

Kristin MAGNUCKI, Leipzig
Dagmar HAASE, Leipzig
Manfred FRÜHAUF, Halle

Auswirkungen urbaner Siedlungsflächenentwicklung auf den Wasserhaushalt – das Beispiel der Stadt Leipzig 1870–2003¹

Summary

The level of land consumption for building work and transport contrasts sharply with both the necessity and the legal obligation to maintain the ecological potential afforded by open spaces to meet the needs of current and future generations. Owing to the increasing intensity of soil usage, in many urban landscapes the condition of the soil has deteriorated. Soil's natural filter and run-off regulating functions are impaired or even stopped altogether by land surfacing, curbing the natural balance. Since such soil functions closely depend on the soil's physicochemical properties, the decline of water household functionality caused by land surfacing varies.

In response to the demand to sustainably secure or restore water household-relevant soil functions, it needs to be assessed exactly how land surfacing affects the functions concerned. Analyzing and evaluating the change of land usage and related changes to land surfacing intensity taking into account interaction between land use structures and water household functions ought to improve our understanding of the changes currently taking place in land usage and their consequences.

Therefore, the aim of this paper is to assess the decline of soil functionality regarding water household functions caused by construction and other forms of land surfacing in urban districts over the last 130 years. In particular, attention is to be paid to land-use changes, the land surfacing they involve, and how this affects relevant parameters that describe water fluxes in an urban area.

1 Einleitung und Zielstellung

Umweltbedingungen und Lebensgewohnheiten unterliegen einem permanenten Wandel, der weltweit durch zunehmende Urbanisierung gekenn-

¹ Für die Kooperation und fachlichen Hinweise sowie auch für die kritische Durchsicht des Manuskripts sei Kollegen Dr. Gerd Schmidt herzlich gedankt.

zeichnet ist. In Europa leben derzeit ca. 75% der Bevölkerung in Städten (HALL und PFEIFER 2000). Zwar liegt der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche an der Gesamtfläche Deutschlands mit 12,3% (STATISTISCHES BUNDESAMT 2002) im Vergleich mit anderen europäischen Staaten wie der Schweiz mit 6,8% (BUNDESAMT FÜR STATISTIK 2001), Österreich mit 5% (UMWELTBUNDESAMT 2004), oder England mit ca. 20% (DOSCH 2004) in einem mittleren Bereich, aber infolge steigender Ansprüche an Wohnfläche sowie zunehmender Arbeits- und jüngst auch Freizeitmobilität wächst seit Jahrzehnten die Fläche für Wohnen, Verkehr, Freizeit und Arbeiten. Insbesondere nach 1945 sowie nach der politischen Wende 1990 erhöhte sich das Siedlungswachstum und damit der Anteil an versiegelter Fläche in den neuen deutschen Bundesländern beträchtlich (Tab.1, STAT. BUNDESAMT 2004).

Landnutzungsklassen in der

Jahr	Bundesrepublik Deutschland (alt)					DDR	Bundesrepublik Deutschland (neu)		
	1950	1960	1970	1981	1989	1989	1989	1997	2003
Siedlung	7,1	7,8	9,3	11,1	12,2	9,9	11,5	11,8	12,5
Landwirtschaft	57,3	57,5	55,7	55,2	53,7	57,0	54,7	54,1	53,4
Forst	28,4	28,4	28,9	29,5	29,8	27,5	29,1	29,4	29,5
Gewässer	1,8	1,7	1,8	1,7	1,8	2,9	2,1	2,2	2,4
Sonstige	5,4	4,3	4,3	2,5	2,5	2,7	2,5	2,5	2,0

Tab. 1: Entwicklung der Flächennutzung in Deutschland seit 1950
(Angaben in %), Quelle: Statistisches Bundesamt Wiesbaden 2004

Die Siedlungsflächenzunahme ist dabei heute eng mit dem gewachsenen materiellen Wohlstand verknüpft. Die tägliche Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke ist in Deutschland insgesamt bis heute auf etwa 129 ha pro Tag gestiegen (STATISTISCHES BUNDESAMT 2002), wobei sich die Zunahme der Siedlungsflächen seit dem Beginn der Industriellen Revolution relativ konstant entwickelt hat (DOSCH und BECKMANN 1999a). Im Zuge der Wiedervereinigung nach 1990 bestand gerade im Osten Deutschlands ein deutlicher Nachholbedarf im Verkehrswege- und Wohnungsbau. Der Flächenverbrauch erreicht dabei mit einem täglichen Siedlungsflächenzuwachs von 40 ha (Durchschnitt 1997–2003) einen momentanen Höchststand, wobei vor allem Flächen für Wohnen, öffentliche Verwendung, Handel- und Dienstleistungen überdurchschnittlich und zu Ungunsten von Acker- und Freiflächen zunahm (DOSCH und BECKMANN 1999b).

Die zunehmende Bodenversiegelung wirkt sich entsprechend des Versiegelungsgrades auf die Erfüllung natürlicher Bodenfunktionen extrem nega-

tiv aus – Wasser- und Stoffflüsse werden unterbunden bzw. die natürliche Filter- bzw. Senkenfunktion des Bodens für Schadstoffe geht verloren. Die mit der Zunahme der versiegelten Flächen verbundenen Wirkungen auf den regionalen bzw. lokalen Wasserhaushalt, der im Focus dieses Aufsatzes steht, in einer urbanen Region können allgemein wie folgt beschrieben werden (WESSOLEK 1988; STEINHARDT und VOLK 2002):

- Abnahme der realen Evapotranspiration (ETP) durch Umwandlung natürlicher Vegetationsflächen und Verringerung der Oberflächenrauigkeit durch künstliche Oberflächen,
- Minderung der effektiven Sickerwasserrate sowie daraus folgend Sickerwasserrate mit zunehmendem Versiegelungsgrad,
- Zunahme des (schnellen) Oberflächenabflusses (Ao) mit Zunahme des Anteils an versiegelter Fläche sowie zunehmendem Versiegelungsgrad.

Um natürliche (landschaftliche) Ressourcen vor allem auch in urbanen und suburbanen Räumen besser schützen zu können und die Effekte von Versiegelung bzw. Siedlungserweiterung auf den Landschaftshaushalt abzuschätzen, ist die flächendifferenzierte Kenntnis von Sickerwasser- und Verdunstungsraten notwendig. Die Analyse des (historischen) Flächennutzungswandels und der Veränderungen in der Versiegelungsintensität unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Flächennutzungsstrukturen und Wasserhaushalt gestatten dabei ein besseres Verständnis der gegenwärtigen sowie zukünftigen Veränderungen in der Flächennutzung und deren Folgen.

Der vorliegende Beitrag beschreibt die Landnutzungsänderungen und die damit verbundenen Folgen für den lokalen Wasserhaushalt im Gebiet der Großstadt Leipzig seit 1870, die GIS- bzw. modellbasiert bilanziert wurden. Folgende Punkte werden im Weiteren thematisiert:

- die Erfassung des Flächennutzungswandels und der Neuversiegelung im Maßstab 1:25.000 anhand analoger und digitaler topographischer Informationen für die Zeitschnitte 1870, 1940, 1985 und 2003,
- die Ableitung von Modellgrößen aus analog und digital vorliegenden öffentlich verfügbaren Datensätzen,
- die Berechnung bzw. Bewertung relevanter Wasserhaushaltsgrößen auf Basis der Daten sowie
- die anschließende Diskussion der Veränderungen.

2 Methoden

Methodisch stellen die oben genannten Ziele die Bearbeiter vor die Situation, nicht nur die Flächennutzungsentwicklung innerhalb der Stadt zu erfassen, sondern auch Parameter zu den Komponenten Boden, Klima, Relief und Grundwasserflurabstand für ein gesamtes Stadtgebiet in vergleichbaren

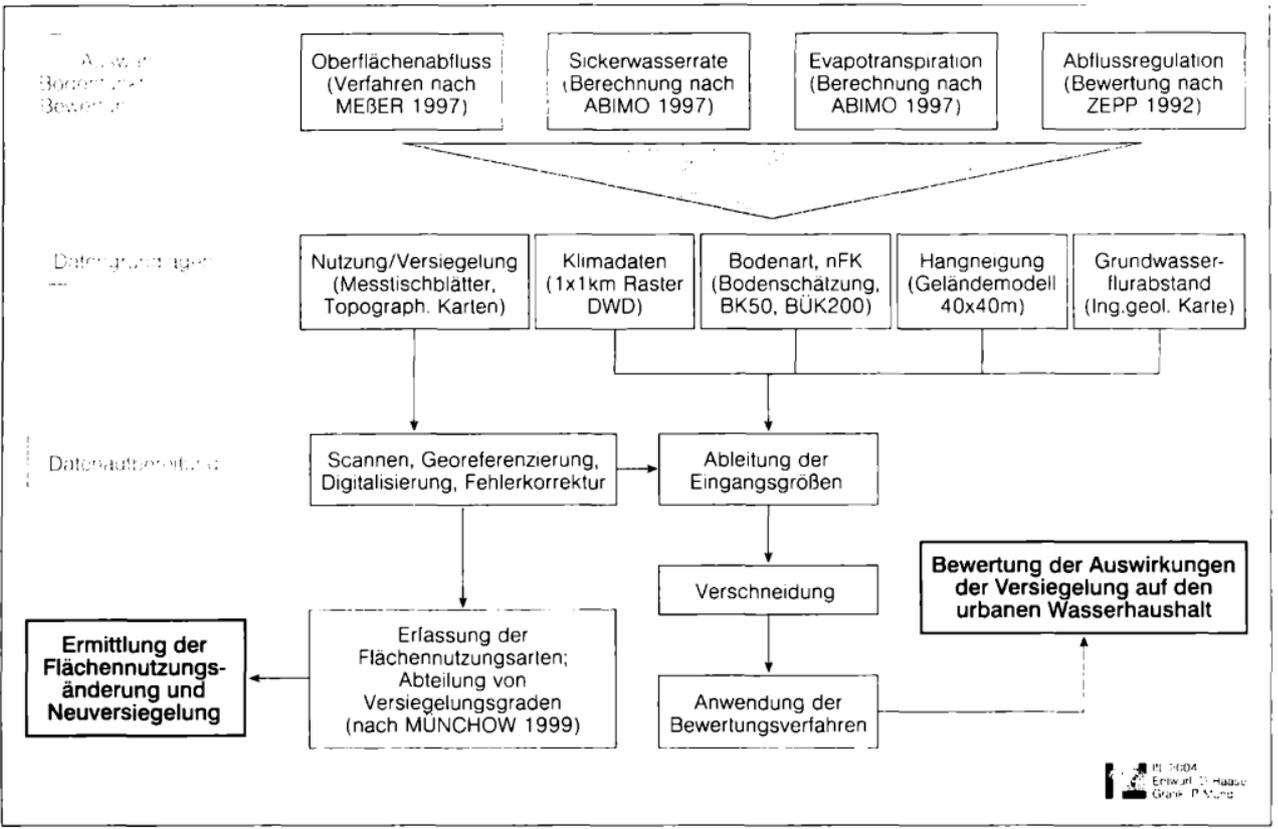


Abb. 1: Schematische Darstellung des Arbeitsansatzes

Maßstäben zur Verfügung zu haben, um vergleichende Aussagen machen zu können. Dabei muss im Wesentlichen auf öffentlich verfügbare, flächendeckende Daten zurückgegriffen werden. Einen Überblick über den methodischen Ansatz gibt Abbildung 1.

2.1 Erfassung der Flächennutzungsarten und Versiegelungsgrade

Für die Aufnahme der Landnutzung wurden topographische Karten/Informationen (Äquidistantenkarten 1870, Messtischblätter 1940, Topographische Karten (AS) 1985 sowie aktuelle topographische Daten von 1997) eingesetzt und diese für den aktuellen Zeitschnitt 2003 mit einem Datensatz einer Kartierung der aktuellen Flächennutzung auf den Planungs- und Erweiterungsflächen der Stadt Leipzig (STADT LEIPZIG 2002, 2003) ergänzt. Aus diesen Nutzungsdaten wurden dann der Anteil an versiegelter Fläche bzw. die verschiedenen Versiegelungsgrade abgeleitet (MAGNUCKI 2003; MAGNUCKI et al. 2004).

Die Flächenutzung wurde nach der Georeferenzierung der topographischen Karten in einem Geographischen Informationssystem (GIS) digital erfasst. Insgesamt wurden 25 Flächennutzungs- bzw. Bebauungstypen unterschieden, die sich an bestehenden Stadtstrukturtypengliederungen orientieren (BREUSTE 1994; ZIERDT und DIPPANN 1994; HEBER und LEHMANN 1996; MÜNCHOW 1999). Als Ergebnis liegt ein digitaler Datensatz zur Flächennutzung der Stadt Leipzig von 1870 bis heute im Maßstab 1:25.000 für 5 Zeitschnitte (1870, 1940, 1985, 1997, 2003) vor, welcher zum einen die Entwicklung und das enorme Wachstum der Stadt in die Fläche seit 125 Jahren dokumentiert und zum anderen die Dynamik bzw. den Rückgang bestimmter Nutzungstypen bzw. -strukturen in diesem Zeitraum quantifizierbar macht (MAGNUCKI 2003; MAGNUCKI et al. 2004).

Die ausgegrenzten Nutzungseinheiten ermöglichen aufgrund ihrer einheitlichen strukturellen Ausstattung die Ableitung von Aussagen zur Versiegelungsintensität (BERLEKAMP und PRANZAS 1992). Die Ableitung der entsprechenden Versiegelungsgrade für diese Analyse resultiert aus einer Versiegelungskartierung von MÜNCHOW (1999) in der Stadt Leipzig. Durch MÜNCHOW (1999) wurden dabei in verschiedenen Stadtstrukturtypen die Nutzungs-, Belags- und Entwässerungsarten von Flächen aufgenommen, sowie die Versickerungsleistung verschiedener Belagsarten mittels Beregnungsversuchen bestimmt. Der aus der Kartierung hervorgehende Versiegelungsgrad für die einzelnen Stadtstrukturtypen wurde von den Autoren auf die 25 ausgewiesenen Flächennutzungsklassen übertragen. Wenn es für einzelne Strukturtypen mehrere Angaben zum Versiegelungsgrad gab, wurde aus diesen Werten ein Mittelwert gebildet. Für diejenigen Flächenutzungsarten, für die bei der Kartierung von MÜNCHOW kein Versiegelungsgrad erhoben wurde, wurde der Versiegelungsgrad aus HEBER und

LEHMANN (1996) entnommen. Dieser Wert entspricht den durchschnittlichen Versiegelungsanteilen der Flächennutzungsarten und wurde aus den Versiegelungsangaben verschiedener Städte ermittelt. Da die Versiegelungsgrade erhebliche Schwankungen innerhalb einer Nutzungsklasse aufweisen können (vgl. HEBER und LEHMANN 1996; MOHS und MEINERS 1994), wurden die einzelnen Flächennutzungen in Versiegelungsklassen eingeordnet, die eine Klassenbreite von 20% im Versiegelungsgrad aufweisen. Die Tabelle 2 zeigt die dieser Arbeit zugrunde liegende Einordnung der Nutzungen in die Versiegelungsklassen.

Versiegelungsklassen in %	Flächennutzung
0	Land-/Forstwirtschaft, Freifläche, Rohstoffgewinnung, Wasserflächen
> 0 bis 20	Grün-/Parkanlagen, Gartenanlagen, Friedhöfe
> 20 bis 40	Bahnanlagen, Sportanlagen, Soziales, Zeilenbebauung
> 40 bis 60	Großwohnsiedlung, Eigenheime, Villen, techn. Ver-/Entsorgung, Militär
> 60 bis 80	alter Siedlungskern, Gründerzeitbebauung, Wohnpark, Bildung
>80 bis 100	Gewerbefläche, Dienstleistung, historisches Zentrum, Messegelände, Straßenverkehrslagen

Tab. 2 : Einteilung der Flächennutzungen in Versiegelungsklassen

Die Landnutzung bzw. die aus ihr abgeleiteten Versiegelungsgrade wurden als Input-Parameter für die Modellansätze ABIMO (GLUGLA und FÜRTIG 1997), MEßER (1997) und die Ermittlung der Abflussregulationsfunktion nach ZEPP (1992) genutzt.

2.2 Verwendete Modellansätze zur Abschätzung der Wasserhaushaltsgrößen
Das einem Gebiet durch Niederschläge zugeführte Wasser wird in Abhängigkeit von den klimatologischen Bedingungen, den Bodeneigenschaften und der Flächennutzung mit unterschiedlichen Anteilen in die Wasserhaushaltsgrößen Verdunstung, oberirdischer Abfluss (Oberflächenabfluss) und unterirdischer Abfluss (Versickerung) aufgeteilt (DYCK 1978).

Ein Verfahren zur Berechnung der *Sickerwasserrate* innerhalb eines Stadtgebietes im Tiefland stellt das Abflussbildungsmodell ABIMO (1997) der Bundesanstalt für Gewässerkunde dar. Das Modell ABIMO wurde für den Lockergesteinsbereich Ostdeutschlands entwickelt und für das Stadtgebiet von Berlin modifiziert. ABIMO hat sich auch für den mitteldeutschen Raum mit seinen relativ trockenen Klimabedingungen bewährt (PETRY 2001). Hauptbestandteil des ABIMO ist die Berechnung des Gesamtabflusses (Q), wobei zunächst die reale Evapotranspiration (ETa) einer Fläche über die Bagrov-Beziehung ermittelt wird (GLUGLA und FÜRTIG 1997). Der

Gesamtabfluss (Q) wird durch die Differenz aus realer Evapotranspiration (ETa) und dem langjährigen Mittel des Niederschlages (N) berechnet. Der Direktabfluss eines Gebietes wird nach diesem Modell nur für die versiegelten Flächen berechnet, da dieser nur über den Versiegelungs- bzw. Kanalisationsgrad einer Fläche ermittelt wird (GLUGLA und FÜRTIG 1997). Bei der Ermittlung des Direktabflusses werden weder die Hangneigung noch die Vegetationsbedeckung eines Standortes (Oberflächenrauigkeit) berücksichtigt.

Ein weiteres Modell zur Berechnung der Sickerwasserrate in Stadtgebieten stellt das Verfahren von MEßER (1997) dar. Dieses Verfahren ist eine Modifizierung des Modells von SCHROEDER und WYRWICH (1990) und wurde ursprünglich für das urban-industriell geprägte Ruhrgebiet entwickelt. Das Verfahren nach MEßER (1997) berücksichtigt den Direktabfluss einer Fläche, der sich über die Faktoren Hangneigung, Bodenart, Grundwasserflurabstand und Flächennutzung ermitteln lässt. Die reale Evapotranspiration wird in diesem Verfahren über empirisch ermittelte Werte ermittelt, die nur für das Ruhrgebiet Gültigkeit besitzen.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Sickerwasserrate über die allgemeine Wasserhaushaltsgleichung bestimmt, wobei die reale Evapotranspiration mittels des ABIMO-Modells über die BAGROV-Beziehung berechnet wurde und der Direktabfluss über das Verfahren von MEßER (1997). Einen schematischen Überblick über die Berechnung der Sickerwasserrate gibt die Abbildung 2.

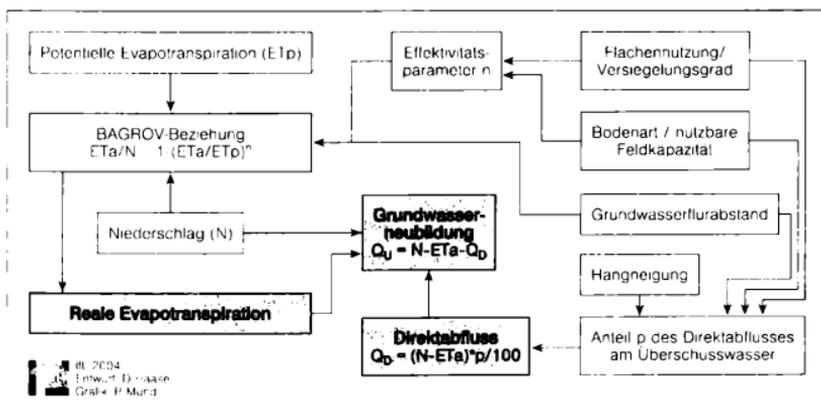


Abb. 2: Schema der Ermittlung der Sickerwasserrate

Das langjährige Mittel der realen Evapotranspiration (ETa) wird mit Hilfe des Abflussbildungsmodells ABIMO über die BAGROV-Beziehung ermittelt.

Die BAGROV-Beziehung beruht auf langjährigen Lysimetermessungen und beschreibt das nichtlineare Verhältnis zwischen Niederschlag und Verdunstung in Abhängigkeit von den Standorteigenschaften (DVWK 1996). Die nachstehende Formel zeigt die BAGROV-Gleichung mit der die reale Evapotranspiration (ETa) ermittelt wird.

$$\frac{ETa}{N} = 1 - \left(\frac{ETa}{ETp} \right)^n$$

Mit wachsendem Niederschlag (N) nähert sich die reale Evapotranspiration (ETa) der potentiellen Verdunstung (ETp) an, während sich bei abnehmendem Niederschlag (N) die reale Evapotranspiration (ETa) dem Niederschlag nähert. Die Intensität, mit der diese Randbedingungen erreicht werden, wird durch die Speichereigenschaften der verdunstenden Fläche (Effektivitätsparameter n) verändert (DVWK 1996).

Die Speichereigenschaften eines Standortes bzw. einer Flächeneinheit werden vor allem durch die Nutzung (zunehmende Speicherwirksamkeit in der Reihenfolge versiegelte Fläche, vegetationsloser Boden, landwirtschaftliche, gärtnerische, forstwirtschaftliche Nutzung) und die entsprechende Bodenart bestimmt. Das Maß für die Speicherwirksamkeit des unversiegelten Bodens ist die nutzbare Feldkapazität. Je nach den Bodeneigenschaften des Standortes tritt für Gebiete mit flurnahem Grundwasser infolge des Kapillaraufstiegs vom Grundwasser eine gegenüber grundwasserunbeeinflussten Bedingungen erhöhte Verdunstung auf, was im Modell ABIMO berücksichtigt wird. Die für das Modell ABIMO benötigten Eingangsparameter sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Obligatorische Daten	Optionale Daten
Jahresniederschlag [mm]	Sommerniederschlag [mm]
Potentielle Verdunstung [mm]	Potentielle Verdunstung im Sommer [mm]
Grundwasserflurabstandsklasse	Hauptbodenart
nutzbare Feldkapazität [Vol.-%]	Ertragsklasse
Flächennutzung	Beregnungsmenge [mm]
Versiegelungsgrad [%]	Baumart
Kanalisationsgrad [%]	

Tab. 3 : Eingangsparameter zur Berechnung der Sickerwasserrate mit dem Modell ABIMO (nach GLUGLA und FÜRTIG 1997; PETRY 2001)

Die Flächennutzung geht in den Klassen: L (landwirtschaftliche Nutzfläche), W (forstwirtschaftliche Nutzung), K (gärtnerische Nutzung) und D

(vegetationslose Fläche) in die Berechnung ein. Zur landwirtschaftlichen Nutzfläche wird zunächst sowohl die Acker-/Freifläche, das Grünland und Grünflächen als auch die Siedlungs- und Industrie-/Gewerbefläche gezählt, da letztere je nach ihrem Versiegelungsgrad auch Freiflächen enthalten. Die Eigenschaften der Siedlungs- und Gewerbeflächen werden dann zusätzlich durch den Versiegelungsgrad (VER) und den Grad der Regenwasserkanalisation (KAN) bestimmt.

Die Gartenanlagen und auch die Einzel- und Doppelhausbebauung werden zur Klasse gärtnerische Nutzung gezählt, da hier eine gärtnerische Nutzung auf den unversiegelten Flächen vorausgesetzt wird. Friedhof wird ebenfalls in die gärtnerische Nutzung eingeordnet, da anzunehmen ist, dass die Ausprägung des Effektivitätsparameter n auf solchen Flächen ähnlich wie bei einer gärtnerischen Nutzung zwischen dem Effektivitätsparameter der landwirtschaftlichen Nutzung und dem des Waldes liegt. Die Flächen der Rohstoffgewinnung werden zur Klasse „vegetationslose Fläche“ gezählt. In die Klasse forstliche Nutzung wird die Flächennutzungsart Forst- und Waldfläche eingeordnet.

Die Berechnung des Direktabflusses erfolgt über die Bestimmung des Anteils p am Überschusswasser (Differenz von Niederschlag und Verdunstung). Der Direktabflussanteil p wird über die Eingangsparameter Hangneigung, Bodenart, Grundwasserflurabstand und die Flächennutzung bzw. den Versiegelungsgrad ermittelt. Der Direktabflussanteil p nimmt mit steigendem Grundwasserflurabstand ab. Er ist bei bindigen Böden (ton- und schluffreich) deutlich größer als bei nicht bindigen (v.a. sandigen) und nimmt von Acker über Grünland bis zum Wald hin ab. Bei versiegelten Flächen steigt der Anteil mit zunehmendem Versiegelungsgrad an (MEßER 1997). Ein Beispiel zur Ableitung des Direktabflussanteils p ist in der folgenden Tabelle 4 dargestellt.

Da hier mit langjährigen Mittelwerten sowohl des Niederschlages als auch der potentiellen Evapotranspiration (ETP) gearbeitet wird, werden als Ergebnisse auch nur langjährige Mittelwerte des Wasserhaushaltes berechnet. Die Sickerwasserrate (mm/a) sowie die reale Evapotranspiration (mm/a) müssen dabei als langjährige Mittelwerte angesehen werden, die saisonal und von Jahr zu Jahr stark schwanken können. PETRY (2001) gibt dabei für das Modell ABIMO für den mitteldeutschen Raum einen Fehlertoleranzbereich von ± 20 mm/a an, der hier für die nicht bebauten Bereiche zutreffend ist.

Der Oberflächenabfluss wird aufgrund der Datenlage ebenfalls als langjähriges Mittel angegeben. DÖRHÖFER und JOSOPAIT (1980) konnten nachweisen, dass das Verhältnis von Oberflächenabfluss und Gesamtabfluss im langjährigen Mittel dabei konstant und unabhängig von der Niederschlagshöhe ist. Die Abschätzung des Oberflächenabflusses aus den Eingangsdaten

Reliefenergie/Gefälle	0–2%					
	Bodenart	Sand/Aufschüttung			Lehm	
Grundwasserflurabstand		< 1m	1–2m	> 2m	< 1m	1–2m
Flächennutzung						
Acker/Grünland	50	0	0	50	20	20
Mischwald	20	0	0	30	5	0
Versieg. 1 20% Mischvegetation	38	8	8	42	20	20
Versieg. 21 40% Mischvegetation	58	43	28	61	51	42
Versieg. 41 60% Mischvegetation	73	62	52	74	67	60
Versieg. 61 80% Mischvegetation	86	79	73	86	82	79
Versieg. 81 100% Mischvegetation	92	89	87	92	91	90
Wasserflächen	0	0	0	0	0	0
Halde (kaum bewachsen)	100	100	100	100	100	100

Tab. 4 : Anteil p am Überschusswasser (nach MEßER 1997, verändert). Der Direktabfluss (Q_D) wird über folgende Formel berechnet: $Q_D = (N - ETa) * p/100$ (0–2% dienen als Beispiel).

Relief, Bodenart, Grundwasserflurabstand und Nutzungsart bzw. Versiegelungsgrad nach MEßER (1997) ist daher auf den unversiegelten Standorten als plausibel anzusehen.

Auf den versiegelten Standorten wird der Oberflächenabfluss nach MEßER (1997) neben der Berücksichtigung von Relief und Boden hauptsächlich über den Versiegelungsgrad bestimmt. Dabei ist auf versiegelten Flächen für die Bestimmung des Oberflächenabflusses auch der Anschlussgrad der Fläche an die Kanalisation von Bedeutung. So kann bei einem geringen Kanalisationsgrad ein Teil des Oberflächenabflusses an anderer Stelle derselben Fläche versickern, was hier nicht berücksichtigt wird.

Das Modell ABIMO berücksichtigt bei der Berechnung des Oberflächenabflusses zwar den Kanalisationsgrad, nicht jedoch die Bodeneigenschaften der unversiegelten Flächen, so dass hier der Oberflächenabfluss vor allem auf lehmigen Standorten eher unterschätzt wird, was in Abb. 3 deutlich wird. In dieser Arbeit kam deshalb das Verfahren von MEßER (1997) zur Anwendung.

Die ebenfalls zu bewertende *Abflussregulationsfunktion* kennzeichnet das Vermögen des Landschaftshaushaltes, den Oberflächenabfluss zu regulieren, d.h. den Direktabfluss aus der Fläche zu verringern und Abflussspitzen zu vermeiden (BASTIAN und SCHREIBER 1999). Als wichtige Einflussfakto-

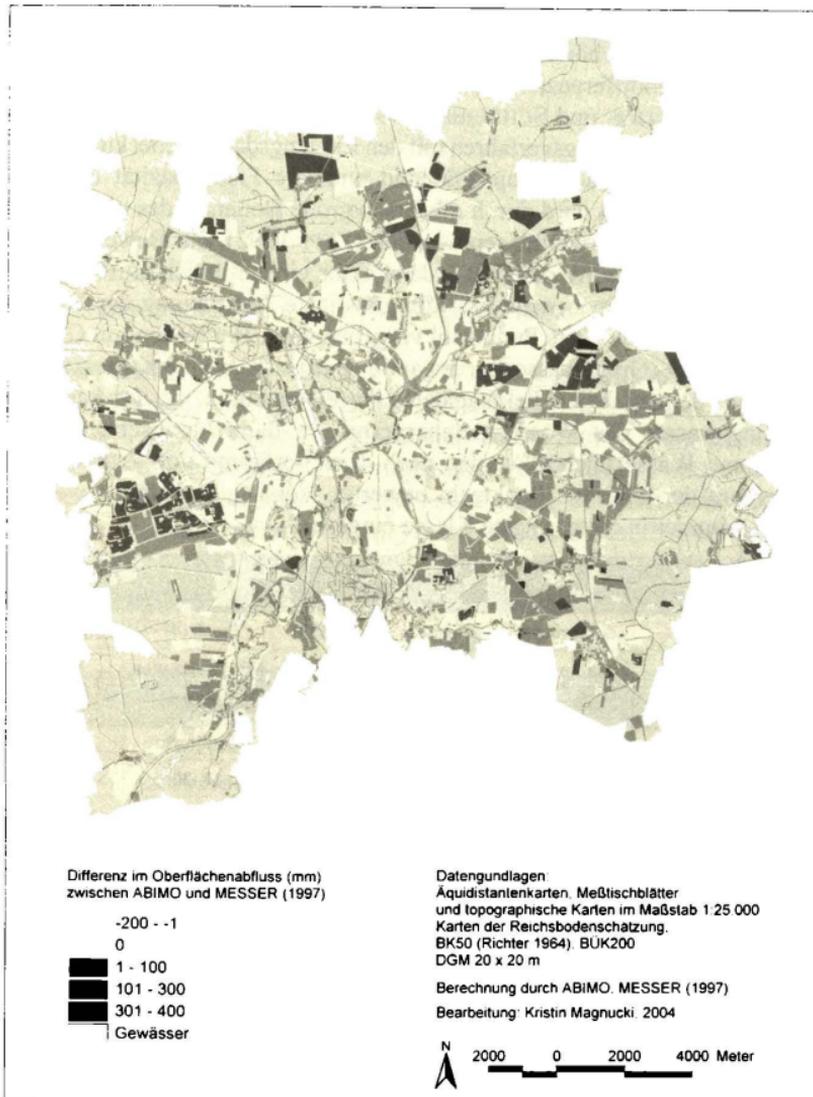


Abb. 3: Differenz zwischen den mit ABIMO und dem Verfahren nach MESSER ermittelten langjährigen Werten des Oberflächenabflusses im Untersuchungsgebiet Leipzig

ren auf die Abflussregulationsfunktion spielen neben der Niederschlagsmenge und -intensität vor allem die Bodeneigenschaften, die Flächennutzung, der Versiegelungsgrad und die Hangneigung eine wichtige Rolle.

Die Abflussregulationsfunktion kann mit dem Verfahren von Zepp (in MARKS et al. 1992) bewertet werden. Das Verfahren von ZEPP (1992) ermöglicht flächendifferenzierte Aussagen und ist nicht an ein Einzugsgebiet gebunden (BASTIAN und SCHREIBER 1999). Das Verfahren stellt ein fünf-stufiges Punktbewertungsverfahren mit den Eingangsdaten Bedeckungsgrad, Hangneigung, Infiltrationskapazität und nutzbare Feldkapazität dar. Die Infiltrationskapazität wird durch die Ersatzgröße Bodenart des oberen mineralischen Bodenhorizontes repräsentiert (ZEPP 1992). Zur Bewertung der Abflussregulation wird zunächst jeder Faktor einzeln einer Stufe auf der Werteskala zugeordnet, wobei für die günstigste Ausprägung der Faktoreigenschaften die höchste Punktzahl vergeben wird. Bei Böden mit Grundwassereinfluss (Grundwasserflurabstand < 2 m) erfolgt eine Korrektur der Punktzahl der nutzbaren Feldkapazität um einen Punkt, da das kapillare Aufstiegswasser das Wasserspeichervermögen dann herabsetzen kann. Wald- und Wasserflächen werden nach dem Verfahren von ZEPP (1992) immer mit der höchsten Punktzahl bewertet. Versiegelte Flächen werden dagegen immer in die geringste Klasse eingestuft.

Bewertung des Wasserrückhaltes

Faktoren	sehr gering (1)	gering (2)	mittel (3)	hoch (4)	sehr hoch (5)
Bedeckung	kein Bewuchs	Ackerfläche	Grünland	Mischvegetation	Wald
Hangneigung in Grad	> 35	15-35	7-15	2-7	0-2
Infiltration	T1	Lt, Lts, Ut,	Lu, Ls, Uls	Sl, Slu, Su	Ss
nFK in Vol.-%	< 6	6-9	9-14	14-20	> 20

Tab. 5 : Bewertung der Einzelfaktoren der Abflussregulationsfunktion nach ZEPP (1992); PETRY (2001), verändert.

Um teilversiegelte Flächen besser bewerten zu können, wird dem Versiegelungsgrad ein Bewertungsfaktor zugeordnet, der die Punktzahl um diesen Faktor mindert. Die Vergabe des Faktors beruht auf der Annahme, dass mit zunehmender Bebauung der schnelle Abfluss und auch die Hochwassergefährdung proportional ansteigen (BASTIAN und SCHREIBER 1999). Mit steigendem Versiegelungsgrad nimmt der Einfluss der übrigen Faktoren auf die Abflussregulation ab.

Bei der Punktzahl für den Bedeckungsgrad werden versiegelte Flächen (Wohnflächen, Industrie-/Gewerbeflächen, Sonderflächen und Freizeit-/Erholungsflächen) in die Kategorie Mischvegetation eingestuft, die im Vegetationsbedeckungsgrad der Kategorie Buschwerk im Bewertungsverfahren von ZEPP (1992) entspricht. Diese Einstufung gilt im Wesentlichen für die unversiegelten Bereiche dieser Flächen. Die versiegelten Anteile werden in dem Bewertungsfaktor (Tab. 6) berücksichtigt.

Versiegelungsklasse	Faktor
0‰	1,0
> 0-20‰	0,9
> 20-40‰	0,7
> 40-60‰	0,5
> 60-80‰	0,3
> 80-100‰	0,1

Tab. 6 : Bewertungsfaktor für teilversiegelte Flächen (MAGNUCKI 2003)

Bergbauflächen werden bei ZEPP (1992) nicht gesondert erwähnt. Da der Bedeckungsgrad von Abbauflächen meist jedoch sehr gering ist (Erfahrungswert), werden diese Flächen deshalb in die Stufe 1 (sehr gering) für den Bedeckungsgrad in der Bewertungsskala eingeordnet. Verkehrsflächen werden im Bedeckungsgrad ebenfalls sehr gering bewertet. Nachdem die Faktoren einzeln bewertet wurden, ergibt sich die Gesamtbewertung dann aus der Summe der Punkte und dem Faktor für die Versiegelung, mit dem die Punktsomme multipliziert wird. Die Gesamtpunktzahl entspricht folgenden Wertstufen:

Bewertung	Punktzahl
sehr hoch	> 18
hoch bis sehr hoch	> 16-18
hoch	> 14-16
mittel-hoch	> 12-14
mittel	> 10-12
mittel-gering	> 8-10
gering	> 6-8
gering bis sehr gering	> 4-6
sehr gering	0-4

Tab. 7 : Einschätzung der Abflussregulationsfunktion nach ZEPP (1992), verändert

2.3 Datenmaterial und Verarbeitung im GIS

Datengrundlage der Berechnungen und Bewertung bildeten überwiegend öffentlich verfügbare digitale Boden-, Relief- und Klimadaten (vgl. Tab. 8), sowie die digitalisierten Flächennutzungsdaten mit den abgeleiteten Versiegelungsgraden.

Datensatz	Stand	Maßstab	Herausgeber/Quelle
Äquidistantenkarten	ab 1870	1:25.000	Stadtarchiv Leipzig
Messtischblätter	1907-44	1:25.000	Landesvermessungsamt Sachsen
Topographische Karten (AS)	1986-87	1:25.000	Landesvermessungsamt Sachsen
Topographische Karten (N)	1997-98	1:25.000	Landesvermessungsamt Sachsen
CIR-Luftbilder	2002	1:6.000	Stadt Leipzig
DGM	1995	20 x 20m ²	Landesvermessungsamt Sachsen
Evapotranspiration	1961-90	1 x 1km ²	Deutscher Wetterdienst
Niederschlag	1961-90	1 x 1km ²	Deutscher Wetterdienst
Ingenieurgeolog. Karte, Hydrolog. Teil	1977	1:10.000	LfUG Sachsen
Karte der Hydroisohypsen, Blatt Leipzig	1984	1:50.000	LfUG Sachsen
Bodenschätzungskarten	ab 1935	1:10.000	Finanzamt Leipzig
Bodenkarte Leipziger Land	1964	1:50.000	RICHTER 1964
Bodenübersichtskarte Blatt CC 4734	1999	1:200.000	BGR Hannover
Auelehmverbreitung	2003	1:50.000	HAASE 2003

Tab. 8 : Verwendete analoge bzw. digitale Datensätze

Für die Anwendung der Verfahren bzw. Modelle wurde es notwendig, die geforderten Eingangswerte aus den digitalen Daten abzuleiten und neue Attributtabelle zu erstellen. So wurde beispielsweise aus dem Geländemodell (DGM) die Hangneigung abgeleitet, aus den Ingenieurgeologischen Karten 1:25.000 die Grundwasserflurabstandsklassen bzw. aus den Bodendaten die nutzbare Feldkapazität (nach KA4, AG BODEN 1994). Da die Bodendaten in den Kartengrundlagen insbesondere für urbane Räume nicht flächendeckend vorhanden sind und so Flächen ohne Informationen vorliegen, wurde eine Synthesekarte aus aktuellen und älteren Bodendaten erstellt: Reichsbodenschätzung, BK50 nach RICHTER (1964), BÜK 200 und der Auelehmverbreitung nach HAASE (2003). Aus dieser Synthesekarte wurden dann die Bodenarten abgeleitet. Im Falle völlig unzureichender Bodeninformationen zu einer Fläche wurde der für die Leipziger Tieflandsbucht typische Sandlöß (Slu) angenommen, für die Auen Auelehm (Ls3). In die Berechnungen gehen die Bodenart und die nutzbare Feldkapazität ein.

Die verwendeten Bodenkarten unterscheiden sich sowohl im Maßstab als auch in ihrem Informationsgehalt. So sind die Bodendaten im Maßstab 1:50.000 bzw. 1:200.000 im Vergleich zu den Daten aus der Reichsbodenschätzung wesentlich weniger detailliert. Die Verwendung der BÜK 200 für

Fehlflächen rechtfertigt sich nur dadurch, dass keine detaillierteren, digitalen Datensätze zur Verfügung standen.

Zur Reduzierung der Unsicherheiten bei der Ableitung der bodenkundlichen Modelleingangsparameter für die Bereiche des Stadtzentrums wurden Informationen einer synthetischen Bodenkonzeptkarte zur Rekonstruktion der natürlichen Bodenverbreitung nach FÖRSTER (2004) und HAASE und SCHMIDT (2004) genutzt. In diese fanden einerseits die Grenze der natürlichen Auelehmvverbreitung sowie reliefbedingte Grundwasserflurabstände vor einer urbanen Nutzung v.a. für die Datenbereitstellung zu Zeitschnitt 1870 Eingang.

Nach der Aufbereitung der Eingangsdaten wurden die Datenlayer miteinander verschnitten, nachfolgend bewertet und klassifiziert. Unsicherheiten in der Berechnung können sich dabei vor allem durch die Verwendung von Daten unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte und -ziele sowie unterschiedlicher Aktualität ergeben (MYSIAK et al. 2004).

3 Ergebnisse: Zur Siedlungsentwicklung von 1870 bis 2003 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt

3.1 Leipzig um 1870

Das heutige Stadtgebiet von Leipzig (297,6 km², STADT LEIPZIG 2002) wurde vor 130 Jahren überwiegend durch die Land- und Forstwirtschaft bestimmt (89% Flächenanteil). Neben dem Zentrum der Stadt und den alten Ortskernen sind es vor allem die beginnende Blockrandbebauung, Industrie- und Verkehrsflächen um den Hauptbahnhof herum, welche zur Erweiterung der mittelalterlichen Stadt beitragen (siehe Abb. 4a und 4b).

Klimatisch liegt Leipzig im abnehmenden Regenschatteneinflusses des Harzes, so dass die Niederschlagshöhen im Stadtgebiet einen deutlichen Gradienten aufweisen. Die Jahresniederschlagsmenge nimmt von Nordwest nach Südost von 500 mm/a auf mehr als 620 mm/a zu (RICHTER 1995). Die Sickerwasserrate beträgt auf den Ackerflächen im Westen der Stadt zwischen 75 mm/a und 125 mm/a, im Osten des Stadtgebietes kommen Sickerwasserraten von 150 mm/a bis 175 mm/a vor. Relativ hohe Werte (200–225 mm/a) sind auf den Flächen zu finden, die aufgrund der Bodenart eine hohe Infiltrationskapazität und eine niedrige nutzbare Feldkapazität aufweisen (Abb. 7). Diese Versickerungsraten entsprechen nach MARKS et al. (1992) einer „geringen“ bis „sehr geringen“ Sickerwasserrate.

Die Leipziger Auenbereiche (Elster-Luppe-Pleiße-Aue) sind durch Grundwasserzehrung gekennzeichnet. Hier kann die Vegetation durch die Nachlieferung aus dem Grundwasser mehr Wasser verdunsten als durch die Niederschläge zugeführt wird. Zudem kann in den Auen der Kapillaraufstieg von Grundwasser in die verdunstungsbeeinflusste Bodenzone die Verdun-

stung erhöhen, obgleich die Leipziger Auen in der Sommerperiode häufig unter Austrocknung leiden.

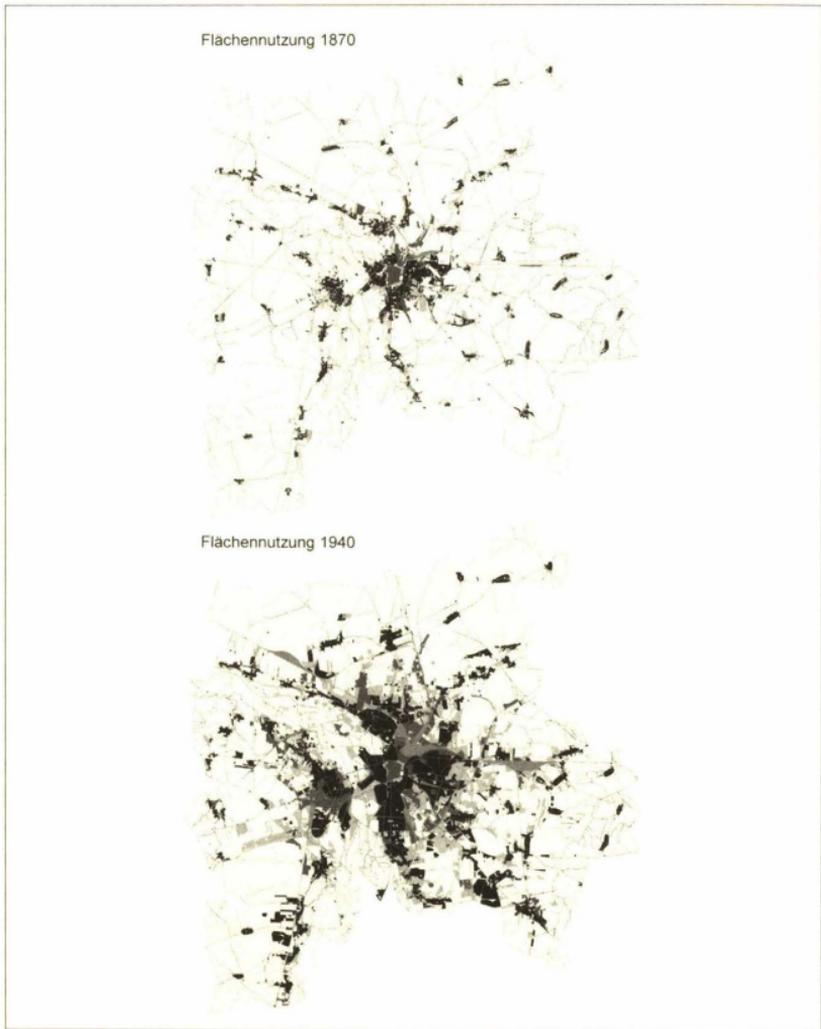


Abb. 4a: Siedlungsflächenentwicklung im Untersuchungsgebiet Leipzig seit 1870

Flachennutzung 1985



Flachennutzung

- Wohnflächen
- Gewerbe- und Sonderflächen
- Verkehrsflächen
- Freizeit- und Erholungsflächen
- Land- und Forstwirtschaft
- Gewässer

Flachennutzung 2003



Datengrundlagen
Aquidistantenkarten, Maßstabsblätter
und topographische Karten im Maßstab 1:25 000
Karten der Reichsbodenschätzung
BK50 (Richter 1964), BUK200
DGM 20 x 20 m

Bewertung nach ZEPP 1992, Magnucki 2003

Bearbeitung: Kristin Magnucki, 2004



Abb. 4b: Siedlungsflächenentwicklung im Untersuchungsgebiet Lünzitz seit 1870

Die landwirtschaftlich genutzten Sandlössgebiete der Stadt weisen überwiegend „hohe“ Abflussregulationsleistungen auf (siehe Abb. 5a und 5b), da die Böden meist hohe nutzbare Feldkapazitäten besitzen und so in der Lage sind große Mengen an Wasser aufzunehmen und zu speichern. Die Lössgebiete und die lehmbestimmten Auen weisen dagegen nur eine mittlere Abflussregulationsleistung auf, da hier aufgrund des höheren Lehmmanteils

die Infiltrationskapazität des Bodens geringer ist. Zudem spielt in den grundwasserbeeinflussten Niederungen auch die häufigere Wassersättigung des Bodens bei der geringeren Bewertung eine Rolle, da der Boden an diesen Standorten weniger Wasser aufnehmen kann. Lediglich die Grünlandflächen in den Flussauen der Weißen Elster, Pleiße, Luppe und Parthe

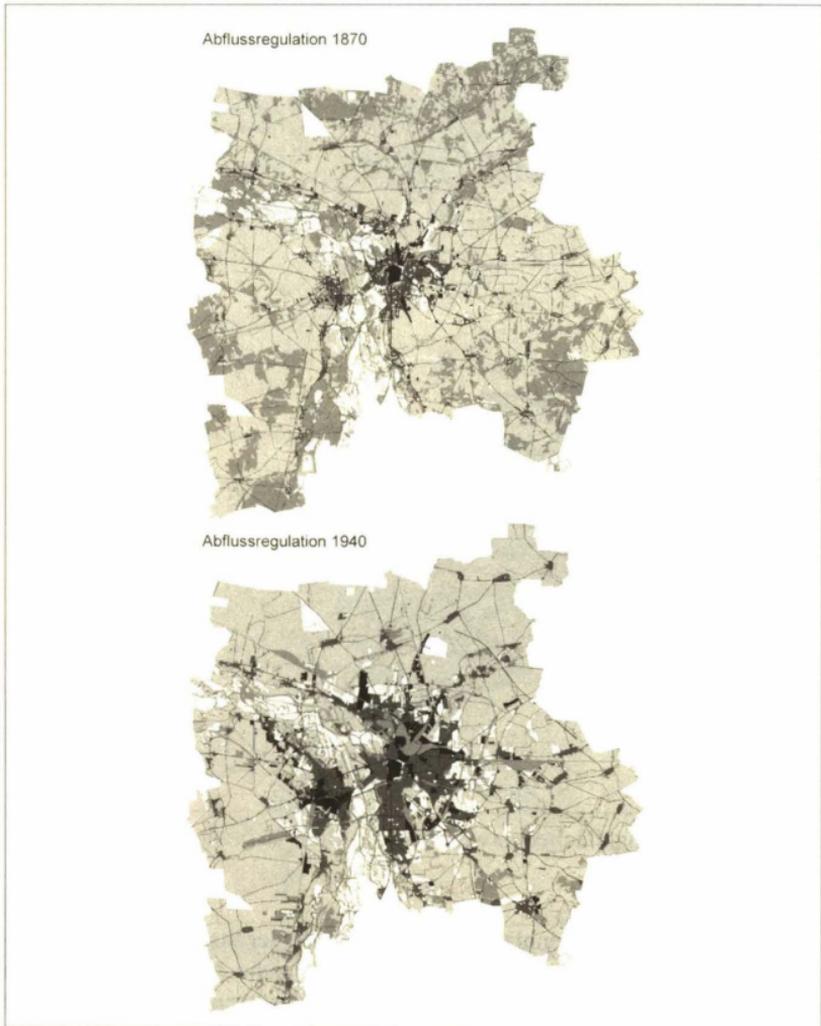


Abb. 5a: Veränderung der Abflussregulationsleistung im Untersuchungsgebiet Leipzig seit 1870 basierend auf der Bewertung nach ZEPP (1992), verändert

besitzen aufgrund der höheren Oberflächenbedeckung eine etwas höhere Abflussregulationsleistung, so dass diese Leistung überwiegend auch „hoch“ eingestuft werden kann. Am besten wird die Abflussregulation auf den durch Wald bedeckten Standorten erfüllt.

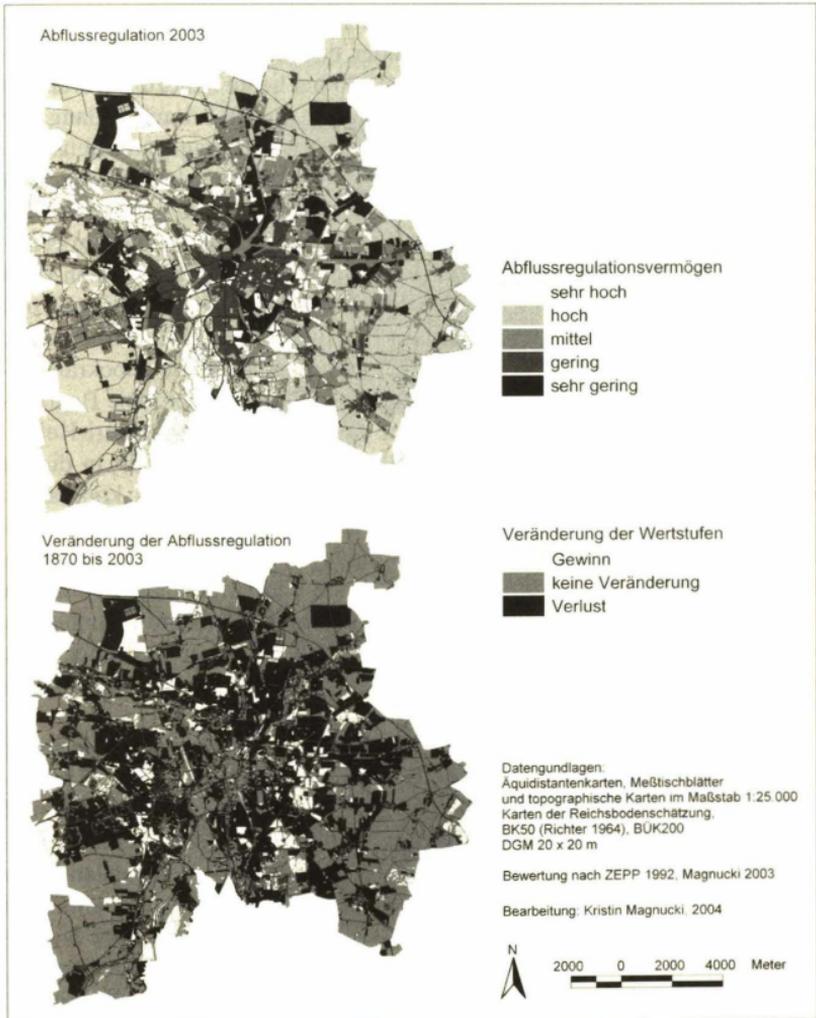


Abb. 5b: Veränderung der Abflussregulationsleistung im Untersuchungsgebiet Leipzig seit 1870 basierend auf der Bewertung nach ZEPP (1992), verändert

Nach der Charakterisierung des Untersuchungsgebietes zum Zeitpunkt 1870 soll nun im Folgenden die Stadtentwicklung bis 2003 bezüglich der Versiegelung und damit verbundener Veränderungen des Wasserhaushaltes diskutiert werden.

3.2 Gründerzeit bis 1945

Durch die industrielle Entwicklung während der Gründerzeit ab 1870 wuchs die Stadt explosionsartig an. Wie jedoch in Abb. 4a und 4b deutlich wird, ist der Waldanteil der Leipziger Auenwälder und übrigen Stadtförsten (insgesamt rund 19 km²) im Zeitraum von 1870 bis heute nahezu unverändert geblieben. Ein Rückgang der Grünlandflächen (um 6,8 km²) entlang der Weißen Elster, Luppe, Pleiße und Parthe nach 1870 ist dagegen offensichtlich. Nach 1870 wurden Acker-, Grünland- und Freiflächen hauptsächlich zu Siedlungs-, Gewerbe- und Verkehrsflächen sowie zu Erholungsflächen umgewidmet (insgesamt etwa 57 km²). Partiiell erfolgte auch eine Umwandlung von Grünland in Ackerflächen. Besonders deutlich wird zwischen 1870 und 1940 die Zerschneidung der Leipziger Auen sowie die Entwicklung des Leipziger Westens (Plagwitz, Lindenau) zum Industrie- und Gewerbeviertel. Der Bau des Elsterbeckens (1912–1922) und die anhaltende Blockrandbebauung lassen die Mittlere Leipziger Aue fast verschwinden. Die Begrädiung und partielle Verrohrung der Parthe sowie die Anlage des Karl-Heine-Kanals (ab 1856) sowie des Elster-Saale-Kanals (ab 1933) fällt in diesen Zeitraum. Um 1940 kann man Leipzig bereits klar in ein kleines, kompaktes Zentrum, einen Altbauring mit überwiegend Gründerzeit-, Jugendstil- und 1920er/1930er-Jahre-Bebauung sowie einen sich daran anschließenden Industrie- und Gewerbebürtel gliedern. Erste Einfamilienhaussiedlungen (7,6 km²) entstehen in der Peripherie der Stadt (an Eisenbahnverbindungen wie z.B. Knauthain, Hartmannsdorf). In den Übergangsbereichen der Stadt zum agrarischen Umland entstanden eine Vielzahl von Kleingartenanlagen (ca. 14 km²).

In diesen Kleingartenanlagen erhöht sich die Abflussregulationsleistung auf „hohe bis sehr hohe“ Werte, da diese Flächen eine stärkere Oberflächenbedeckung aufweisen als die vorherigen Ackerflächen (vgl. Abb. 5a und 5b). Durch die Bewässerung der Flächen erhöht sich auch die Sickerwasserrate auf bis zu 200 mm/a (1870 ca. 100–125 mm/a). Die neu entstandenen Einfamilienhaussiedlungen weisen durch die für das Modell angenommene zusätzliche Bewässerung trotz der Oberflächenversiegelung höhere Sickerwasserraten (um ca. 25–50 mm/a) als die umgebenden Ackerflächen auf.

Die Gründerzeitviertel in Form von überwiegender Blockrandbebauung sind durch eine relativ dichte Baukörperstruktur und einen hohen Versiegelungs- bzw. Kanalisationsgrad gekennzeichnet. Während die Pflanzen durch ihr Blätterwerk ständig transpirieren, verdunstet von den Gebäu-

den und versiegelten Flächen nur das wenige Wasser, das auf den Oberflächen nach dem Regen haften geblieben ist. Je höher der Versiegelungsgrad eines Gebietes also ist, desto weniger Niederschlag verdunstet. Die weniger dicht bebauten Bereiche der Stadt, wie Fingheim, oder Villensiedlungen... weisen Verdunstungshöhen von ca. 300 mm/a auf (Ackerflächen ca. 450-500 mm/a; siehe Abb. 7a und 7b).



Abb. 6a: Veränderung der Sickerwasserrate im Untersuchungsgebiet Leipzig seit 1870 basierend auf der Berechnung mit ABIMO

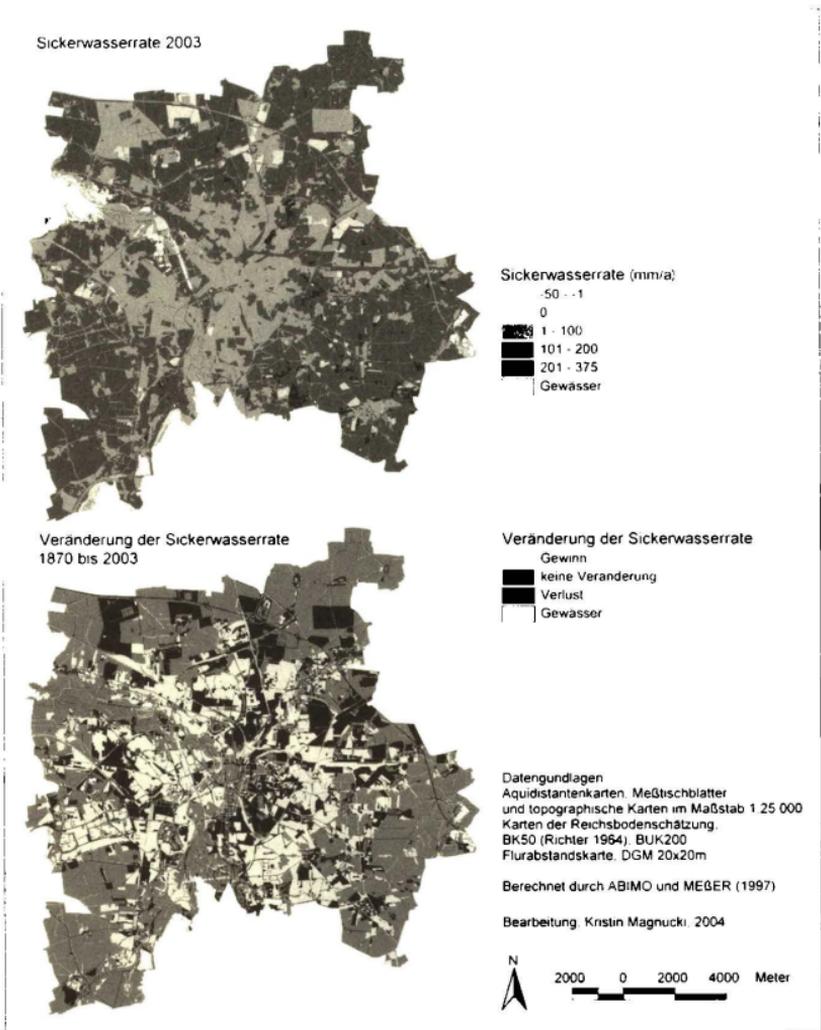
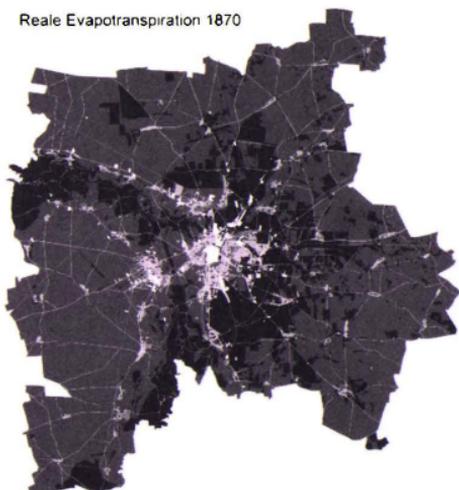


Abb. 6b: Veränderung der Sickerwasserrate im Untersuchungsgebiet Leipzig seit 1870 basierend auf der Berechnung mit ABIMO

In den dicht bebauten Gründerzeitvierteln werden wesentlich geringere Verdunstungshöhen erreicht (um 200 mm/a). Parallel zu der geringeren Verdunstung treten auf den versiegelten Flächen gegenüber den Freiflächen jedoch höhere Oberflächenabflüsse auf (in den Gründerzeitvierteln 300–350 mm/a, siehe Abb. 8a und 8b). Die Sickerwasserrate nimmt in diesen Gebieten entsprechend um ca. 25 mm/a ab. Insgesamt entspricht die

Zunahme des Oberflächenabflusses in etwa der Abnahme der Verdunstung in diesen Gebieten. In den Industriegebieten werden noch höhere Oberflächenabflusssummen (400, 450, mm/a), erreicht. Die Sickerwassermenge beträgt nur noch um die 25 mm/a.

Reale Evapotranspiration 1870



Reale Evapotranspiration 1940

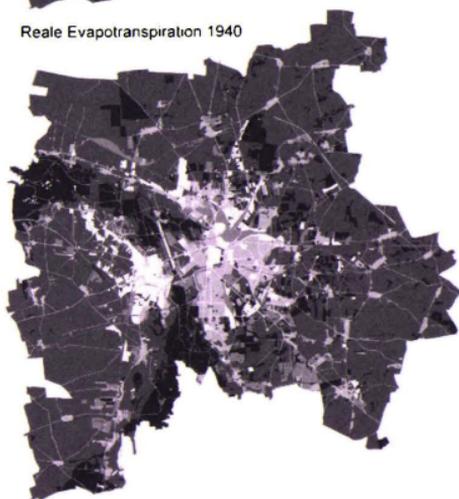
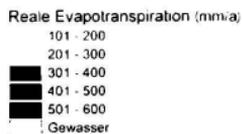
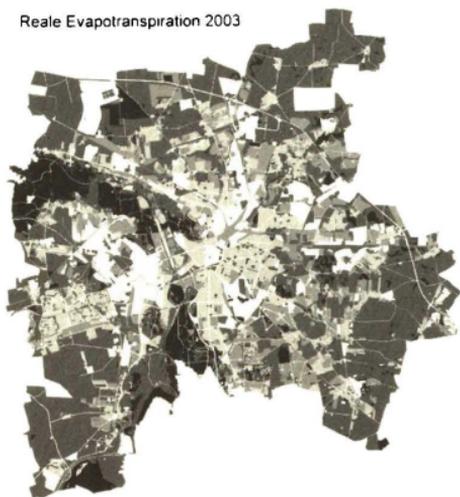
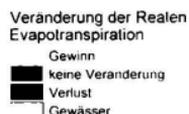
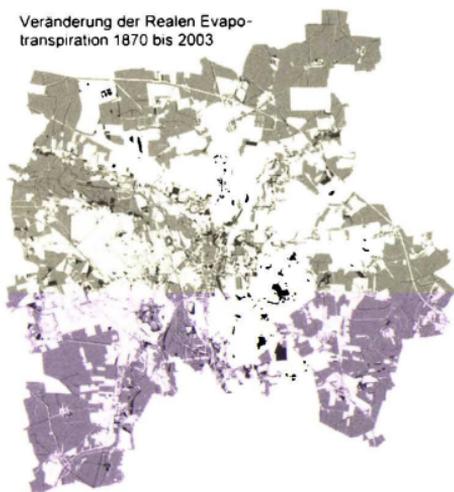


Abb. 7a: Veränderung der realen Evapotranspiration im Untersuchungsgebiet Leipzig seit 1870 basierend auf der Berechnung mit ABIMO

Reale Evapotranspiration 2003



Veränderung der Realen Evapotranspiration 1870 bis 2003



Datengrundlagen
 Aquidistantenkarten Meßtischblätter
 und topographische Karten im Maßstab 1:25 000
 Karten der Reichsbodenschätzung
 BK50 (Richter 1964) BUK200
 Flurabstandskarte

Berechnet durch ABIMO

Bearbeitung: Kristin Magnucki 2004

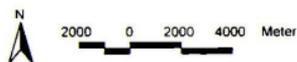


Abb. 7b: Veränderung der realen Evapotranspiration im Untersuchungsgebiet Leipzig seit 1870 basierend auf der Berechnung mit ABIMO

Oberflächenabfluss 1870



Oberflächenabfluss 1940

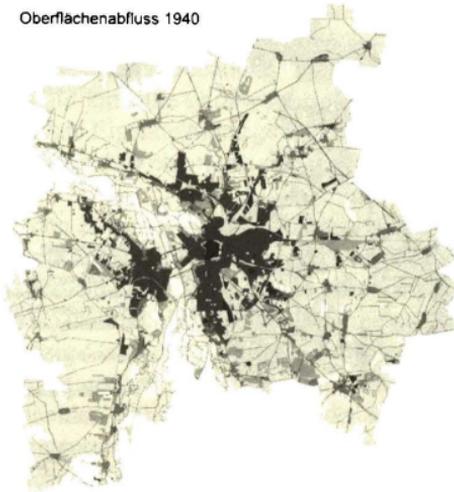


Abb. 8a: Veränderung des Anteils am Oberflächenabfluss im Untersuchungsgebiet Leipzig seit 1870 basierend auf der Berechnung mit ABIMO (GLUGLA und FÜRTIG 1997) sowie einem Verfahren nach MEßER (1997)

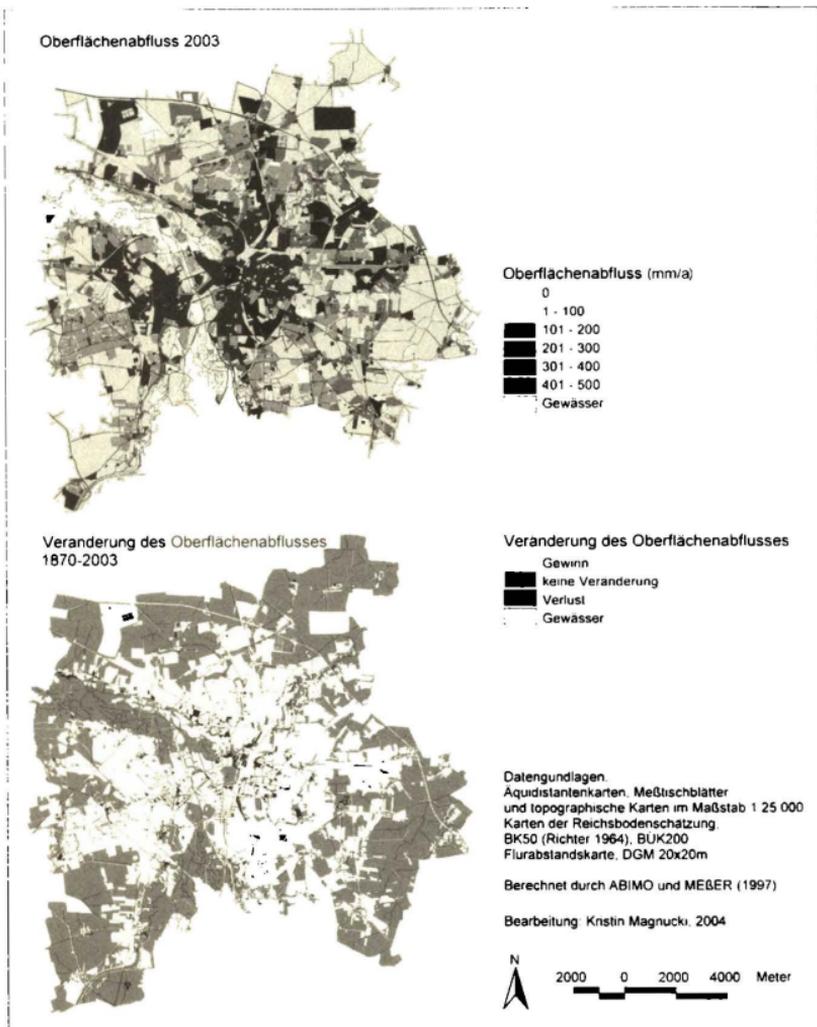


Abb. 8b: Veränderung des Anteils am Oberflächenabfluss im Untersuchungsgebiet Leipzig seit 1870 basierend auf der Berechnung mit ABIMO (GEGGER und FRICKER 1997) sowie einem Verfahren nach MEßER (1997)

3.3 Sozialistische Stadtentwicklung 1945–1990

Nach dem Zweiten Weltkrieg stand die Entwicklung Leipzigs im Zeichen größerer Flächenerweiterungen an den wichtigen Verkehrsachsen. Die Acker- und Grünlandflächen nehmen weiterhin deutlich ab, um insgesamt

39,4 km². Die Stadtentwicklung wurde während der DDR-Zeit durch die Grundeinstellung gekennzeichnet, sich von den Prozessen zu befreien, unter denen sich die Stadtentwicklung in kapitalistischen Gesellschaften vollzog (SAHNER 1996). Die Überbewertung des industriellen Produktionssektors für die Stadtentwicklung hat zwar zu den soziostrukturellen Eigenarten der Städte geführt (hoher Anteil Beschäftigter im sekundären Sektor), nicht jedoch zur massiven räumlichen Erweiterung der Industrie- und Gewerbeflächen. Die Standortverteilung der Industrie wurde weiterhin durch die schon während der Gründerzeit angelegten Industriegebiete bestimmt (LEISTNER und USBECK 1996). Diese Industrieflächen wuchsen entlang der Bahnlinien und Ausfallstraßen Leipzigs bis 1985 um 10,7 km².

Zu Beginn der 1970er Jahre setzte sich die Staatsführung der DDR das ehrgeizige Ziel, die Wohnungsfrage als soziales Problem bis 1990 zu lösen, wobei ursprünglich die Einheit von Neubau, Modernisierung und Werterhaltung der Wohnbausubstanz beschlossen wurde (HUNGER 1994). Die Stadtentwicklung wurde jedoch in zunehmendem Maße durch den randstädtischen industriellen Wohnungsbau bestimmt. So entstanden an der Peripherie der Städte ausgedehnte Wohngebiete mit uniformen Gebäuden und einem hohen Anteil vielgeschossiger Bebauung. Nachdem sich die Ausdehnung der Städte zunächst auf einzelne Großwohnsiedlungen beschränkte, wurde ab 1970 auch der private Eigenheimbau gefördert, da es von staatlicher Seite nicht gelang, ausreichend Wohnraum zur Verfügung zu stellen (OELKE 1997).

In der Karte für den Zeitschnitt von 1985 gegenüber 1940 (Abb. 4a und 4b) wird die Zunahme an Einzel- und Doppelhausbebauung (auf 13,5 km²) am Stadtrand wie auch die Entstehung von Großwohnsiedlungen (insgesamt bis heute auf 5,4 km²) deutlich. Die größte dieser neu entstehen Großwohnsiedlungen ist Leipzig-Grünau. Sie wurde zwischen 1976 und 1988 in industrieller Bauweise errichtet, vor allem um die Bevölkerung aus den immer weiter zerfallenden Gründerzeitvierteln der Stadt Leipzig und den der Braunkohlenförderung zum Opfer gefallen Orten Eythra, Bösdorf und Magdeborn aufzunehmen (BREUSTE 1996). Kleinere Wohnsiedlungen in industrieller Bauweise wurden in den 1970er Jahren im Norden des Stadtgebietes beispielsweise in Mockau und südlich von Thekla errichtet. Im Osten des Untersuchungsgebietes entstanden die Siedlungen Schönefeld, Paunsdorf und Heiterblick. Die reale Evapotranspiration nimmt in diesen Gebieten um etwa 175 mm/a ab, der Oberflächenabfluss um 150 mm/a zu. Die berechnete Sickerwasserrate beträgt in diesen Gebieten etwa 125–150 mm/a, was eine Zunahme gegenüber der früheren Ackerfläche um ca. 25 mm/a bedeutet (Abb. 6a und 6b).

3.4 Nachwendeentwicklung bis 2003 – intensive Bautätigkeit und Suburbanisierung

Bis 2003 nimmt die Bautätigkeit in Leipzig nochmals zu, jetzt entstehen in erster Linie weitere Einfamilien- und Reihenhäuser (6,5 km²) und sogenannte Wohnparks (1,4 km²) an der Peripherie der Stadt (Abb. 4a und 4b). Dieser Prozess ist eng verknüpft mit der Entstehung von Wohneigentum nach der Wende. Die Wohnsuburbanisierung erreichte 1996 ihren Höhepunkt (NUISSL und RINK 2003). Auch in der inneren Stadt kommt es zu Lückenbebauungen. Der Anteil an Acker- und Freiflächen dagegen schrumpft weiter (um 26,3 km²). Die Industrie- und Gewerbefläche nimmt bis 2003 um insgesamt 10 km² zu (Abb. 9). Besonders die Gewerbesuburbanisierung im Norden der Stadt durch Unternehmen wie Porsche (2001) und BMW (2002) bindet erhebliche Freiflächen. Zudem steht aktuell aufgrund rückläufiger Bevölkerungszahlen erheblich mehr Fläche pro Einwohner zur Verfügung als noch vor 50 Jahren (HAASE 2004).

Aktuell sind im Stadtgebiet nur noch wenige Flächen für eine Bebauung vorgesehen, sei es als gewerbliche Fläche oder für eine Wohnbebauung. Viele der neu gebauten Wohnungen im Umland stehen leer, insbesondere in den bei der Bevölkerung weniger beliebten Wohnparks. Für die Zukunft ist also vorläufig keine großräumige Ausdehnung der Bebauung innerhalb der administrativen Stadtfläche mehr zu erwarten (NUISSL und RINK 2003). Vergleichbar wird dieses Phänomen für die Leipziger Umlandgemeinden eingeschätzt.

Betreffs des Einflusses der jüngsten Flächennutzungsentwicklung der Stadt auf die diskutierten Wasserhaushaltskomponenten Evapotranspiration, Sickerwasserrate und Oberflächenabfluss sowie die Abflussregulationsfunktion kann folgendes gesagt werden: Ein deutlicher Verlust an oberflächlicher Evapotranspiration ($\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ der Gesamtevapotranspiration, Verlust von 200–300 mm/a) auf den neu entstandenen Gewerbeflächen als auch den Siedlungserweiterungen mit Wohnfunktion ist zu verzeichnen (Abb. 7a und 7b). Besonders betroffen ist der Nordbereich der Stadt. Ebenso sind Verluste von >50mm bis 150mm der Sickerwasserrate und daraus folgend potenziellen Sickerwasserrate in den gleichen Gebieten errechnet worden (Abb. 6a und 6b). Durch Natur- und Landschaftsschutz konnten aber seit 1870 bis heute die Flussauen als größtenteils unversiegelt erhalten werden und damit auch ein wichtiger Raum für hohe Verdunstungsraten und vergleichsweise hoher Abflussregulationsfähigkeit (Abb. 5a und 5b). Aufgrund des Abtrages von natürlichen Geschiebelehm (autochton) und der Schüttung eines porösen Sanduntergrundes (allochton) können auf den Neubauflächen der Großwohnsiedlungen aus DDR-Zeit als auch auf nach 1990 bebauten Siedlungsflächen erhöhte Sickerwasserraten auftreten, die jedoch im Modell so nicht

abgebildet werden konnten, da keine Bodendaten zu den Auffüllungen existieren.

Die Siedlungsflächenentwicklung und -erweiterung seit 1870 hat erheblich zur Differenzierung der Wasserhaushaltsparameter im Stadtgebiet von Leipzig beigetragen und „verschleiert“ zunehmend den West-Ost-Gradienten des Klimas in Bezug auf den Wasserhaushalt.

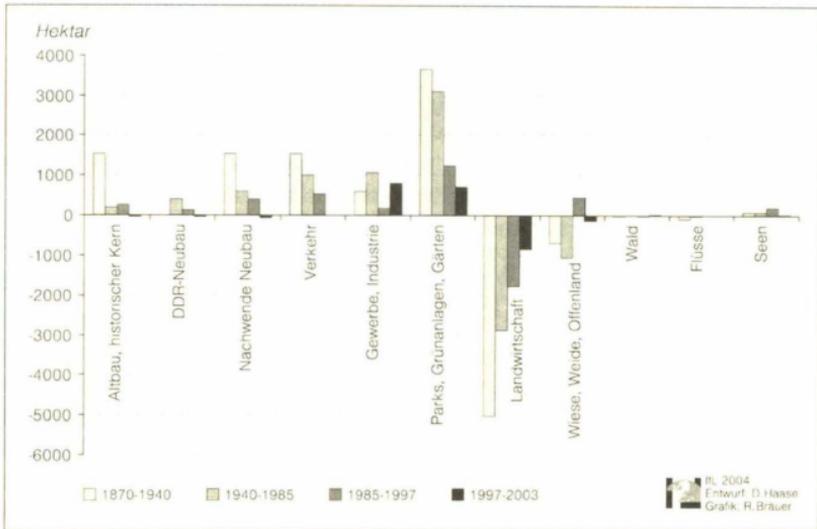


Abb. 9: Flächenveränderung der Hauptnutzungsclassen (in Hektar) in vier Zeitschnitten seit 1870

Insgesamt kam es zu einer Verschiebung des Wasserhaushaltes zugunsten des Oberflächenabflusses. Während der Oberflächenabfluss im Jahr 1870 einen Anteil von 8,1% am Wasserhaushalt des Untersuchungsgebietes ausmacht, sind es im Jahr 2003 schon 21,3% (Tab. 9). Diese starke Zunahme ist auch im Verlust der Abflussregulation zu erkennen (Abb. 5a und 5b).

Die reale Evapotranspiration nimmt aufgrund des zunehmenden Versiegelungsgrades stark ab. Der Anteil der Sickerwassermenge verändert sich dagegen nicht sehr stark und hat im Jahr 2003 den gleichen Anteil am Gesamtwasserhaushalt wie im Jahr 1870.

Bezogen auf das Jahr 1870 erhöht sich der Oberflächenabfluss in Leipzig bis zum Jahr 2003 um 162,5%. Die reale Evapotranspiration beträgt nur noch 83,1% der für das Jahr 1870 ermittelten Verdunstung, die Sickerwassermenge jedoch noch 99,8% (Tab. 10).

Jahr	Verdunstung		Versickerung		Oberflächenabfluss	
	Mio. m ³ /a	%	Mio. m ³ /a	%	Mio. m ³ /a	%
1870	137,6	74,8	31,3	16,9	15,0	8,1
1940	127,8	69,5	32,5	17,6	24,4	13,2
2003	114,3	62,2	31,2	16,9	39,4	21,3

Tab. 9: Langjährige Mittelwerte der Abflussbildung im Gebiet Leipzig

Jahr	Verdunstung (%)	Versickerung (%)	Oberflächenabfluss (%)
1870	100,0	100,0	100,0
1940	92,9	103,8	162,6
2003	83,1	99,8	262,5

Tab. 10: Veränderung der Wasserhaushaltsgrößen für den urbanen Raum Leipzig seit 1870 (1870=100%)

4 Fazit

Im Ergebnis der Untersuchungen zum Wasserhaushalt in Leipzig seit 1870 kann folgendes festgehalten werden: wichtige Wasserhaushaltsfunktionen werden aufgrund zunehmender Versiegelung in zunehmend geringerem ausreichendem Maße erfüllt, in einigen Stadtbereichen haben die Oberflächen bzw. Böden keine regulierende Funktion auf den urbanen Landschaftshaushalt mehr.

Klar ist aber ebenso, dass ein urbaner Raum nicht primär zum Erhalt von Bodenfunktionen bzw. der Realisierung wasserhaushaltlicher Funktionen dient, sondern als Aktionsraum des Menschen (HAASE 2001).

Trotz alledem scheint es unter dem Trend einer anhaltenden Bodenversiegelung in Deutschland geboten, Maßnahmen zur Erhaltung der natürlichen Wasserhaushaltsfunktionen sowie im Interesse des Bodenschutzes auch im urbanen Raum zu forcieren. Dies trägt auch der Tatsache Rechnung, dass in Deutschland immer mehr Menschen im urbanen Raum leben werden. Folgende Überlegungen sollten daher in die zukünftige Flächennutzungsplanung bzw. -politik Eingang finden: Eine Verbesserung der Abflussregulationsfähigkeit kann im Falle von Starkniederschlägen (GERSTENGARBE et al. 2003) erreicht werden durch:

- gezielte Entsiegelung überbauter Flächen bei Abriss,
- eine in die Flächenhaushaltspolitik der Stadt integrierte Limitierung der Neuversiegelung im Innen- und Außenbereich,
- die Verwendung durchlässiger Baumaterialien,

- Möglichkeiten der Regenwasserversickerung statt -ableitung in Baugebieten (Neubau und Rekonstruktion, gegebenenfalls Regenwassersammelbecken in den Gründerzeitgebieten) sowie
- gezielte Erhöhung des Waldanteils an den Frei- bzw. Grünflächen.

Insbesondere die Niederschlagsversickerung besitzt den Vorteil der Zwischenspeicherung von Hochwasserabflüssen und gleichzeitig eine Reduzierung von Spitzenwasserabflüssen sowie, v.a. mit dem Blick auf das menschliche Wohlbefinden eine Erhöhung der Verdunstungsraten im urbanen Raum und damit positive Auswirkungen auf das Stadtklima. Jedoch sollten die Einflüsse der Regenwasserversickerung detailliert untersucht werden, um negative Folgen wie die Gefährdung der Grundwasserqualität und Gebäudeschäden zu verhindern (COLDEWEY et al. 2001).

Es ist weiterhin festzuhalten, dass anhand der durchgeführten Bewertungen die Veränderungen im Wasserhaushalt durch die Versiegelung seit 1870 erfasst werden konnten. Bei einer gegebenen Prognose möglicher Siedlungsentwicklung in die Zukunft wird es somit möglich sein, Aussagen zu treffen, wie zukünftige Versiegelungen den Wasserhaushalt beeinträchtigen werden. Zu beachten ist, dass die Ergebnisse entscheidend von den Eingangsdaten abhängig sind. Im Einzelfall sind diese sicherlich zu überprüfen, um genauere Ergebnisse zu erhalten.

5 Ausblick: Die schrumpfende Stadt – eine Chance für partielle Entsiegelung im urbanen Raum von morgen?

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit den Auswirkungen von Siedlungswachstum und Suburbanisierung am Beispiel von Leipzig seit 1870 und bezieht sich auf das Phänomen einer wachsenden Stadt. Diese Entwicklung des Stadtwachstums wird sich aufgrund des negativen Bevölkerungswachstums und einer schwierigen ökonomischen Situation (v.a. steigende Arbeitslosigkeit) nicht fortsetzen, auch wenn Prognosen zum gesamtdeutschen Siedlungswachstum es vermuten lassen. Auch bei extrem hohen Zuwanderungsraten wird es nicht möglich sein, die Bevölkerungszahl in der Region Leipzig auf dem heutigen Niveau zu stabilisieren (STADT LEIPZIG 2004).

Daraus folgt u.a. auch, dass zwei für den Bodenschutz und damit mögliche verbundene Entsiegelungsmaßnahmen durchaus wichtige Szenarien bzw. Raummodelle für die weitere Entwicklung Leipzigs zur Disposition stehen könnten:

1. Bei einer anhaltend sinkenden Bevölkerung ist damit zu rechnen, dass sich der aktuelle Wohnungsleerstand von 55.000 leeren Wohnungen im inneren Bereich der Stadt (Blockrand- und Zeilenbebauung v.a. auch aus der Gründerzeit) sowie in den DDR-Neubaugebieten nicht in nächster

Zeit reduzieren lässt und es damit zu flächigem Abriss in diesen Gebieten kommen wird (STADT LEIPZIG 2004). Eine der für Natur- und Umweltfragen positiven Konsequenzen einer perforierten Stadt ist das Entstehen bzw. die Möglichkeit zur Entwicklung innerstädtischer unversiegelter Freiflächen, welche u.a. auch zur Regenwasserversickerung in-situ genutzt werden könnten.

2. Zum anderen kann man aber auch das Leitbild der „kompakten Stadt“ zu Grunde legen und versuchen, den Abriss dafür zu nutzen, dass noch bestehende suburbane Potenzial (neue Eigenheime und Wohnparks am Rande der Stadt; Schätzung von ca. 30.000, STADT LEIPZIG 2004) in Form von „Stadvillen“ (mdl. Mitteilung M. DOEHLER-BEHZADI 2004) in die Stadt zurückzuholen und somit freie Flächen am Rande der Stadt entstehen könnten. Diese stünden dann in einem integrativen Landschaftsschutzkonzept partiell auch dem Bodenschutz bzw. der Erfüllung wasserhaushaltlicher Funktionen zur Verfügung.

Weitere methodische Arbeiten zur Bilanzierung von Landschaftsfunktionen sowie der Eingang von Themen zur Stadtlandschaft in Diskussionen/Planungen in Richtung einer nachhaltigen Stadtentwicklung unter Stagnations- und Schrumpfbedingungen stellen ein wichtiges zukünftiges Forschungsfeld für Landschaftsökologen und verwandte Disziplinen dar.

Literatur

- AG BODEN 1994: Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Auflage. Hannover.
- BASTIAN, O. und K. F. SCHREIBER (Hrsg.) 1999: Analyse und ökologische Bewertung der Landschaft. Heidelberg, Berlin.
- BIRLEKAMP, L. R. und N. PRANZAS 1992: Erfassung und Bewertung von Bodenversiegelungen unter hydrologisch-stadtplanerischen Aspekten am Beispiel eines Teilraumes von Hamburg. Dissertation. Hamburg.
- BGR Hannover = Bundesanstalt für Geologie und Rohstoffe (Hrsg.): Bodenübersichtskarte BR Deutschland 1:200.000. Hannover.
- BREUSTE, J. 1994: Flächennutzung als stadtökologische Steuergröße und Indikator. In: Geobotanisches Kolloquium, 11, S. 67–81.
- BREUSTE, J. 1995: Merkmale stadtökologischer Transformation: die Großstadt Leipzig. In: RITTER, E.-H. (Hrsg.): Stadtökologie. Berlin.
- BREUSTE, J. 1996: Stadtökologie und Stadtentwicklung: Das Beispiel Leipzig. Berlin.
- BUNDESAMT FÜR STATISTIK 2001: Arealstatistik Schweiz. Bodennutzung im Wandel. Neuchâtel.
- COLDEWAY, W. G., FACI, S., GEIGER, W. F., GÖBEL, P., STUBBE, H., WEINERT, M. und J. ZIMMERMANN 2001: Pilotstudie zum Einfluss der Versickerung auf den Wasserhaushalt eines Stadtteils, Phase II, Abschlussbericht.
- DOSCH, F. 2004: am 10.06.2004 unter folgender Internetadresse eingesehen:
<http://www.bbr.bund.de/index.html?raumordnung/siedlung/international.htm>

- DOSCH, F. und G. BECKMANN 1999a: Trends und Szenarien der Siedlungsflächenentwicklung bis 2010. In: Informationen zur Raumentwicklung, H. 11/12, S. 827–842.
- DOSCH, F. und G. BECKMANN 1999b: Siedlungsflächenentwicklung in Deutschland – auf Zuwachs programmiert. In: Informationen zur Raumentwicklung, H. 8, S. 493–508.
- DÖRHÖFER, G. und V. JOSOPAIT 1980: Eine Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Sickerwasserratesrate. In: Geologisches Jahrbuch C27, S. 45–65.
- DVWK (Hrsg.) 1996: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Merkblätter zur Wasserwirtschaft 238/1996. Bonn.
- DYCK, S. 1978: Angewandte Hydrologie, Teil 2: Der Wasserhaushalt der Flußgebiete. Berlin.
- Finanzamt Leipzig – Finanzamt Leipzig (Hrsg.): Reichsbodenschätzung, Bereich Leipzig.
- FÖRSTER, A. 2004: Rekonstruktion des potentiell natürlichen Bodenmosaiks als Beitrag des Bodenschutzes bei Planungsprozessen am Beispiel der Stadt Leipzig. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Geographie der Technische, Universität Dresden.
- GERSTENGARBE, F.W., BADECK, F., HATTERMANN, F., KRYSANOVA, V., LAHMER, W., LASCH, P., STOCK, M., SÜCKOW, F., WECHSUNG, F., WERNER, C. 2003: Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. PIK-Report No. 83, Potsdam.
- GLUGLA, G. und G. FÜRTIG 1997: Dokumentation zur Anwendung des Rechenprogramms ABIMO. Bundesanstalt für Gewässerkunde. Berlin.
- HAASE, D. und K. MAGNUCKI 2004: Die Flächennutzungs- und Stadtentwicklung Leipzigs 1870 bis 2003. Statistischer Quartalsbericht 1/2004, Stadt Leipzig, Amt für Statistik und Wahlen, S. 29–31.
- HAASE, D. 2004: Landnutzungswandel in und um Leipzig – intensiv, extensiv, nachhaltig? Vortrag: Kolloquium zum 65. Geburtstag von P. Fritz 18.03.2004. Leipzig.
- HAASE, D. 2003: Holocene floodplains and their distribution in urban areas – functionality indicators for their retention potentials. In: Landsc. Urban Plan 66, S. 5–18.
- HAASE, D. und G. SCHMIDT 2004: Wirkung von Bodenversiegelung im urbanen und sub-urbanen Raum auf Hemerobiegrad und Heterogenität von Böden. Vortrag: AK Boden-geographie Kiel, Jahrestagung.
- HAASE, D. 2001: Freiraum, Freiflächen und Natur in der Stadt des 21. Jahrhunderts – Notwendigkeit oder Luxus? In: Berichte zur deutschen Landeskunde 75, S. 271–282.
- HALL, J.P. und U. PFEIFFER 2000: Urban Future 21. A Global Agenda for 21st-Century Cities. London.
- HEBER, B. und I. LEHMANN 1996: Beschreibung und Bewertung der Bodenversiegelung in Städten. Dresden (= IÖR-Schrift, 15).
- HUNGER, B. 1994: Die Bedeutung großer Neubaugebiete in der Wohnungs- und Städtebaupolitik der DDR – historischer Rückblick. In: Informationen zur Raumentwicklung, H. 9, S. 595–609.
- LEISTNER, F. und H. USBECK 1996: Stadtentwicklung in Ostdeutschland – die Beispiele Dresden und Leipzig. In: BRAKE, K. (Hrsg.): Methoden zur Analyse und Bewertung von Flächennutzungs- und Standortmustern: nachhaltige Entwicklung von Großstadregionen. Oldenburg, S. 23–31.
- LfUG Sachsen = Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie 1977 (Hrsg.): Geologische Karte, Teilkarte Hydrologie.
- MAGNUCKI, K. 2003: Zum Verlust von Bodenfunktionen durch Siedlungserweiterungen und Oberflächenversiegelung in den Stadtgebieten von Halle und Leipzig. Diplomarbeit, Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geographie.
- MAGNUCKI, K., HAASE, D. und M. FRÜHAUF 2004: Zum Verlust von Bodenfunktionen durch Siedlungserweiterungen und Oberflächenversiegelung in den Stadtgebieten von Halle und

- Leipzig. In: UFZ-Bericht (im Druck).
- MARKS, R., MÜLLER, M. J., LESER, H. und H. J. KLINK (Hrsg.) 1992: Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL). Trier. (= Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 229).
- MEßER, J. 1997: Auswirkungen der Urbanisierung auf die Sickerwasserrate im Ruhrgebiet unter besonderer Berücksichtigung der Castroper Hochfläche und des Stadtgebietes Herne. Bochum. (= DMT-Berichte aus Forschung und Entwicklung, Bd. 58).
- MOIS, B. und H. G. MEINERS 1994: Kriterien des Bodenschutzes bei der Ver- und Entsigelung von Böden. Untersuchungsprogramm Bodenver-/entsiegelung. Forschungsbericht 10703007/16. AHU Büro für Hydrologie und Umwelt GmbH. Aachen. UBA-Texte 50/94.
- MÜNCHOW, B. 1999: Bodenbeanspruchung durch Versiegelungsmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der Wasserdurchlässigkeit und der bodenbiologischen Aktivität. Leipzig. (= UFZ-Bericht Nr. 4/1999).
- MYSIAK, J., D. HAASE, U. HIRT, D. PETRY, M. ROSENBERG 2004: Uncertainty in Spatial Data Transformation for the Implementation of the Water Framework Directive. Proceedings, 10th EC-GI und GIS Workshop: ESDI: The State of the Art. 2004, Warsaw, Poland.
- NUSSLI, H. und D. RINK 2003: Urban sprawl and post-socialist transformation. The case of Leipzig. (= UFZ-Bericht Nr. 4/2003).
- OELKE, E. (Hrsg.) 1997: Sachsen-Anhalt. Perthes-Länderprofile. Gotha.
- PETRY, D. 2001: Landschaftsfunktionen und planerische Umweltvorsorge auf regionaler Ebene. Leipzig. (= UFZ-Bericht 10/2001).
- RICHTER, H. 1995: Das Leipziger Land. In: MANNFELD, K. und H. RICHTER (Hrsg.): Naturräume in Sachsen. Trier, S. 80–86. (= Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Bd. 238).
- RICHTER, H. 1964: Die Böden des Leipziger Landes. Leipzig. (= Wissenschaftliche Veröffentlichungen des Instituts für Länderkunde, Bd. 21/22).
- SAHNKE, H. 1996: Städte im Umbruch. In: BERTRAM, H., NICKEL, H.M., NIEDERMEYER, O. und G. TROMMSDORFF (Hrsg.): Städte und Regionen – Räumliche Folgen des Transformationsprozesses. Opladen, S. 13–27.
- SCHROEDER, M und D WYRWICH 1990: Eine in Nordrhein-Westfalen angewendete Methode zur flächendifferenzierten Ermittlung der Sickerwasserrate. In: Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, 34, H. 1/2, S. 12–16.
- STADT LEIPZIG 2004: Forschungsbericht im Rahmen des Ideenwettbewerbs Stadt 2030. Leipzig.
- STADT LEIPZIG 2001: Konzeption für die Entwicklung der Ortsteile Knautkleeberg, Knauthain, Hartmannsdorf, Knautnaudorf und Rehbach bis 2010. Leipzig. (= Beiträge zur Stadtentwicklung, 32).
- STADT LEIPZIG 2003: Stadtentwicklungsplan Gewerbliche Bauflächen. Arbeitsstand 01/03, unveröffentlicht.
- STADT LEIPZIG 2000: Stadtentwicklungsplan Wohnungsbau und Stadterneuerung. Leipzig. (= Beiträge zur Stadtentwicklung, 30).
- STADT LEIPZIG 2002: STEP Wohnungsbau und Stadterneuerung. Raumpässe. Arbeitsstand 11/02, unveröffentlicht.
- STATISTISCHES BUNDESAMT 2002: Statistisches Jahrbuch 2002. Stuttgart.
- STEINHARDT, U. und M. VOLK 2002: The investigation of water and matter balance on the meso-landscape scale: A hierarchical approach for landscape research. In: Landscape Ecology 1, S. 1–12.
- Umweltbundesamt 2004: am 10.06.2004 unter folgender Internetadresse eingesehen: <http://www.umweltbundesamt.at/umwelt/raumordnung/flaechennutzung/>

- WENDLING, U. 2001: Das Klima der Stadt Halle (Saale) nach Wetterbeobachtungen 1901 bis 2000. Klimastatusbericht 2001. Halle.
- WESSOLEK, G. 1988: Auswirkungen der Bodenversiegelung auf Boden und Wasser. In: Informationen zur Raumentwicklung, H. 8/9, S. 535–541.
- ZEPP, H. 1992: Abflussregulationsfunktion. In: MARKS, R. et al. (Hrsg.): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushaltes (BA LVL). Trier, S. 86–90. (= Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 229.).
- ZIERDT, M. und S. DIPPMANN 1994: Aktives Flechtenmonitoring in Halle/S. und Leipzig. In: Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, H. 13, S. 39–45.