

# PIK Report

---

No. 82

SIMULATION  
DER SIEDLUNGSFLÄCHENENTWICKLUNG  
ALS TEIL DES GLOBALEN WANDELS  
UND IHR EINFLUß  
AUF DEN WASSERHAUSHALT  
IM GROBRAUM BERLIN

Bernhard Ströbl, Volker Wenzel, Bernd Pfützner



---

POTSDAM INSTITUTE  
FOR  
CLIMATE IMPACT RESEARCH (PIK)

---

Autoren:  
Dipl. Geogr. Bernhard Ströbl\*  
Friedrich-Schiller-Universität Jena  
Institut für Geographie  
Löbdergraben 32  
D-07743 Jena  
E-mail: [bernhard.stroebl@uni-jena.de](mailto:bernhard.stroebl@uni-jena.de)  
\*(Ansprechpartner)

Dr. Volker Wenzel  
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.  
PF 60 12 03, D-14412 Potsdam  
E-mail: [Volker.Wenzel@pik-potsdam.de](mailto:Volker.Wenzel@pik-potsdam.de)

Dr. Bernd Pfützner  
Büro für angewandte Hydrologie  
Wollankstraße 117  
D-13187 Berlin  
E-mail: [Bernd.Pfuetzner@bah-berlin.de](mailto:Bernd.Pfuetzner@bah-berlin.de)

Herausgeber:  
Dr. F.-W. Gerstengarbe

Technische Ausführung:  
U. Werner

---

POTSDAM-INSTITUT  
FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG  
Telegrafenberg  
Postfach 60 12 03, 14412 Potsdam  
GERMANY  
Tel.: +49 (331) 288-2500  
Fax: +49 (331) 288-2600  
E-mail-Adresse: [pik@pik-potsdam.de](mailto:pik@pik-potsdam.de)

---

## Abstract

Possible impacts of Global Change on the regional water balance is one of the aspects studied in the project GLOWA-Elbe, funded by the German *Federal Ministry of Education and Research*.

This study focusses on the corresponding peculiarities of Greater Berlin as an example of an urban agglomeration. Especially regions of this kind are affected by the process of *urban sprawl* accompanied with accelerated consumption of land and sealing, processes that are very crucial for the rain-water runoff in the region.

Thus, the most relevant Global Change phenomena to be considered in this respect are changes in climate and therewith in precipitation and evaporation on the one side and the dynamics of socioeconomic driving parameters for the mentioned urban sprawl process on the other side. This process can be observed and must be considered even in a country like Germany with a more or less stable population.

The study identifies and analyzes three different regional trends of urban development, each following a certain guideline assumption. The trends are quantified and spatially allocated. For this purpose a landuse simulation tool was created and implemented into a commercial GIS package. It is described here in detail and includes a two-step procedure: In the first step rules are defined stating each location's suitability for a land use change to take place. Next a stochastic process allocates the desired amount of change within the area of highest suitability.

A digital landuse map for the region was compiled from different sources with special attention to the grade of sealing and type of sewer system for urban areas. It is merged with the urban development simulation results to serve as input for the hydrological modelling system ArcEGMO. First modelling results show that the impact of urbanisation on the mean runoff is minor compared to the impact of the assumed climatic changes. However, one catchment mainly affected by the urbanisation process shows considerable changes in peak runoff figures compared to the status quo landuse.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>6</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>7</b>
<b>2 Ableitung von Trends der Siedlungsflächenentwicklung</b>	<b>10</b>
2.1 Bestandteile der Siedlungsflächenentwicklung . . . . .	10
2.2 Triebkräfte der Siedlungsflächenentwicklung . . . . .	11
2.3 Quantifizierung der Triebkräfte aus den Annahmen zum globalen Wandel und ihre Übertragung auf den Großraum Berlin . . . . .	12
<b>3 Konzeption eines Simulationswerkzeugs</b>	<b>17</b>
<b>4 Erzeugung verschiedener Zustände der Landnutzung</b>	<b>23</b>
4.1 Referenzlandnutzung . . . . .	23
4.2 Zukünftige Zustände . . . . .	33
<b>5 Berechnung des Wasserdargebots</b>	<b>38</b>
<b>6 Diskussion</b>	<b>43</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>45</b>
<b>A Bedienung der Nutzeroberfläche von LuSim</b>	<b>47</b>
A.1 Die Dokumentklasse LusimDat . . . . .	47
A.2 Erzeugen von Inputdaten . . . . .	48
A.3 Starten eines Simulationslaufs . . . . .	52
A.4 Die Tabelle lusim.dbf . . . . .	53
A.5 Allgemeine Hinweise . . . . .	55

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Lage des engeren Verflechtungsraums . . . . .	8
2.1	globale und lokale Einflußfaktoren auf die für Wohnzwecke im Elbegebiet benötigte Siedlungsfläche . . . . .	11
3.1	Ablauf einer Simulation . . . . .	19
3.2	Beispiel zur Ermittlung aller Zellen bestmöglicher Eignung . . . . .	21
4.1	Verteilung der Klassen des Anschlußgrades von Blockflächen des UIS Berlin mit $V_{Gesamt} > 0$ . . . . .	29
4.2	Anschlußgrad in Berlin . . . . .	31
4.3	Informationen in der Landnutzungsdatenbasis zur Art der Entwässerung . . . . .	32
4.4	Raumkategorien im engeren Verflechtungsraum . . . . .	34
4.5	lokale Eignung für die Klasse 63-2 . . . . .	37
5.1	Siedlungsflächenentwicklung A1a und Teilgebietsgliederung . . . . .	40
A.1	Die neue Dokumentklasse <i>LusimDat</i> und das Hauptmenü nach dem Laden der Extension . . . . .	48
A.2	Dialog <i>lusim.New</i> . . . . .	49
A.3	Dialog <i>lusim.Info</i> . . . . .	50
A.4	Dialog <i>lusim.Function</i> . . . . .	51
A.5	Dialog <i>lusim.Combine</i> . . . . .	51
A.6	Dialog <i>lusim.Run</i> . . . . .	52
A.7	Tabellendarstellung der Datei <i>lusim.dbf</i> . . . . .	53

## Tabellenverzeichnis

2.1	Wohnfläche pro Person in Berlin und Brandenburg 2000-215 . . . . .	13
2.2	Quantifizierung der Triebkräfte der Siedlungsflächenzunahme für drei Szenarien . . . . .	14
2.3	Definition von fünf Szenarien der Siedlungsflächenentwicklung für den engeren Verflechtungsraum . . . . .	15
2.4	Nettozunahme der Wohnbau- und Verkehrsflächen im engeren Verflechtungsraum für fünf Szenarien bis 2015 . . . . .	15
4.1	Neu entwickelter vierstelliger Landnutzungscode . . . . .	24
4.2	unterschiedliche Informationen zur Versiegelung einer Blockfläche im UIS Berlin . . . . .	25
4.3	Infiltrationsfaktoren für vier Belagsklassen . . . . .	25
4.4	neue Nutzungsklassen für die Siedlungsflächen innerhalb Brandenburgs .	27
4.5	neue NutzungsCodes für Siedlungsflächen des UIS Berlin sowie flächengewichtete Mittelwerte der Versiegelung . . . . .	28
4.6	Minima und Maxima für die Gesamtversiegelung sowie flächengewichtete Mittelwerte der in einen neuen Nutzungstyp eingehenden Blockflächen des UIS Berlin und für die jeweilige Klasse in Brandenburg angegebener Versiegelungsgrad. . . . .	28
4.7	Vorgaben für die Aufteilung der Kanalisationsarten auf die verschiedenen (bebauten) Landnutzungsarten in Brandenburg . . . . .	30
4.8	simulierte Landnutzungsklassen . . . . .	35
4.9	lokale Eignung aller Klassen . . . . .	36
5.1	Verwendete Basisinformationen zur Modellparametrisierung . . . . .	39
5.2	Niederschlag und Niederschlagsänderungen für verschiedene Klimarealisierungen und verschiedene Einzugsgebiete im Berliner Raum . . . . .	41
5.3	Änderungen ausgewählter gewässerkundlicher Hauptzahlen im Szenariozustand A1K+RL gegenüber dem Referenzzustand RK+RL . . . . .	42
5.4	Änderungen ausgewählter gewässerkundlicher Hauptzahlen im Szenariozustand A1K+A1L gegenüber dem Szenariozustand A1K+RL . . . . .	42
A.1	Felder der Tabelle <i>lusim.dbf</i> . . . . .	54

# 1 Einführung

Die vorliegende Studie ist im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projektverbundes GLOWA (*Global Change in the Hydrological Cycle*, siehe auch [www.glowa.org](http://www.glowa.org)) im Einzelprojekt GLOWA-Elbe (RIELAND, 2001) entstanden. In GLOWA-Elbe werden die Auswirkungen des globalen Wandels auf den Wasserkreislauf und damit verbundene wirtschaftliche und gesellschaftliche Probleme im Elbegebiet untersucht.

Ein Schwerpunktraum in der ersten Projektphase (2000-2003) ist das Gebiet *untere Spree/Havel* mit dem Großraum Berlin. Unter Nutzung des Bewirtschaftungsmodells ArcGRM werden die Auswirkungen des globalen Wandels im Berliner Raum auf den Wasserbedarf verschiedener Nutzergruppen (Bevölkerung, Industrie, Schifffahrt etc.) den zu erwartenden Änderungen im verfügbaren Wasserdargebot gegenüber gestellt und Wahrscheinlichkeitsaussagen zur Versorgungssicherheit ausgearbeitet. Eine wesentliche Eingangsgröße ist das quasinatürliche Wasserdargebot des Berliner Gewässersystems einschließlich seiner Zuflüsse. Darunter soll das Wasserdargebot verstanden werden, wie es sich aus dem Niederschlag ergibt, ohne Einleitungen, Überleitungen oder Entnahmen in oder aus dem Oberflächen- und Grundwasser zu berücksichtigen. Als relevante Prozesse des globalen Wandels werden in dieser Studie Klimaänderungen und Urbanisierungstrends berücksichtigt und ihre Auswirkungen auf das Wasserdargebot betrachtet. Dazu werden an globalen Emmissionsszenarien orientierte Trends der Siedlungsentwicklung als ein Teil des globalen Wandels für die Region Berlin identifiziert, quantifiziert und als Eingangsgröße für die Bestimmung des Wasserdargebots aufbereitet.

Mit der am 21.3.1998 in Kraft getretenen Verordnung über den *gemeinsamen Landesentwicklungsplan für den engeren Verflechtungsraum Brandenburg-Berlin* (LEP eV) liegt ein länderübergreifendes Planwerk vor, das die räumliche Entwicklung im Großraum Berlin steuern soll. Der *engere Verflechtungsraum* (eVr) umfaßt das Land Berlin und Teile der daran angrenzenden Landkreise des Landes Brandenburg, den sogenannten *Speckgürtel* (vergleiche Abbildung 1.1). In diesem Bereich wird, verglichen mit dem weiteren Umland, in den kommenden Jahren mit der stärksten Siedlungsentwicklung gerechnet (IWANOW et al., 2001). Die orliegende Untersuchung beschränkt sich deshalb auf den engeren Verflechtungsraum.

Die Trends der Siedlungsentwicklung werden entsprechend des für GLOWA-Elbe entwickelten Integrationsalgorithmus (WENZEL, 2001) als Teil des globalen Wandels und damit als exogene Einflußgrößen (Entwicklungsrahmen) betrachtet, deren Entstehen von den Entscheidungsträgern vor Ort nicht beeinflußt werden kann. Somit ist die Siedlungsentwicklung, genauso wie z.B. der Klimawandel, eine Veränderung der Rahmenbedingungen (*Global Change*), die für zukünftige Entscheidungen berücksichtigt werden muß. Um die mögliche Bandbreite der Auswirkungen der Siedlungsentwicklung zu betrachten, sind mehrere (wenigstens zwei) Trends in die Betrachtung einzustellen. Das geschieht

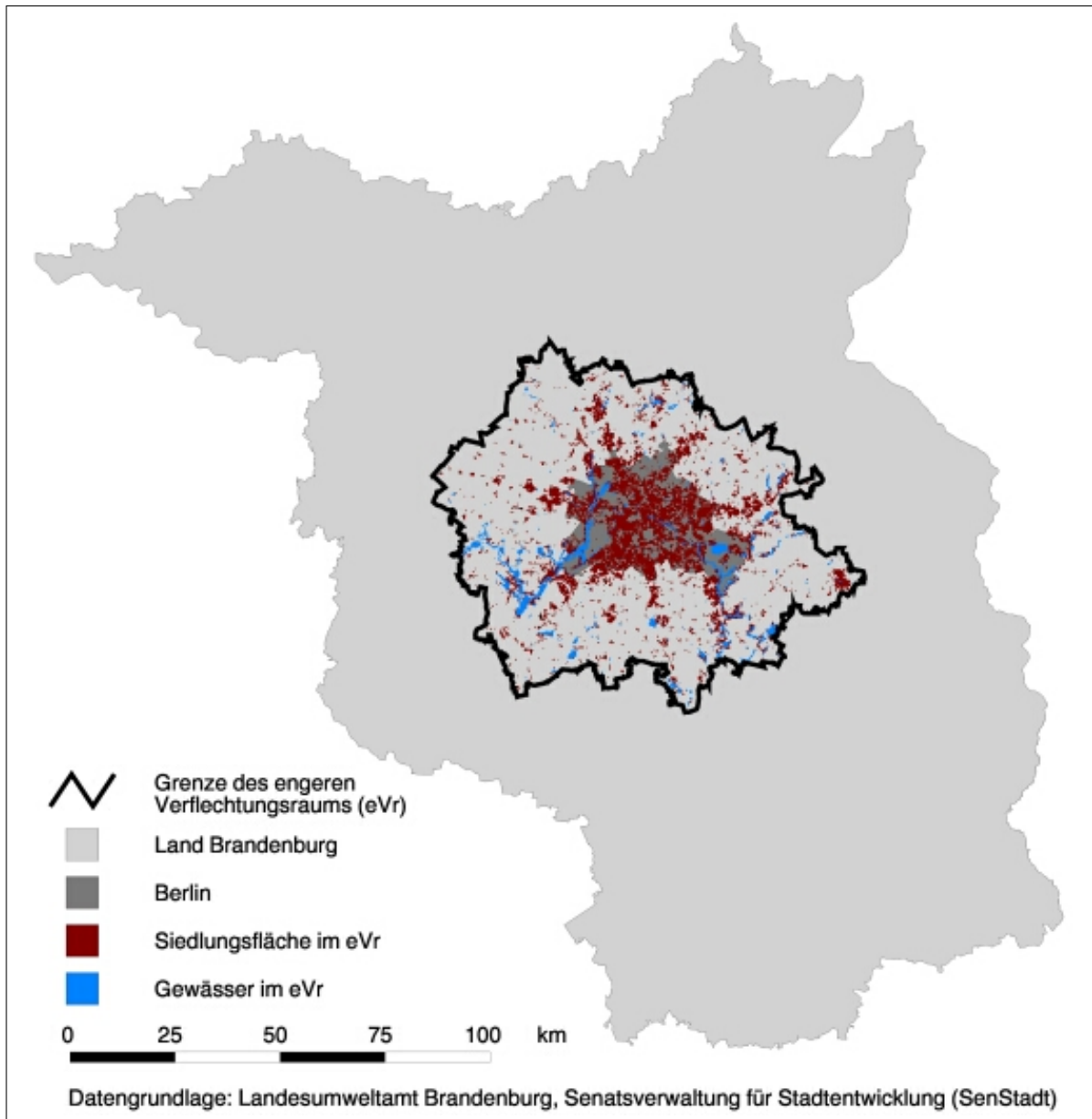


Abbildung 1.1: Lage des engeren Verflechtungsraums (eVr)



im anschließenden Kapitel 2, in dem drei Trends der Siedlungsflächenentwicklung identifiziert werden. Sie werden für den Großraum Berlin übersetzt und konkretisiert.

Um mit diesen Trends der zukünftigen Siedlungsentwicklung ein physikalisch basiertes hydrologisches Modell anzutreiben, müssen sie im Untersuchungsgebiet verortet werden. Dafür wurde das im Kapitel 3 vorgestellte Simulationswerkzeug entwickelt. Ausgehend vom Status Quo der Landnutzung ermöglicht es die Verortung der Zunahme der Siedlungsflächen. Im Kapitel 4 wird zunächst die Datenbasis für den Status Quo der Landnutzung mit allen für das verwendete hydrologische Modellsystem benötigten Parametern entwickelt. Danach erfolgt die Verortung der quantifizierten Trends der Siedlungsflächenentwicklung. Für einen dieser Trends wird die Veränderung im Wasserdargebot im Kapitel 5 dargestellt.

## 2 Ableitung von Trends der Siedlungsflächenentwicklung

Gegenstand der Szenarien zur Siedlungsflächenentwicklung sind die lokalen Auswirkungen des globalen Wandels; die Szenarien gehören somit zum *Entwicklungsrahmen* von GLOWA-Elbe. Sie zeichnen sich dadurch aus, daß sie durch die lokalen Akteure nicht direkt beeinflußt werden können. Zunächst ist also zu fragen, welcher Art die globalen Trends der Siedlungsflächenentwicklung sein könnten.

Im Projekt GLOWA-Elbe werden zwei Trends des globalen Wandels mit den IPCC-*Storylines* A1 und B2 (IPCC, 2000) beschrieben. Die Storylines beschreiben Emissions-szenarien von Treibhausgasen und demgemäß diejenigen Randbedingungen, die die Emissionen von Treibhausgasen beeinflussen, v.a. Wirtschafts- und Bevölkerungsentwicklung sowie Technologietransfer im globalen Maßstab. A1 beschreibt ein starkes weltweites Wirtschaftswachstum und eine zunehmende Globalisierung, wohingegen B2 ein moderates weltweites Wirtschaftswachstum und eine Suche nach lokalen Lösungsansätzen für eine nachhaltige Entwicklung insbesondere im natürlichen und im sozialen Bereich unterstellt.

Für eine Entwicklung von Szenarien der Versiegelung ist zunächst zu überlegen, welche Triebkräfte die Entwicklung der Versiegelung steuern. Sobald diese Triebkräfte benannt sind, ist festzustellen, wie die globalen quantitativen und qualitativen Annahmen der IPCC-Storylines auf das Elbegebiet bzw. den Großraum Berlin übertragen werden müssen, um die Triebkräfte mit Werten zu belegen und daraus die Siedlungsflächenentwicklung zu errechnen.

### 2.1 Bestandteile der Siedlungsflächenentwicklung

Zur Siedlungsfläche werden in Deutschland nach amtlicher Statistik die Gebäude- und Freiflächen (Flächen für Wohnen, Gewerbe und Industrie), die Betriebs-, Erholungs- und Friedhofsflächen sowie die Verkehrsflächen gerechnet. Bundesweit betrachtet haben die Gebäude- und Freiflächen den größten Anteil (1992: 50%), gefolgt von den Verkehrsflächen (32%). Wohnbauflächen waren seit 1993 mit 30% am Siedlungsflächenzuwachs beteiligt, Erholungsflächen mit 7%, Verkehrsflächen mit 20% und Flächen für Arbeitsstätten mit 38%. Von letzteren ist allerdings bereits im Bestand nur ein geringer Teil (13%) „der Erzeugung von Produkten des produzierenden Gewerbes zuzuordnen“ (DOSCH & BECKMANN, 1999). In diesem Bereich ist auch in den kommenden Jahren nicht mit einem Zuwachs zu rechnen, wohingegen der Büroimmobilienmarkt sich in den letzten 20 Jahren „stürmisch“ entwickelt habe (SIMONS, 1999). Motor des Siedlungsflächenzuwachses in den letzten Jahren sind demnach die Flächen für Gewerbe, Wohnbau und Verkehr (vergleiche DOSCH & BECKMANN, 1999).

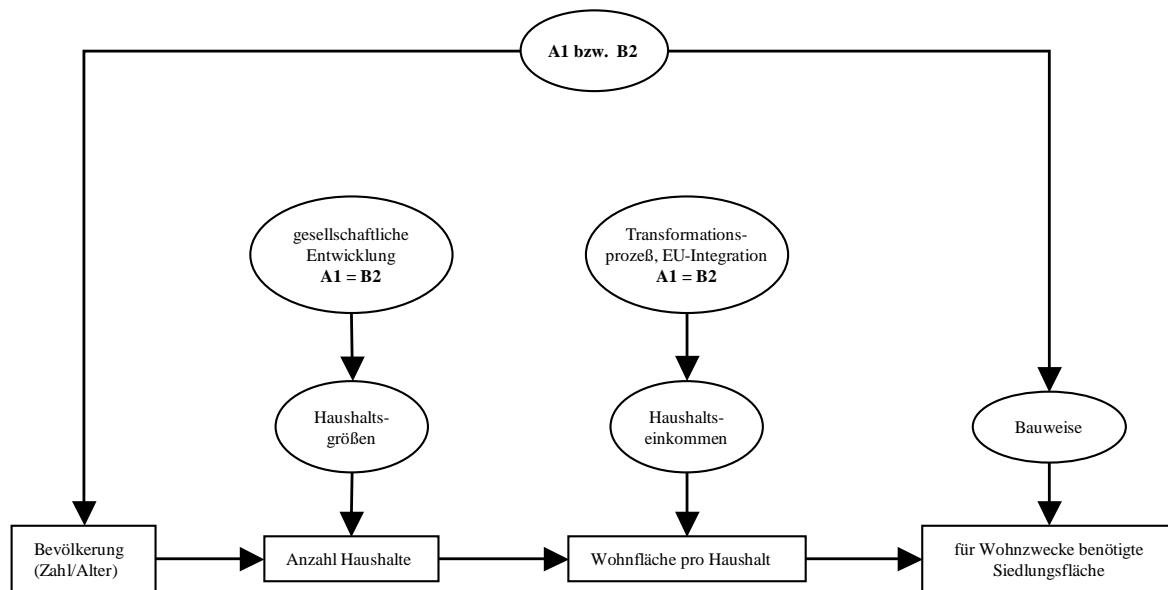


Abbildung 2.1: globale und lokale Einflussfaktoren auf die für Wohnzwecke im Elbegebiet benötigte Siedlungsfläche

## 2.2 Triebkräfte der Siedlungsflächenentwicklung

Die Siedlungsentwicklung der letzten Jahre bestand in den östlichen Bundesländern aufgrund des „Nachholeffektes“ in einer zunehmenden Suburbanisierung und Funktionsentmischung der Städte (APEL et al., 2001, S. 22f). Das Siedlungsflächenwachstum war damit von den drei Hauptkomponenten Wohnen, Gewerbe und Verkehr geprägt und das, obwohl die Bevölkerung in den ostdeutschen Stadtregionen tendenziell eher abnimmt (S. 23). Für den Großraum Berlin hingegen ist mit einer Verschärfung dieser Trends durch eine Zunahme der Bevölkerung (SENATSV ERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG, 1999; LDS, 2001) zu rechnen.

### Wohnflächen

Abbildung 2.1 zeigt, mit welchen Einflußgrößen die zukünftige Wohnflächenentwicklung abgeschätzt werden kann (IWANOW et al., 2001). Die Bevölkerungszahl ist nur *ein* Faktor für diesen Trend der Versiegelung. Andere, davon nicht beeinflusste Faktoren, sind die Haushaltsgröße, das verfügbare Haushaltseinkommen und die Bauweise (flächensparend oder flächenintensiv). Haushaltsgröße und -einkommen bewirken zusammen die nachgefragte *Wohnfläche pro Person*.

### Gewerbeflächen

Die Gewerbeflächen können nach ihrer Funktion aufgeteilt werden in Flächen zur Herstellung von Gütern, Flächen für den Handel und Büroflächen. Die Nachfrage nach derartigen Flächen wird naturgemäß stark von der wirtschaftlichen Entwicklung gesteuert, die jedoch im Untersuchungsgebiet eher regionale als globale Ursachen hat und in GLOWA-Elbe als solche nicht bearbeitet wird. Derartige lokale Ursachen sind im Elbegebiet das

Vorhandensein oder Ausbleiben von Impulsen durch die Integration der ostmitteleuropäischen Staaten in die EU sowie die Folgen der Wiedervereinigung. Darüberhinaus ist eine Prognose der Entwicklung der Gewerbeflächen schon an sich ungleich schwerer als für Wohnflächen, da die notwendigen Eingangsgrößen weniger bekannt und auch schwerer einzuschätzen sind (siehe dazu SIMONS, 1999, am Beispiel der Entwicklung des Büroflächenmarktes). Den Bedarf an Büroflächen im Jahre 2030 schätzt SIMONS (1999) beispielsweise auf 70-140% des heutigen Bestandes.

### **Verkehrsflächen**

Der Anteil der Verkehrsfläche an der Siedlungsfläche ist zur Zeit rückläufig. In Deutschland hatte sie 1996 einen Anteil von knapp 40% an der Siedlungsfläche, ihr Anteil an der Zunahme im Zeitraum 1993-97 betrug jedoch nur noch die Hälfte (DOSCH & BECKMANN, 1999). In Berlin lag der Anteil 1993 bei 23% (West), bzw. 11% (Ost), in Gesamtberlin bei ca. 18% und war damit etwas geringer als z.B. in Hannover (23%). Der Anteil der Straßenfläche aller im Umweltinformationssystem des Landes Berlin (UIS, siehe Kapitel 4) mit Nutzung *Siedlung* markierten Blockflächen summiert sich auf 16%; anders ausgedrückt sind, um die benötigte Siedlungsfläche (Gebäude-, Frei- und Verkehrsfläche) zu berechnen, 19% der benötigten Gebäude- und Freifläche als Verkehrsfläche zu veranschlagen. Bei diesen Zahlen ist allerdings zu beachten, daß die vorliegenden Angaben zur Fläche des Straßenlandes auf der Ebene der statistischen Gebiete flächengewichtet auf die Teilflächen umgerechnet wurden (SENSTADT, 2000), also nicht dem kartierten Bestand der jeweiligen Blockfläche entsprechen.

Der Vergleich dreier Stadtstrukturtypen zeigt, daß eine flächige Stadtform geringerer baulicher Dichte mit dem PKW als Hauptverkehrssystem einen höheren Anteil an Verkehrsflächen aufweist, als Städte mit kompakterer Bauform und höherer Dichte (APEL et al., 2001, S. 37, am Beispiel der Städte Bern, Bonn und Denver). Wesentlich für die zukünftige Entwicklung der Verkehrsflächen wird damit sein, ob sich die Desurbanisierung (*Urban Sprawl*) durch Siedlungsdispersion sowie die Gewerbezentralisierung fortsetzt oder eine Trendwende hin zu einer flächen- und ressourcensparenden Siedlungsweise vollzieht.

## **2.3 Quantifizierung der Triebkräfte aus den Annahmen zum globalen Wandel und ihre Übertragung auf den Großraum Berlin**

Unter Szenarien werden im allgemeinen Gedankenexperimente verstanden, die folgendem Schema folgen: *wenn* die Rahmenbedingungen eine bestimmte Ausprägung erfahren, *dann* stellen sich in ihrer Folge bestimmte Zustände ein. Für GLOWA-Elbe werden die Rahmenbedingungen durch die IPCC-Szenarien A1 und B2 vorgegeben.

Darüberhinaus bietet die Szenariomethode aber auch die Möglichkeit, über diese beiden Rahmenbedingungen hinausgehende Szenarien zu entwickeln, um die Bandbreite der möglichen Ausprägungen des untersuchten Parameters auszuleuchten. Deshalb wird hier noch ein weiteres, nicht zu den genannten *Storylines* passendes, jedoch aus heutiger

Tabelle 2.1: Wohnfläche pro Person [m<sup>2</sup>] in Berlin und Brandenburg (BRB) 2000-2015, Quelle: BBR (2001)

Wachstum / <i>Nachholeffekt</i>	2000		2005		2010		2015	
	Berlin	BRB	Berlin	BRB	Berlin	BRB	Berlin	BRB
stark / <i>ja</i>	36.9	34.2	38.0	36.0	39.2	37.8	40.2	39.3
schwach / <i>nein</i>	36.6	33.9	37.3	35.2	38.0	36.2	38.5	36.9

Sicht durchaus vorstellbares drittes Szenario mitentwickelt: das Szenario der *Amerikanisierung*. Darunter soll die fortschreitende Desurbanisierung des engeren Verflechtungsraums verstanden werden. Sie geht mit einer zunehmenden Dispersion des Wohnens v.a. im peripheren Raum und der damit verbunden Erhöhung des Verkehrs einher, der überwiegend mit Kfz bewältigt wird.

### Wohnflächen

Die Triebkräfte der Wohnflächenentwicklung sind Trends zur Bevölkerungsdichte, die Wohnfläche pro Person und die Bauweise (vergleiche Abb. 2.1). Für die Bevölkerungszahl gibt es zwei Berechnungsvarianten der 9. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung mit geringerer und höherer Zuwanderung (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2000), die als nationale Ausprägung der IPCC-Szenarien A1 und B2 verstanden werden sollen (Übereinkunft innerhalb des Projektes GLOWA-Elbe).

Die Wohnfläche pro Person betrug in der Analyseregion Berlin im Jahr 1997 35.6m<sup>2</sup> (BBR, 1999, S. 266). Sie wird durch die gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklung der Elberegion und damit durch regionale Vorgänge viel stärker beeinflusst als durch globale Faktoren und ist damit nicht aus den IPCC-*Storylines* ableitbar (vergleiche Abbildung 2.1). Um den Rahmen der Möglichkeiten auszuloten, werden zwei Szenarien der *Wohnungsprognose 2015* (IWANOW et al., 2001; BBR, 2001) übernommen. Das eine geht von einer eher stärkeren wirtschaftlichen Entwicklung und damit mehr Wohneigentum und einer Anpassung der Wohnfläche in den neuen Ländern an die der alten Länder (*Nachholeffekt*), das andere von einer eher geringeren wirtschaftlichen Entwicklung und damit einer geringeren Wohnflächennachfrage und keiner Wohnflächenanpassung aus (vergleiche Tabelle 2.1 und IWANOW et al., 2001, S. 22). Die Annahmen zur Wohnfläche pro Person fassen folglich nicht auf den IPCC-Szenarien.

Lediglich für die Bauweise kann angenommen werden, daß das IPCC-Szenario B2 aufgrund seiner Präferenzen für eine nachhaltige Entwicklung im natürlichen und sozialen Bereich eine Bauweise bevorzugt, die ressourcen- und flächensparender ist sowie mehr Möglichkeiten der sozialen Interaktion bietet als A1. Wie APEL et al. (2001) zeigen, kann durch eine effiziente Bauweise und die Halbierung der Stellplatzzahlen die für die selbe Wohnfläche benötigte Siedlungsfläche halbiert werden (ebenso BfLR, 1996, die die nicht ausgeschöpfte Grundfläche für die alten Länder (ohne Bayern) zwischen 35 und 77% schätzen). Die Raumordnungsprognose 2010 (BfLR, 1996) nimmt für die Raumord-

Tabelle 2.2: Quantifizierung der Triebkräfte der Siedlungsflächenzunahme für drei Szenarien

	Bauweise			
	Anteil Einfamilienhäuser		Wohnflächendichte [m <sup>2</sup> /100m <sup>2</sup> ]	
	Berlin	Brandenburg	Ein- und Zweifamh.	Mehrfamh.
IST-Zustand	–	–	20	57
A1	25%	100%	26	63
B2	25%	75%	45	64
Amerik.	50%	100%	20	57
	Gewerbeflächen	Bautätigkeit	Verkehrsflächen	
			Wohngebiet	Gewerbe
IST-Zustand	–	–	+19%	+11%
A1	wie IST	–	+19%	–
B2	wie IST	zentrumsnah	+15%	–
Amerik.	Zunahme	periphär	+23%	+11%

nungsregion Berlin<sup>1</sup> für 1990 eine Wohnflächendichte (in m<sup>2</sup> / 100m<sup>2</sup>) von 20 bei Ein- und 57 bei Mehrfamilienhäusern an. Die Wohnflächendichte steigert sich auf 26 bzw. 63 im Jahre 2010 bei der Variante *Status Quo* und auf 45 bzw. 64 bei einer flächensparenden Variante. Beim Wohnungsneubau wird für Berlin angenommen, daß im Zeitraum 2001-2015 ein Viertel der Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern und der Rest in Mehrfamilienhäusern entstehen werden. In Brandenburg wird davon ausgegangen, daß beinahe ausschließlich Ein- und Zweifamilienhäuser gebaut werden (IWANOW et al., 2001, S. 37). Für A1 soll mit diesen Zahlen gearbeitet werden, in B2 wird der Anteil der Mehrfamilienhäuser auch in Brandenburg erhöht und für das Szenario Amerikanisierung steigt der Anteil der Ein- und Zweifamilienhäuser auch in Berlin bzw. wird vom Umland aufgefangen.

### Gewerbeflächen

Die Triebkräfte der Gewerbeflächenentwicklung sind aus den IPCC-Szenarien zum jetzigen Zeitpunkt nicht ableitbar. Für die Definition von Szenarien zum Entwicklungsrahmen kann demgemäß die Gewerbefläche zunehmen, abnehmen oder sogar konstant bleiben ohne inkonsistent zu den IPCC-Szenarien zu sein. In A1 und B2 werden die Gewerbeflächen deshalb konstant gehalten, im Szenario Amerikanisierung werden im peripheren Raum neue Standorte für den Handel benötigt.

<sup>1</sup>Es handelt sich dabei um die Raumordnungsregion 75, Stand 1990, die in etwa den *engeren Verflechtungsraum* (eVr) umfaßt. Heute ist die Raumordnungsregion 30 (Berlin) identisch mit dem Bundesland Berlin.

Tabelle 2.3: Definition von fünf Szenarien der Siedlungsflächenentwicklung für den engeren Verflechtungsraum

Szenario	Bevölkerung	Wohnfl. p. P. (siehe Tab. 2.1)	Bauweise	Verkehrsfl.	Gewerbefl.
A1a	A1	stark / <i>ja</i>	A1	A1	standard
A1b	A1	schwach / <i>nein</i>	A1	A1	standard
B2a	B2	stark / <i>ja</i>	B2	B2	standard
B2b	B2	schwach / <i>nein</i>	B2	B2	standard
AM	max (A1, B2)	stark / <i>ja</i>	Amerik.	Amerik.	Amerik.

Tabelle 2.4: Nettozunahme der Wohnbau- und Verkehrsflächen [ha] im engeren Verflechtungsraum für fünf Szenarien bis 2015, Quelle: eigene Berechnung (BRB = Land Brandenburg, EFH = Einfamilienhaus, MFH = Mehrfamilienhaus)

	A1a			A1b			B2a				
	BRB	Berlin		BRB	Berlin		BRB		Berlin		
	EFH	EFH	MFH	EFH	EFH	MFH	EFH	MFH	EFH	MFH	
2005	2672	295	366	2419	144	178	1119	262	165	348	
2010	1284	536	663	887	343	424	538	126	299	631	
2015	958	439	543	556	245	303	401	94	245	517	
	B2b				AM						
	BRB		Berlin		BRB	Berlin					
	EFH	MFH	EFH	MFH	EFH	EFH	MFH				
2005	1013	237	80	169	3590	793	278				
2010	372	87	191	404	1725	1440	505				
2015	233	55	137	288	1287	1179	414				

### Verkehrsflächen

Die Verkehrsflächenentwicklung ist eng mit der Stadtstruktur verknüpft. Unter der Annahme B2 ist mit einer eher kompakteren Stadtstruktur und damit einer weiteren Abnahme des Anteils der Verkehrsflächen zu rechnen. Setzt sich jedoch die Desurbanisierung fort, ist mit einem erhöhten Verkehrsaufkommen und damit mit einem Anstieg der Verkehrsfläche zu rechnen. Für Modellierungszwecke kann sich dies aber nur auf die Verkehrsfläche innerhalb der bebauten Gebiete beziehen, da Neubau oder Verbreiterung von Überlandstraßen nicht modellierbar sind. Die Werte in der Tabelle 2.2 sind somit reine Annahmen.

Durch die sinnvolle Kombination der Triebkräfte aus Tabelle 2.2 können fünf Trends oder Szenarien der Siedlungsflächenentwicklung für den engeren Verflechtungsraum definiert werden (Tabelle 2.3).

Zum Zeitpunkt der Bearbeitung lagen die Bevölkerungsprognosen für GLOWA-Elbe

bis 2050 noch nicht vor, so daß die in Tabelle 2.4 angegebene Nettozunahme an Wohnbauflächen bis 2015 mit den Bevölkerungsprognosen der Länder Berlin und Brandenburg (SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG, 1999; LDS, 2001) berechnet wurde. Diese Prognosen sind untereinander bezüglich der Wanderung abgestimmt.



### 3 Konzeption eines Simulationswerkzeugs

Die Veränderung von Landschaften durch die Veränderung ihrer Nutzungsmuster ist ein Prozeß, der auf der Ebene der Einzelfläche einer Entscheidung ihres Nutzers oder Besitzers folgt. Die Simulation von Landnutzungsänderungen auf landschaftlicher Ebene muß folglich versuchen, das Ergebnis all dieser Einzelentscheidungen im Betrachtungszeitraum bestmöglich nachzubilden. In den allermeisten Fällen ist es nicht möglich, jede Einzelentscheidung zu simulieren, da weder alle Entscheider noch ihre jeweiligen Beweggründe bekannt sind. Daher bietet es sich an, für alle gleichgelagerten Entscheidungen typische Beweggründe zu unterstellen und diese dann auf alle dafür in Frage kommenden Einzelflächen anzuwenden.

Die Beweggründe sind üblicherweise auf die Eigenschaften der jeweiligen Fläche und/oder die Eigenschaften ihrer Nachbarschaft zurückzuführen: Ein Acker fällt brach, weil sein Ertrag verhältnismäßig gering ist. In diesem Fall ist der Entscheider mit dem Nutzer identisch. Wird die Ackerfläche jedoch bebaut, weil sie unmittelbar an ein bereits vorhandenes Neubaugebiet grenzt und deshalb dafür Baurecht geschaffen wurde, so ist der Entscheider die Gemeinde. Beide Entscheidungen folgen gewissen Regeln oder Beweggründen: Im ersten Fall will der Landwirt seine Betriebsbilanz optimieren, deshalb nimmt er genau die Standorte aus der Produktion, die ohnehin den geringsten Ertrag abwerfen. Im zweiten Fall soll das Baugeschehen in der Gemeinde auf bestimmte Flächen konzentriert werden, die sich eben dadurch auszeichnen, daß sie an bereits vorhandene Bebauung grenzen. Für jede zu simulierende Landnutzung kann ein Satz derartiger Regeln definiert werden.

Es existieren folglich zwei Arten von Regeln, nämlich solche, die sich auf die Eigenschaften der Einzelfläche selbst und jene, die sich auf die Eigenschaften ihrer Nachbarschaft beziehen. Die ersteren sollen im folgenden als *lokale Eignung*, die anderen als *abhängige Eignung* bezeichnet werden. Eine *Einzelfläche* ist infolgedessen eine Fläche, die bezüglich ihrer lokalen Eignung homogen ist. Die Aufgabe der Erzeugung und Verwaltung von Einzelflächen wird mit einem Geographischen Informationssystem (GIS) gelöst. Die meisten derartigen Softwarepakete (z.B. ARC/INFO, GRASS) bieten dafür vektor- und rasterbasierte Datenformate und darüberhinaus auch Routinen an, mit denen Nachbarschaftsanalysen durchgeführt werden können. Liegen entsprechende Ausgangsdaten vor, ist es im Vektorformat relativ einfach, homogene Einzelflächen zu erzeugen. Vektorbasierte Landnutzungssimulationen haben jedoch den Nachteil, daß die homogenen Einzelflächen unterschiedlich groß sind. Das wirft nicht unerhebliche Probleme bei der Nachbarschaftsanalyse auf: Wird als Nachbarschaft jede angrenzende Fläche betrachtet, so ist ein Acker, der vom vorhandenen Wohngebiet durch eine Straßenfläche getrennt ist, nicht mehr *angrenzend an vorhandene Bebauung*. Wird als Nachbarschaft jedoch ein bestimmter Abstand festgelegt, muß dazu überlegt werden, was als Anfangs- und Endpunkt festzulegen ist: meist entweder die Flächengrenze oder der Flächenschwerpunkt.

Ist der besagte Acker aber dann als Bauland festgestellt worden, so wird in der Realität nicht der ganze Schlag bebaut, sondern nur ein Teil davon. Teilflächen können aber in einem vektorbasierten System nur durch die Erzeugung neuer Geometrien umgewandelt werden.

Den einfacheren Ansatz bieten deshalb die rasterbasierten Datenformate. Da jede Rasterzelle nur einen Attributwert enthält, kann sie als homogene Einzelfläche bezeichnet werden. Die Zellengröße kann vom Anwender so gewählt werden, daß sie der kleinsten zu simulierenden Nutzungseinheit entspricht. Damit entfällt das Umwandeln von Teilflächen, Nachbarschaften können sehr einfach in Vielfachen der Zellengröße ausgedrückt werden, die Exaktheit der Festlegung einer Nachbarschaft ist damit bestimmbar. Für das hier beschriebene System wurde deshalb ein rasterbasierter Ansatz gewählt. Der Nachteil einer rasterbasierten Datenhaltung ist der Verlust an Genauigkeit, die einige vektorbasierte Ausgangsdaten vielleicht mitbringen.

Für die Simulation von Landnutzungsänderungen in rasterbasierten Anwendungen Geographischer Informationssysteme werden häufig *Zelluläre Automaten* benutzt (RIEDL, 1999; LOIBL, 2000). Ein solcher verändert eine Zelle ausschließlich in Abhängigkeit von ihrem eigenen Zustand und dem Zustand einer festgelegten Anzahl von Zellen einer definierten Nachbarschaft. Im einfachsten Fall handelt es sich um zwei mögliche Zustände (0 und 1) und eine Nachbarschaft von acht Zellen (CONWAYS *Game of Life*), d.h. in einem regelmäßigen Gitter um alle an eine Zelle direkt angrenzenden Zellen. Der zelluläre Automat setzt somit das Prinzip der lokalen und der abhängigen Eignung um. Beide Eignungen zusammen ermöglichen für jede einzelne Zelle eine wenn-dann Entscheidung zugunsten oder zuungunsten einer Landnutzungsänderung. Dieses Spiel kann beliebig oft wiederholt werden, und der Endzustand einer Iteration ist dann stets der Ausgangszustand der folgenden.

Das Prinzip des zellulären Automaten ist also in der Lage, Landnutzungsänderungsentscheidungen auf der Basis von Eignungsregeln zu simulieren. Es hat jedoch den entscheidenden Nachteil, daß in jeder Iteration stets alle geeigneten Zellen umgewandelt werden. Diese Eigenschaft ist in der vorliegenden Studie nicht erwünscht, weil insgesamt nur eine dem Szenario entsprechende Anzahl an Zellen umgewandelt werden soll. Die Festlegung eines Umwandlungsziels entspricht andererseits nicht dem Prinzip des zellulären Automaten, für den jede Zelle autonom ist. Das für diese Studie entwickelte Simulationswerkzeug soll deshalb als *modifizierter zellulärer Automat* bezeichnet werden. Es wurde für das GIS-Paket ArcView (Version 3.x) in der Scriptsprache AVENUE (ESRI, 1996) implementiert und verfolgt zwei Ziele: Erstens setzt es das Prinzip der lokalen und abhängigen Eignung konsequent um und ermöglicht es zweitens GIS-unerfahrenen Anwendern, Landnutzungsänderungssimulationen durchzuführen. Eine Bedienungsanleitung für die Nutzeroberfläche enthält der Anhang A.

Da nicht jede Einzelentscheidung simuliert werden kann, beschränkt sich eine Simulation darauf, innerhalb der allgemein als geeignet erkannten Flächen eine Nutzungsänderung über einen Zufallsgenerator auszuführen. Eine Simulation selbst läuft folgendermaßen ab (vergleiche Abbildung 3.1): Im Vorfeld werden die zu bearbeitenden Nutzungsklassen mit ihrer lokalen und abhängigen Eignung sowie ihrer gewünschter Mindestgröße festgelegt. Sodann wird in  $n$  Iterationen versucht, die gewünschte Anzahl Zellen für jede

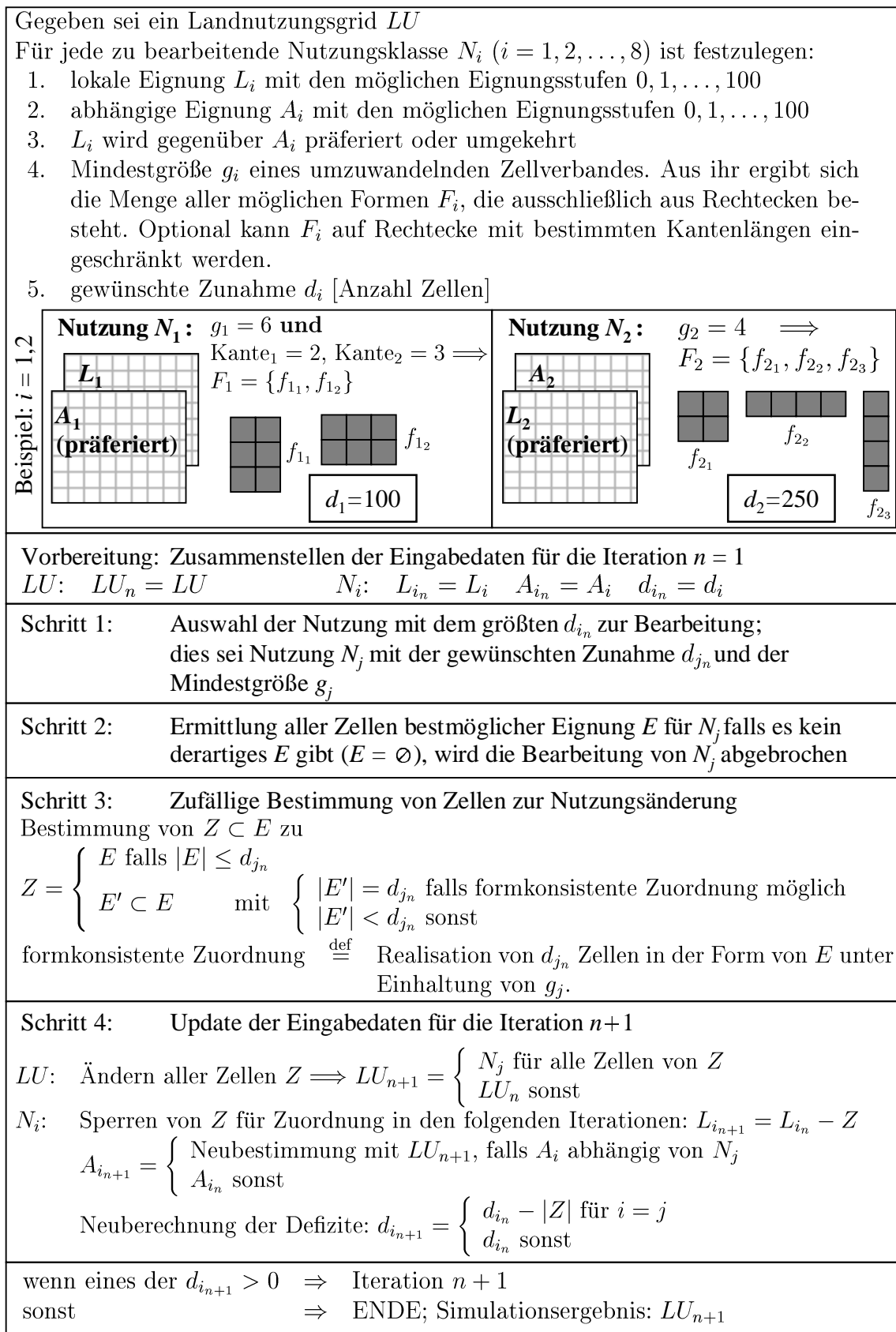

 Iteration  $n$ 

Abbildung 3.1: Ablauf einer Simulation; der dem Schritt 2 zugrundeliegende Algorithmus ist in Abbildung 3.2 dargestellt, Schritt 3 wird im Text erläutert

Nutzungsklasse innerhalb der am besten geeigneten Zellen (Menge  $E$ ; vergleiche Abbildung 3.1 und 3.2) zu realisieren. Wird eine größere Zunahme gewünscht, als  $E$  Zellen enthält, werden alle Zellen von  $E$  umgewandelt. Die Formkonsistenz wird in diesem Falle dadurch gewährleistet, daß  $E$  nur aus solchen Zellgruppen besteht, die die vom Nutzer geforderte Mindestgröße einhalten.

Stellt  $E$  jedoch mehr Zellen zur Verfügung als für die Nutzungsänderung vorgesehen, werden aus allen gleich gut geeigneten Zellen zufällig solange Zellen ausgewählt, bis das Ziel erreicht ist. Im Falle von Einzelzellen (Mindestgröße  $g_j = 1$ ) führt dieses Vorgehen relativ schnell zum gewünschten Ergebnis. Handelt es sich jedoch um die gleichzeitige Umwandlung mehrerer Einzelzellen (Mindestgröße  $g_j > 1$ ), kommt ein komplexerer Algorithmus zur Anwendung, der im folgenden erläutert wird:

Sei  $N_j$  die in Iteration  $n$  zu bearbeitende Nutzung mit der Mindestgröße  $g_j$  und ihrer Menge aller möglichen Formen  $F_j$  (vergleiche Abb. 3.1) sowie einer gewünschten Zunahme von  $d_{j_n}$  Zellen, dann werden die Zellen zur Nutzungsänderung innerhalb der Menge geeigneter Zellen  $E$  folgendermaßen bestimmt:

1. Zufällige Auswahl einer der Gruppen zusammenhängender Zellen  $e \in E$ . Um eine gleichmäßige Verteilung der umzuwandelnden Zellen über alle solchen Gruppen von  $E$  zu erreichen, geht die Größe jeder Gruppe als Wichtung ein.
2. Das  $e$  umgeschriebene Rechteck hat die linke untere Ecke  $x_{lu}, y_{lu}$  und die rechte obere Ecke  $x_{ro}, y_{ro}$
3. Zufällige Auswahl einer Form  $f \in F_j$
4. Zufällige Bestimmung der linken unteren Ecke von  $f$  zu  $x_p, y_q$  mit
  - a)  $x_{lu} \leq x_p \leq x_{ro}$  ;  $p = \{1, \dots, 4\}$  und
  - b)  $y_{lu} \leq y_q \leq y_{ro}$  ;  $q = \{1, \dots, 4\}$
5. Platzierung von  $f$  :

falls  $f_{x_p, y_q}$  komplett in  $e$  liegt, dann  $f_{x_p, y_q} \longrightarrow Z$

sonst  $\left\{ \begin{array}{l} \text{falls } q < 4, \text{ dann } q^{++}, \text{ weiter bei 4b} \\ \text{sonst } \left\{ \begin{array}{l} \text{falls } p < 4, \text{ dann } p^{++} \text{ und } q = 1, \text{ weiter bei 4a} \\ \text{sonst } p = 1 \text{ und } q = 1, \text{ keine Zuweisung, weiter bei 1} \end{array} \right. \end{array} \right.$

Da eine teilweise oder vollständige Überlappung der entstehenden Zellkomplexe zulässig ist, werden alle Schritte  $2d_{j_n}$  mal, maximal jedoch nur  $d_{j_n} + 100$  mal durchgeführt. Schlägt die Platzierung in mehr als 50% der Fälle fehl oder finden sehr viele Überlappungen statt, kann das Ziel  $d_{j_n}$  nicht realisiert und damit nur ein Teil der gewünschten Anzahl Zellen umgewandelt werden, die Zuordnung ist nicht *formkonsistent* (vergleiche Schritt 3 in Abb. 3.1). In den meisten anderen Fällen werden jedoch mehr als  $d_{j_n}$  Zellen für die Umwandlung zur Verfügung stehen, wodurch eine *formkonsistente Zuordnung* möglich wird. Um jedoch insgesamt nicht mehr als  $d_{j_n}$  Zellen umzuwandeln, werden aus

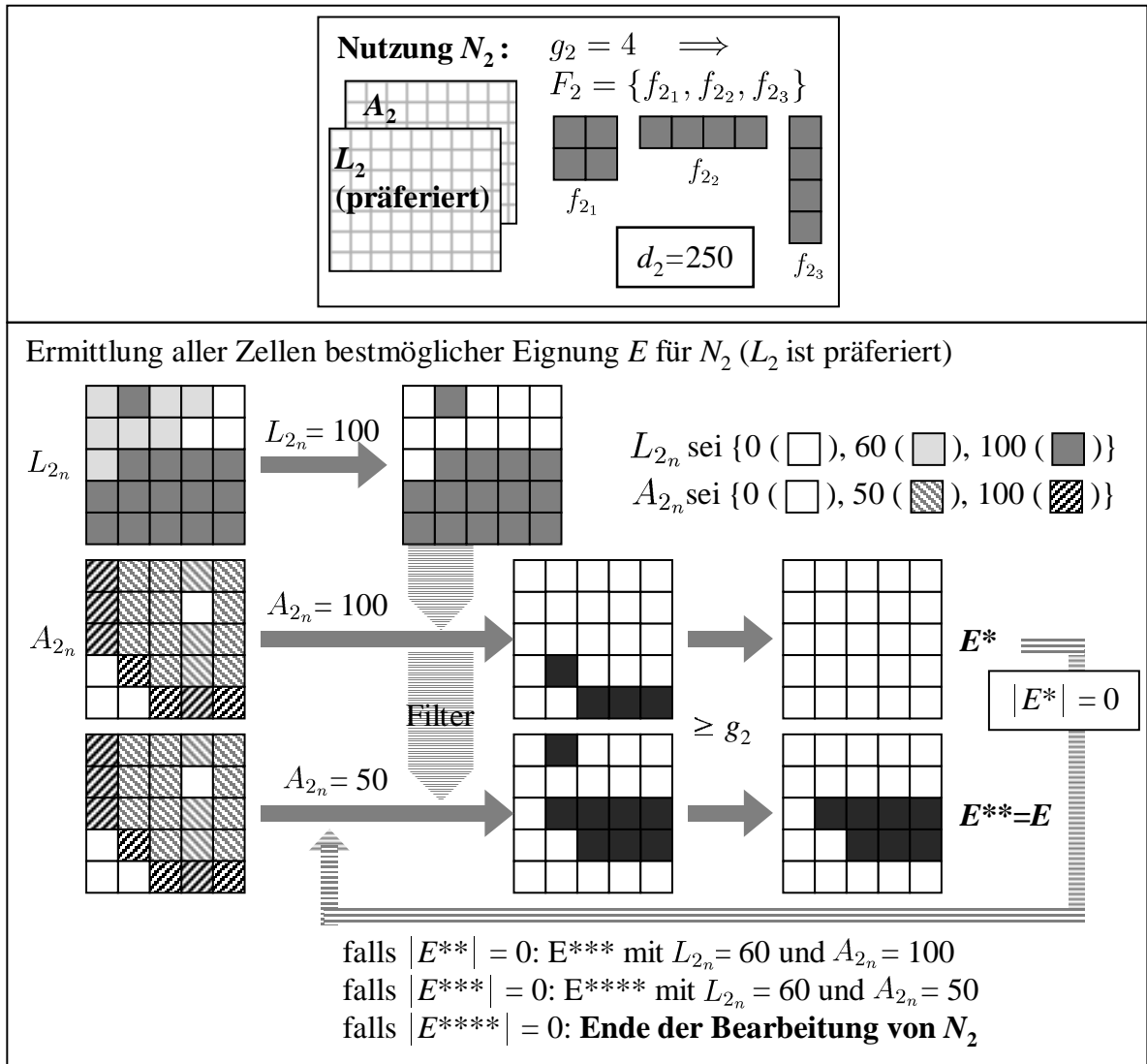


Abbildung 3.2: Beispiel zur Ermittlung aller Zellen bestmöglicher Eignung (vergleiche Schritt 2 in Abb. 3.1)

allen für die Umwandlung ausgewählten Zellkomplexen<sup>1</sup> solange zufallsgesteuert Zellkomplexe gelöscht, bis die Anzahl  $d_{j_n}$  erreicht ist. Da aus programmtechnischen Gründen nur zusammenhängende Zellkomplexe und nicht Einzelzellen löscher sind, kann es in Einzelfällen vorkommen, daß etwas mehr als  $d_{j_n}$  Zellen umgewandelt werden. Um andererseits diesen Überschuß möglichst gering zu halten, wird mit dem Löschen bei den kleinsten Zellkomplexen begonnen.

Zwei Punkte verdienen besondere Beachtung: Erstens entspricht die Angabe einer Präferenz für eines der Eignungsgrids der Realität der meisten Landnutzungen, bezeichnet es doch diejenige Eignung, die im Zweifelsfalle überwiegt. Die angegebene Präferenz erlangt erst dann Geltung, wenn es keine Zellen gibt, in denen beide Eignungsgrids ihren Maximalwert erreichen (vergleiche Abbildung 3.2). Über die optionale Einschränkung der Menge aller möglichen Formen auf Rechtecke mit einer bestimmten Mindestkantenlänge kann zweitens die Entstehung von unerwünschten Formen unterdrückt werden, jedoch ist zu beachten, daß diese unerwünschten Formen trotzdem entstehen, falls die Menge  $E$  kleiner als der gewünschte Zuwachs ist. Dann werden nämlich alle Zellen von  $E$  umgewandelt (erster Fall in Schritt 3, Abbildung 3.1). Eine Formprüfung ist in diesem Fall programmtechnisch nicht vorgesehen.

Für konkrete Anwendungen ist die Formulierung der Eignungsregeln entscheidend für das Simulationsergebnis. Das hier vorgestellte Simulationswerkzeug enthält neben dem Simulationsalgorithmus Hilfsmittel für die Umsetzung von Eignungsregeln in Rasterdaten als Eingangsdaten für die Simulation. Damit ist eine wichtige Voraussetzung dafür gegeben, daß die Diskussion eines Simulationsergebnisses auf das Wesentliche fokussiert werden kann, nämlich ob weitere Regeln hätten berücksichtigt werden müssen, ob die in die Simulation eingebrachten Eignungsregeln für die zur Debatte stehende Landnutzungsänderung überhaupt relevant sind und ob das Einbringen dieser Regeln in einer sinnvollen Weise geschah. Der Funktionsumfang des Simulationswerkzeuges ist im Detail in Anhang A beschrieben.

---

<sup>1</sup>sie müssen aufgrund von Überlappungen der Einzelformen nicht mehr unbedingt der gewünschten Größe  $g_j$  oder einem Element der Menge aller möglichen Formen  $F_j$  entsprechen

## 4 Erzeugung verschiedener Zustände der Landnutzung

### 4.1 Referenzlandnutzung

Sollen die Auswirkungen der Siedlungsflächenentwicklung auf den Wasserhaushalt des Berliner Raums bestimmt werden, so muß zunächst der Status Quo der Siedlungsflächen festgelegt werden, d.h. die vorhandene Landnutzung für das Referenzjahr. Dieses ist innerhalb von GLOWA-Elbe einheitlich das Jahr 2000. Ausgehend von dieser Referenzlandnutzung können dann zukünftige Zustände (Szenarien) der Siedlungsflächenentwicklung abgeleitet und mit ihrer Hilfe die Auswirkungen dieser Veränderungen auf den Wasserhaushalt studiert werden (Kapitel 5).

#### Ausgangsdaten

Der Berliner Senat stellte aus seinem Umweltinformationssystem (UIS) die Geometrien der Blockflächen digital zur Verfügung. Es kommen drei Arten von Flächen vor: Blockflächen, Blockhauptflächen und Blockteilflächen. Blockflächen liegen vor, wenn ein Block in sich homogen ist. Ist das nicht der Fall, handelt es sich um eine Blockhauptfläche, die ihrerseits in Blockteilflächen zerfällt. Die Shapedatei wurde in ein ARC/INFO Coverage überführt, da die weitere Berarbeitung der Geometrien in ARC/INFO erfolgen sollte. Das topologische Datenmodell, das ARC/INFO zugrunde liegt, erlaubt einem Punkt in der Fläche die Zugehörigkeit zu nur einem Polygon (Ausnahme: Punkte auf Polygongrenzen). Vor der Erzeugung des ARC/INFO Coverages wurden deshalb alle Blockhauptflächenpolygone gelöscht. Die daraus entstandene Datenbasis enthält nun nur noch Blockflächen und Blockteilflächen, die im Folgenden vereinfachend nur *Blockflächen* genannt werden. Einige Gewässerflächen werden im UIS nicht als Blockflächen geführt, sie wurden als separate Datei bereitgestellt und in das Coverage integriert. Entsprechend dem Datenmodell des UIS gehören Straßenflächen nie zu den Blockflächen. Da jedoch flächendeckende Landnutzungsinformationen angestrebt waren, wurden alle weder durch Blockflächen noch durch Gewässer gekennzeichneten Flächen innerhalb der Landesgrenze als Straßenflächen gekennzeichnet.

Für den brandenburgischen Teil des Untersuchungsgebiets *Großraum Berlin* kam die Biotoptypenkartierung des Landes Brandenburg zur Anwendung (MUNR, o.J.).

#### Definition neuer Landnutzungscode

Aus den nach unterschiedlichen Gesichtspunkten erhobenen Daten sollte eine einheitliche Datenbasis mit Landnutzungsdaten entstehen, wobei möglichst keine Informationen der Ausgangsdaten verloren gehen sollten. Als Eingabe in das hydrologische Modellsystem (siehe Kapitel 5) wurde ein Katalog von 29 Landnutzungen ausgearbeitet (Tabelle 4.1). Sie bilden die ersten beiden Stellen eines vierstelligen Landnutzungscode. Die dritte Stelle bezeichnet die Art der Entwässerung einer Fläche und die vierte den Anschlußgrad. Die Informationen für die Stellen drei und vier liegen nur für Berlin vor, so daß sie in

Tabelle 4.1: Neu entwickelter vierstelliger Landnutzungscode; theoretisch kann jede Nutzung mit jeder der Stellen drei und vier kombiniert werden

Stellen 1 und 2: Nutzung	Stelle 3: Art der Entwässerung
10 Gewässer	0 nicht entwässert
11 Feuchtflächen	1 Mischkanalisation
12 sonstige Feuchtflächen	2 Trennkanalisation
21 Feuchtgrünland	9 k.A.
22 Frischgrünland	
23 Trocken-/Halbtrockenrasen	Stelle 4: Anschlußgrad
24 sonstiges Grünland	0 Anschlußgrad 0%
30 Heide	1 Anschlußgrad 0-25%
40 Wald	2 Anschlußgrad 25-50%
41 Feuchtwald (Moor, Aue, Bruch)	3 Anschlußgrad 50-75%
42 Laubwald	4 Anschlußgrad 75-80%
43 Nadelwald	5 Anschlußgrad 80-85%
44 Mischwald	6 Anschlußgrad 85-90%
51 Acker intensiv, Saatgrünland	7 Anschlußgrad >90%
52 Ackerbrache, Wildacker	9 k.A.
61 Siedlung (Versiegelung 25%)	
62 Siedlung (Versiegelung 38%)	
63 Siedlung (Versiegelung 64%)	
64 Kerngebiet (Versiegelung 67%)	
71 Industrie/Gewerbe (Versiegelung 59%)	
72 Industrie/Gewerbe (Versiegelung 84%)	
73 Ver-/Entsorgung, Sondernutzung (Vers.54%)	
74 Baustelle	
75 Grün-/Erholungsfläche (Versiegelung 14%)	
76 Kleingarten, Gartenbau (Versiegelung 18%)	
77 Sonderfläche	
81 Verkehr (Versiegelung 38%)	
82 Straße	
90 sonstige unversiegelt	



Tabelle 4.2: unterschiedliche Informationen zur Versiegelung einer Blockfläche im UIS Berlin

Anteil der bebaut versiegelten Fläche an der Gesamtfläche	
Anteil der unbebaut versiegelten Fläche an der Gesamtfläche	vier Belagsklassen
der Blockfläche zugeordnete Straßenfläche und deren Versiegelungsgrad	vier Belagsklassen

Brandenburg zunächst mit 9 kodiert wurden.

### Berechnung eines Versiegelungsgrades für Siedlungsflächen

Unter hydrologischen Gesichtspunkten ist der Versiegelungsgrad der Siedlungsflächen eine wichtige Größe, entscheidet er doch mit darüber, welcher Teil des Niederschlags abflußbildend wirksam wird. Die Daten des UIS Berlin mußten zu denen der brandenburgischen Biotoptypenkartierung paßfähig gemacht werden, um eine einheitliche Datenbasis zu erzeugen.

Für jede Blockfläche im UIS ist der Versiegelungsgrad getrennt nach bebautem und unbebautem Flächenanteil erfaßt. Zusätzlich wird jeder Blockfläche noch ein Teil der Straßenfläche des Bezirkes zugewiesen, für die wiederum ein Versiegelungsgrad angegeben wird. Die unbebaut versiegelte Fläche und die Straßenfläche werden mit vier unterschiedlichen Belagsarten belegt (SENSUT, 1995, Kap. 01.02). Damit ergeben sich die in der Tabelle 4.2 angegebenen Informationen zur Versiegelung einer Blockfläche. Aus dieser Fülle von Informationen wurde für jede Blockfläche ein Gesamtversiegelungsgrad berechnet. Der Anteil der Belagsarten wurde entsprechend dem in Tabelle 4.3 angegebenen Infiltrationsfaktor in eine *effektive Versiegelung* umgerechnet. Somit errechnet sich der Versiegelungsgrad einer Blockfläche (einschließlich ihrer Straßenfläche) als Summe aus dem Anteil bebaut versiegelter Fläche, unbebaut versiegelter Fläche mal Infiltrationsparameter und der Straßenfläche mal Infiltrationsparameter (siehe Gleichung).

Tabelle 4.3: Infiltrationsfaktoren für vier Belagsklassen, SENSUT (1995, Kap. 02.13)

Belagsklasse	1	2	3	4
Infiltrationsfaktor	0.1	0.3	0.6	0.9

$$V_{Gesamt}[\%] = V_b + V_u \sum_{n=1}^4 \frac{B_n}{100} (1 - F_{i_n}) + \sum_{n=1}^4 \frac{S_n}{100} (1 - F_{i_n})$$

mit

$V_b$  = Anteil bebaut versiegelter Fläche [%]

$V_u$  = Anteil un bebaut versiegelter Fläche [%]

$B_n$  = Anteil der Belagsklasse n an  $V_u$  [%]

$S_n$  = Anteil Straßenfläche mit Belagsklasse [%]

$F_{i_n}$  = Infiltrationsfaktor der Belagsklasse (Tabelle 4.3)

Für alle einer neuen Nutzung zufallenden Flächen wurde das flächengewichtete Mittel einerseits der so berechneten Gesamtversiegelung ( $V_{Gesamt}$ ) und andererseits einer Gesamtversiegelung ohne Berücksichtigung unterschiedlicher Infiltrationsparameter der Belagsklassen ( $V_{Summe}$ ) berechnet:

$$V_{Summe}[\%] = \frac{(V_b + V_u)A + V_s A_s}{A + A_s}$$

mit

$A$  = Fläche der Block(teil)fläche [ $m^2$ ]

$V_s$  = Anteil versiegelter Fläche an der Straßenfläche [%]

$A_s$  = der Block(teil)fläche zugeordnete Straßenfläche [ $m^2$ ]

Um neue Nutzungstypen zu erzeugen, die auch Siedlungsflächen im weitesten Sinne umfassen (Nutzungen 61 bis 82), wurden die brandenburgischen Klassen (Tabelle 4.4) benutzt und mit den detaillierten Informationen des UIS zur Versiegelung konkretisiert: Bleiben die Belagsklassen der un bebaut versiegelten und der Straßenflächen unberücksichtigt, fällt der flächengewichtete Mittelwert der Gesamtversiegelung ( $V_{Summe}$ ) stets in den in Brandenburg angegebenen Bereich, obgleich der Wertebereich aufgrund von Ausreißern darüber hinausgeht (Tabelle 4.6). Werden jedoch die Belagsklassen berücksichtigt, ergeben sich niedrigere Mittelwerte für  $V_{Gesamt}$  (Tabelle 4.5).

Für die Biotoptypenkartierung Brandenburg wurde angenommen, daß der angegebene Versiegelungsgrad keine derartigen Belagsklassen berücksichtigt, sondern die im CIR-Luftbild erkennbar versiegelte Fläche. Unter der Annahme, daß ähnlich strukturierte Siedlungsgebiete in Berlin und Brandenburg ähnliche Belagsklassen der un bebaut versiegelten Flächen und der Straßenflächen aufweisen, gibt der flächengewichtete Mittelwert von  $V_{Gesamt}$  den Versiegelungsgrad der neuen Nutzungstypen (Tabelle 4.1) an. Damit steht für jeden der Nutzungstypen *Siedlung* ein durchschnittlicher Versiegelungsgrad zur Verfügung mit dem das hydrologische Modell angetrieben werden kann und der andererseits im Rahmen von Szenarien variierbar ist. Die Zuordnung zu einem der Typen 61 bis 63 sowie 71 und 72 erfolgte also in Brandenburg linear aus den vorhandenen Codes, in Berlin jedoch aus der Kombination einer Nutzungsklasse mit einem Versiegelungsgrad für  $V_{Gesamt}$ .

Tabelle 4.4: neue Nutzungsklassen für die Siedlungsflächen innerhalb Brandenburgs, Grundlage: MUNR (o.J.)

Klasse neu	Klassenname Biotoptypenkartierung Brb
61	Kleinsiedlung, Einzelhäuser, Versiegelung 20-40%
62	Einzel- oder Reihenhaussiedlung, Versiegelung 30-60%
63	Zeilenbebauung, Punktbebauung, Hochhäuser, Versiegelung 40-80%
64	Kernbereich, Versiegelung 80-100%
71	Gewerbe-, Handels- und Dienstleistungsflächen, Versiegelung 60-100%
72	Industrieflächen, Versiegelung 80-100%
73	technische Infrastruktur, Ver- und Entsorgung; Hafenanlagen und Bootshäuser; Mülldeponie
74	Bauflächen
75	Grün- und Freiflächen in- und außerhalb von Siedlungen
76	Gärten, Kleingärten, Baumschule, Gartenbau
77	Sonderfläche, Sonderform der Baufläche
81	Gleisanlagen, Flugplätze
82	Straße, Autobahn, Parkplatz

### **Anschlußgrad der versiegelten Flächen**

Außer dem Versiegelungsgrad kann dem UIS Berlin auch für jede Blockfläche der Anschlußgrad an die Kanalisation in Prozent der versiegelten Fläche entnommen werden. Dieser Anschlußgrad wurde derart in acht Klassen aufgeteilt (Tabelle 4.1), daß die Belegung der Klassen in etwa gleich ist (siehe Abbildungen 4.1 und 4.2).

Vom Senat wurden weiterhin Daten mit den jeweils über Misch- und Trennkanalisation entwässerten Flächen zur Verfügung gestellt. Diese Informationen sind in der dritten Stelle des neuen Landnutzungscode enthalten (Tabelle 4.1). Die Informationen über die bis zu den Jahren 2000, 2002 und 2005 angeschlossenen Flächen (Planung) wurden in die vorliegenden Daten noch nicht integriert (vergleiche Abschnitt 4.1).

Für Brandenburg waren dagegen weder Informationen zur Kanalisationsart (Abbildung 4.3 noch zum Kanalisationsanschlussgrad verfügbar. Eine entsprechende Datenaufnahme bei den kommunalen Betreibern (Verbänden) war in GLOWA-Elbe nicht vorgesehen. Für den brandenburgischen Anteil des Untersuchungsgebietes wurde deshalb auf der Basis von Datenrecherchen der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Berlin im LUA Brandenburg (RACHIMOW, mdl. Mitt.) folgende plausible Annahme zur Art des Kanalisationsanschlusses bebauter Flächen im Referenzzustand getroffen:

*Die versiegelten Flächenanteile bebauter Flächen sind zu ca. 25% nicht angeschlossen (Vor-Ort-Versickerung). Die angeschlossenen Flächen sind zu max. 10% an die Mischkanalisation angeschlossen.*

Für die Umsetzung einer solchen Annahme im hydrologischen Modell bestehen verschiedene Möglichkeiten. Einmal kann direkt während der Dargebotssimulation festge-

Tabelle 4.5: neue Nutzungscodes für Siedlungsflächen des UIS Berlin sowie flächengewichtete Mittelwerte der Versiegelung

Nutzung	Klassenname UIS Berlin	mit $V_{Gesamt}$	Mittel $V_{Summe}$	Mittel $V_{Gesamt}$
61	Wohngebiet, Mischgebiet I, Gemeinbedarf und Sondernutzung, Wochenendhaus	$\leq 30$	26	25
62	dito	$\leq 50$ UND $> 30$	39	38
63	dito	$> 50$	72	64
64	Kerngebiet	alle	81	67
71	Mischgebiet II, Gewerbe und Industrie	$< 80$	62	59
72	dito	$\geq 80$	89	84
73	Ver- und Entsorgung	alle	70	54
74	Baustelle	alle	9	6
75	Park, Grünfläche, Friedhof, Campingplatz, Sportplatz, Freibad	alle	26	14
76	Kleingärten, Mischbestand (Wiese, Gebüsch, Bäume), Baumschule, Gartenbau	alle	26	18
77	–	–	–	–
81	Verkehrsfläche	alle	84	38
82	Stadtplatz, Promenade	alle	70	47

Tabelle 4.6: Minima und Maxima für die Gesamtversiegelung sowie flächengewichtete Mittelwerte der in einen neuen Nutzungstyp eingehenden Blockflächen des UIS Berlin und für die jeweilige Klasse in Brandenburg (BRB) angegebener Versiegelungsgrad. Dargestellt sind nur die Nutzungstypen, für deren Zuordnung ein Versiegelungsgrad  $V_{Gesamt}$  relevant war.

Nutzung	Min $V_{Summe}$	Max $V_{Summe}$	Mittel $V_{Summe}$	Mittel $V_{Gesamt}$	BRB
61	0	90	26	25	20–40
62	34	93	39	38	30–60
63	58	100	72	64	40–80
71	2	100	62	59	60–100
72	86	99	89	84	80–100

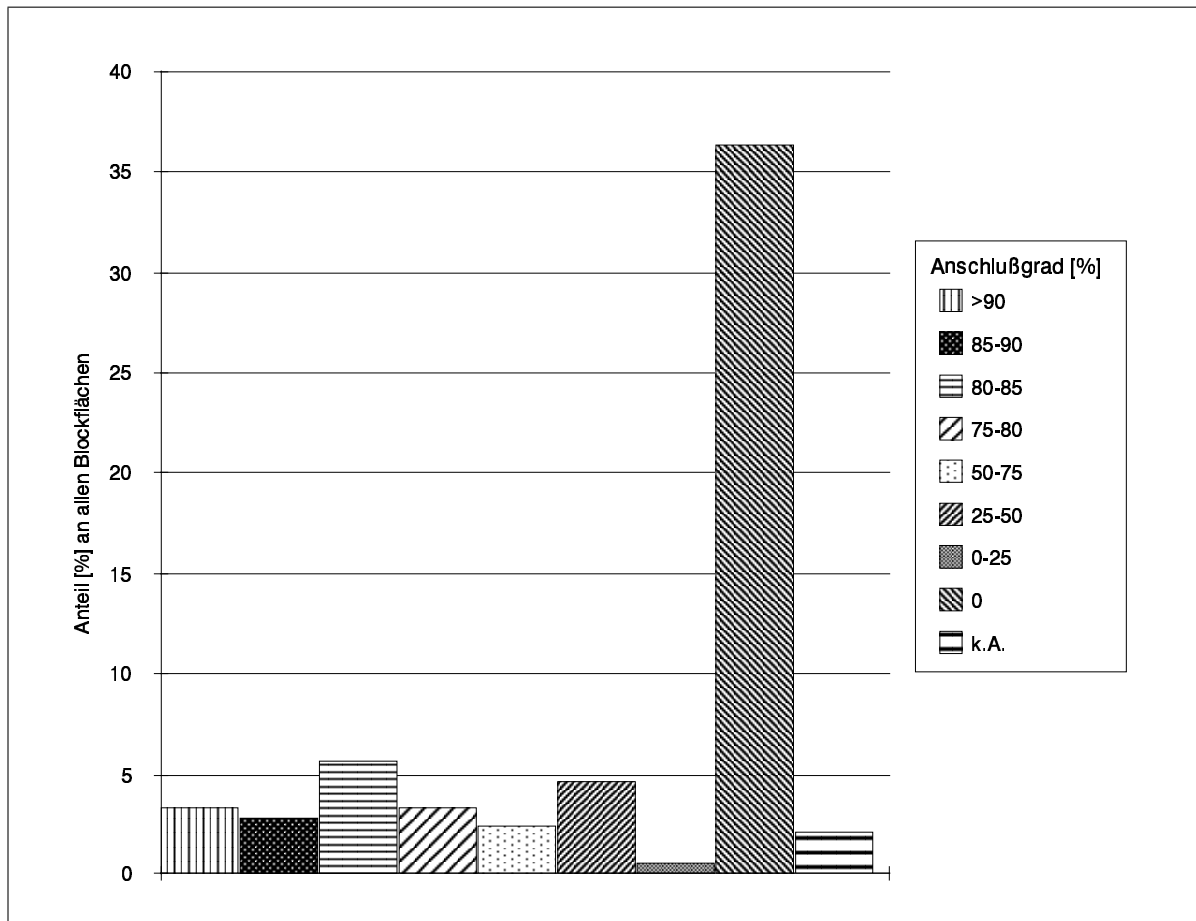


Abbildung 4.1: Verteilung der Klassen des Anschlußgrades von Blockflächen des UIS Berlin mit  $V_{Gesamt} > 0$

legt werden, dass der versiegelte Anteil jeder bebauten Fläche gemäß obiger Annahme auf die verschiedenen Kanalisationsarten aufgeteilt wird. Damit wird in jedem Maßstabsbereich (Einzelfläche, Teileinzugsgebiet, Gesamtgebiet) obiges Verhältnis realisiert. Realistischer ist es jedoch, den verschiedenen Bebauungsarten unterschiedliche Anteile an den verschiedenen Kanalisationsarten zuzuordnen. So sind Mischkanalisationen auf wenige Innenstadtbereiche größerer Städte beschränkt und werden mit größerer Wahrscheinlichkeit für dementsprechende Bebauungen wie *Kerngebiete* als für *Kleingärten*,... oder *Grün- und Erholungsflächen* gelten. Die gewählte Zuordnung der Anteile verschiedener Kanalisationsarten auf Landnutzungsklassen zeigt Tabelle 4.7 (grau unterlegt). Diese Anteile wurden mit dem in Kapitel 3 beschriebenen Simulationswerkzeug verortet.

Nach diesen landnutzungsspezifischen Festlegungen zur Art des Kanalisationsanschlusses mussten nun für das Brandenburger Gebiet ebenfalls Annahmen zum Anschlussgrad an die Kanalisation getroffen werden. Für die Anschlussgrade wurde angenommen, dass sich die mittleren Verhältnisse von Berlin auf Brandenburg übertragen

Tabelle 4.7: Vorgaben für die Aufteilung der Kanalisationsarten auf die verschiedenen (bebauten) Landnutzungsarten in Brandenburg

Klasse	Nutzung	Flächenanteil der Klasse an den bebauten Flächen insgesamt [%]	Anteil der Kanalisationsart					
			innerhalb der Landnutzungs-kategorie [%]			an der bebauten Fläche insgesamt [%]		
			nicht angeschlossen	Trennkanalisation	Mischkanalisation	nicht angeschlossen	Trennkanalisation	Mischkanalisation
6199	Siedlung (Versiegelung 25%)	9,99	10	80	10	1,0	8,0	1,0
6299	Siedlung (Versiegelung 38%)	35,11		90	10	0,0	31,6	3,5
6399	Siedlung (Versiegelung 64%)	2,82		80	20	0,0	2,3	0,6
6499	Kerngebiet (Versiegelung 67%)	2,36		70	30	0,0	1,6	0,7
7199	Industrie/Gewerbe (Versiegelung 59%)	7,35		90	10	0,0	6,6	0,7
7299	Industrie/Gewerbe (Versiegelung 84%)	3,24		80	20	0,0	2,6	0,6
7399	Ver-/Entsorgung, Sondernutzung (Versiegelung 54%)	1,43	35	50	15	0,5	0,7	0,2
7499	Baustelle	0,64	100			0,6	0,0	0,0
7599	Grün-/Erholungsfläche (Versiegelung 14%)	18,46	50	50		9,2	9,2	0,0
7699	Kleingarten, Gartenbau (Versiegelung 18%)	1,99	20	80		0,4	1,6	0,0
7799	Sonderflächen	12,77	100			12,8	0,0	0,0
8199	Verkehr (Versiegelung 38%)	2,79		90	10	0	2,5	0,3
8299	Straße	1,05		90	10	0	0,9	0,1
Gesamt		100,00				24,5	67,7	7,8
							90	10

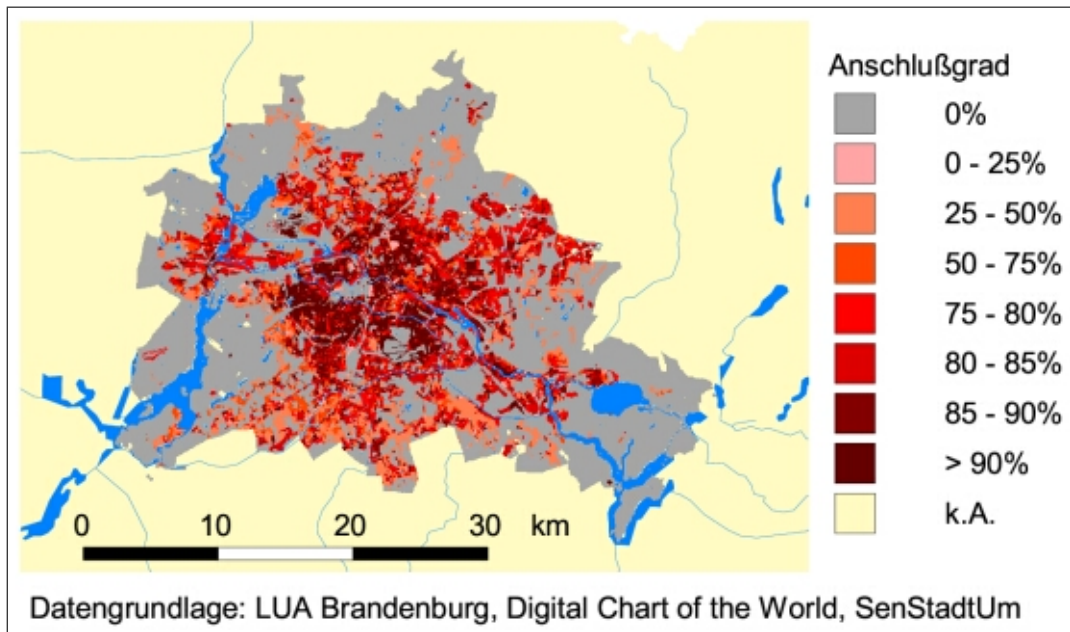


Abbildung 4.2: Verteilung der Klassen des Anschlußgrads in Berlin

lassen. In Berlin sind im Mittel 66% der versiegelten Anteile von Blockteilflächen, die in einem Mischkanalisationsgebiet liegen, an diese angeschlossen. In trennkanalisierten Gebieten sind das 60%. Eine Erklärung für den etwas höheren Anschlussgrad bei den mischkanalisierten Gebieten liegt darin, dass dies vor allem dicht bebaute Innenstadtbereiche sind.

Die sehr hohen Anteile des Anschlusses an die Trennkanalisation innerhalb der Wohnbebauungen, Industrie- und Gewerbenutzungen und selbst für Kleingärten spiegelt das weitgehend umgesetzte Bestreben in Brandenburg wieder, möglichst sämtliche Flächen anzuschliessen. Über den Anschlussgrad wird dann abgebildet, dass bedeutende Flächenanteile (40%) wie Dachflächen etc. vor Ort versickern.

### Datenaufbereitung

Die Polygone des UIS Berlin wurden mit den neuen Landnutzungscode belegt und aus Soldnerschen Koordinaten in Gauß-Krüger Koordinaten (entsprechend der Projektion der Biotoptypenkartierung) umprojiziert. Die Polygone der Biotoptypenkartierung wurden mit den neuen Landnutzungscode versehen. Für das in Kapitel 3 beschriebene Simulationswerkzeug sind jedoch Rasterdaten als Eingangsdaten bereitzustellen. Die räumliche Auflösung sollte dabei einerseits nicht höher sein als die der Eingangsdaten, um keine höhere Genauigkeit vorzutäuschen, andererseits ist sie so zu wählen, daß sich die Siedlungsentwicklung in hinreichender Detailliertheit abbilden läßt. Konkret bedeutet dies, daß die Rastergröße zwischen 10m (Größe eines Hauses) und 200m (Größe eines Baugebietes) Kantenlänge liegen sollte. Die beiden Polygoncoverages wurden in Rasterdaten umgewandelt und zu einem Grid mit einer Zellgröße von 50 Metern zusammengefaßt. Dieses Grid hatte noch diverse Fehlstellen, deren Entstehung teilweise

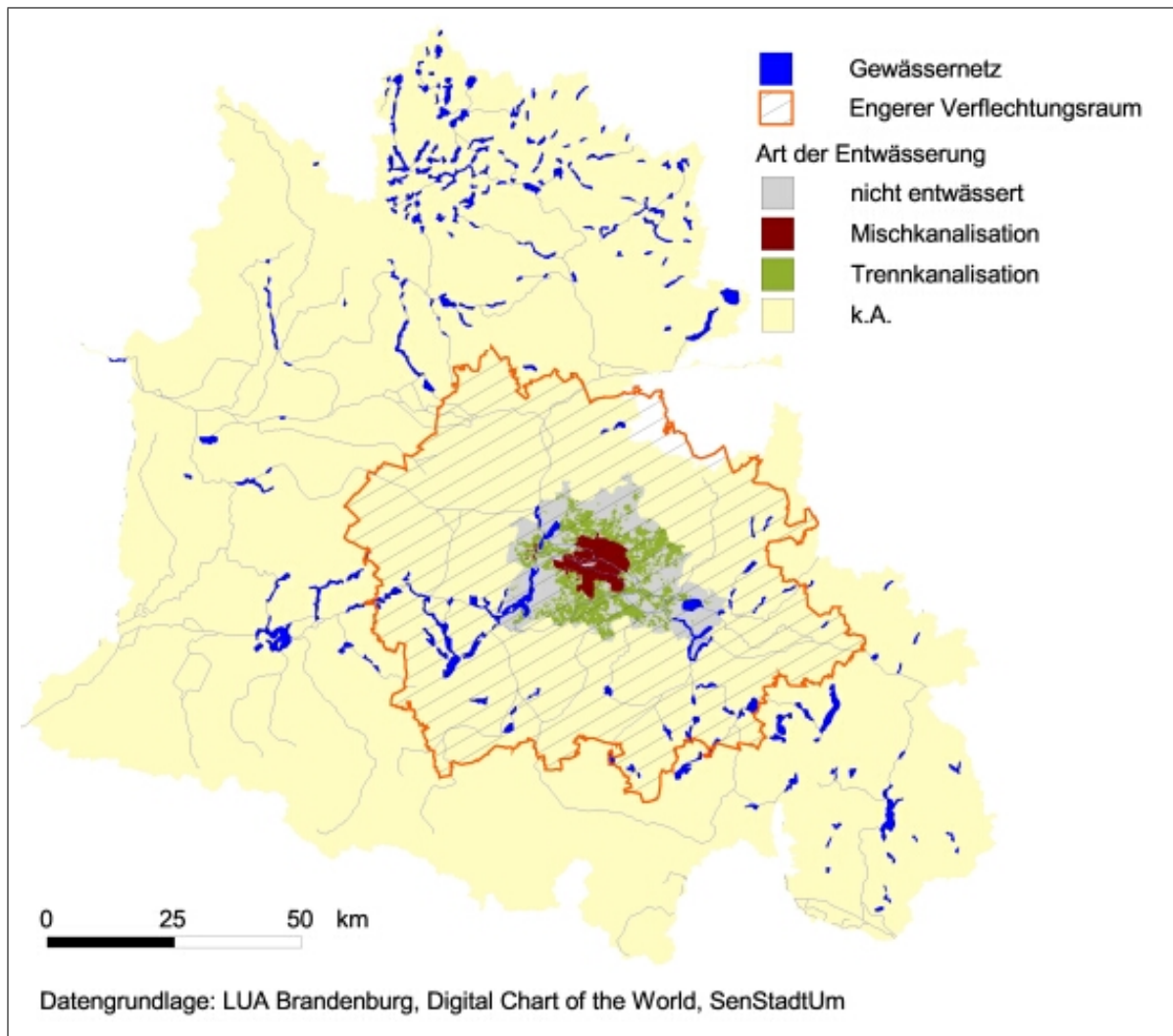


Abbildung 4.3: Informationen in der Landnutzungsdatenbasis zur Art der Entwässerung



geplant war (z.B. die Straßenflächen in Berlin, deren Versiegelungswerte ja bereits in den sie umgebenden Blockflächen enthalten sind). Zum anderen Teil waren sie bereits vorhanden (Fehlstellen oder nicht korrigierbare Fehlcodierungen in den Ausgangsdaten) oder eine Folge der Verschneidung (Lücken entlang der Berlin-Brandenburgischen Landesgrenze<sup>1</sup>). Um alle diese Zellen dennoch mit Werten zu belegen, wurde ein Verfahren angewendet, bei dem die Fehlstellen mit dem Wert des jeweils nächsten Nachbarn aufgefüllt werden. Dies führt, insbesondere bei den Straßenflächen in Berlin, zu sinnvollen und gewünschten Resultaten.

## 4.2 Zukünftige Zustände

Für jedes der in Tabelle 2.3 auf Seite 15 enthaltenen Szenarien wurde mit dem Simulationswerkzeug eine Verortung der Siedlungsflächenzuwächse gemäß Tabelle 2.4 auf Seite 15 in zwei Schritten durchgeführt: Schritt 1 enthält die Veränderungen im Zeitraum 2000 bis 2010, Schritt 2 diejenigen von 2010 bis 2015. Da die Landnutzung für die Wasserhaushaltsmodellierung während des Modelllaufs nicht dynamisch verändert werden kann, ist für die Modellperioden 2000-2017, 2017 bis 2032 und 2032 bis 2052 jeweils eine mittlere Landnutzung festzulegen. Der Zustand 2010 soll dem mittleren Zustand der ersten Modellperiode entsprechen. Die mittleren Zustände der folgenden Modellperioden können erst berechnet werden, wenn Bevölkerungsprognosen für den gesamten Betrachtungszeitraum bis 2050 vorliegen.

Um die in den Kategorien Ein- und Mehrfamilienhaus gegebenen Zuwächse zu realisieren, muß jeder dieser Kategorien eine der oben aufgeführten Landnutzungsklassen zugewiesen werden. Die Klassen 61 bis 63 haben alle die Nutzung *Siedlung* und einen durchschnittlichen Versiegelungsgrad, der ungefähr der Wohnflächendichte der jeweiligen Kategorie entspricht. Die Zuweisung von Landnutzungsklassen zu den Kategorien ist in Tabelle 4.8 enthalten. Für jede Klasse wurde eine Mindestgröße in Pixeln (bei der gewählten Zellgröße von 50 Metern entspricht ein Pixel 0.25 Hektar) festgelegt und eine lokale sowie eine abhängige Nutzung berechnet. Hauptdatenquelle für die Festlegung der Eignung waren vom Landesumweltamt Brandenburg bereitgestellte digitale Daten des LEP eV sowie die aktuelle Landnutzung. Diese Ausgangsdaten wurden unter Vorgabe der für das jeweilige Szenario anzuwendenden *Storyline* in Eignungsregeln umgesetzt.

Der LEP eV unterscheidet zwischen drei Typen von Gemeinden. Ihre Lage ist der Abbildung 4.4 zu entnehmen. Am wichtigsten für die Siedlungsentwicklung sind die Gemeinden mit *potentiellem Siedlungsbereich* (Typ 1). Auf sie und die *weiteren Siedlungsschwerpunkte* (Typ 2) ist der Zuwachs von Einwohnern und Arbeitsplätzen zu konzentrieren. Alle übrigen Gemeinden gehören zum Typ 3; in ihnen ist Siedlungsentwicklung nur im Innenbereich und auf Konversionsflächen im Siedlungszusammenhang zulässig (LEP eV, S. 9). Außer den *Siedlungsbereichen* werden noch der *Freiraum mit großflächigem Ressourcenschutz* und der *Freiraum mit besonderem Schutzanspruch* ausgegrenzt

---

<sup>1</sup>Wird ein und die selbe Linie zweimal digitalisiert, ergeben sich zwischen beiden Linien immer Unterschiede und das besonders, wenn die Linien aus unterschiedlichen Datensätzen mit unterschiedlichen Vorgaben für die Digitalisiergenauigkeit stammen.

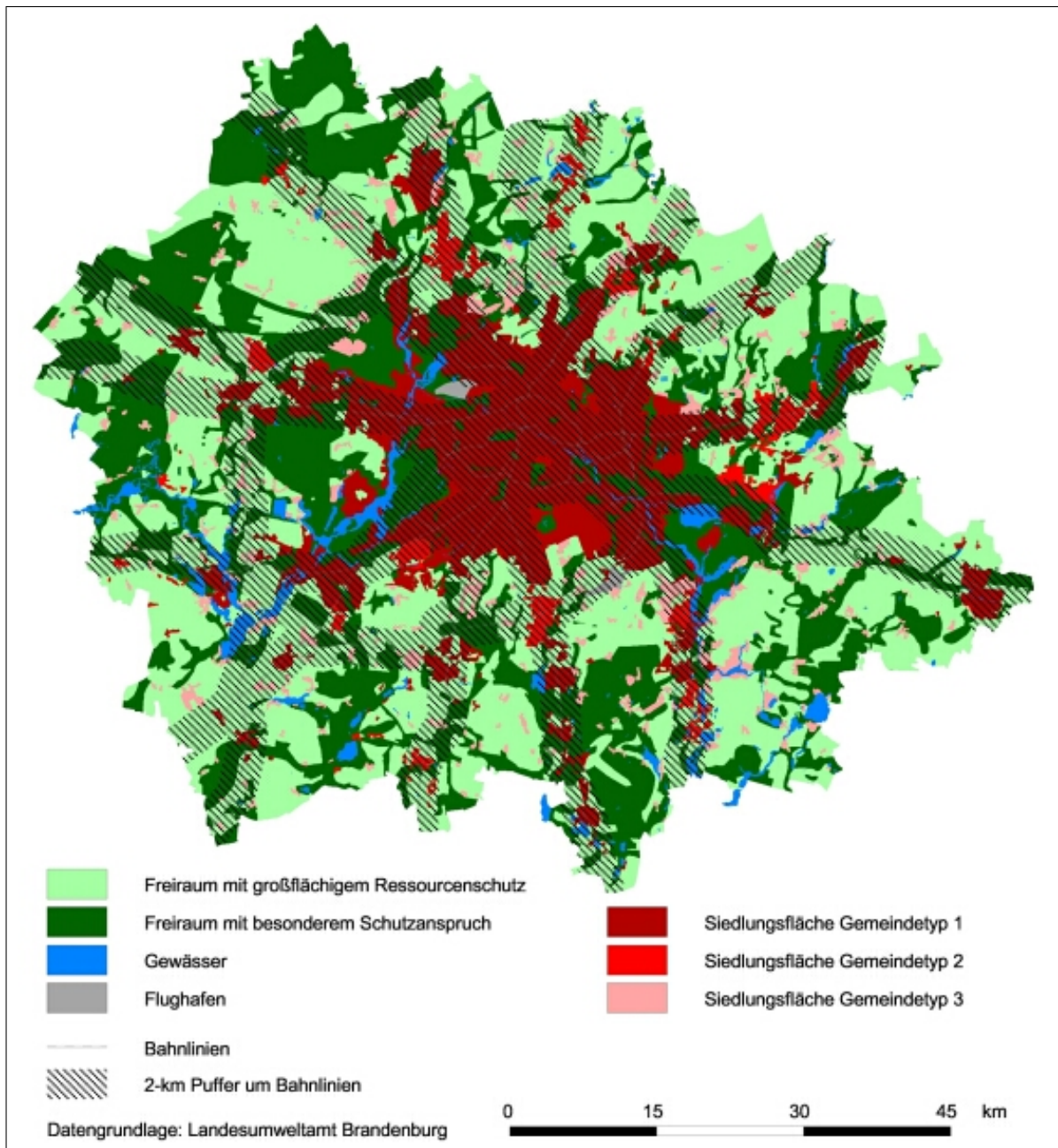


Abbildung 4.4: Raumkategorien im engeren Verflechtungsraum (Quelle: LEP eV)

Tabelle 4.8: simulierte Landnutzungsklassen; die Größe gibt die für die Simulation eingestellte minimale Größe in Pixeln an (vergleiche Numerierung Tabelle 4.1)

Szenario	Klasse	Bezeichnung	Größe
A1	61-1	Neubau EFH Berlin	1
	61-2	Neubau EFH Brandenburg	1
	63-1	Neubau MFH Berlin	3
B2	62-1	Nachverdichtung von Pixeln der Klasse 61xx Berlin	1
	62-2	Nachverdichtung von Pixeln der Klasse 61xx Brandenburg	1
	62-3	Neubau EFH Berlin	1
	62-4	Neubau EFH Brandenburg	1
	63-1	Neubau MFH Berlin	3
	63-2	Neubau MFH Brandenburg	3
	AM	61-1	Neubau EFH Berlin
	61-3	Neubau EFH Brandenburg	1
	63-1	Neubau MFH Berlin	3
	72	Neubau Gewerbe Brandenburg	16

(Abbildung 4.4). Der LEP eV enthält u.a. mehrere im Zusammenhang mit der Siedlungsentwicklung relevante Ziele: Verdichtung und Flächenrecycling haben Vorrang vor Neubebauung, neue Siedlungsflächen sollen sich an vorhandene anschließen und Konversionsflächen im Ortsbereich sind für Siedlungszwecke zu nutzen. Darüberhinaus ist die Siedlungsentwicklung grundsätzlich so zu gestalten, daß die neuen Siedlungsflächen an den schienengebundenen ÖPNV angeschlossen sind. Dies ist jedoch kein Ziel, sondern ein den gesamten Plan durchziehender Grundsatz. Die zeitliche Gültigkeit des LEP eV endet im Jahre 2010.

Der LEP eV bindet als übergeordnetes Planwerk die nachgeordneten Planungsträger. Deshalb wurden seine Aussagen in die Eignungsregeln der Szenarien A1 und B2 eingestellt, wobei jeweils diejenigen Aussagen bevorzugt berücksichtigt wurden, die der jeweiligen *Storyline* am ehesten entsprechen. Das Szenario *Amerikanisierung* berücksichtigt den LEP eV nicht, weil es sich bei der Amerikanisierung ja um eine Siedlungsentwicklung handelt, der der LEP eV entgegenwirken soll.

In allen Szenarien wurde darauf geachtet, daß keine Siedlungslücken und Splittersiedlungen entstehen. Die abhängige Eignung ist deshalb grundsätzlich nur im Umkreis von 250 Metern (5 Pixeln) um bereits bestehende Siedlungsgebiete der Klasse 61 oder 62 für Einfamilienhäuser und 63 für Mehrfamilienhäuser gegeben. Von Gewerbegebieten (Klassen 71–73) wird demgegenüber ein Abstand von 250 Metern eingehalten. Die Klasse 72 im Szenario *Amerikanisierung* ist nur im Umkreis von 500 Metern um bestehende Gewerbegebiete möglich.

Die lokale Eignung der neuentstehenden Wohngebiete berücksichtigt die verkehrliche Erschließung, die Lage im potentiellen Siedlungsbereich, das Vorliegen von Bebauungsplänen und Konversionsflächen sowie gewisse Ausschlussflächen: bereits bebaute Flächen,

Tabelle 4.9: lokale Eignung aller Klassen (siehe zur Klassenbezeichnung Tabelle 4.8)

Klasse	Kriterien für die lokale Eignung
61-1	nur <i>Siedlungsbereich</i>
61-2	nur <i>Siedlungsbereich</i> , Bevorzugung von Typ-1-Gemeinden, innerhalb eines Gemeindetyps wiederum Bevorzugung von Flächen, die im Bereich von 2 Kilometern um Bahnlinien liegen, Typ-3-Gemeinden jedoch ausschließlich in diesem Fall
61-3	nur im Bereich von 3 Kilometern um überörtlich bedeutsame Straßen oder 5 Kilometer um Autobahnen, Bevorzugung des <i>Siedlungsbereichs</i> , jedoch zulässig im <i>Freiraum mit großflächigem Ressourcenschutz</i> , Bevorzugung der Typ-3-Gemeinden gegenüber Typ 2 und 1
62-1	die Nachverdichtung findet nur auf Flächen der Klasse 61 statt
62-2	die Nachverdichtung findet nur auf Flächen der Klasse 61 statt, jedoch Bevorzugung von Flächen, die im Bereich von 2 Kilometern um Bahnlinien liegen
62-3	keine Einschränkung
62-4	nur im Bereich von 2 Kilometern um Bahnlinien, Konversionsflächen und Flächen mit gültigem Bebauungsplan bevorzugt, ansonsten Bevorzugung der Gemeinden vom Typ 1 gegenüber den Typen 2 und 3
63-1	Bevorzugung von Konversionsflächen
63-2	nur im Bereich von 2 Kilometern um Bahnlinien, bevorzugt Typ-1-Gemeinden oder Konversionsflächen bzw. Flächen mit gültigem Bebauungsplan der Gemeindetypen 2 und 3, <i>Freiraum mit großflächigem Ressourcenschutz</i> möglich, falls Konversionsfläche oder gültiger Bebauungsplan vorliegt, erst danach folgen <i>Siedlungsflächen</i> der Gemeindetypen 2 und 3 ohne Konversion oder Bebauungsplan
72	nur im Bereich von 3 Kilometern um überörtlich bedeutsame Straßen oder 5 Kilometer um Autobahnen, bevorzugt <i>Freiraum mit großflächigem Ressourcenschutz</i> gegenüber <i>Siedlungsflächen</i>

Wald-, Wasser- und Grünflächen sind von einer Bebauung ausgeschlossen. Desweiteren findet im Umkreis von zwei Kilometern um die im LEP eV enthaltenen Flughäfen Tegel und Schönefeld keine Wohnbebauung statt. Die Regeln der lokalen Eignung für alle Klassen sind in Tabelle 4.9 zusammengefaßt, Abbildung 4.5 enthält ein Beispiel.

Das Simulationsergebnis für das Szenario A1a zeigt Abbildung 5.1 auf Seite 40.

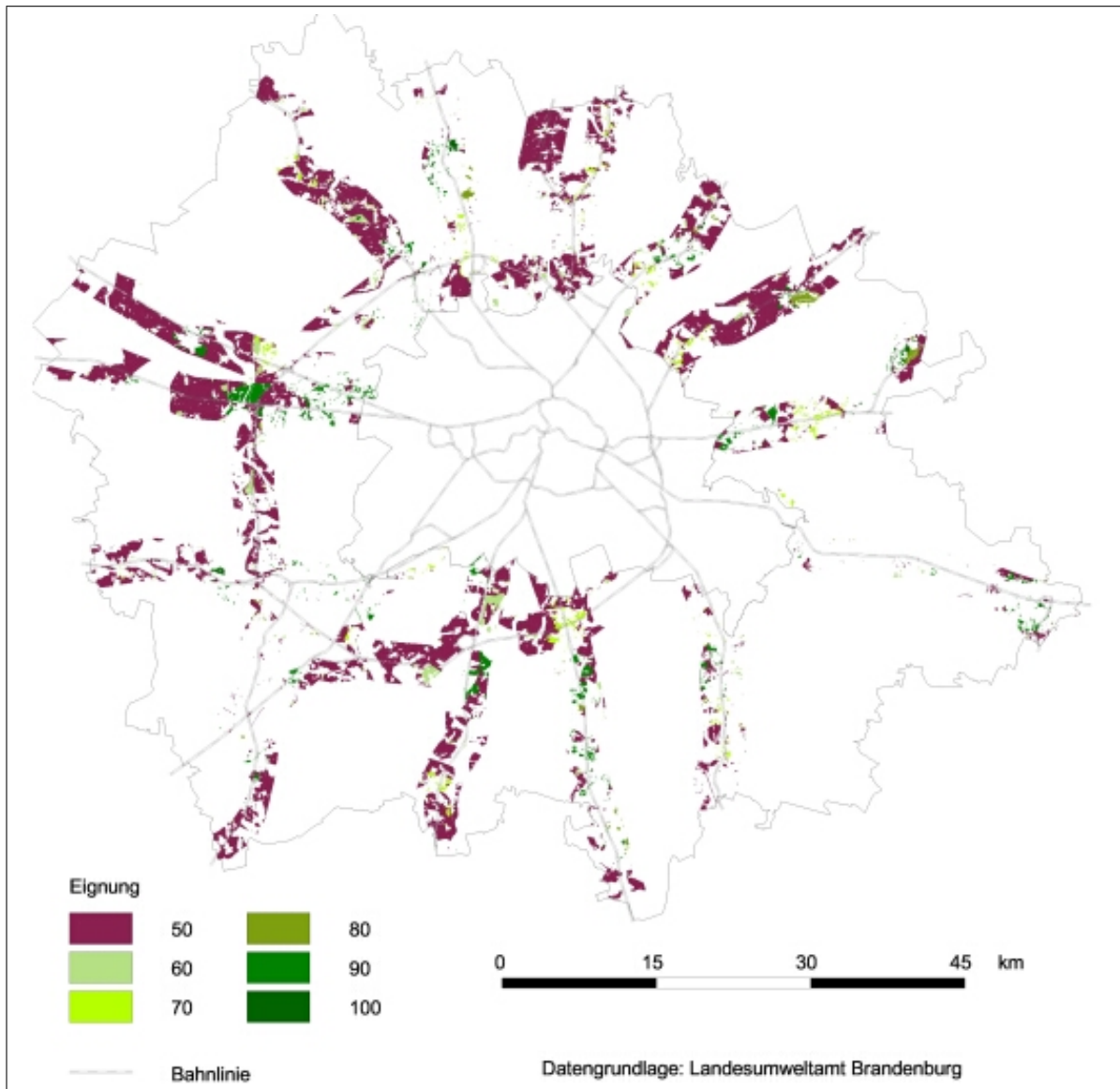


Abbildung 4.5: lokale Eignung für die Klasse 63-2 (Neubau MFH Brandenburg, Szenario B2)

## 5 Berechnung des Wasserdargebots

Als wesentliche Eingangsgröße für die Bewirtschaftungsmodellierung ist das quasinatürliche, d.h. nutzungsunbeeinflusste Wasserdargebot des Berliner Gewässersystems einschließlich seiner Zuflüsse unter Berücksichtigung sich ändernder Klimabedingungen und den prognostizierten Änderungen in der Bebauung zu ermitteln. Für diese Ermittlung wurden hydrologische Wasserbilanzmodelle aufgebaut, mit denen die nordöstlichen Zuflüsse zu den Berliner Wasserstraßen (Löcknitz, Fredersdorfer Fließ, Neuenhagener Fließ, Wuhle, Panke, Tegeler Fließ, Notte als Zuflüsse zur Spree im Berliner Raum und für das Einzugsgebiet der oberen Havel bis Borgsdorf) simuliert werden konnten (Abbildung 5.1).

Programmtechnische Grundlage für die Dargebotsermittlung ist das hydrologische Modellierungssystem ArcEGMO (BECKER et al., 2002, siehe auch [www.arcegmo.de](http://www.arcegmo.de)). Mit diesem Modellierungssystem sind auf Grund der Verwendung von physikalisch basierten Modellansätzen Prognosen über die Auswirkungen geänderter Landnutzungs- und Klimaverhältnisse auf das hydrologische Regime eines Gebietes (Wasserhaushalt und Abfluss) möglich. Gleichzeitig gestattet es aber auch in einer sehr effektiven Form die für die Bewirtschaftungsuntersuchungen mit ArcGRM benötigte Vielzahl von Abflussrealisierungen zu berechnen (für jedes Gebiet 100 Realisierungen für den Zeitraum 2003 bis 2052 im Tageszeitschritt).

Eingangsgrößen für die Modellierung waren:

- Landnutzungen für den Referenzzustand und für zukünftige Zeitpunkte (siehe Kapitel 4)
- Klimareihen für 65 Stationen im Haveleinzugsgebiet, mit denen die künftige Klimaentwicklung für den Zeitraum von 2003 bis 2052 transient für das IPCC-Szenario A1 abgebildet wird (durchgeführt von GERSTENGARBE, Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, PIK).

Neben diesen durch den globalen Wandel beeinflussten und damit zeitlich veränderlichen Zustandsgrößen werden für die Dargebotsmodellierung die Bodenverhältnisse, die Oberflächenmorphologie, das Gewässersystem und die Grundwasserbeeinflussung für die Modellparametrisierung verwendet.

Die Tabelle 5.1 gibt einen Überblick über die genutzten räumlichen Basisinformationen.

Zur Erfassung der Auswirkungen möglicher Entwicklungen der Landnutzung im Ballungsraum Berlin, insbesondere hinsichtlich der Änderungen der Bebauungsstrukturen und den daraus resultierenden Auswirkungen auf das Wasserdargebot, wurde die in Kapitel 4 beschriebene Landnutzungsdatenbasis erzeugt, die räumlich sehr detailliert und

Tabelle 5.1: Verwendete Basisinformationen zur Modellparametrisierung

Basiskarte	Parameter, Einflussgröße
DHM	Gefälle, Exposition, Höhe
Landnutzung	Art der Landnutzung vegetationsbestandene Nutzungen: Wurzeltiefe, Interzeptionsspeicherkapazität bebaute Flächen: Versiegelung, Art und Grad des Kanalisationsanschlusses
Boden	Gesamtporenvolumen, Lagerungsdichte, Feldkapazität, nutzbare Feldkapazität, permanenter Welkepunkt, gesättigte hydraulische Leitfähigkeit
Gewässersystem	Gewässerlänge, -dichte, -gefälle
Einzugsgebiete	Größe, Lage
Grundwasser	Grundwasserflurabstand, Verdunstungsregime, Kapillaraufstieg

in einer differenzierten Klassifizierung verschiedene Bebauungsarten mit siedlungswasserwirtschaftlich relevanten Kennwerten wie Kanalisationsart und -anschlussgrad enthält.

Die Angaben zur Art des Kanalisationsanschlusses und zum Anschlussgrad werden bei der Dargebotsermittlung für die Ermittlung verschiedener Abflusskomponenten genutzt, die im Rahmen der Gebietswasserbilanzierungen im Bewirtschaftungsmodell unterschiedlich berücksichtigt werden. Folgende Komponenten werden unterschieden:

1. bilanzwirksamer Gebietsabfluss, der sich aus dem unterirdischen Abfluss, dem Landoberflächenabfluss von natürlichen Flächen und dem Direktabfluss von versiegelten Flächen, sofern sie an die Trennkanalisation angeschlossen sind, zusammensetzt und
2. Abfluss von versiegelten Flächen, die an die Mischkanalisation angeschlossen sind.

Unter Nutzung der beschriebenen Datenbasen wurden erste Simulationsrechnungen zur Abschätzung potenzieller Änderungen im Wasserdargebot infolge des globalen Wandels durchgeführt. Betrachtet wurden folgende Zustände und Entwicklungen:

- Referenzklima 1951 bis 2000 und Referenzlandnutzung (RK+RL),
- Klimaszenario A1 2003 bis 2052 und Referenzlandnutzung (A1K+RL),
- Klimaszenario A1 2003 bis 2052 und Landnutzung 2015 Siedlungsflächenentwicklung A1a (A1K+A1L).

Zur Charakterisierung der möglichen Streubreite innerhalb des Klimaszenarios A1 waren für die damit verbundene transiente Klimaentwicklung insgesamt 100 verschiedene Realisierungen erzeugt worden. Jede Realisierung beinhaltet Unterschiede in der räumlichen Ausprägung und der zeitlichen Abfolge verschiedener Witterungsverläufe.

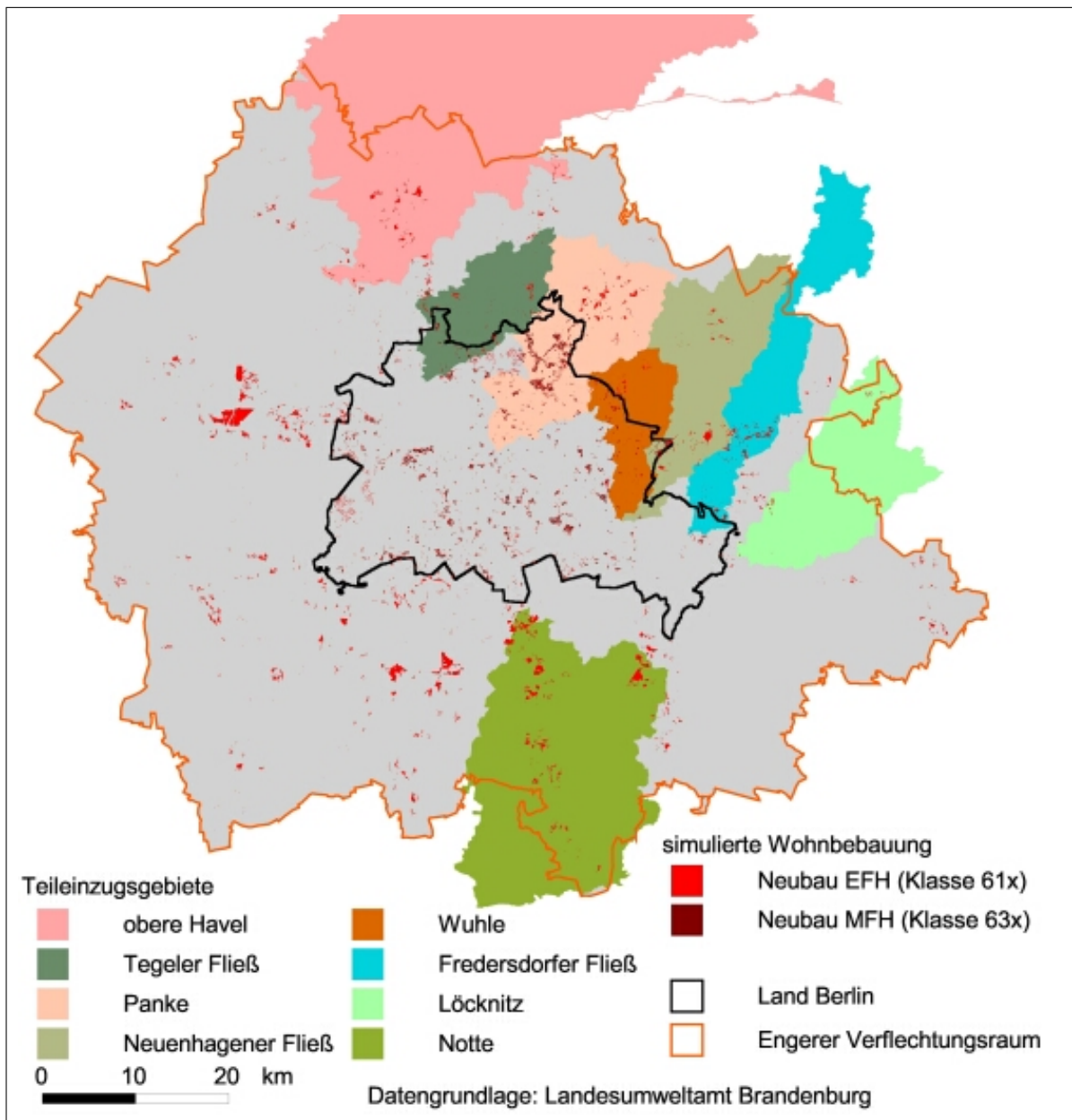


Abbildung 5.1: Zusätzliche Wohnbaufläche im Jahr 2015 (Szenario A1a) und Lage der modellierten Teileinzugsgebiete



Tabelle 5.2: Niederschlag [mm/a] und Niederschlagsänderungen für verschiedene Klimarealisierungen und verschiedene Einzugsgebiete im Berliner Raum

Name	Ref.klima	Szenarium A1, Realisierung			Änderung [%] gegenüber Ref.		
		032	054	058	032	054	058
Tegeler Fliess	634	582	618	656	-8	-3	4
obere Havel bis Borgsdorf	606	564	593	629	-7	-2	4
Nottekanal	594	552	587	594	-7	-1	0
Panke bis Schönwalder Str.	635	579	615	651	-9	-3	3
Fredersdorfer Fliess	622	591	630	649	-5	1	4
Wuhle	638	607	639	669	-5	0	5
Loecknitz	599	573	616	630	-4	3	5
Neuenhagener Fliess	634	609	641	666	-4	1	5

Die Tabelle 5.2 dokumentiert diese Unterschiede in der räumlichen Verteilung anhand der Mittelwerte des Niederschlagsdargebotes für die betrachteten Untersuchungsgebiete und drei charakteristische Realisierungen. Ausgewählt wurden die Realisierungen, die die beiden Randbereiche und das Zentrum der Wahrscheinlichkeitsverteilung dieser 100 Realisierungen beschreiben. Im Einzelnen sind dies:

- 032 - starke Abnahme des Niederschlages gegenüber dem Referenzzustand,
- 058 - Zunahme des Niederschlages gegenüber dem Referenzzustand und
- 054 - wahrscheinlichste Entwicklung.

Ebenfalls dargestellt ist die Änderung gegenüber einem Referenzklima (1951 bis 2000).

Während bei der potenziellen Verdunstung bei allen Realisierungen eine Zunahme von 5 bis 7% gegenüber dem Referenzklima prognostiziert wird, also eine gleichgerichtete Änderung für alle Realisierungen und Gebiete, zeigt sich beim Niederschlag dagegen ein wesentlich differenzierteres Bild. Während die Realisierung 032 durch eine Abnahme des Niederschlages um 4 bis 9% je nach Lage des Gebietes gekennzeichnet ist, weist die Realisierung 058 eine Niederschlagszunahme um 3 bis 5% auf. Eine Ausnahme bildet das Notte-Einzugsgebiet im Süden Berlins ohne eine Änderung im Mittelwert des Niederschlages. Die wahrscheinlichste Entwicklung 054 zeigt nun wieder geringfügige Abnahmen für die nord- und nordöstlichen Einzugsgebiete (Ausnahme wiederum Notte) und ebenfalls geringfügige Zunahmen im Südosten Berlins.

Die Tabellen 5.3 und 5.4 enthalten Ergebnisse der Abflusssimulation, und zwar das simulierte Abflussdargebot im Referenzzustand (RK+RL) und Änderungen, bezogen auf diesen Referenzzustand, die sich einmal aus den Klimaänderungen (A1K+RL) und zum anderen zusätzlich aus Veränderungen in der Landnutzung (A1K+A1L) ergeben können. Bei diesen Analysen erfolgte hinsichtlich der Klimaentwicklung eine Beschränkung auf die wahrscheinlichste Realisierung 054. Zur Charakterisierung der Abflussverhältnisse wurden die folgenden gewässerkundlichen Hauptzahlen ausgewählt:

Tabelle 5.3: Änderungen [%] ausgewählter gewässerkundlicher Hauptzahlen im Szenariozustand A1K+RL gegenüber dem Referenzzustand RK+RL

Gebiet	MNQ	MQ	MHQ	S-MQ	W-MQ
obere Havel	-46	-27	-20	-32	-23
Tegeler Fließ	-34	-17	-12	-21	-14
Fredersdorfer Fließ	-20	-11	-12	-15	-8
Wuhle	-13	-8	-13	-10	-6
Löcknitz	-21	-3	-22	-8	2
Panke	-18	-10	-10	-12	-8
Notte	-55	-28	-27	-35	-23
Neuenhagener Fließ	-15	-9	-11	-11	-7

Tabelle 5.4: Änderungen [%] ausgewählter gewässerkundlicher Hauptzahlen im Szenariozustand A1K+A1L gegenüber dem Szenariozustand A1K+RL

Gebiet	MNQ	MQ	MHQ	S-MQ	W-MQ
obere Havel	0	0	0	0	0
Tegeler Fließ	0	2	9	3	2
Fredersdorfer Fließ	0	1	6	1	1
Wuhle	0	3	9	4	3
Löcknitz	0	0	0	0	0
Panke	1	3	11	5	3
Notte	1	2	3	4	1
Neuenhagener Fließ	0	1	7	2	1

- MNQ - Mittel aller Jahresminima des berechneten Abflusses,
- MQ - Abflussmittelwert,
- MHQ - Mittel aller Jahresmaxima des berechneten Abflusses,
- S-MQ - mittlerer Abfluss im Sommerhalbjahr (Mai bis Oktober),
- W-MQ - mittlerer Abfluss im Winterhalbjahr (November bis April).

Gegenüber den klimainduzierten Änderungen sind die Auswirkungen zunehmender Bebauung eher moderat und bewirken Abflusserhöhungen für MQ je nach Gebiet um max. 3% (vgl. Tabelle 5.4). Beträchtlicher sind die Änderungen im Hochwasserfall: Für die im Randbereich Berlins liegenden Einzugsgebiete, für die zunehmende Bebauungen simuliert wurden (siehe 4.2), nimmt der mittlere Hochwasserabfluss um 6 bis 11% zu.

## 6 Diskussion

In der vorliegenden Arbeit ist es gelungen, eine detaillierte Datenbasis der Landnutzung für den Großraum Berlin aufzubauen. Darauf setzt ein eigens entwickeltes GIS-basiertes Instrument auf, das eine regelbasierte Verortung von Landnutzungsänderungen im Sinne von Szenarien ermöglicht.

Solche Szenarien stützen sich entweder auf angenommene oder bekannte Wirkungsbeziehungen, die in die Zukunft extrapoliert werden und ermöglichen somit das Studium der Auswirkungen von möglichen Entwicklungen auf einen Untersuchungsgegenstand, ohne die Eintrittswahrscheinlichkeiten zu berücksichtigen. Im vorliegenden Fall wurden die Auswirkungen des globalen Wandels (*Global Change*) auf die Siedlungsflächenentwicklung im Großraum Berlin untersucht. Dabei zeigte sich, daß der mit *Storylines* beschriebene globale Wandel nur in Einzelfällen zur Beschreibung von Trends der Siedlungsflächenentwicklung nutzbar ist. Volkswirtschaftliche Größen wie das verfügbare Einkommen oder der Anteil des produzierenden Gewerbes an der Wertschöpfung sind für den Untersuchungsraum nur sehr bedingt von globalen Entwicklungen abhängig und konnten deshalb nicht konkretisiert werden. Bei einer Betrachtung der Siedlungsentwicklung interessieren jedoch nicht so sehr diese Größen selbst, als vielmehr ihre Auswirkungen auf den Flächenverbrauch durch Neubau von Büro- und Gewerbeflächen. Die Entwicklung einer zu den beiden untersuchten *Storylines* passfähigen Kette von Annahmen für eine mögliche zukünftige Entwicklung der Gewerbeflächen steht noch aus. Für die Entwicklung der Wohnbau- und zugehörigen Verkehrsflächen wurden auf den *Storylines* fussende Annahmen zur Entwicklung der Bevölkerung und der Bauweise gemacht. In diesem Teilmarkt ist im Untersuchungsgebiet in den nächsten Jahren auch mit der stärksten Bautätigkeit zu rechnen. Die verbleibende Unsicherheit über die sich auf die Bautätigkeit im Wohnungsbau auswirkende wirtschaftliche Entwicklung und den *Nachholeffekt* in den neuen Bundesländern wurde durch zwei konträre Annahmen abgedeckt, so daß für jede *Storyline* zwei Szenarien entstanden.

Die entwickelten Trends der Wohnbauflächenentwicklung und ein Extremtrend wurden verortet und bilden mögliche Siedlungsflächenentwicklungen ab. Sie wurden als Eingabedaten für ein hydrologisches Modellsystem genutzt, mit dem ihre Auswirkungen auf den Wasserhaushalt modelliert wurden. Die Auswirkungen zunehmender Wohnbebauung auf den mittleren Abfluss sind jedoch deutlich geringer als die Auswirkungen der angenommenen Klimaveränderungen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Veränderungen in der Versiegelung durch Neubauten bis auf einige berlinnahe Einzugsgebiete relativ gering sind. In diesen Gebieten mit verhältnismäßig vielen Neubauf lächen (z.B. Panke) gegenüber der Referenzlandnutzung zeigen sich jedoch deutliche Veränderungen im Hochwasserabfluss (vergleiche Abbildung 5.1 und Tabellen 5.3 und 5.4). Da die bisher verwendeten Gebietsmodelle auf die Berechnung des Wasserdargebotes als Eingangsgröße für die Bewirtschaftungsmodellierung ausgerichtet waren - hier sind Mo-

natswerte des Abflusses ausreichend - müssen die Aussagen zu Veränderungen im Hochwasserregime in weiteren Untersuchungen noch bestätigt werden. Dazu ist es erforderlich, die Simulationsrechnungen in höherer zeitlicher Auflösung durchzuführen, was auch die Verwendung höher aufgelöster Klimareihen (Stunden- statt der bisher verwendeten Tageswerte) erforderlich macht. Entscheidender ist jedoch, dass durch *Neue Wassertechnologien*, Entsiegelungen oder dezentrale Maßnahmen zur Regenwasserbehandlung (GEIGER & DREISEITL, 1995), Auswirkungen zunehmender Bebauung kompensiert werden können. Vor allem letztere werden in den nächsten Jahren voraussichtlich zunehmend implementiert werden, da in den meisten Bundesländern versiegelte angeschlossene Grundstücksteile neuerdings in die Berechnung der Abwassergebühr eingehen. Die Modellierung ihrer räumlichen Diffusion ist im Rahmen von GLOWA-Elbe geplant, jedoch liegen zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Ergebnisse vor. Die Abbildung solcher siedlungswasserwirtschaftlichen Effekte erfordert umfangreiche Ergänzungen des hydrologischen Modellsystems, wobei im hier betrachteten mittleren Maßstabbereich diesbezüglich ein Forschungsbedarf zu konstatieren ist.

## Literaturverzeichnis

- APEL, D. ; BÖHME, C ; MEYER, U. ; PREISLER-HOLL, L. (2001): *Szenarien und Potentiale einer nachhaltig flächensparenden und landschaftsschonenden Siedlungsentwicklung*. Berlin : Erich Schmidt (Berichte / Umweltbundesamt 2000,1)
- BBR, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.) (1999): *Aktuelle Daten zur Entwicklung der Städte, Kreise und Gemeinden: Ausgabe 1999*. Bonn : Selbstverlag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (Berichte 3)
- BBR, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.) (2001): *Wohnungsprognose 2015*. Bonn : Selbstverlag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (Berichte 10)
- BECKER, A. ; KLÖCKING, B. ; LAHMER, W. ; PFÜTZNER, B. (2002): The Hydrological Modeling System ARC/EGMO. **In:** SINGH, V.P. ; FREVERT, D.K. (Hrsg.): *Mathematical Models of Large Watershed Hydrology*. Littleton, CO : Water Resources Publications, S. 321–384
- BfLR, Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (Hrsg.) (1996): *Raumordnungsprognose 2010*. Bonn : Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (Materialien zur Raumentwicklung 74)
- DOSCH, F. ; BECKMANN, G. (1999): Trends und Szenarien der Siedlungsflächenentwicklung bis 2010. **In:** *Informationen zur Raumentwicklung* , Nr. 11/12, S. 827–842
- ESRI, Environmental Systems Research Institute, Inc. (1996): *Avenue: Customization and Application Development for ArcView*. Redlands, CA
- GEIGER, W. ; DREISEITL, H. (1995): *Neue Wege für das Regenwasser - Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung in Baugebieten*. München, Wien : Oldenbourg
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2000): *Emissions Scenarios: Summary for Policymakers. A Special Report of IPCC Working Group III*. <http://www.ipcc.ch/pub/sres-e.pdf> (1175 KB)
- IWANOW, I. ; METZMACHER, M. ; SCHMIDT, R. ; WALTERSBACHER, M. (2001): *Zukünftige Wohnungsnachfrage und Wohnungsbedarf in Ost- und Westdeutschland*. Dresden : Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR-Texte 133)
- LDS, Landesbetrieb für Datenverarbeitung und Statistik (Hrsg.) (2001): *Bevölkerungsprognose des Landes Brandenburg für den Zeitraum 2000-2015*. Potsdam

- LOIBL, W. (2000): Modellierung der Siedlungsdynamik mit einem GIS-basierten zellulären Automaten - Konzeption, GIS-Integration und erste Ergebnisse. **In:** STROBL, J. ; BLASCHKE, T. ; GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII: Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000*. Heidelberg : Wichmann
- MUNR, Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (Hrsg.) (o.J.): Daten zur Umweltsituation im Land Brandenburg. CD-ROM
- RIEDL, L. (1999): POSSIBLE CITIES - experimentelle Simulation von Siedlungsentwicklung mit zellulären Automaten. [http://80.210.251.60/corp/archiv/papers/1999/CORP1999\\_riedel\\_leop.pdf](http://80.210.251.60/corp/archiv/papers/1999/CORP1999_riedel_leop.pdf) (231 KB)
- RIELAND, M. (2001): GLOWA: An Example of Integrative, Interdisciplinary and Application-Oriented Global Change Research. **In:** *BAHC News* , Nr. 9, S. 19–21
- LEP eV: Verordnung über den gemeinsamen Landesentwicklungsplan für den engeren Verflechtungsraum Brandenburg-Berlin. Vom 2. März 1998
- SENSTADT, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (Hrsg.) (1999): Bevölkerungsprognose für Berlin 1998–2015. <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/bevoelkerungsprognose/de/download.shtml>
- SENSTADT, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin (2000): Datengrundlagen aus dem Umweltinformationssystem für das Niederschlags-Abflußmodell abimo der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Stand Juli 2000. unveröffentlichte Datendokumentation
- SENSUT, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin (Hrsg.) (1995): *Umweltatlas Berlin*. Berlin : Kulturbuchverlag
- SIMONS, H. (1999): Perspektiven des westdeutschen Wohnungs- und Büromarktes bis 2030. **In:** *Informationen zur Raumentwicklung* , Nr. 11/12, S. 745–754
- STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.) (2000): *Bevölkerungsentwicklung Deutschlands bis zum Jahr 2050: Ergebnisse der 9. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung*. Wiesbaden : Statistisches Bundesamt
- WENZEL, V. (2001): Integrated assessment and multicriteria analysis. **In:** *Physics and Chemistry of the Earth (B)* 26, S. 541–545

## A Bedienung der Nutzeroberfläche von LuSim

Das Simulationswerkzeug LuSim (*Landuse Simulator*) ermöglicht die Durchführung von Landnutzungsänderungssimulationen. Der Anwender legt selbst fest, in welchem Maße die Eigenschaften einer Fläche sie geeignet für die Änderung machen. Innerhalb der für die jeweilige Nutzung am besten geeigneten Flächen findet eine zufallsgesteuerte Verteilung der Änderungen statt. Diese Beschreibung setzt voraus, daß der Leser mit GIS im allgemeinen sowie der Oberfläche und Bedienung von ArcView im besonderen vertraut ist.

Das Simulationswerkzeug wurde als Extension für das GIS-Paket ArcView (Version 3.x) der Firma ESRI in der Scriptsprache AVENUE (ESRI, 1996) entwickelt. Es enthält 7 Dialoge und ca. 5000 Zeilen Code in 129 Scripten. LuSim läßt sich in jedes Projekt laden, Voraussetzung ist der SpatialAnalyst (Version 1.0 oder höher). Die Lauffähigkeit wurde unter WindowsNT und UNIX (AIX) geprüft.

LuSim fügt dem Projekt eine eigene Dokumentenklasse *LusimDat* und das Menü *Landuse Simulator* hinzu. Die Dokumentenklasse *LusimDat* dient der Haltung der GIS-Daten (Grids). Alle für die Simulation relevanten Nutzereingaben werden in einer dBase-Datei abgespeichert (siehe Abschnitt A.4), die von der hier beschriebenen Extension angelegt und gepflegt wird.

### A.1 Die Dokumentklasse LusimDat

Die Dokumentklasse *LusimDat* ist von *View* abgeleitet und enthält die dort standardmäßig zur Verfügung stehenden Menüeinträge, Buttons und Tools. Sie dient der Speicherung von Inputdaten und Simulationsergebnissen mit festen Namen. Dieses Vorgehen wurde gewählt, um den Nutzer von der Last zu befreien, selbst ein Namenssystem für die, je nach Anwendung sehr umfangreichen Eingabedaten, zu etablieren und für jeden Simulationslauf diese Namen angeben zu müssen. Da die Datenhaltung in einer eigenen Dokumentklasse erfolgt, können andere Themen wie gewöhnlich in Views gehalten und Simulationsergebnisse in Views kopiert und dort zusammen mit anderen Themen visualisiert werden.

In das Dokument *inputdata* sind sämtliche Grids als Themen zu laden, die in irgendeiner Weise bei der Simulation berücksichtigt werden sollen. Das kann über den Menüpunkt 1 (*import basic data* siehe Abbildung A.1) geschehen. Für die Erzeugung der Grids *abhängige Eignung* und *lokale Eignung* (siehe Abschnitt A.2) wird auf diese Daten zugegriffen. Die Eignungsgrids selbst werden unter fest eingestellten Namen in *dependent suitability* und *local suitability* für den Simulationslauf bereitgehalten. Bei Bedarf werden sie während des Simulationslaufs aktualisiert, z.B. werden alle Zellen, die bereits geändert wurden für eine weitere Änderung gesperrt. Diese aktualisierten Grids werden im Arbeitsspeicher gehalten und können am Ende der Simulation nach *dependent*

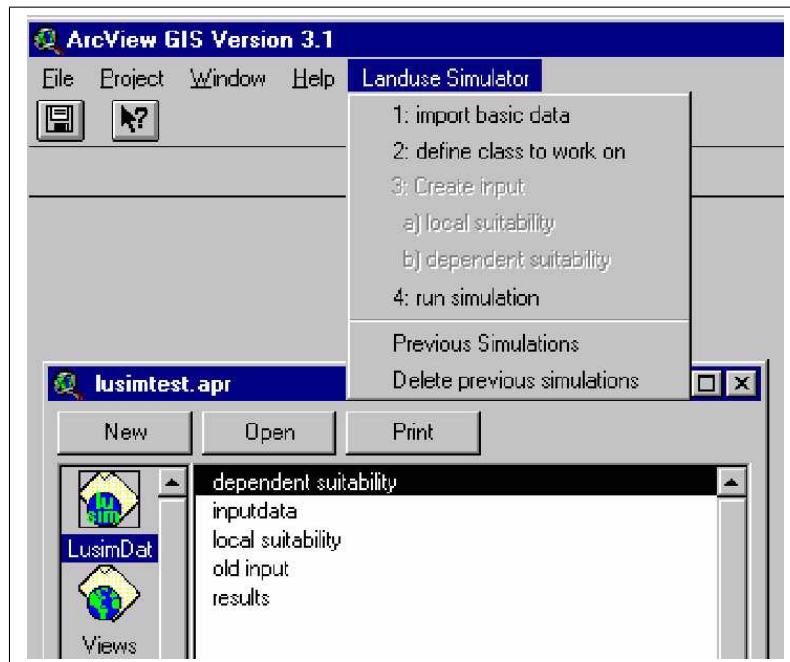


Abbildung A.1: Die neue Dokumentklasse *LusimDat* und das Hauptmenü nach dem Laden der Extension

*suitability* und *local suitability* herausgeschrieben werden. Aus Dokumentationsgründen und um die selbe Simulation mit den selben Eingangsdaten wiederholen zu können, werden die für die Simulation benutzten Eingangsgrids zuvor in das Dokument *old input* kopiert. Sie können über den Menüpunkt *rerun simulation* reaktiviert werden. Das Simulationsergebnis selbst wird in das Dokument *results* geschrieben, die sich aus der Simulation ergebende neue Landnutzung steht in *inputdata*.

## A.2 Erzeugen von Inputdaten

### Zu bearbeitende Klassen

Zunächst ist mindestens eine Landnutzungsclass zu definieren, die im Simulationslauf bearbeitet, d.h. deren Flächenanteil erhöht werden soll. Das geschieht mit dem Menüpunkt 2 *define class to work on*. Damit wird der Dialog *lusim.New* (Abbildung A.2) geöffnet. Hier wird der Eintrag *new class* ausgewählt, in Zeile 2 eine Klassennummer (Integer) und in Zeile 3 ein Name eingegeben. Mit den unteren drei Zeilen wird die Größe und Form eines Patches gesteuert. Ein Patch ist eine zusammenhängende Gruppe von Zellen der neuen Nutzung. Wird eine Größe eingegeben, so werden Länge und Breite auf -999 gesetzt; werden jedoch Länge und Breite explizit eingegeben, so wird daraus die resultierende Größe errechnet und vom Programm selbst eingetragen. Alle Eingaben werden in eine dBase-Datei gespeichert, aus der sie beim Simulationslauf wieder eingelesen werden (siehe Abschnitt A.4). Auf diese Weise können beliebig viele Klassen



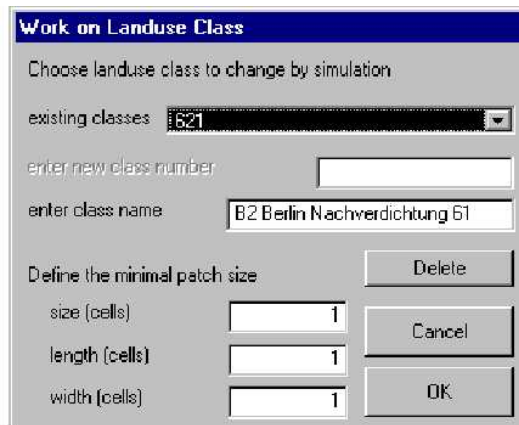


Abbildung A.2: Dialog *lusim.New*

definiert werden. Wurden bereits Klassen definiert, so werden sie in der ComboBox zur Auswahl angeboten und ihre Parameter können verändert werden.

Der Dialog *lusim.New* bietet über den Knopf *delete* weiterhin die Möglichkeit, bereits definierte Klassen wieder zu löschen. Dabei wird der entsprechende Eintrag in der Tabelle *lusim.dbf* und alle zu dieser Klasse gehörenden Eingabegrids aus den Dokumenten *local suitability*, *dependent suitability* und *old input* gelöscht.

Das Vorgehen beim Anlegen einer Klasse soll an folgendem Beispiel erläutert werden: Für einen Landkreis sei die Kartoffelanbaufläche im Jahr 1998 bekannt. Diese soll zufallsgesteuert auf die ebenfalls bekannte Nutzfläche verteilt werden. Als Klassennummer würde die 301 und als Name *Kartoffeln* vergeben. Angenommen es käme nur darauf an, daß die Kartoffelanbaufläche in der Summe der Zahl für den Landkreis entspricht, und nicht auf eine auch unter Bewirtschaftungsgesichtspunkten richtige Lage der Flächen, kann die Patchgröße mit 1 angegeben werden. Dies ist die Defaulteinstellung, für die Länge und die Breite ist der Defaultwert ebenfalls 1.

### **Festlegung der lokalen und abhängigen Eignung**

Nach der Festlegung der Arbeitsklasse 301 ist der Menüpunkt 3 *create input for Landuse Class 301* aktiviert. Mit der Option a) (*local suitability*) wird die lokale Eignung der Klasse festgelegt. Das Dokument *local suitability* wird geöffnet und es besteht die Möglichkeit, Regeln für die lokale Eignung festzulegen oder aber das gesamte Untersuchungsgebiet als gleichermaßen geeignet einzustufen. Sollen Regeln festgelegt werden, sind aus der Liste alle diejenigen Grids auszuwählen, die für die lokale Eignung dieser Klasse relevant sind. Auf sie wird die Methode *combine* angewendet, die in vielen GIS-Paketen enthalten ist und die für jede vorkommende Kombination der Eingabewerte eine Klasse des Ausgabegrids erzeugt. Der *value attribute table* (VAT) dieses Ergebnisses wird geöffnet und ist editierbar. Editiert werden darf jedoch nur das Feld *suit*. Hier sind Werte zwischen 0 (ungeeignet) und 100 (am Besten geeignet) für jede der sich ergebenden Kombinationen einzutragen. Im Beispiel der Kartoffelanbaufläche lägen an relevanten Inputdaten die Landnutzung, die Hangneigung und Bodentypen vor, dazu

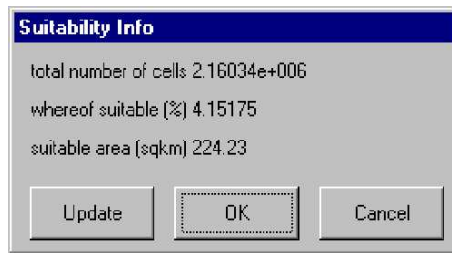


Abbildung A.3: Dialog *lusim.Info*

noch Flächen, auf die in einem früheren Lauf bereits die Fruchtart Weizen verteilt wurde. Ungeeignet seien alle Pixel, auf denen bereits Weizen als Frucht steht oder die eine andere Landnutzung als *Acker* haben. Jede Kombination, die wenigstens eine dieser beiden Eigenschaften aufweist, erhält folglich die Eignung `suit=0`. Auf den verbleibenden Flächen träten fünf verschiedene Kombinationen von Hangneigung und Bodentyp auf. Diese Kombinationen sind in eine Reihenfolge ihrer Eignung für den Kartoffelanbau zu bringen. Die am besten geeignete Kombination erhält die höchste Zahl, z.B. `suit=90`, die nächste die nächstkleinere und so fort. Dabei spielt der Betrag der Eignungszahl an sich keine Rolle, denn er dient nur der Abstufung innerhalb der Landnutzungs Klasse *Kartoffelanbau* und wird weder mit den Eignungszahlen anderer Klassen verglichen noch verrechnet. Die Reihenfolge 90-80-70-60-50 führt für das vorliegende Beispiel zu exakt dem selben Ergebnis wie beispielsweise 5-4-3-2-1. Für die Simulation ist es gleichgültig, ob die am besten geeigneten Flächen, innerhalb derer die Simulation dann zufallsgesteuert erfolgt, den Wert 90 oder 5 haben.

Nach Beendigung der Eingabe ist im Dialog *lusim.Info* (Abbildung A.3) der OK-Knopf zu drücken, es wird automatisch ein Grid „*Klassenname\_local*“ erzeugt. Damit ist die lokale Eignung definiert, das Dokument kann geschlossen und im Projekt das Untermenü b) *dependent suitability* angewählt werden.

Die abhängige Eignung ist naturgemäß etwas komplexer als die lokale Eignung. Auch hier besteht jedoch die Möglichkeit, das gesamte Untersuchungsgebiet als gleichermaßen geeignet einzustufen. Ist jedoch eine abhängige Eignung gegeben, muß zwischen der Abhängigkeit von anderen Landnutzungen und von sonstigen Elementen unterschieden werden. Das prinzipielle Vorgehen für den Nutzer ist jedoch in beiden Fällen das selbe: Aus der Liste der angebotenen Grids ist dasjenige auszuwählen, das die Elemente der Abhängigkeit enthält. Aus der folgenden Liste sind diejenigen Werte auszuwählen, die diese Elemente bezeichnen. Der sich danach öffnende Dialog *lusim.Function* (Abbildung A.4) enthält eine Hilfe die die nötigen Eingaben beschreibt.

Jede von einer anderen Landnutzung abhängige Eignung wird in der dBase-Datei *lusim.dbf* (siehe A.4) gespeichert, damit sie während der Simulation angepaßt werden kann, sobald diese Landnutzung durch die Simulation selbst eine Änderung erfährt.

Nachdem alle abhängigen Eignungen für eine Klasse definiert wurden, müssen sie zu einem einzigen Eingabegrid zusammengefaßt werden. Dazu ist der Menüpunkt *combine dependent* anzuwählen und aus dem Dialog *lusim.Combine* (Abbildung A.5) die

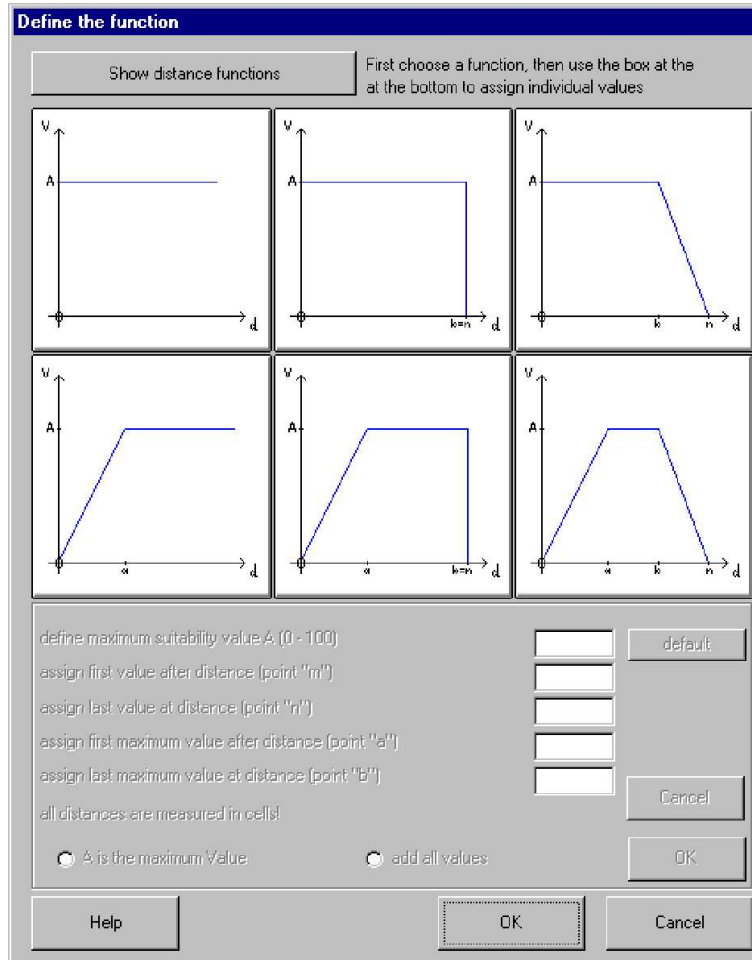


Abbildung A.4: Dialog *lusim.Function*

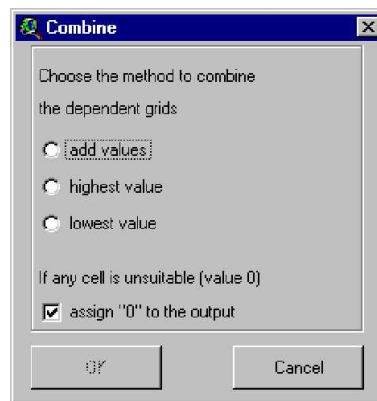


Abbildung A.5: Dialog *lusim.Combine*

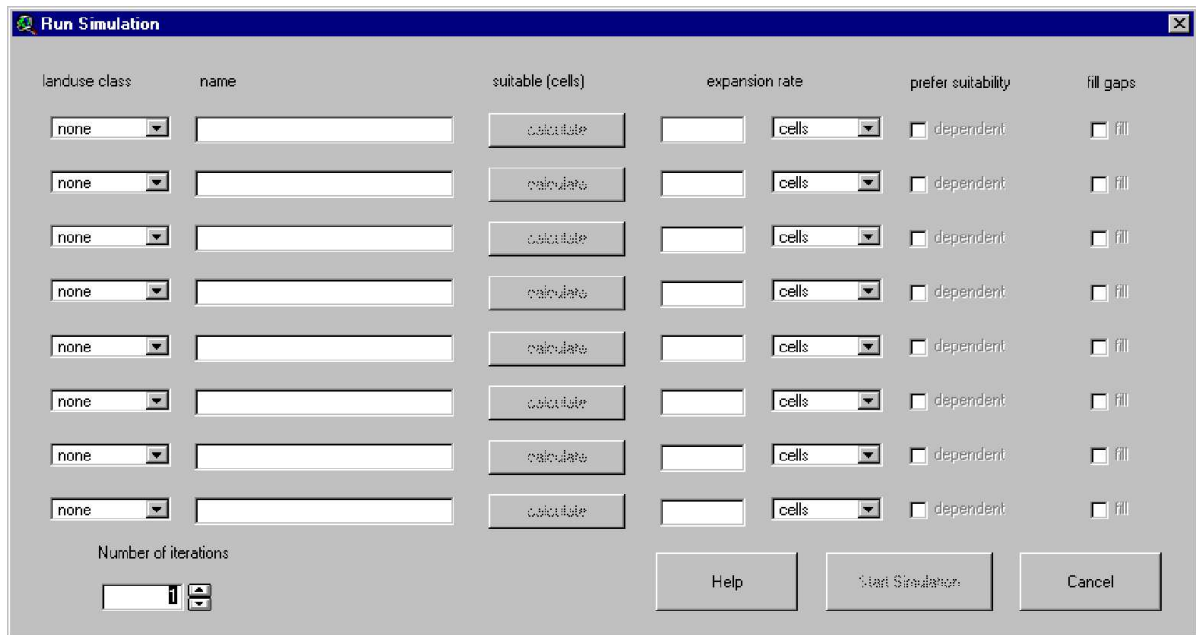


Abbildung A.6: Dialog *lusim.Run*

gewünschte Option auszuwählen.

Für den Kartoffelanbau sei angenommen, daß es keine abhängige Eignung gebe, folglich ist der Menüpunkt *no dependency from any feature* anzuwählen. Dies erscheint überflüssig, ist jedoch zwingend nötig, da jede zu bearbeitende Klasse immer beide Eingabegrids benötigt.

### A.3 Starten eines Simulationslaufs

Wurde für jede zu simulierende Klasse ein Grid der lokalen und der abhängigen Eignung erzeugt, kann mit dem Menüpunkt *run simulation* der Dialog *lusim.Run* (Abbildung A.6) geöffnet und eine Simulation gestartet werden. Dieser Dialog ist mit einer Hilfe ausgestattet.

In einem einzigen Simulationslauf können bis zu acht Landnutzungsklassen bearbeitet werden. Das Programm selbst kann jedoch pro Iteration nur eine Klasse bearbeiten. Das ist immer die Klasse mit dem größten Defizit, d.h. mit der zu diesem Zeitpunkt größten Menge an umzuwandelnden Zellen. In der Realität gibt es häufig Landnutzungen, die um die selben Flächen konkurrieren. Damit nun nicht die Nutzung mit dem größten Defizit zu Simulationsbeginn bereits in der ersten Iteration einen Großteil dieser Flächen für sich beansprucht, kann die *number of iterations* eingestellt werden. Dies ist die Mindestanzahl an Iterationen pro Nutzungsklasse. Bei jeder Bearbeitung, wird das Defizit der zu realisierenden Zellen durch die eingestellte Anzahl der Iterationen geteilt und damit sichergestellt, daß nicht alle fehlenden Zellen auf einen Schlag zu Lasten der anderen Nutzungen umgewandelt werden. Die Erhöhung der Anzahl der Iterationen verlängert naturgemäß die Laufzeit einer Simulation.

class	name	expand	width	size	dep_rule	dep1	dep1_cls
161	neue Einfamilienhäuschen	1	1	1	30	161_dependent1 2 100 0 5 0 5 1 false	161 1621 1622 163 61 62 63
1621	neue Reihenhäuser	-999	-999	4	3	1621_dependent1 2 100 0 5 0 5 1 false	161 1621 1622 163 61 62 63
1622	Nachverdichtung 61	1	1	1	0		
163	neue Mehrfamilienhäuser	-999	-999	8	3	163_dependent1 2 100 0 5 0 5 1 false	1621 1622 163 62 63 64
999	test	1	1	1	30		

Abbildung A.7: Tabellendarstellung der Datei *lusim.dbf*

Im Beispiel ist nach dem Start des *lusim.Run*-Dialogs aus der Combobox die Klasse 301 *Kartoffeln* auszuwählen. Mit dem Knopf *calculate* kann die in den Eingabegrids vorhandene Anzahl der für Kartoffeln geeigneten Zellen ausgegeben werden. Die *expansion rate* kann als absolute Zahl an Zellen angegeben werden. Dies ist der Default. Alternativ besteht auch die Möglichkeit, die Zunahme in Prozent von der aktuellen Anzahl an Zellen dieser Klasse einzugeben. Im Kartoffelbeispiel würde dies zu dem Hinweis führen, daß keine Zellen umgewandelt werden können, da eine Zunahme in Prozent vom Ausgangswert 0 immer eine Zunahme um 0 Zellen absolut bedeutet.

Um die Gesamtlaufzeit des Programms zu verkürzen, können Lücken aufgefüllt werden: Ist eine Zelle lokal und abhängig für eine Nutzung geeignet und erhalten von ihren vier rechtwinkligen Nachbarn wenigstens drei bereits diese Nutzung, dann wird auch die Nutzung der Zelle selbst geändert. Dafür bietet der Dialog *lusim.Run* die Einstellung *fill gaps* für jede zu bearbeitende Klasse.

Die Simulation wird über die Option *Start Simulation* gestartet. Unmittelbar nach dem Start ist das Landnutzungsgrid anzugeben. Das Simulationsergebnis wird in eine Kopie dieses Grids eingefügt, darüberhinaus dient diese Angabe dazu, den zu bearbeitenden Raumausschnitt festzustellen. Auf die Frage „Do you want to reflect changes...“, sollte mit „Ja“ geantwortet werden, wenn weitere auf den Ergebnissen dieses Simulationslaufs aufbauende Läufe geplant sind. Alle simulierten Änderungen werden dann in alle davon betroffenen lokalen und abhängigen Eingaben eingearbeitet, und die für den Lauf selbst verwendeten Eingaben in *old input* abgespeichert (vergleiche Abschnitt A.1). Im Dokument *inputdata* wird das neue Thema *landuse after simulation...* angelegt. Mit diesem Thema als Landnutzungsthema und den neuen Inputthemen kann dann sofort die nächste Simulation gestartet werden.

Jede Simulation wird in eine Tabelle *report.dbf* protokolliert. Das Protokoll wird unmittelbar nach der Simulation angezeigt und kann später über den Menüpunkt *Previous Simulations* abgerufen werden. In diesem Zuge besteht die Möglichkeit, einen nutzereigenen Kommentar zur Simulation einzugeben.

## A.4 Die Tabelle *lusim.dbf*

In der Tabelle *lusim.dbf* (siehe Abbildung A.7) werden alle aus Nutzereingaben resultierenden und für einen Simulationslauf benötigten Informationen abgelegt. Die in der Tabelle enthaltenen Felder sind in Tabelle A.1 dargestellt. Für jedes Grid, das eine

Tabelle A.1: Felder der Tabelle *lusim.dbf*

Feldname	Feldtyp	Größe	Inhalt
class	number	20	Nummer der Landnutzungs-klasse
name	char	50	Name der Landnutzungs-klasse
length	number	4	Länge eines Patches der Landnutzungs-klasse
width	number	4	Breite eines Patches der Landnutzungs-klasse
size	number	4	Größe eines Patches der Landnutzungs-klasse
dep_rule	number	4	Regel der Verknüpfung der Grids <i>abhängige Eignung</i>
dep <sub>n</sub>	char	100	Liste von Nutzereingaben zur Berechnung eines Grids <i>abhängige Eignung</i>
dep <sub>n</sub> _cls	char	50	Liste mit Klassen der Landnutzung für die das Grid <i>abhängige Eignung</i> berechnet wurde

von einer anderen Landnutzung abhängige Eignung beschreibt, werden die beiden Felder *dep<sub>n</sub>* und *dep<sub>n</sub>\_cls* angelegt. Die Liste in *dep<sub>n</sub>* enthält folgende Elemente in dieser Reihenfolge:

1. Name des erzeugten Grids *abhängiger Eignung*. Dieser Name gewährleistet Eindeutigkeit und setzt sich folgendermaßen zusammen: *Nummer der Klasse\_dependentlaufende Nummer*
2. Nummer der im Dialog *lusim.Function* (Abbildung A.4) gewählten Funktion: 1-6 für die Nachbarschaftsfunktionen und 11-16 für die entsprechenden Distanzfunktionen.
3. Wert für  $A^1$
4. Wert für  $m$
5. Wert für  $n$
6. Wert für  $a$
7. Wert für  $b$
8. Die Ziffer 1 für `#GRID_STATYPE_MAX` und 2 für `#GRID_STATYPE_SUM`, wobei `#GRID_STATYPE_MAX` die Standardeinstellung ist, weil `#GRID_STATYPE_SUM` vom Nutzer nur gewählt werden kann, wenn die Funktion 2 angewählt wurde (vergleiche Abbildung A.4)
9. Boolescher Wert, der anzeigt, ob die Distanzen in Karteneinheiten oder in Zellen gerechnet werden sollen. Dieses Feature ist zur Zeit deaktiviert; es wird ausschließlich in Zellen gerechnet.

---

<sup>1</sup>vergleiche Abbildung A.4

Die Anlage der Tabelle *lusim.dbf* erfolgte aus folgendem Grund: Die Tabelle stellt einen leicht zu realisierenden Weg dar, um Nutzereingaben abzuspeichern. Sind für einzelne Landnutzungen bereits Regeln definiert, können mit ihnen sehr schnell Inputdaten erzeugt werden, wenn sie in Form einer solchen Tabelle zur Verfügung gestellt werden. Diese Option ist aber in der hier beschriebenen Version nicht enthalten.

## A.5 Allgemeine Hinweise

- Während der Simulation wird eine große Menge Grids erzeugt und im Arbeitsverzeichnis des Projektes gespeichert. Das Arbeitsverzeichnis ist deswegen auf ein Verzeichnis zu legen, das über ausreichenden Speicherplatz und eine hohe Lese- und Schreibgeschwindigkeit verfügt. Als günstig hat es sich erwiesen, für jedes LuSim-Projekt ein eigenes Unterverzeichnis anzulegen, das nach Beendigung der Simulation komplett gelöscht werden kann. Von Zeit zu Zeit sollten aus dem geöffneten Projekt heraus mittels des View-Menüpunkts *manage data sources* alle Grids aus dem Arbeitsverzeichnis gelöscht werden. ArcView verhindert dabei selbsttätig das Löschen derjenigen Grids, die im geöffneten Projekt enthalten sind.
- Aufgrund der Komplexität des Programms können, insbesondere bei einer höheren Zahl umzuwandelnder Zellen (ab ca. 10000), z.T. lange Programmlaufzeiten entstehen. Wenn es Ausgangsdaten und Fragestellung zulassen, kann die Laufzeit dadurch verkürzt werden, daß das Ausgangsgrid auf eine größere Zellgröße gebracht wird und somit durch die Änderung eines Pixels eine Vielzahl von Pixeln in der Originalauflösung geändert werden. Das Ergebnis ist nach dem Simulationslauf wieder auf die Originalauflösung zurückzuführen und gegen die Ausgangsdaten abzugleichen, eventuell noch bestehende Restdefizite können dann wieder in der Originalauflösung abgearbeitet werden. Die benötigten Routinen finden sich allerdings nicht in LuSim, sondern sind Bestandteil des SpatialAnalyst oder darauf aufbauender Extensionen.
- Das oben genannte Vorgehen bietet sich insbesondere auch an, wenn eine Mindestgröße der Patches gewünscht ist, die Anzahl der geeigneten Zellen jedoch die der gewünschten Zunahme nur geringfügig übersteigt. Ein LuSim-Lauf mit der Originalauflösung würde viele Einzelzellen oder Zellgruppen übriglassen, die kleiner als die gewünschte Mindestgröße sind. Dadurch könnte die gewünschte Zunahme nicht realisiert werden, obwohl noch Pixel zur Verfügung stünden.

PIK Report-Reference:

- No. 1 3. Deutsche Klimatagung, Potsdam 11.-14. April 1994  
Tagungsband der Vorträge und Poster (April 1994)
- No. 2 Extremer Nordsommer '92  
Meteorologische Ausprägung, Wirkungen auf naturnahe und vom Menschen beeinflusste Ökosysteme, gesellschaftliche Perzeption und situationsbezogene politisch-administrative bzw. individuelle Maßnahmen (Vol. 1 - Vol. 4)  
H.-J. Schellnhuber, W. Enke, M. Flechsig (Mai 1994)
- No. 3 Using Plant Functional Types in a Global Vegetation Model  
W. Cramer (September 1994)
- No. 4 Interannual variability of Central European climate parameters and their relation to the large-scale circulation  
P. C. Werner (Oktober 1994)
- No. 5 Coupling Global Models of Vegetation Structure and Ecosystem Processes - An Example from Arctic and Boreal Ecosystems  
M. Plöchl, W. Cramer (Oktober 1994)
- No. 6 The use of a European forest model in North America: A study of ecosystem response to climate gradients  
H. Bugmann, A. Solomon (Mai 1995)
- No. 7 A comparison of forest gap models: Model structure and behaviour  
H. Bugmann, Y. Xiaodong, M. T. Sykes, Ph. Martin, M. Lindner, P. V. Desanker, S. G. Cumming (Mai 1995)
- No. 8 Simulating forest dynamics in complex topography using gridded climatic data  
H. Bugmann, A. Fischlin (Mai 1995)
- No. 9 Application of two forest succession models at sites in Northeast Germany  
P. Lasch, M. Lindner (Juni 1995)
- No. 10 Application of a forest succession model to a continentality gradient through Central Europe  
M. Lindner, P. Lasch, W. Cramer (Juni 1995)
- No. 11 Possible Impacts of global warming on tundra and boreal forest ecosystems - Comparison of some biogeochemical models  
M. Plöchl, W. Cramer (Juni 1995)
- No. 12 Wirkung von Klimaveränderungen auf Waldökosysteme  
P. Lasch, M. Lindner (August 1995)
- No. 13 MOSES - Modellierung und Simulation ökologischer Systeme - Eine Sprachbeschreibung mit Anwendungsbeispielen  
V. Wenzel, M. Kücken, M. Flechsig (Dezember 1995)
- No. 14 TOYS - Materials to the Brandenburg biosphere model / GAIA  
Part 1 - Simple models of the "Climate + Biosphere" system  
Yu. Svirezhev (ed.), A. Block, W. v. Bloh, V. Brovkin, A. Ganopolski, V. Petoukhov, V. Razzhevaikin (Januar 1996)
- No. 15 Änderung von Hochwassercharakteristiken im Zusammenhang mit Klimaänderungen - Stand der Forschung  
A. Bronstert (April 1996)
- No. 16 Entwicklung eines Instruments zur Unterstützung der klimapolitischen Entscheidungsfindung  
M. Leimbach (Mai 1996)
- No. 17 Hochwasser in Deutschland unter Aspekten globaler Veränderungen - Bericht über das DFG-Rundgespräch am 9. Oktober 1995 in Potsdam  
A. Bronstert (ed.) (Juni 1996)
- No. 18 Integrated modelling of hydrology and water quality in mesoscale watersheds  
V. Krysanova, D.-I. Müller-Wohlfeil, A. Becker (Juli 1996)
- No. 19 Identification of vulnerable subregions in the Elbe drainage basin under global change impact  
V. Krysanova, D.-I. Müller-Wohlfeil, W. Cramer, A. Becker (Juli 1996)
- No. 20 Simulation of soil moisture patterns using a topography-based model at different scales  
D.-I. Müller-Wohlfeil, W. Lahmer, W. Cramer, V. Krysanova (Juli 1996)
- No. 21 International relations and global climate change  
D. Sprinz, U. Luterbacher (1st ed. July, 2nd ed. December 1996)
- No. 22 Modelling the possible impact of climate change on broad-scale vegetation structure - examples from Northern Europe  
W. Cramer (August 1996)



- No. 23 A methode to estimate the statistical security for cluster separation  
F.-W. Gerstengarbe, P.C. Werner (Oktober 1996)
- No. 24 Improving the behaviour of forest gap models along drought gradients  
H. Bugmann, W. Cramer (Januar 1997)
- No. 25 The development of climate scenarios  
P.C. Werner, F.-W. Gerstengarbe (Januar 1997)
- No. 26 On the Influence of Southern Hemisphere Winds on North Atlantic Deep Water Flow  
S. Rahmstorf, M. H. England (Januar 1977)
- No. 27 Integrated systems analysis at PIK: A brief epistemology  
A. Bronstert, V. Brovkin, M. Krol, M. Lüdeke, G. Petschel-Held, Yu. Svirezhev, V. Wenzel (März 1997)
- No. 28 Implementing carbon mitigation measures in the forestry sector - A review  
M. Lindner (Mai 1997)
- No. 29 Implementation of a Parallel Version of a Regional Climate Model  
M. Kücken, U. Schättler (Oktober 1997)
- No. 30 Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): Overview and key results  
W. Cramer, D. W. Kicklighter, A. Bondeau, B. Moore III, G. Churkina, A. Ruimy, A. Schloss, participants of "Potsdam '95" (Oktober 1997)
- No. 31 Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): Analysis of the seasonal behaviour of NPP, LAI, FPAR along climatic gradients across ecotones  
A. Bondeau, J. Kaduk, D. W. Kicklighter, participants of "Potsdam '95" (Oktober 1997)
- No. 32 Evaluation of the physiologically-based forest growth model FORSANA  
R. Grote, M. Erhard, F. Suckow (November 1997)
- No. 33 Modelling the Global Carbon Cycle for the Past and Future Evolution of the Earth System  
S. Franck, K. Kossacki, Ch. Bounama (Dezember 1997)
- No. 34 Simulation of the global bio-geophysical interactions during the Last Glacial Maximum  
C. Kubatzki, M. Claussen (Januar 1998)
- No. 35 CLIMBER-2: A climate system model of intermediate complexity. Part I: Model description and performance for present climate  
V. Petoukhov, A. Ganopolski, V. Brovkin, M. Claussen, A. Eliseev, C. Kubatzki, S. Rahmstorf (Februar 1998)
- No. 36 Geocybernetics: Controlling a rather complex dynamical system under uncertainty  
H.-J. Schellnhuber, J. Kropp (Februar 1998)
- No. 37 Untersuchung der Auswirkungen erhöhter atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf Weizenbestände des Free-Air Carbon dioxide Enrichment (FACE) - Experimentes Maricopa (USA)  
Th. Kartschall, S. Grossman, P. Michaelis, F. Wechsung, J. Gräfe, K. Waloszczyk, G. Wechsung, E. Blum, M. Blum (Februar 1998)
- No. 38 Die Berücksichtigung natürlicher Störungen in der Vegetationsdynamik verschiedener Klimagebiete  
K. Thonicke (Februar 1998)
- No. 39 Decadal Variability of the Thermohaline Ocean Circulation  
S. Rahmstorf (März 1998)
- No. 40 SANA-Project results and PIK contributions  
K. Bellmann, M. Erhard, M. Flechsig, R. Grote, F. Suckow (März 1998)
- No. 41 Umwelt und Sicherheit: Die Rolle von Umweltschwellenwerten in der empirisch-quantitativen Modellierung  
D. F. Sprinz (März 1998)
- No. 42 Reversing Course: Germany's Response to the Challenge of Transboundary Air Pollution  
D. F. Sprinz, A. Wahl (März 1998)
- No. 43 Modellierung des Wasser- und Stofftransportes in großen Einzugsgebieten. Zusammenstellung der Beiträge des Workshops am 15. Dezember 1997 in Potsdam  
A. Bronstert, V. Krysanova, A. Schröder, A. Becker, H.-R. Bork (eds.) (April 1998)
- No. 44 Capabilities and Limitations of Physically Based Hydrological Modelling on the Hillslope Scale  
A. Bronstert (April 1998)
- No. 45 Sensitivity Analysis of a Forest Gap Model Concerning Current and Future Climate Variability  
P. Lasch, F. Suckow, G. Bürger, M. Lindner (Juli 1998)

- No. 46 Wirkung von Klimaveränderungen in mitteleuropäischen Wirtschaftswäldern  
M. Lindner (Juli 1998)
- No. 47 SPRINT-S: A Parallelization Tool for Experiments with Simulation Models  
M. Flechsig (Juli 1998)
- No. 48 The Odra/Oder Flood in Summer 1997: Proceedings of the European Expert Meeting in  
Potsdam, 18 May 1998  
A. Bronstert, A. Ghazi, J. Hladny, Z. Kundzewicz, L. Menzel (eds.) (September 1998)
- No. 49 Struktur, Aufbau und statistische Programmbibliothek der meteorologischen Datenbank am  
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung  
H. Österle, J. Glauer, M. Denhard (Januar 1999)
- No. 50 The complete non-hierarchical cluster analysis  
F.-W. Gerstengarbe, P. C. Werner (Januar 1999)
- No. 51 Struktur der Amplitudengleichung des Klimas  
A. Hauschild (April 1999)
- No. 52 Measuring the Effectiveness of International Environmental Regimes  
C. Helm, D. F. Sprinz (Mai 1999)
- No. 53 Untersuchung der Auswirkungen erhöhter atmosphärischer CO<sub>2</sub>-Konzentrationen innerhalb des  
Free-Air Carbon Dioxide Enrichment-Experimentes: Ableitung allgemeiner Modelllösungen  
Th. Kartschall, J. Gräfe, P. Michaelis, K. Waloszczyk, S. Grossman-Clarke (Juni 1999)
- No. 54 Flächenhafte Modellierung der Evapotranspiration mit TRAIN  
L. Menzel (August 1999)
- No. 55 Dry atmosphere asymptotics  
N. Botta, R. Klein, A. Almgren (September 1999)
- No. 56 Wachstum von Kiefern-Ökosystemen in Abhängigkeit von Klima und Stoffeintrag - Eine  
regionale Fallstudie auf Landschaftsebene  
M. Erhard (Dezember 1999)
- No. 57 Response of a River Catchment to Climatic Change: Application of Expanded Downscaling to  
Northern Germany  
D.-I. Müller-Wohlfel, G. Bürger, W. Lahmer (Januar 2000)
- No. 58 Der "Index of Sustainable Economic Welfare" und die Neuen Bundesländer in der  
Übergangsphase  
V. Wenzel, N. Herrmann (Februar 2000)
- No. 59 Weather Impacts on Natural, Social and Economic Systems (WISE, ENV4-CT97-0448)  
German report  
M. Flechsig, K. Gerlinger, N. Herrmann, R. J. T. Klein, M. Schneider, H. Sterr, H.-J. Schellnhuber  
(Mai 2000)
- No. 60 The Need for De-Aliasing in a Chebyshev Pseudo-Spectral Method  
M. Uhlmann (Juni 2000)
- No. 61 National and Regional Climate Change Impact Assessments in the Forestry Sector  
- Workshop Summary and Abstracts of Oral and Poster Presentations  
M. Lindner (ed.) (Juli 2000)
- No. 62 Bewertung ausgewählter Waldfunktionen unter Klimaänderung in Brandenburg  
A. Wenzel (August 2000)
- No. 63 Eine Methode zur Validierung von Klimamodellen für die Klimawirkungsforschung hinsichtlich  
der Wiedergabe extremer Ereignisse  
U. Böhm (September 2000)
- No. 64 Die Wirkung von erhöhten atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf die Transpiration eines  
Weizenbestandes unter Berücksichtigung von Wasser- und Stickstofflimitierung  
S. Grossman-Clarke (September 2000)
- No. 65 European Conference on Advances in Flood Research, Proceedings, (Vol. 1 - Vol. 2)  
A. Bronstert, Ch. Bismuth, L. Menzel (eds.) (November 2000)
- No. 66 The Rising Tide of Green Unilateralism in World Trade Law - Options for Reconciling the  
Emerging North-South Conflict  
F. Biermann (Dezember 2000)
- No. 67 Coupling Distributed Fortran Applications Using C++ Wrappers and the CORBA Sequence  
Type  
Th. Slawig (Dezember 2000)
- No. 68 A Parallel Algorithm for the Discrete Orthogonal Wavelet Transform  
M. Uhlmann (Dezember 2000)

- No. 69 SWIM (Soil and Water Integrated Model), User Manual  
V. Krysanova, F. Wechsung, J. Arnold, R. Srinivasan, J. Williams (Dezember 2000)
- No. 70 Stakeholder Successes in Global Environmental Management, Report of Workshop,  
Potsdam, 8 December 2000  
M. Welp (ed.) (April 2001)
- No. 71 GIS-gestützte Analyse globaler Muster anthropogener Waldschädigung - Eine sektorale  
Anwendung des Syndromkonzepts  
M. Cassel-Gintz (Juni 2001)
- No. 72 Wavelets Based on Legendre Polynomials  
J. Fröhlich, M. Uhlmann (Juli 2001)
- No. 73 Der Einfluß der Landnutzung auf Verdunstung und Grundwasserneubildung - Modellierungen  
und Folgerungen für das Einzugsgebiet des Glan  
D. Reichert (Juli 2001)
- No. 74 Weltumweltpolitik - Global Change als Herausforderung für die deutsche Politikwissenschaft  
F. Biermann, K. Dingwerth (Dezember 2001)
- No. 75 Angewandte Statistik - PIK-Weiterbildungsseminar 2000/2001  
F.-W. Gerstengarbe (Hrsg.) (März 2002)
- No. 76 Zur Klimatologie der Station Jena  
B. Orlowsky (September 2002)
- No. 77 Large-Scale Hydrological Modelling in the Semi-Arid North-East of Brazil  
A. Güntner (September 2002)
- No. 78 Phenology in Germany in the 20th Century: Methods, Analyses and Models  
J. Schaber (November 2002)
- No. 79 Modelling of Global Vegetation Diversity Pattern  
I. Venevskaia, S. Venevsky (Dezember 2002)
- No. 80 Proceedings of the 2001 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental  
Change "Global Environmental Change and the Nation State"  
F. Biermann, R. Brohm, K. Dingwerth (eds.) (Dezember 2002)
- No. 81 POTSDAM - A Set of Atmosphere Statistical-Dynamical Models: Theoretical Background  
V. Petoukhov, A. Ganopolski, M. Claussen (März 2003)
- No. 82 Simulation der Siedlungsflächenentwicklung als Teil des Globalen Wandels und ihr Einfluß auf  
den Wasserhaushalt im Großraum Berlin  
B. Ströbl, V. Wenzel, B. Pfützner (April 2003)