-Projekt, Ludwig-Maximilians-Universität München

3.2.8 Teilprojekt Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung und Wasserversorgung

Entwicklung von Vulnerabilität, Schadstoffaustragsrisiko und Grundwasserqualität in Folge geänderter Landnutzung, Grundwasserneubildung und Grundwasserständen

Rastergröße: 1 x 1 km²
Maßstab: 1: 3.800.000

Datengrundlage:
Voll dynamisch gekoppelter Modelllauf der DANUBIA-Komponenten *Biological*, *SNT*, *Deep-Farming* und *NaturalEnvironment* (PROMET) für die Jahre 2011-2059 sowie 1995-2006 (dynamische Landnutzung und Grundwasserneubildung).
Dynamisch gekoppelter Modelllauf der DANUBIA-Komponenten *GroundwaterFlow* und *WaterSupply* für die Jahre 2011-2059 sowie 1960-2006 (Grundwasserflurabstand).
Ergebnisse des statistischen Klimaantriebs-Generators (siehe Kapitel S3): Klimatrend *REMO regional*, Klimavariante *Baseline*
DANUBIA-Bodenarten
Hydrogeologie (siehe Kapitel 1.10)

Autoren:
R. Barthel, F. A. Pena Reyes
Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart

Grafik:
Abt. Kartographie
Lehrstuhl für Geographie und geographische Fernerkundung,
Ludwig-Maximilians-Universität München

3.2.8 Teilprojekt Grundwasserhaushalt, Grundwasserbewirtschaftung und Wasserversorgung - Abschätzung der Veränderung der Grundwasserqualität in Folge von Landnutzungs- und Grundwasserneubildungsänderungen

1. Einleitung

Der hier vorgestellte dynamische Grundwasserqualitätsindex (GWQ-Index) wird aus den durch das Modell *Farming* ermittelten Landnutzungsänderungen (siehe Kapitel 3.3.1) und der sogenannten intrinsischen Grundwasservulnerabilität berechnet. Unter intrinsischer Vulnerabilität versteht man das (hypothetische) Risiko einer Grundwasserverunreinigung in einem räumlich begrenzten Bereich für den Fall, dass an der Landoberfläche in diesem Bereich eine Schadstoffbelastung auftritt. Dieses Risiko wird z.B. durch die Durchlässigkeit der Deckschichten, den Grundwasserflurabstand oder auch die Grundwasserneubildung (GWN) im betreffenden Bereich bestimmt. Zur Ermittlung der Vulnerabilität wird der weit verbreitete DRASTIC-Ansatz (Aller et al., 1987) eingesetzt.

Der hier vorgestellte GWQ-Index berücksichtigt ausschließlich diffuse Einträge aus der Landwirtschaft (Düngemittel, Pflanzenschutzmittel - PSM), nicht aber punktuelle Quellen wie z.B. industrielle Altlasten. Einträge aus der Landwirtschaft werden aus der Landnutzung abgeschätzt. Dazu wird jeder Landnutzung eine Belastungswahrscheinlichkeit für den Austrag von Stickstoff und Pflanzenschutzmitteln zugewiesen. Die Zuweisung erfolgt anhand von Literaturwerten und Expertenwissen.

Der GWQ-Index berechnet sich aus der Kombination von Belastungsrisiko und Vulnerabilität. Damit hat eine Änderung der Landnutzung eine Änderung des GWQ-Index zur Folge. Auch die Vulnerabilität ist dynamisch, da sie Änderungen der GWN und des Grundwasserflurabstands berücksichtigt. Da die Landnutzung sich jährlich ändert, wird auch der GWQ-Index in Jahresschritten berechnet. Kurzfristige (tägliche) Änderungen von GWN und Grundwasserständen bleiben unberücksichtigt.

Dieser relativ einfache GWQ-Index stellt eine Alternative und Ergänzung zu den numerischen Transportmodellen für Grundwasser und Boden dar und erlaubt eine schnelle Einschätzung tendenzieller Entwicklungen.

2. Methodik

2.1 Berechnung der Grundwasservulnerabilität

Der DRASTIC-Ansatz ist unter den zahlreichen Verfahren zur Berechnung der Grundwasservulnerabilität der am häufigsten eingesetzte und gleichzeitig der am besten für die regionale Skala geeignete, da er relativ wenige, meist flächendeckend verfügbare Daten verwendet. Das Akronym DRASTIC setzt sich aus den (englischen) Anfangsbuchstaben der sieben verwendeten Parameter zusammen: Grundwasserflurabstand (Depth), GWN (Recharge), Aquifermaterial, Bodenart (Soil), Topographie, Einfluss der ungesättigten Zone (Impact) und Durchlässigkeit (Hydraulic Conductivity). Die Berechnung des Index bzw. die Zuweisung dieser Parameter erfolgt üblicherweise für Rasterzellen.

Die Bedeutung der Parameter für die Vulnerabilität wird durch Gewichte, meist mit Werten von 1 bis 5, festgelegt. Die Parameterwerte werden klassifiziert, um festzulegen, welchen Einfluss die Höhe eines Parameterwertes auf die Vulnerabilität hat. So ist z.B. das Risiko einer Verunreinigung umso größer, je geringer der Grundwasserflurabstand ist. Üblicherweise werden 10 Klassen verwendet (1 = geringes Risiko, 10 = hohes Risiko).

Der DRASTIC-Index D pro Modellzelle (hier: ein Proxel) berechnet sich als Summe der Produkte aus Gewichten wX_i und Klassen rX_i (rating) der einzelnen Parameter X_i mit $i=\{D,R,A,S,T,I,C\}$:

$$D = \sum_{i=1}^7 wX_i \cdot rX_i$$

Werte für Gewichte und Klassifikationsschemata werden in der Literatur vorgeschlagen. Eine Anpassung an die individuellen Gegebenheiten der betrachteten Region ist aber meist erforderlich. Bei der Festlegung von Gewichten und Klassen kann auch das unterschiedliche Transport- und Abbauverhalten von Schadstoffen berücksichtigt werden. Im vorliegenden Fall wäre hier eine Unterscheidung von Stickstoff und PSM möglich. Tabelle 3.2.8.1 zeigt die verwendeten Gewichte.

Die Klassifikationen der Werte für die einzelnen Parameter (ratings) können hier aus Platzgründen nicht wiedergegeben werden.

Parameter	Gewichte (pauschal)	Gewichte (PSM)
Grundwasserflurabstand	5	5
Grundwasserneubildung	4	4
Aquifertyp	3	3
Bodenart	2	5
Topographie (Hangneigung)	1	3
Ungesättigte Zone (Typ)	5	4
Hydraulische Leitfähigkeit (Aquifer)	3	2

Tabelle 3.2.8.1: Gewichte für die Berechnung des DRASTIC-Index.

2.2 Berechnung der Austragswahrscheinlichkeit

Die (intrinsische) Vulnerabilität sagt zunächst wenig über eine tatsächliche Verunreinigung des Grundwassers an einem Standort aus. Diese kann nur abgeschätzt werden, wenn tatsächliche Schadstoffquellen bekannt sind. Der Berechnung des GWQ-Index liegt die Überlegung zugrunde, dass jeder Landnutzung eine Wahrscheinlichkeit für die Verwendung und den Austrag (Sickerung aus der Wurzelzone) von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln zugeordnet werden kann. Diese (Austrags-)Wahrscheinlichkeit steht im Zusammenhang mit der Applikationsmenge und der Applikationshäufigkeit der für die Anbauart typischen Produkte. In Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt Agrarökonomie (*Farming*) wurde für die in DANUBIA verwendeten Landnutzungsklassen eine Zuordnung solcher Wahrscheinlichkeiten vorgenommen. Hierbei bedeutet 1 niedrige Wahrscheinlichkeit und 5 hohe Wahrscheinlichkeit eines Schadstoffaustrags. Die Zuordnung basiert auf Expertenwissen der Projektgruppen sowie z.B. auf den Aussagen von Roßberg et al. (2002) für Pflanzenschutzmittel und auf den Angaben von Schmidt und Osterburg (2005) für Stickstoff. Letztere haben den Anteil des Stickstoffs in der Gesamtbilanz beurteilt, der nicht direkt verwertet werden kann. Für Pflanzenschutzmittel wurde von Roßberg et al. (2002) ein Behandlungsindex entwickelt, der in der genannten Publikation ausführlich beschrieben wird. Die Austragswahrscheinlichkeiten pA für eine Auswahl von Landnutzungen sind in Tabelle 3.2.8.2 wiedergegeben.

Landnutzung	extensives Grünland	Laubwald	Nadelwald	natürliches Grünland	Ackerfrucht	Heide	Leguminosen	Mais	Silomais	Roggen	Sommergetreide	Wintergetreide	Zuckerrüben	Winterraps	Kartoffeln	Sonderkulturen
Risikoklasse PSM	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	5	5
Risikoklasse Nitrat	1	1	1	1	2	3	3	4	4	1	1	1	3	1	4	5

Tabelle 3.2.8.2: Austragswahrscheinlichkeiten für Pflanzenschutzmittel und Nitrat für ausgewählte Landnutzungen bzw. Anbauarten.

Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass ein Proxel mehrere Landnutzungen aufweisen kann, wird die Gesamt-Austragswahrscheinlichkeit pro Proxel pA_{Pr} mit den Flächenanteilen A_i (%) und den Austragswahrscheinlichkeiten der einzelnen Anbauarten gewichtet berechnet. Weiterhin wird berücksichtigt, dass die Austragswahrscheinlichkeiten für Pflanzenschutzmittel $pAPSM_i$ und Stickstoff pAN_i für n Landnutzungen LN_i unterschiedlich hoch sind. Optional kann noch eine unterschiedliche Bewertung des Risikos durch Stickstoff und PSM berücksichtigt werden (Faktor k , hier mit $k=1$).

$$pA_{Pr} = \sum_{i=1}^n LN_i \cdot A_i \cdot pAN_i + k \cdot \sum_{i=1}^n LN_i \cdot A_i \cdot pAPSM_i$$

2.3 Berechnung des dynamischen Grundwasserqualitätsindex (GWQ-Index)

Der GWQ-Index ergibt sich aus der Multiplikation des DRASTIC-Index D mit der Austragswahrscheinlichkeit pA_{Pr} für jedes Proxel.

$$GWQ = D_{Pr} \cdot pA_{Pr}$$

Mit den in den jeweiligen Berechnungen verwendeten Gewichten und Klassen kann der GWQ-Index maximal den Wert 230.000 annehmen. Dazu müsste ein Proxel vollständig mit Sonderkulturen bepflanzt und das Grundwasser nahezu ungeschützt sein. In den Berechnungen liegen die höchsten realisierten Werte bei ca. 100.000

für den Referenzzeitraum und 140.000 für die Szenarien. Da die Höhe der berechneten Werte keine unmittelbare Erkenntnis über die Grundwasserqualität erlaubt, werden die Werte nach der in Tabelle 3.2.8.3 gezeigten Zuordnung klassifiziert:

Bewertung	D	pA	GWQ
sehr gut/sehr gering	23 bis 65	10 bis 200	230 bis 15.000
gut/gering	66 bis 110	201 bis 400	15.001 bis 45.000
moderat	111 bis 155	401 bis 600	45.001 bis 90.000
schlecht/hoch	156 bis 200	601 bis 800	90.001 bis 160.000
sehr schlecht/sehr hoch	> 200	> 800	> 160.000

Tabelle 3.2.8.3: Nominale Bewertung und Klassifizierung des dynamischen GWQ-Index.

3. Validierung mit Messdaten zur Grundwasserqualität

Der DRASTIC-Ansatz ist ein sehr einfaches konzeptionelles Verfahren, das einen hohen Grad an Pauschalisierung und eine Vielzahl subjektiver Festlegungen beinhaltet. Gleiches gilt für die Zuweisung von Schadstoffaustragswahrscheinlichkeiten zu Landnutzungsklassen und damit letztlich für den GWQ-Index insgesamt. Sinnvoll, wenn auch schwierig zu realisieren, ist deshalb eine Überprüfung der Berechnungsergebnisse mit gemessenen Daten der Grundwasserbelastung bzw. Messungen von Schadstoffkonzentrationen in Boden und Sickerwasser. Während Messwerte für Nitrat im Grundwasser an zahlreichen Stellen vorliegen (siehe Kapitel 1.18), sind Messungen von aktuell angewendeten Pflanzenschutzmitteln sowie Boden- und Sickerwassermessungen eher selten. Eine Validierung mit Messwerten gelingt deshalb nur in engen Grenzen bei der Betrachtung von Stickstoff im Grundwasser. Zu berücksichtigen ist auch die große Diskrepanz zwischen Berechnungsskala (Proxel) und Beobachtungsskala (Punkt).

4. Darstellung der Ergebnisse

Die Karten zeigen die zeitlich aggregierten Ergebnisse für die beiden Gesellschaftsszenarien *Performance* und *Baseline* (siehe Kapitel S6), jeweils kombiniert mit dem Klimaszenario *REMO regional – Baseline* (siehe Kapitel S1-S4), für vier ausgewählte Landkreise. Dargestellt ist jeweils der Mittelwert des GWQ-Index für die Dekade 2050-2059, klassifiziert nach den in Tabelle 3.2.8.3 angegebenen Bewertungsklassen.

In den Diagrammen wird die zeitliche Entwicklung des Vulnerabilitätsindex (D), der Austragswahrscheinlichkeit (pA) und des GWQ-Index dargestellt. Für die Darstellung wurde jeweils der Mittelwert aus der Referenzdekade (ermittelt aus Ergebnissen einer Referenzsimulation) von den Szenarienergebnissen subtrahiert. Damit zeigt eine Erhöhung der dargestellten Werte eine Verschlechterung an.

Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse für alle vier Landkreise eine deutliche Fluktuation der Vulnerabilität, die auf die deutlichen Änderungen der dynamischen Größen (GWN und Grundwasserstand) zurückzuführen ist. Außerdem zeigt sich eine leicht abnehmende Tendenz des GWQ-Index, sprich eine leichte Verbesserung der GWQ in allen Landkreisen für beide Szenarien. Unter Berücksichtigung der Klassifikationen (siehe Tabelle 3.2.8.1) sind die Änderungen der Werte im Mittel sehr gering. Ebenso beschränken sich die Unterschiede in der Fläche auf wenige Proxel. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die Veränderungen der Landnutzung nicht gravierend sind und die Grundwasserneubildung nur leicht abnimmt.

Literatur

Aller, L., Bennet, T., Lehr, JH., Petty, R.J. & Hackett, G. (1987): *DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological setting*. EPA/600/2-87/035. US Env. Protection Agency, 163 p.
Roßberg D., Gutsche V., Enzian, S. & Wick, M. (2002): *Neptun 2000 - Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands*, Heft 98.
http://nap.jki.bund.de/dokumente/upload/de62b_NEPTUN_2000_Ackerbau1.pdf.
Schmidt, T. & Osterburg, B. (2005): *Aufbau des Berichtsmoduls „Landwirtschaft und Umwelt“ in den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen*. FAL, Abschlussbericht 2005, Braunschweig und Wiesbaden.