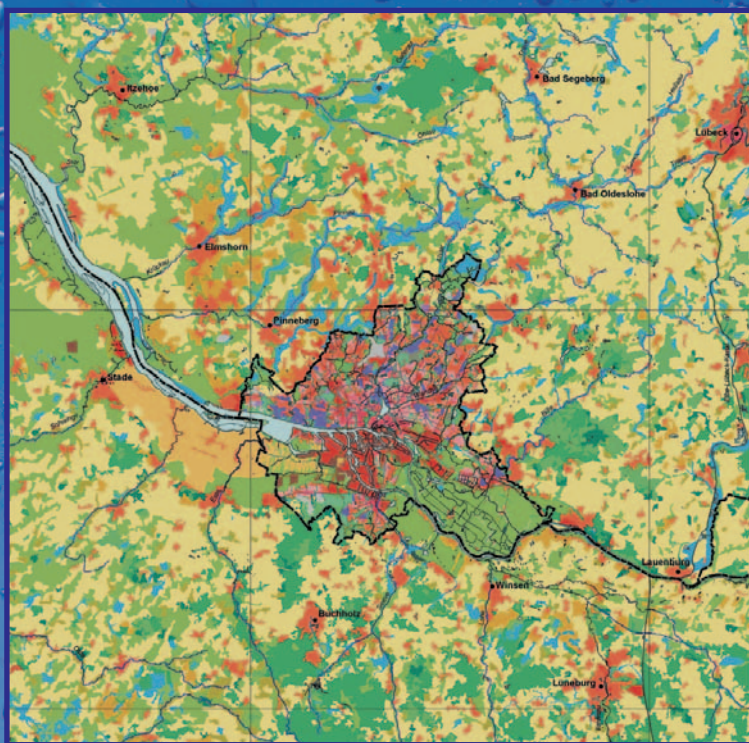




Grundlagen für eine nachhaltige Bewirtschaftung von Grundwasserressourcen in der Metropolregion Hamburg

B. Tetzlaff, R. Kunkel, R. Taugs und F. Wendland



Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Umwelt/Environment

Band/Volume 46

Forschungszentrum Jülich GmbH
Programmgruppe Systemforschung und
Technologische Entwicklung (STE)

in Kooperation mit dem

Geologischen Landesamt Hamburg,
Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt
der Freien und Hansestadt Hamburg

Grundlagen für eine nachhaltige Bewirtschaftung von Grundwasser- ressourcen in der Metropolregion Hamburg

Björn Tetzlaff, Ralf Kunkel, Renate Taugš und Frank Wendland

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Umwelt/Environment

Band/Volume 46

ISSN 1433-5530

ISBN 3-89336-352-1

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte Bibliografische Daten sind im Internet
über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

Herausgeber Forschungszentrum Jülich GmbH
und Vertrieb: Zentralbibliothek
 D-52425 Jülich
 Telefon: 02461 61-5368 · Telefax: 02461 61-6103
 e-mail: zb-publikation@fz-juelich.de
 Internet: <http://www.fz-juelich.de/zb>

Umschlaggestaltung: Grafische Betriebe, Forschungszentrum Jülich GmbH

Druck: Grafische Betriebe, Forschungszentrum Jülich GmbH

Copyright: Forschungszentrum Jülich 2004

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Umwelt/Environment Band/Volume 46

ISSN 1433-5530
ISBN 3-89336-352-1

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie oder
in einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder
unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Inhaltsverzeichnis

1 Veranlassung und Ziel.....	3
2 Berechnung des langjährigen mittleren Wasserhaushalts mit dem Modell GROWA.....	9
2.1 Die Berechnung der Gesamtabflusshöhe.....	11
2.2 Die Berechnung der Züsickerung zum Grundwasser (Grundwasserneubildung).....	16
3 Beschreibung der Datengrundlagen und ihrer Aufbereitung.....	23
3.1 Klima	28
3.2 Landnutzung.....	34
3.3 Relief und Reliefparameter.....	46
3.4 Bodenhydrologische Parameter.....	52
3.5 Hydrogeologische Gesteinseinheiten.....	62
4 Ergebnisse.....	65
4.1 Mittlere reale Verdunstung (1961-90).....	67
4.2 Mittlerer Gesamtabfluss (1961-90).....	67
4.3 Mittlere Züsickerung zum Grundwasser (1961-90).....	68
5 Zusammenfassung und Diskussion.....	73
6 Literatur.....	81

1

Veranlassung und Ziel

In der Metropolregion Hamburg (ca. 18.000 km²) leben etwa 4 Mio. Menschen, davon alleine 1,7 Mio. in der Freien und Hansestadt Hamburg. Zur Trinkwasserversorgung förderten die Hamburger Wasserwerke GmbH (HWW) als größter Wasserversorger der Metropolregion 2002 125,8 Mio. m³ Grundwasser, wovon nach Aufbereitung 93 % in Hamburg verbraucht wurden (HWW 2003a). Prognosen der HWW zeigen gegenüber der Förderung 1993 einen sinkenden Grundwasserbedarf für das Jahr 2010 in den niedersächsischen und schleswig-holsteinischen Teilen der Metropolregion, sprechen jedoch von einem leicht steigenden Bedarf für Hamburg (HWW 2003b). Da der Bedarf in Hamburg höher ist als das dortige Grundwasserdargebot, musste die Grundwasserförderung bereits vor Jahrzehnten auf das Hamburger Umland ausgeweitet werden. Von den 18 Wasserwerken liegen 13 in Hamburg, 4 in Schleswig-Holstein und eines in Niedersachsen (Taughs u. Moosmann 1999). Diese wasserwirtschaftlichen Verflechtungen, die nach derzeitigem Kenntnisstand auch langfristig Bestand haben werden, sind ein Grund für die notwendige grenzüberschreitende Betrachtung der hydrogeologischen Situation im Ballungsraum Hamburg (Dorn et al. 2001). Zu diesem Zweck haben sich die zuständigen Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) Anfang 2001 auf das Kooperationsvorhaben „Hydrogeologische Karte der Metropolregion Hamburg - ein gemeinsames Projekt der Staatlichen Geologischen Dienste Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein“ verständigt. Ziel des Projektes ist die grenzüberschreitende Anpassung der hydrogeologischen Fachdaten an einen gemeinsamen Standard sowie deren Bereitstellung und Nutzung in einem GIS-basierten Fachinformationssystem. Dieses Fachinformationssystem wird dann bei der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie Verwendung finden.

Die Wasserrahmenrichtlinie fordert u.a. eine Beurteilung des mengenmäßigen Zustandes des Grundwassers, um einer Übernutzung der Ressourcen sowie daraus resultierenden Schäden, wie z.B. Zustrom von Salzwasser, vorzubeugen. Ein sog. guter Zustand für das Grundwasser ist in quantitativer Hinsicht dann gegeben, wenn die Entnahmen nicht die Neubildung überschreiten. Daher ist für die Einschätzung der hydrogeologischen Situation eine Karte der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung erforderlich, die im zu erstellenden modularen Informationssystem der SGD enthalten sein wird (Dorn et al. 2001).

Grundsätzlich wird die Metropolregion Hamburg durch das Gebiet der Freien und Hansestadt Hamburg sowie einer Reihe niedersächsischer und schleswig-holsteinischer Landkreise definiert. Abweichend hiervon haben sich die an der Metropolregion beteiligten SGD jedoch für den sog. Übersichtsbereich auf eine Abgrenzung auf Basis der vier TK100-Blätter 2322 Elmshorn, 2326 Bad Oldesloe, 2722 Hamburg-Harburg und 2726 Hamburg-Wandsbek verständigt, siehe Abbildung 1. Dadurch entsteht ein ca. 90*90 km² großer Untersuchungsraum, an dem neben den genannten Bundesländern zusätzlich Mecklenburg-Vorpommern beteiligt ist. Die flächenmäßigen Anteile der vier Bundesländer variieren stark und betragen für Hamburg ca. 10 %, für Niedersachsen ca. 40 %, für Schleswig-Holstein ca. 50 % und für Mecklenburg-Vorpommern <1% der gesamten Metropolregion.

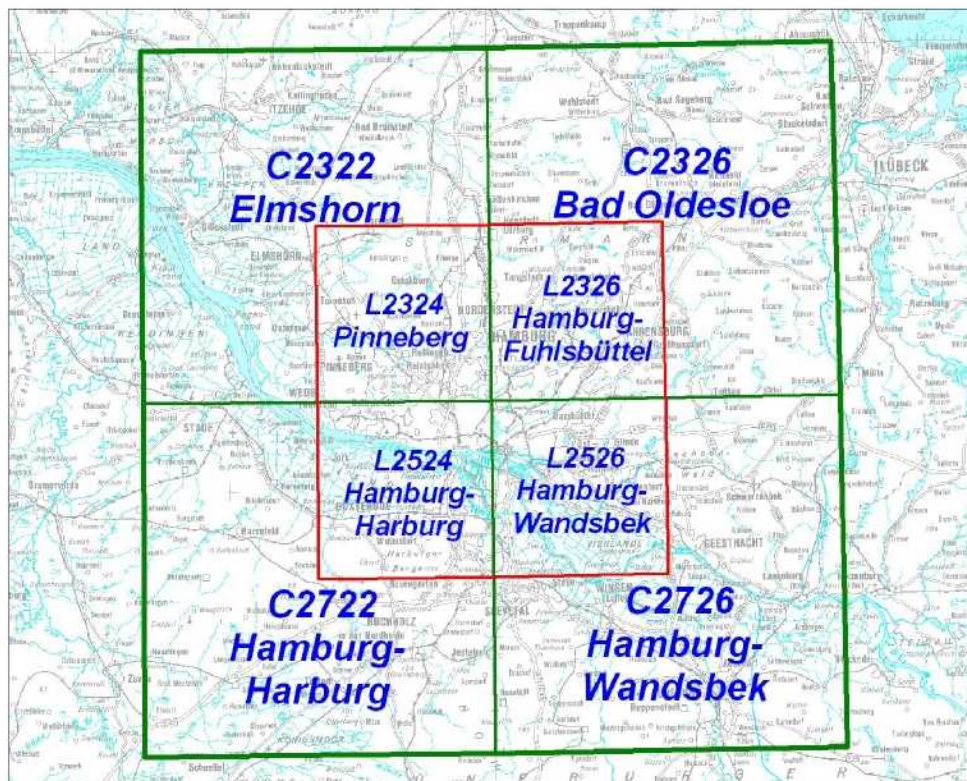


Abb 1: Abgrenzung des Modellgebiets für das Projekt „Hydrogeologische Karte der Metropolregion Hamburg“

Für das in Abbildung 1 gezeigte Modellgebiet wurden bereits verschiedene Wasserhaushaltsuntersuchungen durchgeführt und die Ergebnisse publiziert. So wurden Karten zur mittleren Grundwasserneubildung in der Freien und Hansestadt Hamburg für den Zeitraum 1961-1985 im Umweltatlas Hamburg (UB Hamburg 1997) sowie von den Hamburger Wasserwerken für 1961-90 veröffentlicht (Grossmann 1997a). Das Büro Prof. Stolpe hat für Teile Hamburgs ebenfalls Grundwasserneubildungshöhen berechnet (Büro Prof. Stolpe 1995). Die jeweils verwendeten Verfahren weichen voneinander ab.

Für den niedersächsischen Teil der Metropolregion sind nach der Methode von Dörhöfer und Josopait (1980) berechnete Karten der Grundwasserneubildung in den wasserwirtschaftlichen Rahmenplänen (MU, o.J.) und in der Geowissenschaftlichen Karte des Naturraumpotentials von Niedersachsen und Bremen (NLfB 1991) vorhanden. Neuberechnungen für die hydrologische Periode 1961-1990 wurden von Dörhöfer et al. (2001) vorgelegt.

Für Teile von Holstein haben Meyer und Tesmer (2000), Otto (1997, 2001) sowie Einsele und Schulz (1973) Wasserhaushaltsberechnungen vorgenommen. Preuß (1978) hat das Einzugsgebiet der Bille bearbeitet. Der überwiegende Teil der Metropolregion zählt zum Einzugsgebiet der Elbe, für dessen deutschen Teil Kunkel und Wendland (1998) u.a. die langjährige mittlere Grundwasserneubildungshöhe im Rahmen eines in den BMBF-Förderschwerpunkt 'Ökologische Forschung in der Stromlandschaft Elbe' eingebundenen Projektes berechnet haben.

Insgesamt lässt sich jedoch festhalten, dass keine der vorhandenen Arbeiten Ergebnisse zur langjährigen mittleren Grundwasserneubildung der Periode 1961-1990 für die gesamte Metropolregion Hamburg beinhaltet. Die vorhandenen Einzelarbeiten lassen sich wegen ihrer Unterschiede in Bezug auf Methodik, benutzte Datengrundlagen und betrachtete Zeiträume auch nicht zu einem einheitlichen Gesamtbild zusammenfassen. Es bleibt daher unumgänglich, eine den Anforderungen des Projektes gerecht werdende flächendeckende und flächendifferenzierende Neuberechnung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildung vorzunehmen, die sich auf digitale Datengrundlagen mit hoher räumlicher Auflösung stützt.

Vergleichbare Berechnungen wurden 2001 für Niedersachsen abgeschlossen und veröffentlicht (Dörhöfer et al. 2001) und Ende 2001 für Hamburg vorgelegt (Tetzlaff et al. 2001). Bei beiden Projekten wurde einheitlich das

Wasserhaushaltsmodell GROWA benutzt (Kunkel u. Wendland 1998, 2002), so dass eine schrittweise Erweiterung des Modellgebietes auf die gesamte Metropolregion Hamburg unter Verwendung dieses Modells vorgenommen werden konnte. Das Forschungszentrum Jülich (Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung) wurde daher von der Behörde für Umwelt und Gesundheit der Freien und Hansestadt Hamburg (Geologisches Landesamt) beauftragt, eine GIS-gestützte und flächendifferenzierte Ermittlung der mittleren Züsickerungsrate zum Grundwasser (Grundwasserneubildung) unter Verwendung hoch aufgelöster digitaler Datengrundlagen für die Metropolregion Hamburg vorzunehmen. Dabei sollte das Modell GROWA eingesetzt und der Einfluss der Versiegelung auf den natürlichen Wasserhaushalt dezidiert berücksichtigt werden.

Der vorliegende Abschlussbericht zeigt die Ergebnisse dieses Projektes und wird auf Methodik, die vorgenommene Modellerweiterung sowie die umfangreichen Datenaufbereitungen eingehen.

2

Berechnung des langjährigen mittleren Wasserhaushalts mit dem Modell GROWA

2.1 Die Berechnung der Gesamtabflusshöhe

Das Modell GROWA baut auf dem empirischen Verfahren von Renger und Wessolek (1990) zur Berechnung der realen Verdunstung auf, das ursprünglich zur Berechnung der Grundwasserneubildung bzw. zur Feststellung des Beregnungsbedarfs entwickelt worden war (Renger u. Strebel 1980, 1983). Da auf ebenen, grundwasserfernen Standorten im unbedeckten Lockergestein die Grundwasserneubildung dem Gesamtabfluss entspricht, können mit dem gleichen Verfahren beide Wasserhaushaltsgrößen für die genannten Standorte bestimmt werden.

Renger und Wessolek setzten digitale Simulationsmodelle auf der Grundlage tiefenbezogener Messungen des Wassergehaltes und der Wasserspannung ein und stellten starke Abhängigkeiten der realen Evapotranspiration vom Flurabstand, der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums und dem Niederschlag fest (Renger 1992). Dementsprechend werden die Jahressummen der realen Evapotranspiration für das meteorologische Jahr nach folgender Formel berechnet (DVWK 1996):

$$ET_{real} = a \cdot N_{So} + b \cdot N_{Wi} + c \cdot \log Wpfl + d \cdot ET_{pot} + e \quad [\text{mm/a}] \quad \text{GL. 1}$$

Dabei sind:

- ET_{real} = Jahressumme der realen Evapotranspiration [mm]
- N_{So} = Summe des Sommerniederschlags [mm]
- N_{Wi} = Summe des Winterniederschlags [mm]
- $Wpfl$ = pflanzenverfügbare Bodenwassermenge [mm]
- ET_{pot} = Jahressumme der potenziellen Evapotranspiration nach Haude (Gras) [mm]
- a, b, c, d, e = landnutzungsspezifische Regressionskoeffizienten

Tab. 1: Konstanten für die Verdunstungsberechnung nach Renger und Wessolek

Landnutzung	a	b	c	d	e
Ackerland	0,08	0,39	153	0,12	-109
Grünland	0,10	0,48	286	0,10	-330
Nadelwald	0,29	0,33	166	0,19	-127
Laubwald	0,047	0,047	0	0,02	430,1

Quelle: DVWK (1996)

Für die Bodenbedeckung Laubwald wird anstelle der mittleren jährlichen Halbjahresniederschlagshöhe die mittlere Jahresniederschlagshöhe als Eingabegröße verwendet (Renger et al. 1990, pers. Mitt. Prof. Wessolek). Auf der Grundlage von Lysimeterversuchen in den Räumen Hannover und Berlin haben Renger und Wessolek ihre Gleichung für norddeutsche Bedingungen kalibriert. Bei der Verwendung der Formel gilt die Annahme, dass der Bodenwasservorrat im Frühjahr auf Feldkapazität aufgefüllt ist.

Dem empirischen Renger-Wessolek-Verfahren liegt ein physikalischer Ansatz von Rijtema (1968) zur Berechnung der realen Verdunstung in Tagesritten zugrunde. Sie ergibt sich aus der potenziellen Evapotranspiration unter Berücksichtigung der Interzeptionsverdunstung und mehrerer Diffusionswiderstände, die die Gestalt einer sich stetig verändernden Vegetationsdecke, das Öffnen und Schließen der Stomata sowie den Transportwiderstand des Wassers in Boden und Pflanze widerspiegeln (Wessolek 1989).

Der Gültigkeitsbereich der o.g. Formel ist auf ebene, grundwasserferne und unversiegelte Standorte beschränkt. Hennings nennt als Maximum für die Hangneigung 3,5 % (1994, S. 58). Nutzungsabhängig gelten darüber hinaus klimatische Einschränkungen: Bei landwirtschaftlicher Nutzung soll der Jahresniederschlag 800 mm und bei forstwirtschaftlicher Nutzung 1300 mm nicht überschreiten (a.a.O.).

Das Verfahren erfasst eine Vielzahl von Standortfaktoren und ist daher in der Lage, auch Auswirkungen kleinräumiger Unterschiede der Bodenart, der bodenphysikalischen Parameter oder der Landnutzung abzubilden. Deshalb bildet das Renger-Wessolek-Verfahren eine fundierte Basis für Untersuchungen unter Verwendung hoch aufgelöster Daten. Wie Grossmann (1997b) gezeigt hat, ist eine detaillierte Berücksichtigung verschiedener Kulturpflanzen für die Ermittlung langjähriger mittlerer Wasserhaushaltsgrößen von erheblich geringerer Bedeutung als die Unterscheidung der Vegetationsform zwischen Laub- und Nadelwald. Dies wird vom vorliegenden Verfahren im Gegensatz zu anderen geleistet.

Die Genauigkeit des Verfahrens ist an einer Vielzahl von Standorten getestet und bestätigt worden, wobei diese Untersuchungen die Übertragbarkeit auch auf Standorte mit kontinentaler geprägtem Klima ergeben haben (Müller et al. 1996). Das Verfahren nach Renger und Wessolek beruht auf stan-

standardisierten Pedotransferfunktionen, die Eingang in die Bodenkundliche Kartieranleitung (AG Boden 1994) und die Merkblätter zur Wasserwirtschaft (DVWK 1996) gefunden haben und somit als gängige Praxis gelten können.

Die von Kunkel und Wendland (1998) vorgenommenen Erweiterungen des Verfahrens von Renger und Wessolek, die zum Modell GROWA geführt haben, betreffen Ansätze zur Berücksichtigung von Grundwassereinfluss, Relief und Versiegelung. Dadurch wird die Voraussetzung geschaffen, die Gleichung flächendeckend einzusetzen.

Grundwassereinfluss kann an Standorten mit geringem Flurabstand auftreten, wobei sich die reale Verdunstung wegen des ständigen kapillaren Aufstiegs erhöht. Für solche Standorte wird die reale Verdunstung daher der potenziellen gleichgesetzt.

In Mittelgebirgsregionen beeinflussen zusätzlich Hangneigung und Exposition die reale Verdunstung. Bei der Berechnung muss dies durch einen Korrekturfaktor f_H berücksichtigt werden, der nach Golf (1981) wie folgt berechnet wird:

$$f_H = (a, b) [1,605 \cdot 10^{-2} \cdot \sin(b-90) - 2,5 \cdot 10^{-4}] \cdot a + 1 \quad [-] \quad \text{Gl. 2}$$

a = mittlere Hangneigung [°]

b = Hangexposition gegenüber Nord [°]

Der Korrekturfaktor f_H wird mit der nach Renger und Wessolek berechneten Verdunstung multipliziert. Wie Abbildung 2 zeigt, kann die reale Verdunstung in Abhängigkeit von Neigung und Exposition erheblich variieren. Zunehmende Hangneigung führt an südexponierten Hängen zu einer erhöhten, bei Nordexposition zu einer verringerten realen Verdunstung. Die Unterschiede des Korrekturfaktors zwischen Nord- und Südexposition betragen bei 5° Hangneigung 17 %, bei 20° bereits 97 % (Abb. 2).

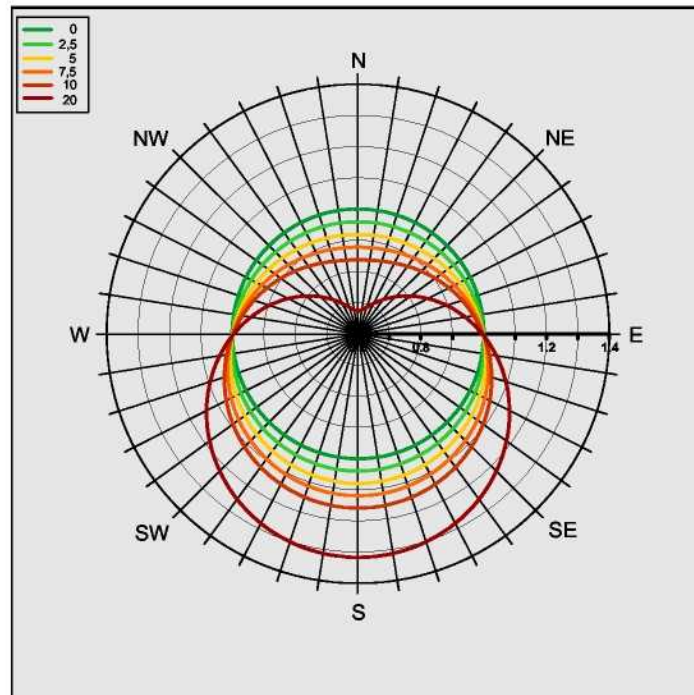


Abb. 2: Die Höhe des Golf-Faktors f_H in Abhängigkeit von Hangneigung und Exposition

Auf versiegelten Flächen nehmen die reale Verdunstung mit zunehmendem Versiegelungsgrad ab und der Gesamtabfluss zu, wobei der Anteil des Oberflächenabflusses stark ansteigt. Um das spezielle Verdunstungsverhalten teilversiegelter Flächen zu berücksichtigen, wird ein Korrekturfaktor eingeführt, dessen Höhe sich nach dem Versiegelungsgrad bemisst und der stufenlos berechnet werden kann (Gleichung 3).

$$ET_{real, versiegelt} = ET_{Renger} + f_v \cdot G \quad [-] \quad \text{Gl. 3}$$

- $ET_{real, versiegelt}$ = Reale Verdunstung auf versiegelten Flächen
- ET_{Renger} = nach der Renger-Wessolek-Formel berechnete reale Verdunstung [mm/a]
- f_v = Koeffizient zur Berücksichtigung des Einflusses der Versiegelung [mm/a]
- G = Versiegelungsgrad [%]

Tab. 2: Korrekturfaktoren zur Berechnung der realen Verdunstung versiegelter Standorte in Abhängigkeit des Versiegelungsgrads

Versiegelungsstufe	Versiegelungsgrad G [%]	Korrekturfaktor $f_v \cdot G$ [mm/a]
I	10 – 50	-86
II	45 – 75	-190
III	70 – 90	-259
IV	> 90	-318

Quelle: Wessolek 1989, Kunkel u. Wendland 1998

Wessolek (1989) benennt Versiegelungsstufen, deren Einteilung nach dem Grad der Versiegelung erfolgt. Für diese Stufen lassen sich in Verbindung mit den von Wessolek und Facklam (1997) ermittelten Ergebnissen Korrekturfaktoren angeben, die das Modell GROWA zur Berechnung nutzt (Tab. 2). Der Versiegelungsgrad für die Landnutzungstypen nach Corine wird dabei mit Hilfe der Zusatzinformationen zum CORINE-Datensatz (Stat. Bundesamt 1996) und der Angaben in DVWK (1996) festgelegt. Für die auf der Basis des Arten- und Biotopschutzprogramms definierten Landnutzungsklassen für Hamburger Gebiet wurden Versiegelungsgrade festgelegt, die aus einer Verschneidung der Landnutzungsdaten mit den Versiegelungsdaten 1999 resultieren (siehe Kapitel 3.2 Landnutzung). Mit diesen abgeleiteten Versiegelungsgrade wurden ebenfalls nach Gleichung 3 Korrekturfaktoren stufenlos berechnet.

Udluft et al. (1983) weisen darauf hin, dass die Verdunstung unversiegelter Teilbereiche in urbanen Räumen im Vergleich zu Freilandverhältnissen als Folge des größeren Wärmeangebotes und der geringeren relativen Feuchte in der Stadt größer ist. Meßer (1997) schränkt diesen Effekt jedoch auf Flächen mit Versiegelungsgraden über 50 % ein. Derartige Flächen sind in der Hamburger Innenstadt weit verbreitet, weshalb von Berlekamp (1987) in seiner Berechnung der Grundwasserneubildung von Hamburg bereits entsprechende Korrekturfaktoren verwendet wurden. In der vorliegenden Arbeit wird der versiegelungsbedingten Verdunstungssteigerung dadurch Rechnung getragen, indem die Landnutzung des unversiegelten Anteils teilversiegelter Flächen mit Gras statt Acker angesetzt wird.

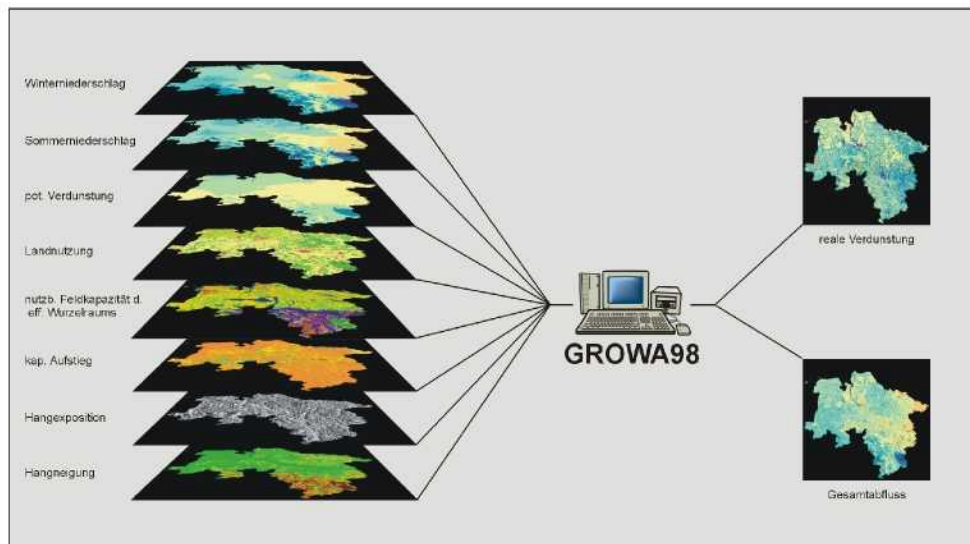


Abb. 3: Ein- und Ausgabedatensätze des Modells GROWA zur Berechnung der Gesamtabflusshöhe

Mit Hilfe der Renger-Wessolek-Gleichung und der beschriebenen Erweiterungen werden im Modell GROWA zunächst die reale Verdunstung und dann über die Differenz zum Niederschlag der Gesamtabfluss berechnet (Abb. 3). Aus diesem wird über eine Abfluss-Separation die Grundwasserneubildungshöhe ermittelt.

2.2 Die Berechnung der Zusickerung zum Grundwasser (Grundwasserneubildung)

Die Abtrennung der Grundwasserneubildung vom Gesamtabfluss bedient sich statischer Basisabflussanteile. Dies beruht auf der Überlegung, dass die Basisabflusshöhe im langjährigen Mittel als konstanter, von bestimmten Flächeneigenschaften abhängiger Anteil an der Gesamtabflusshöhe beschrieben werden kann. Als maßgebliche Flächeneigenschaften werden Versiegelung, künstliche Entwässerung landwirtschaftlich genutzter Flächen, Festgestein, Flurabstand, Staunässe und Hangneigung betrachtet, auf die in einem hierarchischen Ansatz nacheinander abgefragt wird (Abb. 4). Trifft eine Eigenschaft auf die Rasterzelle zu, bleiben weitere Eigenschaften außer Betracht. Insgesamt werden bei den Flächeneigenschaften 17 verschiedene Merkmale unterschieden (Tab.3).

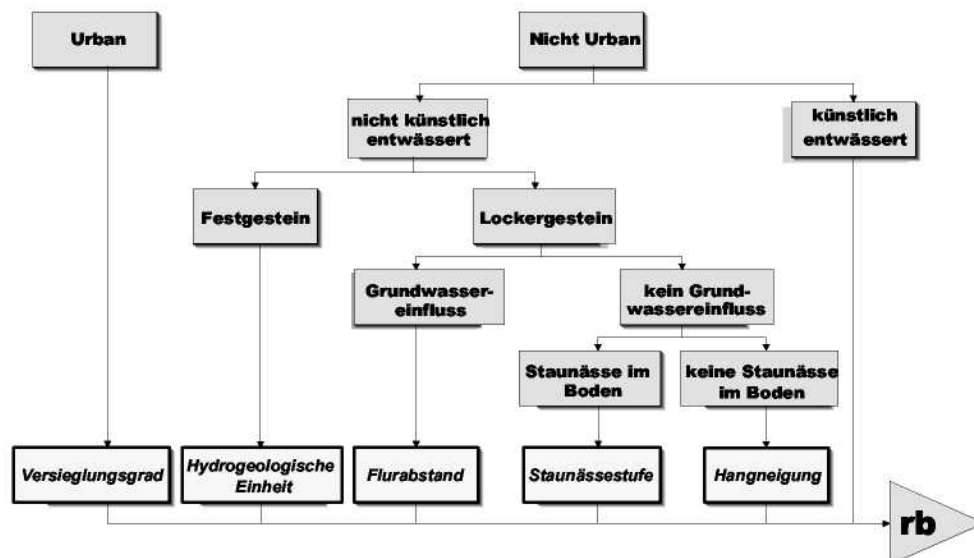


Abb. 4: Hierarchie der Abfrageroutine auf abflussrelevante Gebietseigenschaften im Modell GROWA (Quelle: Bogen et al. 2003)

Tab. 3: Basisabflussanteile für Gebietsmerkmale zur Berechnung der Grundwasserneubildung in Lockergesteinsregionen

Versiegelung	künstl. Entwässerung	Flurabstand	Staunässe	Hangneigung	Basisabflussanteil rB
stufenlose Berechnung von rB in Abhängigkeit des Versiegelungsgrads				< 1 %	1
			sehr schwache	1-3,5 %	0,9
					0,82
				3,5-7 %	0,67
				7-10 %	0,59
		0,8-1,3 m	schwache	10-13 %	0,5
		0,4-0,8 m	mittlere-stärke	13-15 %	0,44
		< 0,4 m	sehr starke	> 15 %	0,4
					0,33
					0,28
					0,2
	Marschen u. Hochmoore in Abtorfung				0,1

Die Quantifizierung der Basisabflussanteile erfolgt einzugsgebietsbezogen durch Kalibrierung an gemessenen Abflussdaten. Eine Kalibrierung an Pegeln der Metropolregion schied jedoch u.a. wegen des weit reichenden Tideeinflusses aus. Daher wurden Ergebnisse aus anderen Projektgebieten (Deutscher Teil des Elbe-Einzugsgebiets sowie die Bundesländer Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen) verwendet. Bei der Kalibrierung wird das Verhältnis MoMNQ zu MQ herangezogen, wobei davon ausgegangen wird, dass der MoMNQ-Wert die Wasserführung eines Flusses bei Niedrigwasser (Basisabfluss) wiedergibt. Nach Wundt (1958) entsprechen die beobachteten MoMNQ-Werte im langjährigen Mittel in guter Näherung dem grundwasserbürtigen Abfluss und damit der Grundwasserneubildung. Diese Vorgehensweise hat sich für Lockergesteinsregionen, u.a. in Norddeutschland, bewährt (Kunkel u. Wendland 1998, Dörhöfer et al. 2001, Bogen et al. 2003). Für das vorliegende Projekt wurden die in den genannten Modellregionen durch Kalibrierung bestimmten Basisabflussanteile für die jeweiligen Flächeneigenschaften verwendet (Tab. 3). Ein Vergleich mit Literaturwerten zeigte eine große Übereinstimmung (Dörhöfer u. Josopait 1980, Hennings 1994). Mit diesen Basisabflussanteilen war die Berechnung realistischer Grundwasserneubildungsraten für den Lockergesteinsbereich möglich.

In Lockergesteinsregionen haben sich Versiegelung, künstliche Entwässerung und Grundwasserflurabstand als die Faktoren erwiesen, die wesentlichen Einfluss auf die Grundwasserneubildung ausüben. In stark urbanisierten Räumen wie der Metropolregion Hamburg kann jedoch die Versiegelung als weitaus bestimmenderer Faktor angesehen werden. Eine Zunahme der effektiven Versiegelung bewirkt aufgrund der Verringerung vegetationsbestandener Flächen und des schnellen Ableitens von Niederschlagswassers in die Kanalisation eine Reduzierung der realen Verdunstung, so dass der Gesamtabfluss ansteigt. Aufgrund der geringen Infiltrationskapazität von Bodenbelägen wie Beton oder Asphalt, wie sie für hoch versiegelte Innenstadtgebiete, Industrie- und Hafenflächen sowie Autobahnen und städtische Schnellstraßen typisch sind, steigt der Anteil des Oberflächenabflusses am Gesamtabfluss stark an, während gleichzeitig die natürliche Zunsickerung zum Grundwassers nur noch in stark verringertem Umfang möglich ist (Lerner 1990). Lediglich auf teilversiegelten Flächen mit geringem

Versiegelungsgrad und fehlendem Anschluss an die Kanalisation steht angrenzend ausreichend Raum zur freien Versickerung des Niederschlagswassers zur Verfügung, so dass der versiegelungsbedingte Einfluss auf die Grundwasserneubildung auf diesen Flächen gering bleibt. Ähnliches gilt für Flächen mit durchlässigen Bodenbelägen.

Die weite Verbreitung versiegelter Flächen in der Metropolregion erforderte eine methodische Weiterentwicklung des Wasserhaushaltsmodells GROWA. Die Verfügbarkeit von Versiegelungsdaten mit hohem Detaillierungsgrad für Hamburg begünstigte dieses Vorhaben. In GROWA wurden bei der Berechnung der Grundwasserneubildung die Versiegelungsgrade bislang nur in Form von Klassen berücksichtigt (vgl. Tab. 2). Bereits im Projekt „GIS-gestützte Ermittlung der Grundwasserneubildung in der Freien und Hansestadt Hamburg“ (Tetzlaff et al. 2001) wurde eine methodische Änderung vorgenommen, um eine stufenlose Berechnung von Basisabflussanteilen in Abhängigkeit des Versiegelungsgrades zu ermöglichen. Hierbei wurde in Anlehnung an Berlekamp (1987) angenommen, dass die Grundwasserneubildung um den Anteil vermindert wird, den die versiegelte Fläche am betrachteten Landnutzungstyp ausmacht, woraus eine lineare Abnahme der Grundwasserneubildung mit steigendem Versiegelungsgrad folgt. Angesichts der Dominanz gering durchlässiger Bodenbeläge an der versiegelten Fläche und des hohen Anschlussgrades an die Kanalisation erschien dieser Ansatz für hoch versiegelte urbane Flächen angemessen. Für das Hamburger Umland wurden die als teilversiegelt einzustufenden Landnutzungstypen nach Corine weiterhin in zwei Versiegelungsstufen unterschieden und Basisabflussanteile unter Verwendung der Ergebnisse der Arbeiten von Wessolek (1989; DVWK 1996) zugewiesen.

Bei der Berechnung der Grundwasserneubildung für die Metropolregion Hamburg im vorliegenden Projekt zeigte sich jedoch, dass die beschriebene Vorgehensweise nicht zu befriedigenden Ergebnissen führte. Einerseits wurden für die Hamburger Innenstadt – angesichts der hier auftretenden Versiegelungsgrade – zu hohe Neubildungsraten berechnet. Andererseits kommt es an der Landesgrenze, insbesondere zu Schleswig-Holstein, mehrfach zu größeren Differenzen in der Höhe der Grundwasserneubildung. Da auf beiden Seiten der Grenze eine ähnliche Bebauung vorhanden ist, wie Auswertungen der topographischen Karte ergeben haben, erschie-

nen die Differenzen nicht plausibel. Um diese Mängel zu beheben, waren zwei Maßnahmen erforderlich:

- Überprüfung der Abhängigkeit des Basisabflussanteils vom Versiegelungsgrad
- Harmonisierung der Versiegelungsgrade von Landnutzungstypen nach Corine bzw. nach Hamburger Arten- und Biotopschutzprogramm

Um die Abhängigkeit des Basisabflussanteils vom Versiegelungsgrad zu überprüfen, wurde zunächst eine Literaturstudie durchgeführt, bei der Untersuchungen zum Wasserhaushalt versiegelter Flächen ausgewertet wurden. Hierzu wurden nur solche Arbeiten herangezogen, die den Anteil der Grundwasserneubildungshöhe am Gesamtabfluss quantifizieren und dieser Anteil sich in Beziehung zu Bebauungs- oder Nutzungstypen mit bekanntem Versiegelungsgrad setzen lässt. Zwar wird die Grundwasserneubildung unter (teil-)versiegelten Flächen nicht nur durch den Versiegelungsgrad beeinflusst, sondern auch durch den Belagstyp und seine physikalischen Eigenschaften (z.B. Porosität), die Effektivität der Versiegelung, den Unterbau des Bodenbelags, sein Alter, das Relief sowie die Vegetation auf dem unversiegelten Teil (Pranzas 1995, Münchow 1999, Borgwardt 1993). Diese Angaben stehen aber für einen Untersuchungsraum wie Hamburg oder die Metropolregion nicht mit dem erforderlichen Detaillierungsgrad zur Verfügung. Darüber hinaus sind Aufbau und Eigenschaften versiegelter Flächen zu individuell, als dass sie sich auf der hier betrachteten Maßstabsebene sinnvoll kategorisieren ließen. Versuche, „Großstadt-typische“ Bodenbeläge und daraus abgeleitete Versiegelungsgrade in Bezug zur Höhe der Sickerwassermenge zu setzen, ergaben keine eindeutige Beziehung. Daher muss eine Beschränkung auf den Versiegelungsgrad als maßgeblichen Einfluss auf die natürliche Versickerung in urbanen Räumen erfolgen, wobei als Bezugsfläche des Versiegelungsgrads Bebauungstypen bzw. Stadtteile dienen. Bei der Betrachtung werden ein mittleres Alter der Beläge sowie flaches Gelände unterstellt.

Die Ergebnisse der Literatursauswertung sind in Abbildung 5 zu sehen, in der die mittleren Versiegelungsgrade von Bebauungstypen und der Anteil der Sickerwassermenge am Gesamtabfluss aufgetragen sind. Durch das entstandene Punktdiagramm wurde eine nicht-lineare Ausgleichskurve ge-

legt. Wie aus dem Diagramm zu ersehen ist, entspricht die Versickerung auf unversiegeltem, flachem Gelände dem Gesamtabfluss. Bis zu einem mittleren Versiegelungsgrad von etwa 15 % verringert sich der Anteil der Versickerung nur wenig, da auf Flächen mit einem solchen Versiegelungsgrad, z.B. Parkanlagen oder Friedhöfe, noch ausreichend unversiegelte Fläche zur freien Versickerung vorhanden ist und die Effektivität der Versiegelung i.d.R. sehr gering ist. Von 20 bis etwa 60 % mittlerer Versiegelung nimmt der Anteil der Versickerung zunächst relativ steil, ab 60 % dann flacher ab, um bei vollständiger Versiegelung immer noch eine Restversickerung zuzulassen, die auf durchlässige Bodenbeläge zurückzuführen ist (vgl. Meßer 1997).

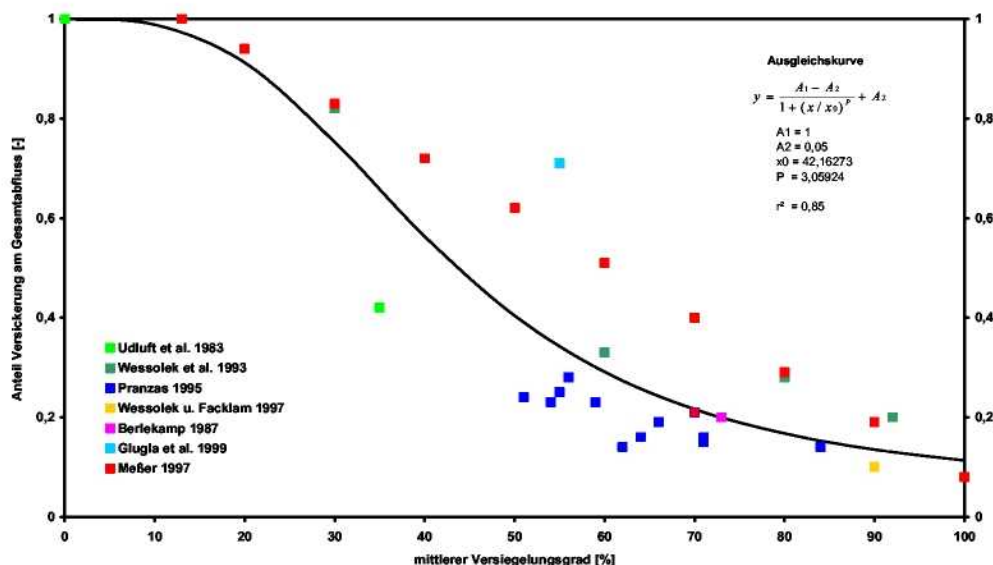


Abb. 5: Abhängigkeit des Anteils der Versickerung am Gesamtabfluss in Abhängigkeit des mittleren Versiegelungsgrades für Nutzungs- bzw. Bebauungstypen

Auf Grundlage der in Abbildung 5 genannten Formel lässt sich für beliebige Versiegelungsgrade der Anteil der Sickerwassermenge am Gesamtabfluss stufenlos berechnen. Mit dieser Methodik wurde die Grundwasserneubildung für die Metropolregion Hamburg modelliert (Tab. 3). In der Folge ergeben sich für die verbreitet auftretenden Flächen mit Versiegelungsgraden zwischen ca. 40 und 85 % niedrigere Grundwasserneubildungsraten als mit

der für das Stadtgebiet Hamburg im Vorgänger-Projekt eingesetzten Methode. Für Flächen mit einem Versiegelungsgrad von weniger als 10 % wird der Anteil der Versickerung am Gesamtabfluss nicht anhand des Versiegelungsgrades bestimmt, da davon auszugehen ist, dass in unmittelbarer Umgebung ausreichend Raum zur Versickerung gegeben ist. Der Versickerungsprozess wird hier von anderen Faktoren wie z.B. künstliche Entwässerung, Flurabstand oder Hangneigung maßgeblich bestimmt, auf die gemäß der Abfragehierarchie zurück gegriffen wird. Dies betrifft i.W. Friedhöfe, landwirtschaftliche Nutzfläche und bewaldete Gebiete (vgl. Tabelle 6). Die Schritte zur Ableitung nutzungstyp-spezifischer Versiegelungsgrade für die beiden verwendeten Landnutzungsdatensätze werden im Kapitel 3.2 beschrieben.

3

Beschreibung der Datengrundlagen und ihrer Aufbereitung

Im Folgenden werden Herkunft und Genauigkeit der verwendeten Eingabedatensätze sowie die z.T. sehr aufwändigen Schritte bei der Datenaufbereitung behandelt. Im Anschluss daran werden die aus den Datensätzen erzeugten Karten diskutiert.

Der Berechnung der Grundwasserneubildung für die Metropolregion Hamburg schließt sich an vergleichbare Forschungsprojekte für die Bundesländer Hamburg und Niedersachsen an (Tetzlaff et al. 2001; Dörhöfer et al. 2001). Da eine Verringerung des Informationsgehaltes der bereits vorliegenden Ergebnisse nicht wünschenswert ist, wurde vereinbart, die rasterorientierte Modellierung für die Metropolregion mit einer räumlichen Auflösung von 25 m durchzuführen, wie dies für Hamburg vorgenommen wurde. Dadurch ergeben sich für die Metropolregion mehr als 13,8 Mio. Rasterzellen. Tabelle 4 zeigt die für die Modellierung benötigten Datengrundlagen, die federführend durch das Geologische Landesamt Hamburg beschafft und bereit gestellt worden sind. Es sind die Datensätze aufgeführt, die während des Projektzeitraums digital vorlagen, deren Maßstab der Größe des Bearbeitungsraums gerecht wurde und die für das Geologische Landesamt Hamburg verfügbar waren.

Da die Erstellung von Datensätzen mit einheitlicher Auflösung in den verschiedenen Bundesländern unterschiedlich weit fortgeschritten ist, z.B. bei den Bodendaten, bzw. es aufgrund der unterschiedlichen Größe der Bundesländer zu Abweichungen in der Auflösung von Datensätzen kommt, liegen für die Eingangsdaten bis zu vier länderspezifische Datensätze vor. Deren Aggregation führt aufgrund der verschiedenen Maßstäbe und unterschiedlicher Objektdefinitionen zu teilweise erheblichen räumlichen und attributiven Heterogenitäten, was besonders entlang der Landesgrenzen deutlich wird. Eine Ausnahme bildet lediglich der Datensatz der potenziellen Evapotranspiration, der von einer zentralen Behörde (DWD) herausgegeben wird und für die gesamte Metropolregion einheitlich vorliegt (Tab. 4). Um die Werteänderungen entlang der Landesgrenzen zu verringern, müssen für die meisten aggregierten Datensätze Harmonisierungen vorgenommen werden.

Tab. 4: Datengrundlagen für die Modellierung des Wasserhaushaltes in der Metropolregion Hamburg

	Niedersachsen	Hamburg	Schleswig-Holstein	Mecklenburg-Vorpommern
Niederschlag der hydrologischen Halbjahre (1961-1990)	Datensatz des DWD, Regionalisierung Uni Göttingen / BGR	DWD	DWD	DWD
Pot. Evapotranspiration n. Wömdling (1961-90)	DWD	DWD	DWD	DWD
Landnutzung	CORINE Land Cover (Stat. Bundesamt 1997)	Arten- und Biotopschutzprogramm APRO (BUG Hamburg, Naturschutzamt)	CORINE Land Cover (Stat. Bundesamt 1997)	CORINE Land Cover (Stat. Bundesamt 1997)
Versiegelungsgrad	CORINE Land Cover (Stat. Bundesamt 1997)	Erhebung auf Basis der Biotopkartierung (BUG Hamburg, Naturschutzamt)	CORINE Land Cover (Stat. Bundesamt 1997)	CORINE Land Cover (Stat. Bundesamt 1997)
Bodendaten - Pflanzenverfügbare Bodenwassermenge - Flurabstand - Staunässe	BÜK 50, NIBIS-FIS Boden (NLfB)	- BÜK 200 für den Norden Hamburgs (BGR) - Bodenökologische Konzeptkarte (Stand: 1989), bfb büro für bodenbewertung, Dr. W. Kneib, Kiel) - Flurabstände und Grundwasser- gleichen (Stand: 1983), Institut für Geographie und Wirtschaftsgeographie der Universität Hamburg, Prof. Dr. Grimmel, Dr. Pa-luska); (LAPRO, BUG, Amt f. Landschaftsplanung	BÜK 200 (BGR)	BÜK 1000 (BGR)

	Niedersachsen	Hamburg	Schleswig-Holstein	Mecklenburg-Vorpommern
Höhendaten - Topographische Höhe - Hangneigung - Exposition	ATKIS DGM 50 (LGN)	- Verwaltungskarte von Hamburg 1:20.000 mit Höhendarstellung (Vermessungsamt Hamburg, Ausgabe 1971) - Aufgehöhte Flächen (Büro Prof. Stolpe (1995): Gutachten - Dokumentation und Auswertung hydrogeologischer / wasserwirtschaftlicher Daten – Untersuchungsgebiet Hafen)	GTOPO 30 (US Geological Survey)	GTOPO 30 (US Geological Survey)
Hydrogeologische Gesteinseinheiten	GK 500 (NLfB)	- BÜK 200 für Norden Hamburgs (BGR) - Geologische Übersichtskarte 1:50.000 von Hamburg (Baubehörde-Vermessungsamt-Beh. f. Wissenschaft u. Forschung-Geolog. LA Hamburg 1986)	BÜK 200 (BGR)	Hydrologischer Atlas BRD (Liebscher u. Keller 1979)
Künstlich entwässerte Gebiete	Gewässernetze - ATKIS-DLM 25 (LGN) - DLM 1000 (BKG)	- Gewässernetz Stadtkarte Hamburg - Büro Prof. Stolpe (1995): Gutachten - Dokumentation und Auswertung hydrogeologischer / wasserwirtschaftlicher Daten, Untersuchungsgebiet Hafen (Stand 1992)	Gewässernetze - DLM 1000 (BKG) - Top 50 Schleswig-Holstein / Hamburg (LVerma Schleswig-Holstein)	Gewässernetz DLM 1000 (BKG)

3.1 Klima

Niederschlag

Der Eingangsdatensatz der mittleren Niederschlagshöhe 1961-90 setzt sich aus zwei Datensätzen zusammen. Der den niedersächsischen Teil abdeckende Datensatz wurde durch das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung bereitgestellt, die anderen Bundesländer werden durch einen Datensatz des Deutschen Wetterdienstes erfasst. Der erstgenannte entstand aus einer Kooperation des Geographischen Instituts der Universität Göttingen mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe mit dem Ziel, eine Methodik zur maßstabsunabhängigen Generierung von Klimaelementen in Abhängigkeit des Reliefs und anderer Einflüsse zu entwickeln (Köthe et al. 1997). Die Methodik sieht u.a. vor, an den gemessenen Niederschlagswerten eine Höhenkorrektur anhand eines digitalen Höhenmodells mit einer Auflösung von 200 m vorzunehmen.

Die Niederschlagsdaten für die drei nördlichen Bundesländer wurden durch den Deutschen Wetterdienst regionalisiert und weisen eine räumliche Auflösung von 1000 m auf. Unterschiede zwischen den Datensätzen treten v.a. in Bereichen erhöhter Reliefenergie auf.

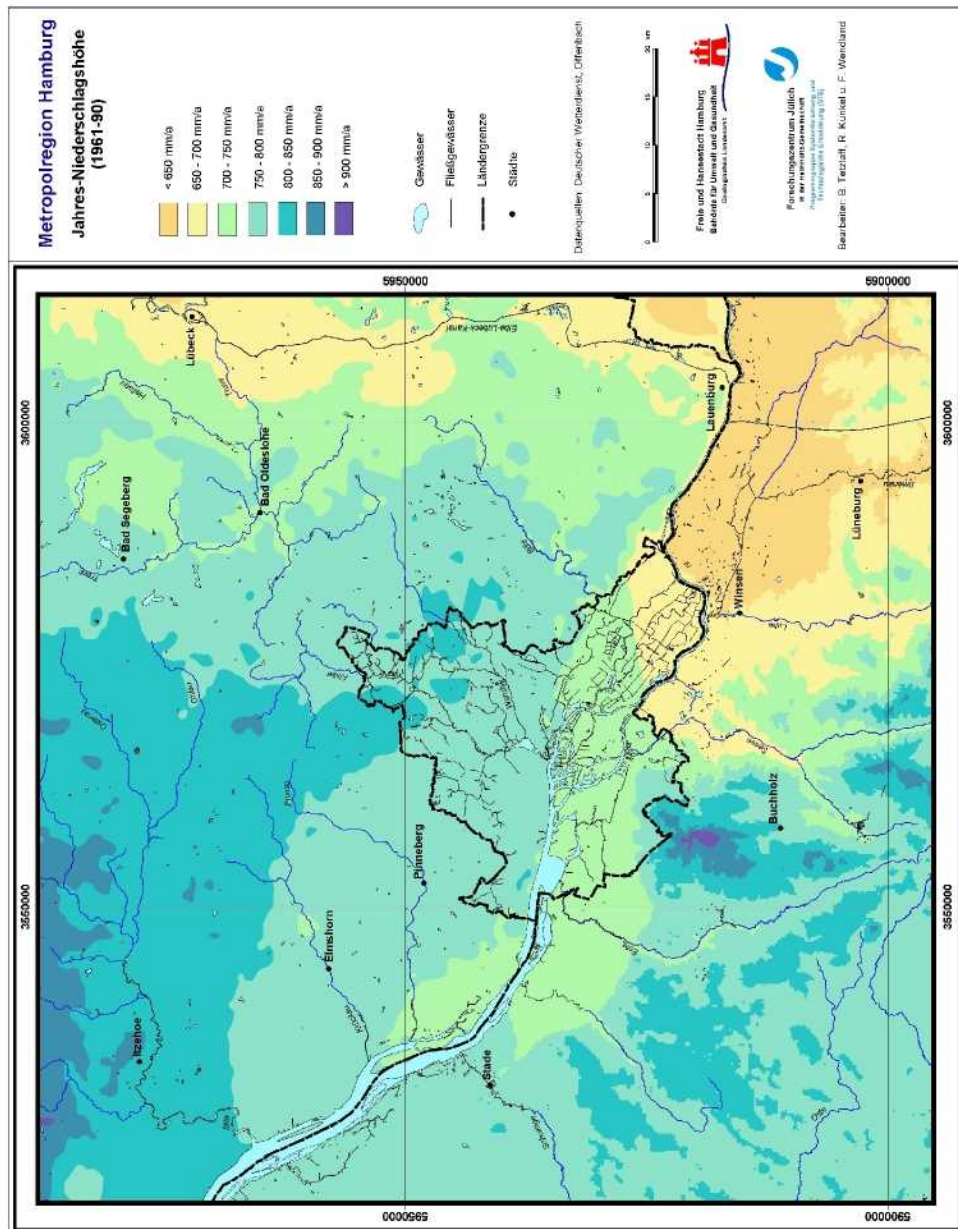
Die Karte der mittleren Jahresniederschläge der Periode 1961-90 zeigt eine sukzessive Abnahme der Niederschlagshöhe von Nordwest nach Südost als Folge der landeinwärts abnehmenden hygrischen Maritimität. Während nördlich von Itzehoe mehr als 850 mm Niederschlag pro Jahr fallen, sind es in der nördlichen Lüneburger Heide 200 mm weniger. Im überwiegenden Teil der Metropolregion werden 700 bis 800 mm/a verzeichnet.

Deutlich machen sich die Höhenunterschiede des Reliefs in der Niederschlagsverteilung bemerkbar (vgl. Karte Relief). So erhalten die Harburger Berge, die Endmoränenstaffeln zwischen Este und Schwinge sowie der Endmoränenzug nordöstlich von Bad Oldeslohe mehr Niederschlag als das Umland. In den Niederungen Altes Land und Lübecker Becken ist es umgekehrt. Dies gilt auch für die Karten der Niederschläge in den Sommer- bzw. Winterhalbjahren.

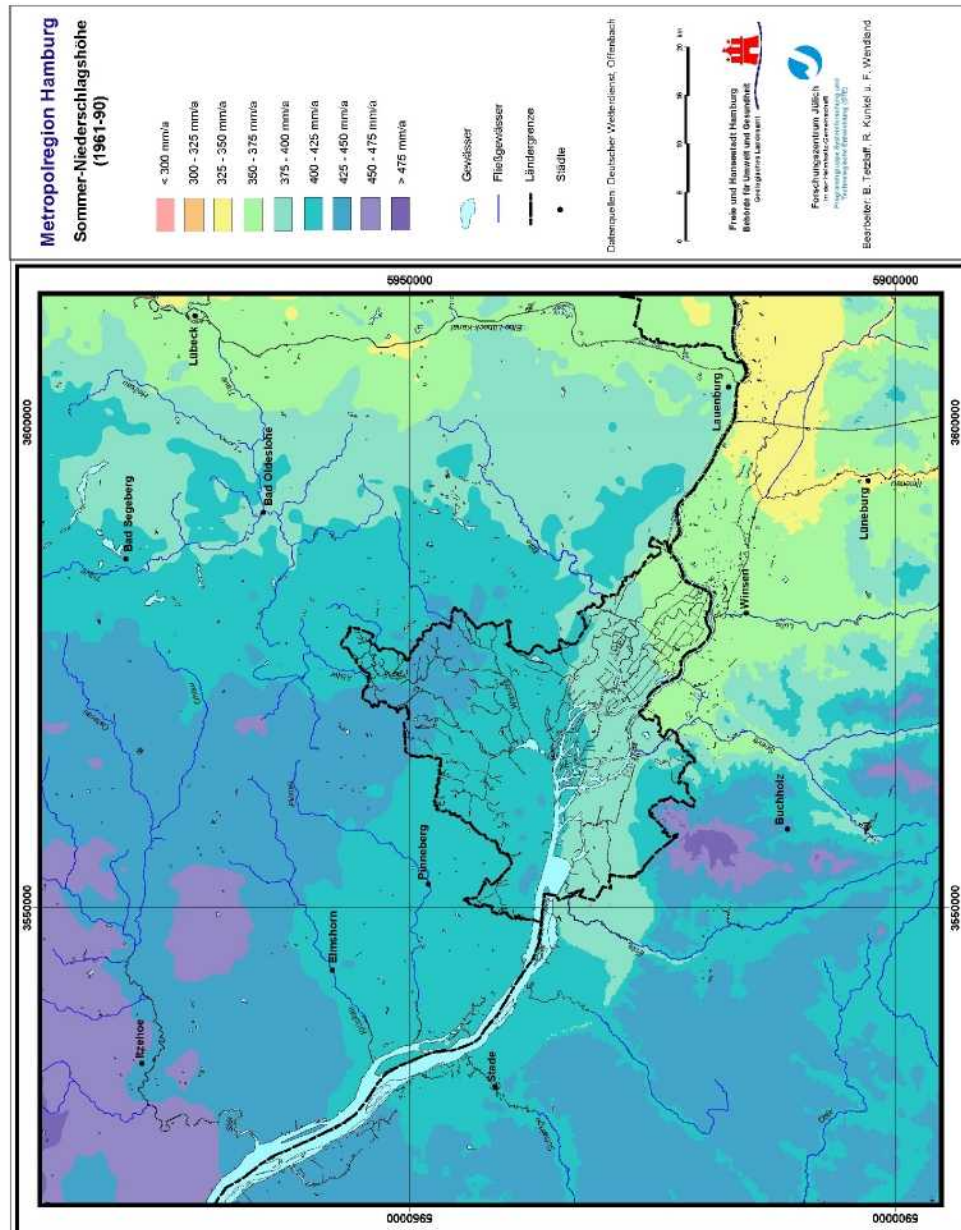
Potenzielle Verdunstung

Vom Deutschen Wetterdienst stammen auch die Daten über die mittlere Jahressumme der potenziellen Verdunstung nach Wendling für die hydrologische Periode 1961-90. Die potenzielle Verdunstungshöhe wird vom Deutschen Wetterdienst nach dem von Wendling (1995) entwickelten Standardverfahren der Gras-Referenzverdunstung berechnet, das von der FAO als Standardmethode empfohlen wird. Sie beruht auf der Penman-Monteith-Beziehung und gilt für einen über das ganze Jahr einheitlichen Grasbestand von 0,12 m Höhe bei fehlendem Wasserstress. Die Daten der potenziellen Verdunstung besitzen eine räumliche Auflösung von 1000 m.

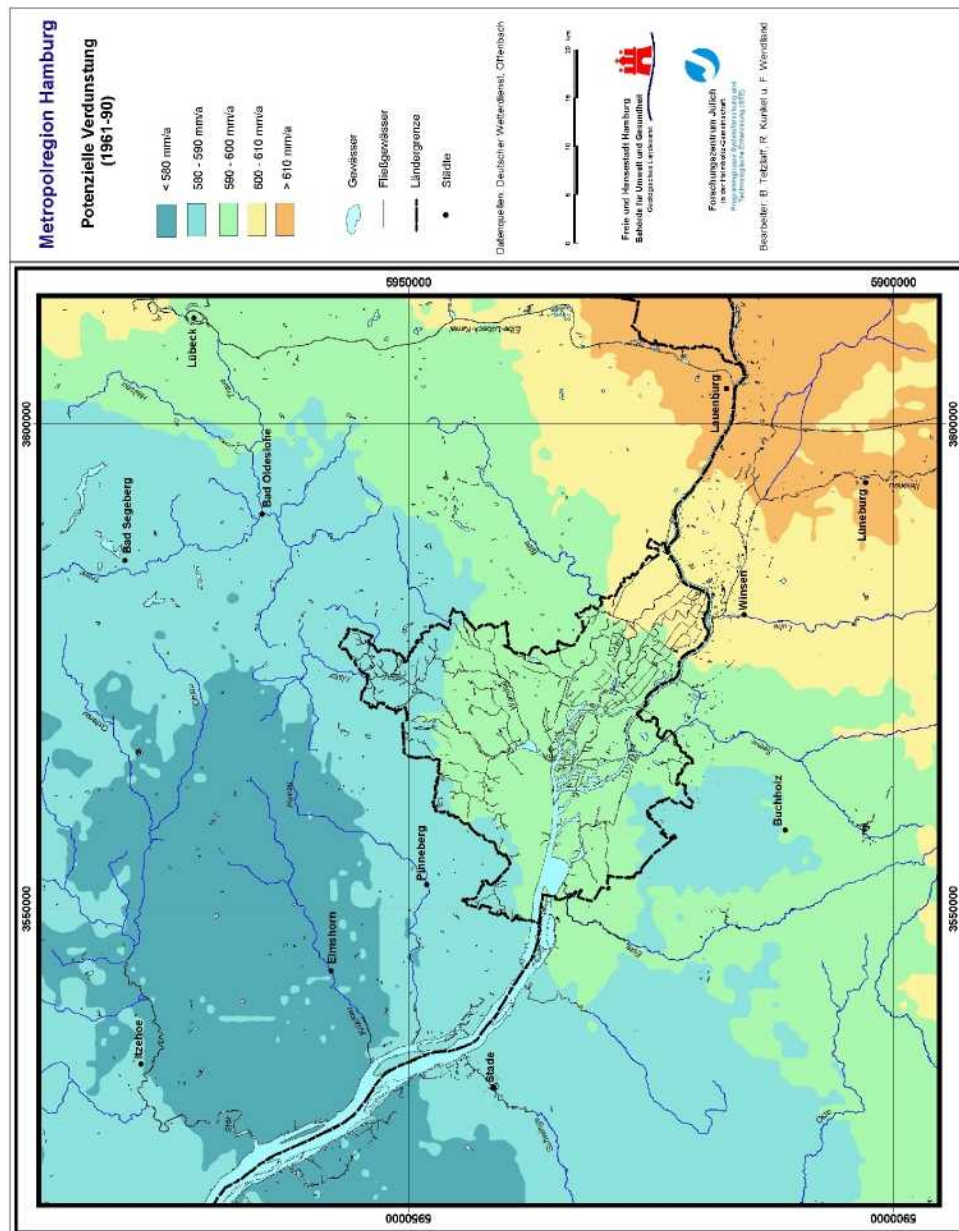
Die Verdunstungswerte in der Metropolregion Hamburg variieren nur gering zwischen knapp unter 580 und mehr als 610 mm pro Jahr mit einem Mittelwert von 590 mm/a und schwanken somit im Vergleich zum Niederschlag eher großräumig. Landeinwärts, d.h. von Nordwesten nach Südosten, nehmen die Werte aufgrund der steigenden Jahresmitteltemperaturen zu. Darüber hinaus zeigt sich im Kartenbild auch der Einfluss der Topographie auf die Höhe der potenziellen Verdunstung (vgl. Karte Relief): Für die Elbtalaue und das Lübecker Becken wurden höhere Verdunstungswerte berechnet als für die umgebende Geest, während die höchste Erhebung der Metropolregion, der Hülshenberg und seine Umgebung nördlich von Buchholz, sich durch 10-20 mm niedrigere Verdunstungssummen vom Umland ab heben.



Karte der mittleren Jahresniederschlagshöhe (1961-90)



Karte der mittleren Niederschlagshöhe im Sommerhalbjahr (1961-90)



Karte der mittleren potenziellen Verdunstung (1961-90)

3.2 Landnutzung

Die Karte der Landnutzungsklassen setzt sich aus zwei Datensätzen zusammen: der Landnutzung gemäß Arten- und Biotopschutzprogramm APRO für Hamburg im Maßstab 1:20.000 (Naturschutzamt der Behörde für Umwelt und Gesundheit) und den CORINE Land Cover-Daten für die übrigen drei Bundesländer. Entsprechend der unterschiedlichen Maßstäbe und der damit variierenden inhaltlichen Differenzierung beider Datensätze treten entlang der Landesgrenze zum Teil erhebliche Unterschiede auf, die sich auf die Höhe der berechneten Wasserhaushaltskomponenten auswirken. Es ist daher eine Vereinheitlichung beider Datensätze durch Aggregation der Nutzungstypen zu Klassen vorzunehmen, wobei die hohe Auflösung der Landnutzungsdaten für Hamburg möglichst weitgehend zu erhalten ist.

Als Kriterium für die Harmonisierung und Aggregation der beiden Datensätze werden der Versiegelungsgrad und die Vegetationszusammensetzung der unversiegelten Teilflächen gewählt, weil beide Eigenschaften von großem Einfluss auf die Berechnung der Grundwasserneubildungshöhe sind (Kap. 2). Bezogen auf Hamburger Gebiet wurden daher Verschneidungen zwischen den Landnutzungsdaten „Artenschutz“ bzw. „Corine“ mit den Daten zur „Versiegelung in Hamburg 1999“ durchgeführt und spezifische Versiegelungsgrade für die einzelnen Nutzungstypen abgeleitet. In der folgenden Tabelle werden die für das Stadtgebiet von Hamburg ermittelten nutzungsspezifischen Versiegelungsgrade für Corine-Typen den Ergebnissen für die Nutzungstypen nach ‚Artenschutz‘ sowie Angaben von ATV-DVWK (2002) gegenüber gestellt (Tab. 5).

Tabelle 5 zeigt für Hamburger Gebiet gute Übereinstimmungen zwischen den nutzungsspezifischen Versiegelungsgraden für urbane CORINE-Nutzungstypen und den Graden für Typen des Datensatzes ‚Artenschutz‘. Größere Abweichungen treten nur bei den Typen 1.1.2 und 1.2.2 auf und erklären sich durch die unterschiedliche Auflösung der beiden Datensätze. Darüber hinaus liegen die ermittelten Versiegelungsgrade für Hamburg im Schwankungsbereich, wie ihn andere Untersuchungen für vergleichbare Bebauungs- bzw. Nutzungstypen vorgeben (ATV-DVWK 2002, Meßer 1997, Berlekamp u. Pranzas 1986, Schoss 1977). Die ermittelten Versiegelungsgrade der einzelnen Landnutzungsklassen sind auch als Karte „Mittlere Versiegelungsgrade der Landnutzungsklassen“ abgebildet.

Tab. 5: Nutzungsspezifische Versiegelungsgrade in Prozent für urbane CORINE Landnutzungstypen am Beispiel von Hamburg und Vergleich mit ATV-DVWK (2002) sowie für vergleichbare Nutzungstypen des Datensatzes „Artenschutz“

CORINE-Typ	Landnutzungsklassen CORINE	V e r s i e g e l u n g s g r a d e für		
		CORINE Beispiel Hamburg	CORINE ATV-DVWK 2002	Nutzungstypen nach Datensatz 'Artenschutz'
1.1.1	hoch versiegelt	80	80	80
1.1.2	mittel versiegelt	50	35	45-75
1.2.1	Industrie u. Gewerbe	85	85	85
1.2.2	Straßen- u. Eisenbahnnetze	65	50	60-90
1.2.3	Hafen	95	80	95
1.2.4	Flughafen	45	30	40
1.4.1	Städtische Grünflächen	15	-	10
1.4.2	Sport u. Freizeitanlagen	25	15	35

Auf Basis des Landnutzungstyps, des ermittelten nutzungsspezifischen Versiegelungsgrads und von Vergleichen der Bebauungstypen im Hamburger Nordwesten mit angrenzenden Gebieten in Schleswig-Holstein anhand der topographischen Karte 1:50.000 wurden eine Aggregation der beiden Datensätze durchgeführt und dabei 25 gemeinsame Klassen gebildet. Tabelle 6 zeigt diese Klassen und ihre Zusammensetzung.

Versiegelungsgrade unter 15 % werden nur bei der Berechnung der realen Verdunstung sowie des Gesamtabflusses, nicht jedoch bei der Berechnung der Grundwasserneubildung berücksichtigt, da davon ausgegangen werden kann, dass die versiegelten Flächen nicht effektiv versiegelt sind und angrenzend genügend Raum zur freien Versickerung vorhanden ist. Dies betrifft die Klassen „Friedhöfe und Grünanlagen 10 %“, „Friedhöfe und Grünanlagen 15 %“, „teilversiegeltes Grünland“, „Ackerland“, „Grünland“, „Laubwald“, „Obstanbau“, „Nadelwald“, „Mischwald“, „Komplexe Parzellenstrukturen“ sowie „landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Bodenbedeckung“. Eine Ausnahme bildet die Klasse „Deponien“, für die ebenfalls ein mittlerer Versiegelungsgrad von unter 10 % abgeleitet wurde, die aber in Bezug auf die Grundwasserneubildung wie stark dräniertes Ackerland behandelt wird. Diese Parametrisierung steht im Einklang mit Untersu-

chungsergebnissen des Geologischen Landesamtes Hamburg (schr. Mitt. Frau Dr. Taugš).

Als grundwassernah werden solche Flächen eingestuft, auf denen der mittlere Flurabstand maximal 4 dm beträgt. Diese Flächen wurden einerseits aus den Bodenkarten abgeleitet, andererseits kann bei den in Tabelle 6 genannten und zumeist vermoorten Landnutzungstypen aus CORINE bzw. dem Arten- und Biotopschutzprogramm auf flurnahe Grundwasserstände geschlossen werden. Gleichzeitig dürfen diese Flächen nicht als künstlich entwässert gelten. Um dies zu gewährleisten, werden die als grundwassernah eingestuften Flächen mit den als künstlich entwässert eingeschätzten Flächen (Kap. 3.4) im GIS verschnitten.

In der Karte der Landnutzungsklassen in der Metropolregion Hamburg lassen sich vier größere Teilregionen unterscheiden: Der Nordosten des Modellgebietes wird durch Ackerland dominiert, was für Jungmoränenland typisch ist. Nach Westen hin tritt die ackerbauliche Nutzung zugunsten einer stärkeren Verbreitung von Grünland zurück, v.a. in den Niederungsbereichen. Besonders deutlich wird dies im Breitenburger Moor sowie in den gesamten Marschen. Ausnahmen bilden lediglich der großflächige Obstbau im Alten Land zwischen Stade und Hamburg-Moorburg sowie die Ackernutzung, die zwischen Pinnau und Stör und zwischen Neetze und Elbe in größerem Ausmaß in der Marsch betrieben wird. Sämtliche landwirtschaftlichen Nutzungen werden hier erst durch Dränmaßnahmen ermöglicht, vgl. Karte der künstlich entwässerten Flächen.

Die vierte Teilregion ist der Ballungsraum Hamburg, der durch seine nach Versiegelungsgraden stark differenzierten Siedlungs- und Gewerbeflächen deutlich im Kartenbild hervor tritt.

Durch die hohe räumliche Auflösung der Landnutzungsdaten von Hamburg und der Diskretisierung mit kleinen Rasterweiten können auch Nutzungstypen mit geringer flächiger Ausdehnung aber großem Einfluss auf die Grundwasserneubildung, wie z.B. Verkehrsflächen, in der Karte abgebildet werden. Im Stadtzentrum sowie im nördlichen Stadtgebiet überwiegen stark versiegelte Flächen. In Richtung auf die Außenbezirke nimmt der Versiegelungsgrad der Siedlungsfläche ab und neben die lockere Wohnbebauung treten weitere Nutzungen wie Grünland, Ackerland oder vermoorte Flächen.

Die Übergänge zu den Nutzungen nach CORINE-Klassifikation im Hamburger Umland sind infolge der gemeinsamen Klassenbildung fließend. Die nördlich und westlich von Hamburg gehäuft auftretenden grundwasser-nahen Standorte lassen sich vielfach auf Niedermoore und vergleyte Böden zurück führen.

Tab. 6: Aggregierung der Landnutzungstypen aus den Datensätzen ‚Artenchutz‘ und ‚Corine Landcover‘ zu Nutzungsklassen für die Metropolregion Hamburg und abgeleitete nutzungsspezifische Versiegelungsgrade

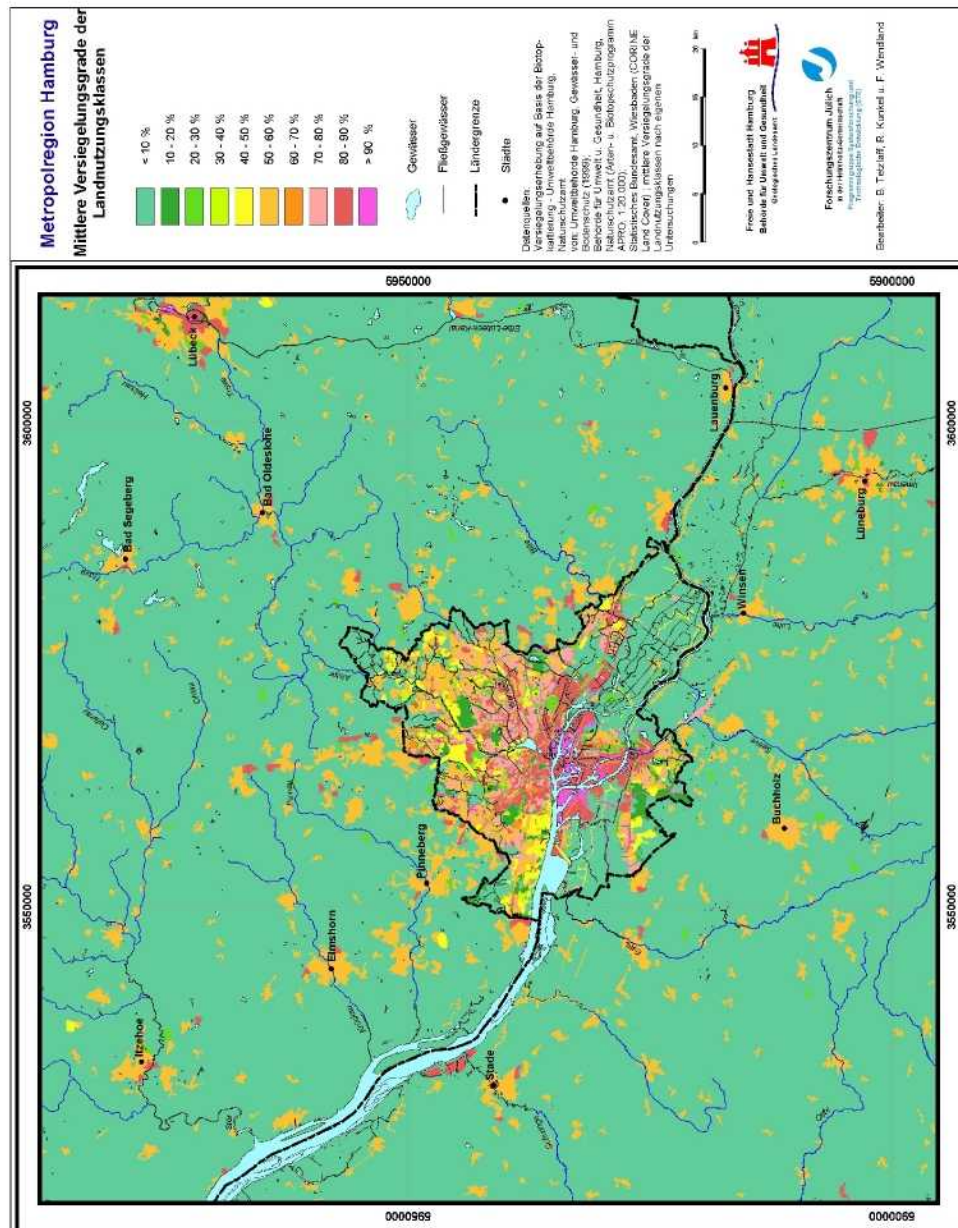
Nr.	Landnutzungs- klasse	Versiege- lungsgrad [%]	Landnutzungstypen nach Datei ‚Artenchutz‘ für Hamburg bzw. nach ‚CORINE‘ für das Umland	Anteil an Metro- polregion [%]
1	Urbane Flächen 95	95	Hafenanlagen	0,3
			Autobahnen und andere	
			<i>Hafengebiete</i>	
2	Urbane Flächen 85	85	Gewerbe, Industrie	1,1
			<i>Industrie- und Gewerbeflächen</i>	
3	Urbane Flächen 80	80	städtisch verdichtete Bereiche	0,3
			<i>durchgängig städtische Prägung</i>	
4	Urbane Flächen 75	75	städtisch geprägte Bereiche	0,7
5	Urbane Flächen 70	70	städtisch geprägte Bereiche mit Grünstruktur	0,4
			Gemeinbedarfsflächen	
			Hauptverkehrsstraßen	
			<i>Straßen und Eisenbahnnetze und funktionell zugeordnete Flächen</i>	
6	Urbane Flächen 60	60	Bahnanlagen	0,2
			Gemeinbedarfsflächen mit Grünstruktur	

Nr.	Landnutzungs- klasse	Versiege- lungsgrad [%]	Landnutzungstypen nach Datei 'Artenschutz' für Hamburg bzw. nach 'CORINE' für das Umland	Anteil an Metro- polregion [%]
7	Urbane Flächen 50	50	offene Wohnbebauung	6,7
			keine Zuordnung	
			<i>nicht durchgängig städtische Prägung</i>	
8	Urbane Flächen 45	45	Auen und offene Wohnbebauung	0,4
			offene Wohnbebauung mit Parkstruktur	
9	Urbane Flächen 40	40	dörflicher Lebensraum	0,3
			offene Wohnbebauung mit Waldstruktur	
			Flughafen	
			<i>Flughafen</i>	
10	Sportanlagen	35	große Sportanlage	0,1
11	Sportanlagen und Gärten	25	Kleingärten	0,4
			<i>Sport- und Freizeitanlagen</i>	
12	Friedhöfe und Grünanlagen 15 %	15	Friedhöfe	0,1
			<i>Städtische Grünflächen</i>	
13	Friedhöfe und Grünanlagen 10 %	10	Nadelwald, Friedhof, Park	0,6
			Parkanlage	

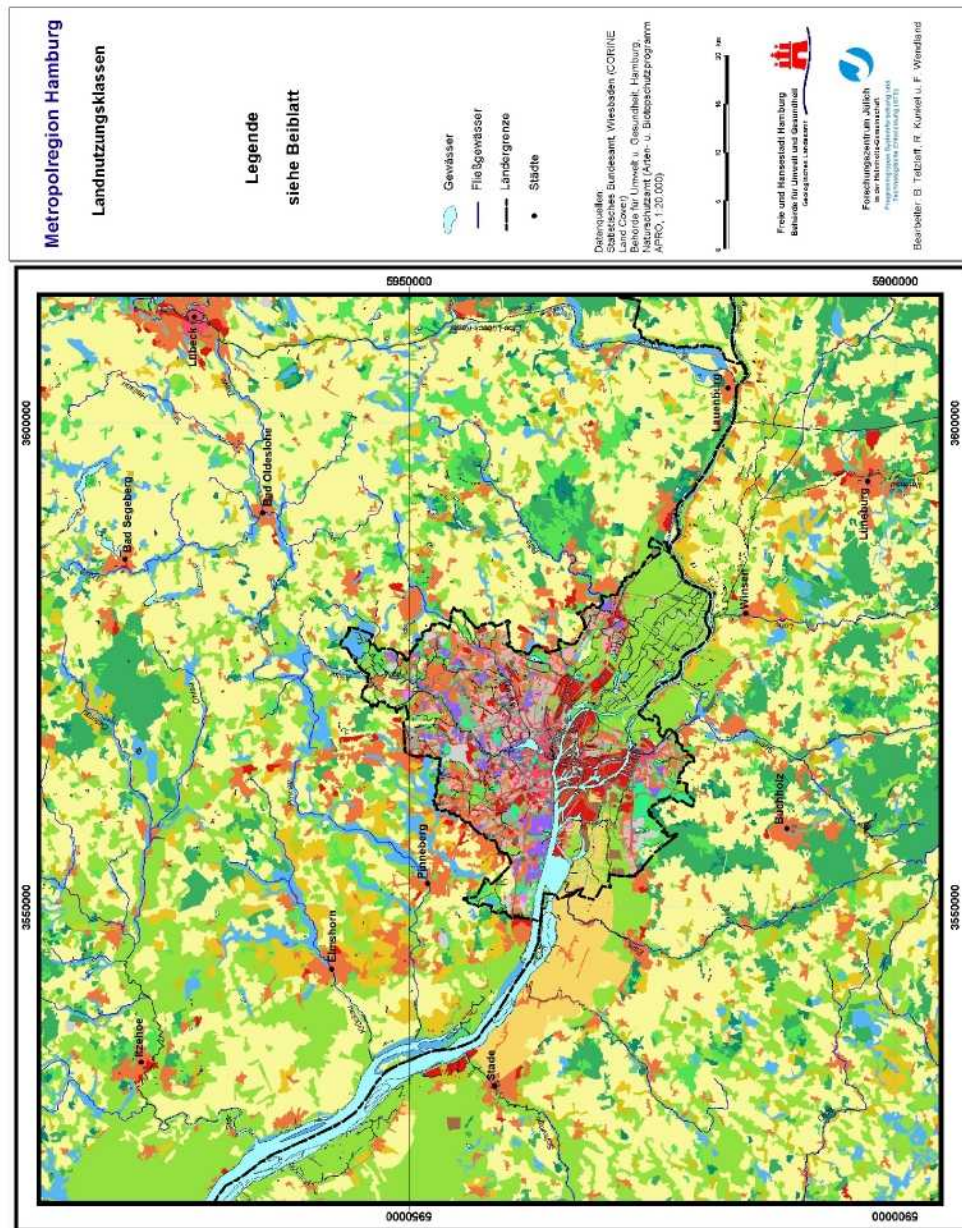
Nr.	Landnutzungs- klasse	Versiege- lungsgrad [%]	Landnutzungstypen nach Datei 'Artenschutz' für Hamburg bzw. nach 'CORINE' für das Umland	Anteil an Metro- polregion [%]
14	Deponien	<10	Mülldeponie Spülfelder <i>Deponien und Abraumhalden</i>	0,1
15	Ackerland	<10	Landwirtschaft mit Knicksystemen Heide, Trockenbiotop, Dünen Sonderstandorte mit Trockenbiotopen <i>Ackerland</i> <i>Abbauflächen</i> <i>Baustellen</i> <i>Strände, Dünen und Sandflächen</i> <i>Flächen mit spärlicher Vegetation</i>	40,9
16	Grünland	<10	Auen und Feuchtgrünland Landwirtschaft mit Feuchtgrünland intensiv genutzter Acker, Obst und Grünland (Teil) <i>Wiesen und Weiden</i> <i>Natürliches Grünland</i> <i>Heiden und Moorheiden</i>	20,1

Nr.	Landnutzungs- klasse	Versiege- lungsgrad [%]	Landnutzungstypen nach Datei 'Artenschutz' für Hamburg bzw. nach 'CORINE' für das Umland	Anteil an Metro- polregion [%]
17	Grünland, teilversiegelt	15	Auen und Grünflächen sonstiges Grünland	0,1
18	Laubwald	<10	Auen, Wald Laubwald Sonderstandorte mit Waldentwicklung Wald auf Sonderstandorten trockene Wälder, Auenwald, Bruchwald Tideauen und Wald Laubwald Wald-Strauch-Übergangsstadien	4,1
19	Obstanbau	<10	Obstanbau Obst- und Beerenobstbestände	1,5
20	Nadelwald	<10	Nadelwald	8,1
21	Mischwald	<10	Krattwald Mischwald	1,1
22	Komplexe Parzellenstrukturen	<10	Komplexe Parzellenstrukturen	2,9

Nr.	Landnutzungs- klasse	Versiege- lungsgrad [%]	Landnutzungstypen nach Datei 'Artenschutz' für Hamburg bzw. nach 'CORINE' für das Umland	Anteil an Metro- polregion [%]
23	Landwirtsch. genutztes Land m. Flächen na- törl. Bodenbedeckung	<10	<i>Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürl- icher Bodenbedeckung von signifikanter Größe</i>	2,5
24	Grundwassernahe Standorte		Niedermoor Moor (waldfrei) Moorwälder Sümpfe Torfmoore Salzwiesen <i>in der Gezeitenzone liegende Flächen</i>	4,7
25	Gewässerflächen		Kanäle und Fleete Fließgewässer, nicht tideabhängig Strom-Elbe Wettern Stillgewässer Gewässerläufe Wasserflächen Mündungsgebiete	2,2



Karte „Mittlere Versiegelungsgrade der Landnutzungsklassen“



Karte der Landnutzungsklassen

Landnutzungsklassen in der Metropolregion Hamburg

	Urbane Flächen - Versiegelungsgrad >90 %
	Urbane Flächen - Versiegelungsgrad 85 %
	Urbane Flächen - Versiegelungsgrad 80 %
	Urbane Flächen - Versiegelungsgrad 75 %
	Urbane Flächen - Versiegelungsgrad 70 %
	Urbane Flächen - Versiegelungsgrad 60 %
	Urbane Flächen - Versiegelungsgrad 50 %
	Urbane Flächen - Versiegelungsgrad 45 %
	Urbane Flächen - Versiegelungsgrad 40 %
	Sportanlagen
	Sportanlagen und Gärten
	Friedhöfe u. Grünanlagen - Versiegelungsgrad 15 %
	Friedhöfe u. Grünanlagen - Versiegelungsgrad 10 %
	Deponien und Spülfelder
	Ackerland
	Grünland
	Grünland - teilversiegt
	Laubwald
	Obstanbau
	Nadelwald
	Mischwald
	Komplexe Parzellenstrukturen
	Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Bodenbedeckung von signifikanter Größe
	Gewässer
	Grundwasserernahe Standorte



Legende zur Karte der Landnutzungsklassen

3.3 Relief und Reliefparameter

Das Digitale Geländemodell der Metropolregion Hamburg setzt sich aus drei länderbezogenen Datensätzen zusammen. Für Hamburg standen aus der Verwaltungskarte von Hamburg 1:20.000 mit Höhendarstellung (Vermessungsamt Hamburg, Ausgabe 1971) digitalisierte Geländepunkte zur Verfügung, die das Stadtgebiet bis auf einen Teil der sehr schwach reliefierten Elbmarsch abdecken. Aus den Punktdaten wurde durch Kriging-Interpolation ein bis auf die Elbmarsch flächendeckendes Raster erzeugt. Für befriedigende Ergebnisse in der Elbmarsch war die Zahl der dortigen Geländepunkte zu gering, so dass auf Höhenangaben in der Topographischen Karte 1:50.000 (Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein 2001) zurück gegriffen werden musste. Um die als Folge von Aufschüttungen mit 2 bis 5 m höher gelegenen Stadtteile, u.a. Waltershof, Altenwerder und Wilhelmsburg, abzubilden, wurden diese Gebiete dem Datensatz „Aufhöhung“ aus der Untersuchung des Hamburger Hafens durch das Büro Prof. Stolpe (1995) entnommen. Seitens des Büros wurden zu diesen Flächen detaillierte Höhenangaben gemacht, die sich mit den Höhenpunkten des Maßstabs 1:20.000 zur Deckung bringen lassen.

Dadurch unterscheidet sich der für dieses Projekt verwendete Höhendatensatz von dem im Rahmen des Projekts „GIS-gestützte Ermittlung der Grundwasserneubildung in der Freien und Hansestadt Hamburg“ benutzten. Im Herbst 2001 standen noch nicht für alle Stadtteile Hamburgs die digitalisierten Höhenlinien im Maßstab 1:20.000 zur Verfügung, weshalb für die fehlenden Bereiche Duvenstedter Brook, Elbmarsch und Schwarze Berge Geländepunkte der DGK5 (Baubehörde Hamburg, Amt für Geobasisinformation und Vermessung) bereitgestellt wurden. Hier sind jedoch auch nicht-natürliche Aufragungen, wie z.B. Brückenpfeiler, erfasst, weshalb von der Verwendung dieses Punktdatensatzes für das vorliegende Projekt abgesehen wurde.

Für Niedersachsen wurde auf das Digitale Höhenmodell DGM 50 des ATKIS zurück gegriffen, dass von seinem Erfassungsmaßstab und seiner Lagegenauigkeit eine für die gestellte Aufgabe gut geeignete Datengrundlage darstellt. Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern werden durch das weltweite Höhenmodell GTOPO 30 des US Geological Survey abgedeckt, das eine Rasterweite von ca. 800 m x 800 m bietet.

Die Karte des Reliefs zeigt deutlich die ausgeprägten Höhenunterschiede zwischen den einzelnen Naturräumen der Metropolregion. Die flache und bis zur Höhe von Stade etwa 10-15 km breite Elbmarsch weitet sich flussabwärts stark auf. Ihre Ränder grenzen sich scharf gegen die Lüneburger Heide, die Stader Geest und die schleswig-holsteinische Geest ab. Die Harburger Berge treten dabei besonders deutlich hervor. Der große Höhenunterschied zwischen Marsch und Geest in diesem Teilgebiet ist für die starke Zertalung in den Schwarzen Bergen mit verantwortlich.

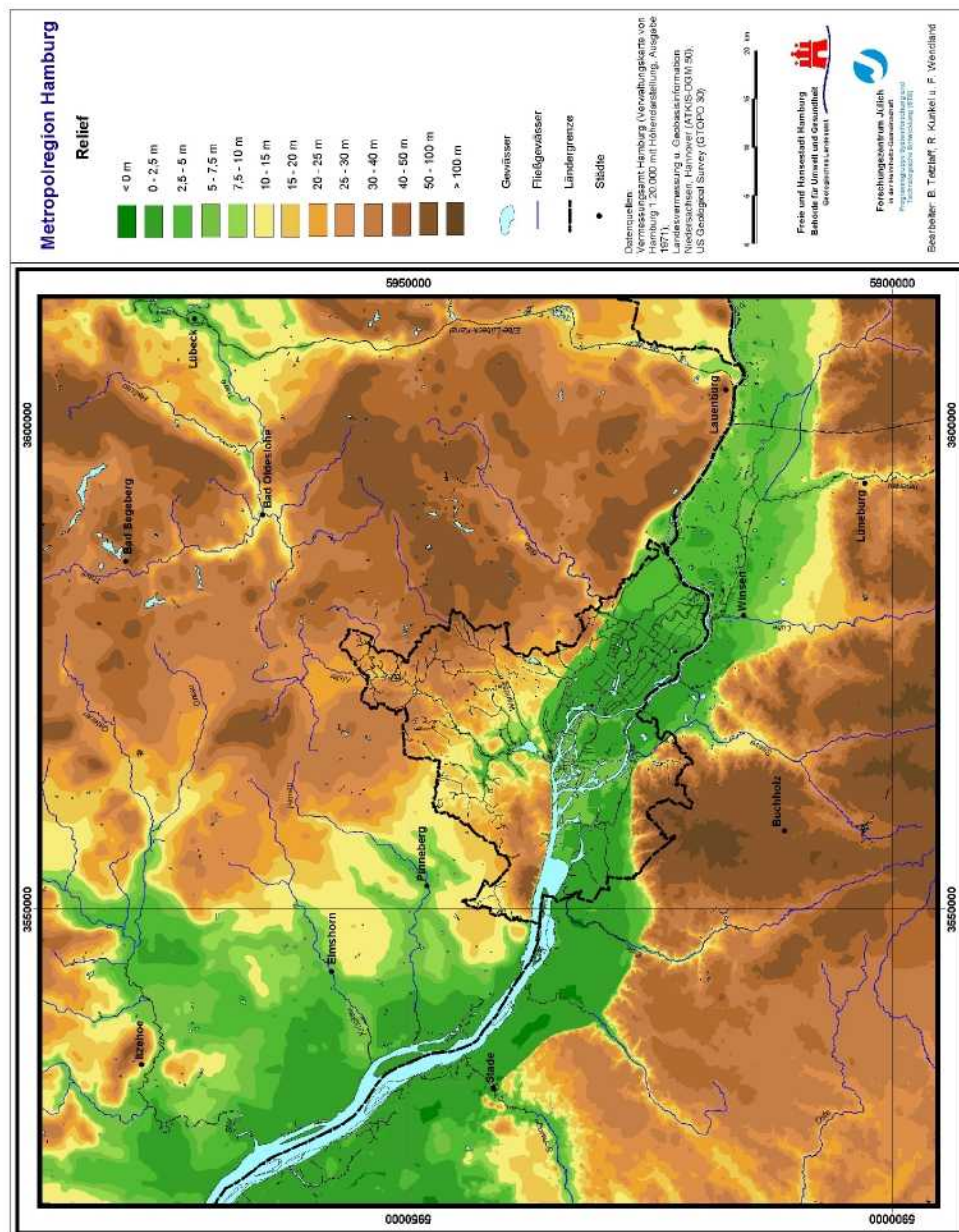
Die schleswig-holsteinische Geest lässt sich in Alt- und Jungmoränenlandschaft gliedern. Die Altmoränenlandschaft zeichnet sich durch ebene und meist sandige Geestplatten aus, die nach Westen und Südwesten flach abfallen. Zum Teil haben sich Schlauchsander eingeschnitten, so z. B. in den Tälern von Pinnau, Alster und Bille. Etwa ostwärts der Trave findet sich die weichselzeitliche Jungmoränenlandschaft, die durch zwei gebogen verlaufende, westlich und östlich der Heilsau gelegene Endmoränenzüge stärkere Reliefformierung erfährt. In diese Landschaft eingesenkt ist das Lübecker Becken.

Das zusammengesetzte Höhenmodell bildet die Grundlage für die Ableitung von Hangneigung und Exposition, die vom Modell GROWA als Eingangsdatensätze für die Berechnung der realen Verdunstung benötigt werden. Die Berechnung der Reliefparameter wurde für Niedersachsen bereits von der Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen durchgeführt, für die übrigen drei Bundesländer erfolgte sie mit den entsprechenden Routinen des GIS ArcView 3.2.

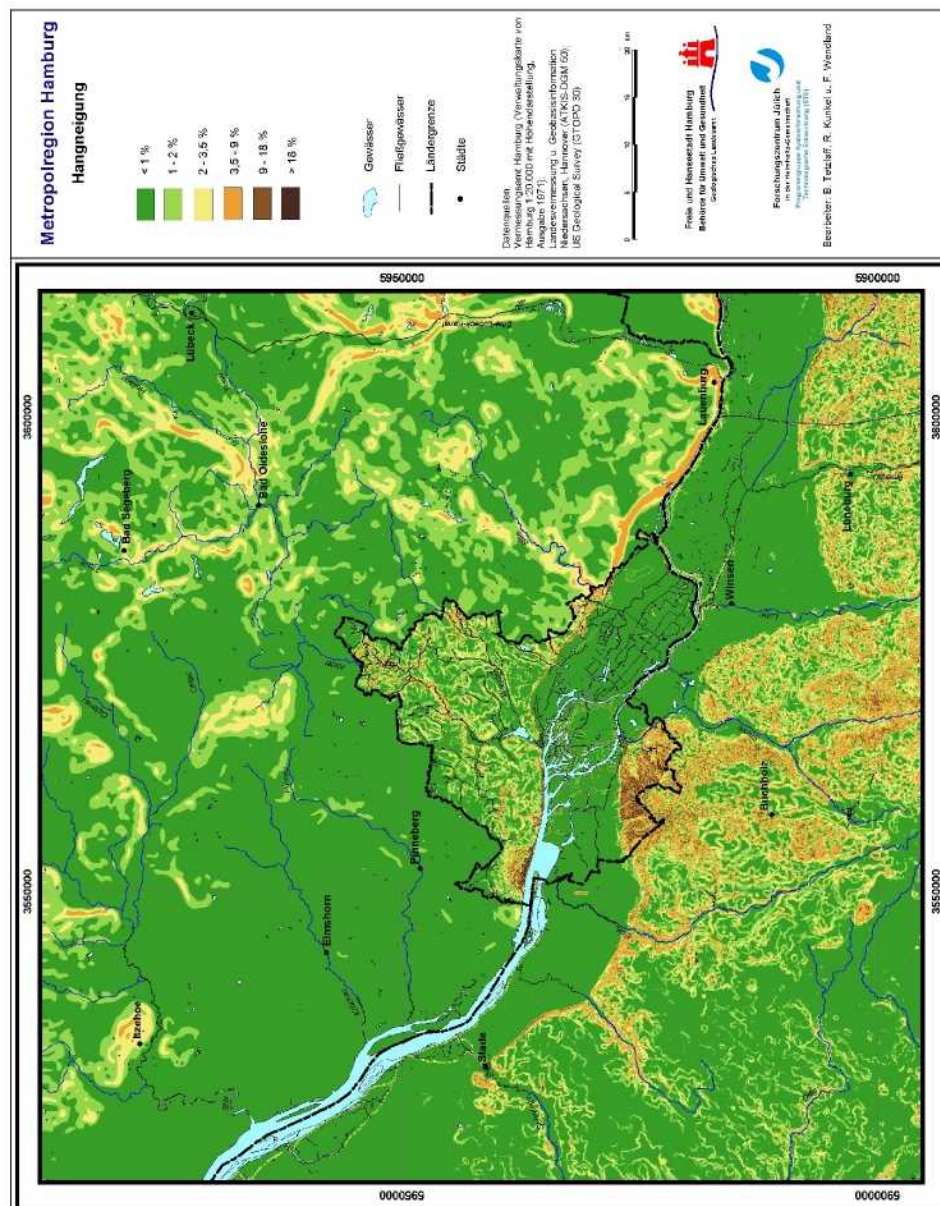
In der Karte der Hangneigung dominieren Neigungen $< 1\%$, die großflächig v.a. in der gesamten Marsch und auf den schwach geneigten Sanderflächen westlich der Trave auftreten. Weiterhin fällt auf, dass die Elbmarsch stark in die Geest einschneidet. Steilränder mit entsprechend hohen Neigungswerten finden sich an den Nordrändern der Stader Geest und der Lüneburger Heide sowie in einem durchgehenden Band zwischen Blankenese und Lauenburg.

In der Karte der Exposition werden wie in der Hangneigungskarte die Unterschiede in der räumlichen Auflösung zwischen den drei herangezogenen Höhenmodellen sichtbar. In Niedersachsen und Hamburg wird die Land-

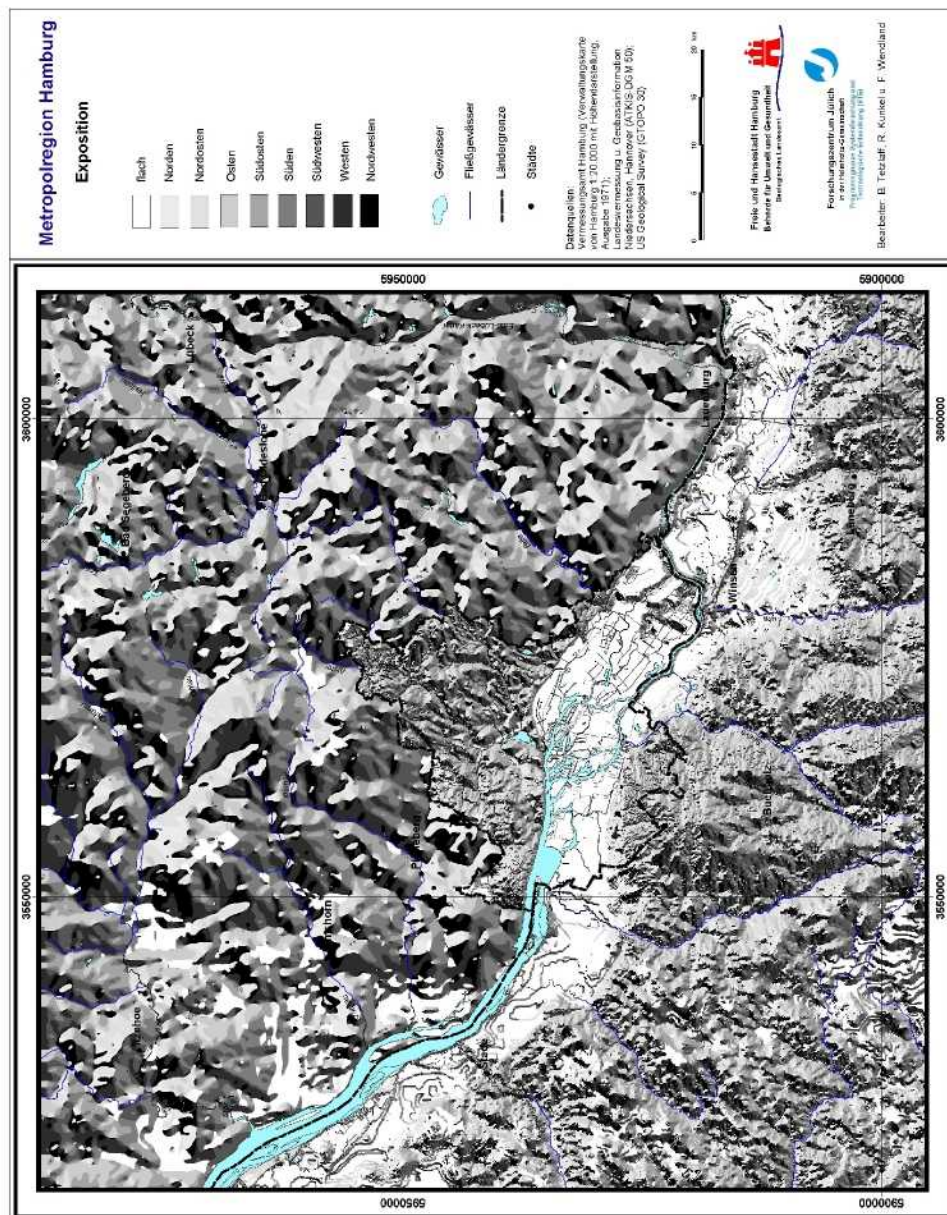
oberfläche sehr fein differenziert wiedergegeben. Markant treten die auf die Elbe als Hauptvorfluter ausgerichteten Entwässerungsbahnen hervor. In Hamburg wird das aufgrund des Erfassungsmaßstabs sehr kleinräumig gegliederte Relief deutlich, wobei sich die Elbmarsch als weite Ebene deutlich abhebt. Die „weiche“ Wiedergabe des Reliefs der beiden anderen Bundesländer Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern ist durch die Verwendung eines vergleichsweise weitmaschigen Höhenmodells bedingt.



Karte des digitalen Geländemodells



Karte der Hangneigung



Karte der Exposition

3.4 Bodenhydrologische Parameter

Die nachfolgend beschriebenen Bodenparameter wurden aus vier verschiedenen Datengrundlagen entnommen bzw. abgeleitet, die für die Metropolregion in digitaler Form bereitgestellt werden konnten. Im einzelnen sind dies:

- für Hamburg die Bodenökologische Konzeptkarte 1:50.000 und für den nördlichen Teil der Stadt die Bodenübersichtskarte BÜK 200,
- für Niedersachsen die Bodenübersichtskarte BÜK 50,
- für Schleswig-Holstein die Bodenübersichtskarte BÜK 200 und
- für Mecklenburg-Vorpommern die Bodenübersichtskarte BÜK 1000.

Mit den unterschiedlichen Maßstäben gehen Abweichungen in der räumlichen Auflösung der Bodenareale und in deren Attributierung einher. Diese Unterschiede wirken sich über die Ableitung bodenhydrologischer Parameter auf die Höhe der Grundwasserneubildung aus, die dann entlang der Landesgrenzen „Sprünge“ zeigt. Besonders deutlich wird dies im Übergang von Hamburg nach Schleswig-Holstein, wo die Bodenökologische Konzeptkarte 1:50.000 an die BÜK 200 grenzt. Für Hamburg sind deshalb umfangreiche Schritte zur Harmonisierung erforderlich, zumal die Konzeptkarte als Ergebnis einer Stadtbodenkartierung ausschließlich Bodenarten ausweist (Schemschat 1996). Eine Einschätzung z.B. der Staunässegefährdung, wie sie als Eingangsparameter für die Modellierung benötigt wird, setzt jedoch auch die Kenntnis des Bodentyps voraus.

Um sicherzustellen, dass trotz einheitlicher Berechnung von bodenhydrologischen Parametern gemäß der Methodendokumentation Bodenkunde (BGR u. SGD 2000) die Verwerfungen entlang der Landesgrenzen nicht auf unterschiedliche Bodentypen und -arten zurückzuführen sind, wurden zunächst Arbeitskarten erzeugt, die vereinheitlichte Gesamtdarstellungen der Quartärgeologie und der Bodentypen für die Metropolregion geben. Eingangsdaten hierfür waren die GK 500 von Niedersachsen, die Geologische Übersichtskarte 1:50.000 von Hamburg, die BÜK 200 mit Angaben zum Ausgangsgestein sowie die anderen bereits genannten Bodenkarten. Die Korrelation der oberflächennahen Geologie Hamburgs mit dem Umland diente als Basis für eine Korrelation der Bodenökologischen Konzeptkarte Hamburgs mit Bodentypen und Bodenparametern in Schleswig-Holstein und Niedersachsen. Erleichtert wurde der Abgleich zwischen Konzeptkarte

und BÜK 200 durch die beiden neuen Kartenblätter der BÜK 200, die den Hamburger Norden abdecken und im Laufe des Projektes zusätzlich bereit gestellt werden konnten. Zusätzlich wurden einschlägige Veröffentlichungen der Staatlichen Geologischen Dienste sowie weitere Fachliteratur als Hilfsmittel für die Ableitung der Bodentypen sowie zur kritischen Überprüfung der berechneten Parameter herangezogen (Fachbereich Bodenkunde des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung 1997, Boess et al. 1997, Ehlers 1994, Schlichting 1960, Kofalk 1998, Müller et al. 1970).

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Ableitung von Bodentypen und die Berechnung von Bodenparametern für Hamburg unter Nutzung der zur Verfügung stehenden Datengrundlagen lediglich eine Annäherung an die realen Verhältnisse sein kann. Die beschriebene Ableitung führt zur Zuweisung von Eigenschaften, wie sie aufgrund der natürlichen Bodenbildung vorliegen bzw. wie sie Feldeböden aufweisen. In Hamburg treten jedoch weit verbreitet Stadtböden auf, für die aufgrund von Bautätigkeiten und anthropogenen Umlagerungen z.T. kleinräumige Wechsel in der Substratbeschaffenheit sowie in den bodenphysikalischen Eigenschaften typisch sind. So treten z.B. technogene Substrate auf, weshalb i.d.R. von erhöhten Skelettgehalten und geringeren Lagerungsdichten ausgegangen werden muss (Bädjer u. Burghardt 1999). Durch Auffüllungen wurde ortsfremdes Material auf Flächen verbracht, deren natürliche Böden durch deutlich abweichende Eigenschaften charakterisiert sind. Wolff nennt als Beispiel die Aufschüttung von Bereichen der Elbniederung (perimarine Substrate) mit Geschiebemergel aus dem Gebiet des heutigen Öjendorfer Sees nach 1945 (1996, 131).

Auf der hier betrachteten Maßstabsebene und mit den für die Metropolregion verfügbaren Datengrundlagen sind die kleinräumigen Heterogenitäten und bodenphysikalischen Besonderheiten der Stadtböden Hamburgs jedoch nicht genauer abzubilden, so dass die beschriebene Datenaufbereitung als gangbarer Weg erscheint, um flächendeckende und einheitliche Werte für bodenhydrologische Parameter zu erhalten.

Pflanzenverfügbare Bodenwassermenge

Die Ableitung von pflanzenverfügbaren Bodenwassermengen beruht ebenfalls auf den bereits genannten Bodenkarten. Die BÜK 50 für Niedersachsen beinhaltet für die Haupt-Landnutzungstypen Acker, Grünland und Forst berechnete Bodenwassermengen, die auch für die Berechnung der Grundwasserneubildung in Niedersachsen genutzt wurden (Dörhöfer et al. 2001). Durch eine Verschneidung der drei Einzelmuster mit der Landnutzungskarte erhält man einen an die realen Landnutzungsverhältnisse angepassten Datensatz der pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge.

Da die schleswig-holsteinische Bodenübersichtskarte BÜK 200 (BGR) keine Angaben zu pflanzenverfügbaren Bodenwassermengen macht, mussten für diesen Teil der Metropolregion Werte berechnet werden. Den 97 verschiedenen Bodenformen wurden zunächst Mittelwerte für Bodenart, Lagerungsdichte, Humusgehalt und Grundwasserstand nach den Angaben in der Profildatenbank gebildet. Anschließend konnten die nutzbare Feldkapazität und die effektive Durchwurzelungstiefe für die drei Haupt-Landnutzungstypen gemäß den einschlägigen Verknüpfungsregeln der Methodendokumentation Bodenkunde (BGR u. SGD 2000) berechnet werden. Die ebenfalls nach der Methodendokumentation berechnete kapillare Aufstiegshöhe erbrachte besonders bei Grünlandnutzung deutlich überhöhte Werte, so dass in Anlehnung an die BÜK 50 von Niedersachsen Marschen, Gleyen und Auenböden kapillare Aufstiegshöhen zwischen 10 und 80 mm in Abhängigkeit des Flurabstandes zugewiesen wurden.

Auch für Hamburger Böden wurde die pflanzenverfügbare Bodenwassermenge in derselben Weise berechnet, wie es für Schleswig-Holstein beschrieben wurde. Fehlende Informationen, z.B. zum Humusgehalt oder zur Lagerungsdichte, wurden anhand der Arbeitskarte der Bodentypen in Analogie zu Schleswig-Holstein bzw. Niedersachsen geschätzt.

Für Mecklenburg-Vorpommern konnten der BÜK 1000 die benötigten Eingangsgrößen für die Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums nach den Verknüpfungsregeln der Methodendokumentation Bodenkunde entnommen werden. Angaben zur kapillaren Aufstiegshöhe werden in der BÜK 1000 ebenfalls gemacht.

Die pflanzenverfügbare Bodenwassermenge in der Metropolregion Hamburg variiert zwischen weniger als 50 mm und mehr als 250 mm. In der nie-

dersächsischen Geest und dem schleswig-holsteinischen Altmoränengebiet beträgt die Bodenwassermenge ca. 50 bis 125 mm, kann in Auen aber bis 250 mm ansteigen. Das Jungmoränengebiet mit seinen lehmigeren Böden hebt sich durch Bodenwassermengen von überwiegend 150-200 mm deutlich davon ab.

Durchzogen wird das Kartenbild von den ca. 10-20 km breiten Marschen, die sich durch großflächiges Auftreten von hohen pflanzenverfügbaren Bodenwassermengen über 200 mm auszeichnen. Außerhalb von Marschen und Auen treten Bodenwassermengen dieser Größenordnung v.a. im Sandlößgebiet der Harburger Berge auf.

Grundwasserflurabstände

Für die Karte der Grundwasserflurabstände wurden zusätzlich zu den bereits genannten Grundlagen auch die Daten zu Flurabständen und Grundwassergleichen im Maßstab 1:50.000 des Instituts für Geographie und Wirtschaftsgeographie der Universität Hamburg (Prof. Dr. Grimm, Dr. Paluska) benutzt.

Die Karte unterscheidet zwischen vier Flurabstandsklassen, die in Anlehnung an die Bodenkundliche Kartieranleitung (AG Boden 1994) festgelegt worden sind. Deutlich treten die Marschen sowie die Fluss- und Bachauen mit Flurabständen zwischen 4 und 13 dm in Erscheinung. Hier können vereinzelt auch sehr geringe Flurabstände mit bis zu 4 dm auftreten, die in die Modellierung als sog. grundwassernahe Standorte eingehen. Beispiele finden sich an der Pinnau oberstrom von Pinneberg, an der oberen Alster oder der Krückau und ihren Nebenflüssen. Ursache der niedrigen Flurabstände zwischen Itzehoe und Elmshorn sind ausgedehnte Moore, u.a. das Breitenburger Moor.

Staunässe

Die BÜK 50 für Niedersachsen benennt Staunässestufen, die auch für die Berechnung der Grundwasserneubildung in Niedersachsen genutzt wurden (Dörhöfer et al. 2001). Da die schleswig-holsteinische Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:200.000 (BGR) keine Staunässestufen ausweist, mussten sie für diesen Teil der Metropolregion geschätzt werden. Dies erfolgte auf-

grund der Hinweise von Fachkollegen (schriftl. Mitt. Hr. Burbaum, Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein) und von Literaturangaben. So wurden für Pseudogleye und Moore schwach bis mittel vernässte Zustände, für Übergangstypen zu nicht hydromorphen Bodentypen sehr schwach vernässte Zustände angenommen.

Die Staunässebeeinflussung der Hamburger Böden musste ebenfalls abgeschätzt werden. Gestützt auf die Arbeitskarten der Quartärgeologie und der Bodentypen in der Metropolregion wurden den Hamburger Böden Staunässestufen in Anlehnung an benachbarte niedersächsische Verhältnisse und unter vergleichbaren Annahmen wie für Schleswig-Holstein (s.o.) zugeordnet. Für Mecklenburg-Vorpommern konnten der BÜK 1000 Angaben zur Staunässe entnommen werden.

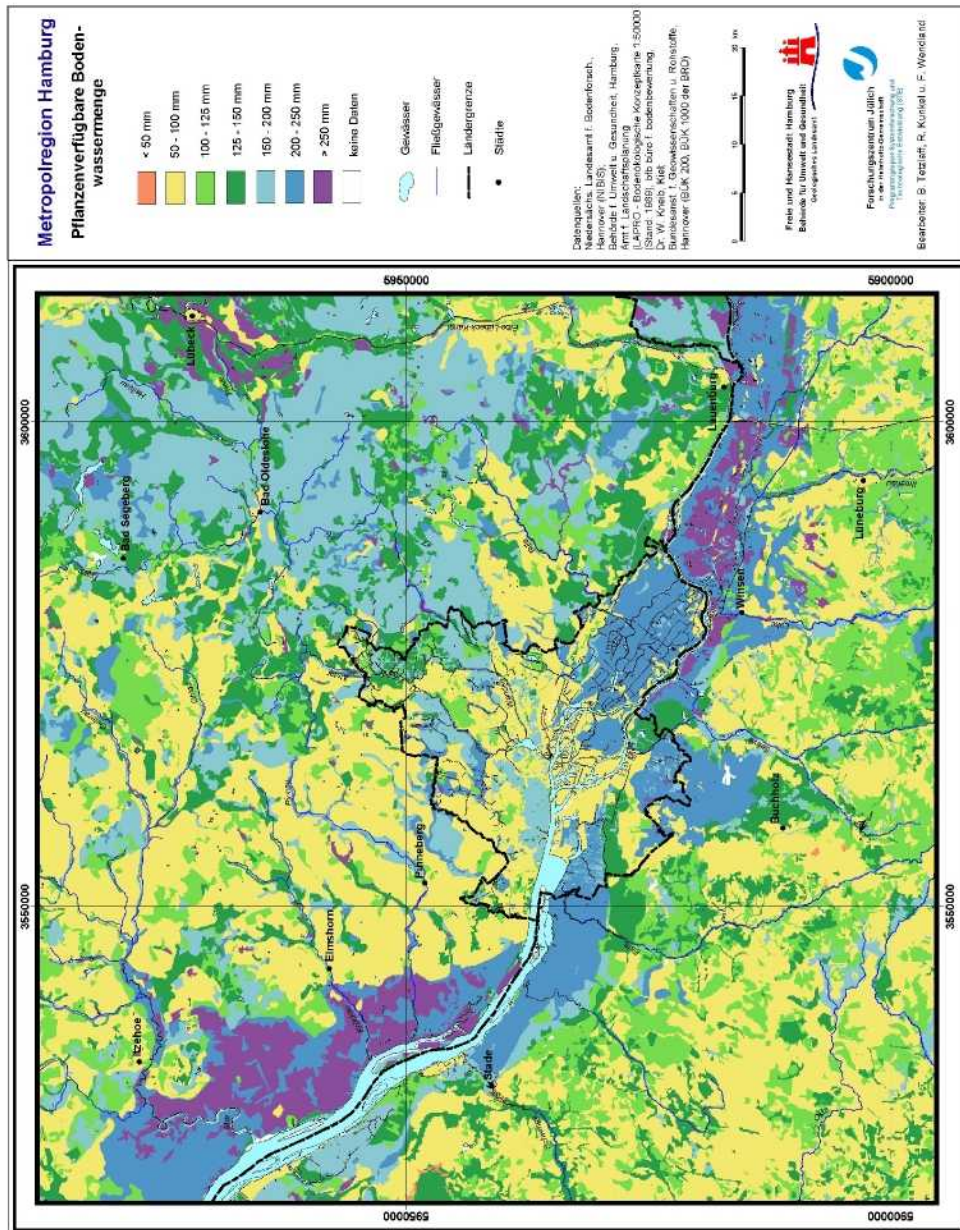
Aus der Karte der Staunässestufen ist zu entnehmen, dass Staunässe großräumig in den Marschen und v.a. im stärker lehmigen Jungmoränengebiet zwischen Trave und Elbe-Lübeck-Kanal auftritt. Weitere Vorkommen in Hochlagen gibt es darüber hinaus noch auf Pseudogleyen zwischen Schwinge und Seeve in Niedersachsen. Ansonsten sind staunasse Böden auf vermoorte und vergleyte Niederungsbereiche beschränkt, wo im Vergleich zu den Hochlagen auch stärkere Vernässung gegeben ist.

Dränierte Flächen

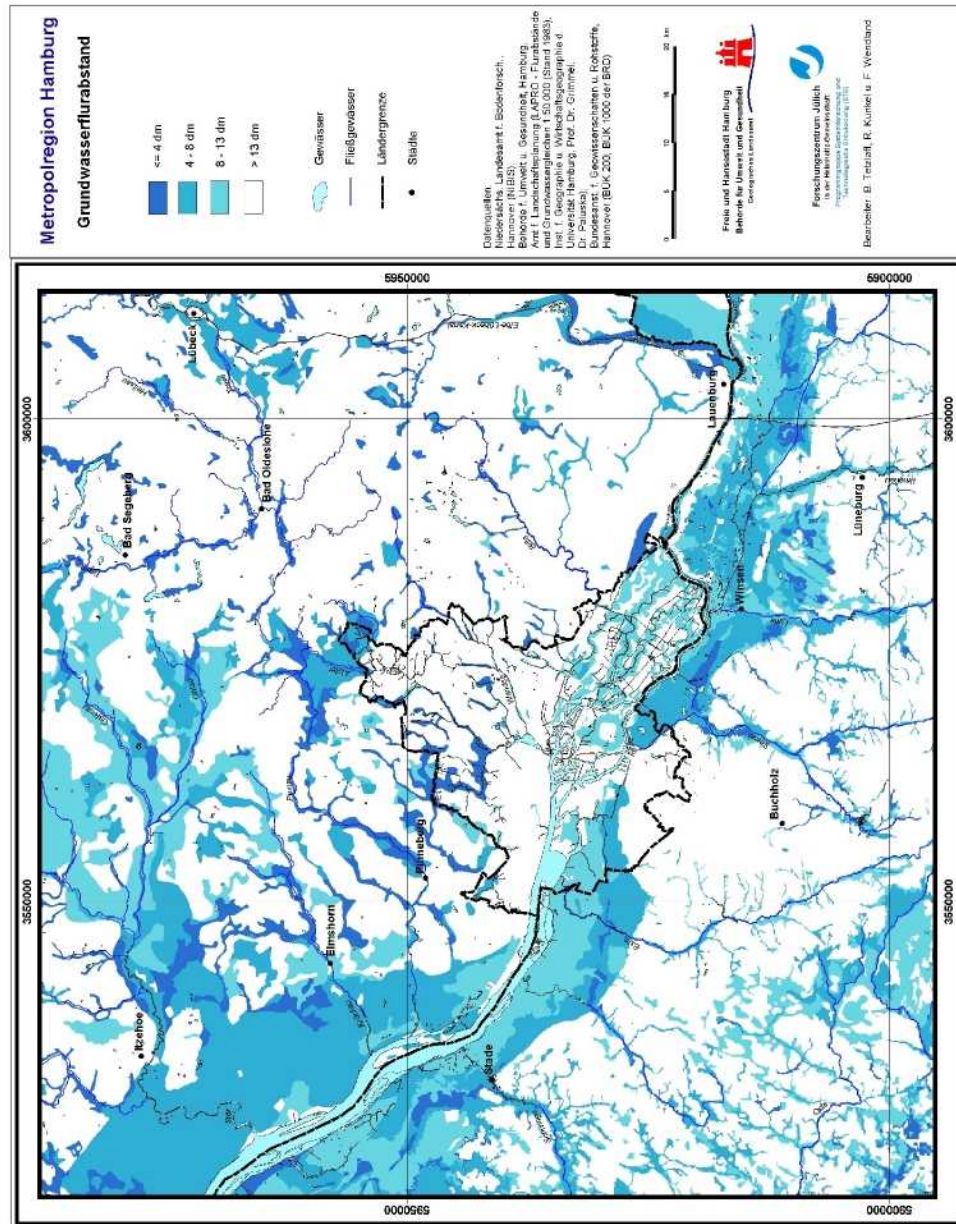
Gedrante Flächen sind in der Karte „Künstlich entwässerte Flächen“ abgebildet. Grundlage der Ausgliederung waren für Entwässerungsmaßnahmen typische Muster in den zur Verfügung stehenden Gewässernetzen (Tab. 4) sowie der Abgleich der dadurch erhaltenen Flächen mit Bodenkarten. Hierdurch konnte sichergestellt werden, dass nur die Flächen verwendet werden, die aus bodenkundlich-landwirtschaftlicher Sicht tatsächlich dränbedürftig sind.

Als Gewässernetz wurden das ATKIS DLM 25 für Niedersachsen, die Gewässerflächen der BÜK 200 von Schleswig-Holstein sowie Gewässerflächen der Stadtkarte Hamburg und Gewässerläufe, die in einem Gutachten des Büros Prof. Stolpe dokumentiert worden sind, herangezogen. Diese Grundlagen wurden kombiniert mit dem Gewässernetz des DLM 1000 (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt), das für die Marschen teil-

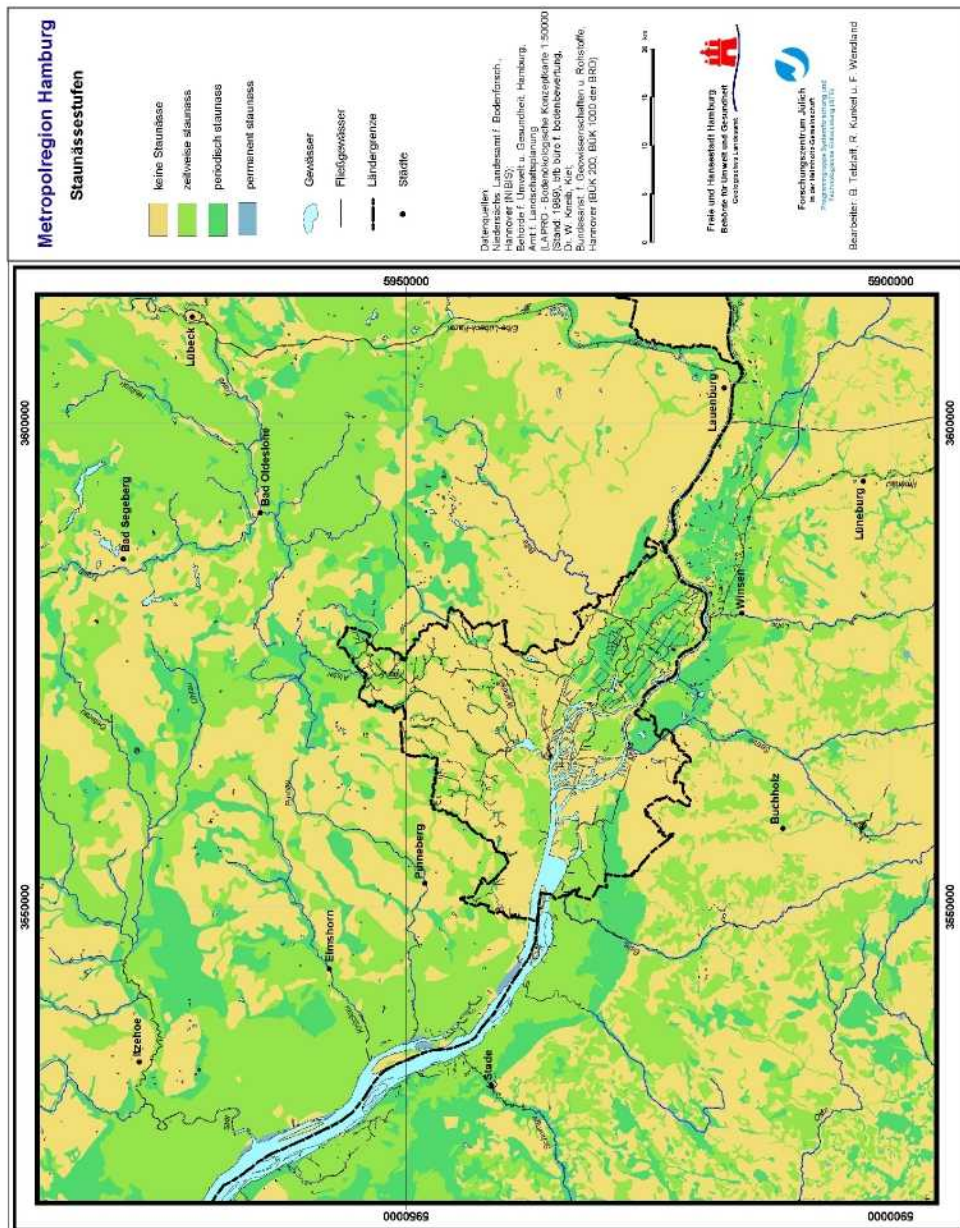
weise eine detailliertere Basis bildet als die vorgenannten Daten. Zusätzlich wurde für Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern ein Abgleich der aus den Datengrundlagen abgeleiteten Flächen mit der Topographischen Karte TK 50 vorgenommen (Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein 2001). Hierdurch wurde deutlich, dass 16 größere Dränflächen, die aus der TK 50 eindeutig hervorgehen, nicht durch die beschriebene Ableitung im GIS gewonnen werden konnten, sondern durch Digitalisierungen der TK 50 zusätzlich implementiert werden mussten, z.B. Himmelmoor westlich Quickborn, Holmer Moor.



Karte der pflanzenverfügbaren Bodenwassermenge



Karte des Grundwasser-Flurabstands



Karte der Staunässegefährdung

3.5 Hydrogeologische Gesteinseinheiten

Für die Karte der hydrogeologischen Gesteinseinheiten wurden aus den verschiedenen geologischen und pedologischen Datensätzen diejenigen Gesteine selektiert, deren geringe hydraulische Durchlässigkeit eine Verringerung der natürlichen Versickerung erwarten lässt. Dieser Einfluss lässt dann andere Standortfaktoren wie Grundwasserflurabstand oder Hangneigung in den Hintergrund treten.

Für Niedersachsen wurden die benötigten Flächen der digitalen Geologischen Karte 1:500.000 entnommen, die durch das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung herausgegeben wird. Die ausgewählten Flächen tragen die Bezeichnungen „Grundmoräne jüngerer Drenthe“, „Hauptgrundmoräne (Drenthe)“, „Grundmoräne (Warthe)“, „Beckenablagerungen mit Lauenburger Ton (Elster)“ und „Beckenschluff, -ton (Saale)“.

Das Gebiet Mecklenburg-Vorpommerns wird durch vergleichbare Daten aus der Hydrogeologischen Karte der Bundesrepublik Deutschland abgedeckt, die dem Hydrologischen Atlas (Liebscher u. Keller 1979) entstammt.

Die BÜK 200 von Schleswig-Holstein beinhaltet Informationen über das Ausgangssubstrat der Böden. Die Attribute „Grundmoränenplatten und Endmoränen (Altmoränen)“ sowie „Grundmoränenplatten und überwiegend lehmige Endmoränen“ wurden nach einer Korrektur, die Bodenformen mit hoher Durchlässigkeit, v.a. auf weichselzeitlichen Sandern, betrifft, für die Kartendarstellung herangezogen. Zusätzlich wurden die Ergebnisse dieser Selektion mit der Karte der „Hydrogeologie von Schleswig-Holstein“ von Johannsen (1980) abgeglichen, die Angaben zur Durchlässigkeit der quaritären Gesteine enthält.

Für Hamburg stehen die benötigten Informationen in der Geologischen Übersichtskarte 1:50.000 zur Verfügung, die die auftretenden Lockergesteine nach Genese und Stratigraphie differenziert. Hier wurden saale- und weichselzeitliche „Grundmoräne“ sowie elsterzeitliche und holozäne „tonige Stillwasserablagerungen“ verwendet. Zusätzlich werden die Klassen „Grundmoränenplatten und Endmoränen (Altmoränen)“ sowie „Grundmoränenplatten und überwiegend lehmige Endmoränen“ der BÜK 200 für den Hamburger Norden herangezogen.

Das Ergebnis der Aggregierung der hydrogeologischen Daten ist in der Karte der „hydrogeologischen Gesteinseinheiten mit geringer Durchlässigkeit“ dargestellt.

keit (ohne Marschen)“ zu sehen. Sie zeigt eine deutliche Zweiteilung, die stratigraphisch bedingt ist. Im niedersächsischen Teil der Metropolregion, in Hamburg sowie im Süden und Westen Schleswig-Holsteins treten inselartig Reste dichter saalezeitlicher Grundmoräne auf, die durch Marschen, Moore und Sander voneinander getrennt sind. Lediglich in der Gegend um Lüneburg gibt es in stärkerem Maße Vorkommen an schluffig-tonigen Beckenablagerungen der Saaleeiszeit und an elsterzeitlichem Lauenburger Ton. Vergleichsweise flächendeckend sind dagegen die lehmigen Grund- und Endmoränen der Weichseleiszeit, die den nordöstlichen Teil der Metropolregion einnehmen.

Die Marschen sind in der Karte nicht enthalten, da sie so gut wie vollständig künstlich entwässert sind und bei der Berechnung der Grundwasserneubildung im Modell GROWA die Abfrage auf entwässerte Flächen vor der auf hydrogeologische Gesteinseinheiten erfolgt (vgl. Karte Künstlich entwässerte Flächen und Abb. 4). Insofern kommt es durch die Nichtberücksichtigung der Marschen in den hydrogeologischen Gesteinseinheiten nicht zu Ungenauigkeiten.

4

Ergebnisse

Die nachfolgenden drei Karten zeigen die Modellergebnisse für die einzelnen Wasserhaushaltskomponenten bezogen auf die hydrologische Periode 1961-90.

4.1 Mittlere reale Verdunstung (1961-90)

Die Ergebnisse für die mittlere reale Verdunstung variieren zwischen weniger als 350 mm/a und etwa 600 mm/a mit einem Mittelwert von 480 mm/a in der Metropolregion. Deutlich treten die versiegelten Flächen mit sehr geringen Verdunstungswerten von unter 350 mm/a im Kartenbild hervor. Die reale Verdunstung nimmt mit zunehmendem Versiegelungsgrad ab, was sich an kleinräumigen Unterschieden im Stadtgebiet von Hamburg zeigt, z.B. werden für den Flughafen Fuhlsbüttel höhere Verdunstungswerte berechnet als für sein stärker versiegeltes Umfeld. Das Gleiche gilt für die gegenüber ihrer Umgebung geringer versiegelten Stadtteile Othmarschen und Groß Flottbek.

Die mittleren Verdunstungswerte zwischen 400 und 500 mm/a treten weit verbreitet in der Geest bei Acker- oder Grünlandnutzung auf, während hohe Verdunstungswerte v.a. für grundwassernahe Standorte, Grünlandflächen in der Marsch und in Niederungen des Stör-Einzugsgebiets sowie für bewaldete Flächen auf der Geest berechnet werden (siehe Karten der realen Verdunstung und der Landnutzungsklassen).

4.2 Mittlerer Gesamtabfluss (1961-90)

Durch Bildung der Differenz zwischen Gesamtniederschlag und realer Verdunstung wird der mittlere Gesamtabfluss für die Metropolregion bestimmt (Karte Mittlerer Gesamtabfluss). Er beträgt im Mittel 280 mm/a, steigt aber bis auf ca. 660 mm/a an, was v.a. auf niederschlagsreiche Areale mit einem Versiegelungsgrad über 50 % zutrifft, z.B. in Hamburg. Wegen der von West nach Ost abnehmenden Gesamtniederschlagshöhe tritt weiter östlich sehr hoher Gesamtabfluss nur noch auf Flächen mit einem erheblich höheren Versiegelungsgrad von mehr als 80 %, z.B. in Lübeck und Lüneburg (vgl. Karte der Landnutzungsklassen). Die enge Korrelation zwischen Gesamtabfluss- und Niederschlagshöhe wird jedoch auch auf unversiegelten Flächen sichtbar: Nördlich von Itzehoe und am Hülsenberg nördlich von Buchholz in der Nordheide fallen die meisten Niederschläge und gleichzeitig treten hier

mit ca. 300 – 400 mm/a überdurchschnittliche Gesamtabflüsse auf. In der Elbmarsch südöstlich von Hamburg ist es genau umgekehrt. Hier lassen sich auch die niedrigsten Werte der Metropolregion finden: In der Elbmarsch südlich von Lauenburg tritt in einem Gebiet mit niedrigen Grundwasserflurabständen Zehrung auf, d.h. die reale Verdunstung übersteigt den Niederschlag.

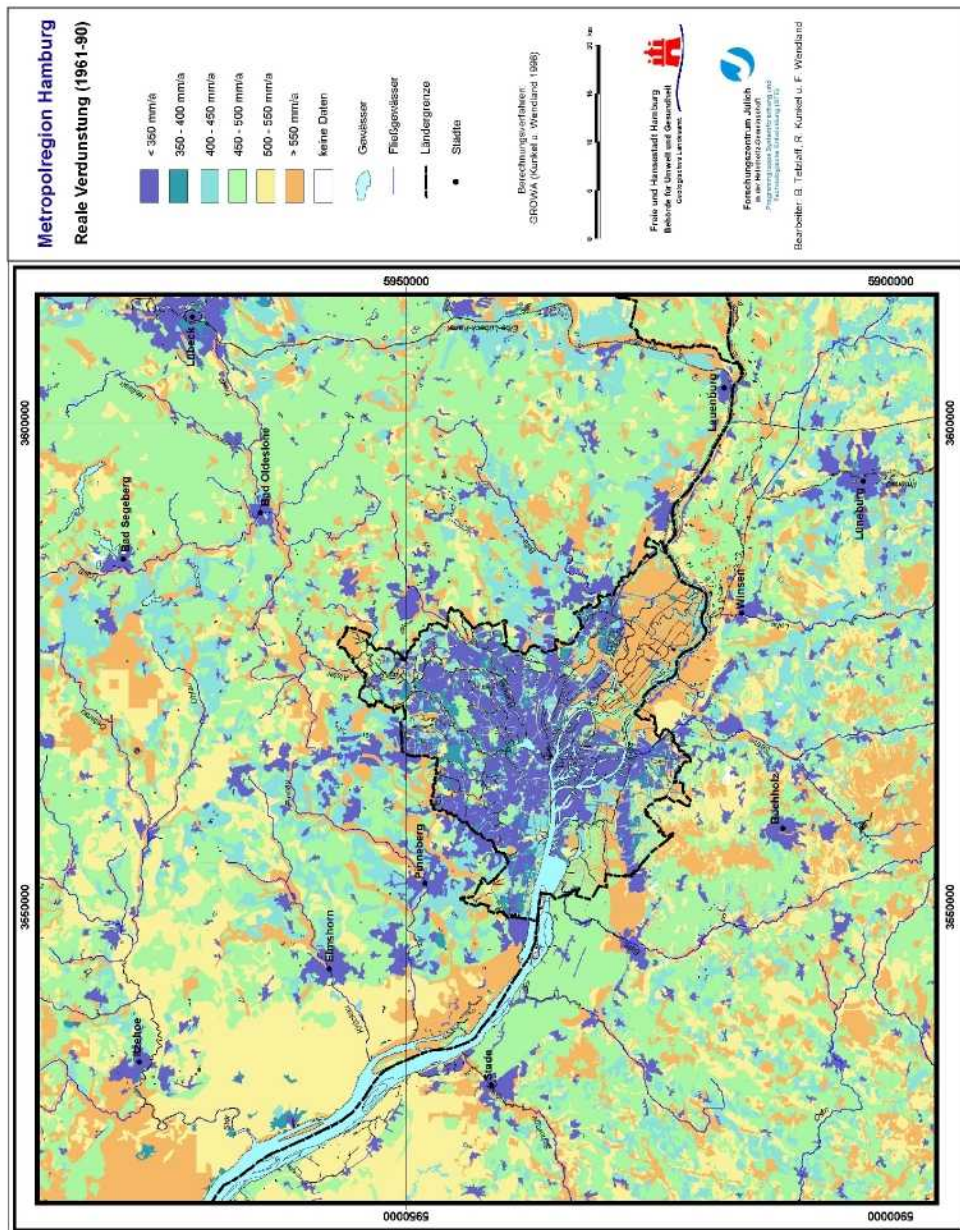
4.3 Mittlere Zusickerung zum Grundwasser (1961-90)

Die mittlere natürliche Zusickerung zum Grundwasser schwankt in der Metropolregion zwischen Zehrung und Werten über 300 mm/a bei einem Mittelwert von ca. 150 mm/a. Über die Zehrgebiete gilt das im vorangegangenen Unterkapitel Gesagte. Niedrige Werte zwischen weniger als 25 mm/a und 50 mm/a treten in der Marsch als Folge der großflächigen und intensiven Dränung landwirtschaftlicher Nutzfläche auf, vgl. Karte Künstlich entwässerte Flächen. Dasselbe gilt auch für einige auf der Geest Schleswig-Holsteins liegende Moorflächen, die als Folge von landwirtschaftlicher Inkulturnahme oder Torfabbau dräniert worden sind. Für den Großteil der Metropolregion werden 150-200 mm Zusickerung pro Jahr berechnet, v.a. für lehmige Standorte mit relativ hohen Jahresniederschlägen, z.B. auf der Stader Geest und zwischen Hamburg und Bad Oldeslohe. Auf durchlässigerem Untergrund kommt es bei vergleichbar hohen Niederschlägen zu weit höherer Grundwasserneubildung (> 250 mm/a), z.B. auf den Sanderflächen zwischen Pinneberg und dem nördlichen Rand des Modellgebietes oder im Schlauchsander der Bille. Die trotz relativ durchlässigem Untergrund durchschnittlichen Werte für Teile des Lübecker Beckens und der Lüneburger Heide erklären sich v.a. durch die geringeren Niederschläge.

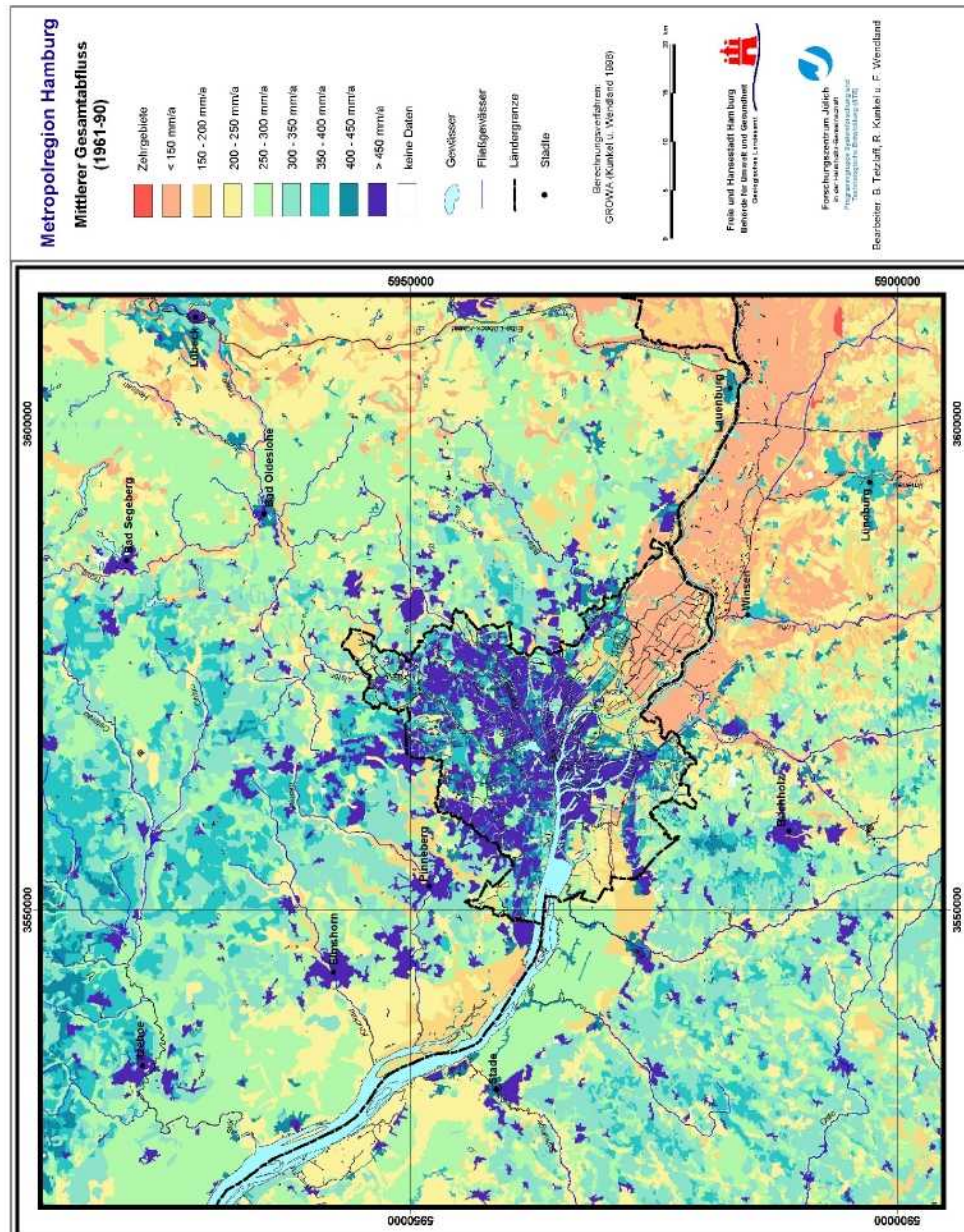
Die Grundwasserneubildung im Stadtgebiet Hamburg nimmt vom Zentrum (ca. 60-75 mm/a) zu den Außenbezirken (i.W. 180-250 mm) hin zu (Karte Mittlere Zusickerung zum Grundwasser). Hierbei lässt sich eine enge Korrelation mit dem zum Stadtrand hin abnehmenden Versiegelungsgrad feststellen, womit steigende Anteile der Grundwasserneubildung am Gesamtabfluss einher gehen. Die niedrigsten Grundwasserneubildungsraten werden jedoch nicht für die Flächen mit höchsten Versiegelungsgraden (Hafengebiete) sondern für die Marschen berechnet (< 25 mm/a). Die Gebiete mit der höchsten Grundwasserneubildung (> 250 mm/a) sind in Ohlsdorf,

Langenhorn, Lemsahl-Mellingstedt, Öjendorf, Sülldorf sowie Rissen zu finden, wo sehr geringe Versiegelungsgrade in Verbindung mit flachem, grundwasserfernem Gelände auftreten.

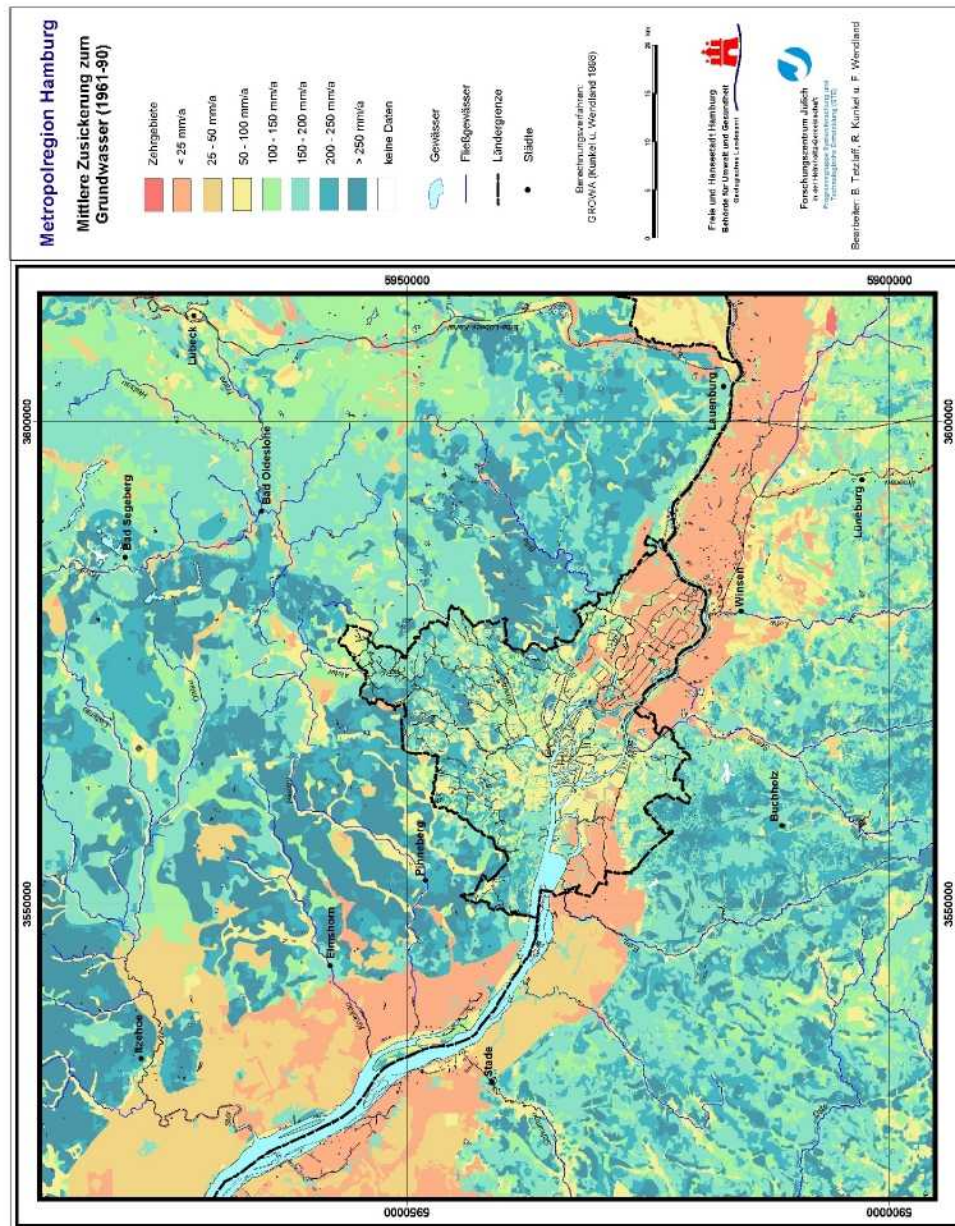
Der Anteil Mecklenburg-Vorpommerns an der Metropolregion hebt sich mit Grundwasserneubildungshöhen von i.W. 50-100 mm/a markant vom schleswig-holsteinischen Umland ab. Diese Unterschiede beruhen auf der geringeren räumlichen wie attributiven Auflösung der für Mecklenburg-Vorpommern zur Verfügung stehenden Bodendaten (BÜK 1000).



Karte der mittleren realen Verdunstung (1961-90)



Karte des mittleren Gesamtabflusses (1961-90)



Karte der mittleren Grundwasserneubildung (1961-90)

5

Zusammenfassung und Diskussion

Die Staatlichen Geologischen Dienste (SGD) von Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein haben sich Anfang 2001 auf das Kooperationsvorhaben „Hydrogeologische Karte der Metropolregion Hamburg“ geeinigt, das die Erstellung eines grenzüberschreitenden hydrogeologischen Fachinformationssystems zum Ziel hat. Dieses digitale Informationssystem soll flächendeckende Karten der Metropolregion zu verschiedenen hydrogeologischen Themen enthalten, wobei die Kartenerstellung die in den einzelnen Bundesländern vorhandenen Geodaten nutzt und auf Methoden basiert, die einem gemeinsamen Standard der SGD entsprechen. Die Arbeiten zum Aufbau des Informationssystems stehen dabei im Einklang mit der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. Da diese auch eine Beurteilung des quantitativen Zustandes des Grundwassers vorsieht, wird eine Karte der langjährigen mittleren Grundwasserneubildungshöhe benötigt.

Das Forschungszentrum Jülich (Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung) wurde von der Behörde für Umwelt und Gesundheit (Geologisches Landesamt) beauftragt, eine flächendifferenzierte Modellierung der langjährigen mittleren Grundwasserneubildungshöhe (1961-1990) für die Metropolregion Hamburg durchzuführen. Der Auftrag schließt sich an vergleichbare Vorhaben für die Bundesländer Niedersachsen (Dörhöfer et al. 2001) und Hamburg (Tetzlaff et al. 2001) an, bei denen das Wasserhaushaltsmodell GROWA zur Berechnung des langjährigen mittleren Wasserhaushalts und seiner Komponenten bereits eingesetzt worden ist.

Als Eingabedaten benötigt das Modell folgende Datensätze: Niederschlag nach hydrologischen Halbjahren, potenzielle Evapotranspiration, Landnutzung, Versiegelungsgrade, Hangneigung, Exposition, pflanzenverfügbare Bodenwassermenge, hydrogeologische Gesteinseinheiten, dränierte Flächen, Grundwasserflurabstand und Staunäseeinfluss.

Die Auswahl der digitalen Datensätze orientiert sich dabei an den Kriterien ‚geeigneter Maßstab‘, ‚Aktualität‘ sowie ‚digitale Verfügbarkeit für das Geologische Landesamt Hamburg‘, das die Daten bereit gestellt hat. Die Modellierung mittels GROWA erfolgt rasterorientiert, so dass jeder Datensatz einheitlich in Zellen von 25 m x 25 m diskretisiert werden muss, woraus sich eine Zellensumme von 13,8 Mio. pro Datensatz ergibt. Die für makroskalige Modellierungen vergleichsweise sehr hohe Auflösung der Rasterdaten ist eine Folge der hoch aufgelösten Vektor-Datensätze für Hamburg, bei deren

Rasterung der unvermeidliche Informationsverlust möglichst minimiert werden sollte.

Das Modellgebiet „Metropolregion“ wird durch vier Blattschnitte der TK 100 gebildet, so dass ein ca. 8100 km² großes Gebiet abgegrenzt wird, an dem die vier Bundesländer Hamburg, Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern Flächenanteile besitzen. Dies führt zur Heranziehung von bis zu vier verschiedenen Datensätzen zur Erstellung der Modell-Eingabedaten, z.B. bei den Bodendaten. Eine einfache Aggregation der unterschiedlichen Datensätze bei der Datenaufbereitung ergab besonders für die pedologischen, geologischen und die Nutzungsdaten erhebliche räumliche und attributive Heterogenitäten, was entlang der Landesgrenzen besonders deutlich wird. Ursache hierfür sind die verschiedenen Maßstäbe sowie unterschiedliche Objektdefinitionen der herangezogenen Datensätze (z.B. Bodentypen 1:50.000 und Bodenformen 1:200.000). Um die Wertesprünge in den Eingangsdaten zu minimieren, auch hinsichtlich ihres Einflusses auf die Modellergebnisse, müssen für die meisten Datensätze umfangreiche Harmonisierungen vorgenommen werden, woraus einer der Schwerpunkte bei der Projektbearbeitung erwuchs.

Zur Verbesserung der Einheitlichkeit von Bodenparametern in der Metropolregion wurden in einem ersten Schritt flächendeckende Arbeitskarten der Bodentypen und der Quartärgeologie erarbeitet. Auf dieser Grundlage wurden die für Hamburg vorhandenen Bodenarten in Analogie zum Umland in Bodentypen übersetzt und entsprechende Bodenparameter festgesetzt (Staunässe) bzw. nach den einschlägigen Berechnungsvorschriften der Staatlichen Geologischen Dienste berechnet (nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums, kapillare Aufstiegshöhe).

Zwecks Harmonisierung der Landnutzungsklassen wurde zunächst für jeden Nutzungstyp nach dem Arten- und Biotopschutzprogramm bzw. nach Corine Land Cover ein nutzungsspezifischer Versiegelungsgrad abgeleitet, um dann auf dieser Basis und unter Heranziehung der Vegetationszusammensetzung auf der unversiegelten Teilfläche eine Aggregation der Nutzungstypen in Landnutzungsklassen vorzunehmen. Zur stufenlosen Berechnung von Basisabflussanteilen auf Grundlage von Versiegelungsgraden, wurde eine neue Methode entwickelt, die sich auf Ergebnisse einer umfangreichen Literaturrecherche stützt. Die Methodenentwicklung bildete

einen weiteren Schwerpunkt bei der Projektbearbeitung, an deren Ende die Implementierung der entwickelten Methode in das Modell GROWA stand. Die in der beschriebenen Weise aufbereiteten Datensätze wurden dann als Eingangsdaten für die Modellierung des langjährigen mittleren Wasserhaushalts und seiner Komponenten reale Verdunstung, Gesamtabfluss und Zusickerung zum Grundwasser benutzt.

Wie die Ergebniskarte zum langjährigen mittleren Gesamtabfluss in der Metropolregion Hamburg zeigt, beträgt dieser im Mittel 280 mm/a. Vor allem auf niederschlagsreichen Flächen mit einem Versiegelungsgrad über 50 %, steigt er aber bis auf ca. 660 mm/a an, z.B. in Hamburg. Die enge Korrelation zwischen Gesamtabfluss- und Niederschlagshöhe wird jedoch auch auf unversiegelten Flächen sichtbar: Nördlich von Itzehoe und am Hülsenberg nördlich von Buchholz in der Nordheide fallen die meisten Niederschläge und gleichzeitig treten hier mit ca. 300 – 400 mm/a überdurchschnittliche Gesamtabflüsse auf. In der Elbmarsch südöstlich von Hamburg ist es genau umgekehrt. Hier lassen sich auch die niedrigsten Werte der Metropolregion finden: In der Elbmarsch südlich von Lauenburg tritt in einem Gebiet mit niedrigen Grundwasserflurabständen Zehrung auf, d.h. die reale Verdunstung übersteigt den Niederschlag.

Die mittlere natürliche Zusickerung zum Grundwasser schwankt in der Metropolregion zwischen Zehrung und Werten über 300 mm/a bei einem Mittelwert von ca. 150 mm/a. Niedrige Werte zwischen weniger als 25 mm/a und 50 mm/a treten in der Marsch als Folge der großflächigen und intensiven Dränung landwirtschaftlicher Nutzfläche auf. Für den Großteil der Metropolregion werden 150-200 mm Zusickerung pro Jahr berechnet, v.a. für lehmige Standorte mit relativ hohen Jahresniederschlägen, z.B. auf der Stader Geest und zwischen Hamburg und Bad Oldesloe. Auf durchlässigerem Untergrund kommt es bei vergleichbar hohen Niederschlägen zu weit höherer Grundwasserneubildung (> 250 mm/a), z.B. auf den Sanderflächen zwischen Pinneberg und dem nördlichen Rand des Modellgebietes oder im Schlauchsander der Bille. Die trotz relativ durchlässigem Untergrund durchschnittlichen Werte für Teile des Lübecker Beckens und der Lüneburger Heide erklären sich v.a. durch die geringeren Niederschläge. Die Grundwasserneubildung im Stadtgebiet Hamburg nimmt vom Zentrum (ca. 60-75 mm/a) zu den Außenbezirken (i.W. 180-250 mm) hin zu (Karte

Mittlere Zusickerung zum Grundwasser). Hierbei lässt sich eine enge Korrelation mit dem zum Stadtrand hin abnehmenden Versiegelungsgrad feststellen, womit steigende Anteile der Grundwasserneubildung am Gesamtabfluss einher gehen. Die niedrigsten Grundwasserneubildungsraten werden jedoch nicht für die Flächen mit höchsten Versiegelungsgraden (Hafengebiete) sondern für die Marschen berechnet ($< 25 \text{ mm/a}$). Die Gebiete mit der höchsten Grundwasserneubildung ($> 250 \text{ mm/a}$) sind in Ohlsdorf, Langenhorn, Lemsahl-Mellingstedt, Öjendorf, Sülldorf sowie Rissen zu finden, wo sehr geringe Versiegelungsgrade in Verbindung mit flachem, grundwasserfernem Gelände auftreten.

Wie die Ergebniskarten zeigen, sind konnten die Wertesprünge entlang der Landesgrenze durch die Harmonisierungsmaßnahmen deutlich verringert werden. Lediglich an der Grenze zwischen Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern treten großflächig Differenzen auf, die auf die Verwendung der räumlich wesentlich geringer aufgelösten BÜK 1000 für Mecklenburg-Vorpommern zurück gehen und unvermeidbar sind. Der Anteil Mecklenburg-Vorpommerns am Modellgebiet beträgt jedoch weniger als 1 Prozent.

Eine Validitätsüberprüfung der modellierten Ergebnisse anhand von Pegel-daten war aus mehreren Gründen nicht möglich. Pegeldaten sind für solche Überprüfungen nur dann verwendbar, wenn das pegelbezogene Einzugsgebiet vollständig Teil des Modellgebietes ist. Die Abgrenzung der Metropolregion Hamburg anhand administrativer Grenzen bzw. anhand von Kartenblättern verringert deshalb die Zahl der in Frage kommenden Messpegel, für die Daten der Jahresreihe 1961-90 zur Verfügung stehen. Darüber hinaus lassen der weit reichende Tideeinfluss und die urbane Überprägung eines großen Teils des Modellgebiets keine zuverlässige Berechnung von gewässerkundlichen Hauptzahlen aus den Pegeldaten zu.

Grundwasservorkommen in Ballungsgebieten sind gekennzeichnet durch oftmals für die Trinkwasserversorgung der städtischen Bevölkerung nicht ausreichende Quantitäten sowie deutliche anthropogene Beeinträchtigungen der Grundwassergüte, so dass eine Bedarfsdeckung aus ortsnahen Vorkommen erschwert wird. In besonderem Maße trifft dies auf die Metro-

polregion Hamburg zu (Taughs 2002). Eine zukunftsfähige und nachhaltige Bewirtschaftung der Grundwasserressourcen verlangt nach Indikatoren, mit denen die Nutzungsintensität von Aquiferen bewertet werden kann. Als ein solcher Indikator kann die langjährige mittlere Grundwasserneubildung für die Metropolregion Hamburg angesehen werden, die in Verbindung mit Entnahmedaten Einschätzungen des quantitativen Grundwasserzustands erlaubt. Auf dieser Grundlage lassen sich Übernutzungen von Aquiferen erkennen und bewerten, um so Schädigungen des Wasserhaushalts vorzubeugen oder sie zu verringern.

6

Literatur

- AG Boden (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung.- 4. Aufl., Berichtigter Nachdruck 1996, Hannover.
- ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg., 2002): Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden.- ATV-DVWK-Regelwerk, Merkblatt, M 504, Hennef, 144 S.
- Bädjer, N. u. Burghardt, W. (1999): Einfluss der Porensysteme skelettreicher Stadt- und Industrieböden auf die Regenwasserversickerung.- In: Bundverband Boden e.V. (Hrsg.): Regenwasserversickerung und Bodenschutz.- BVB Mat. 2, 31-43.
- Berlekamp, L.-R. (1987): Bodenversiegelung als Faktor der Grundwasserneubildung.- Landsch. u. Stadt, Bd. 19, H. 3, S. 129-136.
- Berlekamp, L.-R. u. Pranzas, N. (1986): Methode zur Erfassung der Bodenversiegelung von städtischen Wohngebieten.- Nat. Landsch., Jg. 61, H. 3, S. 92-95.
- Boess, J., U. Müller u. J. Sbresny (1997): Erläuterungsheft zur digitalen Bodenkundlichen Übersichtskarte 1 : 50.000 (BÜK 50) von Niedersachsen.- Hannover.
- Bogena, H., Kunkel, R., Schöbel, T., Schrey, H.P. u. Wendland, F. (2003): Die Grundwasserneubildung in Nordrhein-Westfalen.- R. Umwelt/Environment, Bd. 37, Jülich, 148 S.
- Borgwardt, S. (1993): Versickerung auf durchlässig befestigten Oberflächen.- Wasser Boden, Jg. 45, H. 1, S. 38-41.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe u. Staatliche Geologische Dienste (Hrsg. 2000): Methodendokumentation Bodenkunde, Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden.- 2. Aufl., Geol. Jb., Sonderh., Reihe G, H. SG 1.
- Büro Prof. Stolpe (1995): Gutachten - Dokumentation und Auswertung hydrogeologischer / wasserwirtschaftlicher Daten - Untersuchungsgebiet Hafen (Stand 1992).
- Dörhöfer, G. u. V. Josopait (1980): Eine Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Grundwasserneubildungsrate.- Geol. Jb., C 27, S. 45-65.
- Dörhöfer, G., Kunkel, R., Tetzlaff, B. u. Wendland, F. (2001): Der natürliche Grundwasserhaushalt von Niedersachsen.- Arbeitshefte Wasser, Bd. 1/2001, S. 109-167.
- Dorn, M., Nommensen, B. u. Taughs, R. (2001): Hydrogeologische Karte der Metropolregion Hamburg – ein gemeinsames Projekt der Staatlichen Geologischen Dienste Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein.- Arbeitshefte Wasser, Bd. 1/2001, S. 93-97.
- DVWK, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (Hrsg., 1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen.- (=Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Bd. 238), Bonn.
- Ehlers, J. (1994): Allgemeine und historische Quartärgeologie.- Stuttgart.

- Einsele, G. u. Schulz, H. D. (1973): Über den Grundwasserhaushalt im norddeutschen Flachland - Teil I: Grundwasserneubildung bewaldeter und waldfreier Sanderflächen Schleswig-Holsteins. Bes. Mitt. z. Dtsch. Gewässerkundl. Jb., Nr. 36, S. 9-74.
- Fachbereich Bodenkunde des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung (1997): Böden in Niedersachsen, Teil 1: Bodeneigenschaften, Bodennutzung und Bodenschutz, Niedersächsisches Bodeninformationssystem NIBIS.- Hannover.
- Glugla, G., Goedecke, M., Wessolek, G. u. Fürtig, G. (1999): Langjährige Abflußbildung und Wasserhaushalt im urbanen Gebiet Berlin.- Wasserwirtsch., Bd. 89, H. 1 S. 34-42.
- Golf, W. (1981): Ermittlung der Wasserressourcen im Mittelgebirge.- WWT, Bd. 31, H. 3, S. 93-95.
- Grossmann, J. (1997a): Modell zur Berechnung der Grundwasserneubildung im Großraum Hamburg.- Fachl. Ber. Hamburger Wasserwerke GmbH, H. 1/97, S. 38-48.
- Grossmann, J. (1997b): Vergleich von Verfahren zur Berechnung der Grundwasserneubildung für große Einzugsgebiete.- gwf, Bd. 138, H. 6, S. 296-303.
- Hennings, V. (1994): Methodendokumentation Bodenkunde, Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden.- (=Geol. Jb., Reihe F, H. 31), Hannover.
- HWK, Hamburger Wasserwerke GmbH (Hrsg. 2003a): Unser Trinkwasser – Wasserversorgung in Hamburg.- 5. Aufl., Hamburg.
- HWK, Hamburger Wasserwerke GmbH (Hrsg. 2003b): Geschäftsbericht 2002.- Hamburg.
- Johannsen, A. (1980): Hydrogeologie von Schleswig-Holstein.- Geol. Jahrb., Reihe C, 28, S. 3-586.
- Köthe, R., J. Böhner u. A. Ringeler (1997): Weiterentwicklung des Programmsystems SARA und SADO zur Regionalisierung bodenkundlich relevanter Geofaktoren.- Fachwiss. Expertise z. Vertrag Nr. 2-713557 v. 17.9.1997 zw. BGR u. Uni Göttingen, unveröff., Göttingen.
- Kofalk, S. (1998): Einfluss von Bodenvariabilität und Relief auf Wasserhaushalt und Stickstoffgehalte eines Grundmoränenstandortes.- Diss. TU Berlin, Inst. f. Ökologie, Bodenökologie u. Bodengenese, Bd. 29.
- Kunkel, R. u. F. Wendland (1998): Der Landschaftswasserhaushalt im Flußbeinzugsgebiet der Elbe – Verfahren, Datengrundlagen und Bilanzgrößen.- (=Schr. d. FZJ, Reihe Umwelt / Environment, Bd. 12), Jülich.
- Kunkel, R. u. Wendland, F. (2002): The GROWA model for water balance analysis in large river basins – the river Elbe case study.- Journal of Hydrology, 259, S. 152-162.
- Landesvermessungsamt Schleswig-Holstein (Hrsg. 2001): Amtliche Topographische Karten, Top50, Version 3.0.- Kiel.

- Lerner, D. N. (1990): Groundwater recharge in urban areas.- Atmos. Environm., 24 B, S. 29-33.
- Liebscher, H.-J. u. R. Keller (1979): Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland.- Kartenband, Boppard.
- Meßer, J. (1997): Auswirkungen der Urbanisierung auf die Grundwasser-Neubildung im Ruhrgebiet unter besonderer Berücksichtigung der Castroper Hochfläche und des Stadtgebietes Herne.- DMT-Ber. Forsch. u. Entw., Bd. 58, Bochum, 235 S.
- Meyer, T. u. Tesmer, M. (2000): Ermittlung der flächendifferenzierten Grundwasserneubildungsrate in Südost-Holstein nach verschiedenen Verfahren unter Verwendung eines Geoinformationssystems.- Diss. FU Berlin, Fachber. Geowiss., 201 S.
- MU, Niedersächsisches Umweltministerium (Hrsg., o.J. d): Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Untere Elbe.- Hannover.
- Müller, W., Benecke, P. u. Renger, M. (1970): 2. Bodenphysikalische Kennwerte wichtiger Böden, Erfassungsmethodik, Klasseneinteilung und kartographische Darstellung.- Beihefte z. Geol. Jahrb., Bodenkundl. Beitr., 99/2, S. 13-70.
- Müller, L., R. Dannowski, U. Schindler, F. Eulenstein u. R. Meissner (1996): Gebietsabflüsse aus Agrarlandschaften Nordost- und Mitteldeutschlands.- Arch. Acker- Pfl. Boden, Bd. 40, S. 345-362.
- Münchow, B. (1999): Bodenbeanspruchung durch Versiegelungsmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der Wasserdurchlässigkeit und der bodenbiologischen Aktivität.- Diss. Univ. Trier, Fachbereich VI, UFZ-Ber. 4/1999.
- NLfB, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (Hrsg., 1991): Geowissenschaftliche Karte des Naturraumpotentials von Niedersachsen und Bremen 1:300.000.- Blatt Grundwasser – Grundlagen, Hannover.
- Otto, R. (1997): Untersuchungsprogramm zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebotes im schleswig-holsteinischen Nachbarraum zu Hamburg, Südost-Holstein.- Kiel, 136 S.
- Otto, R. (2001): Untersuchungsprogramm zur Ermittlung des nutzbaren Grundwasserdargebotes im schleswig-holsteinischen Nachbarraum zu Hamburg, Südwest-Holstein.- Flintbek, 83 S.
- Pranzas, N. (1995): Beeinflussung des urbanen Wasserhaushalts durch Bodenversiegelung.- KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall, Jg. 42, H. 2, S. 242-247.
- Preuß, E. F. (1978): Untersuchungen über die Einflüsse der Verstädterung auf den Wasserhaushalt des Bille-Gebietes mit Hilfe des USDAHL-Modells.- Z. Kulturtechn. Flurberein., Bd. 19, S. 216-225.
- Renger, M. (1992): Bestimmung der Bodenwasserhaushaltskomponenten.- (=DVGW-Schriftenreihe Wasser, Nr. 72), S. 283-298.

- Renger, M. u. G. Wessolek (1990): Auswirkungen von Grundwasserabsenkung und Nutzungsänderung auf die Grundwasserneubildung.- In: Inst. f. Wasserwesen d. Uni d. Bundeswehr München (Hrsg., 1990): Folgen anthropogener Einflüsse auf den Wasserhaushalt und die Wasserbewirtschaftung.- 5. Wissenschaftl. Tagung „Hydrologie und Wasserwirtschaft“, 2.-4. April 1990 in Neubiberg b. München, Bd. 38 b, Neubiberg, S. 295-305.
- Renger, M. u. O. Strebel (1980): Jährliche Grundwasserneubildung in Abhängigkeit von Bodennutzung und Bodeneigenschaften.- Wasser u. Boden, Bd. 32, H. 8, S. 362-366.
- Renger, M. u. O. Strebel (1983): Einfluß des Grundwasserflurabstandes auf Grundwasserneubildung, Evapotranspiration und Pflanzenertrag.- Z. dt. geol. Ges., Bd. 134, S. 669-678.
- Rijtema, P.E. (1968): On the relation between transpiration, soil physical properties and crop production as a basis for water supply plants.- (=Techn. Bull. Inst. Land and Water Management Research, 58), Wageningen.
- Schemschat, B. (1996): Stadtbodenkartierung Hamburg.- In: Arbeitskreis Stadtböden der Deutsch. Bodenkundl. Ges. (Hrsg. 1996): Urbaner Bodenschutz.- Berlin, Heidelberg u. New York, S. 121-127.
- Schlichting, E. (1960): Typische Böden Schleswig-Holsteins.- Schr.-R. Landwirtsch. Fak. Univ. Kiel, Inst. f. Pflanzenern. u. Bodenkunde, H. 29, Kiel, 140 S.
- Schoss, H.-D. (1977): Die Bestimmung des Versiegelungsfaktors nach Meßtischblatt-Signaturen.- Wasser Boden, Jg. 5, S. 138-140.
- Statistisches Bundesamt (Hrsg., 1996): Datenerhebungsanleitung CORINE Land Cover (CLC).- Stand 1.9.1996, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (Hrsg., 1997): Daten zur Bodenbedeckung für die Bundesrepublik Deutschland.- CD-ROM, Wiesbaden.
- Taug, R. (2002): Wasserversorgung und Gewässerschutz als kommunale Aufgabe-ein anspruchsvolles Tätigkeitsfeld für Geologen.- Akad. Geowiss. Hannover, Veröffentl., Bd. 21, S. 17-24.
- Taug, R. u. Moosmann, L. (1999): Grundwasser in Hamburg – ein kostbares Gut im Modell.- geospektrum 1/99, S. 20-23.
- Tetzlaff, B., Kunkel, R. u. Wendland, F. (2001): GIS-gestützte Ermittlung der Grundwasserneubildung in der Freien und Hansestadt Hamburg. unveröff. Endbericht zum Forschungsprojekt, Jülich, 37 S.
- UB, Umweltbehörde Hamburg (Hrsg. 1997): Umweltatlas Hamburg 1997.- 244 S.
- Udluft, P., Merkel, B. u. Nemeth, G. (1983): Einfluß urbaner Besiedlung auf Quantität und Qualität der Grundwasserneubildung im Bereich quartärer Karbonatschotter.- Z. Dtsch. Geol. Ges., Bd. 134, S. 621-639.

- Wendling, U. (1995): Berechnung der Gras-Referenzverdunstung mit der FAO Penman-Monteith-Beziehung.- Wasserwirtschaft, Bd. 85, H. 12, S. 602-604.
- Wessolek, G. (1989): Einsatz von Wasserhaushalts- und Photosynthesemodellen in der Ökosystemanalyse.- (=Landschaftsentw. u. Umweltforsch., Nr. 61), FB Landschaftsentw., TU Berlin.
- Wessolek, G. u. M. Facklam (1997): Standorteigenschaften und Wasserhaushalt von versiegelten Flächen.- Z. Pflanzenernähr. Bodenk., Bd. 160, S. 41-46.
- Wolff, R. (1996): Typische Profile Hamburger Böden.- In: Arbeitskreis Stadtböden der Deutsch. Bodenkundl. Ges. (Hrsg. 1996): Urbaner Bodenschutz.- Berlin, Heidelberg u. New York, S. 129-143.
- Wundt, W. (1958): Die Kleinstwasserführung der Flüsse als Maß für die verfügbaren Grundwassermengen.- In: Grahmann, R.: Die Grundwässer in der Bundesrepublik Deutschland und ihre Nutzung.- (=Forsch. Dtsch. Landeskunde, Bd. 104), Remagen, S. 47-54.

1. **Energiemodelle in der Bundesrepublik Deutschland. Stand der Entwicklung**
IKARUS-Workshop vom 24. bis 25. Januar 1996
herausgegeben von S. Molt, U. Fahl (1997), 292 Seiten
ISBN: 3-89336-205-3
2. **Ausbau erneuerbarer Energiequellen in der Stromwirtschaft**
Ein Beitrag zum Klimaschutz
Workshop am 19. Februar 1997, veranstaltet von der Forschungszentrum Jülich GmbH und der Deutschen Physikalischen Gesellschaft
herausgegeben von J.-Fr. Hake, K. Schultze (1997), 138 Seiten
ISBN: 3-89336-206-1
3. **Modellinstrumente für CO₂-Minderungsstrategien**
IKARUS-Workshop vom 14. bis 15. April 1997
herausgegeben von J.-Fr. Hake, P. Markewitz (1997), 284 Seiten
ISBN: 3-89336-207-X
4. **IKARUS-Datenbank - Ein Informationssystem zur technischen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Bewertung von Energietechniken**
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 2 „Datenbank“
H.-J. Laue, K.-H. Weber, J. W. Tepel (1997), 90 Seiten
ISBN: 3-89336-214-2
5. **Politiksznarien für den Klimaschutz**
Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes
Band 1. Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO₂-Emissionen in Deutschland bis zum Jahre 2005
herausgegeben von G. Stein, B. Strobel (1997), 410 Seiten
ISBN: 3-89336-215-0
6. **Politiksznarien für den Klimaschutz**
Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes
Band 2. Emissionsminderungsmaßnahmen für Treibhausgase, ausgenommen energiebedingtes CO₂
herausgegeben von G. Stein, B. Strobel (1997), 110 Seiten
ISBN: 3-89336-216-9

7. **Modelle für die Analyse energiebedingter Klimagasreduktionsstrategien**
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 1 „Modelle“
P. Markewitz, R. Heckler, Ch. Holzapfel, W. Kuckshinrichs, D. Martinsen,
M. Walbeck, J.-Fr. Hake (1998), VI, 276 Seiten
ISBN: 3-89336-220-7
8. **Politiksznarien für den Klimaschutz**
Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes
Band 3. Methodik-Leitfaden für die Wirkungsabschätzung von Maßnahmen zur Emissionsminderung
herausgegeben von G. Stein, B. Strobel (1998), VIII, 95 Seiten
ISBN: 3-89336-222-3
9. **Horizonte 2000**
6. Wolfgang-Ostwald-Kolloquium der Kolloid-Gesellschaft
3. Nachwuchstage der Kolloid- und Grenzflächenforschung
Kurzfassungen der Vorträge und Poster
zusammengestellt von F.-H. Haegel, H. Lewandowski, B. Krah-Urban (1998),
150 Seiten
ISBN: 3-89336-223-1
10. **Windenergieanlagen - Nutzung, Akzeptanz und Entsorgung**
von M. Kleemann, F. van Erp, R. Kehrbau (1998), 59 Seiten
ISBN: 3-89336-224-X
11. **Policy Scenarios for Climate Protection**
Study on Behalf of the Federal Environmental Agency
Volume 4. Methodological Guideline for Assessing the Impact of Measures for Emission Mitigation
edited by G. Stein, B. Strobel (1998), 103 pages
ISBN: 3-89336-232-0
12. **Der Landschaftswasserhaushalt im Flußeinzugsgebiet der Elbe**
Verfahren, Datengrundlagen und Bilanzgrößen
Analyse von Wasserhaushalt, Verweilzeiten und Grundwassermilieu im
Flußeinzugsgebiet der Elbe (Deutscher Teil). Abschlußbericht Teil 1.
von R. Kunkel, F. Wendland (1998), 110 Seiten
ISBN: 3-89336-233-9

13. **Das Nitratabbauvermögen im Grundwasser des Elbeeinzugsgebietes**
Analyse von Wasserhaushalt, Verweilzeiten und Grundwassermilieu im
Flußbezugsgebiet der Elbe (Deutscher Teil). Abschlußbericht Teil 2.
von F. Wendland, R. Kunkel (1999), 166 Seiten
ISBN: 3-89336-236-3

14. **Treibhausgasminderung in Deutschland zwischen nationalen Zielen und internationalen Verpflichtungen**
IKARUS-Workshop am 27.05.1998, Wissenschaftszentrum Bonn-Bad Godesberg.
Proceedings
herausgegeben von E. Läge, P. Schaumann, U. Fahl (1999), ii, VI, 146 Seiten
ISBN: 3-89336-237-1

15. **Satellitenbildauswertung mit künstlichen Neuronen Netzen zur Umweltüberwachung**
Vergleichende Bewertung konventioneller und Neuronaler Netzwerkalgorithmen
und Entwicklung eines integrierten Verfahrens
von D. Klaus, M. J. Canty, A. Poth, M. Voß, I. Niemeyer und G. Stein (1999),
VI, 160 Seiten
ISBN: 3-89336-242-8

16. **Volatile Organic Compounds in the Troposphere**
Proceedings of the Workshop on Volatile Organic Compounds in the Troposphere
held in Jülich (Germany) from 27 – 31 October 1997
edited by R. Koppmann, D. H. Ehhalt (1999), 208 pages
ISBN: 3-89336-243-6

17. **CO₂-Reduktion und Beschäftigungseffekte im Wohnungssektor durch das CO₂-Minderungsprogramm der KfW**
Eine modellgestützte Wirkungsanalyse
von M. Kleemann, W. Kuckshinrichs, R. Heckler (1999), 29 Seiten
ISBN: 3-89336-244-4

18. **Symposium über die Nutzung der erneuerbaren Energiequellen Sonne und Wind auf Fischereischiffen und in Aquakulturbetrieben**
Symposium und Podiumsdiskussion, Izmir, Türkei, 28.-30.05.1998.
Konferenzbericht
herausgegeben von A. Özdamar, H.-G. Groehn, K. Ülgen (1999), IX, 245 Seiten
ISBN: 3-89336-247-9

- 19. Das Weg-, Zeitverhalten des grundwasserbürtigen Abflusses im Elbeeinzugsgebiet**
Analyse von Wasserhaushalt, Verweilzeiten und Grundwassermilieu im Flußeinzugsgebiet der Elbe (Deutscher Teil). Abschlußbericht Teil 3.
von R. Kunkel, F. Wendland (1999), 122 Seiten
ISBN: 3-89336-249-5
- 20. Politiksznarien für den Klimaschutz**
Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes
Band 5. Szenarien und Maßnahmen zur Minderung von CO₂-Emissionen in Deutschland bis 2020
herausgegeben von G. Stein, B. Strobel (1999), XII, 201 Seiten
ISBN: 3-89336-251-7
- 21. Klimaschutz durch energetische Sanierung von Gebäuden. Band 1**
von J.-F. Hake, M. Kleemann, G. Kolb (1999), 216 Seiten
ISBN: 3-89336-252-2
- 22. Electroanalysis**
Abstracts of the 8th International Conference held from 11 to 15 June 2000 at the University of Bonn, Germany
edited by H. Emons, P. Ostapczuk (2000), ca. 300 pages
ISBN: 3-89336-261-4
- 23. Die Entwicklung des Wärmemarktes für den Gebäudesektor bis 2050**
von M. Kleemann, R. Heckler, G. Kolb, M. Hille (2000), II, 94 Seiten
ISBN: 3-89336-262-2
- 24. Grundlegende Entwicklungstendenzen im weltweiten Stoffstrom des Primäraluminiums**
von H.-G. Schwarz (2000), XIV, 127 Seiten
ISBN: 3-89336-264-9
- 25. Klimawirkungsforschung auf dem Prüfstand**
Beiträge zur Formulierung eines Förderprogramms des BMBF
Tagungsband des Workshop „Klimaforschung“, Jülich, vom 02. bis 03.12.1999
von J.-Fr. Hake, W. Fischer (2000), 150 Seiten
ISBN: 3-89336-270-3

26. Energiezukunft 2030

Schlüsseltechnologien und Techniklinien
Beiträge zum IKARUS-Workshop 2000 am 2./3. Mai 2000
herausgegeben von U. Wagner, G. Stein (2000), 201 Seiten
ISBN: 3-89336-271-1

27. Der globale Wasserkreislauf und seine Beeinflussung durch den Menschen

Möglichkeiten zur Fernerkundungs-Detektion und -Verifikation
von D. Klaus und G. Stein (2000), 183 Seiten
ISBN: 3-89336-274-6

28. Satelliten und nukleare Kontrolle

Änderungsdetektion und objektorientierte, wissensbasierte Klassifikation von
Multispektralaufnahmen zur Unterstützung der nuklearen Verifikation
von I. Niemeyer (2001), XIV, 206 Seiten
ISBN: 3-89336-281-9

29. Das hydrologische Modellsystem J2000

Beschreibung und Anwendung in großen Flußgebieten
von P. Krause (2001), XIV, 247 Seiten
ISBN: 3-89336-283-5

30. Aufwands- und ergebnisrelevante Probleme der Sachbilanzierung

von G. Fleischer, J.-Fr. Hake (2002), IV, 64 Blatt
ISBN: 3-89336-293-2

31. Nachhaltiges Management metallischer Stoffströme

Indikatoren und deren Anwendung
Workshop, 27.-28.06.2001 im Congresszentrum Rolduc, Kerkrade (NL)
herausgegeben von W. Kuckshinrichs, K.-L. Hüttner (2001), 216 Seiten
ISBN: 3-89336-296-7

32. Ansätze zur Kopplung von Energie- und Wirtschaftsmodellen zur Bewertung zukünftiger Strategien

IKARUS-Workshop am 28. Februar 2002, BMWi, Bonn. Proceedings
herausgegeben von S. Briem, U. Fahl (2003), IV, 184 Seiten
ISBN: 3-89336-321-1

33. **TRACE. Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology**
Volume 1: Proceedings of the Dendrosymposium 2002,
April 11th – 13th 2002, Bonn/Jülich, Germany
edited by G. Schleser, M. Winiger, A. Bräuning et al., (2003), 135 pages, many
partly coloured illustrations
ISBN: 3-89336-323-8
34. **Klimaschutz und Beschäftigung durch das KfW-Programm zur CO₂-
Minderung und das KfW-CO₂-Gebäudesanierungsprogramm**
von M. Kleemann, R. Heckler, A. Kraft u. a., (2003), 53 Seiten
ISBN: 3-89336-326-2
35. **Klimaschutz und Klimapolitik: Herausforderungen und Chancen**
Beiträge aus der Forschung
herausgegeben von J.-Fr. Hake, K. L. Hüttner (2003), III, 231 Seiten
ISBN: 3-89336-327-0
36. **Umweltschutz und Arbeitsplätze, angestoßen durch die Tätigkeiten des
Schornsteinfegerhandwerks**
Auswertung von Schornsteinfeger-Daten
von M. Kleemann, R. Heckler, B. Krüger (2003), VII, 66 Seiten
ISBN: 3-89336-328-9
37. **Die Grundwasserneubildung in Nordrhein-Westfalen**
von H. Bogen, R. Kunkel, T. Schöbel, H. P. Schrey, F. Wendland (2003), 148
Seiten
ISBN: 3-89336-329-7
38. **Dendro-Isotope und Jahrringbreiten als Klimaproxy der letzten 1200 Jahre
im Karakorumgebirge/Pakistan**
von K. S. Treydte (2003), XII, 167 Seiten
ISBN: 3-89336-330-0
39. **Das IKARUS-Projekt: Energietechnische Perspektiven für Deutschland**
herausgegeben von P. Markewitz, G. Stein (2003), IV, 274 Seiten
ISBN: 3-89336-333-5
40. **Umweltverhalten von MTBE nach Grundwasserkontamination**
von V. Linnemann (2003), XIV, 179 Seiten
ISBN: 3-89336-339-4

41. **Climate Change Mitigation and Adaptation: Identifying Options for Developing Countries**
Proceedings of the Summer School on Climate Change, 7-17 September 2003, Bad Münstereifel, Germany
edited by K. L. Hüttner, J.-Fr. Hake, W. Fischer (2003), XVI, 341 pages
ISBN: 3-89336-341-6

42. **Mobilfunk und Gesundheit: Risikobewertung im wissenschaftlichen Dialog**
von P. M. Wiedemann, H. Schütz, A. T. Thalmann (2003), 111 Seiten
ISBN: 3-89336-343-2

43. **Chemical Ozone Loss in the Arctic Polar Stratosphere: An Analysis of Twelve Years of Satellite Observations**
by Simone Tilmes (2004), V, 162 pages
ISBN: 3-89336-347-5

44. **TRACE. Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology**
Volume 2: Proceedings of the Dendrosymposium 2003,
May 1st – 3rd 2003, Utrecht, The Netherlands
edited by E. Jansma, A. Bräuning, H. Gärtner, G. Schleser (2004), 174 pages
ISBN: 3-89336-349-1

45. **Vergleichende Risikobewertung: Konzepte, Probleme und Anwendungsmöglichkeiten**
von H. Schütz, P.M. Wiedemann, W. Hennings et al. (2004), 231 Seiten
ISBN: 3-89336-350-5

46. **Grundlagen für eine nachhaltige Bewirtschaftung von Grundwasserressourcen in der Metropolregion Hamburg**
von B. Tetzlaff, R. Kunkel, R. Taugs, F. Wendland (2004), 87 Seiten
ISBN: 3-89336-352-1

Bei der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie in der Metropolregion Hamburg ist u.a. eine Einschätzung der quantitativen Grundwassersituation vorzunehmen. Hierzu werden Daten zur Höhe der Grundwasserneubildung benötigt, die in einem gemeinsamen Fachinformationssystem der an der Metropolregion beteiligten Staatlichen Geologischen Dienste abrufbar sein sollen. Um diese Daten zu erstellen, haben das Geologische Landesamt Hamburg (Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt) und die Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE) des Forschungszentrums Jülich ein Kooperationsvorhaben gegründet.

Das Ziel des Vorhabens bestand in der flächendeckenden Modellierung der langjährigen mittleren Wasserhaushaltsgrößen reale Verdunstung, Gesamtabfluss und Grundwasserneubildung für den Zeitraum 1961–1990. Die vorliegende Studie dokumentiert das Ergebnis der Kooperation und geht besonders auf die hydrologischen Effekte versiegelter Flächen ein. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die Problematik länderübergreifender Untersuchungsräume, für die Datengrundlagen unterschiedlicher Maßstäbe und Herkunft zur Verfügung stehen. Dies erfordert z.T. sehr aufwändige Harmonisierungsschritte bei der Datenaufbereitung.

Forschungszentrum Jülich
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Behörde für
Stadtentwicklung und
Umwelt Hamburg



Band/Volume 46
ISBN 3-89336-352-1

**Umwelt
Environment**