

# Flächendifferenzierte Modellierung der Grundwasserneubildung im Mondsee Einzugsgebiet

Hermann KLUG, Gerald SCHIEDER, Yvonne WASNER und Gerlinde MAISLINGER

*Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“ angenommen.*

## Zusammenfassung

Die Quantifizierung der Grundwasserneubildung dient der Modellierung der mit Wasser ausgetragenen Substanzen und ist für die wasserwirtschaftliche Planung von großer Bedeutung. Für die Ermittlung der Phosphoremissionen mit der Versickerung wurde im Drei-Seen-Gebiet (Fuschlsee, Irrsee, Mondsee) nordöstlich der Stadt Salzburg eine Berechnung der Grundwasserneubildungsrate durchgeführt. Ziel dieser Abhandlung ist der Nachweis, dass das Verfahren zur Berechnung der Grundwasserneubildung nach Dörhöfer und Josopait auch für das Hügel- und Bergland der voralpinen Region des Salzkammergutes plausible Ergebnisse liefert. Die Methode wird anhand ausführbarer Modelle und eines Python Programms angewandt und bietet dem Anwender ein Tool, mit dem die einzelnen Berechnungen halbautomatisch umsetzbar sind. Das Ergebnis sind Grundwasserneubildungsraten von 150 bis 1300 mm/Jahr, wobei im Bereich des Talbodens der Fuschlerache die größte Versickerung erfolgt. Bei einem von Norden nach Süden zunehmenden durchschnittlichen Gesamtniederschlag von etwa 1400 mm/Jahr folgt die Grundwasserneubildungsrate diesem Trend. Als Schlussfolgerung der Ergebnisse kann die Übertragbarkeit des Verfahrens bestätigt werden.

## 1 Einleitung und Zielsetzung

In der DIN 4049-3 ist Grundwasserneubildung definiert als „Zugang von infiltriertem Wasser zum Grundwasser“, d.h. die Grundwasserneubildung ist die Wassermenge, welche aus dem Sickerraum über den Kapillarraum an der Grundwasseroberfläche in den Grundwasserraum übertritt. Zu ihrer messtechnischen Erfassung eignen sich am ehesten Lysimeter, also bauliche Anlagen, in denen der Sickerwasseranteil zur Aufstellung von Mengen- oder Stoffbilanzen aufgefangen wird. Andere Verfahren ermitteln die Grundwasserneubildung auf indirektem Wege (PROKSCH 1990). Die Grundwasserneubildung ergibt sich z.B. aus der Wasserhaushaltsgleichung, wenn Niederschlag, Verdunstung und Oberflächenabfluss bekannt sind.

Die Ermittlung der Grundwasserneubildung beinhaltet die Erfassung der Größe und Verteilung der Grundwasserneubildungs- und deren Ergänzungsprozesse sowie die Abschätzung der örtlich differenzierten Sickerwasserrate. Dies dient der Gewährleistung eines dauerhaften Schutzes der Grundwasserressourcen (BASTIAN & SCHREIBER 1999, 269 ff.) und stellt darüber hinaus eine der Grundlagen für wasserwirtschaftliche Planungen dar (DÜRBAUM & LILLICH 1969). Ferner sollen die Auswirkungen von Nährstoffemissionen auf das Grund-

wasser abgeschätzt werden. Diese Untersuchungen dienen als Grundlage für die ländliche Planung und geben Hilfestellung für Entscheidungen im Rahmen von Planungsstrategien wie zum Beispiel Festsetzung von Trinkwasserschutzgebieten oder Düng-Richtlinien. Anlässlich der im Rahmen von Messreihen indizierten geringfügigen Anstiege des durchschnittlichen Phosphorgehaltes vom IRRSEE (2002) und Mondsee (2003) (GASSNER et al. 2006, ACHLEITNER et al. 2007) wurden im Rahmen des SeenLandWirtschafts Projektes weitere Analysen durchgeführt. Neben punktuellen Gewässerbeprobungen erfolgte die Umsetzung eines flächendeckenden Ansatzes zu Abschätzung von Phosphoremissionen. Die Kenntnis der Nährstoffaustragspfade resultiert aus der Aufspaltung des Wasserhaushalts in die Komponenten Niederschlag, Verdunstung, Oberflächenabfluss, Drainageabfluss und Versickerung sowie den mit dem Wasser transportierten Phosphor (KLUG & ZEIL 2008).

Eine wichtige Ausgangsgröße für die Quantifizierung des Wasserhaushalts eines Gebietes ist die Grundwasserneubildung in ihrer örtlichen Verteilung. Zu ihrer Ermittlung gilt es, ein Verfahren zu finden, welches eine flächendifferenzierte Berechnung für größere Gebiete mit vertretbarem Arbeitsaufwand zulässt. Als geeignet erschien der Ansatz von DÖRHÖFER & JOSOPAIT (1980).

## 2 Das Mondsee Einzugsgebiet

Das Einzugsgebiet des Mondsees befindet sich nordöstlich der österreichischen Stadt Salzburg und besitzt eine West-Ost-Ausdehnung von 27 km. Es ist eingebettet in ein dem Alpennordkamm nördlich vorgelagertem Gebiet mit mehr als einem Dutzend mittelgroßer und kleinerer Seen (Abbildung 1). Obgleich das Einzugsgebiet als eine naturräumlich-hydrologische Einheit zu betrachten ist, ist es aus administrativer Sicht zweigeteilt: Das Bundesland Oberösterreich verwaltet den östlichen Teil und Salzburg den westlichen Teil und Salzburg den westlichen Teil des 248 km<sup>2</sup> großen Einzugsgebietes. Der Südteil der 20 km messenden Nord-Südlichen Ausdehnung des Einzugsgebietes wird durch die Ausläufer des Alpennordkamms abgegrenzt. Hier ragen bei der Drachenwand steile Wände von 400 bis über 1600 m hinauf. Weitere Informationen zur Charakterisierung der naturräumlichen und sozio-ökonomischen Gegebenheiten im Einzugsgebiet Mondsee sind der Webseite <http://www.phosphor.hermannklug.com/untersuchungsgebiet/kurzfassung.html> zu entnehmen.

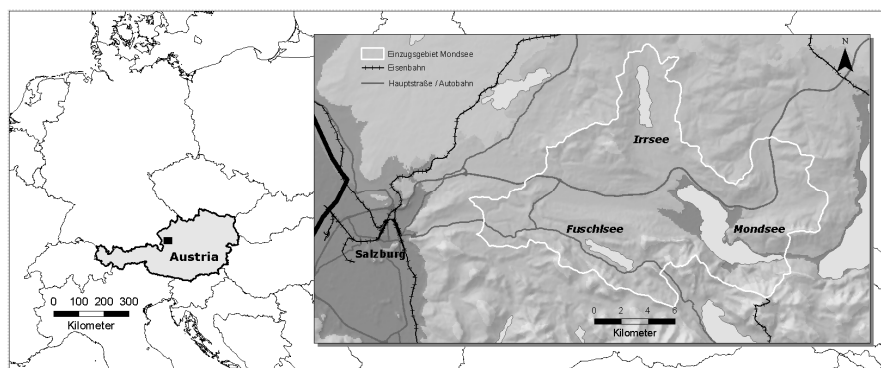


Abb. 1: Das Mondsee Einzugsgebiet

### 3 Methode zur Abschätzung der Grundwasserneubildung

Der folgende Abschnitt behandelt das umgesetzte Verfahren, die verwendeten Datengrundlagen sowie die einzelnen räumlichen Operationen, die über Modelle und ein Pythonskript in einem Geographischen Informationssystem (GIS) umgesetzt werden.

Die Berechnung der Grundwasserneubildung in Stufen erfolgt nach der Methode von DÖRHÖFER & JOSOPAIT (1980). Das Verfahren wurde für den Maßstab 1:200.000 konzipiert, ist laut den Autoren des Verfahrens jedoch auch für Maßstäbe bis etwa 1:50.000 einsetzbar. Die Methode eignet sich besonders für Untersuchungen in Locker- und Festgesteinsgebieten. Die Berücksichtigung des Oberflächenabflusses erlaubt auch die Anwendung im Hügel- und Bergland, wobei der oberflächennahe Infiltrationsprozess unter mittlereuropäischen Klimaverhältnissen beurteilt wird.

Als Datengrundlage dient eine in Kooperation mit der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) erstellte Niederschlagskarte. Ferner wurden Landnutzungsdaten (Corine, Level 2, EEA 2009) herangezogen. Hangneigungen wurden aus dem digitalen Geländemodell des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV) mit einer Auflösung von 10 m generiert. Bodenparameter wurden aus der für das Projektgebiet aufbereiteten österreichischen Bodenkarte (ÖBK 25) extrahiert und weitere bodenphysikalische Parameter abgeleitet.

Die Methodik setzt sich aus einem Bodenmodell, einem Hangneigungsmodell, einem Niederschlagsmodell und einem Landnutzungsmodell zusammen, aus denen anhand eines Python-Skripts ([www.hermannklug.com](http://www.hermannklug.com) → Beruf → Publikationen) synthetisiert das Ergebnis berechnet wird.

#### Das Bodenmodell

Ein wesentlicher Zweck der Umsetzung von Pedotransferfunktionen ist, vorhandene Bodenkarten mit zusätzlichen Informationen zu hydraulischen oder mechanischen Eigenschaften der Böden zu versehen. Das heißt, die Kombination erlaubt die Darstellung der flächenhaften Verbreitung verschiedener Bodeneigenschaften, die aus der Bodenkartierung nicht direkt hervorgehen, aber für eine Abschätzung von bestimmten Zuständen (wie z.B. Aufenthaltszeit und Transport von Stoffen im Wasser) unerlässlich sind. Gemäß dem Verfahren von Dörhöfer und Josopait (1980) werden der Bodenkarte (ÖBK25) zwei Attributfelder hinzugefügt. Das Attributfeld *BodenArt* nimmt die Bodenart auf (Tabelle 1), während das Attributfeld *HydroTyp* den Hydromorphietyp spezifiziert (Tabelle 2). Abbildung 2 legt die einzelnen Arbeitsschritte der Umsetzung dar.

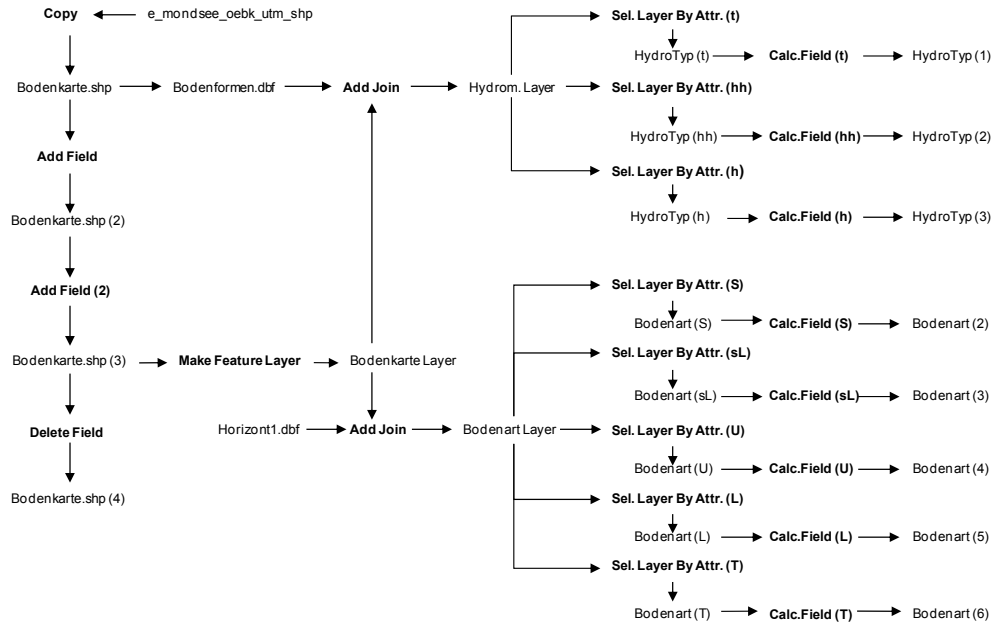
**Tabelle 1:** Zuweisung von Werten zur Bodenart

Wert	Bodenart
1	sandig
2	lehmig-sandig, sandig-schluffig, schluffig-sandig
3	schluffig-lehmig
4	schluffig
5	lehmig
6	tonig

**Tabelle 2:** Zuweisung von Werten und Hydromorphietypen zu Bodentypen

Wert	Hydromorphietyp	GWFA*	Wichtige Bodentypen
1	terrestrisch	> 1,5 m	Ranker, Rendzina, Braunerde, Fahlerde, Rosterde, Podsol, Schwarzerde, Griserde
2	halbhydromorph	0,8- 1,5 m	Braunstaugley, Braungley (Vega)
3	hydromorph	< 0,8 m	Gleye, Staugleye, Amphigleye, Anmoor, Moor

\*GWFA: Grundwasserflurabstand



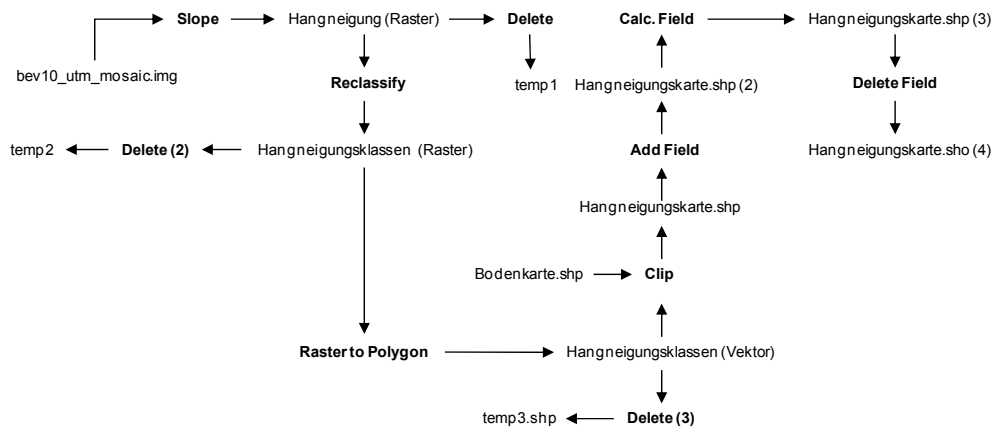
**Abb. 2:** Das Bodenmodell

### Das Hangneigungsmodell

Das Hangneigungsmodell generiert aus dem digitalen Geländemodell (DGM) entsprechend Tabelle 3 Hangneigungsklassen nach dem Verfahren von Dörhöfer und Josopait (1980). Der Arbeitsablauf wird in Abbildung 3 dargestellt.

**Tabelle 3:** Wertzuweisung zu einzelnen Hangneigungsklassen

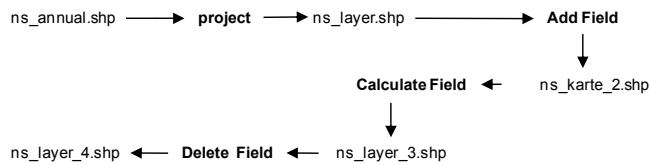
Wert	Hangneigung [in °]	Wert	Hangneigung [in °]	Wert	Hangneigung [in °]
1	0-0,5	3	3-7	5	12-25
2	0,5-3	4	7-12	6	> 25



**Abb. 3:** Das Hangneigungsmodell

### Das Niederschlagsmodell

Das neue Attributfeld *MitJahrNS* nimmt den mittleren Jahresniederschlag in mm auf (vgl. Abb. 4).



**Abb. 4:** Das Niederschlagsmodell

### Das Landnutzungsmodell

Der Landnutzungskarte wird ein Datenfeld namens *LandNutz* hinzugefügt und unterscheidet Wasser (0), Offenland (1) und Wald (2) (vgl. Abb. 5).

### Modellsynthese

Aus den vier genannten Modellen wird mittels eines Pythonskript aus Hydromorphietyp und Hangneigung der Abflussquotient (Tabelle 4) sowie aus Bodenart, Landnutzung und Hydromorphietyp die Verdunstungsstufe bestimmt (Tabelle 5).

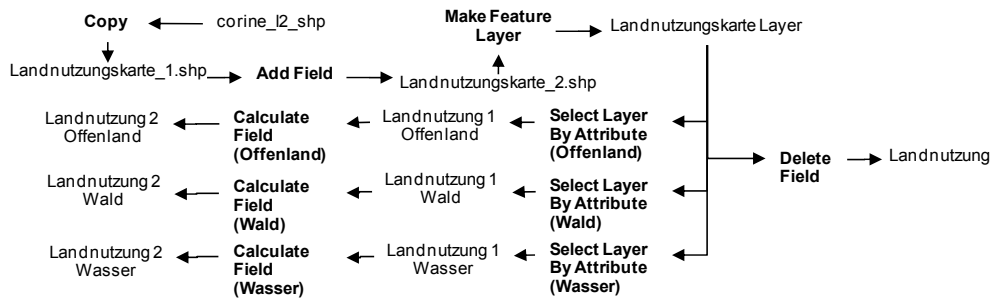


Abb. 5: Das Landnutzungsmodell

Tabelle 4: Ermittlung des Abflussquotienten (*AbflQuot*)

Hydromorphietyp	Hangneigung [in °]					
	0-0,5	0,5-3	3-7	7-12	12-25	> 25
terrestrisch	1,0	1,2	1,5	1,7	2,0	2,3
halbhydromorph	2,0	2,0	2,0	2,0	2,3	2,3
hydromorph	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

Tabelle 5: Ermittlung der Verdunstungsstufe (*ET\_Stufe*)

Hydromorphietyp	Offenland			Wald		
	T	HH	H	T	HH	H
sandig	2	3	11	6	7	11
lehmig-sandig, sandig-schluffig, schluffig-sandig	4	5	11	7	8	11
schluffig-lehmig	7	8	11	8	10	11
schluffig	6	7	11	9	9	11
lehmig	9	10	11	10	11	11
tonig	10	11	11	11	11	11

T: terrestrisch, HH: halbhydromorph, H: hydromorph

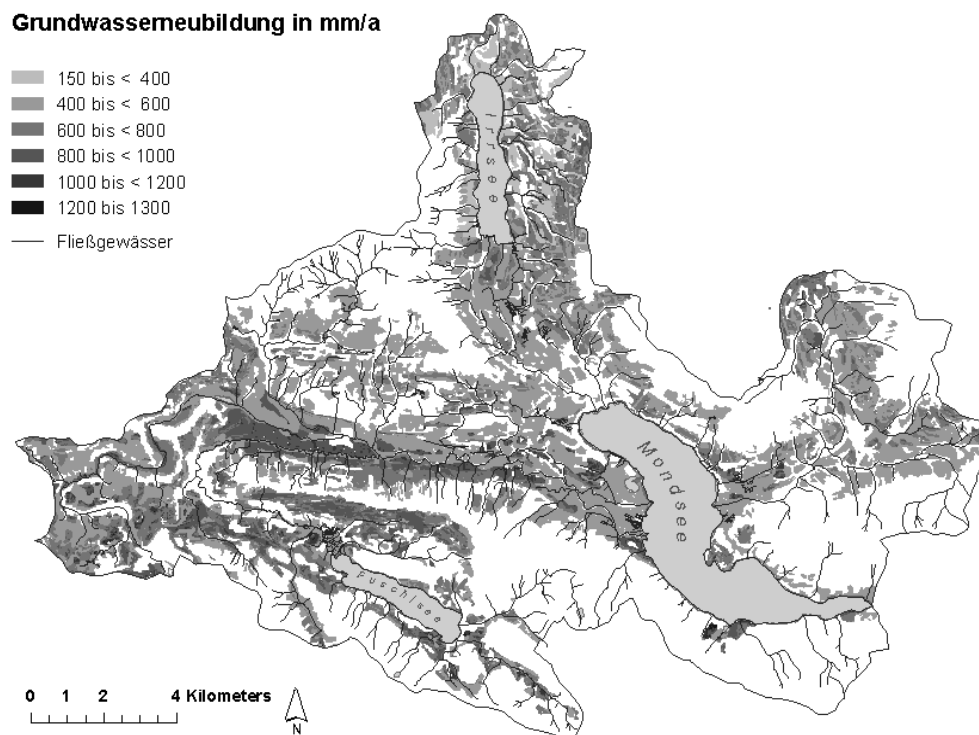
Zuletzt berechnet ein Skript ([www.hermannklug.com](http://www.hermannklug.com) → Beruf → Publikationen) aus dem mittleren Jahresniederschlag (*MitJahrNS*), der Verdunstungsstufe (*ETStufe*) und dem Abflussquotienten (*AbflQuot*) die auf ganze Zahlen gerundete Grundwasserneubildungsstufe (Formel 1).

$$GWN = 1 + \frac{((MitJahrNS - 312,5) - (ETStufe \cdot 25,0))}{(AbflQuot \cdot 50,0)} \tag{1}$$

## 4 Ergebnisse der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet Mondsee

Die in Abbildung 6 dargestellte Karte zeigt die berechnete Grundwasserneubildungsrate auf landwirtschaftlichen Nutzflächen. Alle innerhalb des abgegrenzten Einzugsgebietes liegenden Flächen ohne graue Signatur sind Wald- bzw. Siedlungsflächen. Diese konnten aufgrund der fehlenden Bodeninformationen bzw. der bestehenden Versiegelung nicht in die Berechnung einbezogen werden. Die grauen Flächen zeigen die einzelnen Stufen der Grundwasserneubildung an.

Für die in Abbildung 6 gezeigten Klassen konnten die in Tabelle 6 dargestellten Flächenanteile von insgesamt 120 km<sup>2</sup> und den entsprechenden durchschnittlichen Grundwasserneubildungsraten ermittelt werden. Etwa achtzig Prozent der berechneten Fläche weist eine Grundwasserneubildungsrate von weniger als 400 mm/Jahr auf. Weitere 19 % der Flächen weisen Grundwasserneubildungsraten von 400 bis 600 mm/Jahr auf, während die restlichen 2 % der Fläche Raten von über 600 mm/Jahr aufweisen.



**Abb. 6:** Die durchschnittlichen jährlichen Grundwasserneubildungsraten des Einzugsgebietes Mondsee in mm/Jahr

**Tabelle 6:** Fläche der einzelnen Grundwasserneubildungsklassen dargestellt in 6 Stufen

ID	Klasse	mm/Jahr	Fläche in km <sup>2</sup>
0	–	Keine GWN	127,7
1	4-8	< 400	95,1
2	8-12	400 – 600	22,7
3	12-16	600 – 800	1,6
4	16-20	800 – 1000	0,6
5	20-24	1000 – 1200	0,2
6	24-26	> 1200	0,0
<b>Summe</b>			248

Keine GWN: Keine Grundwasserneubildung (Wald- und Siedlungsflächen)

Berechnet man für jede einzelne Klasse aus Tabelle 6 die Wassermenge pro Quadratmeter und setzt diese in Bezug zu den 120 km<sup>2</sup> der Flächen mit Berechnung der Grundwasserneubildung, so ergibt sich für das Mondsee-Einzugsgebiet eine mittlere Grundwasserneubildung von etwa 330 mm/Jahr.

## 5 Diskussion

Das Ergebnis zeigt die Grundwasserneubildungsstufen von 4 bis 26, wobei Stufe 1 einer Wassermenge von 0 bis 50 mm/Jahr entspricht. Alle Stufen weisen ein Vielfaches davon auf (Stufe 4 = 150 bis 200 mm/Jahr). Die Grundwasserneubildungsstufen wurden in 6 Klassen zusammengefasst. Wie aus Abbildung 6 ersichtlich, befinden sich die höheren Grundwasserneubildungsraten mit Werten von ca. 800 bis 1000 mm/Jahr entlang der Fuschlerache. Der Fluss verbindet den Fuschlsee mit dem Mondsee und weist insbesondere in der West-Ost-Fließrichtung eine weite Talbodenaue auf. Die hohen Werte begründen sich einerseits auf den hohen Niederschlagsjahressummen in diesem Gebiet (etwa 1600 mm) sowie andererseits durch die Versickerung des Wassers von der Fuschlerache. Ferner bedingt die topographische Situation des Gebiets die vermehrte Grundwasserneubildung im Talboden. Entlang der Seen und Fließgewässer befinden sich Großteils hydromorphe und halbhydromorphe Böden, welche stark durchlässig sind und zudem auch eine hohe Grundwasserneubildungsrate aufweisen, vorausgesetzt die Böden wurden nicht verbaut bzw. entwässert.

Die Werte der Grundwasserneubildung zwischen 150 bis 800 mm/Jahr werden durch hellgraue Flächen gekennzeichnet. Diese Gebiete setzen sich zum Großteil aus landwirtschaftlichen Nutzflächen zusammen. Ferner ist auch hier die Grundwasserneubildung entlang des Mondsees, Irrsees und Fuschlsees durch die Durchlässigkeit der Seeufer geprägt.

Die aus 700 m steile Erhebung der Drachenwand an der zentralen Süd-West Seite des Mondsees stellt eine Wetterbarriere dar. Diese fast senkrechte Barriere bewirkt die Ableitung des Niederschlags über den Oberflächenabfluss in den See. Daher findet keine Grundwasserneubildung statt. Ferner ist die Einordnung der Grundwasserneubildung in diesem Gebiet durch den geologischen Karst-Untergrund erschwert. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass vor allem die Topographie, die Böden und das dichte Gewässernetz mit



entsprechenden Auswirkungen auf den Hydromorphietyp der Böden im Drei-Seen-Gebiet für die Verteilung der Grundwasserneubildungsrate verantwortlich sind. Da keine In-situ-Messungen (z.B. über Lysimeter) im Einzugsgebiet bzw. in direkter räumlicher Nähe vorliegen, wurde zur Verifizierung der Genauigkeit der berechneten Grundwasserneubildungsraten auf Literaturwerte zurück gegriffen.

MARKS et al. (1992, 79 ff.) verwenden für die Berechnung der Grundwasserneubildung die Methode von RENGER & STREBEL (1980). Die in Gesamtdeutschland durchgeführte Berechnung für die flächendifferenzierte Bestimmung der mittleren Grundwasserneubildung beinhaltet drei Bewertungsgrundlagen (nutzbare Feldkapazität, Landnutzung, klimatische Wasserbilanz). Im Unterschied der hier verwendeten Methode wurde jedoch das Relief bzw. der Oberflächenabfluss nicht berücksichtigt. Die Berechnung der Grundwasserneubildungsrate wurde für die Kategorien Ackerland, Grünland, Laubwald und Nadelwald durchgeführt. Das Ackerland mit einer Grundwasserneubildungsrate von 245 mm/Jahr und das Grünland mit einer Rate von 220 mm/Jahr in Deutschland kann mit den landwirtschaftlichen Nutzflächen und Siedlungsflächen im Drei-Seen-Gebiet verglichen werden.

BASTIAN & SCHREIBER (1999) verwendeten für die Berechnung der Grundwasserneubildungsrate in der sächsischen Schweiz ebenfalls die Methode von DÖRHÖFER & JOSOPAIT (1980). Folgende Parameter wurden, gleich wie im Drei-Seen-Gebiet, in das Verfahren mit einbezogen: mittlerer Jahresniederschlag, potenzielle Verdunstung, Bodenkennwerte (Bodenartengruppen und Hydromorphietypen), Hangneigung und Flächennutzung. Trotz der übereinstimmenden Vorgehensweise können erhebliche Unterschiede bei den Ergebnissen festgestellt werden. So liegen die Werte der Grundwasserneubildungsrate in der sächsischen Schweiz zwischen 0 und 300 mm/Jahr. Diese größeren Diskrepanzen sind einerseits auf die in der sächsischen Schweiz um die Hälfte geringer ausfallenden Jahresniederschläge zurückzuführen. Andererseits verweisen BASTIAN & SCHREIBER (1999) auf die unterschiedliche Vegetationsbedeckung, welche die Grundwasserneubildungsrate stark variieren lässt. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass ein empirisches Modell nur mit Vorbehalt ohne Anpassungen von einer Region auf eine andere Region übertragen werden kann.

SIMON (2002) verwendete ein abgewandeltes Verfahren von DÖRHÖFER & JOSOPAIT (1980). Die verwendeten beeinflussenden Größen im modifizierten Modell von Simon sind Bodenart und -struktur, Bodenmächtigkeit, Feldkapazitäten, Grundwasserflurabstand, Niederschlag, Vegetationsverdunstung und Flächennutzung. Das Untersuchungsgebiet bildet das rechtsrheinische Gebiet von Köln. Bei diesem Beispiel liegt die Grundwasserneubildungsrate in einem Wertebereich von 0 bis 270 mm/Jahr bei einem Niederschlag von etwa 700 mm/Jahr.

Nach der PERMANENT SECRETARIAT OF THE ALPINE CONVENTION (2009) handelt es sich beim Mondsee Einzugsgebiet um ein Gebiet mit komplexer hydrogeologischer Struktur mit Grundwasserneubildungsraten von  $> 300$  mm/Jahr. Ferner ist dem Report zu entnehmen, dass im Einzugsgebiet keine quantitativen Grundwassermessstellen vorkommen, sodass ein direkter Messwertevergleich nicht erfolgen kann.

## **6 Schlussfolgerungen und Ausblick**

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Drei-Seen-Gebiet eine sehr hohe Grundwasserneubildungsrate vorherrscht. Verantwortlich hierfür sind vor allem die Topo-

graphie und das vorhandene Gewässernetz. Es konnte gezeigt werden, dass das Verfahren von Dörhöfer und Josopait durchaus auch für Gebiete des Alpenvorlandes anwendbar ist und als ein Beitrag zur Bestimmung der einzelnen Glieder des Wasserhaushaltes sinnvoll einsetzbar ist. Ferner zeigen die als Vergleich herangezogenen Ergebnisse der Verdunstungsmodellierung von KLUG & HASLAUER (2010) eine stimmige klimatische Wasserbilanz. Damit kann das Verfahren einen Teil des regionalen Wasserkreislaufes gut räumlich explizit abbilden und trägt als Komponente des übergeordneten Phosphormodells zur Modellierung von Nährstoffemissionen im Einzugsgebiet Mondsee bei.

## Literaturverzeichnis

- ACHLEITNER, D., GASSNER, H. & JAGSCH, A. (2007): Die limnologische Langzeitentwicklung des Mondsees und Irrsees. In: STRAUSS, P.: Ausgewählte Ergebnisse des INTERREG IIIA-Projektes „SeenLandWirtschaft“, 26, S. 3-17. BA für Wasserwirt. Petzenkirchen.
- BASTIAN, O. & SCHREIBER, K. (1999): Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. 2. Aufl. Berlin, 564 S.
- BMLFUW (Hrsg.) (2007): Hydrologischer Atlas Österreichs. 3. Lfg., Karte 2.10. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 244 S.
- DIN 4049-3 (1994): Hydrologie – Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie.
- DÖRHÖFER, G. & JOSOPAIT, G. (1980): Eine Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserbildungsrate. In: Geologisches Jahrbuch, C 27.
- DÜRBAUM, H.-J. & LILICH, W. (1969): Zur Bestimmung der Grundwasserneubildung als einer der Grundlagen für wasserwirtschaftliche Planungen. In: DGM (S.heft), S. 41-44.
- EEA (2009): Corine land cover 2000 (CLC2000) seamless vector database, Date of delivery: 20 Oct 2009. – <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2000-clc2000-seamless-vector-database-1> (Zugriff: 28.01.2010).
- GASSNER, H., ZICK, D., BRUSCHEK, G., FREY, I., MAYRHOFER, K. & JAGSCH, A. (2006): Die Wassergüte ausgewählter Seen des oberösterreichischen und steirischen Salzkammergutes. In: Schriftenreihe BAW, 24. Wien.
- KLUG, H. & HASLAUER, E. (2010): Raum-zeitliche Abschätzung der Verdunstungskapazität von Landoberflächen. In: STROBL et al. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2010.
- KLUG, H. & ZEIL, P. (2008): Spatially explicit modelling of phosphorus emissions: Integrating GIS and remote sensing for hydrologic modelling. In: Geoinformatics Magazine, 8, S. 32-35.
- MARKS, R., MÜLLER, M. J., LESER, H. & KLINK, H.-J. (Hrsg.) (1992): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögen des Landschaftshaushaltes. Zentralausschuss für deutsche Landeskunde, 229, Trier.
- PERMANENT SECRETARIAT OF THE ALPINE CONVENTION (Eds.) (2009): Water and Water Management Issues. Report on the State of the Alps. Alpine Signals, Special Edition 2.
- PROKSCH, W. (1990): Lysimeterauswertung zur flächendifferenzierten Ermittlung mittlerer Grundwasserneubildungsraten. Bes. Mitt. dt. gewässerkd. Jb., 55, 74 S., Koblenz.
- RENGER, M. & STREBEL, O. (1980): Jährliche Grundwasserneubildung in Abhängigkeit von Bodennutzung und Bodeneigenschaften. In: Wasser und Boden, 32 (8), S. 362-366.
- SIMON, S. (2002): Einfluss der Landnutzungsänderung auf die Variabilität von Grundwasserneubildungs- und Sickerwasserrate. Qualitative Grundwassergefährdungsabschätzung mit einem GIS. Dissertation.