



**Bericht 2005
Grundwasser
Stand 15.07.2004**

Methodenbeschreibung

Aufgestellt: Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (NLfB)
Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ)
Bezirksregierung Hannover

Mitarbeit: Bezirksregierung Braunschweig
Bezirksregierung Lüneburg
Bezirksregierung Weser-Ems
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft u. Küstenschutz (NLWK)



Bearbeiter

Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (NLfB):

Dr. H. Eckl
B. Engeser
Dr. M. Heinisch
H. Höper
H. Hoppe
Dr. V. Josopait
Dr. K.-H. Krieger
R. Meyer
Dr. U. Müller
M. Neuss
Dr. E. Reutter
K. Richter
H. Röhm
Dr. W. Schäfer
S. Stolze
J. Wilke

Niedersächsisches Landesamt für Ökologie (NLÖ):

C. Brauns
K. Mücke
M. Scholtka
Dr. M. Wendt

Bezirksregierung Hannover:

M. Fischer
J. Gärtner



Inhaltsverzeichnis

4.2	Grundwasser.....	4
4.2.1	Lage und Grenzen der Grundwasserkörper	4
4.2.1.1	Abgrenzung der Betrachtungsräume Grundwasser	4
4.2.1.2	Lage und Grenzen der Grundwasserkörper	6
4.2.2	Beschreibung der Grundwasserkörper	8
4.2.3	Beschreibung der Belastungen und deren Auswirkungen.....	9
4.2.3.1	Belastung durch Punktquellen	9
4.2.3.1.1	Erstmalige Beschreibung	9
4.2.3.1.2	Weitergehende Beschreibung.....	10
4.2.3.2	Belastung durch diffuse Quellen einschließlich zusammenfassender Darstellung der Landnutzung	14
4.2.3.2.1	Darstellung der Vorgehensweise zur Emissionsauswertung (Erstmalige Beschreibung).....	14
4.2.3.2.1.1	Signifikanz der Belastung.....	14
4.2.3.2.1.2	Berechnung des N-Flächenbilanzsaldos der Grundwasserkörper	16
4.2.3.2.2	Darstellung der Vorgehensweise zur Immissionsauswertung	24
4.2.3.2.3	Vertiefte Beschreibung der Verschmutzungsgefährdung durch diffuse Quellen (Weitergehende Beschreibung).....	25
4.2.3.2.3.1	Verfahrensbeschreibung	27
4.2.3.2.4	Landnutzung	33
4.2.3.3	Belastung durch Entnahmen und künstliche Anreicherungen.....	36
4.2.3.3.1	Erstmalige Beschreibung	36
4.2.3.3.1.1	Berechnung der Grundwasserneubildung.....	37
4.2.3.3.1.2	Ermittlung der genehmigten Entnahme- und Einleitungsmengen	40
4.2.3.3.1.3	Ermittlung der Lage der Entnahme- und Einleitungsstellen	41
4.2.3.3.1.4	Bilanzierung auf der Basis der Wasserrechte	41
4.2.3.3.2	Weitergehende Beschreibung.....	41
4.2.3.3.2.1	Ermittlung der tatsächlichen Entnahme- und Einleitungsmengen	41
4.2.3.3.2.2	Bilanzierung auf der Basis der tatsächlichen mittleren Entnahmen und Einleitungen ...	42
4.2.3.3.2.3	Ganglinienauswertung	42
4.2.3.3.2.4	Beurteilung des mengenmäßigen Zustands der Grundwasserkörper	46
4.2.3.4	Sonstige anthropogene Belastungen.....	49
4.2.4	Schutzwirkung der Deckschichten	50
4.2.5	Grundwasserabhängige Oberflächengewässer und Landökosysteme	52
4.2.5.1	Ermittlung der Gebiete der landesweiten/selektiven Biotopkartierungen mit grundwasserabhängigen Ökosystemen	52
4.2.5.1.1	Festlegung der grundwasserabhängigen Kartiereinheiten	52
4.2.5.1.2	Gebiete der landesweiten/selektiven Biotopkartierung mit grundwasserabhängigen Ökosystemen	53
4.2.5.2	Beschränkung der ermittelten Gebiete auf solche außerhalb von Hochmoorstandorten nach der BÜK 50.....	54
4.2.5.3	Verschneidung mit grundwasserabhängigen Böden nach BÜK 50.....	54
4.2.5.4	Beschränkung auf GW-abhängige Ökosysteme in NATURA 2000-Gebieten und grundwasserabhängiges Grünland in Naturschutzgebieten außerhalb von NATURA 2000-Gebieten	54
4.2.6	Ergebnisse der Bestandsaufnahme.....	55
4.2.7	Prüfung der Auswirkungen von Veränderungen des Grundwasserspiegels	55
4.2.8	Überprüfung der Auswirkungen der Verschmutzung auf die Qualität des Grundwassers.....	55
	Literatur	55

Anlage:

1. Liste der vom Grundwasser abhängigen Erfassungseinheiten und Untertypen der landesweiten Biotopkartierung in Niedersachsen



4.2 Grundwasser

Die Bestandsaufnahme für das Grundwasser gliedert sich in die zwei Schritte

- Erstmalige Beschreibung und
- Weitergehende Beschreibung.

Ziel dieser abgestuften Bearbeitungsweise ist es, diejenigen Grundwasserkörper zu ermitteln, die sowohl mengenmäßig als auch gütemäßig im „guten Zustand“ sind.

Die Grundwasserkörper, bei denen die Datengrundlage zu einer sicheren Einschätzung des Zustands nicht ausreichend ist, werden im jeweils folgenden Schritt vertieft untersucht.

Grundlage der Bestandsaufnahme in den einzelnen Bundesländern war die dort jeweils vorhandene Datenbasis. Dies führte bei den verschiedenen zu bearbeitenden Themen zu unterschiedlichen Vorgehensweisen und Bearbeitungsmethoden.

Soweit möglich, werden die Datengrundlagen und Verfahrensweisen der angrenzenden Bundesländer mit erläutert. Für die Erstmalige Beschreibung sind daher i.d.R. die Methoden der anderen Länder mit dargestellt; für die Weitergehende Beschreibung liegen die Angaben nicht vor.

4.2.1 Lage und Grenzen der Grundwasserkörper

4.2.1.1 Abgrenzung der Betrachtungsräume Grundwasser

Die Flussgebietseinheiten sind basierend auf Teileinzugsgebieten in „Bearbeitungsgebiete für Oberflächengewässer“ aufgeteilt worden, die wiederum in Koordinierungsräumen zusammengefasst worden sind.

Für die Abgrenzung der Grundwasserkörper wurden die „Bearbeitungsgebiete Oberflächengewässer“ zu größeren Einheiten, den „Betrachtungsräumen Grundwasser“, zusammengefasst. Dieser Schritt war notwendig, um den Anforderungen der Bearbeitung – Abgrenzung von Grundwasserkörpern - aus grundwasserhydraulischer Sicht zu genügen.

Insgesamt ergaben sich für die Flussgebietseinheit „Ems“ 3 Betrachtungsräume, für die Weser ohne Diemel, Werra und Fulda 6 Betrachtungsräume und für den Elbebereich 2 Betrachtungsräume Grundwasser, die im Folgenden aufgelistet sind:

Ems:	Obere Ems Mittlere Ems Untere Ems
Weser (ohne Diemel, Werra, Fulda):	Obere Weser Mittlere Weser Untere Weser/Hunte Obere Aller Untere Aller Leine
Elbe:	Mittelbe Tideelbe



In der Abbildung 4.2.1.1-1 sind die Betrachtungsräume Grundwasser dargestellt, bei denen die Bearbeitung federführend durch Niedersachsen erfolgt. Tabelle 4.2.1.1-1 enthält Angaben zur Gesamtfläche und Anzahl der Grundwasserkörper.

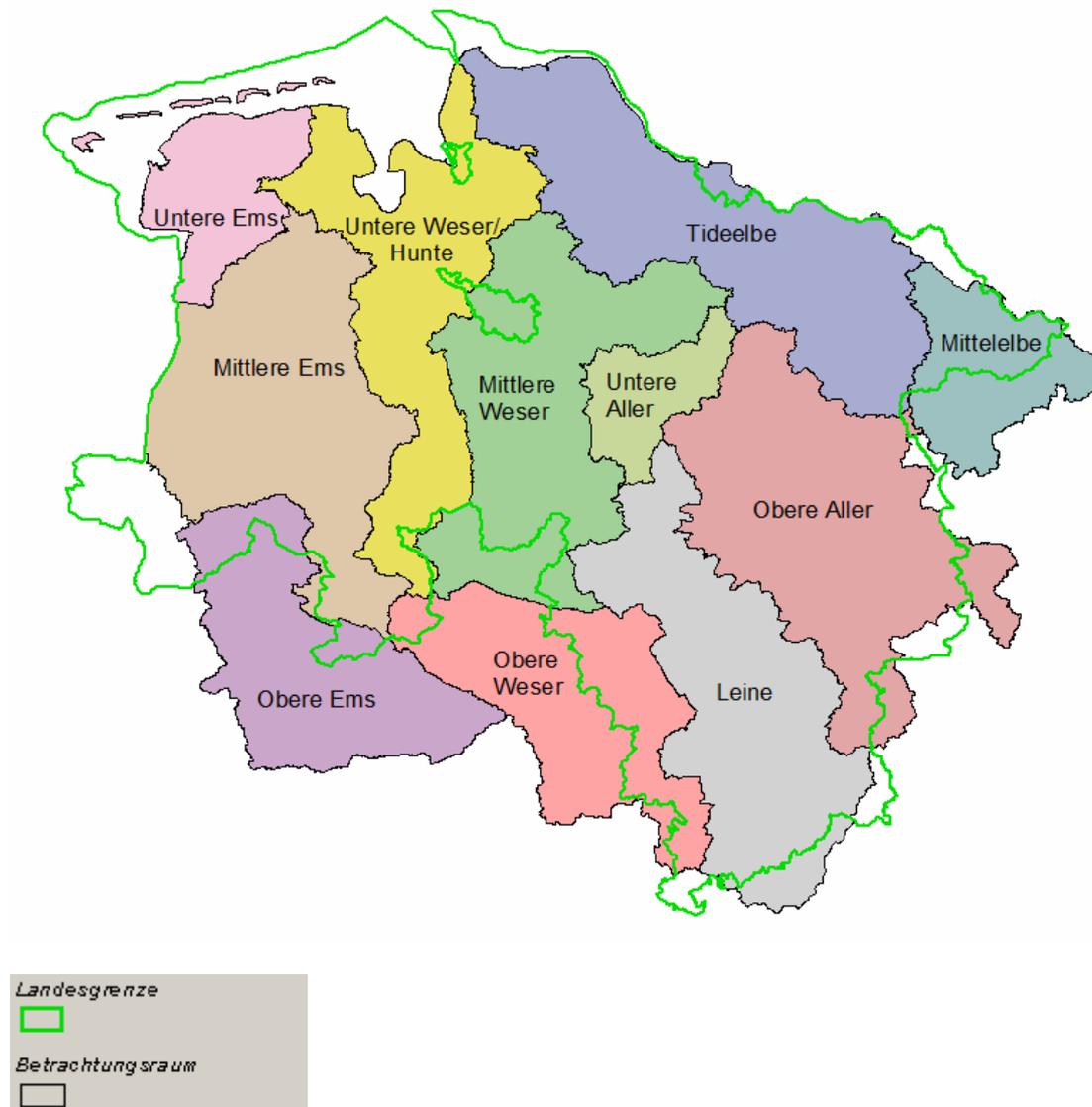


Abb. 4.2.1.1-1: Betrachtungsräume für Grundwasser in Niedersachsen und angrenzenden Gebieten



Tab. 4.2.1.1-1: Betrachtungsräume Grundwasser in Niedersachsen

Betrachtungsraum Grundwasser	NI-ID	Anzahl GW-Körper	Fläche gesamt [km ²]
Obere Ems	NI01	20	4.829
Mittlere Ems	NI02	10	6.844
Untere Ems	NI03	10	2.325
Obere Weser	NI04	19	4.954
Mittlere Weser	NI05	15	6.631
Untere Weser/Hunte	NI06	7	5.768
Obere Aller	NI07	16	7.718
Leine	NI08	16	6.515
Untere Aller	NI09	3	1.492
Mittelelbe	NI10	5	2.527
Tideelbe	NI11	8	7.190

4.2.1.2 Lage und Grenzen der Grundwasserkörper

Niedersachsen/Bremen

Innerhalb der Betrachtungsräume Grundwasser (s.o.) wurden die Grundwasserkörper nach

- hydraulischen Grenzen und
- hydrogeologischen Kriterien

abgegrenzt.

Als hydraulische Grenzen wurden die oberirdischen Wasserscheiden als oberstromige und die relevanten Vorfluter als unterstromige Begrenzung herangezogen. Dabei wurde vorausgesetzt, dass die Wasserscheiden der oberirdischen Gewässer großräumig auch die unterirdischen Wasserscheiden widerspiegeln. Örtlich kann es aber aufgrund der hydrogeologischen Verhältnisse zu Abweichungen kommen. Eine Abgrenzung von Wasserkörpern in vertikaler Richtung wurde nicht vorgenommen, da eine Untergliederung aufgrund des teilweise komplexen geologischen Baus als nicht sinnvoll und für den Zweck als nicht erforderlich angesehen wurde.

Im zweiten Schritt wurden diese hydraulisch abgegrenzten Teilräume nach den überwiegenden hydrogeologischen Baueinheiten

- Lockergestein,
- mesozoisches Festgestein und
- paläozoisches Festgestein

weiter unterteilt.

Kleinere Abweichungen zwischen oberirdischem und unterirdischem Einzugsgebiet können im Bereich der Wasserscheiden auftreten.

Hamburg

In Hamburg werden die Grundwasserkörper relativ kleinräumig nach oberirdischen Teileinzugsgebieten abgegrenzt. Des Weiteren erfolgt eine Differenzierung in der Tiefe. Der Bereich Hamburgs südlich der Elbe ist Teil des Grundwasserkörpers Este-Seeve (NI11_03), der größtenteils in Niedersachsen liegt und von Niedersachsen federführend bearbeitet wird. Bei Bedarf nimmt Hamburg eine weitere Untergliederung vor.

**Mecklenburg-Vorpommern**

In Mecklenburg-Vorpommern werden die Grundwasserkörper erst zum Ende der Bestandaufnahme abgegrenzt, wenn die ersten Untersuchungsergebnisse vorliegen. Das Gebiet des Amtes Neuhaus wird daher Teil eines Grundwasserkörpers sein, der größtenteils in MV liegt und von dort federführend bearbeitet wird.

Sachsen-Anhalt

Für den Lockergesteinsbereich erfolgte die Abgrenzung nach Teileinzugsgebieten der Fließgewässer. Im Festgesteinsbereich entspricht die Vorgehensweise weitgehend derjenigen in Hessen und Thüringen, bei der hydrogeologische Teilräume und Teileinzugsgebietsgrenzen (oberirdische Wasserscheiden) zur Abgrenzung herangezogen werden.

Thüringen/Hessen

Die Vorgehensweise in Thüringen und Hessen entspricht weitgehend der in Nordrhein-Westfalen. Räume gleichen hydrogeologischen Aufbaus (hydrogeologische Teilräume) wurden mit den Grenzen von Teileinzugsgebieten überlagert und ergaben so Grundwasserkörper mit weitgehend gleichen Eigenschaften.

Nordrhein-Westfalen

Im ersten Schritt wurden Bereiche einheitlichen hydrogeologischen Baus abgegrenzt. Im 2. Schritt wurden die oberirdischen Wasserscheiden als hydraulische Grenzen zur weiteren Unterteilung herangezogen. Im Lockergesteinsbereich erfolgte eine weitere Unterteilung langgestreckter Grundwasserkörper entlang von Stromfäden.

Diejenigen Grundwasserkörper, die vollständig in Niedersachsen liegen, wurden nach dem in Niedersachsen vorgesehenen Verfahren abgegrenzt. Analog dazu wurden die vollständig in den Nachbarländern liegenden Grundwasserkörper nach den jeweiligen Länder-Verfahren abgegrenzt. Eine Einzelfallabgrenzung wurde für die grenzüberschreitenden Grundwasserkörper vorgenommen, wobei die Anforderungen beider Länder berücksichtigt wurden.

Für die Flussgebiete Weser und Ems wurde eine einheitliche Nummerierung erarbeitet, die aus der Kennzahl des Flussgebietes (z.B. 3 = Ems, 4 = Weser) besteht, die Betrachtungsräume berücksichtigt und die Grundwasserkörper durchzählt. Im Flussgebiet der Elbe steht die Entscheidung über eine einheitliche internationale Nummerierung der Grundwasserkörper noch aus.

Das Vechte-Gebiet ist Teil des Ijssel-Einzugsgebietes und wird zum Stromgebiet des Rheins gezählt.



4.2.2 Beschreibung der Grundwasserkörper

Für die Grundwasserkörper erfolgt eine übersichtswise Darstellung in tabellarischer Form in den Ergebnisteilen der Berichte zu den Grundwasserbetrachtungsräumen. Die wichtigsten Daten der Bestandsaufnahme (Menge und Güte) sind als Anhang 1 in Form von Steckbriefen den Berichten beigelegt.

Die Darstellung der z.T. komplexen hydrogeologischen Verhältnisse ist der Beschreibung der hydrogeologischen Teilräume zu entnehmen, aus denen die Grundwasserkörper aufgebaut sind (Anhang 2).

Zur ergänzenden Beschreibung der Grundwasserkörper wurde die Karte der Grundwasser-
versalzung herangezogen, in der die Verbreitung von Salzwasser im Grundwasser dargestellt ist (HÜK500 Versalzungskarte). Dies beruht im Küstenbereich auf eindringendem Meerwasser; im binnenländischen Bereich können Versalzungen durch Ablaugung von Salzstöcken oder Aufstieg versalzener Tiefenwässer entlang von Störungszonen erfolgen. Eine Charakterisierung der Grundwasserkörper nach Art des Grundwasserleiters, geochemischem Gesteinstyp und GW-Leitertyp erfolgte auf Vorschlag der LAWA gemäß folgender Tabelle (Tab. 4.2.2-1):

Tab. 4.2.2-1: Hydrogeologische Charakterisierung der Grundwasserkörper

Grundwasserleiter	geochemischer Gesteinstyp	Leitertyp
Porengrundwasserleiter (P)	silikatisch	I
	silikatisch / karbonatisch	II
	karbonatisch	III
Kluftgrundwasserleiter (K)	silikatisch	IV
	silikatisch / karbonatisch	V
	karbonatisch	VI
	sulfatisch	VII
Karstgrundwasserleiter (Ka)	karbonatisch	VIII
	sulfatisch	IX
Sonderfälle	z.B. hoher org. Anteil	X



4.2.3 Beschreibung der Belastungen und deren Auswirkungen

4.2.3.1 Belastung durch Punktquellen

Die Beschreibung der Belastung des Grundwassers durch Punktquellen wurde in zwei aufeinander abgestimmten Arbeitsstufen - die „Erstmalige Beschreibung“ und die „Weitergehende Beschreibung“ - durchgeführt.

4.2.3.1.1 Erstmalige Beschreibung

Das Konzept unterscheidet vier aufeinander aufbauende Schritte:

Schritt 1

Die Ermittlung potenzieller Belastungen für das Grundwasser wurde ausgeführt für die Fachthemen:

- Altablagerungen, Altstandorte, Rüstungsaltslasten,
- Grundwasserschadensfälle, Deponien (ungedichtet),
- Halden des Harzes sowie des Kali- und Steinsalzbergbaus.

Die Auswahl der punktuellen Schadstoffquellen erfolgte im Wesentlichen nach Daten und Informationen, die im NLÖ verfügbar waren. Nach dem Vorschlag der LABO/LAWA-ad-hoc AG sollten nur Schadstoffquellen mit erfolgtem, andauerndem oder prognostiziertem Eintrag in das Grundwasser berücksichtigt werden. Dem sehr unterschiedlichen landesweiten Kenntnisstand (Beweisniveau) zu den einzelnen Fachthemen wurde durch modifizierte Auswahlkriterien Rechnung getragen.

So musste zum Beispiel in Niedersachsen zunächst für Altstandorte in Ermangelung einer den Altablagerungen vergleichbaren Datenbasis davon ausgegangen werden, dass eine definierte Auswahl der Siedlungsflächen nach CORINE Landcover 1990 „städtisch geprägte Flächen/Industrie-/Gewerbe- und Verkehrsflächen“ die Verteilung der möglichen Belastungen durch Altstandorte annähernd repräsentiert. Zur Auswahl der Altablagerungen wurde eine Kombination von landesweit verfügbaren Grunddaten herangezogen, die eine Abschätzung des Abfallinventars (Abfallart/-volumen etc.) und der Freisetzung von Schadstoffen in das Grundwasser erlauben (Durchlässigkeit des Untergrundes/ Grundwasserstand/ Lage zu Trinkwassergewinnungsanlagen etc.). In Anlehnung daran wurden die Halden des Erzbergbaus in den Landkreisen Goslar und Osterode herausgefiltert. Die Auswahl der Halden des Kali- und Steinsalzbergbaus berücksichtigt die nach Einschätzung des Landesbergamtes relevantesten Fälle (Produktionshalden). Dagegen stützt sich die Auswahl von Rüstungsaltslasten, Deponien und Grundwasserschadensfällen überwiegend auf ein höheres Beweisniveau, welches bis hin zu Gutachten zur Gefährdungsabschätzung reicht.

Schritt 2

Die Flächenbilanz der Grundwasserkörper (GWK) wurde - dem Vorschlag der LABO/LAWA-ad-hoc AG (2002) folgend - GIS-gestützt durchgeführt. Jeder der im Schritt 1 ausgewählten punktuellen Schadstoffquellen wurde ein Kreis mit einer Wirkungsfläche von 1 km² zugeordnet, ausgenommen Rüstungsaltslasten des Blocks A1, für die wegen der außergewöhnlichen Größe der kontaminierten Flächen und freigesetzten Schadstoffmengen ein Kreis mit einer Wirkungsfläche von 12,566 km² (Wirkungsradius = 2 km) gewählt wurde.

Die Wirkungsfläche der Altstandorte wird im Allgemeinen durch die Siedlungsflächen repräsentiert. Sofern sich die Wirkungskreisflächen der punktuellen Schadstoffquellen überlagern, gehen diese ineinander auf.

Für jeden GWK wurde das Verhältnis der zusammengefassten Wirkungsflächen der punktuellen Schadstoffquellen zu dessen Gesamtfläche errechnet (Flächenbilanz). Auf diese Weise entstand ein erster relativer Vergleich der Belastungssituation aller betrachteten GWK.

**Schritt 3**

Die Ergebnisse der Vorarbeiten des NLÖ (Schritte 1 und 2) wurden durch die vier Bezirksregierungen auf Plausibilität geprüft und bilden die Grundlage für die Entscheidung, die GWK mit einer Flächenbilanz $> 12\%$ in die Weitergehende Beschreibung zu übernehmen.

Schritt 4

Als Grundlage für die Weitergehende Beschreibung wurden die bisherigen Ergebnisse den Unteren Behörden zur Plausibilitätskontrolle und ggf. Ergänzung um weitere punktuelle Schadstoffquellen zur Verfügung gestellt.

Vorgehen bei Grundwasserkörpern außerhalb der Landesgrenzen

Die unterschiedliche Qualität der Datenbestände in den beteiligten Bundesländern ist eine der Hauptursachen dafür, dass schon bei der Ermittlung der Punktquellen einheitliche „Filtermethoden“ nicht eingesetzt werden konnten. Deshalb wurde grundsätzlich angestrebt, mindestens die durch eine Ländergrenze geteilten GWK nach den oben beschriebenen Schritten 3 und 4 des Vorgehens in Niedersachsen zu behandeln, um so eine vereinheitlichte Darstellung der Flächenbilanz für das gesamte Bearbeitungsgebiet mit 129 GWK zu erreichen.

Die Vorgehensweisen, benachbarte Bundesländer betreffend, werden nachfolgend dargestellt:

Hamburg

Das Land Hamburg ist mit der Anpassung an Niedersachsen einverstanden. Die Flächenbilanz für den GWK NI11_03 wurde unter Auslassung der gemeinsamen Landesgrenze berechnet.

Sachsen-Anhalt

Für die betroffenen GWK wurde das Vorgehen in Niedersachsen angewendet. Die formale Abstimmung ist erfolgt.

Thüringen

Für die betroffenen GWK wurde das Vorgehen in Niedersachsen angewendet mit dem Vorbehalt von Änderungen, die sich ergeben könnten. Die formale Abstimmung ist erfolgt.

Hessen

Für die betroffenen GWK wurde das Vorgehen in Niedersachsen angewendet. Die formale Abstimmung ist mit Ausnahme eines GWK erfolgt.

Nordrhein-Westfalen

Für die betroffenen GWK wurde das Vorgehen in Niedersachsen modifiziert angewendet. Jeder Punktquelle wurde eine kreisförmige Wirkungsfläche von $0,785\text{ km}^2$ zugeordnet. Siedlungsflächen wurden nicht berücksichtigt, weil der Erfassungsgrad der Altstandorte als ausreichend erachtet wird.

4.2.3.1.2 Weitergehende Beschreibung

Die Weitergehende Beschreibung wurde für GWK durchgeführt, für die die Flächenbilanz in der Erstmaligen Beschreibung mit $> 12\%$ ermittelt wurde. Das dreistufige Vorgehen im Rahmen der Weitergehenden Beschreibung wird wie folgt zusammengefasst:

**Fortschreibung der Datenbasis (Schritt 1)**

Die bekannten Punktquellen, die zur Erstmöglichen Beschreibung herangezogen worden sind, wurden durch die zuständigen Behörden ergänzt und auf Plausibilität geprüft.

Die so gefundene Auswahl von Punktquellen wurde im Schritt 2 hinsichtlich des Ausbreitungspotenzials von Stoffen eingeschätzt.

Bestimmung des standort- und stoffspezifischen Ausbreitungspotenzials der einzelnen Punktquellen (Schritt 2)

Es wurden jeder Punktquelle je nach Kenntnisstand zugeordnet:

standortspezifische Faktoren

- Grundwasserleitertypen/hydraulische Durchlässigkeit,
- Grundwasserüberdeckung,

und stoffspezifische Faktoren

- grundwasserrelevante/r Stoff/e,
- branchenbezogenes Stoffemissionsrisiko,
- stoffspezifisches Ausbreitungsrisiko.

In einem mehrschrittig strukturierten Bewertungsprozess (s. Abb. 4.2.3.1.2-1), ausgeführt an rd. 1500 Punktquellen, entstand eine im GIS-Projekt hinterlegte und nach fünf Stufen differenzierte Einschätzung des standort- und stoffspezifischen Ausbreitungspotenzials aller Punktquellen.

Das dieser Einschätzung zu Grunde liegende Beweismiveau wurde für jede Punktquelle dokumentiert. Soweit Einzeldaten nicht vorlagen, wurde jeweils eine möglichst realistische Zuordnung getroffen. Zur Berücksichtigung der heterogenen Datenbasis wurden folgende Anpassungen eingeführt:

- Die hydraulische Durchlässigkeit (k_f -Wert) sollte vorzugsweise den Unterlagen zur einzelnen Punktquelle entnommen werden. Da dies überwiegend nicht möglich war, wurde ersatzweise eine Zuordnung der k_f -Wert-Klasse nach Hydrogeologischer Übersichtskarte (HÜK200) vorgenommen. Nach Abstimmung mit dem NLFb wurden Gebiete mit einer Durchlässigkeit des oberen GWL von $<1E-7$ m/s nach HÜK200 als „Gebiete ohne nutzbare GW-Führung“ herangezogen, um ggf. zusätzliche, hydrogeologisch bisher nicht bewertete und nur hinsichtlich der Branche bekannte Punktquellen auszusortieren.
- Für Rüstungsaltslasten wurden bei der stoffspezifischen Bewertung untersuchter Fälle zusätzliche Schadstoffe in die Klasse „sehr hohes stoffspezifisches Ausbreitungspotenzial“ aufgenommen.

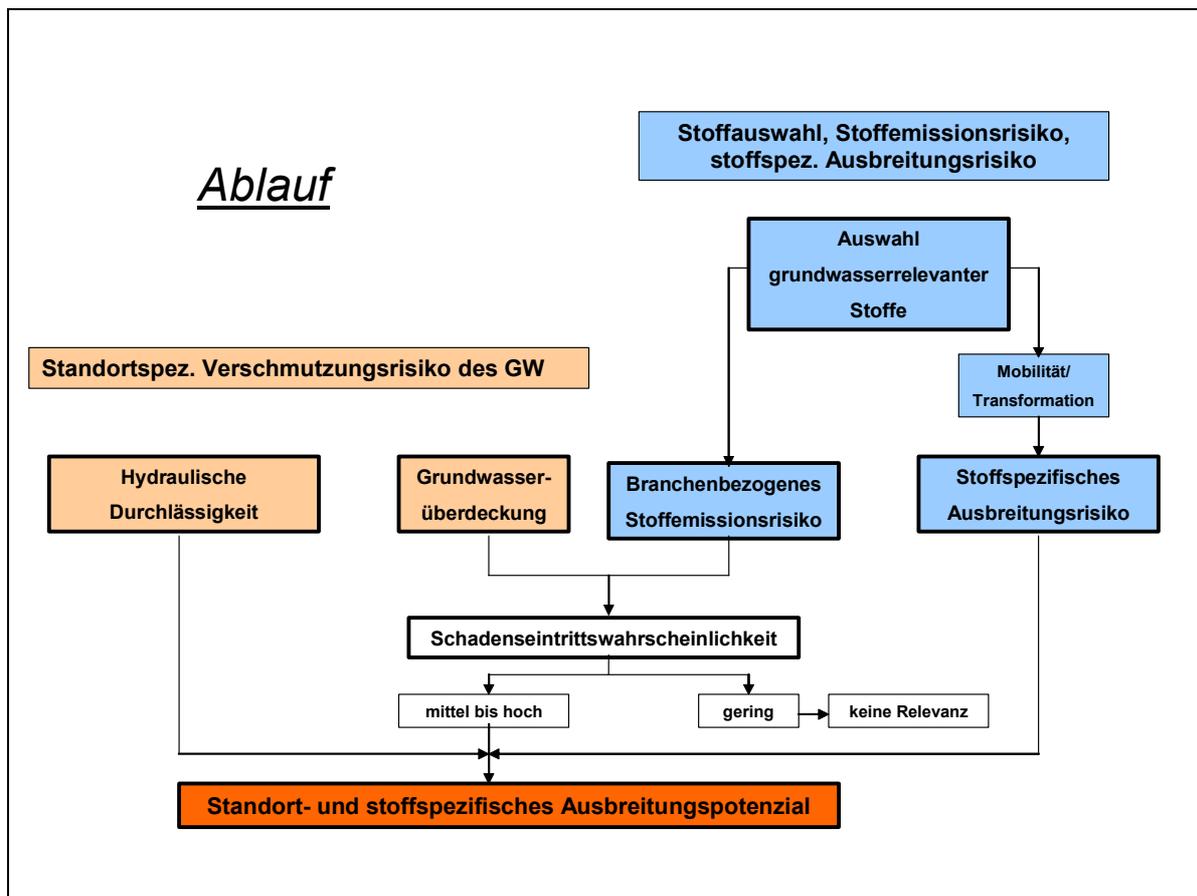


Abb. 4.2.3.1.2-1: Einschätzung des standort- und stoffspezifischen Ausbreitungspotenzials (UMWELTBUNDESAMT 2003)

Die so erzeugten Ergebnisse bilden die Grundlage für den Schritt 3.

Verfeinerung der Flächenbilanz durch Differenzierung der Wirkungsflächen (Schritt 3)

Durch die GIS-gestützte Flächenbilanz der Erstmaligen Beschreibung entstand ein erster relativer Vergleich der Belastungssituation aller betrachteten GWK. Diese eher pauschale Zuordnung wurde jetzt abgelöst durch eine Differenzierung der Wirkungsradien. Die nachfolgende Tabelle 4.2.3.1.2-1 zeigt die Abstufungen in Abhängigkeit von dem im Schritt 2 ermittelten Ausbreitungspotenzial (UMWELTBUNDESAMT 2003)].

Tab. 4.2.3.1.2-1: Ausbreitungspotenzial und Wirkungsradien

Standort- und stoffspezifisches Ausbreitungspotenzial	Daten zu den Wirkungsbereichen	
	Wirkungsradius [m]	Kreisfläche [km ²]
sehr hoch	rd. 1115	3,9
hoch	rd. 565	1,0
mittel	rd. 225	0,16
gering	rd. 115	0,04
sehr gering	rd. 25	0,002



Auf die vom Umweltbundesamt (2003) empfohlene realitätsnähere Konstruktion von Wirkungsbereichen als zweidimensionale gerichtete Schadstofffahnen wurde an dieser Stelle verzichtet, weil die GIS-technisch wesentlich einfachere Zuordnung von Wirkungskreisen an dieser Stelle als ausreichend genau eingeschätzt wird.

Daneben wurden folgende Modifikationen eingeführt:

- Rüstungsaltpasten mit außergewöhnlicher Größe der kontaminierten Flächen und freigesetzten Schadstoffmengen wurde weiterhin ein Kreis mit einer Wirkungsfläche von 12,566 km² (Wirkungsradius = 2000 m) zugeordnet (Block A1).
- Anderen Rüstungsaltpasten (Block A2) wurde eine Wirkungsfläche nach ihrem standort- und stoffspezifischen Ausbreitungspotenzial zugeordnet, wenn sie nicht als großflächig kontaminiert (z.B. großflächig bombardierte Flugplätze) eingestuft werden mussten (in diesen Fällen blieb die Wirkungsfläche von 1 km² pauschal erhalten).

Das Ergebnis ist eine verfeinerte GIS-gestützte Flächenbilanz der weitergehend zu beschreibenden GWK. Für Niedersachsen gilt die Weitergehende Beschreibung an diesem Punkt als abgeschlossen.

Als intensiver zu untersuchen gelten Grundwasserkörper mit einer Flächenbilanz > 33 %.

Vorgehen bei Grundwasserkörpern außerhalb der Landesgrenze

Die Ergebnisse der Bestandsaufnahme zwischen den einzelnen Bundesländern werden zusammengeführt.



4.2.3.2 Belastung durch diffuse Quellen einschließlich zusammenfassender Darstellung der Landnutzung

Die Beurteilung der Belastung des Grundwassers durch diffuse Quellen ist für Niedersachsen aufgrund der landwirtschaftlich geprägten Nutzungsstrukturen in Zusammenarbeit mit den landwirtschaftlichen Fachbehörden erfolgt. Dies hat zu einer Verbesserung der fachlichen Basis für die Beurteilung durch verstärktes Fachwissen und Datengrundlagen geführt und die Grundlage für die gemeinsame Maßnahmenplanung und -umsetzung geschaffen

4.2.3.2.1 Darstellung der Vorgehensweise zur Emissionsauswertung (Erstmalige Beschreibung)

Zur Ermittlung der potenziellen Gefährdung der Grundwasserkörper sind die möglichen Belastungen aus diffusen Quellen zu erfassen. Unter diffusen Quellen versteht man flächenhafte und linienförmige Stoffemissionen, die nicht unmittelbar einem Verursacher oder einer punktuellen Emissionsquelle zugeordnet werden können.

Die WRRL schreibt eine Emissionsbetrachtung ausgehend von der Landnutzung vor.

Als potenziell relevante Stickstoff-Quellen sind Siedlung/Verkehr, Kleinkläranlagen, Deposition und Landwirtschaft zu betrachten. N-Eintrag aus Siedlung/Verkehr und Kleinkläranlagen ist in Niedersachsen zwar vorhanden, spielt aber nach den durchgeführten Berechnungen für Niedersachsen lediglich eine untergeordnete Rolle. Der N-Eintrag aus Landwirtschaft und Deposition wurde wie im Folgenden beschrieben berücksichtigt. Datengrundlage zur Darstellung der diffusen N-Quellen aus der Landwirtschaft bilden Landnutzungsdaten und Agrarstatistiken und daraus berechnete N-Bilanzen (Emissionsansatz).

Als Maß für die Emission aus der Landwirtschaft wird in Niedersachsen der N-Flächenbilanzüberschuss auf Kreisebene in Anlehnung an BACH et. al. (1999) herangezogen.

In Niedersachsen erfolgt die Erstmalige Beschreibung anhand des Emissionsansatzes unter Berücksichtigung einer Signifikanzschwelle (80 % der zulässigen Nitratkonzentration im Grundwasser) und des langjährigen mittleren Gesamtabflusses (Modell GROWA 98).

Die Beurteilung der Grundwasser-Beschaffenheit bezüglich Pflanzenschutzmitteln (PSM) ist bereits im gleichnamigen Bericht der LAWA (2003) erfolgt. Die Gesamtsituation ist demnach in den letzten Jahren (1990 – 2000) nahezu unverändert geblieben. Es ist eine geringe Verminderung der Grundwasserbelastung durch PSM zu verzeichnen, die erste Hinweise darauf gibt, dass die zahlreichen Aktivitäten zur Überwachung des Grundwassers, zur Beratung der PSM-Anwender und die Verschärfung in der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln Wirkung zeigen und mittel- bis langfristig zu einer Reduzierung der Grundwasserbelastung mit PSM führen können. Ob PSM-Belastungen einen signifikanten Einfluss auf die Erreichung der Ziele nach WRRL für einzelne Grundwasserkörper haben, wird im Rahmen des Monitorings zu beantworten sein.

4.2.3.2.1.1 Signifikanz der Belastung

Die Prüfung der Signifikanz hat das Ziel, die Grundwasserkörper auszuschließen, bei denen auch unter ungünstigen Annahmen (worst case) kein Risiko besteht.

Bei den verbleibenden Grundwasserkörpern, bei denen ein Risiko nicht von vornherein ausgeschlossen werden kann, muss eine Präzisierung in der Weitergehenden Beschreibung erfolgen.

Zur Signifikanzbeurteilung werden in Anlehnung an ATV-DVWK (2003) die in Tabelle 4.2.3.2.1.1-1 dargestellten N-Bilanzsalden in Abhängigkeit von der regionalen Gesamtabflusshöhe als Signifikanzschwellen herangezogen. Die Signifikanzschwelle wurde nach Vorgaben der LAWA so gewählt, dass die kalkulatorische Nitratkonzentration aus N-Bilanzsaldo und mittlerer Gesamtabflusshöhe (SW) etwa 80 % der zulässigen Nitratkonzentration im Grundwasser entspricht.



Signifikanzschwelle (N-Bilanzsaldo in kg N/ha*a) =

$$0,8 * 50 \text{ [mgNO}_3\text{/l]} * \text{SW [mm/a]} / (4,43 * 100)$$

mit

50 [mg NO₃/l] = Zulässige Nitratkonzentration im Grundwasser (nach TVO)
 0,8 = Faktor zur Umrechnung auf 80 % der zulässigen Nitratkonzentration
 SW [mm/a] = Sickerwasser (= Gesamtabfluss)
 4,43 = Umrechnungsfaktor N ⇔ NO₃

Tab. 4.2.3.2.1.1-1: Signifikanzschwellen in Abhängigkeit von den N-Bilanzsalden (kg N/ha*a) und der langjährigen mittleren Gesamtabflusshöhe (mm/a).

	Langjähriger mittlerer Gesamtabfluss (mm/a)				
	< 50 ²⁾	50 – 150	150 – 250	250 – 350	> 350
N-Saldo¹⁾ kg N/ha * a	10	10	20	30	40

¹⁾ N-Saldo bezogen auf die Gesamtfläche des GW-Körpers

²⁾ Bei < 50 mm Grundwasserneubildung (GWN) gesonderte Bewertung

Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass diese kalkulatorische Nitratkonzentration lediglich ein Belastungspotenzial unter der Annahme von worst case Bedingungen (vgl. Abb. 4.2.3.2.1.1-1) darstellt.

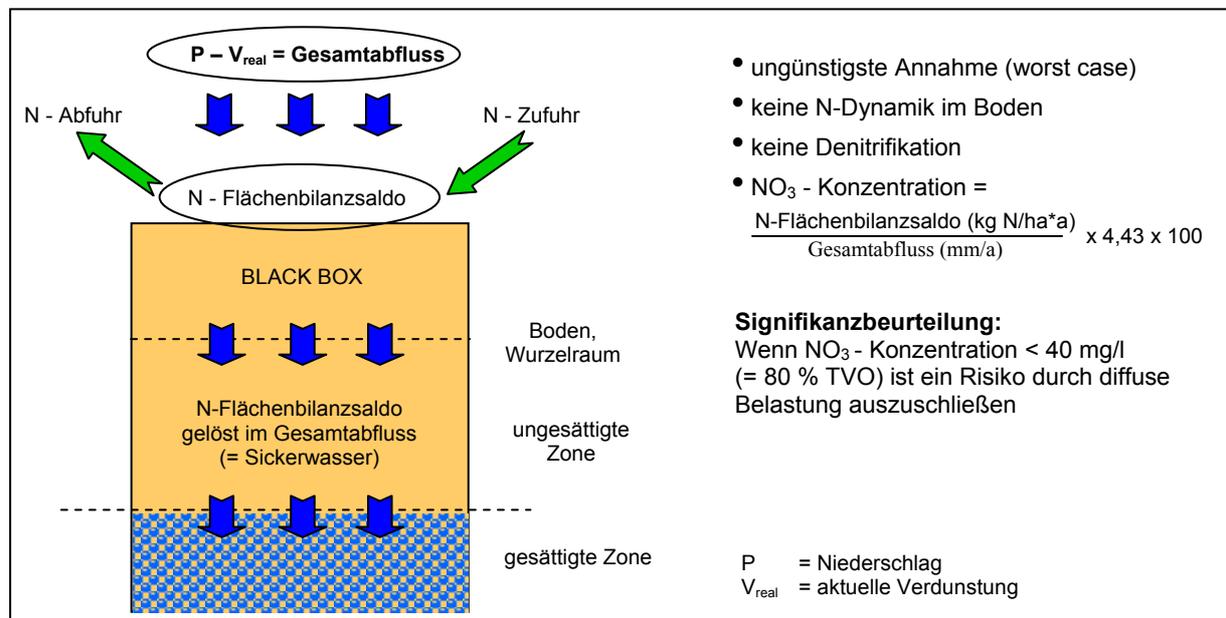


Abb. 4.2.3.2.1.1-1: Signifikanzbeurteilung anhand des Emissionsansatzes für die Erstmalige Beschreibung



Hinsichtlich einer Risikoabschätzung der Grundwasserkörper kann bei einer Unterschreitung der in Tab. 4.2.3.2.1.1-1 genannten Signifikanzschwellen eine aktuelle Nitrat-Belastung (N-Immission ins Grundwasser), die den Grenzwert für den guten Zustand des Grundwassers übersteigt, in der Regel ausgeschlossen werden. Umgekehrt kann jedoch bei einer Überschreitung der Signifikanzschwellen nicht direkt auf eine aktuelle Nitratbelastung des Grundwassers geschlossen werden, da im Einzelfall kein direkter Zusammenhang zwischen den N-Überschüssen (N-Bilanzsaldo) und der aktuellen Nitratbelastung des Grundwassers (bzw. der N-Immission) besteht.

4.2.3.2.1.2 Berechnung des N-Flächenbilanzsaldos der Grundwasserkörper

Als Maß für die N-Emission aus der Landwirtschaft wird der N-Flächenbilanzsaldo herangezogen. Für die Erstmalige Beschreibung der Grundwasserkörper wurde die Berechnungsmethodik der N-Flächenbilanz (nach BACH & FREDE 2002) wie folgt modifiziert (vgl. auch Abb. 4.2.3.2.1.2-1):

$$\text{N-Flächenbilanzsaldo} = \text{Mineraldüngung} + \text{organische Düngung} + \text{legume N-Bindung} - \text{Ernteabfuhr}$$

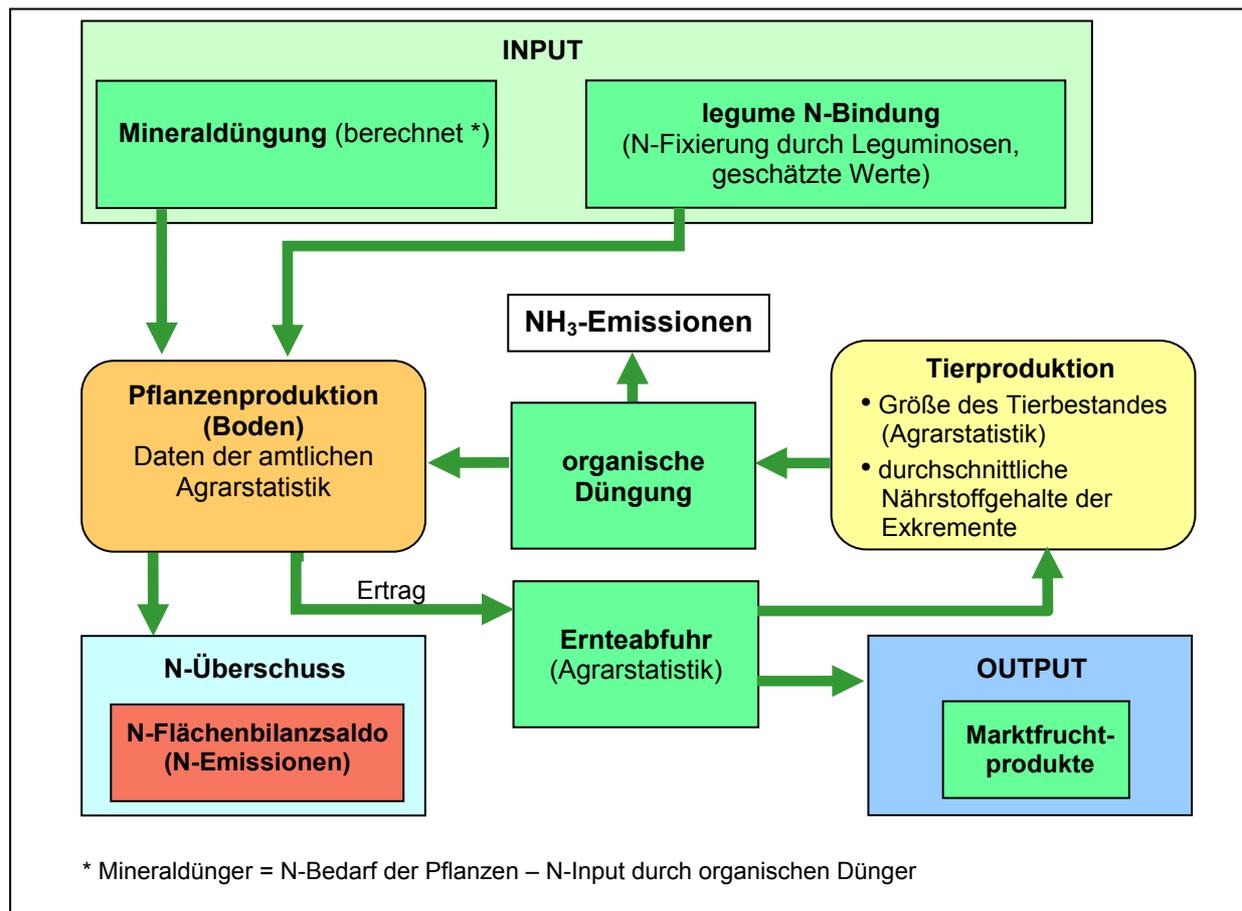


Abb. 4.2.3.2.1.2-1: Flächenbilanz für Stickstoff auf Kreisebene im Rahmen der Erstmaligen Beschreibung



Das heißt, die in den Originaldaten von BACH et al. (1999) enthaltenen Bilanzglieder Sekundär-Rohstoff-Dünger und atmosphärische N-Deposition wurden bei der Berechnung des N-Saldos der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF) (als Maß für die Emission aus der Landwirtschaft) nicht berücksichtigt. Die N-Deposition wird für die Erstmalige Beschreibung gesondert ausgewiesen.

Die auf Kreisebene berechneten N-Salden beziehen sich zunächst nur auf die LF. Nach Verschneidung mit den Grundwasserkörpern erfolgt die Darstellung des flächengewichteten N-Saldos für die Gesamtfläche des Grundwasserkörpers in kg N/ha*a. Der Bezug auf die Gesamtfläche des Grundwasserkörpers führt rechnerisch in der Regel zu einer Verminderung des zunächst nur auf die LF bezogenen N-Saldos.

Die für die Erstmalige Beschreibung herangezogenen Bilanzglieder wurden (unter weitgehender Beibehaltung der Berechnungsalgorithmen nach BACH & FREDE (2002)) neu berechnet und weichen daher von den Originaldaten nach BACH et al. (1999) ab. Die Berechnungsmethodik der einzelnen Bilanzglieder für die Erstmalige Beschreibung wird daher nachfolgend kurz erläutert, Abweichungen von BACH & FREDE (2002) sind hervorgehoben. Die Methodik von BACH & FREDE (2002) ist auf Seite 22 unter dem Punkt „Erläuterungen“ dargestellt.

Datengrundlage zur Berechnung der N-Flächenbilanz:

- Amtliche Statistik des Niedersächsischen Landesamtes für Statistik
 - Tierzahlen
 - Anbauverhältnis
 - Ernteerträge
- Richtwerte
 - N-Gehalte im Haupterntegut (Dünge-VO)
 - N-Anfall pro Stallplatz (Dünge-VO)
 - N-Fixierung durch Leguminosen (BACH & FREDE 2002)
- Schätzgrößen
 - N-Düngebedarf (N-Abfuhr * 1,2)
 - N-Mineraldüngeraufwand (N-Düngebedarf - N-Zufuhr über Wirtschaftsdünger * 0,6)
 - Wirtschaftsdüngeraufnahme und -abgabe (max. N-Zufuhr über Wirtschaftsdünger: 170 kg N/ha)
 - Sekundärrohstoffdünger (keine Berücksichtigung der N-Zufuhr über Sekundärrohstoffdünger)

Berechnungsmethodik der N-Flächenbilanz (Tabelle 4.2.3.2.1.2-2)

a) Mineraldüngung (MINDGG)

Mineraldüngung =

*Ernteabfuhr * Mehrbedarfskoeffizient (1,2) – organische Düngung * Anrechnungsfaktor (0,6)*

Mehrbedarfskoeffizient: Verhältnis des N-Bedarfs der Kulturpflanzen zum N-Entzug mit dem Erntegut. Damit wird die unvollständige Ausnutzung des zugeführten N berücksichtigt. Der Mehrbedarfskoeffizient wird für alle Kulturarten pauschal auf 1,2 festgelegt.

Anrechnungsfaktor: Faktor, mit dem der Stickstoff aus der org. Düngung in der Düngeplanung für Mineraldünger berücksichtigt wird. Wird für alle Kulturpflanzen pauschal auf 0,6 (0,4 nach BACH & FREDE, 2002, vgl. Punkt Erläuterungen) festgelegt.

**b) Organische Düngung (ORGDGG)**

Für die N-Zufuhr aus organischer Düngung werden die Originaldaten nach BACH & FREDE (1999) herangezogen. Davon abweichend wird jedoch die N-Zufuhr aus organischer Düngung entsprechend der Düngeverordnung auf 170 kg N/ha begrenzt. Damit wird berücksichtigt, dass bei der Berechnung der N-Zufuhr die Im- und Exporte von Wirtschaftsdünger wegen fehlender Statistiken nicht erfasst werden können.

c) Legume N-Bindung (LEGUM)

Originaldaten nach BACH et al. (1999)

d) Ernteabfuhr (N-Abfuhr)

*N-Menge in der Ernteabfuhr = Ernteerträge (Haupterntegut) * N-Gehalte im Erntegut.*

Ernteerträge

neue Datenbasis: Ertragsstatistik von 1999 (Erntemengen nach Fruchtarten) aus: Kreisfreie Städte und Landkreise in Zahlen 1999 (Quelle: NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK, 2003). Für Kulturarten ohne statistische Angaben werden Erträge nach Angaben der Landwirtschaftskammer Hannover angenommen (vgl. Tab. 4.2.3.2.1.2-1).



Tab. 4.2.3.2.1.2-1: Erträge und N-Gehalte im Erntegut (nach Düngeverordnung bzw. Angaben der LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER UND AGRARSTATISTIK 1999)

Fruchtart / Kultur	Erträge	N-Gehalt (kg/dt)**
Weizen	Agrarstatistik 1999 (Tab. Q0990303)*	2
Roggen	Agrarstatistik 1999 (Tab. Q0990303)*	1,5
Wintergerste	Agrarstatistik 1999 (Tab. Q0990303)*	1,7
Sommergerste	Agrarstatistik 1999 (Tab. Q0990303)*	1,4
Hafer	Agrarstatistik 1999 (Tab. Q0990303)*	1,6
Triticale	Agrarstatistik 1999 (Tab. Q0990303)*	1,8
Kartoffeln	Agrarstatistik 1999 (Tab. Q0990303)*	0,35
Zuckerrüben	Agrarstatistik 1999 (Tab. Q0990303)*	0,18
Winterraps	Agrarstatistik 1999 (Tab. Q0990303)*	3,3
Silomais	Agrarstatistik 1999 (Tab. Q0990303)*	0,38
Grünland	70 dt TM/ha**	2,57
Hülsenfrüchte	35 dt/ha**	3,85
sonst. Hackfrüchte (Futterrüben)	800 dt/ha**	0,18
Körnermais und CCM	70 dt/ha**	1,5
Klee, Klee gras, Luzerne	450 dt/ha**	0,55
Grasanbau (Mähen, Weiden)	500 dt/ha**	0,5
Alle anderen Futterpflanzen (z.B. Wicken)	250 dt/ha**	0,35
Rüben und Gräser zur Samengewinnung	25 dt/ha**	1,8
Flachs (Lein) zur Körner- und Fasererzeugung	15 dt/ha**	3,5
Andere Ölfrüchte und Körnerpflanzen	15 dt/ha**	2,8
Alle anderen Handelsgewächse	20 dt/ha**	3

* Erträge auf Kreisebene aus Agrarstatistik 1999

** aus Tabellen zum „Nährstoffvergleich auf Feld-Stall-Basis nach Düngeverordnung“ der LWK Hannover (2000)

Bodennutzung (landwirtschaftlich genutzte Fläche nach Kulturarten)

neue Datenbasis: Nutzung der Bodenflächen in den Gemeinden Niedersachsens (landw. Betriebe) – Landwirtschaftszählung 1999 (Quelle: NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK, 2003).



Atmosphärische N-Deposition

Die Berechnung der N-Deposition erfolgt auf Basis der in den niedersächsischen Depositionsmessnetzen (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE und NIEDERSÄCHSISCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT) für Freiland und Wald gemessenen langjährigen mittleren N-Depositionen.

Für Freiflächen wurde für ganz Niedersachsen eine N-Deposition von 15 kg N/ha*a (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE) und für Waldflächen von 30 kg N/ha*a (NIEDERSÄCHSISCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT) angenommen.

Der Waldanteil der Grundwasserkörper wurde aus dem CORINE Landcover (s. Kap. 4.2.3.2.4 Landnutzung) abgeleitet. Der Freiflächenanteil ergibt sich aus der Gesamtfläche des Grundwasserkörpers abzüglich der Waldfläche.

Dargestellt wird die flächengewichtete mittlere N-Deposition in kg N/ha*a.

Mittlerer Gesamtabfluss (1961 – 1990) in mm/a (Modell GROWA 98) bezogen auf die Grundwasserkörper

Der Gesamtabfluss wurde mit dem Modell GROWA 98 kalkuliert. Die Berechnungen wurden vom Forschungszentrum Jülich durchgeführt (KUNKEL & WENDLAND 2002). Zur Verfahrensbeschreibung siehe Kap. 4.2.3.3.1.1.



Tab. 4.2.3.2.1.2-2: Stickstoffauftrag

Grundwasserkörper	Flussgebiets-ID	N-Flächenbilanz (kg N/ha*a) der LF, bezogen auf die Gesamtfläche des Grundwasserkörpers					Atm. N-Deposition kg N/ha*a	Gesamt-abfluss mm/a	Summe N-Saldo + N-Deposition - 15 kg N/ha Denitrifikation kg N/ha*a	Signifikanzschwelle kg N/ha*a
		MINDGG	ORGDGG	LEGUM	Ernteabfuhr	N-Saldo				
NI01_01	3_02	64	91	6	91	70	17	318	73	30
NI01_02	3_03	76	98	6	106	74	16	341	76	30
NI01_03	3_15	32	42	3	43	34	23	405	42	40
...										

N-Flächenbilanz:

Bilanzglieder entsprechend der oben beschriebenen Methodik.

- MINDGG = N-Zufuhr durch Mineraldüngung
 ORGDGG = N-Zufuhr durch organische Düngung
 LEGUM = N-Zufuhr durch legume N-Bindung
 Ernteabfuhr = N-Abfuhr durch Haupternteerzeugnisse
 N-Saldo = N-Zufuhr – N-Abfuhr

Signifikanzschwelle:

N-Flächenbilanzsaldo, bei der die kalkulatorische Nitratkonzentration im Gesamtabfluss etwa 80 % der zulässigen Nitratkonzentration im Grundwasser entspricht.



Erläuterungen

Berechnung des N-Flächenbilanzüberschusses (Saldo) nach BACH & FREDE für Landkreise ohne Abweichungen von den Originaldaten

Ausführliche Beschreibungen der Methodik und der Ausgangsdaten sind bei BACH et al. (1999) und BACH & FREDE (2002) zu finden.

Die Bilanzrechnung (für das Jahr 1999) wurde für die Landkreise nach folgendem Ansatz durchgeführt:

$$\text{N-Flächenbilanzsaldo} = \text{Mineraldüngung} + \text{organ. Düngung} + \text{SeRo-Dünger} + \text{atm. Deposition} + \text{legume N-Bindung} - \text{Ernteabfuhr}$$

Ermittlung der einzelnen Bilanzglieder

Mineraldüngung

Da auf Kreisebene keine belastbaren Statistiken zur N-Zufuhr durch Mineraldüngung vorliegen, wird die Höhe der N-Mineraldüngung wie folgt berechnet:

$$\text{Mineraldüngung} = \text{Ernteabfuhr} * \text{Mehrbedarfskoeffizient (1,2)} - \text{organische Düngung} * \text{Anrechnungsfaktor (0,4)} - \text{SeRo-Düngung} - \text{legume N-Bindung}$$

Mehrbedarfskoeffizient: Verhältnis des N-Bedarfs der Kulturpflanzen zum N-Entzug mit dem Erntegut. Damit wird die unvollständige Ausnutzung des zugeführten N berücksichtigt. Der Mehrbedarfskoeffizient wird für alle Kulturarten pauschal auf 1,2 festgelegt.

Anrechnungsfaktor: Anrechnung der N-Zufuhr mit organischer Düngung bei der Düngungsplanung. Wird für alle Kulturpflanzen pauschal auf 0,4 festgelegt.

Organische Düngung

$$\text{N-Zufuhr} = \text{N-Anfall in den tierischen Exkrementen} * \text{Faktor für gasförmige N-Lagerungs- und Ausbringungsverluste}$$

N-Anfall:

Viehzahl im Kreisgebiet multipliziert mit dem mittleren N-Anfall pro Kopf bzw. Stallplatz

Faktor für gasförmige N-Lagerungs- und Ausbringungsverluste: in Anlehnung an Düngerverordnung (vgl. Tab. 4.2.3.2.1.2-3)



Tab. 4.2.3.2.1.2-3: Stickstoffmengen in den tierischen Ausscheidungen zur Berechnung der Flächenbilanzen für die Kreise und kreisfreien Städte (aus BACH & FREDE 2002)

Nährstoff-Anfall (Ausscheidung) in den Exkrementen			
	kg N pro Kopf bzw. Stallplatz und Jahr	Verfügbare N^{c)}	Faktor
Milchkühe	110 ^{a)}	66 %	0,66
sonstige ^{b)} Rinder	50	66 %	0,66
Mastschweine (> 50 kg)	11,5	69 %	0,69
Zuchtsauen	28,3	69 %	0,69
sonstige ^{b)} Schweine	6	69 %	0,69
Schafe	9	60 %	0,60
Legehennen (> 1/2 J.)	0,73	64 %	0,64

- a) In einzelnen Veröffentlichungen der Autoren zu gemeindebezogenen Bilanzierungen ist davon abweichend auch mit 101 kg N gerechnet worden
- b) ‚sonstige ...‘: jeweils Differenz zwischen Summenangabe ‚insgesamt‘ abzgl. der explizit genannten Kategorien ‚darunter: ...‘
- c) Pflanzenverfügbare N-Menge im organischen Dünger nach Abzug der Lagerungs- und Ausbringungsverluste

SeRo-Düngung

N-Zufuhr mit Sekundärrohstoff-Düngern (Kompost, Klärschlamm). Wird pauschal mit 4 kg N/ha LF angesetzt.

Atmosphärische N-Deposition

Pauschal 10 kg N/ha für alle Landkreise, plus regional variable N-Depositionsmenge. Die regional variable N-Depositionsmenge entspricht den N-Lagerungs- und Ausbringungsverlusten aus der Viehhaltung. Dabei wird unterstellt, dass die gasförmigen N-Verluste gleichmäßig auf dem gesamten Kreisgebiet niedergehen. Die Landwirtschaftsflächen (LF) werden anteilig belastet.

Legume N-Bindung

N-Zufuhr über die N-Fixierung durch Leguminosen. Für Grünland werden 20 kg N/ha, Hülsenfrüchte 160 kg N/ha und sonstige Futterpflanzen (Leguminosen) 65 kg N/ha angerechnet.

Ernteabfuhr

*N-Menge in der Ernteabfuhr = Ernteerträge * N-Gehalte im Erntegut.*

Ernteerträge

Ertragsstatistiken (Erntemengen nach Fruchtarten), für Kulturarten ohne statistische Angaben werden feste Entzugsmengen nach Düngeverordnung angenommen (vgl. Tab. 4.2.3.2.1.2-4).



Tab. 4.2.3.2.1.2-4: Stickstoffgehalte bzw. -mengen in der Ernteabfuhr zur Berechnung der Flächenbilanzen für die Kreise und kreisfreien Städte (aus BACH & FREDE 2002)

Stickstoffgehalte/-mengen in der Ernteabfuhr			
Fruchtarten mit Angaben der Erntemenge	Gehalt N in kg/dt	Fruchtarten ohne Angaben der Erntemenge	Menge N in kg/ha
Weizen	2,0	Grünland (Wiesen u. Weiden)	140
Roggen	1,5	Rebland	30
Wintergerste	1,7	Hülsenfrüchte	150
Sommergerste	1,4	sonstige ^{c)} Hackfrüchte	120
Hafer	1,6	sonstige ^{c)} Futterpflanzen ^{b)}	200
Triticale	1,8	Gemüse u. Gartengewächse, sonstige ^{c)} Dauerkulturen	50
Getreidestroh	0,5		
Kartoffeln	0,35		
Zuckerrüben	0,18	N-Fixierung durch Leguminosen	
Zuckerrübenblatt	0,4	Grünland	20
Winterraps	3,3	Hülsenfrüchte	160
Silomais	0,38	sonstige Futterpflanzen ^{b)}	65

^{b)} Luzerne, Klee, Ackerweide

^{c)} ‚sonstige ...‘: jew. Differenz zwischen Summenangabe ‚insgesamt‘ abzgl. der explizit genannten Kategorien ‚darunter: ...‘

Anmerkung

Nach BACH & FREDE (2002) ist die N-Flächenbilanzierung nicht konzipiert, den N-Überschuss als Ausgangsgröße einer Kalkulation der Nitratgehalte im Sickerwasser heranzuziehen. Dazu ist die N-Dynamik im Boden und in der ungesättigten Bodenzone zu komplex. Die N-Flächenbilanzüberschüsse stellen in erster Linie eine Indikatorgröße dar, mit deren Hilfe Belastungspotenziale identifiziert werden können.

4.2.3.2.2 Darstellung der Vorgehensweise zur Immissionsauswertung (Weitergehende Beschreibung)

Als Datengrundlage der Immissionsauswertung für den Parameter Nitrat wurden zunächst alle landesweit verfügbaren Messstellen des GÜN (ca. 560 Messstellen) und Rahmenplanungsmessstellen herangezogen.

Das NLÖ stellte die Analysenergebnisse zusammen, wobei die Vorgabe war, dass die Messstellen im obersten Stockwerk verfiltert sein sollten. Falls dazu keine Angaben vorhanden waren, sollten die Filter nicht tiefer als 25 m liegen. Die Messreihen sollten mindestens 5 Messwerte aufweisen und die Analysen nicht älter als 15 Jahre sein. Bei der Auswertung zeigten sich jedoch Datendefizite im Festgesteinsbereich, weil dort zu wenig Messstellen vorhanden sind. Zur Ergänzung der Daten wurde daher in diesen Gebieten auf den Datenbestand des NLF zurückgegriffen, in dem auch ältere Analyseergebnisse und Einzelwerte aus Quellen, Vorfeldmessstellen und Rohwasseranalysen vorhanden sind.

Zur Verdichtung der Datengrundlage im Lockergesteinsbereich wurden vom NLWK für einige Grundwasserkörper Analysedaten von ausgewählten Vorfeldmessstellen zur Verfügung gestellt. Flächendeckend standen die Daten noch nicht digital zur Verfügung.

Aus den Messwerten einer Messstelle wurde das arithmetische Mittel errechnet. Diese Mittelwerte der Messstellen wurden innerhalb des Anteils eines hydrogeologischen Teilraums an einem Grundwasserkörper gemittelt.

Der höchste Mittelwert eines hydrogeologischen Teilraums in einem Grundwasserkörper bestimmt den Wert für den gesamten Grundwasserkörper. Diese Auswertung berücksichtigt regionale Belastungsschwerpunkte, ohne dass einzelne Extremwerte die Beurteilung des gesamten Grundwasserkörpers über die Gebühr bestimmen.

4.2.3.2.3 Vertiefte Beschreibung der Verschmutzungsgefährdung durch diffuse Quellen (Weitergehende Beschreibung)

In der Weitergehenden Beschreibung erfolgt bei den Grundwasserkörpern, für die nicht bereits nach der Erstmaligen Beschreibung der gute Zustand attestiert werden konnte, eine eingehende Beschreibung der Risiko- und Schutzpotenziale und der Immissionssituation zur Konkretisierung bzw. Eingrenzung des Risikos.

Die Gesamtsignifikanzabschätzung erfolgt in Anlehnung an die Vorgaben der LAWA-Arbeitshilfe (Abb. 4.2.3.2.3-1).

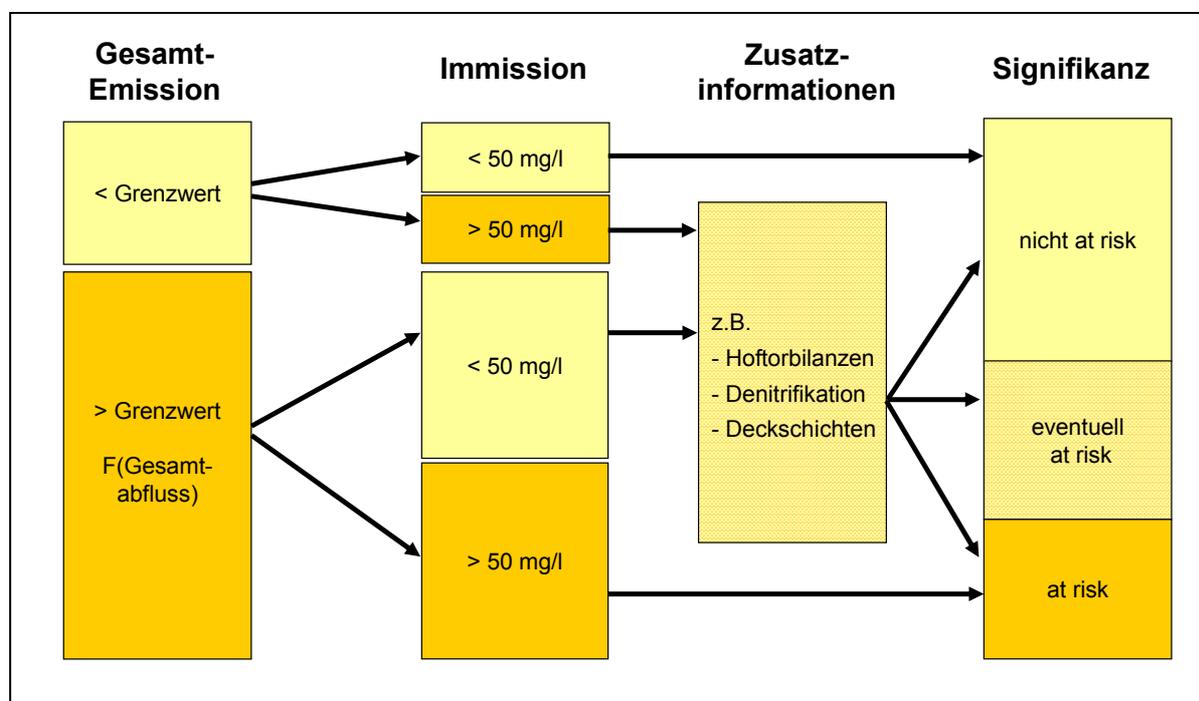


Abb. 4.2.3.2.3-1: Gesamtsignifikanzabschätzung diffuse Quellen (nach LAWA-Arbeitshilfe)

Zur Gesamtsignifikanzabschätzung werden berücksichtigt:

- Emissionssituation
- Immissionssituation
- Zusatzinformationen wie z.B. Schutz-/ Risikopotenziale, Zwischenabflüsse

Nach LAWA-Empfehlung soll die Beurteilung auf der Grundlage von Stofffrachten bzw. Stoffkonzentrationen erfolgen.

Die Gesamtsignifikanzabschätzung im Rahmen der Erstmaligen und Weitergehenden Beschreibung stellt somit ein Verfahren in mehreren Schritten dar (vgl. Abb. 4.2.3.2.3-2), das insgesamt zu dem Ergebnis „guter Zustand“ oder „intensiver zu untersuchen“ führt. Die Aufteilung in Erstmalige und Weitergehende Beschreibung ist nachrangig.

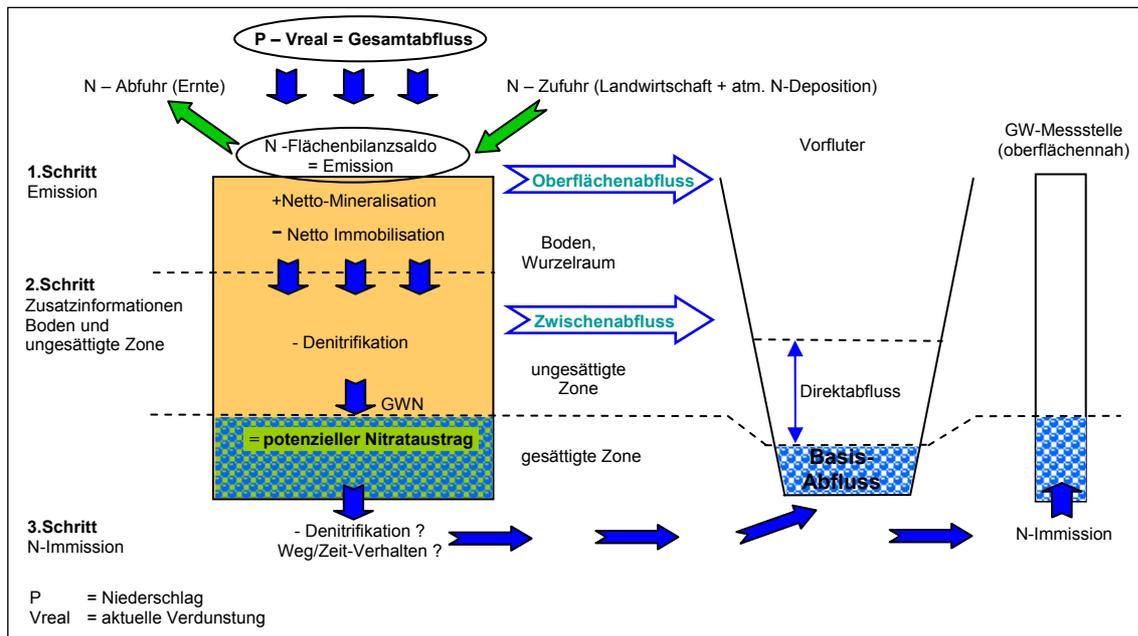


Abb. 4.2.3.2.3-2: Verfahrensschritte bei der Weitergehenden Beschreibung

Ziel der Weitergehenden Beschreibung ist die Erstellung einer Informationsbasis zur räumlich differenzierten Ableitung von Monitoringprogrammen.

Im ersten Verfahrensschritt (vgl. Abb. 4.2.3.2.3-2) werden die im Rahmen der Erstmaligen Beschreibung ermittelten Emissionsdaten (N-Flächenbilanzsaldo + atm. N-Deposition) in Form von Stofffrachten (in kg N/ha*a) und die regionalspezifischen Sickerwasserraten (hier: Gesamtabfluss) ermittelt. Die Methodik zur Ermittlung der Emissionsdaten wurde in Kap. 4.2.3.2.1 erläutert. Die Ermittlung des Gesamtabflusses wird in Kap. 4.2.3.3.1.1 dargestellt. Im zweiten Verfahrensschritt werden (als Zusatzinformation) Prozesse im Boden bzw. in der ungesättigten Zone berücksichtigt, die zu einer signifikanten Verringerung (= Schutzpotenzial) bzw. Erhöhung (= Risikopotenzial) der sich aus den Emissionsdaten ergebenden Nitratfracht/-konzentration führen können. Im Rahmen der Weitergehenden Beschreibung werden die folgenden Zusatzinformationen berücksichtigt:

- Denitrifikation im Boden
- Netto-Mineralisation
- Netto-Immobilisation

Aus den Emissionsdaten errechnet sich unter Einbeziehung der o.g. Zusatzinformationen der potenzielle Stickstoffaustrag (in kg N/ha*a) und unter Berücksichtigung der Sickerwasserrate (hier: Gesamtabfluss) die potenzielle Nitratkonzentration (in mg NO₃/l) im Sickerwasser an der Untergrenze des Wurzelraumes.

In einem dritten Verfahrensschritt werden die Immissionsdaten, d.h. die an Grundwasser-Messstellen gemessenen Nitratkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser zur Bewertung (Gesamtrisikooabschätzung) herangezogen. Das Nitratabbauvermögen (Denitrifikation) im Grundwasser und auch das Weg/Zeit-Verhalten des Grundwassers werden im Rahmen der Weitergehenden Beschreibung nicht berücksichtigt.

Da auch die Immissionsdaten als Nitratkonzentration vorliegen, kann die Bewertung aller in die Gesamtsignifikanzabschätzung einfließenden Faktoren in einer Bewertungsmatrix (Tab. 4.2.3.2.3-1) auf der Basis von Nitrat-Konzentrationen erfolgen.



Tab. 4.2.3.2.3-1: Bewertungsmatrix zur Gesamtsignifikanzabschätzung der diffusen Nitrateinträge

Erstmalige Beschreibung	Weitergehende Beschreibung			
	Immission mg NO ₃ /l	pot. Nitratkonzentration im Sickerwasser mg/l	Klassifikation	
Emission * kg N/ha*a < 10 ... 40 f (Gesamtabfluss) (= < 80 %) 10 : 50 - 150 mm 20 : > 150 - 250 mm 30 : > 250 - 350 mm 40 : > 350 mm	< 25	< 25	G (guter Zustand)	
		25 – 50	< 25	G (guter Zustand)
			25 - 40 > 40	G (guter Zustand) U (Intensiver zu untersuchen)
	> 50	< 25	< 25	U (Intensiver zu untersuchen)
			25 - 40 > 40	
			> 40	
> 10 ... 40 f (Gesamtabfluss)	< 25	< 25	G (guter Zustand)	
		25 - 50	G (guter Zustand)	
		≥ 50 - 65 ≥ 65 - 80 > 80	U (Intensiver zu untersuchen) U (Intensiver zu untersuchen) U (Intensiver zu untersuchen)	
	25 – 50	< 25	G (guter Zustand)	
		25 - 40	G (guter Zustand)	
		≥ 40 - 60 > 60	U (Intensiver zu untersuchen) U (Intensiver zu untersuchen)	
> 50	> 60	U (Intensiver zu untersuchen)		

* N-Flächenbilanzsaldo inkl. Deposition bezogen auf GWK

Die Anwendung dieser Bewertungsmatrix führt im Rahmen der Weitergehenden Beschreibung zu einer Klassifikation der Grundwasserkörper in die beiden Klassen „**guter Zustand**“ und „**intensiver zu untersuchen**“.

4.2.3.2.3.1 Verfahrensbeschreibung

Die in die Bewertungsmatrix (Tab. 4.2.3.2.3-1) zur Gesamtsignifikanzabschätzung einfließenden Faktoren werden wie folgt ermittelt:

Emissionsdaten

siehe Verfahrensbeschreibung zur Erstmaligen Beschreibung Kap. 4.2.3.2.1

Immissionsdaten

siehe Kap. 4.2.3.2.2

Potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser

Die Abschätzung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser (an der Untergrenze des Wurzelraumes bzw. der ungesättigten Zone) erfolgt nach der Vorgehensweise von FREDE & DABBERT (1998) (vgl. Abb. 4.2.3.2.3.1-1).



$$\text{NO}_3 \text{ i.S.} = \underbrace{[(E + M - I - D)]}_{\text{pot. N-Austrag (kg N/ha*a)}} * (AF) / SW * 4,43 * 100$$

mit:

- NO₃ i.S. = pot. Nitratkonzentration (mg/l) im SW (Untergrenze Wurzelraum)
E = Emission [N-Saldo + N-Deposition] (diffuser N-Eintrag) (kg N/ha*a)
M = Netto-Mineralisationspotenzial (kg N/ha*a)
I = Netto-Immobilisation (kg N/ha*a)
D = Denitrifikationspotenzial (kg N/ha*a)
AF = Auswaschungsfaktor
SW = Sickerwasser [= Gesamtabfluss] (mm/a)
4,43 = Umrechnungsfaktor N ⇒ NO₃ (Nitrat)

Abb. 4.2.3.2.3.1-1: Berechnung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser (in Anlehnung an FREDE & DABBERT 1998)

Bei dieser Methode handelt es sich um ein einfaches Schätzverfahren für die langjährige mittlere Nitrat-Konzentration im Sickerwasser an der Untergrenze des Wurzelraumes.

Im Rahmen der Weitergehenden Beschreibung wird eine über den gesamten Grundwasserkörper gemittelte, langjährige mittlere Nitrat-Konzentration im Sickerwasser kalkuliert.

Es ist zu beachten, dass dieses Schätzverfahren auf vereinfachten Annahmen beruht und darauf abzielt, lediglich die generelle, mittlere Belastungssituation des Grundwasserkörpers zu beschreiben. Die an konkreten Standorten innerhalb der Grundwasserkörper tatsächlich gemessenen Nitrat-Konzentrationen im Sickerwasser können deshalb erheblich von diesen Schätzwerten abweichen.

Zur Kalkulation der potenziellen Nitratkonzentration werden Angaben

- zum potenziellen N-Austrag (N-Auswaschungspotenzial) [kg N/ha*a]
- zum Auswaschungsfaktor
- zur Sickerwassermenge (= Gesamtabfluss) [mm/a]

benötigt.

Der potenzielle N-Austrag ergibt sich aus der

- N-Emission,
- Netto-Mineralisation,
- Netto-Immobilisation und
- Denitrifikation im Wurzelraum.

Mit einer Netto-Mineralisation bzw. Immobilisation ist nur dann zu rechnen, wenn sich der Stoffhaushalt eines Bodens infolge langfristiger Nutzungs- bzw. Standortveränderung (z.B. Grundwasserabsenkung, Entwässerung, Grünlandumbruch, Aufforstung) im Ungleichgewicht befindet.

Bei allen anderen Böden wird unterstellt, dass sich Mineralisation und Immobilisation langfristig ausgleichen. Die im Jahreszyklus auftretende und in Abhängigkeit von Fruchtart und Witterung unterschiedlich hohe N-Mineralisation des Bodens wird bei dieser langfristigen Betrachtung nicht berücksichtigt.



Für die Weitergehende Beschreibung wurden die in Abb. 4.2.3.2.3.1-1 genannten Eingangsgrößen für das Schätzverfahren wie folgt ermittelt:

Emission

Die Berechnung erfolgt entsprechend der Verfahrensbeschreibung zur Erstmaligen Beschreibung.

Netto-Mineralisation

Faustzahlen für Netto-Mineralisationsraten sind Tab. 4.2.3.2.3.1-1 zu entnehmen. Für die Weitergehende Beschreibung werden nur die Standorte berücksichtigt, bei denen auch langfristig (> 20 Jahre) mit einer Netto-Mineralisation zu rechnen ist. Dies gilt im Wesentlichen für die als Acker oder Grünland genutzten Niedermoorstandorte.

Tab. 4.2.3.2.3.1-1: Faustzahlen für Netto-Mineralisationsraten (zusammengestellt aus: FREDE & DABBERT (1998), GÄTH et al. (1997), MÜLLER & RAISSI (2002))

Standort	Netto-Mineralisationsrate [kg N /ha*a]
ehemals grund-/stauwasserbeeinflusste, humusreiche Böden	> 100 (in den ersten 4 Jahren) 20 – 50 (> 4 bis 20 Jahre)
Sanddeckkultur aus Niedermoorböden	20 – 50
Grünlandumbruch	> 100 (in den ersten 4 Jahren) 20 – 50 (> 4 bis 20 Jahre)
Niedermoornutzung als Grünland	150 – 300 (in bis zu 100 Jahren)
Niedermoornutzung als Ackerland	250 – 500 (in bis zu 100 Jahren)

Die Netto-Mineralisationsrate dieser Standorte wurde in Abhängigkeit vom langjährigen mittleren Grundwasserniedrigstand (MNGW) und der Nutzung (Acker/Grünland) entsprechend Tab. 4.2.3.2.3.1-2 aus der Bodenübersichtskarte 1:50.000 (BÜK 50) abgeleitet.



Tab. 4.2.3.2.3.1-2: Bewertung der Netto-Mineralisationsrate von Böden

Bodentyp (BÜK 50)	MNGW [dm]	Netto-Mineralisationsrate [kg N /ha*a]	
		Acker	Grünland
Erd-Niedermoor	3	100	50
	6	150	100
	10	250	150
	> 10	250	150
Gley mit Erd-Niedermoorauflage	6	100	50
	> 10	100	50
Organomarsch	6	100	50
	10	150	100
Organomarsch unterlagert von Niedermoor	6	100	50
Niedermoor mit Organomarschauflage	6	100	50
Tiefumbruchboden auf Niedermoor	> 6	200	100

Netto-Immobilisation

Mit deutlichen Immobilisationsraten ist entsprechend Tab. 4.2.3.2.3.1-3 in der Regel nur innerhalb eines Zeitraumes von 20 Jahren zu rechnen.

Für die langfristige Betrachtung im Rahmen der Weitergehenden Beschreibung werden diese Netto-Immobilisationsraten daher nicht berücksichtigt.

Tab. . 4.2.3.2.3.1-3: Faustzahlen für Netto-Immobilisationsraten (zusammengestellt aus: FREDE & DABBERT (1998), GÄTH et al. (1997), MÜLLER & RAISSI (2002))

Standort	Netto-Immobilisationsrate [kg N /ha*a]
Neulandflächen ¹	200 (in den ersten 6 Jahren) 100 (> 6 bis 20 Jahre)
Krumenvertiefung ²	30 - 90 (bis 20 Jahre)
Umwandlung von Acker- in Grünland	50 - 100 (in ca. 5 bis 10 Jahren nach Einführung)
Dauer-Grünbrache	50 - 100 (in ca. 5 bis 10 Jahren nach Einführung)
Hochmoor-Sandmischkultur (1. - 10. Jahr) ³	30 - 50
Hochmoor-Sandmischkultur (10. - 20. Jahr) ³	10 - 30

1 DELSCHEN & NECKER (1995)

2 NIEDER & RICHTER (1986), NIEDER et al. (1995)

3 Höhere Werte vor allem in Hochmoor-Sand-Mischkultur im Regierungsbezirk Weser-Ems mit einem hohen C/N-Verhältnis der Ausgangstorfe (> 50)



Auswaschungsfaktor

Der Auswaschungsfaktor (AF) wird entsprechend folgender Formel aus der Austauschhäufigkeit (AH) abgeleitet:

$$AF = AH / 100$$

Die Austauschhäufigkeit wird nach DIN 19732 (1997): „Bodenbeschaffenheit – Bestimmung des standörtlichen Verlagerungspotenzials von nichtsorbierenden Stoffen“ aus der Sickerwassermenge (mm/a) und der Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (FKwe in mm) berechnet.

Der dimensionslose Auswaschungsfaktor (AF) ist ein Maß für die langjährige mittlere N-Auswaschungsgefahr. Bei einem $AF \geq 1$ ist davon auszugehen, dass im langjährigen Mittel der potenzielle N-Überschuss im Boden vollständig ausgewaschen wird.

Ist der Auswaschungsfaktor < 1 , wird der potenzielle N-Überschuss im Boden (= potenzieller N-Austrag) mit den Niederschlägen des Winterhalbjahres nicht vollständig aus dem Wurzelraum ausgewaschen. Damit verringert sich der tatsächliche N-Austrag gegenüber dem potenziellen N-Austrag.

Langfristig führt ein $AF < 1$ jedoch nur dann zu einem verminderten N-Austrag, wenn der im Wurzelraum verbliebene Rest-Nitrat-Vorrat im Folgejahr bei der Düngeplanung entsprechend berücksichtigt wird.

Da auf der Maßstabsebene der Weitergehenden Beschreibung keine verlässlichen Aussagen zur Berücksichtigung des Rest-Nmin-Vorrates bei der Düngeplanung möglich sind, wird der Auswaschungsfaktor bei der Abschätzung der potenziellen Nitratkonzentration zunächst nicht berücksichtigt. Im Rahmen der Monitoringphase sollte der Auswaschungsfaktor jedoch berücksichtigt werden.

Denitrifikationspotenzial

Die Denitrifikation ist ein mikrobieller Prozess, bei dem Nitrat reduziert und zu Luftstickstoff umgewandelt wird. Durch Denitrifikation können Nitratgehalte im Boden und im Grundwasser unter bestimmten Bedingungen erheblich reduziert werden.

Voraussetzung für die Denitrifikation sind reduzierende Bedingungen, d.h. Abwesenheit von Luftsauerstoff und Substrat, das als Energiequelle für Mikroorganismen dient. Als Substrate spielen im Wesentlichen organische Substanz und reduzierte Schwefelverbindungen, wie Eisensulfid, eine Rolle.

Unterschiedliche Grundwasserstände und Substratgehalte wirken sich vor allem in der grundwasserbeeinflussten Wurzelzone (ca. 0 - 1 m unter Flur) und in der oberflächennahen gesättigten Zone (oberes Grundwasser bis in ca. 1 - 2 m unter Flur) stark differenzierend auf die Denitrifikation am Standort aus.

Zur Charakterisierung der Denitrifikation verwendet man das Denitrifikationspotenzial. Darunter versteht man die maximal unter Sauerstoffabschluss von den Bodenmikroorganismen denitrifizierte Menge an Stickstoff bei gegebener Substratverfügbarkeit und innerhalb eines gegebenen Zeitraums.

Anhand vorliegender Informationen zu Bodentypen und -eigenschaften, Substrat (Geologie) und Grund- bzw. Stauwassereinfluss wird eine 5-stufige Klassifikation des Denitrifikationspotenzials des Unterbodens vorgenommen. Hierzu wird ein Regelwerk verwendet, das im Arbeitskreis „Bodenkundliche Beratung in Wasserschutzgebieten“ des NLFb unter Beteiligung niedersächsischer Dienststellen und Ingenieurbüros entwickelt wurde (Tab. 4.2.3.2.3.1-4).



Tab. 4.2.3.2.3.1-4: Bewertung der Denitrifikationsleistung der Wurzelzone von Böden (aus: MÜLLER & RAISSI, 2002) (nach GÄTH et al., 1997, modifiziert von Höper 2000, NLFb-Arbeitskreis „Bodenkundliche Beratung in WSG“, Stand: 22.11.2000)

Kennzeichnung der Denitrifikationsstufe		Denitrifikationsrate kg N/ha*a	Grund-/ Stauwassereinfluss in Wurzelzone (Randbedingung)	Geologische Ausgangssubstrate	Bodentypen (Beispiele)
Kurzzeichen	Bezeichnung				
1	sehr gering	< 10 [10]	ganzjährig keine Wassersättigung	flachgr. verwitterte Festgesteine und tiefgr. verwitterte sandige Festgesteine sandige Lockergesteine	Syrosem, Ranker, Regosol, Rendzina Braunerde Bänderparabraunerde Podsol
2	gering	10 – 30 [20]	ganzjährig keine Wassersättigung	schluffige bis tonige Lockergesteine tiefgründig zu Schluff und Ton verwitterte Festgesteine humusreiche sandige Lockergesteine	Pararendzina 1) Parabraunerde 1) (Trocken-) Schwarzerde, Auenböden 4) Terra fusca 1), Terra rossa 1) Kolluvium 1) Plaggenesch, Sandmischkultur
3	mittel	> 30 – 50 [40]	grundwasserfern, aber 3 bis 6 Monate Stauwassereinfluss	schluffige bis tonige Lockergesteine und tiefgr. verwitterte schluffige bis tonige Festgesteine	Pelosol Pseudogley
4	hoch	> 50 - > 150 [60*]	6 bis 9 Monate Grund- und Stauwassereinfluss Grundwasser unterhalb Torfkörper	fluviale, limnogene und marine Lockergesteine Hoch- und Niedermoor- torfe	Gleye, Stagnogley Auenböden 5), Marschen Niedermoor, Hochmoor
5	sehr hoch	>> 150 [100*]	Grundwasser im Torfkörper	Anmoore, Moore und organ. Mudden	Niedermoor, Anmoorgley
			ganzjährig Grundwassereinfluss	z.T. humusreiche, fluviale, limnogene und marine Lockergesteine	Gley-Tschernosem Gley-Auenböden
			lang anhaltende Wassersättigung	Gesteine mit hohem Anteil an fossilem C und reduzierten S-Verbindungen	verschiedene Böden 3) Pelosole

* bei Niedermoorstandorten: Denitrifikationsrate = Netto-Mineralisation

1) bei mittleren bis starken Pseudogleymerkmalen Zuordnung in Stufe 3

2) bei ganzjähriger Trockenlegung Zuordnung in Stufe 2 oder 3

3) z.B. Lias, Untere Kreide und braunkohle- bzw. pyrithaltige Geschiebelehme

4) Grundwasser im Kies

5) Grundwasser im Auenboden

[] mittlere Denitrifikationsrate

Eine Quantifizierung des Denitrifikationspotenzials im Unterboden sowie im oberflächennahen Grundwasser hydromorpher, d. h. grund- und stauwasserbeeinflusster Böden wurde von WELL vorgenommen (WELL et al. 1999, 2001, 2003). Deren Ergebnisse wurden in Tabelle 4.2.3.2.3.1-4 eingearbeitet.

In der Denitrifikationsstufe 5 (>>150 kg N/ha*a) sind Denitrifikationsraten bis 3000 kg N/ha*a zu finden. Nach WELL et al. (1999) sind solche Raten v. a. in Niedermooren und grundwassergeprägten, humusreichen Böden zu finden.

Für Niedermoor ist die Entwässerungstiefe entscheidender für die Denitrifikation als der pH-Wert. Solange der Grundwasserspiegel ganzjährig im Torfkörper steht, sind höchste Denitri-



fikationsraten zu erwarten. Steht der Grundwasserspiegel unterhalb des Torfkörpers, ist aufgrund der hohen Luftkapazität der Torfe die Denitrifikation geringer. Niedermoore setzen zwar nach Grundwasserabsenkung hohe Mengen an Stickstoff aufgrund der Mineralisation der Torfe frei, gleichzeitig wird der überschüssige Stickstoff aber in den unteren, noch wassergesättigten Torfschichten denitrifiziert und gelangt somit nicht in das Grundwasser. Steht das Grundwasser allerdings unterhalb der Torfe, ist mit einer erhöhten Nitrat auswaschung zu rechnen.

Nach WELL et al. (1999) sind unter humusreichen Gleyen und Gley-Auenböden (gilt auch für Marschen) sehr hohe Denitrifikationsraten zu finden. Unklar bleibt, ob auch Gley-Subtypen anderer Bodentypen hohe Denitrifikationsraten aufweisen (z. B. Gley-Braunerden, Gley-Parabraunerden). Sobald Grundwasser in torf-, humus- oder schwefelhaltigen Bodenschichten steht, ist mit hohen Denitrifikationsraten zu rechnen. Bei diesen Standorten der Denitrifikationsstufe 4 und 5 (nach Tab. 4.2.3.2.3.1-4) ist davon auszugehen, dass auch mittel- und langfristig das Denitrifikationspotenzial im Wurzelraum nicht erschöpfbar ist.

Bei den Standorten der Denitrifikationsstufe 3 und z.T. 4 (Gleye und Auenböden) ist dagegen mittel- und langfristig von einem erschöpfbaren Denitrifikationspotenzial auszugehen. Einträge von Kohlenstoff in gelöster Form mit dem Sickerwasser und in fester Form durch Einwachsen der Pflanzenwurzel nehmen einen kleinen Anteil ein, dessen Bedeutung aber nach wie vor ungeklärt ist (SIEMENS et al., 2003).

Das Denitrifikationspotenzial der Standorte mit der Denitrifikationsstufe 1 bzw. 2 dürfte etwa mit der Nachlieferung an gelöstem Kohlenstoff im Gleichgewicht stehen.

Im Aquifer ist dagegen davon auszugehen, dass das Denitrifikationspotenzial zu großen Anteilen fossilen bzw. geogenen Ursprungs und damit erschöpfbar ist. Das Nitrat abbauvermögen im Grundwasser wird deshalb bei der Gesamtsignifikanzabschätzung nicht berücksichtigt.

Sickerwasser

Unter Berücksichtigung der regionalspezifischen Sickerwassermenge (mm/a) wird der potenzielle N-Austrag in eine potenzielle Nitratkonzentration umgerechnet.

Als Maß für die Sickerwassermenge wird, wie bei der Erstmaligen Beschreibung, der Gesamtabfluss, berechnet nach GROWA 98, herangezogen (siehe Kap. 4.2.3.2.1).

4.2.3.2.4 Landnutzung

Basis der Auswertung der Landnutzung sind die CORINE Landcover Daten zur Bodenbedeckung, die flächendeckend für die gesamte Bundesrepublik vorliegen und vom Statistischen Bundesamt ausgegeben werden.

Aufgrund des europaweiten Vorliegens der Landnutzungsdarstellung werden sie beispielsweise dem ATKIS vorgezogen. Die Genauigkeit der Daten zur ungefähren prozentualen Einschätzung im Rahmen der Bestandsaufnahme der Landnutzung ist ausreichend.

Zur Erstellung der Bodenbedeckungskarte wurden Satellitenbilder ausgewertet. Der Bearbeitungsmaßstab betrug 1:100.000. Die kleinste darstellbare Flächeneinheit beträgt 25 ha. Gewässerläufe werden ab einer Breite von 100 m dargestellt. Die Bodenbedeckung wird nach 44 Bodenbedeckungskategorien unterschieden, die in 15 Gruppen der 2. Ebene zusammengefasst sind. Zur Auswertung hinsichtlich der Anforderungen der Wasserrahmenrichtlinie wurden die 15 Klassen der 2. Ebene mit ihren 44 Kategorien zu 8 Gruppen zusammengefasst (Tabelle 4.2.3.2.4-1).



Tab. 4.2.3.2.4-1: Landnutzung

Gruppe	Klasse	Bodenbedeckungskategorie
Siedlung	1.1. Städtisch geprägte Flächen	1.1.1. Durchgängig städtische Prägung
		1.1.2. Nicht durchgängig städtische Prägung
	1.2. Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen	1.2.1. Industrie/Gewerbeflächen
		1.2.2. Straßen/Eisenbahnnetze, funktionell zugeordnete Flächen
		1.2.3. Hafengebiete
		1.2.4. Flughäfen
	1.3. Abbauflächen, Deponien, Baustellen	1.3.1. Abbauflächen
		1.3.2. Deponien, Abraumhalden
		1.3.3. Baustellen
	1.4. Künstlich angelegte nicht landwirtschaftlich genutzte Flächen	1.4.1. Städtische Grünflächen
1.4.2. Sport/Freizeitanlagen		
Landwirtschaft	2.1. Ackerflächen	2.1.1. Nicht bewässertes Ackerland
		2.1.2. Regelmäßig bewässertes Ackerland
		2.1.3. Reisfelder
	2.2. Dauerkulturen	2.2.1. Weinbauflächen
		2.2.2. Obst/Beerenobstbestände
		2.2.3. Olivenhaine
	2.3. Grünland	2.3.1. Wiesen und Weiden
	2.4. Heterogene landwirtschaftliche Flächen	2.4.1. Einjähr. Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen
		2.4.2. Komplexe Parzellenstruktur
		2.4.3. Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Vegetation von signifikanter Größe
2.4.4. Land/Forstwirtschaftliche Flächen		
Wald	3.1. Wälder	3.1.1. Laubwälder
		3.1.2. Nadelwälder
		3.1.3. Mischwälder
Sonstige Vegetation	3.2. Kraut/Strauchvegetation	3.2.1. Natürliches Grünland
		3.2.2. Heiden und Moorheiden (Latschen)
		3.2.3. Hartlaubbewuchs
		3.2.4. Wald/Strauch - Übergangsstadien
	3.3. Offene Flächen ohne oder mit geringer Vegetation	3.3.1. Strände, Dünen, Sandflächen



Gruppe	Klasse	Bodenbedeckungskategorie
		3.3.2. Felsflächen ohne Vegetation
		3.3.3. Flächen mit spärlicher Vegetation
		3.3.4. Brandflächen
		3.3.5. Gletscher/Dauerschneegebiet
Feuchtfleichen	4.1. Feuchtfleichen im Landesinneren	4.1.1. Sümpfe
		4.1.2. Torfmoore
	4.2. Feuchtfleichen an der Küste	4.2.1. Salzwiesen
4.2.2. Salinen		
4.2.3. In der Gezeitenzone liegende Flächen		
Wasserflächen	5.1. Wasserflächen im Landesinneren	5.1.1. Gewässerläufe
		5.1.2. Wasserflächen
	5.2. Meerestgewässer	5.2.1. Lagunen
		5.2.2. Mündungsgebiete
		5.2.3. Meer und Ozean

Die Flächenanteile der verschiedenen Bodenbedeckungsarten wurden ermittelt und prozentual dargestellt.



4.2.3.3 Belastung durch Entnahmen und künstliche Anreicherungen

4.2.3.3.1 Erstmalige Beschreibung

Niedersachsen/Bremen/Hamburg

Im Rahmen der Erstmaligen Beschreibung wurde für Niedersachsen und Bremen der Ansatz gewählt, auf der Basis einer vorläufigen Abschätzung des mengenmäßigen Zustands - Gegenüberstellung von Neubildung und Entnahmen/Einleitungen - die Grundwasserkörper zu ermitteln, die sicher im guten Zustand sind. Die übrigen Grundwasserkörper werden in der Weitergehenden Beschreibung (Kap. 4.2.3.3.2) einer vertieften Betrachtung unterzogen. Die Bilanzierung in der Erstmaligen Beschreibung basiert auf der

- Berechnung der Grundwasserneubildung und der
- Ermittlung der genehmigten Entnahmen und Einleitungen nach Menge und Lage.

Dieses Verfahren wurde für die Fläche Niedersachsens und darüber hinaus für die Grundwasserbetrachtungsräume, die durch Niedersachsen federführend bearbeitet werden, angewendet. Die entsprechenden Daten wurden von den Nachbarländern jeweils zur Verfügung gestellt. In Nordrhein-Westfalen lagen lediglich im Bereich der Ems die Daten zur Neubildung und den Wasserrechten nicht digital vor, so dass hier jeweils nur der niedersächsische Flächenanteil berechnet werden konnte.

Die einzelnen Schritte der Datenermittlung und Berechnung sind in Kap. 4.2.3.3.1.1 bis Kap. 4.2.3.3.1.5 beschrieben.

Im Folgenden werden kurz die Methoden beschrieben, die in den Nachbarländern angewendet werden.

Mecklenburg-Vorpommern

Es liegen z.Zt. keine Methodenbeschreibungen vor.

Sachsen-Anhalt

Eine rein schematische Auswertung der Belastungen für den mengenmäßigen Zustand nach der LAWA-Arbeitshilfe ergäbe, dass bei allen Grundwasserkörpern die Grundwasserentnahme von 10 % der Grundwasserneubildung überschritten würde und somit Sachsen-Anhalt ein flächendeckendes Risikogebiet darstellen würde.

Dies ist jedoch mit wenigen Ausnahmen nicht der Fall, wasserrechtliche Entscheidungen für relevante Benutzungen wurden nach dem Wasserrecht der ehem. DDR – gestützt auf lokale hydrogeologische Erkundungen – anhand von Wasserbilanzen getroffen. Damit wurde gewährleistet, dass die Entnahmemengen unter der Neubildungsrate verblieben und damit das Gleichgewicht zwischen Neubildung und Entnahme nicht gestört wird.

Abweichend von der LAWA-Arbeitshilfe werden deshalb nur die Grundwasserkörper als risikobehaftet angesehen, bei denen die Wasserentnahmen größer 50 % der Grundwasserneubildung betragen. Soweit möglich, wurden diesem empirischen Wert zusätzlich Gangliendarstellungen als Sicherheit beigefügt.

Thüringen

Es liegen z.Zt. keine Methodenbeschreibungen vor.

**Hessen**

In Hessen wurde der Flächenanteil von Trinkwasserschutzgebieten (entspr. Einzugsgebieten) an den Grundwasserkörpern errechnet. Bei einem Flächenanteil von mehr als 33 % geht der Grundwasserkörper in die Weitergehende Beschreibung.

Nordrhein-Westfalen:

Mit Hilfe der Analyse charakteristischer Grundwasserganglinien in den Grundwasserkörpern erfolgt in NW bereits in der Erstmaligen Beschreibung eine Einschätzung des Risikos, dass der Grundwasserkörper die Umweltziele für den mengenmäßigen Zustand nicht erreicht.

Für alle Grundwasserkörper wird nach landesweiten Vorgaben eine Analyse charakteristischer Grundwasserganglinien aus dem Zeitraum 1971 bis 2000 durchgeführt. Es werden Kriterien festgelegt, wann ein Grundwasserkörper aus quantitativer Sicht als möglicherweise gefährdet anzusehen ist. Dazu zählt ein signifikanter negativer Trend der Grundwasseroberfläche im Grundwasserkörper. Dabei wird nicht jede einzelne lokale Beeinflussung betrachtet, sondern gebietsrelevante Veränderungen innerhalb eines fest definierten Bereiches mit einem Radius von 4 km um jede Messstelle. Sofern bei einem Drittel der Fläche eines Grundwasserkörpers ein negativer Trend (Abfall von mehr als 1 cm/a) festzustellen ist, wird dieser als potenziell gefährdet angesehen. Für Grundwasserkörper mit einem Flächenanteil zwischen 20 und 33 % erfolgt eine gesonderte Prüfung durch die Geschäftsstellen der Teileinzugsgebiete.

Werden durch die Wirkungsflächen der Messstellen weniger als 50 % einer Grundwasserkörperfläche abgedeckt, reicht die Datenlage für eine Beurteilung nicht aus. Diese Grundwasserkörper werden bei einer entsprechenden wasserwirtschaftlichen Bedeutung einer Weitergehenden Beschreibung unterzogen. Für Grundwasserkörper, vor allem im Festgestein, deren wasserwirtschaftliche Bedeutung als gering eingestuft wird, kann die Ganglinienanalyse entfallen. Eine Gefährdung des guten mengenmäßigen Zustandes wird hier ausgeschlossen. Die Bergbauregionen werden nicht gesondert behandelt. Diese Grundwasserkörper werden als Ergebnis der Ganglinienanalyse in der Regel einer Weitergehenden Beschreibung unterzogen.

Die Auswertung der Grundwasserstandsdaten des Landesgrundwasserdienstes werden in Form einer Karte der hinsichtlich des mengenmäßigen Zustandes möglicherweise gefährdeten Grundwasserkörper in HYGRIS C bereitgestellt.

4.2.3.3.1.1 Berechnung der Grundwasserneubildung**Niedersachsen/Bremen/Hamburg**

Die Grundwasserneubildung wurde mit dem Modell GROWA 98 berechnet. Bei GROWA 98 handelt es sich um ein GIS-gestütztes empirisches Modell zur flächendifferenzierten Bestimmung der mittleren mehrjährigen Wasserhaushaltsgrößen reale Verdunstungshöhe, Gesamtabflusshöhe und Direktabflusshöhe sowie Basisabflusshöhe bzw. Grundwasserneubildungshöhe auf der Grundlage hoch aufgelöster digitaler Daten. Das Verfahren wurde vom Forschungszentrum Jülich für die Anwendung in großen Flussgebietseinheiten auch im Hinblick auf die Anforderungen der EU-WRRL entwickelt (DÖRHÖFER et al. 2001). Der grundsätzliche Verfahrensablauf ist schematisch in Abb. 4.2.3.3.1.1-1 dargestellt.

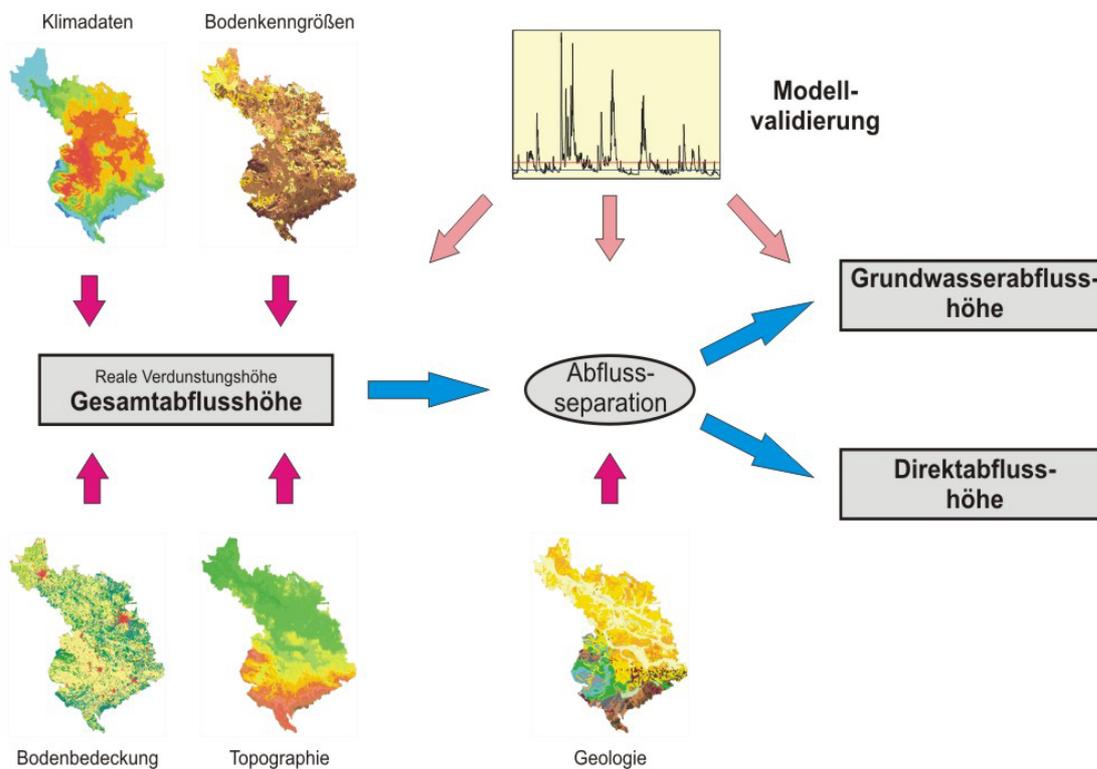


Abb. 4.2.3.3.1.1-1: Verfahrensgang des Wasserhaushaltsmodells GROWA 98

Er kann in drei Schritte gegliedert werden:

Berechnung der realen Verdunstungshöhe

Ausgangspunkt ist das empirische Verfahren nach RINGER & WESSOLEK (1996) zur Berechnung der Jahressummen der realen Evapotranspiration für unterschiedliche Bodenbedeckungen (Ackerland, Grünland, Nadelwald, Laubwald). Das Verfahren ist für eine Vielzahl unterschiedlicher Standorte getestet und bestätigt und ist Bestandteil der wasserwirtschaftlichen Praxis (DVWK-Merkblätter). Der Gültigkeitsbereich des Verfahrens wurde im Rahmen von GROWA 98 durch Berücksichtigung zusätzlicher Einflussparameter wie Relief, Grundwassereinfluss und Versiegelung erweitert, so dass eine flächendeckende Anwendbarkeit in großen Flusseinzugsgebieten gegeben ist.

Ermittlung der mittleren jährlichen Gesamtabflusshöhe

Die mittlere jährliche Gesamtabflusshöhe wird aus der Differenz zwischen Jahresniederschlagshöhe und der in Schritt 1 berechneten realen Verdunstungshöhe ermittelt. Wie aus der schematischen Darstellung des Bodenwasserhaushalts (Abb. 4.2.3.3.1.1-2) zu entnehmen ist, entspricht der Gesamtabfluss der Summe aus Direktabfluss und Basisabfluss.

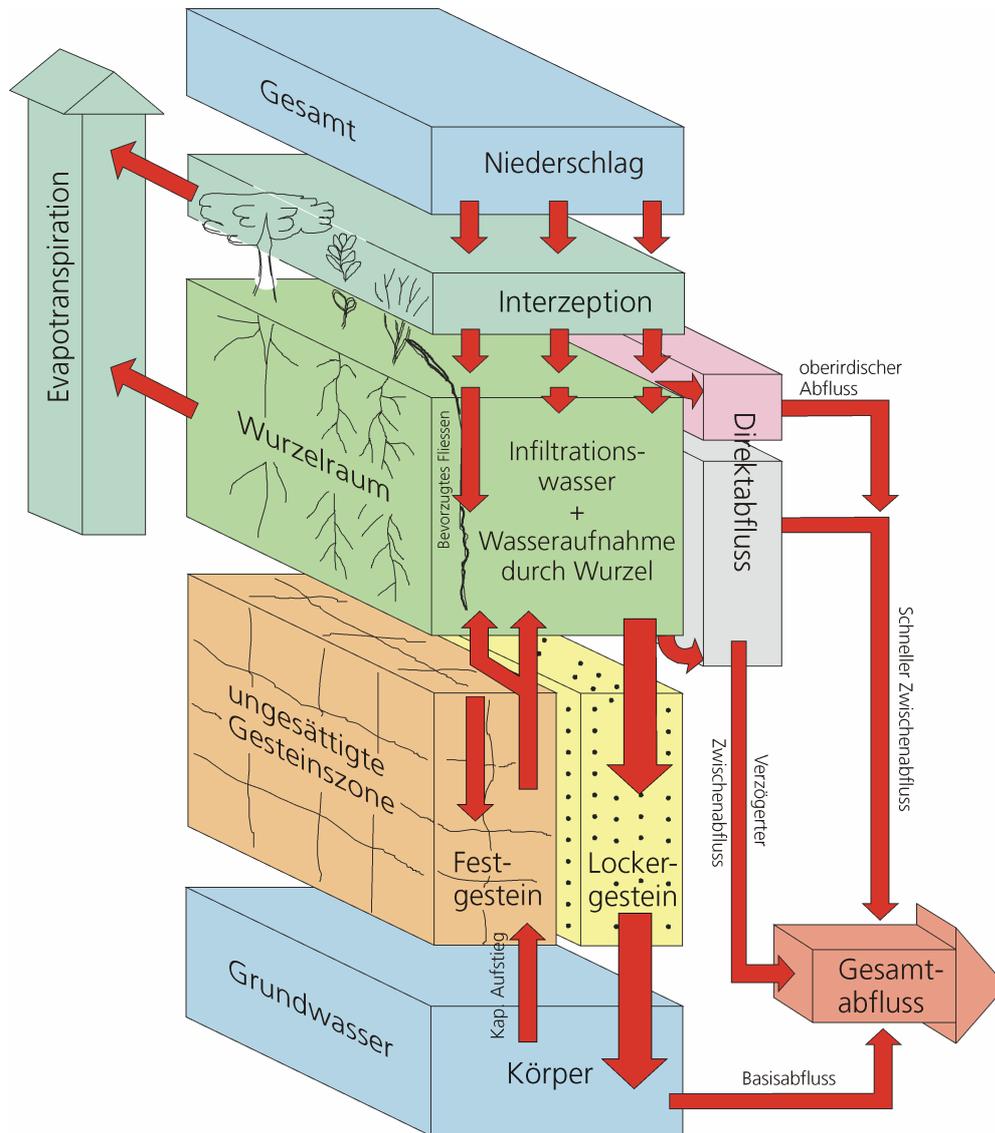


Abb. 4.2.3.3.1.1-2: Schemadarstellung des Bodenwasserhaushalts

Auftrennung des Gesamtabflusses in Direktabfluss und Basisabfluss

Die Grundwasserneubildungshöhe wird indirekt durch Separation der in Schritt 2 ermittelten Gesamtabflusshöhe in den Direktabfluss (Oberflächenabfluss und unmittelbarer sowie verzögerter Zwischenabfluss) und den Basisabfluss (grundwasserbürtiger Abfluss) berechnet. Unter Basisabfluss werden hierbei alle Abflussarten zusammengefasst, die in den Boden infiltrieren und den Grundwasserraum erreichen. Als Teil des langjährigen Wasserhaushaltes entsprechen diese Abflussanteile der Menge neugebildeten Grundwassers (DIN 4049). Die Gesamtabflusssparation wird im Modell GROWA 98 auf der Grundlage statischer gebietspezifischer Basisabflussanteile durchgeführt. Ähnlich wie bei anderen in der Praxis bewährten Verfahren (z.B. DÖRHÖFER & JOSOPAIT 1980) wird die Basisabflusshöhe als konstanter von bestimmten Flächeneigenschaften abhängiger Anteil an der Gesamtabflusshöhe beschrieben. Die relevanten Gebietskenngrößen werden unter Einbeziehung der an Pegeln beobachteten Abflusshöhen auf Basis einer Zusammenhangsanalyse ermittelt. Die Unterteilung der Vorgehensweise in die Gruppen Lockergestein, Festgestein und Sonderflächen (versiegelt, dräniert) ermöglicht eine der regionalen Untergrundsituation angepasste Beschreibung.



Die Modellierung der Wasserhaushaltsgrößen nach GROWA 98 erfolgte auf einer vereinheitlichten Datengrundlage mit einer optimierten Rasterzellgröße von 100 m x 100 m. Damit ergeben sich für die Landesfläche mehr als 11 Mio. Rasterzellen, für die separat berechnete Werte der Wasserhaushaltsgrößen vorliegen.

Die Ergebnisse der Modellierung wurden durch einen Vergleich der berechneten Gesamtabflusshöhen mit den an Pegeln gemessenen sowie den monatlichen Mittelwerten der gemessenen geringsten Tagesabflüsse (MoMNQ) mit den berechneten Werten der Grundwasserneubildungshöhe einer Validierung unterzogen. Für den weitaus größten Teil der herangezogenen Teileinzugsgebiete betragen die Abweichungen weniger als 15 % und liegen damit im unvermeidbaren Schwankungsbereich empirischer Modelle.

Sachsen-Anhalt, Thüringen, Hessen

Die Daten zur Grundwasserneubildung wurden von den Nachbarländern zur Verfügung gestellt. Die Datenlieferung erfolgte teils grundwasserkörperbezogen in Tabellenform, teils als GIS-Daten.

Nordrhein-Westfalen

Für den Bereich der Oberen und Mittleren Weser wurden die Grundwasserneubildungsdaten grundwasserkörperbezogen in Tabellenform zur Verfügung gestellt. Im Bereich der Ems liegen die Neubildungsdaten nicht digital vor.

4.2.3.3.1.2 Ermittlung der genehmigten Entnahme- und Einleitungsmengen

Niedersachsen/Bremen

Die Bezirksregierungen Niedersachsens bzw. das Land Bremen haben auf der Basis des Wasserbuchs die Wasserrechte bezüglich der maximalen jährlichen Entnahmemenge und der Einleitungen zusammengestellt. In den Fällen, wo bei den Wasserrechten keine maximalen Jahreswerte angegeben waren, wurden plausible Schätzwerte eingesetzt. Bezugszeitpunkt ist der 31. Dezember 2000.

Hamburg

Die Datenlieferung erfolgte in Tabellenform, untergliedert nach Brauchwasser und öffentlicher Wasserversorgung.

Sachsen-Anhalt, Thüringen, Hessen

Die Datenlieferung erfolgte in Tabellenform, z.T. ohne Angabe des Entnahmezwecks.

Nordrhein-Westfalen

Für den Bereich der Oberen und Mittleren Weser wurden die Entnahmerechte in Tabellenform zur Verfügung gestellt, getrennt nach Brauchwasser und öffentlicher Wasserversorgung.

Im Bereich der Ems liegen die Entnahmedaten nicht digital vor.



4.2.3.3.1.3 Ermittlung der Lage der Entnahme- und Einleitungsstellen

Niedersachsen/Bremen/Hamburg

Zur Verortung der Entnahme- bzw. Einleitungsstellen wurden bereits bei der Eingabe der Rechte in das Wasserbuch die Gauss-Krüger-Koordinaten des Wasserwerks als virtueller Entnahmepunkt verwendet. Da bei Beregnungsverbänden meist eine Vielzahl von Brunnen vorhanden ist, die aber lagemäßig nicht erfasst sind, wurde für die Eintragung des Wasserrechts in das Wasserbuch der Sitz des Beregnungsverbandes als virtueller Entnahmepunkt eingesetzt. Vergleichbares wurde für die Brauchwasser-Entnahmepunkte vorgenommen. Dadurch können sich bei der Bilanzierung kleinere Ungenauigkeiten ergeben, die aber bezogen auf die Größe der Grundwasserkörper vernachlässigbar sind. Zur lagemäßigen Darstellung im Berichtsmaßstab ist die Genauigkeit ausreichend.

Sachsen-Anhalt, Thüringen, Hessen, Nordrhein-Westfalen

Angaben zur Verortung der Entnahme- und Einleitungsstellen liegen z.Zt. nicht vor.

4.2.3.3.1.4 Bilanzierung auf der Basis der Wasserrechte

Die Grundwasserneubildung wurde für die Fläche der Grundwasserkörper anhand der Daten aus dem Modell GROWA 98 berechnet (siehe Kap. 4.2.3.3.1.1).

Analog dazu wurden alle Mengen der Entnahmerechte pro Grundwasserkörper aufsummiert. Einleitungsmengen gingen in die Aufsummierung ein.

Auf eine differenzierte anteilige Berechnung der Mengen bei Entnahmestellen, die in der Nähe von Grundwasserkörpergrenzen liegen, deren Einzugsgebiete aber – weil z.B. in tieferen Grundwasserstockwerken verfiltert – über die Grundwasserkörpergrenzen hinaus reichen, wurde verzichtet. Lediglich in einigen wenigen Fällen, wo die Einzugsgebiete nachweislich die Grundwasserkörpergrenzen überschreiten, wurde durch Annahme virtueller Entnahmepunkte die Menge aufgeteilt und den jeweiligen Grundwasserkörpern zugeordnet.

Der Anteil der Entnahmemengen (Entnahmerechte) an der neugebildeten Grundwassermenge, ggf. vermindert um die Einleitungen, wurde prozentual berechnet.

Dieses Verfahren ist als Abschätzung für den mengenmäßigen Zustand zum Zwecke der Berichterstattung gemäß WRRL anzusehen und stellt keine Wasserhaushaltsberechnung dar. In den Berichten zu den Grundwasserbetrachtungsräumen werden die Ergebnisse für die einzelnen Grundwasserkörper aufgelistet und dokumentiert.

4.2.3.3.2 Weitergehende Beschreibung

Wenn die Entnahmeanteile bis zu 10 % der Neubildung ausmachen, wird davon ausgegangen, dass der Grundwasserkörper im mengenmäßig guten Zustand ist. Sind die Entnahmeanteile größer als 10 %, wird der Grundwasserkörper der Weitergehenden Beschreibung unterzogen.

In der Weitergehenden Beschreibung erfolgt bei den Grundwasserkörpern, für die nicht der mengenmäßig gute Zustand festgestellt werden konnte, eine Betrachtung des Gleichgewichtes anhand von Ganglinienauswertung bzw. eine verbesserte Abschätzung der Entnahmebilanz sowie eine Prüfung auf Beeinträchtigungen von Oberflächengewässern und GW-abhängigen Ökosystemen.

Während die tatsächlichen Entnahme- und Einleitungsmengen nahezu flächendeckend bis auf den nordrhein-westfälischen Anteil im Gebiet der Mittleren und Oberen Ems vorlagen, wurde die Auswertung der Wasserstandszeitreihen (Ganglinien) nur an Messstellen in Niedersachsen durchgeführt.

4.2.3.3.2.1 Ermittlung der tatsächlichen Entnahme- und Einleitungsmengen

Um die Abschätzung der Entnahmeanteile, die in der Erstmaligen Beschreibung (Kap. 4.2.3.3.1) auf der Basis der Wasserrechte vorgenommen wurde, den realen Verhältnissen besser anzupassen, wurden durch die Bezirksregierungen von den Unteren Wasserbehör-



den die tatsächlichen Entnahmemengen ermittelt. Erhoben wurden die mittleren tatsächlichen Entnahmen und Einleitungen des Zeitraums 1996 bis 2001.

Da die Meldung der tatsächlichen Entnahmen an die Erhebung der Wasserentnahmegebühr gekoppelt ist, werden bei Wasserrechten, die kleiner 50.000 m³/a sind, keine tatsächlichen Entnahmemengen erfasst. In diesen Fällen ist die Höhe des Wasserrechtes in die Berechnung eingegangen.

4.2.3.3.2 Bilanzierung auf der Basis der tatsächlichen mittleren Entnahmen und Einleitungen

Die Bilanzierung erfolgte auf die gleiche Art und Weise wie in der Erstmaligen Beschreibung. Statt der Höhe der Wasserrechte sind die tatsächlichen Mengen, sofern sie ermittelbar waren, in die Berechnung eingeflossen. Detaillierte Angaben zum Bilanzierungsverfahren sind im Kap. 4.2.3.3.1.4 zu finden.

4.2.3.3.2.3 Ganglinienauswertung

Die Beurteilung des „mengenmäßigen Zustandes“ des oberflächennahen Grundwassers in Niedersachsen ist streng genommen nur in einer Gesamtbetrachtung des gesamten Grundwassersystems zu verstehen. Dabei sind auch tiefere Grundwasserstockwerke, aus denen nicht unbedeutende Mengen zur öffentlichen Trinkwasserversorgung gefördert werden, einzubeziehen.

Dies ist in der Regel wegen der vielfältigen Wechselwirkungen im Gesamtsystem exakt nur mit einer räumlichen Betrachtung möglich. Für eine landesweite überschlägige Betrachtung werden zur quantitativen Abschätzung ersatzweise Zeitreihen des Grundwasserstandes herangezogen.

Hierzu hat GRIMM-STRELE (LFU Baden-Württemberg) für die LAWA (Workshop Bonn im Mai 2003) einen Vorschlag vorgestellt, der auch für Niedersachsen sinngemäß angewendet werden kann.

Dieser Vorschlag sieht eine Analyse von langen Zeitreihen des Grundwasserstandes in oberflächennahen, von der öffentlichen Trinkwasserversorgung unbeeinflussten Bereichen vor. Dabei ist der Betrachtungszeitraum bei unbeeinflussten Messstellen in der Größenordnung von 30 Jahren zu wählen. Deutlich kürzere Zeiträume zeigen häufig langfristig nicht signifikante Trends.

In Festgesteinsgebieten werden Grundwassermessstellen in der Regel deutlich geringer verteilt sein, so dass hier auf Quellschüttungsmessungen, Abflussmessungen oder andere lokale wasserwirtschaftliche Beobachtungen und wasserwirtschaftliches Fachwissen zurückgegriffen werden muss.

Bei der Trendermittlung wird nicht allein die Steigung der Regressionsgeraden berücksichtigt, sondern diese Steigung wird noch durch die Differenz der beiden Extremwerte dividiert. Damit ist die Schwankungsbreite der Gesamtamplitude zumindest ansatzweise berücksichtigt.

$$\frac{\text{Steigung der Regressionsgeraden in cm pro Jahr}}{\text{Spannweite der Extremwerte der Zeitreihe in cm}}$$

Nach dieser Vorgehensweise ergibt sich dann bei richtiger Dimensionierung ein prozentualer positiver oder negativer Steigungswert in % pro Jahr. In Anpassung an das Verfahren von GRIMM-STRELE wurden diesen Werten 5 Klassen zugewiesen, die zwischen „stark fallend“ und „stark steigend“ liegen.



Der Empfehlung von GRIMM-STRELE folgend, in Abhängigkeit von den lokalen hydrogeologischen Verhältnissen ggf. andere Wertebereiche zu wählen, wurde die Klassifizierung - entwickelt für baden-württembergische Verhältnisse - für die niedersächsischen Gegebenheiten geändert in:

Tab. 4.2.3.3.2.3-1: Anpassung der Bewertung an niedersächsische Verhältnisse

-4 bis < -1 % / Jahr	stark fallend
-1 % bis <-0,5 % / Jahr	fallend
-0,5 % bis + 0,5 % / Jahr	gleich bleibend
> 0,5 % bis -1 % / Jahr	steigend
1 bis 4 % / Jahr	stark steigend

Mit dieser Klassenteilung, die den Empfehlungen der LAWA-Arbeitshilfe entspricht, ergab sich ein für das niedersächsische Lockergestein plausibles Bild, das auch mit den wasserwirtschaftlichen Entnahmesituationen in Einklang steht.

Um einen Bezug zum aktiven Witterungsgeschehen herstellen zu können, wurden ergänzend zu dieser Auswertung mit den Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) von Klima-Hauptstationen Zeitreihen der Klimatischen Wasserbilanz (AG Bodenkunde, 1994) von 1971 – 2000 erzeugt. Für diese Bilanzierung wurde die Berechnung der Verdunstung nach HAUDE (1955) durchgeführt. Nach Zuordnung zu den einzelnen Grundwassermessstellen (Landesgrundwasserdienst und Messstellen von Wasserversorgungsunternehmen) wurden Regressionsgeraden der Klimatischen Wasserbilanz in Anlehnung an ECKELMANN & RENGER (1981) denen des Grundwasserstandes gegenübergestellt.

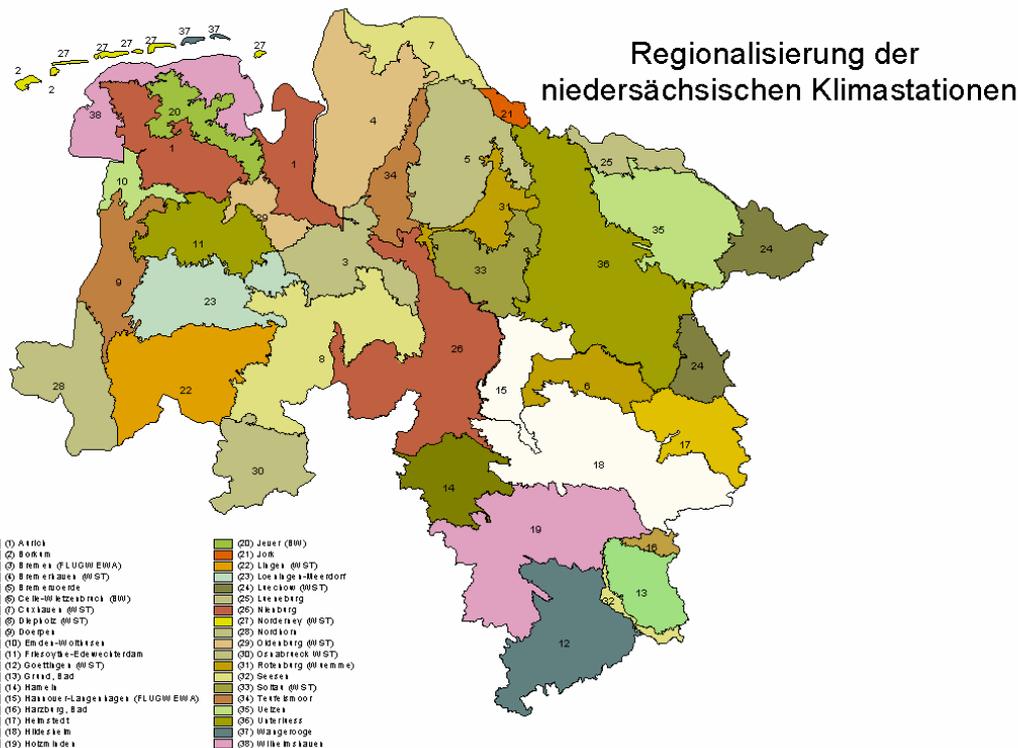


Abb. 4.2.3.3.2.3-1: Zuordnung der Klima-Hauptstationen des DWD in Anlehnung an ECKELMANN & RINGER (1981)

In der Regel sind die klimatischen Wasserbilanzen ohne signifikanten Trend, während die Zeitreihen der Grundwasserstände oft deutliche Trends aufweisen, wie am Beispiel der Messstelle OE 74 aus dem Bereich des NLWK Lüneburg dargestellt (Abb. 4.2.3.3.2.3-2).



Klimatische Wasserbilanz und Grundwasserstände

Zeitraum 1971 - 2000

Messstelle:	Breetze SW		
Messtellenkurzbez.:	OE 74		
NLWK-ID:	27304411		
Gw.-Körper ID:	NI11_01		
Teilraum:	Lüneburger Geest Ost		
Betreiber:	NLWK Lüneburg		
<u>Koordinaten des Ill. Mer.:</u>	3612522	5903579	
<u>Originalkoordinaten:</u>	4412325	5903058	
<u>dargestellter Zeitraum:</u>	11/1970	bis	10/2000
<u>Beobachtungszeitraum (Monate):</u>	360		
<u>davon fehlen (Monate):</u>	29		
<u>Steigung der Regressionsgeraden [m/a]:</u>	-0,03		
<u>max. Grundwasserstand [m]:</u>	22,48		
<u>min. Grundwasserstand [m]:</u>	20,73		
<u>Trendbewertung nach Grimm-Strehle (LFU):</u>	-1,90%		
	stark fallend		

Klimastation:	Uelzen		
Stationsnummer:	3883		
<u>Koordinaten:</u>	3607628	5872262	
<u>dargestellter Zeitraum:</u>	11/1970	bis	08/1996
<u>Beobachtungszeitraum (Monate):</u>	310		
<u>davon fehlen (Monate):</u>	0		
<u>Steigung der Regressionsgeraden [mm/a]:</u>	0,22		
<u>max. klimat. Wasserbilanz [mm]:</u>	136		
<u>min. klimat. Wasserbilanz [mm]:</u>	-118		

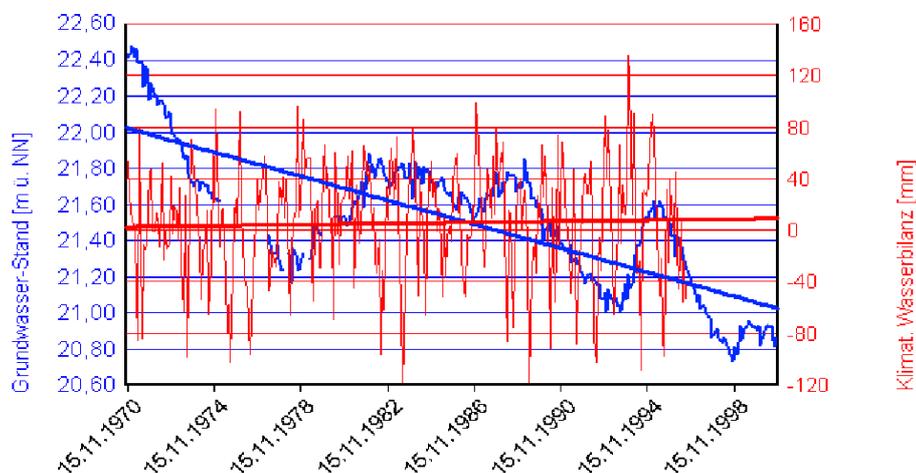


Abb. 4.2.3.3.2.3-2: Beispiel einer graphischen Auswertung von Grundwasserstand und Klimabilanz der Messstelle OE 74 (Breetze), NLWK-BETRIEBSSTELLE LÜNEBURG



Zur weiteren Orientierung wurden neben den beiden Zeitreihen (Grundwasserstand und Klimatische Wasserbilanz) noch ergänzende Angaben zu der dargestellten Grundwasser- und der Klimamessstation hinzugefügt, die in den beiden oben angeordneten Rahmen dargestellt sind.

Insgesamt wurden so 416 Zeitreihen von Grundwasserständen dargestellt und ausgewertet, davon 339 des Gewässerkundlichen Landesdienstes, 9 aus dem Land Bremen und 68 aus dem Bereich der Öffentlichen Trinkwasserversorgung. Alle betrachteten Messstellen liegen außerhalb von Einzugsgebieten der öffentlichen Wasserversorgung und weisen i.d.R. Datenreihen von 1971 bis 2000 (Wasserwirtschaftsjahre) auf. Datenlücken sind durch unterbrochene Zeitreihen dargestellt.

Die so erhaltenen Ergebnisse wurden landesweit bezogen auf die einzelnen Grundwasserkörper dargestellt.

4.2.3.3.2.4 Beurteilung des mengenmäßigen Zustands der Grundwasserkörper

Das hier vorgestellte Verfahren dient lediglich der Abschätzung des mengenmäßigen Zustands von Grundwasserkörpern (GWK) zum Zwecke der Berichterstattung gemäß WRRL. Für konkrete Fragestellungen „vor Ort“, wie z.B. für die fachliche Bewertung von Wasserrechtsanträgen, ist die im Folgenden dargestellte Vorgehensweise nur bedingt anwendbar.

Für die mengenmäßige Beurteilung des Grundwassers ist nach EU-WRRL entscheidend, ob die Grundwasseroberfläche infolge von Entnahmen noch nach 2000 großflächig absinken bzw. im Bereich der Ökosysteme und Oberflächengewässer soweit absinken wird, dass diese beeinträchtigt werden.

Als Beurteilungskriterien lassen sich heranziehen:

- Verhältnis von genehmigter Entnahmemenge zur Grundwasserneubildung.
- Verhältnis von tatsächlicher Entnahmemenge zur Grundwasserneubildung.
- Verlauf von Ganglinien des Grundwasserstands. Um die Reaktion des GWK auf Entnahmen erkennen zu können, werden Grundwasserstandsganglinien über einen Zeitraum von 1971 - 2000 ausgewertet, im Einzelfall auch kürzere Zeitreihen (siehe vorstehendes Kapitel). Um das großflächige Verhalten des Grundwasserspiegels für den gesamten GWK beurteilen zu können, werden nur solche Messstellen analysiert, die nicht im Absenkungsbereich von Entnahmestellen liegen. Nähere Erläuterungen zur Auswertung der Messreihen sind dem vorstehenden Kapitel zu entnehmen.
- Weitere Informationen, wie z.B. das Schüttungsverhalten von Quellen, die Abflussentwicklung in Oberflächengewässern, Kenntnisse über Beeinträchtigungen von Oberflächengewässern oder grundwasserabhängigen Landökosystemen (sofern diese nicht bereits Gegenstand eines Wasserrechtsverfahrens waren), Ergebnisse von Fachgutachten sowie Vor-Ort-Kenntnisse.



Die mengenmäßige Beurteilung erfolgt in 2 Schritten (vgl. Abb. 4.2.3.3.2.4-1):

- (1) Im ersten Schritt (Erstmalige Beschreibung) werden diejenigen GWK identifiziert, für die mit Sicherheit ein Risiko in Bezug auf die Erreichung der mengenmäßigen Qualitätsziele ausgeschlossen werden kann. Dies sind die GWK, in denen die genehmigte Entnahmemenge bis zu 10 % der Grundwasserneubildung beträgt. Für diese Grundwasserkörper sind zwar im weiteren die grundwasserabhängigen Landökosysteme und Oberflächengewässer aufzulisten, es ist aber diesbezüglich keine weitere Risikobetrachtung erforderlich, da auch für diese Schutzgüter eine Gefährdung aufgrund des geringen Entnahmeanteils auszuschließen ist.
- (2) Im zweiten Schritt (Weitergehende Beschreibung) werden für die GWK, in denen die genehmigte Entnahmemenge mehr als 10 % der Neubildung beträgt, vertiefte Betrachtungen durchgeführt. Hierbei ist zu unterscheiden, ob der GWK im Festgestein oder im Lockergestein liegt. Eine weiter differenzierte Auswertung für vergleichbare hydrogeologische Bereiche (Marschen, Niederungen etc.) wird nicht vorgenommen.
 - (a) In Lockergesteinsgebieten werden im Rahmen der Weitergehenden Beschreibung zum einen die tatsächlichen Entnahmen ermittelt und zum anderen die Ganglinien des Grundwasserstands an ausgewählten Messstellen analysiert. Von einer ausreichenden Messstellendichte wird in erster Näherung ausgegangen, wenn bei einem angenommenen Repräsentativitätsbereich von 50 km² je Messstelle der Grundwasserkörper zu mindestens 50 % von diesen Bereichen bedeckt ist.
 - Die Ganglinien, die der Wasserwirtschaftsverwaltung bereits vorliegen, werden um einzelne Datenreihen von den Wasserversorgungsunternehmen ergänzt. Alle vorhandenen Ganglinien werden unter Berücksichtigung der klimatischen Verhältnisse für den betrachteten Messzeitraum (in der Regel von 1971 - 2000, Wasserwirtschaftsjahre) ausgewertet. Ergibt sich für mindestens 2/3 der Messstellen eines GWK kein anhaltend stark fallender Trend nach dem modifizierten Verfahren von GRIMM-STRELE (siehe vorstehendes Kapitel), so sind keine weiteren Betrachtungen für den Gesamtkörper notwendig; der GWK in seiner Gesamtheit ist in gutem Zustand.
 - Ergibt sich für den betrachteten Messzeitraum ein Abwärtstrend für mindestens 1/3 der Messstellen, so ist zu beurteilen, ob sich in den letzten Jahren ein quasi-stationärer Zustand für die Messstellen aufgrund der lang anhaltend konstanten Entnahmen eingestellt hat. Liegt hier für mehr als 2/3 der Messstellen kein stark fallender Trend vor, so ist davon auszugehen, dass auch dieser GWK als in gutem Zustand anzusehen ist. Ist für mehr als 1/3 der Messstellen ein stark fallender Trend auch in den letzten Jahren zu verzeichnen, so sind zusätzliche Informationen zu den Messstellen (vgl. oben) einzu beziehen. Messstellen, deren Grundwasserstände durch Kulturbaumaßnahmen (z.B. Wasserhaltung in den Marschen und/oder Mooren) beeinflusst sind, wurden nicht in die abschließende Beurteilung des GWK einbezogen.
 - Ist die Messstellendichte für einen GWK nicht ausreichend, so erfolgt die Beurteilung auf der Grundlage der oben angeführten zusätzlichen Informationen und der Daten zu den Entnahmen.
 - (b) In Festgesteinsgebieten ist die Messstellendichte zur Erfassung der vielfach sehr komplexen Grundwasserströmungsverhältnisse i.d.R. nicht ausreichend. Daher erfolgt im Festgestein die Beurteilung des mengenmäßigen Zustands aufgrund der oben angeführten Informationen und Daten zu den tatsächlichen Entnahmen.

Sowohl im Lockergestein als auch im Festgestein sind grundsätzlich folgende Betrachtungen anzustellen:



- Liegen Vor-Ort-Kenntnisse über eine aktuelle Gefährdung von grundwasserabhängigen Landökosystemen nach WRRL vor, so ist der GWK als intensiver zu untersuchen einzustufen, sofern die Beeinträchtigung nicht bereits Gegenstand eines Wasserrechtsverfahrens ist.
- Analog ist bei bekannter Schädigung von Oberflächengewässern vorzugehen. Im Unterschied zu den Landökosystemen ist hier jedoch nicht nur die aktuelle und zukünftige Schädigung zu betrachten, sondern auch seit längerem anhaltende Beeinträchtigungen, die dazu führen werden, dass für das Oberflächengewässer das Ziel des guten Zustands gefährdet ist. Davon ausgenommen sind Beeinträchtigungen von Oberflächengewässern, die bereits in Wasserrechtsverfahren betrachtet worden sind.

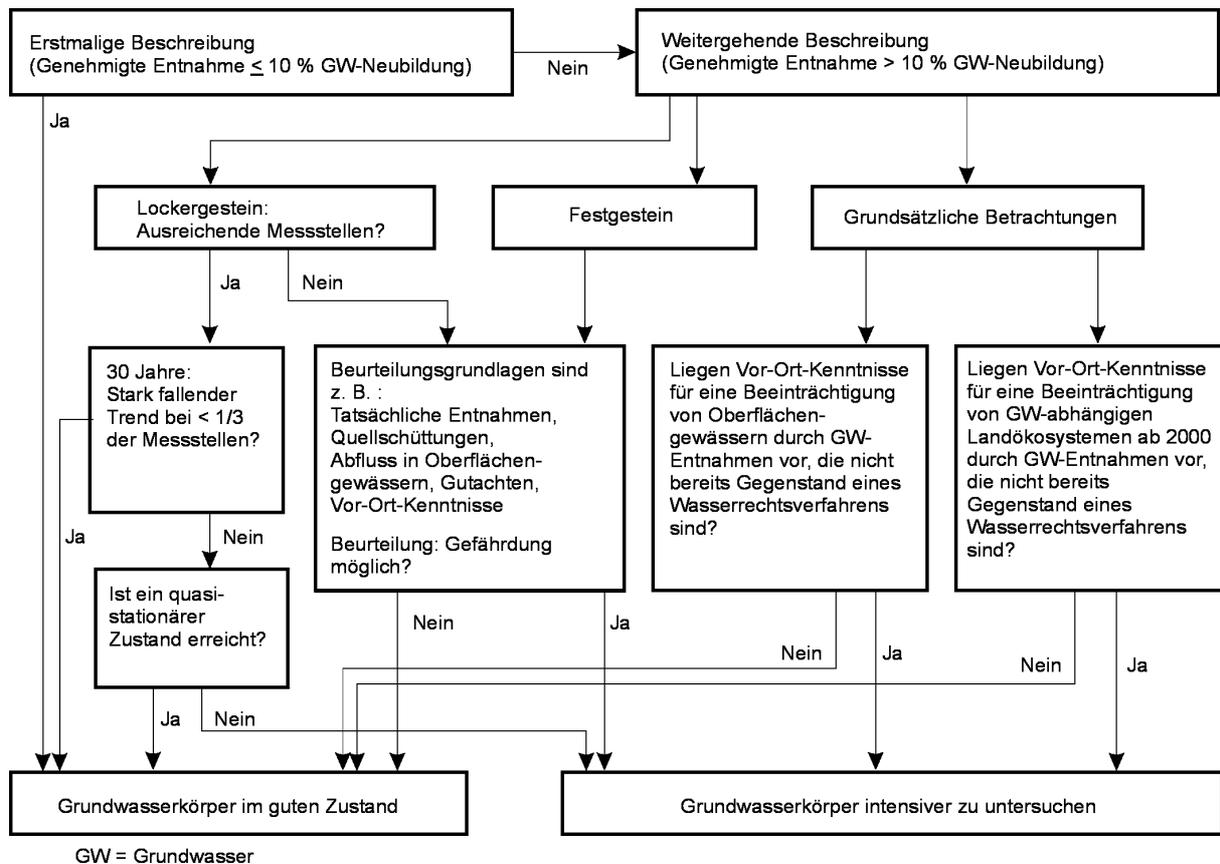


Abb. 4.2.3.3.2.4-1: Ablaufschema zur Beurteilung des mengenmäßigen Zustandes der Grundwasserkörper (GWK)

In den Berichten zu den Grundwasserbetrachtungsräumen werden die Ergebnisse für die einzelnen Grundwasserkörper aufgelistet und dokumentiert.



4.2.3.4 Sonstige anthropogene Belastungen

Niedersachsen/Bremen

Der Braunkohlentagebaubereich südöstlich von Helmstedt gehört zu einem Grundwasserkörper im Bearbeitungsgebiet Bode. Das Bearbeitungsgebiet Bode gehört zum Koordinierungsraum Saale und wird von Sachsen-Anhalt federführend bearbeitet.

Im Übrigen sind keine sonstigen anthropogenen Einwirkungen auf den Zustand des Grundwassers vorhanden.

Hamburg

Informationen zu sonstigen anthropogenen Belastungen liegen nicht vor.

Sachsen-Anhalt

Die LAWA-Arbeitshilfe empfiehlt, hier nur solche Belastungen zu erfassen, die nicht eindeutig unter „anderen Kapiteln“ einzuordnen sind. Dabei wird eine Einzelfallprüfung angeraten, ob diese Einwirkungen so großflächig sind, dass sie im betrachteten Maßstab relevant werden.

In Sachsen-Anhalt könnte dies nur auf die besondere Belastung des Wasserhaushaltes im mitteldeutschen Braunkohlenrevier zutreffen. Um die Lagerstätten abbauen zu können, mussten große Grundwassermengen – auch statische Vorräte – gefördert werden (z. B. Tagebau Mücheln insgesamt 940 Mio. m³ Wasser). Dadurch entstanden große Absenkungstrichter, die durch natürliche oder künstliche Flutung aufgefüllt werden. Dieser Prozess ist im Gange und bedarf keiner zusätzlichen Planung. Insgesamt werden in Sachsen-Anhalt Seen mit einer Fläche von ca. 97 km² und einem Wasservolumen von ca. 2.100 Mio. m³ entstehen. Die letzten Flutungsprozesse werden etwa 2032 beendet sein.

Die zum Teil unkontrollierte Verfüllung offener Restlöcher mit Müll, Industrierückständen und Abfällen wurde – soweit relevant für die Grundwasserbeschaffenheit – den Punktquellen zugeordnet.

Thüringen/Hessen

Informationen zu sonstigen anthropogenen Belastungen liegen nicht vor.

Nordrhein-Westfalen

Zur Beurteilung der sonstigen anthropogenen Einwirkungen auf den chemischen Zustand des Grundwassers werden Auswertergebnisse für die Indikatoren Ammonium, Chlorid, Sulfat, pH-Wert, Nickel, PSM und LHKW in HYGRIS C zur Verfügung gestellt.

Hinsichtlich einer potenziellen Gefährdung des Grundwassers werden die Grundwasserkörper als gefährdet angesehen, bei denen bei einem oder mehreren Parametern der räumlich gewichtete Mittelwert bestimmte Schwellenwerte über- bzw. beim pH-Wert unterschreitet. Die Auswertungen sollen anhand der lokalen Kenntnisse der Geschäftsstellen ergänzt und beurteilt werden. Die Belastungen müssen für einen Großteil eines Grundwasserkörpers relevant sein (33 %-Kriterium), d.h. es soll keine Einstufung anhand nur einer oder weniger Analysen erfolgen. Das Ergebnis der Prüfung wird in HYGRIS C durch einen erläuternden Text dokumentiert.



4.2.4 Schutzwirkung der Deckschichten

Niedersachsen/Bremen

In der Bohrdatenbank Niedersachsen sind die Informationen zu Bohrungen, d.h. den erbohrten Gesteinen, in Form von „Schichtenbeschreibungen“ gespeichert. Sie enthalten Angaben zur Art des Gesteins, seiner Entstehung und seinen Eigenschaften. Informationen zur Durchlässigkeit der Gesteine sind nicht direkt erfasst. Die Schichtenbeschreibungen der Bohrungen in der „Bohrdatenbank Niedersachsen“ wurden mit Hilfe eines automatisierten Retrievals auf ihre Durchlässigkeit untersucht. Dadurch wurde jede Schicht als gut, mittel oder gering durchlässig angesprochen. Übereinander liegende Schichten gleicher Durchlässigkeit wurden zu einer (hydraulischen) Einheit zusammengefasst, wobei sehr geringmächtige Schichten vernachlässigt wurden.

Diese Ergebnisse wurden für die Charakterisierung der Deckschichten so umgesetzt, dass nur jenen Bohrungen, die von der Oberfläche ab mindestens zehn Meter durchgehend geringdurchlässige Schichten aufweisen, eine hohe Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung zugeordnet wurde. Eine mittlere Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung wiesen Bohrungen mittlerer Durchlässigkeit und wechselnder Mächtigkeit auf. Allen anderen Bohrungen wurde keine Schutzfunktion zugeordnet.

Um von der punktuellen Aussage einer Bohrung zu einer flächenhaften Aussage zu kommen, wurde jeder Bohrung eine Wirkungsfläche von 1 km² zugeordnet. Anschließend wurde eine Berechnung von Voronoi-Polygonen durchgeführt.

Ein Voronoi-Polygon entsteht, wenn um Punkte (hier Bohransatzpunkte) Kreise mit einem fest definierten Radius gelegt werden. Dabei kann es vorkommen, dass sich Kreise nah benachbarter Punkte überschneiden. In diesem Fall wird der Überlappungsbereich durch die Gerade, die die beiden Schnittpunkte der Kreise (Mittelsenkrechte) verbindet, geteilt. Mathematisch definiert sind Voronoi-Polygone wie folgt: Jedem Probenahmepunkt wird der Teil der Gesamtfläche zugewiesen, der näher zum ihm als zu jedem anderen Probenahmepunkt liegt. Auf diese Weise entsteht eine Partitionierung der Gesamtfläche in Polygone, die man Voronoi-Polygone nennt. So wird die flächenhafte Darstellung einzelner Punkte von Nachbarpunkten nicht verdeckt oder verfälscht.

Auf der Basis dieser Voronoi-Polygone wurde die Berechnung der Flächenanteile je Grundwasserkörper durchgeführt werden. Die Flächenanteile „unbekannt“ wurden „ungünstig“ gleichgesetzt.

Hamburg

Eine Verfahrensbeschreibung liegt nicht vor.

Sachsen-Anhalt

Die WRRL fordert eine allgemeine Charakterisierung der Grundwasserüberdeckung im Einzugsgebiet, aus dem sich der Grundwasserkörper speist. Da die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung aber ein wesentliches Kriterium der später vorzunehmenden Bewertung der Gefährdung der Grundwasserkörper durch anthropogene Einflüsse darstellen kann, empfiehlt die LAWA-Arbeitshilfe die Bewertung der Schutzwirksamkeit der Deckschichten nach den Kategorien günstig, mittel, ungünstig.

Für die „Erstmalige Beschreibung“ der Grundwasserverhältnisse in Sachsen-Anhalt wurde nach einer verbalen Beschreibung der Deckschichten durch das Landesamt für Geologie und Bergwesen anhand der verfügbaren geologischen Grundkarten die folgende Bewertung vorgenommen:

Günstige Verhältnisse liegen vor, wenn die Deckschichten eine Mächtigkeit > 10 m oder eine überwiegend bindige Ausbildung haben.



Mittlere Verhältnisse ergeben sich aus stark wechselnden Mächtigkeiten der Deckschichten, aber überwiegend bindiger Zusammensetzung oder großen Mächtigkeiten mit allerdings größerer Durchlässigkeit.

Ungünstige Verhältnisse liegen bei geringen Mächtigkeiten der Deckschichten oder einer hohen Wasserdurchlässigkeit vor.

Thüringen

Verfahrensbeschreibungen liegen nicht vor.

Hessen

Grundlage der Beschreibung der Schutzwirkung der Deckschichten ist die bereits vorhandene Karte „Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers“. Hierbei wurden je nach Art und Ausbildung des Grundwasserleiters verschiedene Verschmutzungsempfindlichkeiten des Grundwassers unterschieden, die auf der Grundlage der Geologischen Übersichtskarte von Hessen 1:300.000 zusammengefasst wurden. Die Bewertung der Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers, bzw. der Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung wurde in Abhängigkeit von der Mächtigkeit und der Ausbildung der grundwasserüberdeckenden Schichten, ihrer Durchlässigkeit, der Durchlässigkeit des Grundwasserleiters, der Höhe der Grundwasserneubildung, der mikrobiellen Aktivität, klimatischer Faktoren, der Sorptionskapazitäten sowie einer Vielzahl anderer Parameter abgeschätzt. Diese Karte ist nur als erste grobe Vorinformation zur Übersicht zu verstehen.

Da die o.g. Karte die "Verschmutzungsempfindlichkeit" in 6 Stufen darstellt, wurde für die Einteilung der Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung durch Zusammenfassen wie folgt ermittelt (Tab. 4.2.4-1):

Tab. 4.2.4-1: Einteilung der Schutzwirkung der Grundwasserüberdeckung in Hessen

GW-Verschmutzungsempfindlichkeit	Schutzwirkung
1 gering	günstig
2 mittel bis gering	mittel
3 mittel	
4 mittel bis groß	ungünstig
5 groß	
6 groß bis sehr groß	

Nordrhein-Westfalen

In NW wird für die erste Bestandsaufnahme davon ausgegangen, dass auch Deckschichten mit hohen Schadstoffrückhalteeigenschaften keinen dauerhaften Schutz vor Gewässerverunreinigungen bieten. Auch über die Grundwasserneubildung ist keine Differenzierung möglich. Deshalb soll die spätere Bewertung einer möglichen Gefährdung nur danach erfolgen, ob ausreichend hohe Gefährdungspotenziale vorliegen oder bereits eine anhand von Grundwasseranalysen erkennbare Belastung besteht. Die Charakterisierung der Deckschichten wird somit in NW nicht zur Risikobeurteilung im Rahmen der Bestandsaufnahme herangezogen.

Es werden anhand der digital vorliegenden BK50 die generellen Bodenverhältnisse im Rahmen der Steckbriefe für die Grundwasserkörper beschrieben (Flächenbilanz). Die entsprechenden Daten stehen landesweit in der Grundwasserdatenbank HYGRIS C zur Verfügung. Eine stoffliche Bewertung der Grundwasserüberdeckung (Rückhalteeigenschaften, Pufferkapazität etc.) ist erst für die Bewertung der Verschmutzungsempfindlichkeit bzw. für die konkrete Maßnahmenplanung erforderlich und erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt.



4.2.5 Grundwasserabhängige Oberflächengewässer und Landökosysteme

Aus der Beschreibung der Grundwasserkörper muss gemäß Anhang II Abschn. 2.1 und 2.2 WRRL u.a. hervorgehen, in welchen Grundwasserkörpern an welchem Ort direkt vom Grundwasser abhängige Oberflächengewässer- oder Landökosysteme vorhanden sind (im Folgenden kurz: „GW-abhängige Ökosysteme“).

Die Erfassung der GW-abhängigen Ökosysteme in Niedersachsen und Bremen lehnt sich an die Methode des in der LAWA-Arbeitshilfe, Punkt 1.2.1.4 (Stand 30.04.2003) zur Anwendung empfohlenen LAWA-Projektes „Erfassung, Beschreibung und Bewertung grundwasserabhängiger Oberflächengewässer und Landökosysteme hinsichtlich von Grundwasser ausgehender Schädigungen“ an.

Die Auswertung umfasst hiernach die Arbeitsschritte:

- Ermittlung der Gebiete der landesweiten/selektiven Biotopkartierungen mit grundwasserabhängigen Ökosystemen
- Beschränkung der ermittelten Gebiete auf solche außerhalb von Hochmoorstandorten nach BÜK 50
- Verschneidung mit grundwasserabhängigen Böden nach BÜK 50
- Beschränkung der grundwasserabhängigen Ökosysteme auf solche in NATURA 2000-Gebieten und auf grundwasserabhängiges Grünland in Naturschutzgebieten außerhalb von NATURA 2000-Gebieten.

Im Folgenden werden die o.g. Arbeitsschritte zur Ermittlung der GW-abhängigen Ökosysteme in Niedersachsen und Bremen näher erläutert.

4.2.5.1 Ermittlung der Gebiete der landesweiten/selektiven Biotopkartierungen mit grundwasserabhängigen Ökosystemen

4.2.5.1.1 Festlegung der grundwasserabhängigen Kartiereinheiten

Die Zuordnung der Grundwasserabhängigkeit zu den Kartiereinheiten der Biotopkartierungen von Niedersachsen und Bremen erfolgt in Anlehnung an die „Liste der zu erfassenden grundwasserabhängigen Lebensräume und Biotoptypen Deutschlands“, welche im Rahmen des o.g. LAWA-Projektes erstellt wurde und mit dem Bundesamt für Naturschutz abgestimmt ist.

Für Niedersachsen wird, da keine flächendeckende Biotoptypenkartierung vorliegt¹, die landesweite Biotopkartierung des NLÖ (Erfassung der für den Naturschutz wertvollen Bereiche) ausgewertet. Ziel ist es, auf der Grundlage der vorliegenden Daten eine erste, landesweite Übersicht über die wesentlichen Flächen zu geben.

Die Kartieranleitung der landesweiten Biotopkartierung gliedert sich in Obergruppen, Erfassungseinheiten und Untertypen. Es wird auf der Ebene der Erfassungseinheiten - bzw. bei Erfassungseinheiten, die weiter untergliedert sind, auf der Ebene der Untertypen - unterschieden zwischen „in der Regel grundwasserabhängig“ und „je nach Ausprägung grundwasserabhängig“ (s. Anlage 1).

Die Oberflächengewässer nehmen eine Sonderstellung ein und sind gesondert in Anlage 1 gekennzeichnet (siehe Kap. 4.2.5.1.2).

¹ Nur sehr wenige untere Naturschutzbehörden in Niedersachsen verfügen derzeit über eine digitale, flächendeckende Biotoptypenkartierung im Rahmen ihrer Landschaftsrahmenplanung.



Nahezu ausschließlich auf Hochmoorstandorten anzutreffende Erfassungseinheiten/ Untertypen werden nicht zu den grundwasserabhängigen Lebensräumen gezählt (siehe auch Kap. 4.2.5.2)².

Für Bremen liegt als Auswertung für die Stadtgemeinde Bremen die Grundlagenkarte der „Eingriffs-/Ausgleichskonzeption“ (ILN 2000) zu Grunde. Hier wurde eine Luftbildbefliegung aus dem Jahr 1999 auf grober Biotoptypenebene ausgewertet. Außerdem wurde die Kartierung der besonders geschützten Biotope nach § 22 a Bremisches Naturschutzgesetz herangezogen.

4.2.5.1.2 Gebiete der landesweiten/selektiven Biotopkartierung mit grundwasserabhängigen Ökosystemen

Bezogen auf Niedersachsen wird ein Gebiet der landesweiten Biotopkartierung als „Gebiet mit grundwasserabhängigen Ökosystemen“ dargestellt, sofern unabhängig vom Flächenanteil mindestens eine der in diesem Gebiet vorkommenden Erfassungseinheiten oder Untertypen nach Anl. 1 grundwasserabhängig oder je nach Ausprägung grundwasserabhängig ist. Im Ergebnis weisen etwa 88 % der Gebiete der landesweiten niedersächsischen Biotopkartierung GW-abhängige Ökosysteme auf. Aus der gebotenen Beschränkung auf die landesweite Biotopkartierung resultieren notwendigerweise folgende Einschränkungen bei der Abgrenzung der GW-abhängigen Ökosysteme:

- Analog zur Methodik des LAWA-Projektes werden alle Oberflächengewässer als vom Grundwasser abhängig eingestuft, da eine Entscheidung, welche Oberflächengewässer vom Grundwasser abhängig sind und welche nicht, auf dieser Bearbeitungsebene nicht möglich ist.
- Ein Gebiet der Biotopkartierung umfasst in der Regel mehrere Erfassungseinheiten und Untertypen. Diese lassen sich innerhalb der einzelnen Gebiete nicht verorten. Es ist nur eine Quantifizierung nach %-Flächenanteilen auf der Ebene der Erfassungseinheiten möglich, jedoch nicht auf der Ebene der Untertypen.
- Im Ergebnis können Gebiete, die nur auf Teilflächen GW-abhängige/ je nach Ausprägung GW-abhängige Ökosysteme enthalten, nur in voller Größe dargestellt werden.
- Für ca. 10 % der Landesfläche liegen derzeit noch keine digitalen Daten der landesweiten Biotopkartierung vor. Dies betrifft v.a. den Nordwesten Niedersachsens. Für den Bereich des Nationalparks „Niedersächsisches Wattenmeer“ wird hier ergänzend auf die von der Nationalparkverwaltung durchgeführte flächendeckende Biotoptypenkartierung (nach Luftbilddauswertung) zurückgegriffen. Von der Nationalparkverwaltung wurden die GIS-Daten zu ausgewählten grundwasserabhängigen Ökosystemen zur Verfügung gestellt³.

Im Rahmen des Monitoringprogramms sind im Bereich Niedersachsens aufgrund dieser Einschränkungen genauere Untersuchungen und Auswertungen notwendig.

Für Bremen erfolgt die Ermittlung der GW-abhängigen Landökosysteme analog zu Niedersachsen, allerdings kann aufgrund der größeren Definition der Biotoptypen keine differenzierte Zuordnung zu den einzelnen Einheiten der niedersächsischen Biotopkartierung nach DRACHENFELS & MEY (1990) erfolgen.

Eine in der Grundlagenkarte der „Eingriffs-/Ausgleichskonzeption“ (ILN 2000) abgegrenzte Fläche beinhaltet im Gegensatz zur niedersächsischen landesweiten Biotopkartierung stets

² Diese Abweichung von der „Liste der zu erfassenden grundwasserabhängigen Lebensräume und Biotoptypen Deutschlands“ des LAWA-Projektes erfolgt gemäß Vorgabe der Fachgruppe Grundwasser vom 18.09.2003 (vgl. Anlage 1).

³ Dies betrifft die Haupteinheiten FG (Graben), SE (naturnahes nährstoffreiches Kleingewässer) und KN (nasses Düental/nasse Dünenrandzone) nach dem dieser Biotoptypenkartierung zu Grunde liegenden Kartierschlüssel VON DRACHENFELS (1994).



nur einen bestimmten Biotoptyp, der diese Fläche in voller Größe einnimmt. Die Verortung der GW-abhängigen Ökosysteme gestaltet sich hier insofern einfacher.

4.2.5.2 Beschränkung der ermittelten Gebiete auf solche außerhalb von Hochmoorstandorten nach der BÜK 50

Von den in Schritt 1 ermittelten Gebieten entfallen im Folgenden diejenigen, welche sich auf Hochmoorstandorten nach der Bodenkundlichen Übersichtskarte 1:50.000 (BÜK 50) befinden, da Hochmoore überwiegend durch Niederschläge gespeist werden.

4.2.5.3 Verschneidung mit grundwasserabhängigen Böden nach BÜK 50

Jene Gebiete der Biotopkartierungen beider Länder, die nur je nach Ausprägung GW-abhängige Ökosysteme aufweisen, werden zur weiteren Eingrenzung und Bestätigung ihrer Grundwasserabhängigkeit mit den vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung auf der Grundlage der BÜK 50 ermittelten grundwasserabhängigen Böden verschnitten. Hierzu zählen semiterrestrische Böden, Niedermoore und grundwasserbeeinflusste Umbruchsböden. Semiterrestrische Böden werden durch den Einfluss des Grundwassers geprägt. Zu diesen Böden zählen Auenböden, Gleye und Marschen in jeweils unterschiedlicher Typenbildung und Ausprägung.

Von diesen Gebieten, die nur je nach Ausprägung GW-abhängige Ökosysteme aufweisen, werden nur die Gebiete/Gebietsteile, welche von einem der o.a. Böden eingenommen werden, im Weiteren als grundwasserabhängige Ökosysteme geführt.

4.2.5.4 Beschränkung auf GW-abhängige Ökosysteme in NATURA 2000-Gebieten und grundwasserabhängiges Grünland in Naturschutzgebieten außerhalb von NATURA 2000-Gebieten

Die nach den vorangehenden Schritten ermittelten GW-abhängigen Ökosysteme Niedersachsens und Bremens werden auf solche in FFH-Vorschlagsgebieten und Europäischen Vogelschutzgebieten sowie auf GW-abhängiges Grünland in Naturschutzgebieten (NSG) außerhalb von NATURA 2000-Gebieten beschränkt⁴.

Die in Niedersachsen zu grundwasserabhängigem Grünland zählenden Erfassungseinheiten/ Untertypen der landesweiten Biotopkartierung sind in Anlage 1 mit „x“ gekennzeichnet.

Zu einigen niedersächsischen FFH-Vorschlagsgebieten, Europäischen Vogelschutzgebieten und NSG außerhalb von NATURA 2000 liegen noch keine GIS-Daten zu GW-abhängigen Ökosystemen nach der landesweiten Biotopkartierung oder der Biotopkartierung für den Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer vor (siehe Punkt 4.2.5.1.2). Für die Beurteilung, ob diese Gebiete GW-abhängige Ökosysteme aufweisen, werden ergänzend v.a. NATURA 2000-Gebietsbeschreibungen, Landschaftsrahmenpläne sowie Angaben der Bezirksregierung Weser-Ems (Obere Naturschutzbehörde) herangezogen. Sofern GW-abhängige Ökosysteme nach diesen Angaben zu erwarten sind, werden die Gebiete als „Gebiete mit Hinweisen auf grundwasserabhängige Ökosysteme (ohne Verortung)“ aufgenommen.

Da in Bremen mit einer marginalen Ausnahme alle Grünland-Naturschutzgebiete innerhalb von Europäischen Vogelschutz- und/oder vorgeschlagenen FFH-Gebieten liegen, wird auf eine getrennte Darstellung der NSG außerhalb von NATURA 2000-Gebieten verzichtet.

In der Stadtgemeinde Bremerhaven gibt es derzeit weder NATURA 2000-Gebiete noch Naturschutzgebiete mit GW-abhängigem Grünland.

⁴ Gemäß Beschluss der Fachgruppe Grundwasser vom 18.09.2003.



4.2.6 Ergebnisse der Bestandsaufnahme

Als Ergebnis der Bestandsaufnahme wurden diejenigen Grundwasserkörper identifiziert, die im Rahmen des ab 2006 durchzuführenden Monitoring-Programms intensiver zu untersuchen sind. Für diese Grundwasserkörper konnte jeweils für den mengenmäßigen Zustand oder für den qualitativen Zustand – aufgrund von Belastungen aus diffusen oder aus Punktquellen – nicht der gute Zustand attestiert werden. Ziel des Monitorings wird es sein, aus dieser Gruppe diejenigen Grundwasserkörper zu ermitteln, die im Jahr 2015 ohne Umsetzung einer Maßnahmenplanung den guten Zustand nicht erreichen werden, und für diese Maßnahmenplanung die notwendigen Hintergrundinformationen bereitzustellen.

Die Ergebnisse der Bestandsaufnahme werden in den Berichten zu den Grundwasserbetrachtungsräumen im Einzelnen dargestellt.

4.2.7 Prüfung der Auswirkungen von Veränderungen des Grundwasserspiegels

Die Prüfung der Auswirkungen von Veränderungen des Grundwasserspiegels ist, soweit zum gegenwärtigen Zeitpunkt möglich, bereits in Kapitel 4.2.3.3 „Beschreibung der Belastung durch Entnahmen und künstliche Anreicherungen“ dargestellt. Eine Ermittlung derjenigen Grundwasserkörper, für die nach Artikel 4 weniger strenge Ziele festzulegen sind, kann erst nach der Auswertung der Ergebnisse des Monitorings erfolgen.

4.2.8 Überprüfung der Auswirkungen der Verschmutzung auf die Qualität des Grundwassers

Die Überprüfung der Auswirkungen der Verschmutzung auf die Qualität des Grundwassers ist, soweit zum gegenwärtigen Zeitpunkt möglich, bereits in den Kapiteln 4.2.3.1 und 4.2.3.2 verfahrensmäßig beschrieben. Eine Ermittlung derjenigen Grundwasserkörper, für die nach Artikel 4 weniger strenge Ziele festzulegen sind, kann erst nach der Auswertung der Ergebnisse des Monitorings erfolgen.



Literatur

- AG BODENKUNDE (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage. – Hannover.
- ATV-DVWK INFORMATION (DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E.V.) (2003): Diffuse Stoffeinträge in Gewässer. Hennef, 1. Auflage 2003.
- BACH, M., FREDE, H.-G., SCHWEIKHARDT, U. et al. (1999): Regional differenzierte Bilanzierung der Stickstoff- und Phosphorüberschüsse der Landwirtschaft in den Gemeinden/Kreisen in Deutschland. Teilbeitrag zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 2962515 des Umweltbundesamtes Berlin. In: BEHRENDT, H., HUBER, M. & KORNMILCH, M. et al. (1999): Nährstoffbilanzierung der Flussgebiete Deutschlands. Umweltbundesamt, Forschungsvorhaben Wasser, Forschungsbericht 2962515, UBA-Texte 75/99, Berlin.
- BACH, M. & FREDE, H.-G. (2002): Methodik zur Berechnung von Stickstoff- und Phosphorbilanzen für die Landwirtschaft in Deutschland.
- BODENKUNDLICHE ÜBERSICHTSKARTE VON NIEDERSACHSEN 1:50.000 (BÜK50)
- DELSCHEN, T. & NECKER, U. (1995): Humusanreicherung in rekultivierten Böden. Agrarbiol. Res. 48 (2), S 101 – 114.
- DEUTSCHE VEREINIGUNG DES GAS- UND WASSERFACHES E.V. (2002): Technische Regel DVGW-Arbeitsblatt W 104, Beste verfügbare Umweltpraxis in der Landwirtschaft, Entwurf Dezember 2002
- DIN 19732 (1997): Bodenbeschaffenheit – Bestimmung des standörtlichen Verlagerungspotenzials von nichtsorbierenden Stoffen. – 8 S.; Berlin.
- DÖRHÖFER, G. & JOSOPAIT, V. (1980): Eine Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate. Geol. Jb., C27, Hannover.
- DÖRHÖFER, G., KUNKEL, R., TETZLAFF, B., WENDLAND, F. (2001): Der natürliche Grundwasserhaushalt in Niedersachsen, Arbeitshefte Wasser, Heft 2001/1, S. 109-167, Hannover.
- DRACHENFELS, O. v. & MEY, H. (1990): Kartieranleitung zur Erfassung der für den Naturschutz wertvollen Bereiche in Niedersachsen, 3. Fassung Stand 1991 mit Änderungen Februar 2003. - Naturschutz Landschaftspf. Niedersachs. A/3, Hannover.
- DRACHENFELS, O. v. (Bearb.) (1994): Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen unter besonderer Berücksichtigung der nach § 28 a und § 28 b NNatG geschützten Biotope, Stand September 1994. - Naturschutz Landschaftspf. Niedersachs. A/4, Hannover.
- ECKELMANN, W. & RENGER, M. (1981): Erfassung und Darstellung der Trockengefährdung landwirtschaftlich genutzter Standorte am Beispiel der Bodenkundlichen Standortkarte i.M. 1:200 000.- Z. Kulturtechn., Flurbereinigung, 22:S. 222 – 231; Berlin, Hamburg.



- FREDE, H.G. & DABBERT, S. (Hrsg.) (1998): Handbuch zum Gewässerschutz in der Landwirtschaft.- ecomed Verlagsgesellschaft, Landberg.
- GÄTH, S., ANTONY, F., BECKER, K.W, GERIES, H., HÖPER, H., KERSEBAUM, C., NIEDER, R. (1997): Bewertung des standörtlichen Denitrifikations- und Mineralisations- / Immobilisations-Potentials von Böden. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges. 85: 1373-1376.
- HAUDE, W. (1955): Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. – Mitt. dt. Wetterdienst Nr. 11, Bd.2, Bad Kissingen.
- HYDROGEOLOGISCHE ÜBERSICHTSKARTE 1:200.000 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (HÜK200): Herausgegeben von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland.
- HYDROGEOLOGISCHE ÜBERSICHTSKARTE VON NIEDERSACHSEN UND BREMEN 1:500.000 (HÜK500) - Versalzung des Grundwassers.
- KUNKEL, R. & WENDLAND, F. (2002): The GROWA 98 model for water balance analysis in large river basins - the river Elbe case study. Journal of Hydrology, im Druck.
- LABO/LAWA-AD-HOC-AG: „Erfassung von punktuellen Schadstoffquellen nach EG-WRRL“ (Stand: 16.12.02).
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER HANNOVER (2000): Nährstoffvergleich auf Feld-Stall-Basis. § 5 Düngeverordnung. (Richtwerte_Feldstall.pdf, <http://www.lwk-hannover.de/index.cfm?startid=559&doc=3966&cfid=346008&cftoken=45154181>).
- LAWA LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (2003): Bericht zur Grundwasserbeschaffenheit – Pflanzenschutzmittel - 21.03.2003.
- LAWA LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER - Arbeitshilfe zur Umsetzung der EG-Wasser-rahmenrichtlinie (LAWA-Arbeitshilfe), Bearbeitungsstand 30.04.2003.
- MÜLLER, U. & RAISSI, F. (2002): Arbeitshilfe für bodenkundliche Stellungnahmen und Gutachten im Rahmen der Grundwassernutzung. Arbeitsheft Boden, Heft 2002/2, Hannover.
- MUSTER-VERWALTUNGSVORSCHRIFT (1996): Muster-Verwaltungsvorschrift für den Vollzug der Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) vom 26.01.1996 (BGBl. 118).
- NIEDER, R., KERSEBAUM, K.C. & J. RICHTER (1995): Significance of nitrate leaching and long term N immobilization after deepening the plough layers for the N-regime of arable soils in N. W. Germany. Plant and Soil 173, S. 167 – 175.
- NIEDER, R. & RICHTER, J. (1986): C- und N- Freisetzung in Böden Südostniedersachsens nach Krumenvertiefung. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 149, S. 189 – 201.



- NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK (Hrsg.) (2003): Agrarberichterstattung von 1999: Tabelle: Nutzung der Bodenflächen in den Gemeinden Niedersachsens (landw. Betriebe) – Landwirtschaftszählung 1999.
(<http://www1.nls.niedersachsen.de/statistik/>)
- NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR STATISTIK (Hrsg.) (2003): Agrarberichterstattung von 1999: Tabelle: Ertragsstatistik von 1999 (Erntemengen nach Fruchtarten) aus: Kreisfreie Städte und Landkreise in Zahlen 1999.
(<http://www1.nls.niedersachsen.de/statistik/>)
- NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (2003): NLÖ-Projekt „WRRL Gewässerbelastungen“ CD „Punktueller Schadstoffquellen – Grundwasser“, März 2003.
- RENGER, M. & WESSOLEK, G. (1996): Berechnung der Verdunstungsjahresnummern einzelner Jahre. DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 238, 47ff; Bonn.
- SIEMENS, J., HAAS, M. & KAUPENJOHANN, M. (2003): Dissolved organic matter induced denitrification in subsoils and aquifers? Geoderma 113, 253-271.
- UMWELTBUNDESAMT (2003): Erfassung und Bewertung von Grundwasserkontaminationen durch punktuelle Schadstoffquellen – Konkretisierung von Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie. Forschungsbericht 202 23 219.
- WELL, R., AUGUSTIN, J., DAVIS, J., GRIFFITH, S., MEHRANFAR, O. & MEYER, K. (1999): Bewertung des denitrifikativen Nitratabbaus in der gesättigten Zone hydromorpher Böden auf der Basis von in situ Messungen des Denitrifikationspotenzials. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges. 91, 1363-1366.
- WELL, R., AUGUSTIN, J., MEYER, K., & MYROLD, D.D. (2003): Comparison of field and laboratory measurement of denitrification and N₂O production in the saturated zone of hydromorphic soils. Soil Biology and Biochemistry 35, 783-799.
- WELL, R., HÖPER, H. & MEHRANFAR, O. (2001): Empirische Modelle zur Prognose der Denitrifikation im oberflächennahen Grundwasser. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges. 96, 667-668.