

04.08 Langjährige Niederschlags- verteilung und Abflußbildung durch Niederschläge (Ausgabe 1994)

Langjährige Niederschlagsverteilung

Problemstellung

Den Niederschlag beeinflussende Faktoren

Intensität und Verteilung von Niederschlägen bestimmen nicht nur maßgeblich die meteorologischen sowie die klimatischen Verhältnisse in einem Gebiet, sondern unmittelbar auch die **Grundwasserneubildung** und die **Versorgung der Vegetation mit pflanzenverfügbarem Wasser**. Darüberhinaus bestimmen sie Auswaschungen aus der Atmosphäre und – über das Transportmedium "Sickerwasser" – **Schadstoffverlagerungen** im Untergrund.

Die mittlere Niederschlagsverteilung liefert wesentliche Grundaussagen für das Niederschlagsgeschehen in einem Gebiet. Für Einzelereignisse können die Niederschlagsverteilungen jedoch erheblich von den mittleren Niederschlagsverteilungen abweichen. So führten etwa die Starkregen im Anschluß an das Reaktorunglück in Tschernobyl im Mai 1986 zu einer sehr spezifischen zusätzlichen Belastungsverteilung der radioaktiven Kontamination in Europa aufgrund der unterschiedlichen Verteilung der Niederschläge (vgl. Karte 01.09, SenStadtUm 1992a).

Einen bedeutenden Einfluß auf die Witterungsverhältnisse in einem Gebiet hat die **Oberflächengestalt der Erde**. Gebirgs- und kleinere Hügelzüge aber auch bereits niedrige Landrücken haben einen Einfluß auf die Niederschlagshöhe, wie die vorliegenden Karten mittlerer Niederschlagsverhältnisse eines Landes oder einer Landschaft zeigen. Andere Einflußfaktoren stellen Wälder, Seen, Felder u. ä. dar (vgl. Flohn 1954). Auch Städte haben mit ihren Häuseransammlungen ab einer gewissen Flächengröße einen Einfluß auf die Höhe und Verteilung der Niederschläge.

Die Erhöhung von Niederschlägen, z. B. durch Steigungsregen, innerhalb eines begrenzten Gebietes ist vor allem auf den Einfluß der Bodenreibung, den sogenannten Rauigkeitsparameter, zurückzuführen. Außerdem beeinflussen die über Stadtgebieten vermehrt auftretenden Aerosole, die als Kondensationskerne wirken, die Wolken- und Niederschlagsbildung. Zusätzliche Niederschläge verursacht die Erwärmung eines Stadtgebietes bei speziellen Wettersituationen (Konvektionsniederschlag).

Bei den Betrachtungen der **Wirkungen von Stadtlandschaften** auf Höhe und Verteilung von Niederschlägen ist zu unterscheiden zwischen dem Einfluß der Stadtlandschaft auf die jeweils stattfindenden Niederschlagsprozesse und ihre Rolle als eigentlicher Auslöser von Niederschlägen.

Auswirkung von Niederschlägen

Bei der Wirkung von Niederschlagsereignissen ist ebenfalls zu differenzieren in die Atmosphäre reinigende Prozesse und die Belastungen für Teile der Natur. So bewirken starke Niederschläge nicht nur eine Reinigung der Luft. Durch die starke Oberflächenversiegelung als Folge aufwendiger Entsorgung von Regen und Abwasser erfolgt gleichzeitig ein Ausspülen einer Reihe von Schadstoffen, die konzentriert in die Regenwasserkanäle und damit in die Gewässer gelangen (vgl. Karte 02.09, SenStadtUm 1992b).

Berlin besitzt im Bereich des Trennsystems etwa 3.000 km reine Regenwasserkanäle, über die das durch Staub, Luftschadstoffe, Abrieb der Straßendecke und Autoreifen, Ölverluste etc. stark verunreinigte Niederschlagswasser an ca. 730 Stellen direkt in kleinere und größere

Oberflächengewässer geleitet wird. Innerhalb des Mischsystems, in dem häusliche, gewerbliche und industrielle Schmutzwässer sowie Regenwasser gemeinsam in einem Kanal gesammelt werden, können Starkregenereignisse zu einer kurzfristigen Überlastung des Entsorgungssystems führen, so daß das gesamte Mischwasser ungereinigt in die Gewässer fließt.

Die Quantifizierung der Auswirkungen einer städtischen Struktur auf den Niederschlag setzt in jedem Fall den langjährigen Betrieb eines umfangreichen Meßnetzes voraus, da anders als im ländlich geprägten Umland die Nutzungsstrukturen mit ihren Auswirkungen auf die vertikale Struktur der Stadt (Gebäude- und Vegetationshöhen) zusätzlich zu den topographischen Geländebewegungen zu betrachten sind.

Regionale Einordnung der Niederschlagsverhältnisse Berlins

Im regionalen Maßstab werden die Niederschlagsverhältnisse Berlins durch die Lage im Übergangsbereich zwischen kontinental und mehr ozeanisch geprägtem Klima bestimmt. Berlin gehört im deutschen Vergleich eher zu den trockenen Gebieten. So liegt hier die jährliche Durchschnittsniederschlagsmenge bei 568 mm pro Quadratmeter, während im gleichen Zeitraum auf dem Brocken ca. 1.400 mm niedergehen (vgl. Abb. 1).

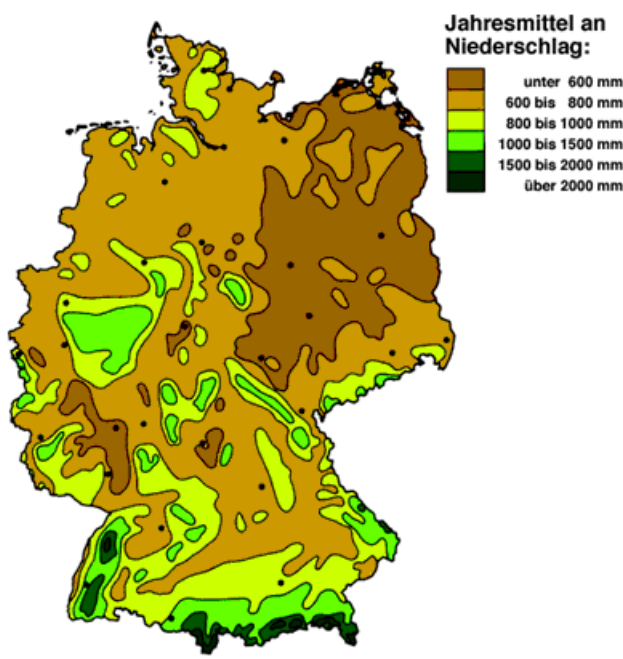


Abb. 1: Niederschlagsmengen in Deutschland (nach GEO-Spezial 1982)

Zusätzlich zu den bisher genannten Einflußgrößen muß zukünftig auch mit Auswirkungen der globalen Klimaänderungen auf das regionale Wasserdargebot gerechnet werden. Während der vergangenen 10.000 Jahre haben Klimaänderungen die geographische Verteilung der Niederschläge deutlich verändert. Obwohl Klimaänderungen in gleicher Größenordnung – nur erheblich rascher – in den nächsten 100 Jahren erwartet werden, lassen sich deren Auswirkungen auf Verteilung und Menge des regionalen Niederschlags jedoch noch nicht abschätzen (vgl. Kleeberg et al. 1994).

Datengrundlage

Als Datengrundlage standen die Ergebnisse von **97 Niederschlagsmeßstellen** für Berlin und das nähere Umland zur Verfügung, die von der Freien Universität bzw. dem Deutschen Wetterdienst betrieben werden (vgl. Schlaak 1991 und Deutscher Wetterdienst 1992 und vgl. Abb.2).

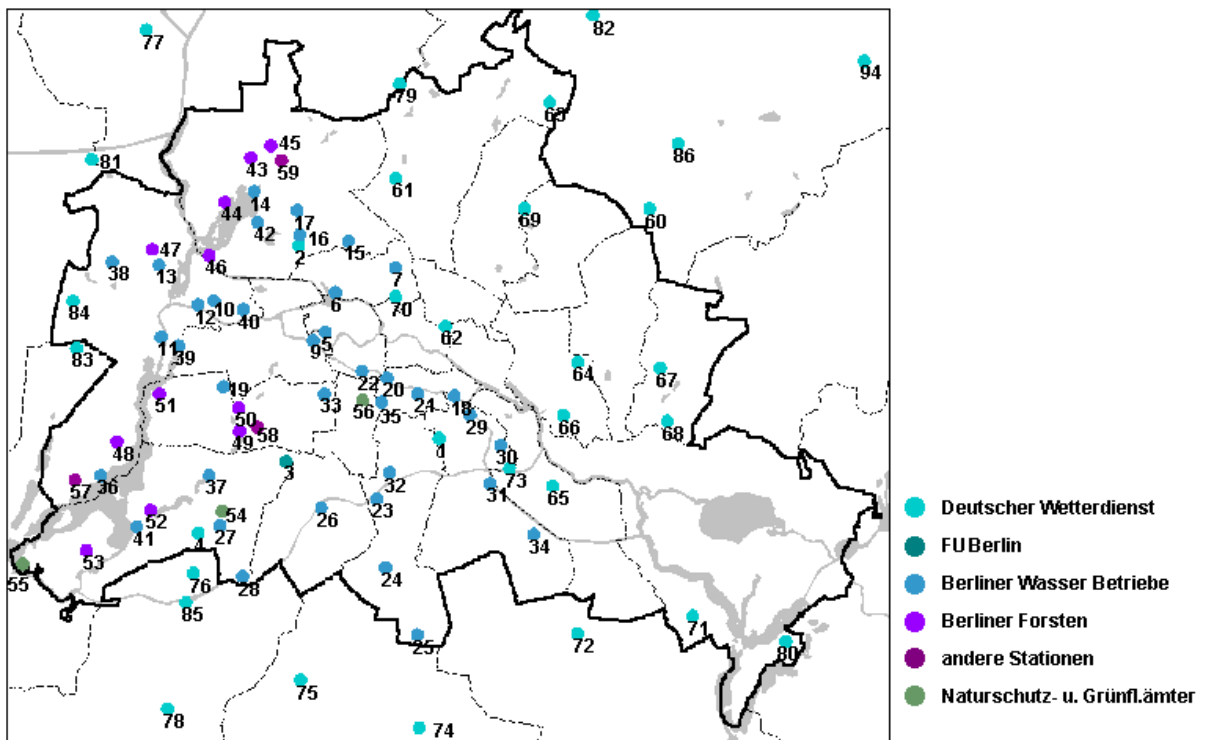


Abb. 2: Verteilung der Niederschlagsmeßstationen zur Berechnung der Niederschlagsgleichen

Das sind in West-Berlin 59 Meßstationen, in Ost-Berlin 14 Meßstationen und im Umland 24 Meßstationen.

Für alle Meßstellen lagen mittlere monatliche Niederschlagswerte aus 30 Jahren vor. Die Werte aus West-Berlin sind aus den monatlichen Niederschlagsmengen von 1961 bis 1990, die aus Ost-Berlin und dem Umland aus den Jahren 1951 bis 1980 errechnet. Dieser Unterschied muß hingenommen werden, da eine einheitliche Datenlage nicht geschaffen werden konnte. Für mehrere Meßstellen lagen Werte für beide Zeiträume vor. Es zeigte sich, daß die Unterschiede durch die Länge der Betrachtungszeiträume weitgehend zu vernachlässigen sind (vgl. Methode).

Einige Stationen aus Ost-Berlin und dem Umland haben lediglich reduzierte Zeitreihen. Für sie standen vom Deutschen Wetterdienst auf den Betrachtungszeitraum 1951 bis 1980 umgerechnete Werte zur Verfügung.

Methode

Die Gleichenpläne der langjährigen Niederschlagsverteilung wurden je Einzeldarstellung in zwei aufeinander aufbauenden Teilschritten aus den genannten Einzelwerten der 97 Meßstationen dv-gestützt erstellt:

- 1) Erzeugung eines regelmäßigen Gitters von Niederschlagswerten aus den unregelmäßig verteilten Grunddaten mittels eines geostatistischen Verfahrens (**Kriging**); hierzu wurde ein Grundraster von 1.000 m gewählt (vgl. Kannenber 1991 und 1992);
- 2) räumliche Interpolation der rasterförmigen Schätzwerte mit Hilfe des in das Umweltinformationssystem (UIS) Berlin eingebundenen Verfahrens zur Erstellung von Schichtstufenkarten (**SCOP**) (vgl. Karte 01.09, SenStadtUm 1992a).

Wie bereits geschildert, entstammen die Werte für West-Berlin der Zeitreihe 1961 – 90, diejenigen für Ost-Berlin und das nähere Umland den Jahren 1951 – 80. Für insgesamt sieben Stationen in Ost-Berlin und Umland lagen beide Zeitreihen vor. Die Abweichungen der aus jeweils 30 Jahren gewonnenen Mittelwerte beider Betrachtungszeiträume lagen bei durchschnittlich 1,1 % und waren damit vernachlässigbar im Vergleich zum Gesamtunterschied über das ganze Datenkollektiv von etwa 20 %. Deshalb konnte von einer im Vergleich zu anderen städtischen Untersuchungsräumen sehr dichten und guten Datenlage ausgegangen werden.

Für die Darstellung wurden folgende Zeiträume ausgewählt:

- langjähriges Jahresmittel 1961 – 1990
- langjähriges Sommerhalbjahresmittel 1961 – 1990
- langjähriges Winterhalbjahresmittel 1961 – 1990.

Unter Bezug auf den Verlauf des wasserwirtschaftlichen Abflußjahres (November – Oktober) werden im Sommerhalbjahr die Monate Mai bis Oktober und im Winterhalbjahr die Monate November bis April betrachtet.

In Tabelle 1 werden für die drei genannten Zeiträume und bezogen auf alle Meßstationen einige elementare statistische Parameter genannt.

| Tab. 1: Werteverteilung und -höhe der langjährigen Niederschläge für 97 Niederschlagsmeßstationen in Berlin und Umland | | | |
|--|------------|--------|--------|
| | Gesamtjahr | Sommer | Winter |
| Minimum (mm) | 515 | 287 | 208 |
| Maximum (mm) | 664 | 356 | 282 |
| Mittelwert (mm) | 568 | 322 | 247 |
| Varianz (mm) 1) | 745 | 287 | 241 |
| Standardabweichung 2) | 27,95 | 17 | 15,6 |

1) Die Varianz als Streuungsmaß ist die Summe der Abweichungsquadrate aller Meßwerte von ihrem arithmetischen Mittel, dividiert durch die Anzahl der Messungen.
 2) Die Standardabweichung ist die Wurzel aus der Varianz, sie wird auch als die mittlere Streuung der Einzelmessung bezeichnet.
 (Kannenberg 1991 und 1992)

Tab. 1: Werteverteilung und -höhe der langjährigen Niederschläge für 97 Niederschlagsmeßstationen in Berlin und Umland

Die Varianz der Werte aus West-Berlin ist deutlich höher als die aus Ost-Berlin/Umland. Dies kann möglicherweise ein Effekt der Interpolation einzelner Werte im Datenbestand für Ost-Berlin/Umland sein (vgl. Datengrundlage). Der Mittelwert vom Sommer für West-Berlin ist um ca. 20 mm niedriger, der Mittelwert vom Winter um ca. 20 mm höher als für Ost-Berlin/Umland.

Kartenbeschreibung

Grundsätzlich gilt, daß die Verteilungen von vermehrten und verminderten Niederschlagsmengen in Abhängigkeit von der jeweiligen jahreszeitlich differierenden Hauptwindrichtung (vgl. Abb. 4 und Karte 04.03, SenStadtUm 1994b) und den natürlichen oder auch anthropogen überformten orographischen Verhältnissen beeinflusst werden. Darüberhinaus ist zu allen Zeitpunkten die relative Niederschlagsarmut des Berliner Raumes bedeutungsvoll. Diese Ausgangssituation wird etwa für die Grundwassererneubildung noch dadurch verschlechtert, daß vor der Versickerung des Niederschlags ‚Verluste‘ durch Verdunstung und oberflächlichen Abfluß auftreten (vgl. Karte 04.08.4). Einige Niederschlagswerte sollen die spezielle Berliner Situation verdeutlichen (vgl. Abb. 3).

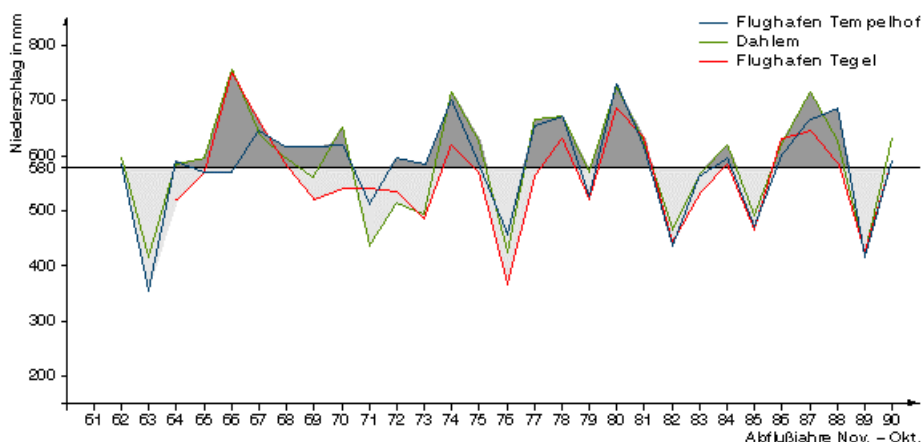


Abb. 3: Abweichungen der Jahresniederschlagssummen an den Stationen Flughafen Tegel, Flughafen Tempelhof und Dahlem vom langjährigen Durchschnittswert dieser Stationen 1961 – 1990 (nach Deutscher Wetterdienst 1994 und Schlaak 1991)

Karte 04.08.1: Langjährige Niederschlagsverteilung 1961 – 1990 / Winterhalbjahr

Die Verteilung der winterlichen Schnee- und Regenmengen unterscheidet sich sowohl von der Gesamtjahres- als auch von der Sommerhalbjahresverteilung. Zum einen sind die Schwankungen allgemein geringer als in den übrigen Betrachtungszeiträumen; zum anderen konzentrieren sich die Bereiche der höchsten Niederschlagsmengen mit über 275 mm nur auf die Räume des Tegeler und Grunewalder Forstes. Im östlichen Stadtgebiet und westlich der genannten Maxima fallen die Werte auf unter 240 mm. In dieser spezifischen Verteilung kommt der im Winterhalbjahr überwiegende Einfluß östlicher kontinentaler und niederschlagsärmerer Strömungen zum Tragen. Der Stadteinfluß durch die Bebauung wirkt sich hier erst westlich der Linie Neukölln, Schöneberg, Charlottenburg, Reinickendorf aus und fällt dann mit der Rauheitswirkung der waldbestandenen Höhenzüge zusammen.

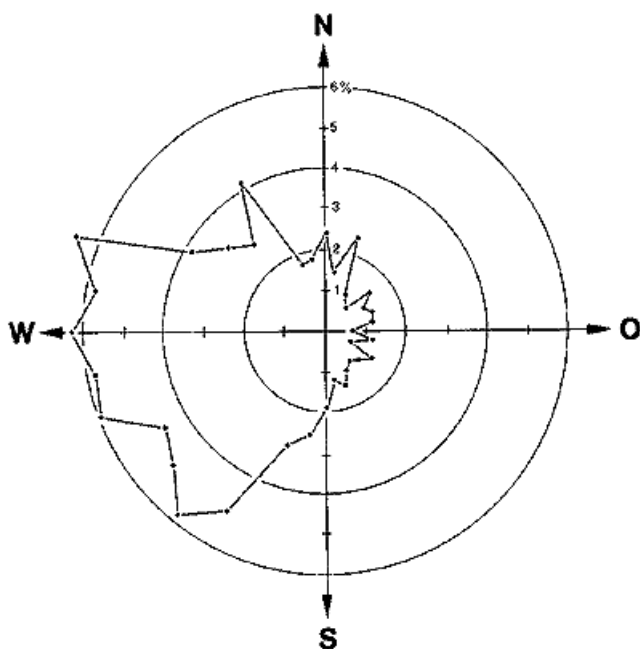


Abb. 4: Niederschlagsmenge je 10°-Sektor der Windrose in Prozent, Berechnungsgrundlage: 597 mm pro Jahr (Institut für Meteorologie, FU Berlin 1973 – 1982, aus: SenStadtUm 1991)

Karte 04.08.2: Langjährige Niederschlagsverteilung 1961 – 1990 / Sommerhalbjahr

Die Verteilung der sommerlichen Niederschläge (Monate Mai bis Oktober) ist der Verteilung des Gesamtjahres sehr ähnlich. Auch hier bestimmen die Höhenzüge des Grunewaldes einerseits sowie die Bebauungswirkung der Stadt andererseits die Maxima der Regenhöhen. Demgegenüber sind in den jeweils östlich und südlich angrenzenden Räumen Minima bis unter 300 mm zu erkennen. Im Vergleich zum Winterhalbjahr (Karte 04.08.1) fallen in den Sommermonaten durchschnittlich 80 mm mehr Niederschläge, was auf den in diesen Monaten prägenden Einfluß maritimer West-Wind-Wetterlagen zurückzuführen ist.

Karte 04.08.3: Langjährige Niederschlagsverteilung 1961 – 1990

Deutlich treten die höchsten Werte (>600 mm) im westlichen Stadtgebiet im Bereich des Grunewaldes und des Tegeler Forstes hervor. Obwohl nur schwach ausgeprägt, erzeugen die hier vorhandenen Höhenzüge im Verlauf der im Mittel vorherrschenden westlichen Strömungen Steigungsregen. Im Lee der Höhenzüge im Bereich der Spreeniederung in den zentralen Stadtbezirken Charlottenburg, Tiergarten, Wedding, Mitte, Kreuzberg und Schöneberg werden geringere Niederschlagshöhen bis unter 540 mm registriert. Diese Leewirkung setzt sich im südlichen Bereich der Stadt und im angrenzenden Umland fort, wo im Bereich Großziethen/Waßmannsdorf ebenfalls Werte unter 540 mm erreicht werden. Östlich der Linie Prenzlauer Berg, Lichtenberg, nördliche Bereiche Treptow und Köpenick zeigt sich deutlich der Einfluß der städtischen Struktur. Durch die erhöhte Reibungswirkung der Baumassen kommt es zu einem ähnlichen Effekt wie bei den Höhenzügen des Grunewaldes, so

daß auch hier die Regenmengen auf Werte bis knapp 600 mm ansteigen. Außerdem macht sich der bereits beschriebene Wärmeinsel-Effekt der Stadt mit Konvektionsniederschlag bemerkbar. Die Leewirkung der Stadt ist dann wieder im östlich angrenzenden Umland mit sinkenden Niederschlagshöhen zu beobachten.

Abflußbildung durch Niederschläge

Problemstellung

Definition

Das durch Niederschläge einem Gebiet zugeführte Wasser wird in Abhängigkeit von Gebietseigenschaften und klimatologischen Bedingungen mit unterschiedlichen Anteilen in die Wasserhaushaltsgrößen Verdunstung, ober- und unterirdischer Abfluß und Wasservorratsänderung aufgeteilt. Der hier betrachtete Parameter **Abflußbildung** ergibt sich als zeitlicher Mittelwert aus der Differenz zwischen Niederschlägen und Verdunstung pro Teilfläche eines Wassereinzugsgebiets, d. h. die Wasservorratsänderung (Boden-, Grundwasser, Gewässer) wird vernachlässigt. Die Abflußbildung charakterisiert am besten die hydrologischen Bedingungen von Teilflächen und Einzugsgebieten. Vegetationsbedeckte Flächen und besonders Flächen mit flurnahem Grundwasser bzw. Gewässerflächen verdunsten viel, versiegelte Flächen wenig, so daß die Abflußbildung im ersten Fall gering, im anderen Fall hoch ist. Zusätzlich zur Abflußbildung wird die Teilfläche durch ober- und unterirdischen Zufluß aus der Abflußbildung oberhalb liegender Teilflächen gespeist. Die aus Abflußbildung und Zufluß stammenden Wassermengen fließen zu unterhalb liegenden Flächen ab. Für geschlossene Einzugsgebiete entspricht die Summe des gebildeten Abflusses aller Teilflächen dem gesamten ober- und unterirdischen Abfluß des Gebietes, dem **Wasserdargebot**. Die im allgemeinen geringere nutzbare Wassermenge ist daraus unter Berücksichtigung hydrologischer (zeitliche Verfügbarkeit), hydrogeologischer (Gewinnbarkeit), hydrochemischer (Beschaffenheit) sowie nutzungsbedingter (Grad der Bebauung, Schutzgebiete) Faktoren zu ermitteln.

Aussagekraft des Parameters

Kenntnisse zur Regionalverteilung der Abflußbildung sind Grundlage, um

- den Naturraum hinsichtlich der Wasserressourcen zu beurteilen sowie Nähr- und Zehrgebiete auszuweisen,
- die Wasserressourcen durch Gegenüberstellung von Wasserdargebot und Wassernutzung zu ermitteln und Maßnahmen zur nachhaltigen Sicherung der Wasserversorgung zu ergreifen,
- ressourcenschonende wasserwirtschaftliche Nutzungsgenehmigungen zu erteilen,
- je nach Verfügbarkeit der Wasserressourcen, Anlagen der Wassernutzung hinsichtlich Lage und Bemessung optimal festzulegen.

Als Medium des Stofftransports ist die **ausgewiesene maximal verfügbare Abflußmenge** notwendige Berechnungsgröße für die Stofffracht und somit für die Einschätzung der Kontaminationgefährdung der Wasserressourcen.

Gebietsbeschreibung

Das Gebiet Berlin-Brandenburg ist Teil des norddeutschen Tieflandes mit relativ mächtigen Lockergesteinsablagerungen. Dazu gehören die eiszeitlich geprägten Grundmoränen-Hochflächen, in denen die Grundwasserleiter von 10 bis 30 m mächtigen und gering durchlässigen Geschiebemergelkomplexen bedeckt werden.

Die Bereiche der Endmoränen sind aufgrund ihrer heterogenen Gesteinszusammensetzungen und der glazialdynamisch bedingten Störzonen als unbedeckte komplexe Grundwasserleiter zu betrachten.

In den Gebieten der Grund- und Endmoränen wird das Grundwasser der einzelnen Stockwerke insgesamt aus der Abflußbildung gespeist. Hier muß jedoch durch hydrologische Untersuchungen und Abflußbeobachtungen in den Wasserläufen geklärt werden, welcher Anteil der Speisungsmengen im oberen Grundwasserstockwerk lokal genutzt werden kann, welcher Anteil als bodeninnerer Abfluß zu den Wasserläufen der Hochflächen gelangt oder über tiefere Grundwasserstockwerke als

Grundwasserabfluß zu den Urstromtälern abfließt. Diese Berechnungen setzen die Kenntnis des unterirdischen Einzugsgebietes (Bilanzgebiet) voraus.

Die eiszeitlichen Schmelzwasserablagerungen der Sander und Urstromtäler bilden dagegen großflächig unbedeckte Grundwasserleiter, d. h. sie werden nicht von stauenden Schichten überdeckt. Im Gebiet der Urstromtäler und Sander versickert das infiltrierte Niederschlagswasser nach Minderung durch die Verdunstung bis zur Grundwasseroberfläche; im zeitlichen Mittel entspricht hier die Grundwasserneubildung der Abflußbildung (vgl. Karte 01.05, SenStadtUm, in Vorbereitung).

Besondere hydrologische Probleme treten in städtischen Gebieten mit **versiegelten Flächen** (Gebäudedächer, Straßen, Plätze usw.) auf. Hier ist die Abflußbildung infolge verminderter Wasserspeicherung deutlich erhöht gegenüber unversiegelten Flächen. Je nach der Regenwasserableitung fließt ein Teil des Niederschlags den Wasserläufen direkt zu (vgl. Karte 02.09, SenStadtUm 1992b). 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 Ausbaus der Regenwasserableitung die Grundwasserneubildung aus der Abflußbildung durch Abzug der Regenwasserableitung ermittelt werden. Solche Aussagen sind relevant für den Wasser- und Stoffhaushalt der innerstädtischen Wasserläufe und des Grundwassers.

Datengrundlage

Die Karte des Gesamtabflusses ist die auf das Land Berlin aktualisierte Ausgabe der Karte 2.03 ("Abflußbildung aus Niederschlägen und mittlere jährliche Niederschläge") aus der "Ökologischen Ressourcenplanung Berlin und Umland" von 1991/92. Der Kartenmaßstab wurde von 1:200 000 (Rasterfläche: 2,5 x 2,5 km) auf nunmehr 1:125 000 (Rasterfläche 1 x 1 km) vergrößert. Hierauf beziehen sich Gebietsinformationen und Berechnungen. Oberflächenwasser und Niederungsgebiete mit flurnahem Grundwasser werden für die Rasterfläche anteilig erfaßt und bei der Abflußberechnung entsprechend berücksichtigt. Die Abflußberechnungen beziehen sich auf die vorgenannte Niederschlagsreihe 1961 – 1990.

Im einzelnen gingen folgende Daten ein:

Gesamt-Berlin

- **langjährige Niederschlagsverteilung** 1961 – 1990 (vgl. Karten 04.08.1 – 3, SenStadtUm 1994a),
- Werte der **potentiellen Verdunstung**, entnommen einer Karte 1:1 Million (verkleinerte Übersicht in: Dyck et al. 1978, Bild 3.26), die mit den Daten von Klimastationen der ehemaligen DDR aus dem Strahlungssaldo einer stets feuchten Fläche nach Budyko erstellt wurde,
- **Gewässerverdunstung** aus einer Karte der Verdunstungsbereiche (650, 700, 750 bzw. 800 mm/a) (vgl. Richter 1979),
- für Gebiete mit forstlicher Nutzung (außer Aufforstungsgebiete ehemaliger Rieselfelder) wurde eine mittlere Alterszusammensetzung zugrunde gelegt und somit Baumart und -alter nicht speziell berücksichtigt.

Ost-Berlin:

- Informationen zur **Landnutzung** aus den topographischen Karten (Ausgabe für die Volkswirtschaft) im Maßstab 1:25 000 (Stand 1975/81) und 1:10 000 (Stand 1980/85) mit Spezifikationen zu
- Klasse der landwirtschaftlichen Erträge aus Angaben der Schlagkartei der landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften sowie nach Schätzungen,
- Baumart und -alter für die Aufforstungsgebiete der ehemaligen Rieselfelder Berlin-Nord,
- **Versiegelungsgrad** durch prozentuale Einschätzung der bebauten (versiegelten) Flächen wie Gebäude, Straßen, Plätze, Hofflächen usw. an der Rasterfläche mittels Rasterschablone mit einer geschätzten Abweichung vom Ist-Wert von etwa ± 5 bis ± 10 %.

- Das nicht versiegelte Gebiet wurde nach dem Dominanzprinzip in eine der Hauptnutzungsformen (land- bzw. forstwirtschaftliche Fläche, gärtnerische Nutzung, Gewässer) eingestuft.
- Angaben zur **Bodenart** aus Bodenschätzungskarten im Maßstab 1:10 000 bzw. 1:25 000 (Stand 1934/51) und aus bodengeologischen Karten,
- Angaben zum **Grundwasser-Flurabstand** aus der Differenz der Angaben zur geodätischen Höhe (Topographische Karte 1:10 000 bzw. 1:25 000) und zum Grundwasserstand des oberen Grundwasserstockwerks (Hydrogeologische Karte im Maßstab 1:50 000, Karte 2.2).

West-Berlin:

Information zur **Landnutzung**:

- Land- bzw. forstwirtschaftliche Nutzfläche, gärtnerische Nutzfläche oder Gewässerfläche mit Einstufung nach dem Dominanzprinzip, aus der Umweltatlas-Karte 06.02 Grün- und Freiflächenbestand (SenStadtUm 1987) und der Satelliten-Bildkarte von Berlin (SenBauWohn 1989),
- **Versiegelungsgrad** bebauter Flächen nach der Umweltatlas-Karte 01.02 Versiegelungsgrad (SenStadtUm 1993, Arbeitsstand 1988),
- Angaben zur **Bodenart** nach der Umweltatlas-Karte 01.01 Bodengesellschaften (SenStadtUm 1985a),
- Angaben zum **Grundwasser-Flurabstand** aus der Umweltatlas-Karte 02.07 Flurabstand des Grundwassers (SenStadtUm 1985b).

| Tab. 2: Übersicht zu den berücksichtigten Einflußgrößen | |
|---|--|
| Einflußgrößen | Parameter |
| klimatische Größen | Niederschlag potentielle Verdunstung |
| Hauptnutzungsformen | landwirtschaftliche Nutzung - Klasse landwirtschaftlicher Erträge forstliche Nutzung - Baumart und - Baumalter für Aufforstungsflächen der ehemaligen Rieselfelder gärtnerische Nutzung urbane Flächen - Versiegelungsgrad vegetationslose Flächen Gewässer |
| Bodenart | Unterscheidung von Sand, anlehmiger Sand, lehmiger Sand, stark lehmiger Sand, sandiger Lehm, Lehm (toniger Lehm, Ton) |
| Grundwasser-Flurabstand | Klasse des Grundwasser-Flurabstands Wert des Grundwasser-Flurabstands, insbesondere für Gebiete mit flurnahem Grundwasser |

Tab. 2: Übersicht zu den berücksichtigten Einflußgrößen

Methode

Verdunstung

Die Abflußbildung 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 Wärmeangebot (Strahlungssaldo) sowie den mittleren Speichereigenschaften der verdunstenden Flächen berechnet. Das Wärmeangebot wird durch die der Wärmemenge entsprechende verdunstende Wassermenge – die sogenannte **potentielle Verdunstung** – ersetzt. 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 realer Verdunstung einerseits sowie Niederschlag, potentieller Verdunstung und Verdunstungseffektivität des Standorts andererseits genügt die Beziehung nach Bagrov (vgl. Glugla et al. 1971, Glugla et al. 1976, Bamberg et al. 1981 und vgl. Abb. 5). 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 Kapillarrowasserzufuhr aus dem Grundwasser dem Niederschlag zugerechnet wird.

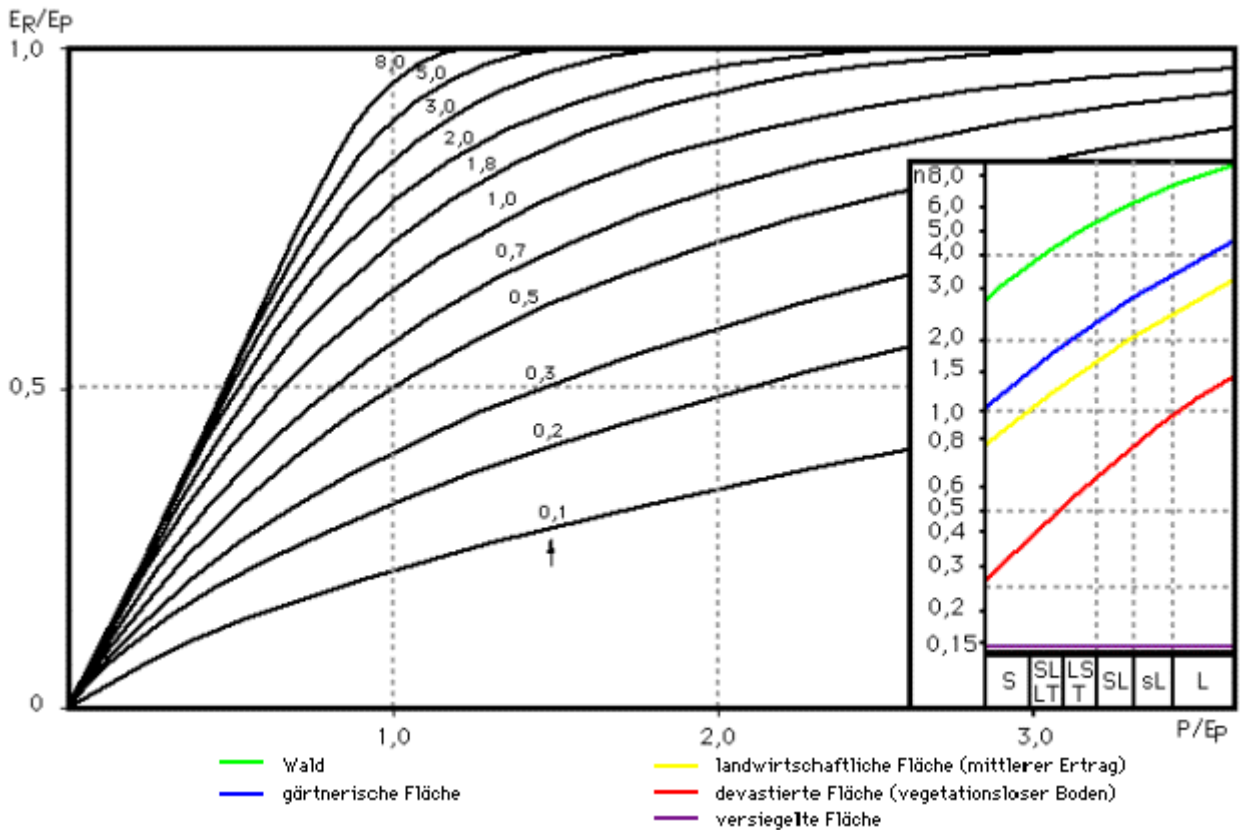


Abb. 5: Darstellung der Bagrov-Gleichung für ausgewählte Werte des Parameters n und Abhängigkeit dieses Parameters von Landnutzung und Bodenart (nach Glugla 1994)

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.

Nutzbare Feldkapazität

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.

Einschätzung der Berechnungsverfahren

Die Aussagekraft und Genauigkeit des Berechnungsverfahrens wurde durch Vergleich des aus der Abflußbildung berechneten Gesamtabflusses mit beobachteten Abflußwerten geschlossener Flußeinzugsgebiete geprüft. Danach liegt die mittlere Abweichung des berechneten Abflusses vom Beobachtungswert für Gebietsgrößen zwischen 25 und 50 km² bei ca. ±15 bis ±10 %, für Gebiete zwischen 50 und 1.000 km² bei ca. ±10 bis ±5 % und für die Gebiete über 1.000 km² unter ±5 % . Für die hier dargestellten einzelnen Rasterflächen (1 km²) wird die mittlere Abweichung mit etwa ±25 % eingeschätzt. Die Berechnungswerte der Abflußbildung wurden auf volle 5 mm/a auf- bzw. abgerundet. Die Abflußberechnung erfolgte mit dem Rechenprogramm RASTER (vgl. Glugla et al. 1989).

Punktuelle Versickerung, z. B. durch Grundwasseranreicherung für Wasserwerke wurde nicht berücksichtigt. Bei gärtnerischer Nutzung wurde zusätzlich zum Niederschlag für die Beregnung ein einheitlicher Näherungswert in Ansatz gebracht.

Kartenbeschreibung

Räumliche Beschreibung

Die für die Rasterflächen von 1 x 1 km ermittelten Werte des Abflusses zeigen regional beträchtliche Unterschiede. Sie geben den Erwartungen gemäß folgende wesentliche Einflußfaktoren wieder:

Hohe Werte bei der Abflußbildung treten bei stark versiegelten Flächen des Innenstadtbereichs auf. Ein Großteil des Wassers aus der Abflußbildung im urbanen Gebiet Berlins gelangt über die Regenwasserkanalisation direkt in die Wasserläufe (vor allem Spree und Kanäle) und geht so der Grundwasserneubildung verloren. Erst durch detaillierte Kenntnisse der örtlichen Verteilung der Regenwasserableitung sind fundierte Aussagen zur Grundwasserneubildung im urbanen Gebiet möglich.

Wasserzehrung (negative Werte) bzw. geringfügige Abflußbildung ergeben sich für größere zusammenhängende Seen- und Feuchtgebiete. Im nicht urbanen Gebiet entspricht die Wassermenge aus der Abflußbildung der Grundwasserneubildung des oberen Grundwasserstockwerks. Diese oberen Stockwerke speisen auf den Hochflächen lateral Oberflächengewässer und vertikal untere Grundwasserstockwerke. Im Urstromtalbereich ist die Wassermenge aus der Abflußbildung der Grundwasserneubildung des Hauptgrundwasserleiters gleichzusetzen.

Anwendungsbeispiele

Zwei Anwendungsbeispiele sollen erläutern, wie die Karte der Abflußbildung für die Ermittlung der Wasserressourcen genutzt werden kann.

- Gefragt sei der mittlere unterirdische Abfluß von der Grundmoränenfläche (Barnim) zum Urstromtal für ein geschlossenes unterirdisches Bilanzgebiet (Einzugsgebiet einer Wasserfassung mit Flächenanteil auf der Hochfläche und im Urstromtal):

Zunächst ist das Wasserdargebot (Gesamtabfluß) des Gebietsteils auf der Hochfläche aus der Summe der Abflußbildung aller Rasterflächen zu errechnen (ggf. über die Landesfläche hinaus). Vom Wasserdargebot der Hochfläche ist der Durchfluß in den Wasserläufen im Grenzbereich Hochfläche/Urstromtal der die Hochfläche verlassenden Wasserläufe abzuziehen. Auch Entnahmen aus Grund- oder Oberflächenwasser im Hochflächenbereich sind vom Wasserdargebot abzuziehen, sofern diese Entnahmen nicht als Abwasser im Gebiet der Hochfläche verbleiben. Der errechnete Differenzwert entspricht dem mittleren unterirdischen Abfluß von der Hochfläche.

- Gefragt sei der Uferfiltratanteil von Grundwasserentnahmen für das obengenannte Beispielgebiet, das im Urstromtalbereich von einem Oberflächengewässer tangiert wird:

Das Wasserdargebot wird aus der Summe der Abflußbildung aller Rasterflächen im Urstromtalbereich berechnet zuzüglich dem vorstehend ermittelten unterirdischen Abfluß aus der Hochfläche. Zieht man von den Grundwasserentnahmen das vorgenannte Wasserdargebot ab, so ergibt sich annähernd die Menge des uferfiltrierten Wassers. Bei detaillierten Untersuchungen sind zusätzlich die Ein- und Ausgangsdurchflüsse von Wasserläufen zu berücksichtigen, die den Urstromtalbereich durchfließen. Im Falle beträchtlicher Flächenversiegelung sind vom berechneten Wasserdargebot die Wassermengen abzuziehen, die durch Regenwasserableitung direkt in die Oberflächengewässer gelangen.

Literatur

- [1] **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.
- [2] **Deutscher Wetterdienst, Zentralamt Offenbach 1992:**
Dateiauszug zu vieljährigen Mittelwerten des Niederschlags von Meßstationen im Großraum Berlin, unveröffentlicht.
- [3] **Deutscher Wetterdienst, Zentralamt Offenbach 1994:**
Niederschlagshöhen 1961 – 1990 von drei ausgewählten Berliner Meßstationen, unveröffentlicht.
- [4] **Flohn, H. 1954:**
Witterung und Klima in Mitteleuropa, Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Stuttgart.
- [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. 1994:**
Beitrag zum Kolloquium Hydrogeologie Erfurt 10/1993, in Vorbereitung.
- [9] **Graf, H.-F. 1979:**
Der Einfluß von Großstädten auf das Niederschlagsregime am Beispiel von Berlin. Dissertation A, Humboldt-Universität Berlin, Berlin.
- [10] **Kannenbergh, M. 1991:**
Interpolation von Niederschlagswerten des Raumes Brandenburg und Berlin mit dem Kriging-Verfahren, Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, unveröffentlicht.
- [11] **Kannenbergh, M. 1992:**
Statistische Auswertung von Messungen des Halbjahresniederschlags des 30jährigen Mittels im Raum Berlin, Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, unveröffentlicht.
- [12] **Kleeberg, H.-B., Niekamp, O., 1994:**
Klimaänderung und Wasserwirtschaft. Vortrag auf der 3. Deutschen Klimatagung, Tagungsband S. 136 – 140, Potsdam.
- [13] **Richter, D. 1979:**
Informationsspeicher für die einheitliche Bestimmung der Verdunstungshöhe von freien Wasserflächen. Forschungsinstitut für Hydrometeorologie des Meteorologischen Dienstes der DDR, unveröffentlicht.
- [14] **Schlaak, P. 1988:**
Niederschlag, in: VDI-Kommission Reinhaltung der Luft (Hrsg.): Stadtklima und Luftreinhaltung, Springer-Verlag, S.141 – 150, Berlin.

- [15] **Schlaak, P. – FU Berlin, Institut für Meteorologie 1991:**
Jahres- und Halbjahresniederschlagsmengen langjährig betreuter Meßstationen, unveröffentlichte Berichtsblätter und persönliche Mitteilungen.
- [16] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1991:**
Luftreinhalteplan für das Belastungsgebiet Berlin (West) 1986 – 1993, Nr.1 Informationsreihe zur Luftreinhaltung in Berlin, 2. Auflage, Berlin.

Karten

- [17] **Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg, Bereich Bodenkunde Eberswalde (Hrsg.) 1978:**
Mittelmaßstäbige landwirtschaftliche Standortkartierung 1:100 000.
- [18] **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Umweltbundesamt 1991:**
F+E-Vorhaben 10902043, Ökologische Ressourcenplanung Berlin und Umland, Planungsgrundlagen, gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Karte 2.03 Abflußbildung aus Niederschlägen und mittlere jährliche Niederschläge, 1:200 000, unveröffentlicht.
- [19] **Geo-Spezial 1982:**
Das Wetter, Verlag Gruner & Jahr, Hamburg.
- [20] **Institut für Wasserwirtschaft (Hrsg.) 1989:**
Karte der Grundwasserverhältnisse Raum Berlin, 1:50 000, Berlin.
- [21] **Karte der potentiellen Verdunstung 1:1 000 000, in: Dyck, S. et al. 1978: Angewandte Hydrologie, Bd. 2, Verlag für Bauwesen, Berlin.**
- [22] **Karten der Reichsbodenschätzung, 1:10 000 (für Berlin), 1:25 000 (für Land Brandenburg), unveröffentlicht.**
- [23] **Ministerium des Innern der DDR, Verwaltung Vermessungs- und Kartenwesen (Hrsg.) 1978ff:**
Topographische Karten (Ausgabe für die Volkswirtschaft) 1:10 000 (Stand 1980/85), ca. 50 Blatt; 1:25 000 (Stand 1975/81) ca. 10 Blatt, Berlin.
- [24] **Preußisch Geologische Landesanstalt (Hrsg.) 1937:**
Geologische Spezialkarte 1:25 000 (10 Blatt), Berlin.
- [25] **SenBauWohn (Senatsverwaltung für Bau- und Wohnungswesen Berlin) V – Vermessungswesen (Hrsg.) 1989:**
Satellitenkarte von Berlin, 1:50 000, Berlin.
- [26] **SenStadtUm (Der Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1985a:**
Umweltatlas Berlin, Karte 01.01 Bodengesellschaften, 1:50 000, Berlin.
- [27] **SenStadtUm (Der Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1985b:**
Umweltatlas Berlin, Karte 02.07 Flurabstand, 1:50 000, Berlin.
- [28] **SenStadtUm (Der Senator für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1987:**
Umweltatlas Berlin, Karte 06.02 Grün- und Freiflächen, 1:50 000, Berlin.
- [29] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1992a:**
Umweltatlas Berlin, Ausgabe 1992, Karte 01.09, Radioaktivität im Boden (Cäsium-134 und Cäsium-137), 1:125 000, Berlin.
- [30] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1992b:**
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 1992, Karte 02.09 Entsorgung von Regen und Abwasser, 1:50 000, Berlin.
- [31] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1993:**
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 1993, Karte 01.02 Versiegelung, 1:50 000, Berlin.

- [32] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1994a:**
Umweltatlas Berlin, Ausgabe 1994, Karte 04.08.1 – 3 Langjährige Niederschlagsverteilung, 1:125 000, Berlin.
- [33] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.) 1994b:**
Umweltatlas Berlin, aktualisierte und erweiterte Ausgabe 1994, Karte 04.03 Bodennahe Windgeschwindigkeiten, 1:85 000, Berlin.
- [34] **SenStadtUm (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin) (Hrsg.):**
Umweltatlas Berlin, Ausgabe 1994, Karte 01.05 Geologie, 1:50 000, in Vorbereitung.
- [35] **VEB Forstprojektierung Potsdam (Hrsg.) 1956ff.:**
Karten der Forstwirtschaftlichen Standortkartierung, 1:10 000, Potsdam.
- [36] **Zentrales Geologisches Institut (Hrsg.) 1984:**
Hydrogeologische Karte der DDR, Karte der Hydroisohypsen, 1:50 000 (6 Blatt), Berlin.