

Quantifizierung von Stickstoffeinträgen über unterirdische Abflusspfade in Gewässer

Vom Promotionsausschuss der
Technischen Universität Hamburg-Harburg
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieurin (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

von
Claudia Thormählen

aus
Elmshorn

2010

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Knut Wichmann
Technische Universität Hamburg-Harburg
2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Uwe Neis
Technische Universität Hamburg-Harburg

Tag der mündlichen Prüfung: 22. April 2010

Berichte aus der Umwelttechnik

Claudia Thormählen

**Quantifizierung von Stickstoffeinträgen über
unterirdische Abflusspfade in Gewässer**

Shaker Verlag
Aachen 2010

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Hamburg-Harburg, Techn. Univ., Diss., 2010

Copyright Shaker Verlag 2010

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9437-3

ISSN 0945-1013

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird ein neues, pfadbezogenes Berechnungsverfahren zur Quantifizierung der diffusen, wasserbürtigen Stickstoffeinträge in Gewässer, d.h. in das Grundwasser sowie in die oberirdischen Gewässer, auf Ebene von Flusseinzugsgebieten der oberen Mesoskala entwickelt.

Anhand eines Beispielgebietes in Schleswig-Holstein (EZG Pinnau) wird das entwickelte Berechnungsverfahren umgesetzt. Hierbei werden die jeweiligen Stickstoffkonzentrationen bzw. Stickstofffrachten auf dem gesamten Fließpfad, d.h. vom Eintrag in die ungesättigte Bodenzone über die ungesättigte Gesteinszone und die gesättigte Zone sowie über die künstlichen Entwässerungssysteme bis zur Exfiltration in das oberirdische Gewässer, flächen- und mengenmäßig dargestellt.

Mit Hilfe dieses GIS-gestützten, rasterbasierten Berechnungsverfahrens kann für jeden Fließpfad ein Abbaupotenzial berechnet werden. Somit ist es möglich, Belastungsschwerpunkte innerhalb eines Einzugsgebietes zu identifizieren. Für die Aufstellung der Bewirtschaftungspläne und die darauf folgenden Maßnahmenprogramme nach EG-WRRL wird mit diesem kleinräumigen, methodischen Ansatz ein handhabbares Instrument für die Ausweisung von Flächen mit einem erhöhten Austragsrisiko bereitgestellt.

Abstract

In this dissertation a new flow path analysis for the quantification of diffuse nitrogen inputs in surface water and groundwater bodies was developed on an upper river basin scale.

The developed analysis was applied in the study area of the river basin Pinnau in Schleswig-Holstein (Germany). The nitrogen concentrations and the nitrogen loads from the sources to soil, vadose zone and saturated zone resp. to underground drainage systems until discharge to the surface waters were described with regard to area and quantity.

By means of this GIS-supported and grid-based analysis one can calculate a degradation potential for single flow paths. Thus it is possible to identify core areas of loads within a river basin. In the context of implementation of the European Water Framework Directive for the development of river basin management plans and the programs of measures this new flow path analysis is a valuable tool to display areas with an increased risk for leaching and export of nitrogen.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungen und Symbole	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Veranlassung und Zielsetzung	1
1.2 Rechtliche Rahmenbedingungen und aktuelle Entwicklungen	3
1.2.1 Oberirdische Gewässer.....	3
1.2.2 Grundwasser.....	5
1.2.3 Stickstoffüberschüsse aus der Landwirtschaft	6
1.2.4 Schlussfolgerungen	6
1.3 Begriffsdefinitionen	7
2 Modelle zur Beschreibung des Stickstoffumsatzes im Untergrund	12
2.1 Skalenbezug von Modellen	12
2.1.1 Räumliche Skalenebenen	13
2.1.2 Betrachtete Zonen und Abflusspfade	13
2.1.3 Zeitliche Auflösung.....	14
2.2 Modelle für die ungesättigte und gesättigte Zone	14
2.2.1 Verfahren für die ungesättigte Zone.....	14
2.2.2 Grundwassermodelle	18
2.2.3 Modellkombinationen	20
2.3 Nährstoffbilanz- und Stoffhaushaltsmodelle	20
2.3.1 Nährstoffbilanzmodelle.....	20
2.3.2 Stoffhaushaltsmodelle.....	23
2.4 Empirische, konzeptionelle und Fuzzy-Regel basierte Modelle	25
2.4.1 Empirische Modelle.....	25
2.4.2 Konzeptionelle Modelle	26
2.4.3 Fuzzy-Regel basierte Modelle.....	26
2.5 Bewertung und Diskussion vorhandener Modelle	27
2.5.1 Bewertungsmatrix	27
2.5.2 Schlussfolgerungen für ein optimiertes Berechnungsverfahren	29

3	Hydrochemische und hydrogeologische Grundlagen	36
3.1	Stoffliche Eigenschaften und Transformationsprozesse	36
3.1.1	<i>Eigenschaften des Stickstoffes</i>	37
3.1.2	<i>Transformationsprozesse</i>	38
3.1.3	<i>Denitrifikation im Untergrund</i>	40
3.1.4	<i>Literaturdatenbank zu reaktionskinetischen Ansätzen</i>	47
3.2	Strömungs- und Transportprozesse in porösen Medien	50
3.2.1	<i>Ungesättigte Boden- und Gesteinszone</i>	50
3.2.2	<i>Gesättigte Zone</i>	52
3.2.3	<i>Künstliche Entwässerungsgebiete</i>	62
4	Berechnungsverfahren zur Quantifizierung der Stickstoffeinträge in Gewässer	65
4.1	Stickstoffauswaschung aus der Wurzelzone	67
4.1.1	<i>Ermittlung des N-Bilanzüberschusses</i>	67
4.1.2	<i>Stickstoffkonzentration im Sickerwasser</i>	73
4.1.3	<i>Unterteilung in unterirdische Abflusskomponenten</i>	74
4.2	Stickstoffeintrag aus der ungesättigten Gesteinszone in die gesättigte Zone	77
4.2.1	<i>Verweilzeit in der ungesättigten Gesteinszone</i>	77
4.2.2	<i>Hydrochemisches Milieu</i>	78
4.3	Stickstoffeintrag aus der gesättigten Zone in oberirdische Gewässer	78
4.3.1	<i>Identifizierung der Fließwege</i>	79
4.3.2	<i>Aufenthaltszeiten in der gesättigten Zone</i>	80
4.3.3	<i>Hydrochemisches Milieu</i>	83
4.4	Stickstoffeintrag aus gedränten Flächen in oberirdische Gewässer	85
4.5	Umsetzung in einem Geografischen Informationssystem (GIS)	86
4.6	Ergebnisdarstellungen	88
4.6.1	<i>Identifizierung von austragsgefährdeten Flächen</i>	88
4.6.2	<i>Quantifizierung der Stickstoffeinträge</i>	89
5	Umsetzung am Beispiel des Einzugsgebietes der Pinnau	91
5.1	Das Einzugsgebiet (EZG) der Pinnau	91
5.1.1	<i>Topografie, Orografie und Naturräume</i>	91
5.1.2	<i>Bodenformen und Landnutzung</i>	92
5.1.3	<i>Geologie und Hydrogeologie</i>	95

5.1.4	<i>Wasser- und Stoffhaushalt</i>	97
5.1.5	<i>Einstufung nach EG-Wasserrahmenrichtlinie</i>	102
5.2	Implementierung des Berechnungsverfahrens	104
5.2.1	<i>Ermittlung der N-Bilanzüberschüsse</i>	104
5.2.2	<i>Stickstoffkonzentrationen im Sickerwasser</i>	107
5.2.3	<i>Verlagerungszeiten in der ungesättigten und gesättigten Zone</i>	109
5.2.4	<i>Ermittlung der Abbauraten</i>	114
5.3	Ergebnisdarstellungen	115
5.3.1	<i>Stickstoffeinträge über den Grundwasserabfluss</i>	115
5.3.2	<i>Stickstoffeinträge über den Dränabfluss</i>	118
5.3.3	<i>Gesamtfrachten über die unterirdischen Abflusspfade</i>	121
5.3.4	<i>Gegenüberstellung von Emissions- und Immissionsdaten</i>	121
5.3.5	<i>Schlussfolgerungen für das Untersuchungsgebiet</i>	122
5.4	Hinweise und Handlungsempfehlungen zur Datenverfügbarkeit	123
5.4.1	<i>Geofach- und Geobasisdaten</i>	123
5.4.2	<i>N-Flächenbilanzsalden</i>	125
6	Diskussion unterschiedlicher Berechnungsverfahren und Modelle	127
6.1	Vergleichsrechnungen	127
6.1.1	<i>Variation der Eingangsdaten des entwickelten Berechnungsverfahrens</i>	127
6.1.2	<i>Grundwassermodell</i>	131
6.1.3	<i>Nährstoffbilanzmodell</i>	136
6.2	Auswertung der Berechnungsverfahren und Modelle.....	139
6.2.1	<i>Identifizierung von austragsgefährdeten Flächen</i>	140
6.2.2	<i>Quantifizierung der Stickstoffeinträge</i>	143
6.3	Praxisbezogener Nutzen des entwickelten Berechnungsverfahrens	145
7	Zusammenfassung	146
	Literatur	153
	Anhang I: Nomogramm zur Ermittlung der Entwässerungszeit	169
	Anhang II: Herkunft und Bezugsquellen der verwendeten Grundlagendaten	170
	Anhang III: Ermittelte Eingangsparameter	171
	Anhang IV: Berechnung der N-Bilanzsalden	172

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abb. 1-1.	Stickstoffüberschüsse der Gesamtbilanz für Deutschland (UBA 2007)	6
Abb. 1-2.	Zulässige N-Überschüsse bei Einhaltung des Grenzwertes für Nitrat von 50 mg/l	7
Abb. 1-3.	Potenzielle Stickstoffeinträge in Boden und Gewässer (nach AID 1994, verändert)	8
Abb. 1-4.	Terminologie der Zonen im Untergrund mit Passagen a) (<i>links</i>) und b) (<i>rechts</i>)	10
Abb. 3-1.	Transformationsprozesse natürlich vorkommender N-Verbindungen (Capone 1991, verändert)	38
Abb. 3-2.	Substratverbrauchsrate der Mikroorganismen in Abhängigkeit der Substratkonzentration	46
Abb. 3-3.	Betrachtete Typen von Grundwasserleitern	53
Abb. 3-4.	Gespanntes Grundwasser bei stationärer Strömung	53
Abb. 3-5.	Ausbildung einer Grundwasserfließzelle (A-E) auf Grundlage homogener, isotroper Verhältnisse (HUBBERT 1940, verändert)	56
Abb. 3-6.	Parameter zur Untersuchung eines Neubildungs- oder topografisch gesteuerten Fließsystems (HAITJEMA und MITCHELL-BRUKER 2005, verändert)	56
Abb. 3-7.	Lokales, intermediäres und regionales System eines Grundwasserleiters (TÓTH 1963, verändert)	57
Abb. 3-8.	Fall I: Grundwasserscheide x_d innerhalb des betrachteten Aquifers $0 < x_d < L$ (CHESNAUX et al. 2005, verändert)	60
Abb. 3-9.	Fall II: Grundwasserscheide außerhalb des betrachteten Aquifers $x_d < 0$ (CHESNAUX et al. 2005, verändert)	60
Abb. 4-1.	Fließbild des entwickelten Berechnungsverfahrens	66
Abb. 4-2.	D8-Algorithmus zur Ermittlung der Fließrichtung aus einer Zelle (FÜRST 2004)	80
Abb. 4-3.	Semiempirischer Zusammenhang zwischen dem k_f -Wert und dem effektiven Porenvolumen nach ENTENMANN (1998)	82
Abb. 5-1.	Orografie des Einzugsgebietes der Pinnau (Quelle DGM 50: LVerma SH)	92

Abb. 5-2.	Bodentypen im Einzugsgebiet der Pinnau (Quelle BÜK 200: BGR).....	92
Abb. 5-3.	Bodenarten im Einzugsgebiet der Pinnau (Quelle BÜK 200: BGR)	93
Abb. 5-4.	Landnutzung im Einzugsgebiet der Pinnau (Quelle CIR-Luftbilder 1989-91: LANU SH).....	94
Abb. 5-5.	Verbreitung und Mächtigkeit der oberflächennahen Wasserleiter im EZG der Pinnau (Quelle: LANU SH).....	95
Abb. 5-6.	Hydrogeologische Merkmale des Untergrundes im EZG der Pinnau (Quelle: LANU SH).....	96
Abb. 5-7.	Mittlere korrigierte jährliche Niederschlagshöhe im EZG der Pinnau (Quelle Niederschlagshöhen 1971 – 2000: DWD).....	97
Abb. 5-8.	Grundwassermessstellen (Quelle: LANU SH) und -gleichen im EZG der Pinnau	100
Abb. 5-9.	Pegelmessstellen und mittlere jährliche Niedrigwasserabflusspenden (1985 – 2005) im EZG der Pinnau (Quelle: LANU SH).....	101
Abb. 5-10.	Ökologischer Zustand der oberirdischen Gewässer im EZG der Pinnau (MLUR SH 2008a)	103
Abb. 5-11.	Stickstoffbilanzüberschüsse im EZG der Pinnau für Jahr 1990	107
Abb. 5-12.	Potenzielle Nitratkonzentrationen im Sickerwasser im EZG der Pinnau	109
Abb. 5-13.	Dränbedürftige Böden im EZG der Pinnau	109
Abb. 5-14.	Grundwasseroberfläche für das EZG der Pinnau	111
Abb. 5-15.	Verweilzeiten in der ungesättigten Gesteinszone im EZG der Pinnau	112
Abb. 5-16.	Aufenthaltszeiten in der gesättigten Zone im EZG der Pinnau	113
Abb. 5-17.	Gesamtließzeit im Untergrund im EZG der Pinnau	114
Abb. 5-18.	Stickstoffeinträge aus dem Grundwasserabfluss in die oberirdischen Gewässer des EZG der Pinnau	116
Abb. 5-19.	Stickstoffeinträge aus dem Dränabfluss in die oberirdischen Gewässer des EZG der Pinnau	119
Abb. 6-1.	Landnutzung (CLC) im EZG der Pinnau.....	128
Abb. 6-2.	Sickerwasserraten im EZG der Pinnau (Regressionsgleichungen nach PROKSCH 1990)	129
Abb. 6-3.	Grundwasserbürtige Stickstoffeinträge in die oberirdischen Gewässer	130
Abb. 6-4.	Lage des Teilgebietes für die numerischen Berechnungen.....	132

Abb. 6-5.	Geologische Übersichtskarte (GÜK 200) mit Übertragung der Durchlässigkeitsbeiwerte auf die ersten beiden Layer des Grundwassermodells.....	133
Abb. 6-6.	Randbedingungen und Startwerte für das Untersuchungsgebiet	134
Abb. 6-7.	a) Berechnete Grundwassergleichen (links); b) Aufenthaltszeiten des Grundwassers im Nahbereich des oberirdischen Gewässers (rechts).....	135
Abb. 6-8.	MOBINEG-Berechnungsschema für die wasserbürtigen Stickstoffemissionen.....	137

Tabellen

Tabelle 1-1.	Referenz- und Schwellenwerte für verschiedene Stickstoffparameter in Fließgewässern sowie Übergangs- und Küstengewässer (BMU 2006, verändert).....	4
Tabelle 2-1.	Längen und Flächen für verschiedene Skalenbereiche (BECKER 1992).....	13
Tabelle 2-2.	Bewertung vorhandener Modellgruppen.....	28
Tabelle 2-3.	Anforderungsprofil für ein optimiertes Berechnungsverfahren.....	35
Tabelle 3-1.	Mineralisierter Stickstoff bis 30 cm Krumentiefe bei unterschiedlichen Humusgehalten (AD-HOC-AG BODEN 2005, ROHMANN und SONTHEIMER 1985, verändert).....	39
Tabelle 3-2.	Einflussfaktoren der Denitrifikation und deren Wirkungsbereich	43
Tabelle 3-3.	Abfrageparameter für die betrachteten Zonen	48
Tabelle 3-4.	Rauheitsbeiwerte für verschiedene Rohrmaterialien	63
Tabelle 4-1.	Datengrundlagen für die Berechnung der N-Bilanzsalden in [kg N/(ha a)]....	69
Tabelle 4-2.	Direkte und indirekte raumbezogene Daten für die Berechnung der N-Bilanzsalden	70
Tabelle 4-3.	Stickstoffgehalte in der Luft für Waldstandorte.....	71
Tabelle 4-4.	Bewertung des standörtlichen Denitrifikationspotenzials von Böden (GÄTH et al. 1997, modifiziert nach HÖPER 2000).....	72
Tabelle 4-5.	Verwendete Verfahren zur Berechnung der Sickerwasserrate.....	73
Tabelle 4-6.	Dränbedürftige Böden (EGGELSMANN 1981, verändert).....	76
Tabelle 4-7.	Raumbezogene Daten für die Identifizierung von dränierten Flächen.....	76
Tabelle 4-8.	Parameter für die Erstellung des Grundwassergleichenplanes	80

Tabelle 4-9. Einstufung der Durchlässigkeiten nach hydrogeologischer Kartieranleitung	81
Tabelle 4-10. Reaktionskinetische Ansätze für die gesättigte Zone	84
Tabelle 4-11. Faktor n_{DW} für den jährlichen Dränabfluss als Anteil an der Sickerwasserhöhe für verschiedene Böden und Landnutzungen (TETZLAFF et al. 2007, verändert)	90
Tabelle 5-1. Bilanzgrößen des Wasserhaushaltes für das EZG der Pinnau.....	98
Tabelle 5-2. Immissionsseitige Stickstofffrachten der Pinnau (LANU SH 2005)	102
Tabelle 5-3. Agrarstatistiken für die Berechnung der Stickstoffbilanzüberschüsse	104
Tabelle 5-4. Bandbreiten der N-Bilanzsalden im EZG der Pinnau	105
Tabelle 5-5. Untersuchte Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten	115
Tabelle 5-6. Stickstofffrachten über den Grundwasserabfluss	117
Tabelle 5-7. Stickstofffrachten über den Dränabfluss.....	120
Tabelle 5-8. Gesamtfrachten über die unterirdischen Abflusspfade	121
Tabelle 6-1. Veränderte Eingangsparameter.....	127
Tabelle 6-2. Eingabeparameter für das Grundwassermodell	132
Tabelle 6-3. Berechnung der wasserbürtigen Stickstoffemissionen	138
Tabelle 6-4. Auswertung im Hinblick auf die Identifizierung austragsgefährdeter Flächen	140
Tabelle 6-5. Auswertung im Hinblick auf die Quantifizierung der Stickstoffeinträge	143

Abkürzungen und Symbole

Abkürzungen

AG	Arbeitsgruppe
AID	Auswertungs- & Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft & Forsten e.V.
ALK	Automatisierte Liegenschaftskarte
ATV	Abwassertechnische Vereinigung e.V., heute DWA
ATV-DVWK	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser & Abfall e.V., heute DWA
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BÜK	Bodenkundliche Übersichtskarte
C	Kohlenstoff
CIR	Color Infrared
CLC	CORINE Land Cover
DGM	Digitales Gelände(höhen)modell
DIN	Deutsches Institut für Normierung
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DOC	Dissolved organic carbon
DüV	Düngeverordnung
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V.
DVWK	Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., heute DWA
DW	Dränwasser
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
EG	Europäische Gemeinschaft
EG-WRRL	EG – Wasserrahmenrichtlinie
EPA	U.S. Environmental Protection Agency

EU	Europäische Union
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
EZG	Einzugsgebiet
FAO	Food and Agriculture Organization
GIS	Geografisches Informationssystem
GOK	Geländeoberkante
GÜK	Geologische Übersichtskarte
GW	Grundwasser
GZ	Gesteinszone
HAD	Hydrologischer Atlas von Deutschland
HH	Freie und Hansestadt Hamburg
HÜK	Hydrogeologische Übersichtskarte
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
LANU SH	Landesamt für Natur und Umwelt des Landes SH, heute LLUR SH
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LLUR SH	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume SH
LVermA SH	Landesvermessungsamt SH
LWK	Landwirtschaftskammer
MLUR SH	Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume SH
MUNL SH	Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Landwirtschaft SH, heute MLUR SH
MNQ	Mittlerer Niedrigwasserabfluss
MQ	Mittlerer Abfluss
MS	Microsoft
N	Stickstoff
NHN	Normalhöhennull
O	Sauerstoff
RL	Richtlinie
SH	Schleswig-Holstein
SW	Sickerwasser
TEZG	Teileinzugsgebiet
TK	Topografische Karte

TrinkwV	Trinkwasserverordnung
TÜK	Topografische Übersichtskarte
UBA	Umweltbundesamt
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WHO	World Health Organization

L	Längeneinheit
M	Masseneinheit
T	Zeiteinheit

Symbole

a	Dränabstand (Abstand der Dränrohrachsen) [L]
A_S	Größe der städtischen Flächen [L ²]
b_{GW}	Mächtigkeit des Grundwasserleiters [L]
b_{SW}	Mächtigkeit der ungesättigten Gesteinszone [L]
b_{We}	effektive Durchwurzelungstiefe [L]
C	Integrationskonstante [-]
C_w	spezifische Wasserkapazität [1/L]
c	Konzentration [M/L ³]
c_{EA}	Konzentration des Elektronenakzeptors [M/L ³]
$c_{NO_3^-}$	Nitratkonzentration [M/L ³]
$c_{NO_3^-}^{DW}$	Nitratkonzentration im Dränwasser [M/L ³]
$c_{NO_3^-}^{GW}$	Nitratkonzentration im Grundwasser [M/L ³]
$c_{NO_3^-}^{OG,GW}$	Nitratkonzentration im oberirdischen Gewässer aus Grundwasserabfluss [M/L ³]
$c_{NO_3^-}^{OG,DW}$	Nitratkonzentration im oberirdischen Gewässer aus Dränabfluss [M/L ³]
$c_{NO_3^-}^{SW}$	Nitratkonzentration im Sickerwasser [M/L ³]

c_S	Substratkonzentration [M/L ³]
c_X	Biomassekonzentration [M/L ³]
d	maximaler Abstand zwischen (mittlerer) Wasserspiegelhöhe und GOK [L]
d_{hy}	hydraulischer Durchmesser [L]
d_{DR}	Faktor zur Bestimmung des Dränabstandes [L]
d_R	Innendurchmesser des Dränrohrs [L]
E	Ernteertrag [M/(L ² T)]
$ET_{pot_{FAO}}$	mittlere jährliche potenzielle Verdunstungshöhe als FAO-Gras-Referenzverdunstung [L]
EW	Einwohnerzahl im Einzugsgebiet [-]
F_{Abfuhr}	N-Abfuhr [M/(L ² T)]
$F_{Atmos.Dep.}$	N-Fracht aus atmosphärischer Deposition [M/(L ² T)]
F_{Deni}	N-Denitrifikationspotenzial von Böden [M/(L ² T)]
$F_{Entzug,W}$	N-Entzug für Waldstandorte [M/(L ² T)]
F_{Ernte}	N-Fracht aus Erntegut (Haupt- und Nebenprodukte) [M/(L ² T)]
F_{Fix}	N-Fracht aus N ₂ -Bindung durch Leguminosen und bei Grünlandflächen [M/(L ² T)]
F_{min}	mineralische N-Fracht des Bodens zu Vegetationsbeginn [M/(L ² T)]
$F_{Leckage}$	N-Fracht aus Leckagen im Kanalnetz [M/(L ² T)]
$F_{Min.Bedarf}$	Berechneter Bedarf an mineralischem Stickstoff [M/(L ² T)]
$F_{OG,GW}$	N-Fracht im oberirdischen Gewässer aus Grundwasserabfluss [M/(L ² T)]
$F_{OG,DW}$	N-Fracht im oberirdischen Gewässer aus Dränabfluss [M/(L ² T)]
$F_{Org.Dünger}$	N-Fracht aus sonstigen organischen Düngemitteln [M/(L ² T)]
$F_{Saldo,i}$	N-Bilanzsaldo von $i = L$ (landwirtschaftliche Nutzflächen), $i = S$ (städtische Flächen) und $i = W$ (Waldflächen) [M/(L ² T)]
F_{Soll}	N-Sollwert [M/(L ² T)]
$F_{Über}$	N-Bilanzüberschuss [M/(L ² T)]

$F_{Wirt.Dünger}$	N-Fracht aus Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft [M/(L ² T)]
F_{Zufuhr}	N-Zufuhr [M/(L ² T)]
f_E	N-Gehalt pflanzlicher Erzeugnisse [M/M]
f_{EW}	N-Gehalt im Schmutzwasser pro Einwohner und Jahr [M/T]
$f_{W,i}$	N-Gehalt der Ausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere [M/T]
g	Fallbeschleunigung der Erde [L/T ²]; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
h	Matrixpotenzialhöhe im ungesättigten Bereich bzw. Druckpotenzialhöhe im gesättigten Bereich [L]
h_0	Druckpotenzialhöhe zu Anfang des gespannten/freien Bereiches im Grundwasser [L]
h_{DR}	Höhe des max. zulässigen Grundwasserspiegels über der Dränrohrachse zwischen den Dränen [L]
h_L	Druckpotenzialhöhe nach Fließweglänge L im gespannten/freien Grundwasser [L]
$h_{L'}$	Druckpotenzialhöhe nach Fließweglänge L' im freien Grundwasser [L]
I	Sohlgefälle [-]
K_0	Reaktionsgeschwindigkeitskonstante 0. Ordnung [M/(L ³ T)]
K_1	Reaktionsgeschwindigkeitskonstante 1. Ordnung [M/(L ³ T)]
K_{DOC}	Sättigungskoeffizient der limitierenden gelösten organischen Substanz (DOC) [M/L ³]
K_{EA}	Monod-Parameter für den Elektronenakzeptor [M/L ³]
$K_{GW,0}$	Reaktionsgeschwindigkeitskonstante 0. Ordnung im Grundwasser [M/(L ³ T)]
$K_{GW,1}$	Reaktionsgeschwindigkeitskonstante 1. Ordnung im Grundwasser [M/(L ³ T)]
K_m	Michaelis-Menten-Konstante [M/L ³]
$K_{NO_3^-}$	Monod-Parameter für Nitrat [M/L ³]
K_S	Sättigungskoeffizient des limitierenden Substrats [M/L ³]
$K_{SW,0}$	Reaktionsgeschwindigkeitskonstante 0. Ordnung im Sickerwasser [M/(L ³ T)]
$K_{SW,1}$	Reaktionsgeschwindigkeitskonstante 1. Ordnung im Sickerwasser [M/(L ³ T)]

k	hydraulische Wasserleitfähigkeit des Bodens [L/T]
k_b	absolute Rauheit der Innenwand des Dränrohres [L]
k_f	Durchlässigkeitsbeiwert in longitudinaler Richtung im Bereich des gespannten/freien Grundwassers [L/T]
k_f^x, k_f^y, k_f^z	Durchlässigkeitsbeiwerte in Richtung der Koordinaten x,y,z [L/T]
k_{β_1}	Wasserdurchlässigkeit der Bodenschicht oberhalb des Dräns [L/T]
k_{β_2}	Wasserdurchlässigkeit der Bodenschicht unterhalb des Dräns [L/T]
k_{β}	Durchlässigkeitsbeiwert in horizontaler Richtung [L/T]
$k_{\beta'}$	Durchlässigkeitsbeiwert in vertikaler Richtung [L/T]
k_{Sr}	Rauheits- bzw. Geschwindigkeitsbeiwert [-]
L	Fließweglänge im gespannten/freien Grundwasser [L]
L'	Transformierte Fließweglänge im freien Grundwasser [L]
l	Abstand zwischen zwei hydrologischen Grenzen (z.B. Vorflutern) [L]
m	Faktor zw. 8 (1 dimensional) und 16 (radial symmetrisch), abhängig vom Fließregime [-]
n_A	Auswaschungsfaktor [1/T]
n_{DR}	Höhe des Grundwasserspiegels über der Dränrohrachse [L]; in der Regel $n = 0$
n_{DW}	Faktor für den jährlichen Dränabfluss als Anteil an der Sickerwasserhöhe [-]
n_e	effektive Porosität im gespannten/freien Grundwasserleiter [-]
n_F	Faktor zur Umrechnung der anfallenden Wirtschaftsdüngermenge auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen [1/L ²]
n_L	Faktor zwischen 0,05 und 0,15 zur Berücksichtigung der Verluste über Leckagen [-]
n_S	Austauschhäufigkeit [1/T]
n_V	Faktor zur Berücksichtigung der Stall- und Lagerungsverluste [-]
n_W	Faktor zur Berücksichtigung der pflanzenbaulichen Wirksamkeit des Stickstoffes [-]
$N_{j_{kor}}$	mittlere korrigierte jährliche Niederschlagshöhe [L]

$N_{S_{korr}}$	mittlere korrigierte jährliche Niederschlagshöhe im klimatischen Sommerhalbjahr (1.4. – 30.09.) [L]
Q_A	Wassermenge aus Abfluss [L^3/T]
Q_N	Wassermenge aus Niederschlag [L^3/T]
Q_V	Wassermenge aus Verdunstung [L^3/T]
q	Durchfluss pro Einheitsquerschnitt [$L^3/(L^2 T)$]
q_0	max. abzuführende Niederschlagshöhe [$L^3/(L^2 T)$]
q_{GW}	Grundwasserneubildung, Abflusshöhe je Zeiteinheit in das Grundwasser [$L^3/(L^2 T)$]
q_{SW}	Infiltrationsrate bzw. Sickerwasserrate/-höhe [$L^3/(L^2 T)$]
$q_{SW, DW}$	Anteilige Sickerwasserhöhe, die in das Dränsystem gelangt [$L^3/(L^2 T)$]
q_{MQ}	Mittlere jährliche Abflussspende [$L^3/(L^2 T)$]
q_{MNQ}	Mittlere jährliche Niedrigwasserabflussspende [$L^3/(L^2 T)$]
q_{MNQ}^{TEZG}	Mittlere jährliche Niedrigwasserabflussspende je Teileinzugsgebiet [$L^3/(L^2 T)$]
r_{hy}	hydraulischer Radius [L]
S_S	Spezifischer Speicherkoeffizient [1/L]
T	Transmissivität des gespannten Grundwasserleiters [L^2/T]
t	Zeit [T]
t_{ges}	Gesamtließezeit im Untergrund [T]
t_{GW}	Aufenthaltszeit des Grundwassers im gespannten/freien Grundwasserleiter [T]
t_{SW}	Verweilzeit des Sickerwassers in der ungesättigten Gesteinszone [T]
v_{DW}	mittlere Fließgeschwindigkeit des Dränwassers im Dränrohr [L/T]
v_f	Filtergeschwindigkeit nach Darcy im gespannten/freien Grundwasser [$L^3/(L^2 T)$], [L/T]
v_{GW}	Fließgeschwindigkeit im gespannten/freien Grundwasser [L/T]
v_m	Umsatzgeschwindigkeit [$M/(L^3 T)$]
v_{max}	maximale Substratverbrauchsrate [$M/(L^3 T)$]

$v_{m,max}$	maximale Umsatzgeschwindigkeit, Umsatzgeschwindigkeit bei Sättigung [$M/(L^3 T)$]
v_{SW}	Verlagerungsgeschwindigkeit des Sickerwassers in der unges. Gesteinszone [L/T]
W_i	Anzahl verschiedener landwirtschaftlicher Nutztiere i [-]
x	Längenkoordinate des Systems [L]
x_d	Position der Wasserscheide [L]
Y_c	Ertragskoeffizient [M/M]
α	Hilfsvariable zur Beschreibung des transformierten Systems [L^2]
γ	Hilfsvariable zur Beschreibung der Aufenthaltszeit im freien Grundwasserleiter [-]
μ	spezifische Wachstumsgeschwindigkeit [$1/T$]
μ_{max}	maximale spezifische Wachstumsgeschwindigkeit [$1/T$]
ν	kinematische Viskosität [L^2/T]; $\nu (10^\circ C) = 1,31 \cdot 10^{-6} m^2/s$
ϖ	Quelle und/oder Senke des Wassers wie z.B. Grundwasserneubildung, Grundwasserentnahmen [$L^3/(L^3 T)$]
θ_{FK}	Feldkapazität [%, L/L]
θ_{nFK}	nutzbare Feldkapazität [%, L/L]
θ_w	Volumenanteil an Wasser [%, L/L]
ξ	Längenkoordinate des transformierten Systems [L]
Θ	Durchfluss pro Einheitsbreite [$L^3/(L T)$]