

Grundwasserneubildung und Nitratbefruchtung als Grundlage der instationären Modellierung auf regionaler Sicht

Johannes C. Draxler^{1*}, Gernot Klammler¹, Johann Fank¹, Gerhard Rock¹ und Irene Stockinger²

Zusammenfassung

Für eine instationäre Modellierung auf Tagesbasis in der ungesättigten Zone stellen neben der Klimainformation die Input-Parameter Landnutzung und Bodeninformation eine entscheidende Rolle dar. Um die Grundwasserneubildung und die Stickstofffracht in das Grundwasser zu quantifizieren, werden einerseits die INVEKOS-Daten als Grundlage für die Landnutzungsinformation und andererseits die österreichische Bodenkarte für die Bodenklassifizierung herangezogen. Über die Bodenkarte werden neben den unterschiedlichen Bodenarten auch die Siedlungs-, Wald- und Gewässerflächen für die Modellierung abgegrenzt. Es werden die INVEKOS-Daten mit einer Landnutzungskartierung der Katastralgemeinde Kalsdorf verglichen und die Nutzungsabgrenzungen aus den Angaben der österreichischen Bodenkarte aus den 80er Jahren den aktuellen Strukturen durch eine Luftbilddauswertung gegenübergestellt. Unsicherheiten bei der Ausweisung der landwirtschaftlichen Nutzfläche aus der Bodenkarte durch die zunehmende Ausdehnung des Siedlungsraums in den letzten Jahrzehnten führen zu wesentlichen Unterschieden in der Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellierung mit SIMWASER/STOTRASIM.

Schlagwörter: Eingangsdaten, Landnutzung, Bodeninformation, Nitratustrag, STOTRASIM

Summary

Input data like land use and soil information are very important for transient modelling in the unsaturated zone on regional scale. On the one hand INVEKOS data are the basis for land use information and on the other hand soil classification is based on the Austrian soil map to quantify groundwater recharge and nitrate load. The soil map is also the basis for classification of settlement areas, forest areas and water bodies in modelling. First, the INVEKOS data will be compared with a land use field mapping and second, the classification of the land use from soil map of the 80s will be contrasted with the actual land use structure analysed by an aerial photograph. Therefore, uncertainties will occur in soil water and mass transport modelling using SIMWASER/STOTRASIM because of increasing extent of the settlement area in the last decades.

Keywords: input data, land use, soil-information, nitrate leaching, STOTRASIM

Einleitung

Als obere Randbedingungen für ein bestehendes Grundwasserströmungs- und Stofftransportmodell sind die Grundwasserneubildung und der Stickstoffaustrag aus der ungesättigten Zone entscheidende Einflussgrößen bei der instationären Modellierung. Die Berechnung auf Tagesbasis ist für landwirtschaftliche Flächen ein komplexer Prozess, der am JOANNEUM RESEARCH, RESOURCES – Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit mittels des Modellsystems SIMWASER/STOTRASIM (FEICHTINGER 1998) ausgeführt wird. Die Grundwasserneubildung für städtische Gebiete, Waldflächen und offene Gewässerflächen wird über die klimatische Wasserbilanz mit Hilfe eines Verdunstungsansatzes auf Basis des FAO-Penman-Monteith Algorithmus (ALLEN et al. 1998) berechnet.

Für die Grundwasserneubildung und den Stoffaustrag sind neben den klimatischen Einflüssen, die Bodenverhältnis-

se und besonders die landwirtschaftliche Kulturführung ausschlaggebend. Die Datengrundlage für die notwendige Erstellung von Fruchtfolgen bildet neben Informationen durch landwirtschaftliche Umweltberater (typische Fruchtfolgen, Düngenniveaus, Bodenbearbeitungen, ...) die Landnutzungsinformation aus der INVEKOS-Datenbank (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem der EU). Diese Datengrundlage bietet keine feldbezogene Information, sondern liefert nur die statistische Kulturartenverteilung einer Katastralgemeinde. Die Lösungsansätze zur besseren Berücksichtigung der statistisch vorliegenden Landnutzungsinformationen in der instationären numerischen Modellierung mit STOTRASIM werden in KLAMMLER et al. (2011) beschrieben.

Nun kam es in den letzten 30 Jahren durch verschiedene sozio-ökonomische Faktoren in der untersuchten Katastralgemeinde Kalsdorf zu flächenmäßigen Änderungen in der Ausdehnung der einzelnen Landnutzungsformen. Hier

¹ Joanneum Research - Resources, Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit, Wasser Ressourcen Management, Elisabethstraße 16/II, A-8010 GRAZ

² Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung, Heinrichstraße 36, A-8010 GRAZ

* Ansprechpartner: Mag. Johannes C. Draxler, johannes.draxler@joanneum.at

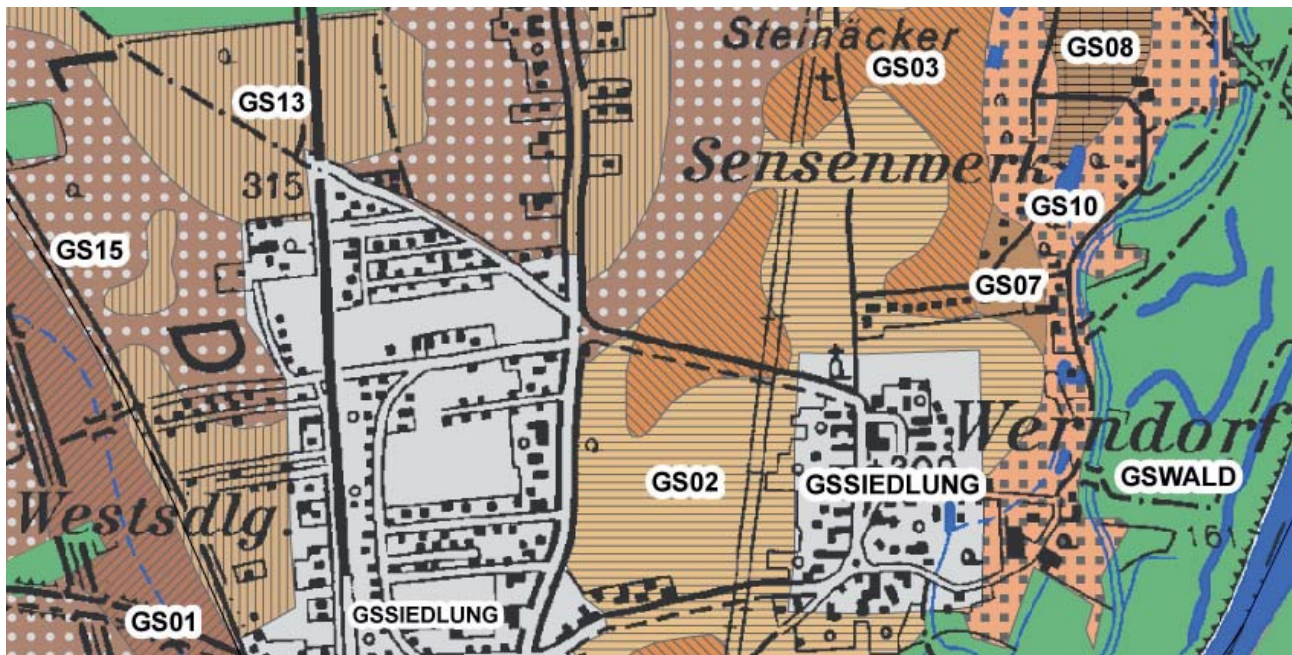


Abbildung 1: Bodenzuordnung der Österreichischen Bodenkartierung auf Siedlungsgebiete und Waldflächen

ermöglichen Kartierungen und Auswertungen von aktuellen Luftbildern einen Vergleich von Landnutzungsdifferenzierungen aus der Bodenkarte. Welche räumlichen Änderungen hat es in der Landnutzung – bezogen auf landwirtschaftliche Nutzflächen, Waldflächen, Siedlungsgebiete und Gewässerflächen – in den letzten 30 Jahren gegeben und welche Auswirkungen hat das auf die Grundwasserneubildung und Stickstoffbefruchtung in Kalsdorf?

Material und Methoden

Der Modellverbund **SIMWASER/STOTRASIM** beschreibt die vertikalen, eindimensionalen Stickstoffdynamiken und teilweise auch die kohlenstoffdynamischen Prozesse von landwirtschaftlichen Flächen auf Tagesbasis. Das Modell wurde am Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt des Bundesamtes für Wasserwirtschaft in Petzenkirchen (Niederösterreich) entwickelt. Die Grundwasserneubildung wird mit **SIMWASER** (STENITZER 1988) berechnet. Die Simulation vom Bodenwasserhaushalt erfolgt unter dem Darcy-Ansatz und der Kontinuitätsbedingung. Das Stofftransportmodell **STOTRASIM** (FEICHTINGER 1998) simuliert auf Tagesbasis den Stickstoffaustrag als eindimensionaler N- und C-Prozess in der ungesättigten Zone, wobei der Schwerpunkt auf der Nitratauswaschung ins Grundwasser liegt. Notwendige Inputparameter sind neben Wetterinformationen (Niederschlagsmenge und -verteilung, Verdunstungsleistung), die Standortverhältnisse (Bodenart, Porenvolumen, Wasserleitfähigkeit, Humusgehalt, ...) und auch die landwirtschaftlichen Kulturen (Pflanzenparameter, Bewirtschaftungsmaßnahmen, Düngeregime, ...). Die Kombination dieser drei Faktoren wird in der regionalen Modellierung durch sogenannte Hydrotöpfe in einem Geographischen Informationssystem (GIS) realisiert. Ein Hydrotopf entspricht dabei einer Fläche mit gleicher Charakteristik hinsichtlich Wetter, Boden und landwirtschaftlicher Kulturführung.

Um die aggregierten Kulturenangaben aus der INVEKOS-Datenbank für ein Jahr genauer zu verorten, wurde eine **Kartierung der Landnutzung** in der Katastralgemeinde Kalsdorf im Sommer 2010 durchgeführt. Dabei wurden die INVEKOS-Daten aus diesem Jahr mit den Kartierungsergebnissen verglichen. Da der Zeitrahmen für die Kartierung der landwirtschaftlichen Kulturen begrenzt war, wurden die INVEKOS-Kulturen in übergeordnete Kategorien zusammengefasst: Mais (Körnermais, Silomais, MAIS CORN-COB-MIX), Gerste, Roggen/Triticale, Kartoffeln, unterschiedliche Grünlandnutzungen (Blühfläche, gute landwirtschaftliche ökologische Zonen (GLÖZ), Landschaftselement, Mähwiese, Wechselwiese, sonstige Grünlandflächen). Außerdem wurde bei den nicht landwirtschaftlichen Nutzflächen zwischen Waldflächen, Gewässern, Siedlungs-/Industrie-/Gewerbeflächen und Straßen unterschieden. Grundlage der Kartierung war der Grundstückskataster, wobei einige Katastergrundstücke aufgrund unterschiedlicher Nutzungsstrukturen geteilt digitalisiert werden mussten.

Neben der Kartierung wurden die unterschiedlichen Gruppen von Landnutzungen (landwirtschaftliche Nutzfläche, Wald, Siedlungsgebiet, Gewässer) anhand der **Digitalisierung** aus einem aktuellen **Luftbild** flächenmäßig neu abgegrenzt, um einen Vergleich mit der Bodenkarte zu ermöglichen.

Für die Modellierung ist auch die **Ausdehnung der Bodeninformation** aus der österreichischen Bodenkarte (ÖBK) auf die Siedlungsflächen und Waldgebiete, für welche aus der Bodenkarte keine Bodeninformation vorliegen, notwendig (siehe *Abbildung 1*). Dabei wurde in erster Linie versucht, die angrenzenden Bodentypen für die nicht ausgewiesenen Flächen fortzuführen, soweit eine Zuordnung eindeutig war (siehe *Abbildung 1*: Siedlungsfläche rechts [Werndorf] wurde der Boden GS02 zugewiesen). Grenzt das Siedlungsgebiet oder die Waldfläche an mehrere Bodenfor-

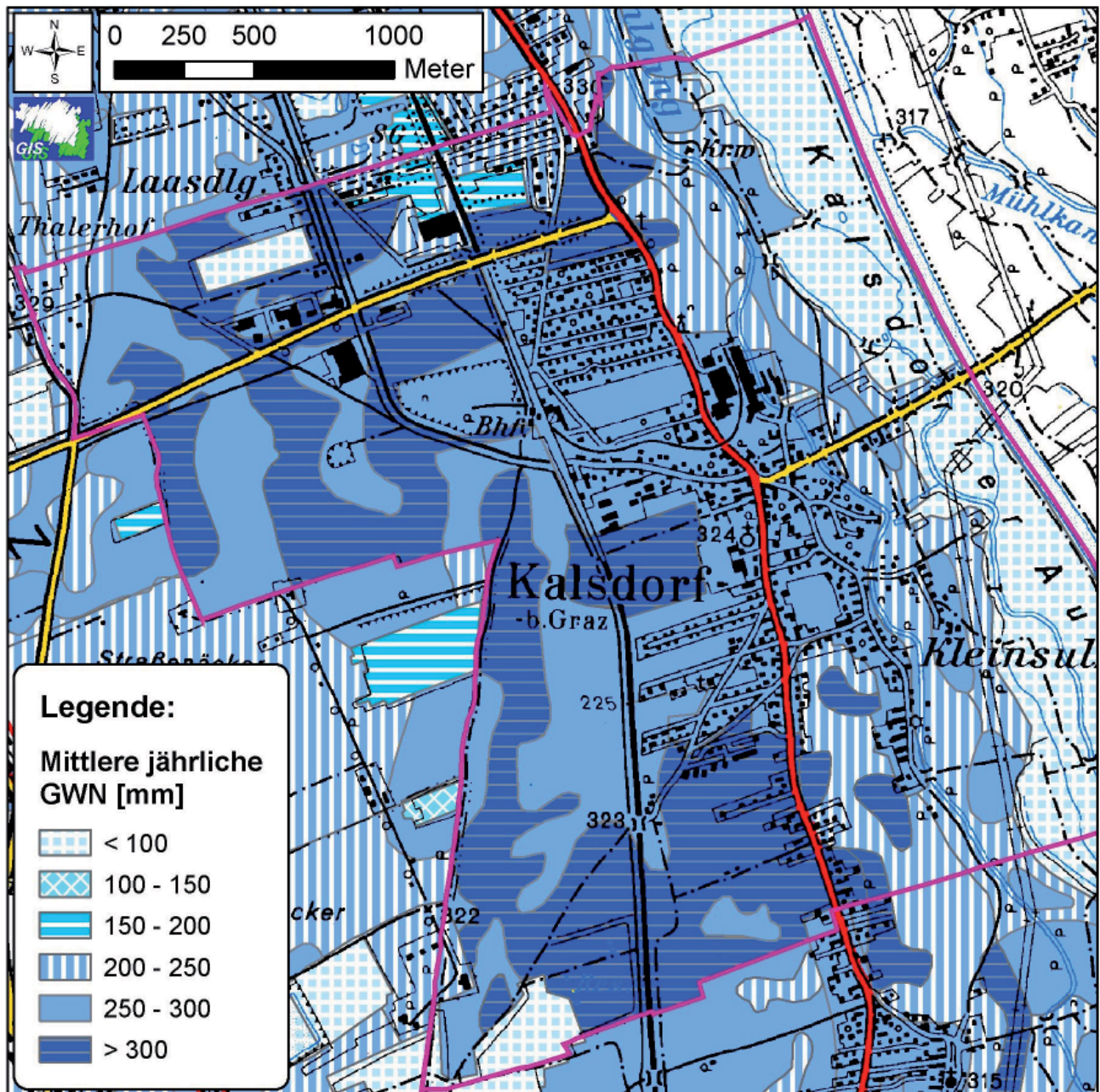


Abbildung 2: Mittlere jährliche Grundwasserneubildung (GWN; 1993-2009) in der KG Kalsdorf

men an (siehe *Abbildung 1*: Siedlungsfläche links [West-sdlg.]), so wurde für den Kartierungsbereich ein Bodentyp mit niedrigerer nutzbarer Feldkapazität (nFk) aufgrund der Verdichtung des Bodens für Siedlungsgebiete (Grazer Feld Süd: 109 mm nFk) und ein Bodentyp mit höherer nutzbarer Feldkapazität für Waldgebiete (Grazer Feld Süd: 206 mm nFk) den Flächen zugeordnet.

Ergebnisse

In *Abbildung 2* ist die mittlere jährliche Grundwasserneubildung (1993-2009) aus der Berechnung mit dem Simulationsmodell für die Katastralgemeinde Kalsdorf zu sehen. Unterschiede in der Grundwasserneubildung (GWN) – und auch im Stickstoffaustrag (hier nicht dargestellt) ergeben

sich aufgrund der Differenzierung der Bodenarten und wegen der Landnutzungsunterschiede unter Wald GWN 50-200 mm unter einer landwirtschaftlichen Nutzfläche GWN bis über 300 mm.

In *Tabelle 1* sind neben der Anzahl der kartierten Flächen, die Flächenmaße der Kartierung, die Flächenangaben aus INVEKOS sowie die Abweichung der kartierten Flächen zu den INVEKOS-Flächen dargestellt. In diesem Vergleich sind nur die Kulturen angegeben, die laut INVEKOS eine Fläche von mindestens 5 ha aufweisen, somit wird auf Kulturen wie Erdbeeren oder Körnererbse nicht eingegangen. Die Landnutzung der Katastralgemeinde Kalsdorf wird neben Wald und Siedlungsgebiet generell von den Kulturen Mais und Kürbis dominiert (*Abbildung 3*).

Tabelle 1: Vergleich kartierte Fläche und Flächen aus INVEKOS

Landnutzung	Kartierte Parzellen Anzahl	Kartierte Fläche [ha]	INVEKOS-Flächen [ha]	Abweichung zu den INVEKOS-Flächen [ha]
Mais	176	172,5	148,7	23,8
Kürbis	150	106,1	113,7	-7,6
Grünlandfläche	723	50,6	25,4	25,2
Gerste	26	27,6	26,2	1,4
Weizen	5	9,7	9,8	-0,1
Roggen	6	7,5	11,1	-3,6
Sojabohne	6	14,1	12,0	2,1
Kartoffel	5	11,2	9,6	1,6
Zuckerrübe	3	5,1	8,7	-3,6

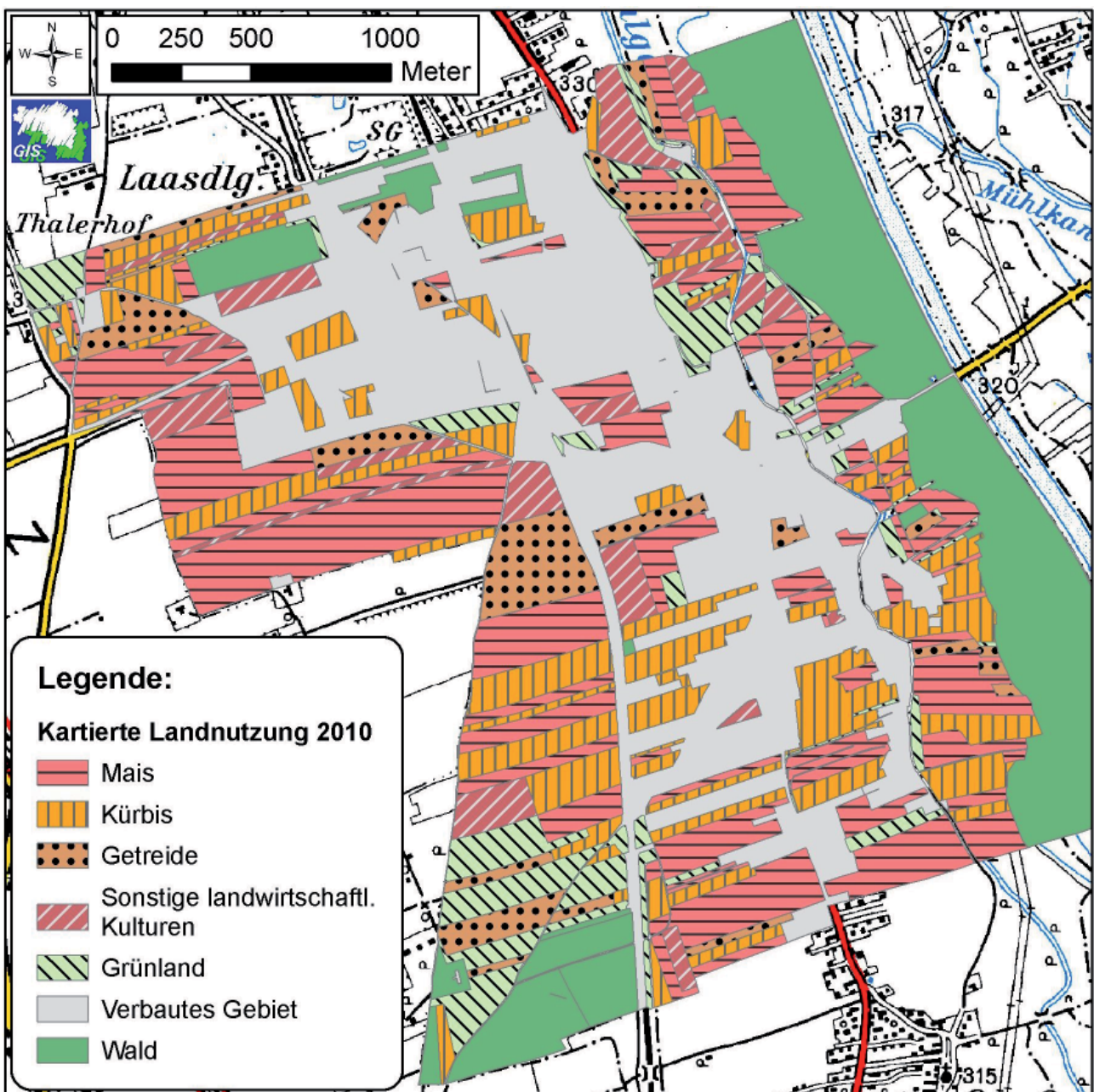


Abbildung 3: Kartierung der Landnutzung in der Katastralgemeinde Kalsdorf im Sommer 2010

Diskussion

Für eine regionale Modellierung in der ungesättigten Zone mit dem Modellverbund SIMWASER/STOTRASIM sind zahlreiche Verfahrensschritte notwendig, um die erforderlichen Inputdaten für das Modell aufzuarbeiten. Zur Bestimmung aller Kulturen in einem Jahr über Satellitenbilder – Fruchtfolgen verändern die Kulturführung – für ein regionales Modell wären mehrere Auswertezyklen pro Jahr notwendig und bieten in der kleinräumigen Landschaftsstruktur, wie sie im Grazer Feld vorherrscht, keine optimale Datengrundlage für eine flächenhafte Modellierung der Grundwasserneubildung (*Abbildung 2*) und des Stickstoffaustrags. Die Verwendung der Landnutzungsinformationen auf Katastralgemeindeebene aus der INVEKOS-Datenbank ist im Vergleich zu Kulturenbestimmungen aus Satellitenbilddatenauswertungen eine kostensparende und zeitoptimierte Möglichkeit der genaueren Beschreibung der landwirtschaftlichen Strukturverhältnisse. Da die Grundwasserneubildung und der Nitrataustrag auf Tagesbasis sehr an die verwendeten Fruchtfolgen und die modellierten Kulturen gebunden sind (KLAMMLER et al. 2010), ist hier eine genauere Betrachtung der landwirtschaftlichen Flächen notwendig.

Die Kartierung der Landnutzung hat gezeigt, dass zum Teil sehr große Abweichungen der INVEKOS-Kulturfächenangaben zu den kartierten Flächen bestehen (*Tabelle 1*). Die größte absolute Differenz ergibt sich bei den Grünflächen mit rund 25 ha, was aber durch die Eingrenzung auf die geförderten landwirtschaftlichen Nutzflächen erklärbar ist. Dazu kommen dann noch Grünflächen außerhalb normaler landwirtschaftlicher Nutzung (als Bauland ausgewiesene Flächen, Flughafenwiesen, Flächen des Wasserverbandes Umland Graz, siehe *Abbildung 3*). Fraglich sind die Flächenangaben bei Kürbis, Roggen und der Zuckerrübe, weil hier die Flächen geringer sind als in den INVEKOS-Aufzeichnungen. Unsicherheiten in der Kartierung können sich dadurch ergeben, dass bei der Kartierung der Grundstückskataster verwendet wurde, die INVEKOS-Kulturen jedoch auf Feldstückebene erfasst wurden und es dadurch trotz GPS-Einsatz in der Kartierung zu Differenzen kommen

kann. Auch eine Verwechslung von Gerste und Roggen konnte nicht immer ausgeschlossen werden. Beachtlich ist allerdings die absolute flächenmäßige Abweichung zwischen den INVEKOS-Aufzeichnungen und der kartierten Fläche von Kürbis, welche wohl durch die große Anzahl von 150 kartierten Flächen zu erklären ist.

Für die Modellierung erfolgt die Verortung der Bodenstrukturen über die Bodenkarte der österreichischen Bodenkartierung (ÖBK). Dabei werden neben den bodenkundlichen Standortcharakteristiken für landwirtschaftliche Nutzflächen auch die Differenzierungen zwischen Waldflächen, Siedlungsgebieten und Gewässerflächen herangezogen. Die österreichische Bodenkartierung für den Kartierungsbereich GRAZ-SÜD (KB 78) vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft wurde in den Jahren 1972-1975 aufgenommen (BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT 1981). Dabei wurden ausschließlich die landwirtschaftlichen Nutzflächen laut dem Kataster von 1972 kartiert.

Nun kam es in den letzten 30 Jahren durch verschiedene sozio-ökonomische Faktoren zu flächenmäßigen Änderungen in der Ausdehnung der einzelnen Landnutzungsformen. Wie viel die landwirtschaftlichen Flächen seit 1972 an Größe verloren haben, zeigt die *Tabelle 2*. Während z. B. in den Gemeinden Wundschuh und Zettling die landwirtschaftliche Nutzfläche nur eine geringe Abnahme erfahren hat und der Anteil der Ackerfläche dabei sogar zunahm, kam es in den Gemeinden Hausmannstätten und Seiersberg bis zum Jahr 2008 zu einer Abnahme der landwirtschaftlichen Nutzfläche um 85 % bzw. 81 %.

Durch die Digitalisierung von aktuellen Luftbildern konnten die nicht landwirtschaftlichen Flächen neu abgegrenzt werden. Der Vergleich in der Katastralgemeinde Kalsdorf zeigt, wo es in den letzten Jahren zu einer deutlichen räumlichen Ausdehnung der Industrie- und Gewerbeflächen gekommen ist. In *Abbildung 4* ist ersichtlich, wie sich das Landschaftsbild (Siedlungsstruktur, Waldflächen) in der Katastralgemeinde Kalsdorf seit den 80er Jahren (Grundlage ÖBK) bis heute verändert hat.

Tabelle 2: Unterschiede in der Ausdehnung der landwirtschaftlichen Nutzfläche und der Ackerflächen in einigen Gemeinden südlich von Graz von 1972 und 2008

Gemeindename	Gesamtfläche [ha]	Landwirtschaftliche Nutzfläche			Anteil Ackerfläche		
		1972	2008	Δ	1972	2008	Δ
Feldkirchen bei Graz	1152	772	465	-40 %	659	387	-41 %
Fernitz	1058	657	284	-57 %	360	220	-39 %
Gössendorf	719	541	261	-52 %	319	233	-27 %
Grambach	695	375	85	-77 %	227	59	-74 %
Hausmannstätten	680	429	66	-85 %	272	44	-84 %
Kalsdorf bei Graz	1508	1137	723	-36 %	820	703	-14 %
Mellach	994	563	167	-70 %	313	120	-62 %
Pirka	944	564	200	-63 %	365	183	-50 %
Raaba	773	460	100	-78 %	252	31	-88 %
Seiersberg	790	552	106	-81 %	310	76	-75 %
Unterpremstätten	1779	874	503	-42 %	582	460	-21 %
Werndorf	623	405	149	-63 %	270	134	-50 %
Wundschuh	1267	808	665	-18 %	585	641	+10 %
Zettling	1128	784	675	-14 %	541	613	+13 %

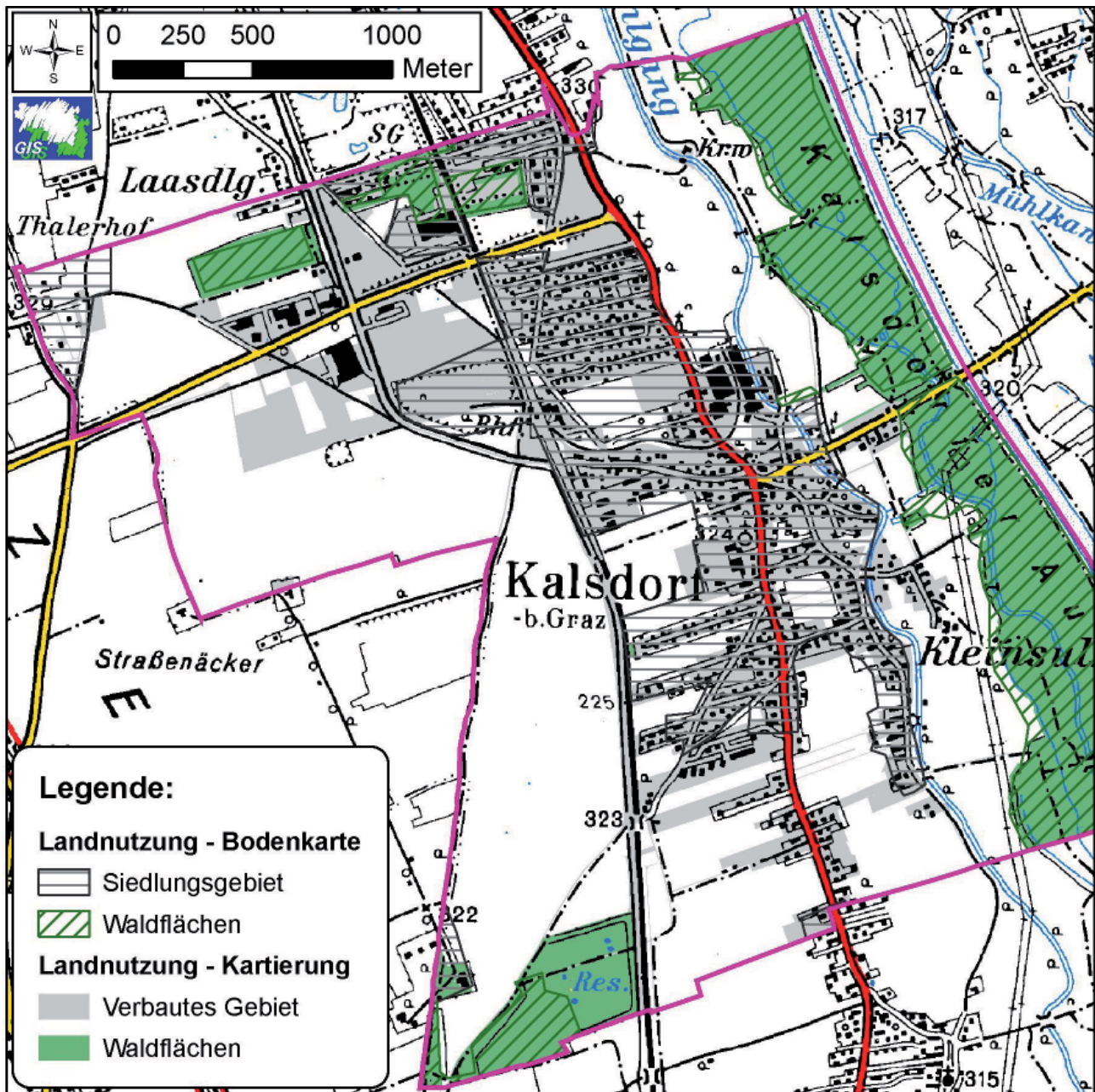


Abbildung 4: Vergleich von Siedlungs- und Waldgebiet der Kartierung (2010) mit der Bodenkarte (1972)

Während die Waldfläche entlang der Mur relativ gleich geblieben ist, hat sich diese im S westlich der Eisenbahn durch das Wasserschutzgebiet des Wasserverbandes Umland Graz flächenmäßig vergrößert. Die im NW ausgewiesene Siedlungsfläche bei Thalerhof blieb nur teilweise erhalten. Heute ist ein Großteil davon Acker- und Waldfläche. Die größte Veränderung bei den Siedlungsflächen fand auf der Zufahrtsstraße nach W zur Autobahnauffahrt Kalsdorf statt. Hier hat sich durch die gute wirtschaftliche Entwicklung eine flächenmäßig große Industrie- und Gewerbezone etabliert. Auch entlang der Bundesstraße Richtung S dehnte sich das Siedlungsgebiet seit den 80ern stark aus. Leider wurden auch größere Flächen innerhalb des Siedlungsgebietes Kalsdorf (östlich vom Bahnhof; südöstlich der Kirche) bei der österreichischen Bodenkarte nicht als

landwirtschaftliche Nutzflächen ausgewiesen und so nicht bodenkundlich analysiert.

Hier zeigt sich, dass eine Differenzierung der Wald- und Siedlungsstrukturen über die österreichische Bodenkartierung aufgrund der räumlichen Veränderungen in den letzten 30 Jahren eine potenzielle Fehlerquelle darstellt. Schon bei der Erscheinung der analogen Bodenkarte wurde im Erläuterungsheft festgehalten, dass die landwirtschaftliche Nutzfläche u. a. durch die starke Bautätigkeit in den Umgebungsgemeinden oder die Erweiterung oder Neuerschließung von Schottergruben im Grazer Feld ständig verkleinert wird.

Für die Katastralgemeinde Kalsdorf mit einer Fläche von 818 ha wurden nun die mittlere Grundwasserneubildung

und der Stickstoffaustrag analytisch ermittelt. Gegenübergestellt werden dabei die Modellergebnisse auf Basis der österreichischen Bodenkarte und der Korrektur dieser mithilfe von aktuellen Luftbildern. Hier ergeben sich durch die Änderung der Landnutzungsstruktur Abnahmen in der mittleren Grundwasserneubildung von 2,5 mm (247,5 mm Bodenkarte – 245 mm Luftbildkorrektur) und im Stickstoffaustrag von 4,9 kg/ha/a (24,1 kg/ha/a – 19,2 kg/ha/a). Dies führt zu einer Verringerung der Nitratkonzentration um 8,4 mg/l (43,1 mg/l – 34,7 mg/l), zurückzuführen auf eine Zunahme der Waldfläche von 150 ha auf 158 ha und einem deutlichen Zuwachs der Siedlungsfläche von 178 ha auf 258 ha.

Über aktuelle Luftbildkarten kann nun die Bodenkarte bezüglich der Siedlungsstrukturen, Waldgrenzen und Gewässergrenzen (Trockenbaggerungen und Grundwasserteiche) mit guter Genauigkeit adaptiert und an die aktuelle Situation angepasst werden. Dies erfordert einen gewissen Aufwand, führt aber aufgrund der teilweise sehr alten Kartierungen zu großen Veränderungen in der Landnutzungsstruktur. Grundlegend ist diese Genauigkeit bei einer regionalen Modellierung nicht nur für die Grundwassermodellierung selbst (Interaktion von Grundwasserteichen oder Schotterteichen mit der Atmosphäre) sondern auch bei der Berechnung der Grundwasserneubildung und natürlich auch des Stickstoffaustrags.

Danksagungen

The work was carried out as part of the GENESIS project on groundwater systems financed by the European Commission 7FP contract 226536 (<http://www.thegenesisproject.eu>).

Die Landnutzungsinformationen aus der INVEKOS-Datenbank (139 Katastralgemeinden im Untersuchungsgebiet Murtal von Graz bis Radkersburg inklusive Stiefingtal) wurden von der Landwirtschaftskammer Steiermark mit freundlicher Unterstützung der Landwirtschaftlichen Umweltberatung Steiermark (www.lub.at) zur Verfügung gestellt.

Literatur

- ALLEN, R.G., L.S. PEREIRA, D. RAES and M. SMITH, 1998: Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, 300.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 1981: Österreichische Bodenkartierung, Erläuterungen zur Bodenkarte 1:25.000, Kartierungsbereich GRAZ-SÜD, Steiermark. Wien, 1-242.
- FEICHTINGER, F., 1998: STOTRASIM – Ein Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik in der ungesättigten Zone eines Ackerstandortes. In: „Modelle für die gesättigte und ungesättigte Bodenzone“. Schriftenreihe des BA für Wasserwirtschaft, Band 7, 14-41.
- KLAMMLER, G., J.C. DRAXLER und J. FANK, 2010: Unterschiede in Modellergebnissen von Grundwasserneubildung und Nitrataustrag bei unterschiedlicher Verwendung gleicher Landnutzungsdaten. – In: Missoni, S. (Hrsg.): PANGEO 2010 Abstracts, Journal of Alpine Geology, 52, 150-151.
- KLAMMLER, G., J.C. DRAXLER, J. FANK, H. KUPFERSBERGER und G. ROCK, 2011: Optimierung der Landnutzungsinformation als Input-Parameter für die Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellierung. 14. Gumpensteiner Lysimetertagung 2011, (a. a. O. in diesem Heft).
- STENITZER, E., 1988: SIMWASER – Ein numerisches Modell zur Simulation des Bodenwasserhaushaltes und des Pflanzenertrages eines Standortes. Mitteilung Nr. 31, Bundesanstalt für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, 3252 Petzenkirchen, 203.