

Wasser- und Nitratbilanz des westlichen Leibnitzer Feldes

J. FANK

1 Abstract

Based on the knowledge that key processes which contributed to the nitrate problem in the Leibnitzer Feld predominantly take place in the vadose zone an experimental station was built which enables to monitor the movement of water and solids from the atmosphere over the soil and unsaturated sand and gravel into the saturated quaternary valley fill. The results of tracer tests and measured data at the monitoring station Wagna indicate the significance of the unsaturated soil layers upon the residence time of water. These data were also used to calibrate soil-water-balance and solid transport models.

In addition to the emissions from agriculturally used areas groundwater recharge processes and solid flux due to other land-use practices and movement of the groundwater in horizontal direction also influence quantity and quality of the subsurface water body. Thus, groundwater recharge and the nitrate balance of parts of the pleistocene terrace of the western Leibnitzer Feld were regionalized by geostatistically combining simulation results and analytical analyses of the results of the monitoring station.

The investigations showed that numerical modelling of the movement of water and solids in the unsaturated and saturated zones of an aquifer enables to quantitatively predict the impact of different measures on to the whole system. However, setting up a model and determining model parameters still calls for substantial research efforts. The presented analyses also highlight that development of problem solutions in the area of groundwater protection requires intensive interdisciplinary research efforts. Close ties between physical - geographical and human - geographical components in combination with mathematical - technical approaches lead to results which provide the basis for lawmakers to better define the legal constraints of the various land-uses.

2 Einleitung und Problemstellung

Zur Untersuchung der Auswirkung ackerbaulicher Maßnahmen auf Grundwasserneubildung und -qualität in den Schotterfeldern des Murtales südlich von Graz war 1991 die Forschungsstation Wagna errichtet worden. Die Ergebnisse der intensiven Untersuchungen (zusammengefasst in J. FANK, 1999) zeigten, dass zwischen dem erkundeten Stickstoffaustrag aus der ungesättigten Zone und der Nitratkonzentration des Grundwassers im Leibnitzer Feld selbst bedeutende Unterschiede existieren. Verfolgt man die Literatur (z.B. E. KLAGHOFER, 1991), so wird angenommen, dass im Bereich der ungesättigten Zone unterhalb der Wurzelzone Denitrifikation stattfindet, die eine Abminderung der Nitratkonzentration auf dem Weg zum Grundwasser bewirken soll. Dieser Vorgang der Nitratreduktion ist aber für die hydrometeorologischen und pedologischen Verhältnisse des Leibnitzer Feldes in Frage zu stellen bzw. hinsichtlich der dabei auftretenden Quantitäten zu bewerten (J. FANK, 1999). Bereits in P. SCHACHTSCHABEL et al. (1992) wird darauf hingewiesen, dass unter europäischen landwirtschaftlichen Verhältnissen im Mittel nur 7 % des zugeführten N-Düngers durch biologische Denitrifikation verloren gehen. Sind aber die Unterschiede zwischen den gemessenen Nitratkonzentrationen des Sickerwassers unterhalb der Wurzelzone (>100 mg/l) und der Nitratkonzentration des Grundwassers (~50 mg/l) nicht ausschließlich durch Denitrifikation erklärbar, müssen andere Prozesse identifiziert und quantifiziert werden, die zu den angeführten Werten im Grundwasser führen. Die Untersuchungen von J. FANK (1999) zeigen, dass dafür einerseits die flächenhafte Neubildung aus nicht ackerbaulich genutzten Flächen, andererseits die Durchmischung der Neubildung aus infiltrierenden Niederschlägen mit dem aus

oberstrom zuströmenden Grundwasser selbst eine entscheidende Rolle spielen.

Um eine Wasser- und Stickstoffbilanz für einen Teilbereich des westlichen Leibnitzer Feldes erstellen zu können, sind demnach neben den ackerbaulich genutzten Flächen auch sonstige Nutzungsformen und die Grundwasserbilanz selbst zu berücksichtigen.

3 Bilanzierung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, unter Berücksichtigung der oben genannten Prozesse eine Wasser- und Nitratbilanz des südlichen Teiles des westlichen Leibnitzer Feldes zu erstellen. Das Bilanzgebiet selbst und die unterschiedlichen Rahmenbedingungen sind in J. FANK (1999) detailliert beschrieben.

3.1 Methodik

Die Bilanzierung erfolgt auf den Ergebnissen punktueller Untersuchungen, der daran gekoppelten Modellkalibrierungen, der Übertragung durch eine flächenhafte Modellanwendung im Sinne homogener Teilgebiete und der Bilanzierung mittlerer Verhältnisse über die Mischungsgleichung, wie in *Abbildung 1* dargestellt. Die für die Bilanzierung aufgestellte Mischungsgleichung selbst mit ihren Parametern ist (Gl. 1) zu entnehmen.

Basierend auf standörtlichen Messdaten im Leibnitzer Feld (Wagna, St. Georgen a.d. Stiefing, Gralla) wurden das Bodenwasserhaushaltsmodell SIMWASER (E. STENITZER, 1988) und das Stickstoff-Umsetzungs- und -transportmodell STOTRASIM (F. FEICHTINGER, 1998) kalibriert. Von J. FANK (1999) wurde ein Verfahren entwickelt, die Grundwasserneubildung aus infiltrierenden Niederschlägen aus dem zeitlichen Verlauf der Grundwasserstandsganglinie abzuleiten (NB-GW-GGL in *Abbildung 1*).

Die Modelle wurden basierend auf Bodenkartierungsergebnissen und Landnutzungsauswertungen (P. SACCON, 1998) auf die Fläche des Untersuchungsgebietes übertragen. Die Parametrisierung der

Autor: Univ.DoZ. Dr. Johann FANK, Joanneum Research, Institut für Hydrologie und Geothermie, Elisabethstraße 16, A-8010 GRAZ

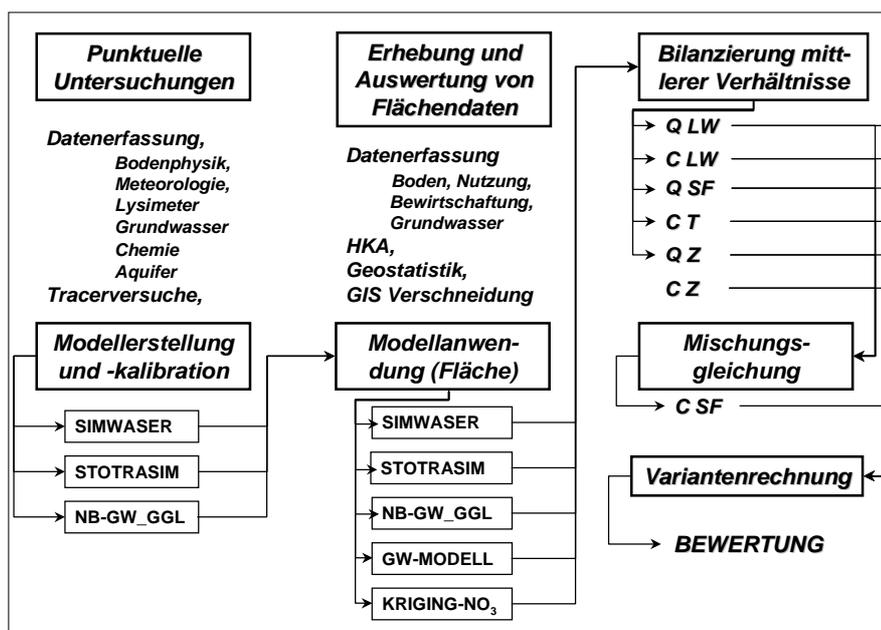


Abbildung 1: Flow Chart zur Erstellung der Wasser- und Stoffbilanz für den südlichen Teil des westlichen Leibnitzer Feldes.

Bodenformen erfolgte nach E. MURER (1998), unterschiedliche Bewirtschaftungsformen und deren Auswirkung auf Grundwasserneubildung und Nitrataustrag waren anhand der Daten von Wagna und von Petzenkirchen kalibriert worden (F. FEICHTINGER, 1998). Unter Verwendung der Hauptkomponentenanalyse (HKA) und geostatistischer Analysemodelle (K. FUCHS, 1995) sowie der Grundwasserstandsmessdaten des Hydrographischen Dienstes konnte die flächenhafte Grundwasserneubildung auf nicht ackerbaulich genutzten Flächen ermittelt werden (J. FANK, 1999). Die Verschneidung „homogener“ Teilflächen und die Bilanzierung für eben diese erfolgte unter Verwendung eines Geographischen Informationssystems (GIS). Zur Erfassung der Grundwasserbilanz wurde ein stationäres Grundwasserströmungsmodell (GW-MODELL) kalibriert, die Bilanzierung der Nitratbelastung des Grundwassers erfolgte auf

Basis eines Kriging - Interpolationsmodells (KRIGING-NO₃).

Diese Modellberechnungen und die Bilanzierung der Ergebnisse für mittlere Verhältnisse der Periode 1.7.1992 bis 31.12.1995 sowie die Grundwasser-Qualitätsuntersuchungen im Zustrombereich des Untersuchungsgebietes liefern alle rechtsseitigen Parameter der Mischungsgleichung (Gl. 1), sodass daraus die mittlere Nitratkonzentration der Neubildung aus nicht ackerbaulich genutzten Flächen des Untersuchungsgebietes berechnet werden kann (siehe Formel).

3.2 Datenbasis

Tabelle 1 zeigt die Bilanzergebnisse für homogene Teilflächen aus dem Verschnitt von Bodenformenkartierung (Sonderkartierung 1:5000) und generalisierter Landnutzungsauswertung (Satellitenbilddauswertung September 1995, generalisiert für die kalibrierten Bewirtschaftungsformen [Maismonokultur,

Fruchtfolge wie am Standort Wagna, Grünland], J. FANK 1999) im Untersuchungsgebiet. Insgesamt konnten durch dieses Verfahren etwa 500 ha oder 40 % der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes bilanziert werden.

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Berechnung der flächenhaften Grundwasserneubildung für nicht ackerbaulich genutzte Flächen - abgeleitet aus Grundwasserstandsganglinien. Zu diesem Zweck wurden aus allen Grundwasserstandsganglinien des Hydrographischen Dienstes des Landes Steiermark im Untersuchungsgebiet die zeitlich instationäre Grundwasserneubildung nach J. FANK (1999) ermittelt. Unter Verwendung von statistischen und geostatistischen Verfahren (J. FANK & K. FUCHS, 2000) wurden den einzelnen Grundwasserstandsmessstellen Repräsentativgebiete zugeordnet. Mittels GIS-Verschneidung wurden aus diesen Teilbereichen die ackerbaulich genutzten Flächen abgetrennt und für die verbleibenden Teilbereiche die Neubildungsbilanz erstellt. Mittels dieses Verfahrens konnte die Neubildung aus nicht ackerbaulich genutzten Flächen des Untersuchungsgebietes (etwa 750 ha oder 60 % der Gesamtfläche) berechnet werden.

Zur Ermittlung der Grundwasserbilanz des Untersuchungsgebietes wurde ein Grundwasserströmungsmodell kalibriert, wobei die Anpassung zwischen gemessenen und berechneten Spiegellagen in einem „trial and error“ Prozess ausgehend von einer Startverteilung der Materialkennwerte (J. FANK et al., 1993) sukzessive verbessert wurde. Das Strömungsbild des für Niederwasser kalibrierten stationären Modells ist nahezu ident mit dem interpolierten Grundwasserschichtenlinienplan des gleichen Stichtages, die Abweichungen zwischen den gemessenen Spiegellagen und den

(Gl. 1)

$$C_{SF} = \frac{Q_T \cdot C_T - Q_Z \cdot C_Z - Q_{LW} \cdot C_{LW}}{Q_{SF}}$$

C _{SF}	[mg/l]	Nitratkonzentration der Neubildung aus nicht landwirtschaftlich genutzten Bereichen
Q _T	[l/s]	Gesamtwasserumsatz als Summe der Teilströme QZ, QLW und QSF
C _T	[mg/l]	mittlere Nitratkonzentration des Grundwassers im Untersuchungsgebiet
Q _Z	[l/s]	Grundwasserzustrom in das Modellgebiet
C _Z	[mg/l]	Nitratkonzentration des Grundwasserzustromes in das Modellgebiet
Q _{LW}	[l/s]	Grundwasserneubildung aus landwirtschaftlich genutzten Flächen im Modellgebiet
C _{LW}	[mg/l]	Nitratkonzentration der Grundwasserneubildung aus landwirtschaftlich genutzten Flächen
Q _{SF}	[l/s]	Grundwasserneubildung aus nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen im Modellgebiet

Tabelle 1: Neubildung und Nitrataustrag aus der ungesättigten Zone für ackerbaulich genutzte Bereiche des Untersuchungsgebietes für homogene Teilflächen aus Bodenformen- und (generalisierter) Landnutzungskartierung

Bodenform. Nutzung	Fläche [ha]	NB [m³]	NO ₃ [kg]	Bodenform. Nutzung	Fläche [ha]	NB [m³]	NO ₃ [kg]
A1-1.FRUCHTFOLGE	0.06	667	53	B2-1.FRUCHTFOLGE	10.72	118438	14135
A1-1.MAIS	0.21	2071	147	B2-1.GRUENLAND	2.66	16850	578
A1-2.FRUCHTFOLGE	0.08	1032	99	B2-1.MAIS	32.10	325853	33976
A1-2.MAIS	0.95	12473	1195	B4-1.FRUCHTFOLGE	6.50	75579	7136
A3-1.FRUCHTFOLGE	0.21	2156	213	B4-1.GRUENLAND	1.25	7644	290
A3-1.MAIS	1.05	10460	1213	B4-1.MAIS	19.40	183488	12301
A3-2.FRUCHTFOLGE	0.36	4406	441	B4-2.FRUCHTFOLGE	0.31	3260	237
A3-2.MAIS	0.68	7098	533	B4-2.GRUENLAND	0.34	1556	50
A3-3.FRUCHTFOLGE	0.03	321	20	B4-2.MAIS	2.54	21481	1207
A3-3.MAIS	0.12	1269	62	B6-1.FRUCHTFOLGE	2.52	30591	2935
A3-6.FRUCHTFOLGE	0.61	7340	641	B6-1.GRUENLAND	0.04	258	8
A3-6.GRUENLAND	0.75	4999	160	B6-1.MAIS	3.48	35849	2760
A3-6.MAIS	11.69	122429	8150	B7-1.FRUCHTFOLGE	27.01	328268	47042
A3-7.FRUCHTFOLGE	1.92	20374	2281	B7-1.GRUENLAND	9.74	73249	2951
A3-7.GRUENLAND	1.07	7434	207	B7-1.MAIS	102.70	1112685	123799
A3-7.MAIS	16.29	133820	12962	B7-2.FRUCHTFOLGE	35.45	490505	67410
A4-1.FRUCHTFOLGE	0.47	4473	714	B7-2.GRUENLAND	12.91	125064	3975
A4-1.GRUENLAND	0.01	41	1	B7-2.MAIS	99.21	1279464	167237
A4-1.MAIS	1.67	12264	1705	B7-3.FRUCHTFOLGE	24.69	395903	30793
A4-2.FRUCHTFOLGE	0.30	3470	229	B7-3.GRUENLAND	5.80	69427	1881
A4-2.MAIS	0.77	7120	372	B7-3.MAIS	47.10	743170	59131
A4-3.FRUCHTFOLGE	0.13	1828	289	B7-4.FRUCHTFOLGE	0.98	12406	1047
A4-3.MAIS	0.98	12572	1941	B7-4.GRUENLAND	0.13	790	28
				B7-4.MAIS	6.33	69976	4605
				G3-1.FRUCHTFOLGE	0.85	9394	1427
				G3-1.GRUENLAND	0.17	885	33
				G3-1.MAIS	1.68	16050	2029
				M1-1.FRUCHTFOLGE	0.46	5760	1244
				M1-1.GRUENLAND	0.23	1904	82
				M1-1.MAIS	1.08	12469	2254
				ZA-1.FRUCHTFOLGE	5.94	69798	15855
				ZA-1.GRUENLAND	0.76	5373	345
				ZA-1.MAIS	4.29	46216	9169
Summe	40.40	380116	33626	Summe	447.58	5451778	580906

Berechnungsergebnissen liegen an allen 26 Kontrollpegeln <10 cm. Die Grundwasserzuströmung in das Untersuchungsgebiet beträgt bei Mittelwasserverhältnissen nach der Modellbilanz 125 l/s.

Die Nitratkonzentration des Grundwasserzuströmes in das Untersuchungsge-

biet liegt bei 50 mg/l und kann aus Messdaten der Grundwasserqualität ermittelt werden. Der Mittelwert der Nitratkonzentration im gesamten Untersuchungsgebiet liegt bei 53 mg/l und wurde als Rastermittelwert einer geostatistischen Interpolation mit einer Rasterweite von 25 * 25 m geschätzt. Datengrundla-

ge für die Interpolation der Nitratverteilung sind insgesamt 16 Grundwassergüte-Messstellen.

3.3 Ergebnisse

Mit den Ergebnissen der Teilkomponentenbilanzierung können nun die Parameter der (Gl. 1) bestimmt werden:

Q_Z	125 [l/s]	C_Z	50 [mg/l]
Q_{LW}	55 [l/s]	C_{LW}	107 [mg/l]
Q_{SF}	95 [l/s]	C_{SF}	? [mg/l]
Q_T	275 [l/s]	C_T	53 [mg/l]

Nach (Gl. 1) berechnet sich mit diesen Parametern eine Nitratkonzentration der Neubildung aus nicht ackerbaulich genutzten Bereichen zu $C_{SF} = 25$ [mg/l].

Die Wasser- und Nitratbilanz für den südlichen Teil des westlichen Leibnitzer Feldes ist in *Abbildung 2* grafisch dargestellt. Deutlich erkennbar ist dabei, dass der Unterschied zwischen der Austragskonzentration ackerbaulich genutzter Flächen und der Nitratkonzentration im Grundwasser einerseits durch den

Tabelle 2: Grundwasserstandsmessstellen zugeordnete Teilflächen (abzüglich der ackerbaulich genutzten Flächen) und dafür berechnete Grundwasserneubildung ermittelt aus Grundwasserstandsganglinien.

NB - Gebiet	Fläche [ha]	NB [m³]	NB - Gebiet	Fläche [ha]	NB [m³]
38188	67.62	868973	38101	17.94	237428
38122	62.71	977236	38204	17.42	232590
38142	62.46	790568	3822	17.23	263086
3816	54.32	1042028	38125	16.83	231081
38186	50.66	646185	38301	16.74	200652
38206	47.96	650976	3832	16.39	213774
3834	40.30	476658	38203	15.36	223991
38105	36.61	451586	3826	14.27	215236
38183	35.52	423643	38102	12.51	163715
38066	33.00	399849	38261	12.00	147867
WAGNA	28.72	373772	38109	10.00	141858
38209	28.23	517278	3828	6.82	120294
38088	26.40	346139	38282	1.41	27204
			Summe	749.41	10383668

