

02.13 Oberflächenabfluss, Versickerung, Gesamtabfluss und Verdunstung aus Niederschlägen (Ausgabe 2007)

Problemstellung

Eine möglichst genaue Kenntnis des Oberflächenabflusses und der Versickerung bzw. der Grundwasserneubildung ist Voraussetzung für eine wasserwirtschaftliche Planung und Bewirtschaftung der Wasserressourcen, die sich an den Grundsätzen der Nachhaltigkeit orientiert. Gerade im Berliner Raum, der im Vergleich zu anderen Ballungsräumen über nur begrenzte Wasserressourcen verfügt, die in einem deutlichen Missverhältnis zur Zahl der Einwohner und ihrem Trink- und Brauchwasserbedarf und dem damit verbundenen Abwasseranfall stehen, ist die Bilanzierung der Komponenten des Wasserhaushaltes von besonderer Bedeutung.

Darüber hinaus ist es

- für den Gewässerschutz wichtig, die anfallende Menge Oberflächenwasser abschätzen zu können, die in die Gewässer eingeleitet wird, da mit dem Niederschlagswasser erhebliche Schadstofffrachten in die Gewässer gelangen,
- für den Grundwasserschutz wichtig, über Kenntnisse zur Versickerungsfähigkeit der Böden zu verfügen, da der Stofftransport aus kontaminierten Böden zum großen Teil über das Sickerwasser erfolgt,
- für Naturschutz und Landschaftspflege wichtig, die Wasserverfügbarkeit für die Vegetation aus Grundwasserneubildung und kapillarem Wasseraufstieg aus dem Grundwasser abzuschätzen.

Das durch Niederschläge einem Gebiet zugeführte Wasser wird in Abhängigkeit von klimatologischen Bedingungen und anderen Gebietseigenschaften mit unterschiedlichen Anteilen in die Wasserhaushaltsgrößen Verdunstung, oberirdischer Abfluss (Oberflächenabfluss), unterirdischer Abfluss (Versickerung bzw. Grundwasserneubildung) und Wasservorratsänderung aufgeteilt. Der zunächst zu ermittelnde Parameter ist der Gesamtabfluss als Summe des ober- und unterirdischen Abflusses.

Nach der allgemeinen Wasserhaushaltsgleichung entspricht der Gesamtabfluss der Differenz aus Niederschlag minus realer Verdunstung. Die Verdunstung ist bei dieser Berechnung die entscheidende Größe, die unter natürlichen Verhältnissen hauptsächlich durch die Vegetation, die klimatischen Bedingungen und die Bodenverhältnisse bestimmt wird.

In einem Stadtgebiet ist die reale Verdunstung gegenüber dem Umland jedoch stark modifiziert. Durch Bebauung und Versiegelung ist die Verdunstung in der Stadt deutlich geringer als auf den mit Vegetation bestandenen Flächen. Während die Pflanzen durch ihr Blätterwerk ständig transpirieren, verdunstet von Bauwerken und versiegelten Flächen nur das wenige Wasser, das auf den Oberflächen nach dem Regen haften geblieben ist. Der Gesamtabfluss ist also in urbanen Gebieten deutlich höher als in vegetationsreichen Gebieten.

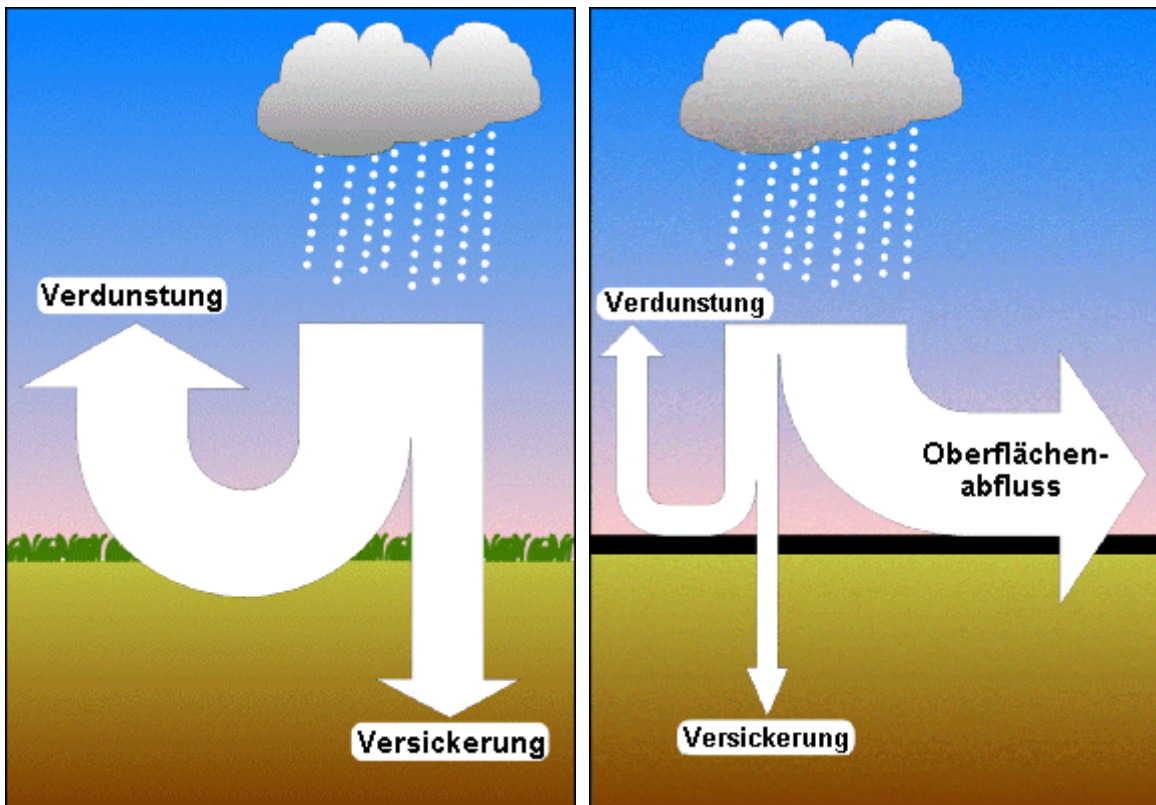


Abb. 1: Wasserhaushalt von Vegetationsflächen und versiegelten Flächen

Der Gesamtabfluss charakterisiert am besten die hydrologischen Bedingungen von Teilflächen und Einzugsgebieten. Für geschlossene Einzugsgebiete entspricht die Summe des gebildeten Abflusses aller Teilflächen dem gesamten ober- und unterirdischen Abfluss des Gebietes, dem **Wasserdargebot**.

In städtischen Gebieten mit **versiegelten Flächen** fließt abhängig vom Anschlussgrad dieser Flächen an die Kanalisation ein Teil des Gesamtabflusses den Wasserläufen direkt über die entsprechenden Einleitungsstellen oder indirekt über die Klärwerke zu. Der verbleibende Teil der Abflussbildung versickert am Rande der versiegelten oder innerhalb der teilversiegelten Flächen in tiefere Schichten unterhalb der verdunstungsbeeinflussten Zone und speist das Grundwasser. Für diese Flächen kann somit bei Kenntnis des Ausbauszustands der Regenwasserkanalisation die Versickerung bzw. die Grundwasserneubildung aus der Abflussbildung durch Abzug der Regenwasserableitung ermittelt werden.

Die auf diese Weise ermittelten Werte der Versickerung und des Oberflächenabflusses sind in erster Linie für wasserwirtschaftliche Fragestellungen von Bedeutung und sind wichtige Kenngrößen für den Wasserhaushalt urbaner Gebiete.

Im Rahmen der Bewertung der Leistungsfähigkeit von Böden für den vorsorgenden Bodenschutz oder für die Eingriffsbewertung nach dem Naturschutzgesetz ist jedoch die Ermittlung der Versickerung auf unversiegelten Böden von besonderem Interesse. Aus diesem Kennwert kann einerseits die unterschiedliche Leistungsfähigkeit der Böden für die Versickerung abgeleitet werden. Andererseits kann im Rahmen von Planungen abgeschätzt werden, welchen Einfluss eine geplante zukünftige Versiegelung auf die Versickerungsleistung eines Plangebietes haben würde. Diese Aussagen können mit den Werten der Karte 02.13.2 nicht getroffen werden, da hier für die jeweiligen Bezugsflächen Mittelwerte aus versiegelten und unversiegelten sowie aus kanalisierten und nicht kanalisierten Flächenanteilen dargestellt sind.

Aus diesen Gründen ist zusätzlich zur Karte 02.13.2 die Ermittlung und Darstellung der Versickerung unversiegelter Flächen (Karte **02.13.4**) vorgenommen worden. Dargestellt wird die **Versickerung von Niederschlägen auf unversiegelten Böden**. Die dargestellten Werte beziehen sich nur auf den unversiegelten Teil der Blöcke bzw. Teilflächen.

Datengrundlage

Die Datengrundlagen zur Berechnung der Abflussgrößen wurden aus dem Berliner Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) für die ca. 25 000 Einzelflächen des räumlichen Bezugssystems des ISU zur Verfügung gestellt.

Die Daten der **Flächennutzung** beruhen auf der Auswertung von Luftbildern, bezirklichen Flächennutzungskarten und weiteren Unterlagen für den Umweltatlas (vgl. Karte 06.01, SenStadt 2004c und Karte 06.02, SenStadt 2004d). Es werden etwa 30 Nutzungsarten unterschieden. Bis auf einzelne Nachträge geben sie den Nutzungsstand von Ende 2001 wieder.

Die langjährigen Mittelwerte des **Niederschlags** der Jahresreihe 1961 bis 1990 und zwar die Jahresmittel und die Mittel für das Sommerhalbjahr (Mai-Oktober) wurden aus den Messwerten von 97 Messstationen der FU Berlin und des Deutschen Wetterdienstes berechnet (vgl. Karte 04.08, SenStadtUm 1994). Die Daten aus diesem Modell wurden für die Mittelpunktskordinaten der Blockteiflächen berechnet.

Für die **potentielle Verdunstung** wurden langjährige Mittelwerte der um 10 % erhöhten TURC-Verdunstung verwendet, die aus Beobachtungen an Klimastationen im Berliner Raum berechnet wurden. Dabei wurden für das Stadtgebiet bezirksweise Werte zwischen 610 und 630 mm/a und zwischen 495 und 505 mm für das Sommerhalbjahr zugeordnet.

Der **Versiegelungsgrad** wurde durch die Auswertung von Luft- und Satellitenbildern unter Verwendung der Karte von Berlin 1 : 4/5 000 und der Stadtplanungsdatei zu Beginn der 90er Jahre für jede Blockteifläche bestimmt und 2001 im Rahmen einer Schwerpunktaktualisierung fortgeführt. Die Angaben beziehen das Straßenland zunächst **nicht** mit ein (vgl. Karte 01.02, SenStadt 2004a). Im Datenbestand wird zwischen der **bebaut versiegelten** Fläche (Dachfläche) und der **unbebaut versiegelten** Fläche (Parkplätze, Wege etc.) unterschieden. Für die unbebaut versiegelte Fläche war außerdem der Anteil der einzelnen **Belagsarten** eine wichtige Eingangsgröße. Die Belagsarten wurden in vier Belagsklassen zusammengefasst (vgl. Tab. 2) und spezifisch für die einzelnen Baustrukturtypen auf Testflächen im Gelände ermittelt und dann auf alle Blockteiflächen gleichen Baustrukturtyps bezogen. Zum Teil wurde die Belagsklassenverteilung für einzelne Teilflächen aus Luftbildern abweichend von den Pauschalwerten bestimmt.

Angaben zum Versiegelungsgrad der **Straßenflächen** wurden aus einer Statistik der Senatsbauverwaltung über Fahrbahnen und deren Beläge entnommen. Die dort aufgeführten Belagsarten wurden zu den genannten Belagsklassen zusammengefasst. Da diese Statistik nur bezirksweise vorliegt, wurden Versiegelungsgrad und Belagsklassenverteilung pauschal allen Flächen jedes Bezirkes zugeordnet.

Die **bodenkundlichen Daten** zur nutzbaren Feldkapazität des Flachwurzelraums (0-30 cm) und zur nutzbaren Feldkapazität des Tiefwurzelraumes (0-150 cm) wurden im Rahmen eines Gutachtens (Aey 1993) aus der Bodengesellschaftskarte Berlin (vgl. Karte 01.01, SenStadt 2005a) abgeleitet.

Für die Ermittlung der **Flurabstände** des Grundwassers wurde zunächst ein Modell der Geländehöhen entwickelt, das auf der Digitalisierung und anschließenden Interpolation von ca. 85 000 Einzeldaten zur Geländehöhe (vgl. Karte 01.08, SenStadt 2004b) beruht. Parallel wurde aus Messungen an Beobachtungsrohren des Landesgrundwasserdienstes aus den Messwerten von Mai 2002 ein Modell der Höhe der Grundwasseroberfläche aufgebaut. Die für die Berechnung der Abflüsse verwendeten Flurabstandsdaten wurden dann aus dem Differenzmodell von Höhenmodell und Grundwasserhöhenmodell (vgl. Karte 02.07, SenStadt 2003) für die Mittelpunktskordinaten der Blockteiflächen berechnet.

Die **Flächengröße** wird zur Berechnung der Abflussvolumina verwendet. Die Flächengröße der Blockteifläche (ohne Straßenfläche) liegt im ISU vor. Zusätzlich wurde die geschätzte Flächengröße der Straßen bezogen auf die einzelne Blockteifläche angegeben. Dazu wurden vorliegende Angaben zur Fläche des Straßenlandes auf der Ebene der statistischen Gebiete flächengewichtet auf die Teilflächen umgerechnet.

Die Angaben zur **Kanalisation** wurden der Karte "Entsorgung von Regen- und Abwasser" (vgl. Karte 02.09, SenStadt 2006) entnommen, die den Stand von Ende 2005 hat. Kriterium war das Vorhandensein von Abwasserleitungen für Regenwasser in der angrenzenden Straße. Die Angabe ist daher zunächst unabhängig von der tatsächlichen Ableitung des Regenwassers. Es kann aus der Karte nur abgelesen werden, ob die Blockfläche überhaupt von der Kanalisation erfasst wird. Es kann

davon ausgegangen werden, dass einige hochversiegelte Flächen (zumeist Industrie- und Gewerbegebiete) ihr Regenwasser über private Rohrleitungen oder das öffentliche Netz ableiten, darüber aber keine Informationen vorliegen.

Aus der Karte geht jedoch noch nicht hervor, inwieweit das Wasser, das auf den bebauten oder versiegelten Flächen anfällt, tatsächlich abgeführt wird. Hierzu waren spezielle Untersuchungen erforderlich. Für die Abschätzung des **tatsächlichen Anschlussgrades an die Kanalisation** lag gegenüber der ersten Anwendung des Modells für Berlin (SenStadtUmTech 1999a) eine neue Datenquelle vor. Im Rahmen der Neuordnung des Abwasserentgeltes durch die Berliner Wasserbetriebe (BWB) wurde eine grundstücksscharfe Erhebung der versiegelten Flächen durchgeführt und dabei zwischen angeschlossenen und nicht angeschlossenen versiegelten Flächen unterschieden. Ziel der Erhebung war es, die Kosten für die Regenwasserentsorgung weitgehend nach dem Verursacherprinzip zu erheben. Diese Daten wurden auch graphisch erfasst und der Senatsverwaltung aggregiert auf die Bezugsflächen des räumlichen Bezugssystems des ISU übergeben. Die Auswertung dieser Daten ergab jedoch, dass die graphische Erfassung durch die BWB nicht flächendeckend erfolgte. Aus diesem Grund konnten die Originaldaten nicht direkt für das Wasserhaushaltsmodell verwendet werden. Ausgehend von der Überlegung, dass der Anschlussgrad eng von Alter und Struktur der Bebauung abhängig ist, wurden daher aus den Daten der BWB und der flächendeckend vorliegenden Kartierung der Baustruktur (vgl. Karte 06.07, SenStadt 2005b) für die einzelnen Strukturtypen rechnerisch Pauschalwerte ermittelt und diese dann allen kanalisierten Einzelflächen zugeordnet. Die Ergebnisse sind in Tab. 1 zusammengefasst. Ein Vergleich der Werte mit den von BACH 1977 ermittelten Werten ergab eine gute Übereinstimmung. Lediglich der Anschlussgrad der unbebaut versiegelten Flächen des Stadtstrukturtyps P (nicht oder gering bebaute Grün- und Freiflächen) weicht mit 66 % sehr stark von dem von BACH ermittelten Wert von 20 % ab. Da die Analyse des BWB-Datenbestandes ergeben hat, dass gerade in diesen Gebieten die unbebaut versiegelten Flächen nicht oder unzureichend erfasst wurden, wurde für diesen Strukturtyp der Wert von BACH beibehalten. Die tatsächlichen Kanalisierungsgrade der Straßenflächen wurden ebenfalls aus BACH zugeordnet, da die Straßenflächen durch die BWB nicht erfasst wurden.

Tab. 1: Effektiver Anschlußgrad versiegelter Flächen an die Kanalisation (Kanalisierungsgrad) für die Stadtstrukturtypen Berlins ermittelt aus Daten der Berliner Wasserbetriebe						Stand 6.4.2005
			Kanalisierungsgrad (%)			
	Stadtstrukturtyp	Flächentypen	bebaut versiegelter Flächen	unbebaut versiegelter Flächen	versiegelter Straßenflächen (nach BACH 1997)	Anzahl Datensätze
A	Geschlossene Blockbebauung der Gründerzeit mit Seitenflügeln und Hinterhäusern	1 - Geschlossener Hinterhof 2 - Hinterhof 5 - Behutsame Sanierung	96	71	94	1256
B	Geschlossene Blockrandbebauung der Gründerzeit mit geringem Anteil an Seiten- und Hintergebäuden	3 - Schmuck-, Gartenhof 6 - Schuppenhof	83	56	91	633
C	Geschlossene Blockrandbebauung der Gründerzeit mit massiven Veränderungen	4 - Sanierung der Entkernung 7 - Nachkriegsblockrand	94	68	93	418
D	Geschlossene bis offene Blockrand- und Zeilenbebauung der 20er und 30er Jahre	10 - Großhof 72 - Zeile der 20/30er Jahre	89	57	87	748
E	Offene Zeilenbebauung der 50er bis 70er Jahre	11 - Zeile seit den 50er Jahre	88	54	89	737
F	Offene, hohe Bebauung der Nachkriegszeit	8 - Ungeordneter Wiederaufbau 9 - Großsiedlung	94	73	92	525
G	Geschlossene bis offene Blockrand- oder Zeilenbebauung der 80er u. 90er Jahre	71 - Plattenbau	95	76	90	83
R		73 - Siedlung der 90er Jahre mit 4 und mehr Geschossen	84	65	n.b. geschätzt 90	104
S		74 - Siedlung der 90er Jahre mit weniger als 4 Geschossen	84	71	n.b. geschätzt 90	31
H	Offene, niedrige Bebauung mit Hausgärten	21 - Dorf 22 - Reihengarten 23 - Garten 26 - offene Siedlungsbebauung 59 - Wochenendhaus	41	35	77	3171
I	Offene Villenbebauung mit parkartigen Gärten	24 - Parkartiger Gartentyp	60	47	67	549
J	Offene Bebauung mit Gärten und halbprivater Umgrünung	25 - Gärten und halbprivate Umgrünung	62	40	70	313
L	Bebauung mit überwiegender Nutzung durch Handel / Dienstleistung	29 - Kerngebiet 39 - Ausflugsgaststätte	95	83	98	216
M	Geringe Bebauung mit überwiegender Nutzung durch Gewerbe / Industrie	30 - Gewerbe geringe Bebauung 32 - Ver- u. Entsorgung 33 - Mischgebiet II geringe Bebauung	78	72	89	867
N	Dichte Bebauung mit überwiegender Nutzung durch Gewerbe / Industrie	31 - Gewerbe dichte Bebauung 38 - Mischgebiet II dichte Bebauung	88	83	92	141
O	Bebauung mit überwiegender Nutzung durch Gemeinbedarf und Sondernutzung	12 - Altbauschule 13/14 - Neubau- / Schule 41 - Sicherheit und Ordnung 42 - Post 43 - öffentliche Verwaltung 45 - Kultur 44 - Hochschule / Forschung 46 - Krankenhaus 47 - KiTa 49 - Kirche 50 - Seniorenheim 51 - Jugendfreizeitheim 60 - Gemeinbedarf allgemein	93	79	88	721
P	Nicht oder gering bebaute Grün- und Freiflächen	15 - Wassersport 27 - Friedhof 28 - Sportanlage 34,35,37 - Kleingarten 36 - Baumschule 53 - Grünanlage / Park 54 - Stadtplatz / Promenade 57 - Brachfläche 58 - Campingplatz	74	66 für die Berechnung der Wasserhaus- haltsgrößen wurde der von BACH 1997 ermittelte Wert von 20 % herangezogen	81	1116
Q	Nicht oder gering bebaute Verkehrsflächen ohne Straßenland	92 - Bahnanlage ohne Gleiskörper 99 - Gleiskörper auf Hochtrasse 91 - Parkplatz 93 - Flughafen 94 - sonstige Verkehrsflächen	82 88 87 100 100	72 77 96 100 100	- - 95	10 79 35 8 5

Tab. 1: Effektiver Anschlussgrad versiegelter Flächen an die Kanalisation (Kanalisierungsgrad) für die Stadtstrukturtypen Berlins

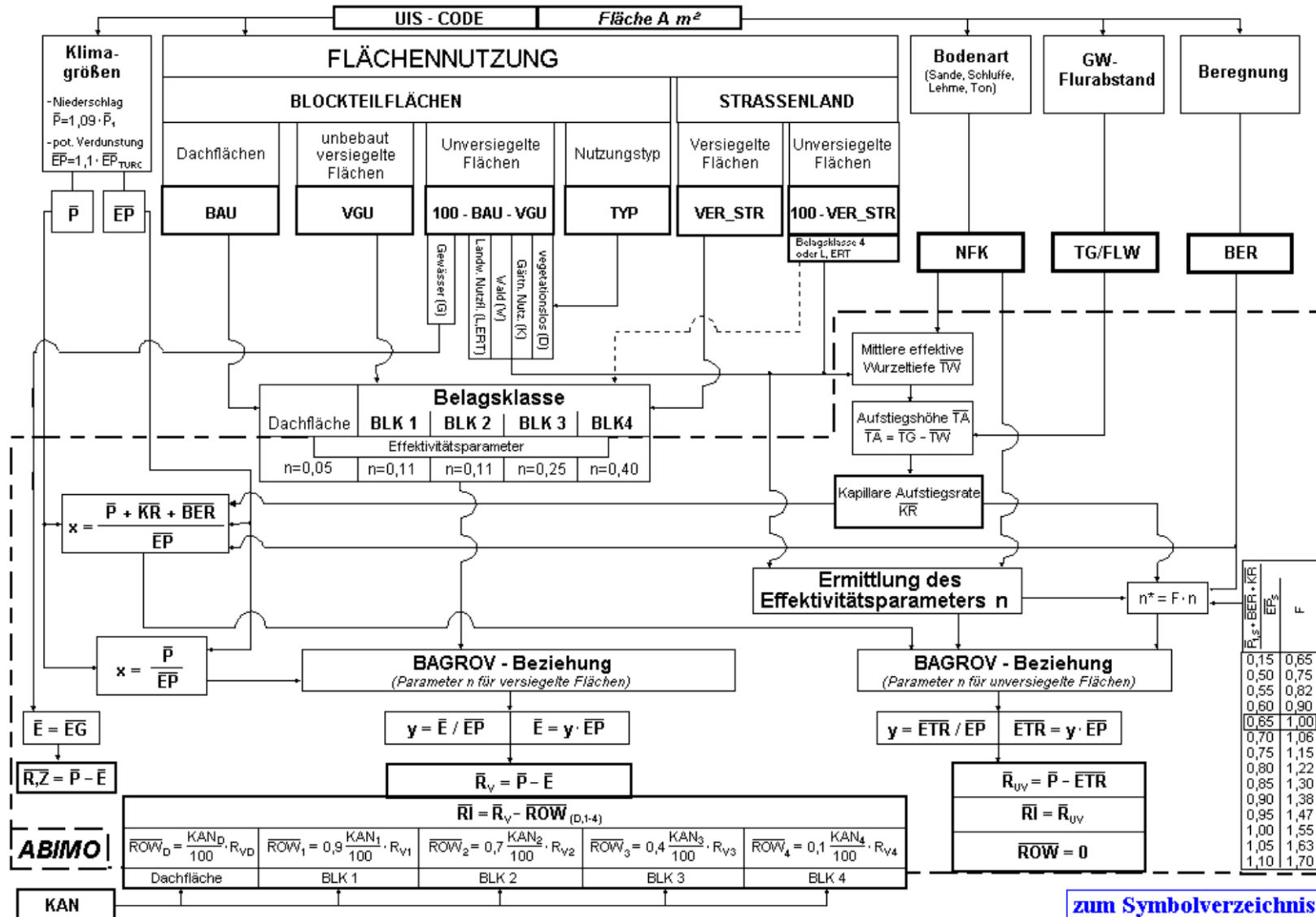
Für die Ermittlung der Versickerung ohne Berücksichtigung der Versiegelung (Karte 02.13.4) wurden die Eingangsdaten dahingehend verändert, dass die Versiegelung für alle Flächen auf 0 gesetzt wurde, also im Prinzip unberücksichtigt blieb. Die Flächengröße der Straßen wurde ebenfalls auf 0 gesetzt, so dass sich die Ergebniswerte nur auf die unversiegelten Böden der Blockflächen beziehen.

Methode

Vor etwa 10 Jahren wurde in Kooperation mit der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Außenstelle Berlin, ein Modell entwickelt, programmiert und angewendet, das die wichtigsten Größen des Wasserhaushaltes berechnet. Die etwa 25 erforderlichen Grunddaten bzw. Eingangsparameter konnten für jede der ca. 25 000 Einzelflächen aus dem Informationssystem Stadt und Umwelt (ISU) zur Verfügung gestellt werden. Dieses Modell wurde verbessert (ABIMO 3) und mit aktualisierten Daten zur Ableitung des Regenwassers über die Kanalisation erneut angewendet.

Das von Glugla entwickelte Abflussbildungsmodell ABIMO ist auf der Grundlage bereits seit den 70er Jahren entwickelter Modelle zur Berechnung des Grundwasserdargebots entstanden, und um Bausteine erweitert worden, die der speziellen Situation in urbanen Gebieten Rechnung tragen. Diese Erweiterung wurde gutachterlich durch das Institut für Ökologie (Bodenkunde) der TU Berlin und durch eine Diplomarbeit am Fachbereich Geographie der FU Berlin unterstützt. Bei der rechentechnischen Realisierung, die durch ein externes Softwarebüro erfolgte, wurde es außerdem an die spezielle Datenlage in Berlin angepasst.

Das Berechnungsverfahren ermittelt zunächst die tatsächliche Verdunstung, um den Gesamtabfluss (Niederschlag minus Verdunstung) zu errechnen. Im zweiten Arbeitsschritt wird der Oberflächenabfluss als Teil des Gesamtabflusses bestimmt. Die Differenz aus Gesamtabfluss und Oberflächenabfluss bildet dann den Versickerungsanteil. Einen Eindruck von der Komplexität des Verfahrens vermittelt Abb. 2.



Jahresmittelwerte (mm/a)

\bar{P}_1	Niederschlag (1 m Meßhöhe)
\bar{P}	Niederschlag im Bodenniveau
\overline{KR}	kapillarer Wasseraufstieg aus flurnahem Grundwasser
\overline{EP}	potentielle Verdunstung ($\overline{EP} = 1,1 * \overline{EP}_{TURC}$)
\overline{ETR}	reale Evapotranspiration von vegetationsbedeckten Landflächen
\overline{EG}	Gewässerverdunstung
\bar{E}	reale Evaporation von versiegelten und vegetationslosen Flächen (sowie von Gewässerflächen)
\overline{BER}	Beregnungsmenge
$\bar{Z} = \bar{P} - (\bar{E}, \overline{ETR}, \overline{EG})$ $(\bar{E}, \overline{ETR}, \overline{EG}) > \bar{P}$	Zehrung aus Grund- bzw. Oberflächenwasser
\bar{R}_v	Gesamtabfluß (versiegelte Fläche)
\bar{R}_{uv}	Gesamtabfluß (unversiegelte Fläche)
\overline{ROW}	Regenwasser- bzw. Schmelzwasserabfluß von der versiegelten Fläche in die Kanalisation (Vorfluter)
\overline{RI}	Infiltration in den Boden (unterhalb der verdunstungsbeeinflussten Zone)

Versiegelte Flächen (in Prozent)

BAU	Dachfläche
VGU	Hof- und Stellfläche (unbebaut versiegelte Fläche)
VER_STR	Straßenfläche
BLK 1, ..., 4	Belagsklasse unbebaut versiegelter Flächen
KAN	Prozentanteil der an die Regenwasserkanalisation angeschlossenen versiegelten Flächen

Flächennutzung unversiegelter Flächen

L	landwirtschaftliche Nutzfläche (einschließlich Grasland)
W	forstliche Nutzfläche (Annahme gleichmäßig verteilter Bestandsaltersgruppen)
K	gärtnerische Nutzfläche (programmintern: BER = 75 mm/a)
D	vegetationslose Fläche
G	Gewässerfläche

Bodenart

NFK	nutzbare Feldkapazität (Volumenfeuchte (Vol %) der Feldkapazität minus der des permanenten Welkepunktes)
S, U, L, T	Angabe der Bodenart (Sande, Schluffe, Lehme, Tone;
N, H	Niedermoor, Hochmoor) für die Ermittlung des kapillaren Wasseraufstiegs

Grundwasserflurabstand und kapillarer Wasseraufstieg

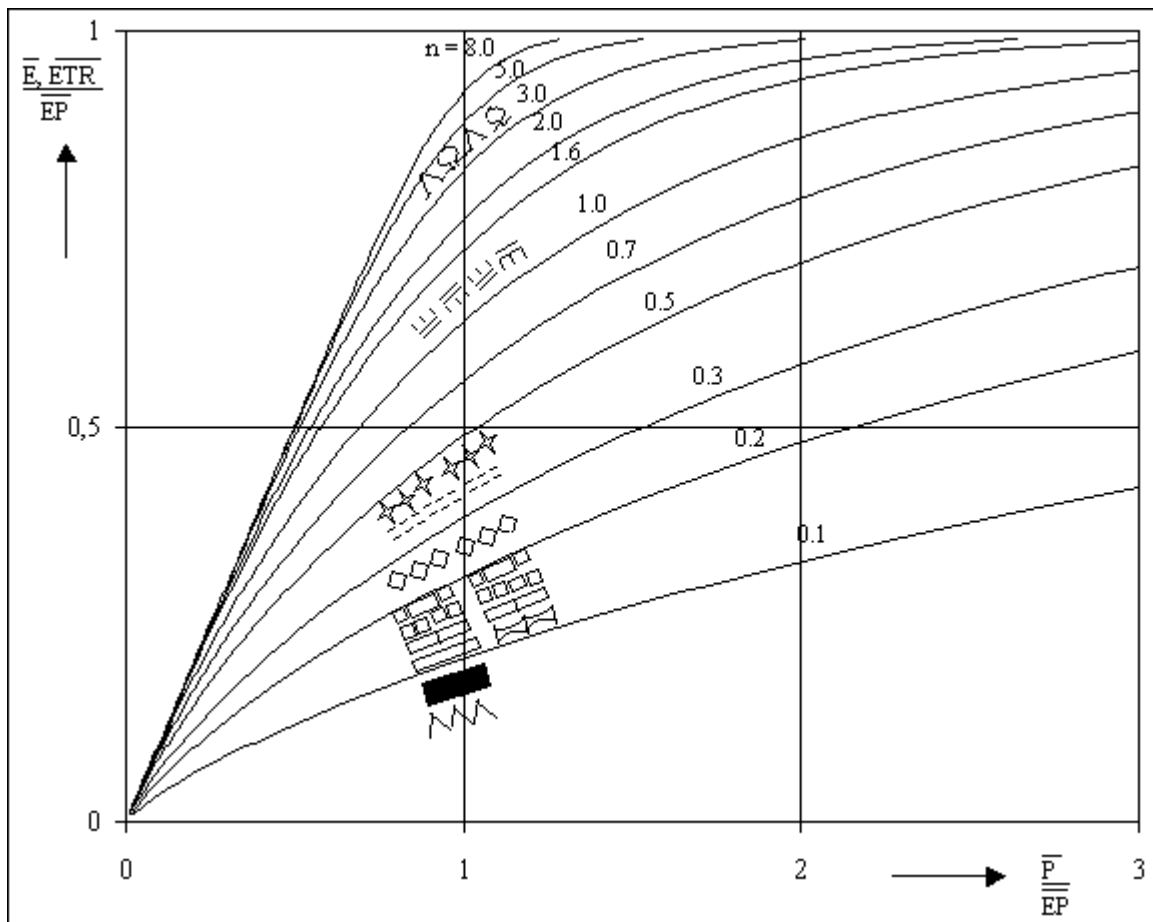
TG	Grundwasserflurabstand (Flurabstandswert FLW in m) zur Bestimmung von KR
TA	Aufstiegshöhe (m), TA = TG – TW
TW	mittlere Ausschöpfungstiefe/effektive Wurzeltiefe (m)

Abb. 2: Flussdiagramm des Modells ABIMO (aus Bach 1997, verändert)

Der **Gesamtabfluss** wird aus der Differenz der langjährigen Jahresmittelwerte des Niederschlags und der realen Verdunstung berechnet. Die **reale Verdunstung**, wie sie im Mittel tatsächlich an Standorten und in Gebieten auftritt, wird aus den wichtigsten Einflussgrößen Niederschlag und **potentielle Verdunstung** sowie den mittleren Speichereigenschaften der verdunstenden Flächen berechnet. Bei ausreichender Feuchtezufuhr zur verdunstenden Fläche nähert sich die reale Verdunstung der potentiellen. Die reale Verdunstung wird zusätzlich durch die Speichereigenschaften der verdunstenden Fläche modifiziert. Höhere Speicherwirkung (z. B. größere Bindigkeit des Bodens und größere Durchwurzelungstiefe) bewirkt eine höhere Verdunstung.

Dem aufgezeigten Zusammenhang zwischen den mehrjährigen Mittelwerten der realen Verdunstung einerseits sowie des Niederschlags, der potentiellen Verdunstung und der Verdunstungseffektivität des Standorts andererseits genügt die Beziehung nach Bagrov (vgl. Glugla et al. 1971, Glugla et al. 1976, Bamberg et al. 1981 und Abb. 3). Die Bagrov-Beziehung beruht auf der Auswertung langjähriger Lysimeter-Versuche und beschreibt das nichtlineare Verhältnis zwischen Niederschlag und Verdunstung in Abhängigkeit von den Standorteigenschaften. Mit der Bagrov-Beziehung kann bei Kenntnis der Klimagrößen Niederschlag P und potentielle Verdunstung EP (Quotient P/EP) sowie des Effektivitätsparameters n der Quotient reale Verdunstung / potentielle Verdunstung (ER/EP) und somit

die reale Verdunstung ER für Standorte und Gebiete ohne Grundwassereinfluss ermittelt werden. Zur Berechnung der grundwasserbeeinflussten Verdunstung wird ebenfalls das Bagrov-Verfahren in modifizierter Form genutzt, indem die mittlere Kapillarwasserzufuhr aus dem Grundwasser dem Niederschlag zugerechnet wird.



- sandige Böden, forstliche Nutzung
- sandige Böden, landwirtschaftliche Nutzung
- vegetationslose, sandige Böden
- Rasengittersteine
- Bernburger Mosaikpflaster
- Kunststeinplatten mit Mosaikpflaster (Gehweg)
- Mosaikpflaster (Gehweg)
- Betongittersteine (20 % Fugenteil, mit Sand aufgefüllt)
- Betonflächen
- Betonverbundsteine
- Asphalt (Straße)
- Dachflächen

Langjährige Mittelwerte von:

- \bar{E}, \bar{ETR} tatsächlicher Evaporation bzw. Evapotranspiration
- \bar{EP} potentieller Verdunstung ($1.1 \cdot \text{TURC-Verdunstung}$)
- \bar{P} bodengleichem Niederschlag
- n Effektivitätsparameter

Anmerkung:

- \bar{P} wird erhöht um:
- \bar{KR} bei kapillarem Wasseraufstieg aus flurnahem Grundwasser und
- \bar{BER} bei Beregnung

Abb. 3: Darstellung der Bagrov-Gleichung für ausgewählte Werte des Parameters n und Abhängigkeit dieses Parameters von Landnutzung und Bodenart (nach Glugla et al. 1995)

Mit wachsendem Niederschlag P nähert sich die reale Verdunstung ER der potentiellen Verdunstung EP, d. h. der Quotient ER/EP nähert sich dem Wert 1. Bei abnehmendem Niederschlag P (P/EP geht gegen den Wert 0) nähert sich die reale Verdunstung ER dem Niederschlag P. Die Intensität, mit der diese Randbedingungen erreicht werden, wird durch die Speichereigenschaften der verdunstenden Fläche (Effektivitätsparameter n) verändert.

Die Speichereigenschaften des Standorts werden insbesondere durch die Nutzungsform (zunehmende Speicherwirksamkeit in der Reihenfolge versiegelte Fläche, vegetationsloser Boden, landwirtschaftliche, gärtnerische bzw. forstliche Nutzung) sowie die Bodenart (zunehmende Speicherwirksamkeit mit höherer Bindigkeit des Bodens) bestimmt.

Maß für die Speicherwirksamkeit des unversiegelten Bodens ist die **nutzbare Feldkapazität** als Differenz der Feuchtwerte des Bodens für Feldkapazität (Beginn der Wasserversickerung im Boden) und für den permanenten Welkepunkt (bleibende Trockenschäden an den Pflanzen). Weitere Landnutzungsfaktoren, wie Hektarertrag, Baumart und -alter, modifizieren den Parameterwert n. Der Parameter n wurde in Auswertung von Beobachtungsergebnissen zahlreicher in- und ausländischer Lysimeterstationen und von Wasserhaushaltsuntersuchungen in Flusseinzugsgebieten quantifiziert.

Für Standorte und Gebiete mit flurnahem Grundwasser tritt infolge Kapillaraufstiegs von Grundwasser in die verdunstungsbeeinflusste Bodenzone je nach Grundwasser-Flurabstand und Bodeneigenschaften eine gegenüber grundwasserunbeeinflussten Bedingungen erhöhte Verdunstung auf. Die Abflussbildung vermindert sich. Übersteigt die reale Verdunstung den Niederschlag, tritt Wasserzehrung auf, und die Werte für die Abflussbildung werden negativ (z. B. Fluss- und Seeniederungen).

Bei Gewässerflächen tritt infolge höheren Wärmeangebots (geringeres Reflexionsvermögen der Einstrahlung) eine gegenüber Landflächen erhöhte potentielle Verdunstung auf. Die tatsächliche Gewässerverdunstung wird näherungsweise dieser erhöhten potentiellen Verdunstung gleichgesetzt.

Punktuelle Versickerung, z. B. durch die Grundwasseranreicherungsanlagen der Wasserwerke wurde nicht berücksichtigt. Bei gärtnerischer Nutzung (Kleingärten) wurde zum Niederschlag für die Bewässerung ein einheitlicher Näherungswert addiert.

Nachdem der mittlere Gesamtabfluss als Differenz aus Niederschlag und realer Verdunstung berechnet wurde, wird nun in einem zweiten Arbeitsschritt der **Oberflächenabfluss** bestimmt. Auf Dachflächen, die in die Kanalisation entwässern, entspricht der Oberflächenabfluss dem Gesamtabfluss. Flächen, die nicht an die Kanalisation angeschlossen sind, erzeugen keinen Oberflächenabfluss. Unbebaut versiegelte Flächen infiltrieren abhängig von der Art der Oberflächenbeläge (Belagsarten) einen Teil des Abflusses in den Untergrund. Dieser Infiltrationsfaktor ist abhängig von der Breite, dem Alter und der Art der Fugen. Der nicht versickernde Abfluss wird - abhängig von dem Anschlussgrad an die Kanalisation - als Oberflächenabfluss über die Kanalisation abgeleitet oder versickert, sofern er nicht von der Kanalisation erfasst, am Rande der versiegelten Flächen. Ebenso versickern die Anteile der nicht an die Kanalisation angeschlossenene Dachflächen (vgl. Tab. 1). Die Differenz aus Gesamtabfluss und Oberflächenabfluss entspricht somit der **Versickerung** als Ausgangsgröße für die Grundwasserneubildung.

Für die Anwendung des Verfahrens für urbane Gebiete mussten die Parameter n und die Infiltrationsfaktoren für die unterschiedlichen Versiegelungsmaterialien bestimmt werden. Hierzu wurden sowohl Lysimeterversuche mit verschiedenen Versiegelungsmaterialien als auch Berechnungen zum Benetzungsverlust ausgewertet (vgl. Wessolek/Facklam 1997). Die gewählten Größen für die genannten Parameter sind in Tab. 2 aufgeführt. Die mit dem Alterungsprozess durch Verdichtung und Verschlammung der Fugen einhergehende Veränderung dieser Parameter wurde dabei berücksichtigt. Aufgrund nach wie vor unzureichender wissenschaftlicher Grundlagen sind die Angaben jedoch noch mit gewissen Unsicherheiten verbunden. Darüber hinaus wäre für hydrologische Fragestellungen eine andere Zusammenfassung der Belagsarten zu Belagsklassen wünschenswert.

Tab. 2: Effektivitätsparameter n und Infiltrationsfaktor F _i für unterschiedliche Belagsklassen			
Belagsklasse	Belagsarten	Effektivitätsparameter n	Infiltrationsfaktor F _i
-	Dachflächen	0,05	0
BLK1	Asphalt, Beton, Pflaster mit Fugenverguß oder Betonunterbau, Kunststoffbeläge	0,11	0,1
BLK2	Kunststein- und Plattenbeläge (Kantenlänge > 8 cm), Betonverbundpflaster, Klinker, Mittel- und Großpflaster	0,11	0,3
BLK3	Klein- und Mosaikpflaster (Kantenlänge < 8 cm)	0,25	0,6
BLK4	Rasengitterstein, wassergebundene Decke, Schotterrasen	0,4	0,9

Tab. 2: Effektivitätsparameter n und Infiltrationsfaktor F_i für unterschiedliche Belagsklassen

Um einen Eindruck zu vermitteln, wie die unterschiedlichen Flächennutzungen, Versiegelungsparameter und Bedingungen der Kanalisation den Wasserhaushalt beeinflussen wurde für ca. 35 Beispielflächen mit unterschiedlichen Eingangsgrößen das Modell ABIMO angewandt und die Ergebnisse in Tabelle 3 dargestellt. Das Verhältnis von Oberflächenabfluss, Versiegelung und Verdunstung ist entscheidend vom Ausmaß der Versiegelung und der Ableitung des Regenwassers in die Kanalisation abhängig.

Flächenbeschreibung	Versiegelung in %	bebaute versiegelte Fläche in %	unbebaute versiegelte Fläche in %	Art der Versiegelung der unbebauten versiegelten Fläche (vgl. Tab. 2)				Kanalisation Anschluss ja/nein	Anschlussgrad an die Kanalisation der versiegelten Fläche in %		Boden (1)	Oberflächenabfluss in % des Niederschlags	Versickerung in % des Niederschlags	Verdunstung in % des Niederschlags
				Belag 1 in %	Belag 2 in %	Belag 3 in %	Belag 4 in %		bebaute Fläche	unbebaute versiegelte Fläche				
Kiefernwald	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	18	82
Wiesenbestand	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	34	66
Ackerfläche	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0	38	62
Brachfläche, ehemalige Bahnfläche	7	0	7	0	0	0	100	0	0	0	57	0	25	75
Kleingartenanlage	8	5	3	0	28	6	66	1	74	20	4	1	25	73
Kleingartenanlage	8	5	3	11	28	6	55	1	100	100	4	6	24	71
Brachfläche, ehemalige Bahnfläche	21	6	15	26	0	0	74	1	100	100	57	9	30	60
Parkanlage	24	4	20	46	0	0	54	1	74	20	6	2	28	70
Kleingartenanlage	33	21	12	13	14	27	46	1	74	20	50	5	24	71
Parkanlage	33	8	25	27	0	0	73	1	100	100	57	14	25	62
Einzelhausbebauung mit großen Gartenflächen	35	25	10	0	0	33	67	1	56	35	2	9	39	53
Einzelhausbebauung mit großen Gartenflächen	35	25	10	25	0	33	42	1	100	100	4	27	26	47
Grünanlage	37	0	37	63	10	0	27	1	0	46	52	9	33	58
KITA	41	29	12	26	0	32	42	1	85	74	51	23	26	51
Grünanlage	42	0	42	54	21	0	25	1	0	100	57	23	22	55
Gewerbe	43	31	12	32	0	0	68	1	78	54	1	18	30	53
Großsiedlung	52	37	15	22	42	0	36	1	88	54	1	22	26	51
Stadtplatz	53	12	41	23	4	14	59	1	74	20	50	5	38	57
Einzelhausbebauung mit Mulden-Rigolensystem	35	25	10	0	0	33	67	1	56	35	2	0	47	53
Industriebrache, wiesenartiger Vegetationsbestand	36	0	36	100	0	0	0	1	0	20	57	5	47	47
KITA mit Mulden-Rigolensystem	41	29	12	26	0	32	42	1	85	74	51	0	49	51
Gewerbe	48	34	14	58	7	0	35	1	100	100	4	39	22	39
Mischgebiet	57	38	19	57	0	11	32	1	88	83	50	38	24	39
Sportplatz / Stadion	68	33	35	35	27	0	38	1	74	20	50	9	40	51
Parkplatz	78	7	71	75	10	0	15	1	100	100	4	51	19	30
Mischgebiet hoher Versiegelungsgrad	87	47	40	21	38	27	14	1	94	68	52	43	26	31

Verkehrsfläche / Bahnhof	86	48	38	36	28	23	13	1	100	93	52	60	17	22
Stadtplatz	87	5	82	65	23	12	0	1	0	84	52	50	31	20
Mischgebiet dicht bebaut	87	58	29	31	28	27	14	1	100	100	4	69	13	18
Stadtplatz	87	5	82	65	23	12	0	1	100	100	57	59	17	24
Industriestandort	92	54	38	83	5	0	12	1	88	83	57	64	19	17
Kerngebiet	92	56	36	45	17	24	14	1	95	83	52	60	18	22
Industriebrache, wiesenartiger Vegetationsbestand	93	13	80	78	0	0	22	1	88	83	57	51	27	23
Industriestandort	96	54	42	79	10	0	11	1	100	100	57	79	8	13
Parkplatz	98	10	88	82	10	0	8	1	87	96	50a	67	16	16

Tab. 3: Verhältnis zwischen Oberflächenabfluss, Versickerung und Verdunstung für Beispielflächen unterschiedlicher Nutzung, Versiegelung etc. (nach Köppel/Deiwick 2004)

Für die aktuelle Berechnung wurde eine neue Version des Programms ABIMO verwendet. Diese Version unterscheidet sich von der alten vor allem durch eine verbesserte Parametersteuerung bei der Zuordnung der Werte für den Anschlussgrad der Dachflächen an die Kanalisation.

Im Ergebnis der Berechnungen liegen für die 25 000 Einzelflächen aktualisierte langjährige Mittelwerte für den Gesamtabfluss, den Oberflächenabfluss und die Versickerung vor. Die Werte wurden klassifiziert in mm/Jahr in den vorliegenden Karten dargestellt; die Gesamtmengen in m³/Jahr wurden ebenfalls errechnet und bilanziert. Es muss beachtet werden, dass die dargestellten Werte Mittelwerte über die als einheitliche Flächen dargestellten Blöcke sind, die in der Realität inhomogene Strukturen aufweisen. Die Abflüsse versiegelter und unversiegelter Flächen werden hier zu einem Durchschnittswert pro Block gemittelt. Außerdem werden die Abflüsse der Straßen den angrenzenden Blöcken zugeschlagen. Aus den Karten kann z.B. nicht abgelesen werden, wie hoch die Versickerungsleistung eines m² unversiegelten Bodens ist. Hierzu ist daher eine ebenfalls flächendeckende und blockbezogene Berechnung mit veränderten Randparametern – also unter der Annahme gänzlich unversiegelter Verhältnisse - vorgenommen worden, deren Ergebnisse in der Karte 02.13.4 dargestellt sind.

Kartenbeschreibung

Die Karte des **Gesamtabflusses** (Karte 02.13.3) zeigt für die hoch versiegelten Innenstadtbereiche (S-Bahn-Ring) Gesamtabflüsse im Bereich von 350-450 mm/a, im hochverdichteten City-Bereich und einigen Industriegebieten liegen die Werte noch darüber. Hier verdunsten also - bezogen auf die Niederschlagsmesswerte (in 1 m Höhe), die etwa 10-15 % unter den bodengleichen Niederschlägen liegen - nur etwa 150 mm/a (Karte 02.13.5). Die locker bebauten Außenbereiche der Stadt weisen Abflüsse von 250-350 mm/a auf. Verglichen mit den Abflüssen des unversiegelten Außenraumes oder der Umgebung Berlins, wo die Werte etwa um 150 mm/a liegen, kann Berlin als Insel stark erhöhter Abflüsse betrachtet werden. Die Reduzierung der Verdunstung durch Versiegelung und Vegetationsmangel – in der Karte **Verdunstung** (Karte 02.13.5) erkennbar - führt hier zu 2-3-fach erhöhten Abflüssen gegenüber dem natürlichen Zustand.

Nur in wenigen Bereichen treten bedingt durch geringe Niederschläge bei gleichzeitig geringem Flurabstand **Grundwasserzehrungen**, also negative Werte der Abflussbildung, auf, da hier die Vegetation durch die Nachlieferung aus dem Grundwasser mehr Wasser verdunsten kann als durch die Niederschläge zugeführt wird.

Die Karte des **Oberflächenabflusses** (02.13.1) zeigt, dass in den kanalisierten Gebieten der Innenstadt durchschnittlich etwa 250 mm/a der Kanalisation zugeführt werden, Spitzenwerte liegen bei mehr als 350 mm/a. Im Außenbereich sind es - in den kanalisierten Gebieten - um die 100 mm/a.

Die Karte der **Versickerung** (02.13.2) zeigt ein zunächst überraschendes Bild. Danach versickert in der Innenstadt mit etwa 120 mm/a annähernd so viel Niederschlag wie in den Wäldern. Deutlich höhere Versickerungsleistungen um 200 mm/a weisen die lockerer bebauten Siedlungsgebiete des Außenbereichs auf, in den Gebieten mit geringem Anschlussgrad an die Kanalisation steigen die Werte bis auf 300 mm/a. In den nicht kanalisierten Siedlungsgebieten versickert der gesamte Abfluss mit etwa 300-350 mm/a und Maximalwerten von über 400 mm/a.

Im Ergebnis lässt sich festhalten:

- Der durch den hohen Versiegelungsgrad der Innenstadt bedingte Effekt der reduzierten Durchlässigkeit der Böden wird durch den Effekt der Herabsetzung der Verdunstung zu großen Teilen wieder aufgehoben, so dass die innerstädtischen Versickerungsleistungen höher sind, als zunächst angenommen wurde und nahezu "natürlichen" Verhältnissen entsprechen.
- Ausschlaggebend für die Versickerungsleistung ist erst in zweiter Linie das Ausmaß der Versiegelung, in erster Linie wird sie durch den tatsächlichen Anschlussgrad an die Kanalisation bestimmt. Die Art der Versiegelung, d.h. die unterschiedlichen Versickerungsleistungen der verschiedenen Belagsarten spielt ebenfalls eine bedeutende Rolle.
- Durch die Herabsetzung der Verdunstung durch die Versiegelung in den locker bebauten Bereichen bei gleichzeitig geringem Anschlussgrad an die Kanalisation sind die Versickerungsleistungen in diesen Gebieten am höchsten und betragen etwa das Doppelte der "natürlichen" Versickerung.

Im Urstromtalbereich kann das Sickerwasser, bedingt durch die durchlässigen Sande, die das Grundwasser überlagern, direkt und vollständig zur Grundwasseroberfläche versickern. Hier entspricht die berechnete Versickerung der **Grundwasserneubildung**. Auf den Grundmoränenhochflächen des Barnim und des Teltow überlagern jedoch lehmige und damit schlecht wasserdurchlässige Schichten das meist gespannte Grundwasser. Hier werden die tief eingeschnittenen Fließe weitgehend vom gespannten Grundwasser bzw. über sandige und damit durchlässige Schichten in der Grundmoräne gespeist. Nur die nicht über die Vorfluter abgeführten Sickerwassermengen (berechnete Versickerung) können als echte Speisung des die Grundmoräne unterlagernden Hauptgrundwasserleiters angesehen werden. Diese Wassermengen gelangen als unterirdischer Abfluss in den Urstromtalbereich. Die Aufteilung ist jeweils abhängig von den konkreten hydrogeologischen Verhältnissen. Ein Vergleich der gemessenen und der berechneten Abflüsse zeigt, dass z.B. im Einzugsgebiet des Neuenhagener Mühlenfließes etwa 35 % der errechneten Versickerung unterirdisch in den Urstromtalbereich entwässert, während das Tegeler Fließ nahezu den gesamten aus der Versickerung gebildeten Abfluss seines Einzugsgebietes oberirdisch wieder abführt. Auf der Grundlage der mit dem Modell ABIMO ermittelten Sickerwasserraten wurde auch eine Karte der Grundwasserneubildung erarbeitet (Karte 02.17, 2007).

Die Verdunstung der **Gewässerflächen**, die in der Karte nicht dargestellt werden, liegt etwa 160 mm/a über den auf sie herabgehenden Niederschlägen, so dass den Gewässern Berlins insgesamt ca. 9 Mio. m³ Wasser im Jahr durch Verdunstung entzogen werden.

Bei einigen hochversiegelten Flächen lagen keine Angaben darüber vor, ob das anfallende Regenwasser über die Kanalisation abgeleitet wird. Aus diesem Grunde wird für diese Flächen der gesamte entstehende Abfluss in den Karten als Versickerung ausgewiesen. Der Grad der Versiegelung und die Höhe des Abflusses lässt es jedoch in einigen Fällen als unwahrscheinlich erscheinen, dass das Wasser tatsächlich versickert. Daraus folgt, dass der Anteil des Oberflächenabflusses eher unterschätzt, der der Versickerung eher überschätzt wird.

Mit Hilfe der Flächengrößen der Bezugsflächen konnten auch die **Abflussvolumen** errechnet und anschließend bilanziert werden (vgl. Tab. 4).

Tab. 4: Langjährige Mittelwerte der Abflussbildung (ermittelt mit ABIMO3)			
	Fläche [km²]	mm/a *)	Mio. m³/a
Gesamt-Berlin (ohne Gewässer)	840		
Niederschlag (Messwerte, unkorrigiert)	840	570	478
Verdunstung (Niederschlag - Gesamtabfluss)	840	312	262
Gesamtabfluss	840	258	216,8
Oberflächenabfluss	840	80	67,7
davon in die			
Mischkanalisation	81	256	20,7
Trennkanalisation	310	151	46,9
Versickerung	840	177	149,1
Grundwasserneubildung	840	149	125,5
Gewässerflächen	54		
Zehrung (Niederschlag - Verdunstung)		-158	-9
*) flächengewichtet Anmerkung: Auf Grund von Unschärfen bei der Flächenermittlung liegt die Gesamtfläche Berlin um ca. 2 km ² über der realen Flächengröße.			

Tab. 4: Langjährige Mittelwerte der Abflussbildung (ermittelt mit ABIMO3)

Die Berechnungen zeigen, dass etwa 60 % des Niederschlages verdunsten und damit etwa 200 Mio. m³/Jahr als Gesamtabfluss zur Verfügung stehen. Drei Viertel davon versickern in den Untergrund, ein Viertel wird über die Kanalisation abgeführt. Obwohl die Mischkanalisation nur etwa ein Viertel der gesamten kanalisierten Fläche einnimmt, entsteht hier fast ein Drittel des Oberflächenabflusses. Stellt man die versickernde Wassermenge von ca. 150 Mio. m³, die wie bereits beschrieben nicht vollständig dem Grundwasser zugeführt wird, dem Trinkwasserverbrauch von ca. 250 Mio. m³ pro Jahr gegenüber, wird deutlich, dass hier ein erhebliches Defizit besteht. Dieses Defizit wird durch oberirdische Zuflüsse (Spree, Havel) sowie die unterirdische Heranführung von Grundwasser aus dem Umland ausgeglichen. Das Oberflächenwasser wird bei ufernahen Grundwasserentnahmen als Uferfiltrat sowie durch Grundwasseranreicherungsanlagen an den Wasserwerken genutzt.

Betrachtet man die Veränderungen gegenüber den Zahlen von 2001 fällt vor allem auf, dass das langjährige Mittel des Oberflächenabflusses von bisher 54,8 Mio. m³/Jahr auf jetzt 67,7 Mio. m³/Jahr gestiegen ist. Außerdem ist eine leichte Erhöhung des Gesamtabflusses sowie eine leichte Verringerung der Versickerung festzustellen.

Als Ursache für die Veränderungen können vor allem zwei Umstände genannt werden:

- Durch die Einarbeitung aktuellerer und insgesamt verbesserter Unterlagen zur Regenwasserkanalisation gelten heute wesentlich mehr Gebiete als regenwasserkanalisiert als bei der letzten Auswertung. Dies wirkt sich vor allem auf die Erhöhung der Oberflächenabflüsse aus, da die Niederschläge der versiegelten Flächen in diesen Gebieten nun zum Teil in die Kanalisation gelangen.
- Eine veränderte Parametersteuerung für den Anschlussgrad von Dachflächen an die Kanalisation ist eine wesentliche Ursache für die starke Zunahme des Oberflächenabflusses. Im neuen Programm ABIMO 3 werden für die Gebäudeflächen höhere Werte für den Anschlussgrad berücksichtigt als im alten Programm, was zu höheren Oberflächenabflüssen führt.

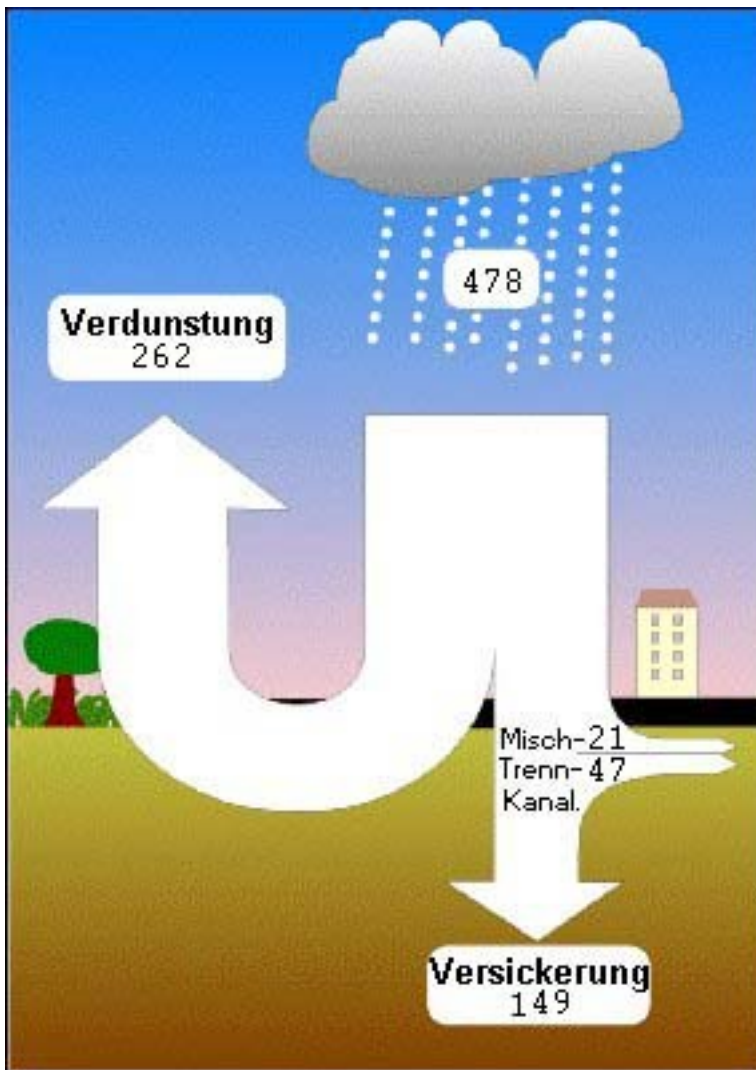


Abb. 4: Wasserhaushalt Berlins (langjährige Mittelwerte in Mio. m³, ohne Gewässer)

Im Informationssystem liegt für jede kanalisierte Fläche des Trennsystems die Angabe vor, in welchen Vorfluter bzw. in welches Gewässer oder in welchen Gewässerabschnitt sie entwässert (vgl. Karte 02.09.2). So können Bilanzen erstellt werden, welche Regenmengen die Gewässer im Durchschnitt aufzunehmen haben. Betroffen sind etwa 180 Gewässer oder Gewässerabschnitte. Tabelle 5 zeigt die abschnittsweise zusammengefassten Einleitungsmengen in die Gewässer Berlins. Die Oberflächenabflüsse im Bereich des Mischsystems werden mit Ausnahme der Anteile, die bei Starkregen über die Notauslässe der Pumpwerke und die Regenüberläufe des Kanalnetzes ebenfalls direkt in die Gewässer gelangen, den Klärwerken zugeführt, von wo aus sie nach einer entsprechenden Abwasserbehandlung zusammen mit dem ebenfalls behandelten Schmutzwasser in die Gewässer eingeleitet werden.

Tab. 5: Regenwasserableitung in die Kanalisation ermittelt aus den Daten des ISU mit ABIMO 3 (Stand der Datengrundlagen 12/2005 ; Auswertung 1/2007)

Gewässer- abschnitt	Einzugsgebiete nach Gewässerabschnitten	Einzugs- gebiets- fläche (km²)	Regen- abfluss (Mio m³/a)
Fließgebiet der Havel			
110	Oberhavel (Stadtgrenze bis oberhalb Mündung Tegeler See)	1,6	0,17
120	Oberhavel (Mündung Tegeler See bis Schleuse Spandau)	4,2	0,78
130	Tegeler See	2,5	0,51
131	Tegeler Fließ	5,8	0,52
132	Nordgraben	11,0	1,55
133	Panke nördlich Verteilerbauwerk	5,7	0,69
210	Unterhavel ab Spreemündung bis Jungfernsee (ohne	12,6	1,74
220	Großer Wannsee	2,4	0,21
230	Kleine Wannseekette	1,5	0,12
Fließgebiet der Spree			
310	Müggelspree (einschließlich Großer Müggelsee und Erpe)	8,6	1,17
320	Langer See, Dahme und Große Krampe	7,5	0,82
330	Stadtspree bis Abzweig Britzer Verbindungskanal	7,5	1,55
331	Wuhle	23,2	3,11
340	Stadtspree bis Abzweig Landwehrkanal	7,3	1,31
350	Rummelsburger See	9,6	2,32
351	Marzahn-Hohenschönhausener Grenzgraben	16,8	3,38
380	Stadtspree bis Abzweig Berlin-Spandauer-Schiffahrtskanal	6,5	1,22
390	Stadtspree bis Mündung	7,4	1,40
400	Kanäle nördlich der Spree	7,8	1,70
401	Panke (ab Verteilerbauwerk bis Nordhafen)	19,1	2,93
500	Kanäle südlich der Spree (Neuk. SK und Landwehrkanal)	6,8	1,79
Fließgebiet des Teltowkanals			
600	Teltowkanal	64,6	8,90
610	Rudower Arm	24,5	2,96
620	Britzer Verbindungskanal	2,7	0,49
Seen, Teiche etc.			
810	Grunewaldseenkette	10,4	1,53
820	Flughafensee	6,2	1,08
830	Biesdorfer Baggersee	4,1	0,53
840	Fauler See/Obersee	1,4	0,18
850	Schäfersee	2,3	0,51
860	Groß-Glienicker See	1,0	0,11
900	Kleingewässer (Teiche, Tümpel, Gräben)	17,8	1,67
	Trennkanalisation (Summe)	310,4	46,9
	Mischkanalisation	81,0	20,7

Tab. 5: Regenwasserableitung in die Kanalisation - Einzugsgebiete und Abflüsse (langjährige Mittel, Stand der Datengrundlage zur Kanalisation 12/2005)

Mit dem Modell bzw. Programm ABIMO steht ein Instrument zur Verfügung, mit dem auch Simulationen mit veränderten Ausgangsbedingungen vorgenommen werden können. Insbesondere ist hier die Abschätzung der zu erwartenden Veränderung des Wasserhaushalts durch städtebauliche Projekte zu nennen. Die Abschätzung der Effekte von Entsiegelungsmaßnahmen oder Abkopplungsmaßnahmen wären eine weitere Anwendungsmöglichkeit. Mit entsprechend differenzierten Eingangsdaten kann das Programm auch für Einzelvorhaben auf Grundstücksebene kleinteilig angewendet werden. Änderungen der Modellparameter durch Einbeziehung aktueller Untersuchungsergebnisse sind jederzeit möglich.

Die Karte der **Versickerung ohne Berücksichtigung der Versiegelung** (02.13.4) zeigt gegenüber der Versickerungskarte, in der die Versiegelung berücksichtigt wurde zum Teil erheblich veränderte Verhältnisse.

Mit **200-250 mm** jährlicher Versickerung erreichen die stark anthropogen veränderten aber unversiegelten Böden der Innenstadt und der Industriegebiete die höchsten Versickerungsleistungen im Stadtgebiet, gefolgt von den überwiegend sandigen Gebieten des Urstromtals und den sandigen Teilen der Hochflächen mit ca. **150-200 mm**. Sind die sandigen Böden mit Wald bestanden, sinkt die durchschnittliche jährliche Versickerung auf **100-150 mm**, da die Bäume auf Grund ihrer Wurzeltiefe wesentlich mehr Wasser verdunsten können. Bedingt durch die höhere Wasserspeicherfähigkeit der lehmigen Böden der Hochflächen des Teltow und des Barnim, kann hier von der Vegetation ebenfalls wesentlich mehr Wasser verdunstet werden, so dass nur noch ca. **50-100 mm** versickern. In Bereichen mit flurnahem Grundwasser tritt durch den Kapillaraufstieg von Grundwasser in die verdunstungsbeeinflusste Bodenzone eine erhöhte Verdunstung auf, so dass im Jahresdurchschnitt nur noch weniger als **50 mm** versickern. Liegt die reale Verdunstung höher als der Niederschlag, tritt Wasserzehrung auf, d.h. die berechneten Werte sind negativ.

Einzelne Flächen haben Versickerungsleistungen von mehr als **300 mm**; hierbei handelt es sich um Flächen mit geringer Vegetationsbedeckung oder ohne Vegetation. Daher gelangen hier nur geringe Anteile des Niederschlags zur Verdunstung, der überwiegende Anteil versickert.

Werden die Daten der Karte 02.13.4 für die Abschätzung der Folgen zusätzlicher Versiegelungen im Rahmen von **Planverfahren** verwendet, ist folgendes zu beachten :

Die in der Karte angegebenen Versickerungsleistungen werden durch Versiegelungen nur dann auf Null reduziert, wenn die geplante Versiegelung tatsächlich völlig wasserundurchlässig ist (Dachflächen, Asphalt) und das Niederschlagswasser von diesen Flächen vollständig in die Kanalisation abgeleitet wird. Sind teilweise wasserdurchlässige Versiegelungen geplant oder soll das ablaufende Niederschlagswasser nur teilweise in die Kanalisation abgeführt werden, sind hinsichtlich der Reduzierung der Versiegelungsleistung entsprechende Abschläge vorzunehmen. Für **genauere Berechnungen** empfiehlt sich die Anwendung des Abflussmodells ABIMO, in dem auch simulierte Daten für geplante Flächenstrukturen als Eingangsdaten eingegeben und damit Ist-Bestand und Planung miteinander verglichen werden können.

Literatur

- [1] **Aey, W. 1993:**
Zuordnung von Bodenkenngrößen zu Bodengesellschaften und Nutzungen, Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz, Berlin.
- [2] **Bach, M. 1997:**
Erfassung des Kanalisierungsgrades versiegelter Flächen für ein urbanes Niederschlags-Abfluß-Modell am Beispiel Berlin, Diplomarbeit am FB Geowissenschaften der FU Berlin, Berlin.
- [3] **Bamberg, H.-F., Busse, W., Ginzel, G., Glugla, G., Schlinker, K., Ziegler, G. 1981:**
KdT-Empfehlung zur Ermittlung der Grundwasserneubildung. Zentrales Geologisches Institut. Gedruckt als WTL-Sonderheft 5, Berlin.
- [4] **Berlekamp, L.-R., Pranzas, N. 1992:**
Erfassung und Bewertung von Bodenversiegelung unter hydrologisch-stadtplanerischen Aspekten am Beispiel eines Teilraums von Hamburg. - Dissertation, Hamburg.
- [5] **Glugla, G., Tiemer, K. 1971:**
Ein verbessertes Verfahren zur Berechnung der Grundwasserneubildung. Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 21 (10): S. 349 – 353, Berlin.
- [6] **Glugla, G., Enderlein, R., Eyrich, A. 1976:**
Das Programm RASTER – ein effektives Verfahren zur Berechnung der Grundwasserneubildung im Lockergestein, Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 26 (11): S. 377 – 382, Berlin.
- [7] **Glugla, G., König, B. 1989:**
Der mikrorechnergestützte Arbeitsplatz Grundwasserdargebot. Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 39 (8): S. 178 – 181, Berlin.
- [8] **Glugla, G., Eyrich, A. 1993:**
Ergebnisse und Erfahrungen bei der Anwendung des BAGROV-GLUGLA-Verfahrens zur Berechnung von Grundwasserhaushalt und Grundwasserneubildung im Lockergestein Norddeutschlands. Kolloquium Hydrogeologie 10/93 Erfurt, 22-26.

- [9] **Glugla, G., Krahe, P. 1995:**
Abflußbildung in urbanen Gebieten. Schriftenreihe Hydrologie/Wasserwirtschaft 14, Ruhr-Universität Bochum, S.140-160.
- [10] **Glugla G., Fürtig, G. 1997:**
Dokumentation zur Anwendung des Rechenprogramms ABIMO. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Außenstelle Berlin.
- [11] **Glugla, G., Müller, E. 1997:**
Grundwasserneubildung als Komponente der Abflussbildung. in: C. Leibundgut & S. Demuth (Hrsg.): Grundwasserneubildung. Freiburger Schriften zur Hydrologie. Band 5, S. 23-35.
- [12] **Glugla, G., Goedecke, M., Wessolek, G., Fürtig, G. 1999:**
Langjährige Abflußbildung und Wasserhaushalt im urbanen Gebiet Berlin. Wasserwirtschaft, 89.Jahrgang Nr.1 1999 S. 34-42.
- [13] **Glugla, G., et.al. 2003:**
BAGLUVA Wasserhaushaltsverfahren zur Berechnung vieljähriger Mittelwerte der tatsächlichen Verdunstung und des Gesamtabflusses, BfG – 1342, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
- [14] **Graf, H.-F. 1979:**
Der Einfluß von Großstädten auf das Niederschlagsregime am Beispiel von Berlin. Dissertation A, Humboldt-Universität Berlin, Berlin.
- [15] **Kleeberg, H.-B., Niekamp, O. 1994:**
Klimaänderung und Wasserwirtschaft. Vortrag auf der 3. Deutschen Klimatagung, Tagungsband S. 136 – 140, Potsdam.
- [16] **Köppel, J., Deiwick, B. (TU Berlin) 2004:**
Verfahren zur Bewertung und Bilanzierung von Eingriffen im Land Berlin. Gutachten im Auftrag von SenStadt IE, unveröffentlicht.
- [17] **Rachimov, C. (pro data consulting) 1996:**
ABIMO 2.1, Abflußbildungsmodell, Algorithmus zum BAGROV-GLUGLA-Verfahren für die Berechnung langjähriger Mittelwerte des Wasserhaushalts, Programmbeschreibung; im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Außenstelle Berlin, unveröffentlicht.
- [18] **Rachimov, C., Rachimov, M. (pro data consulting) 2006:**
ABIMO 3, Abflußbildungsmodell, Algorithmus zum BAGROV-GLUGLA-Verfahren für die Berechnung langjähriger Mittelwerte des Wasserhaushalts, Programmbeschreibung; im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, unveröffentlicht.
- [19] **Richter, D. 1979:**
Informationsspeicher für die einheitliche Bestimmung der Verdunstungshöhe von freien Wasserflächen. Forschungsinstitut für Hydrometeorologie des Meteorologischen Dienstes der DDR, unveröffentlicht.
- [20] **Wessolek, G. 1994:**
Auswertung von Versuchen zur Ermittlung der Abflußverhältnisse unterschiedlich versiegelter und kanalisierter Flächen Berlins; im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Außenstelle Berlin, unveröffentlicht.
- [21] **Wessolek, G., Facklam, M. 1997:**
Standorteigenschaften und Wasserhaushalt von versiegelten Flächen. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 160,S. 41-46.

Karten

- [22] **Dyck, S. et al. 1978:**
Karte der potentiellen Verdunstung, in: Angewandte Hydrologie, Bd. 2, Verlag für Bauwesen, 1:1 000 000, Berlin.
- [23] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1994:**
Umweltatlas Berlin, Ausgabe 1994, Karte 04.08.1–3 Langjährige Niederschlagsverteilung, Karte 04.08.4 Abflußbildung aus Niederschlägen, 1:125 000, Berlin.

- [24] **SenStadtUmTech (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie Berlin) (Hrsg.) 1996:**
Umweltatlas Berlin, digitale Ausgabe, Karte 04.08.1–3 Langjährige Niederschlagsverteilung, Karte 04.08.4 Abflussbildung aus Niederschlägen, 1:125 000, Berlin.
- [25] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2003:**
Umweltatlas Berlin, Karte 02.07 Flurabstand des Grundwassers, 1:50 000, Berlin.
- [26] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2004a:**
Umweltatlas Berlin, Karte 01.02 Versiegelung, 1:50 000, Berlin.
- [27] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2004b:**
Umweltatlas Berlin, digitale Ausgabe, Karte 01.08 Geländehöhen, 1:50 000, Berlin.
- [28] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2004c:**
Umweltatlas Berlin, Karte 06.01 Reale Nutzung der bebauten Flächen, 1:50 000, Berlin.
- [29] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2004d:**
Umweltatlas Berlin, Karte 06.02 Grün- und Freiflächenbestand, 1:50 000, Berlin.
- [30] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2005a:**
Umweltatlas Berlin, Karte 01.01 Bodengesellschaften, 1:50 000, Berlin.
- [31] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2005b:**
Umweltatlas Berlin, Karte 06.07 Stadtstruktur, 1:50 000, Berlin.
- [32] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2006:**
Umweltatlas Berlin, Karte 02.09 Entsorgung von Regen und Abwasser, 1:50 000, Berlin.
- [33] **SenStadt (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin) (Hrsg.) 2007:**
Umweltatlas Berlin, Karte 02.17 Grundwasserneubildung, 1:50 000, Berlin.