

E. Damm

# Verfügbare Wasserressourcen in der Emscherregion für eine aktive Kühlung durch Böden während Trockenperioden

Gefördert durch:





# VERFÜGBARE WASSERRESSOURCEN IN DER EMSCHERREGION FÜR EINE AKTIVE KÜHLUNG DURCH BÖDEN WÄHREND TROCKENPERIODEN

Abschlussarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Master of Science (M.Sc.) an der RWTH Aachen, Lehr- und Forschungsgebiet Abfallwirtschaft

Eva Damm

Betreuung bei der ahu AG, Aachen: Herr Dr. Michael Denneborg und Frau Dr. Silke Höke

---

*dynaklim*-Publikation Nr. 47

---



## Kurzfassung deutsch:

Grünflächen können durch die Verdunstung von Wasser eine kühlende Wirkung auf ihre Umgebung haben. In trockenen Sommern steht oft nicht ausreichend Wasser für eine optimale Kühlleistung der Flächen zu Verfügung. Klimamodellierungen prognostizieren eine Häufung dieser Sommer. Der Wasserbedarf, der für die Kühlleistung von Grünflächen bedeutend ist, wird zukünftig steigen. An drei Parkanlagen in der Stadt Bottrop wurden der Bedarf sowie die verfügbaren Wasserressourcen für eine Optimierung der Kühlleistung in extrem trockenen Sommern ermittelt und gegenübergestellt. Aus den Ergebnissen konnten Handlungsoptionen für eine zukünftige Umsetzung zur Verbesserung des Stadtklimas abgeleitet werden.

## Kurzfassung englisch:

Green spaces have a cooling effect on their surroundings due to the evaporation of water. In dry summers there is often not enough water for an optimum cooling capacity available. Climate models predict an accumulation for this summer. The demand of water which is important for the cooling capacity of green spaces will increase in the future. The demand and the available water resources for an optimized cooling capacity in extremely dry summers were determined and compared at three parks in the city of Bottrop. Action needed for a future implementation and thus an improvement of the urban climate were derived from the results.

## Schlagworte (im *dynaklim*-Wiki<sup>1</sup>)

Kühlfunktion Boden, Stadtboden, Stadtbodenkartierung

---

<sup>1</sup> <http://www.dynaklim.de/dynaklim/index/wissensmanagement/wiki.html>

## Inhalt

1	Einleitung	8
1.1	Anlass	8
1.2	Vorgehen	9
2	Grund- und Regenwasserbewirtschaftung in der Emscherregion	10
2.1	Grundwasserbewirtschaftung	11
2.2	Regenwasserbewirtschaftung	12
3	Aktive Bodenkühlung	13
3.1	Das System der natürlichen Kühlung	13
3.2	Bewässerung zur Erhöhung der Kühlleistung	14
3.2.1	Bodenphysikalische, pflanzliche und klimatische Einflüsse	14
3.2.2	Bewässerungssteuerung	15
4	Methoden zur Ermittlung von Wasserbedarf und Deckungsmengen	17
4.1	Datengrundlage	17
4.2	Berechnungsverfahren	18
4.2.1	Wasserbedarf für eine aktive Bodenkühlung	18
4.2.2	Deckungsmengen aus der Grund- und Regenwasserbewirtschaftung	25
5	Untersuchungsgebiete	27
5.1	Ehrenpark	29
5.2	Stadtgarten	32
5.3	Volkspark	35
6	Wasserbedarf für eine aktive Bodenkühlung	37
6.1	Ehrenpark	37
6.2	Stadtgarten	42
6.3	Volkspark	46
7	Deckungsmöglichkeiten aus den Untersuchungsgebieten	51
7.1	Grundwasserbewirtschaftung	51
7.2	Regenwasserbewirtschaftung	55
8	Bedarfsdeckung aus der Grund- und Regenwasserbewirtschaftung	61
8.1	Verfügbarkeit von Grund- und Regenwasser für eine aktive Bodenkühlung der Untersuchungsgebiete	61
8.2	Handlungsoptionen für eine Bedarfsdeckung der aktiven Bodenkühlung	65
8.2.1	Wasserangebotsseite	66
8.2.2	Wasserbedarfsseite	67
9	Offene Fragen	69
10	Zusammenfassung und Ausblick	71
	Literaturverzeichnis	71

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Vergleich der diskontinuierlichen Bewässerung von kleinen und großen Bodenwasserspeichern im extrem trockenen Sommer 1976	16
Tab. 2:	Bodenartabhängige kapillare Aufstiegshöhe [dm] bei einer täglichen kapillaren Aufstiegsrate von 5 [mm/d] (Müller & Waldeck 2011)	24
Tab. 3:	Abflussbeiwerte befestigter Flächen aus Dwa A138 (2005) und Din 18035-3 (2006)	26
Tab. 4:	Klimadaten zu den betrachteten Sommern im Klimareferenzzeitraum, abgeleitet aus den Daten der DWD Wetterstationen Bochum und Essen Bredeneu	28
Tab. 5:	Zusammenfassung relevanter Daten für den Bewässerungsbedarf sowie der Berechnungsergebnisse für die trockenen Sommer 1976 und 1974, Ehrenpark	40
Tab. 6:	Zusammenfassung relevanter Daten für den Bewässerungsbedarf sowie der Berechnungsergebnisse für die trockenen Sommer 1976 und 1974, Stadtgarten	44
Tab. 7:	Zusammenfassung relevanter Daten für den Bewässerungsbedarf sowie der Berechnungsergebnisse für die trockenen Sommer 1976 und 1974, Volkspark	48
Tab. 8:	Differenzen der Bewässerungsmengen der Böden im Stadtgarten und Volkspark	50
Tab. 9:	Informationen über die geplante Dränage am Ehrenpark	52
Tab. 10:	Informationen über die geplanten Dränagen am Stadtgarten	53
Tab. 11:	Informationen über die geplanten Dränagen am Volkspark	54
Tab. 12:	Zusammenfassung der berücksichtigten Abkopplungsflächen und anfallenden Mengen am Ehrenpark	56
Tab. 13:	Zusammenfassung der berücksichtigten Abkopplungsflächen und anfallenden Mengen am Stadtgarten	57
Tab. 14:	Zusammenfassung der berücksichtigten Abkopplungsflächen und anfallenden Mengen am Volkspark	60
Tab. 15:	Bedarf der Parkflächen und deren prozentuale Deckung aus der Grund- und Regenwasserbewirtschaftung im Sommerhalbjahr 1976 und 1974	61

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Das Emscher- und Lippegebiet mit Polderflächen (Emschergenossenschaft 2013c)	10
Abb. 2:	Lage der Schwerpunktgebiete (kritischer Grundwasseranstieg nach Kanalsanierung) in den Modellgebieten (mittlere Grundwasserstände, Stand 2006) (AG Grundwasserbewirtschaftung im Emschergebiet 2011)	11
Abb. 3:	System der natürlichen Kühlung (Livesley 2013)	13
Abb. 4:	Aufteilung der Sonnenenergie in latente und sensible Wärme (verändert nach Schmidt 2010)	14
Abb. 5:	Langzeitganglinie der Gemeinde Dülken am Niederrhein mit Tiefstständen in den 1970er und 1990er Jahren, GOK: 62,39 m NN (RWE Power AG 2010)	20
Abb. 6:	Grundwasserganglinien in direkter Umgebung von Stadtgarten und Volkspark mit Tiefständen Anfang der 1990er Jahre (BIS GW 2013)	22
Abb. 7:	Langzeitganglinien nördlich des Bottroper Stadtgebiets aus einem Gutachten zur „Analyse von Senkungserscheinungen außerhalb prognostizierter bergbaulicher Einwirkungsbereiche des Bergwerks Prosper-Haniel“ (Busch et al. 2012)	22
Abb. 8:	Prozentualer Anteil der Grundwasserneubildungsrate in den Sommermonaten an der Jahresgesamtmenge (Mittel 1961-1990) (berechnet aus Daten der Emschergenossenschaft)	26

Abb. 9:	Übersichtsplan Lage des Bottroper Stadtgebiets mit den Parkanlagen Ehrenpark, Stadtgarten und Volkspark im Emscherraum (Emschergenossenschaft 2013c, Google Earth 2005)	27
Abb. 10:	Niederschlags- und Verdunstungsraten über die extrem trockenen Sommermonate 1976	28
Abb. 11:	Niederschlags- und Verdunstungsraten über die trockenen Sommermonate 1974	29
Abb. 12:	Parkanlage Ehrenpark mit den Bohrpunkten (Luftbild, Stadt Bottrop 2011)	30
Abb. 13:	Parkfläche Stadtgarten (Luftbild, Stadt Bottrop 2011)	32
Abb. 14:	Bohrpunkte Stadtgarten (Stadt Bottrop 2006)	33
Abb. 15:	Elemente der Regenwasserbewirtschaftung am Stadtgarten (Tischler 2009, privat)	34
Abb. 16:	Parkfläche Volkspark (Luftbild, Stadt Bottrop 2011)	35
Abb. 17:	Bohrpunkt Volkspark (Stadt Bottrop 2006)	36
Abb. 18:	Flächeneinteilung des Ehrenparks nach Baum-, Zierrasen- und befestigter Fläche sowie ermittelte Kennwerte der Bodenwasserspeicher	38
Abb. 19:	Speicherfüllstände der Baumfläche, nFKWe 185 mm, über die Sommermonate 1976 und 1974 sowie den Durchschnitt des Klimareferenzzeitraums	38
Abb. 20:	Speicherfüllstände der Zierrasenfläche, nFKWe 30 mm, über die Sommermonate 1976 und 1974 sowie den Durchschnitt des Klimareferenzzeitraums	39
Abb. 21:	Bewässerungsbedarf der gesamten Parkfläche, aufgeteilt nach Baum- und Zierrasenflächen für die trockenen Sommer 1976 und 1974	40
Abb. 22:	Flächeneinteilung des Stadtgartens nach Baum-, Zierrasen- und befestigter Fläche sowie ermittelte Kennwerte der Bodenwasserspeicher	42
Abb. 23:	Speicherfüllstände der Baum- und Zierrasenfläche über die Sommermonate 1976 und 1974 sowie den Durchschnitt des Klimareferenzzeitraums	43
Abb. 24:	Bewässerungsbedarf der gesamten Parkfläche, aufgeteilt nach Baum- und Zierrasenflächen für die trockenen Sommer 1976 und 1974	45
Abb. 25:	Flächeneinteilung des Volkspark nach Baum-, Zierrasen und befestigter Fläche sowie ermittelte Kennwerte der Bodenwasserspeicher	46
Abb. 26:	Speicherfüllstände der Baumfläche, nFKWe 121 mm, über die Sommermonate 1976 und 1974 sowie den Durchschnitt des Klimareferenzzeitraums	47
Abb. 27:	Speicherfüllstände der Zierrasenfläche, nFKWe 26 mm, über die Sommermonate 1976 und 1974 sowie den Durchschnitt des Klimareferenzzeitraums	47
Abb. 28:	Bewässerungsbedarf der gesamten Parkfläche, aufgeteilt nach Baum- und Zierrasenflächen für die trockenen Sommer 1976 und 1974	48
Abb. 29:	Lage der Ersatzsysteme, im Bottroper Innenstadtgebiet (Ersatzsysteme und Risikogebiete Emschergenossenschaft 2013b)	51
Abb. 30:	Lage der geplanten Dränage am Ehrenpark, mit 3 möglichen Entnahmestellen und GW-Fließrichtung (Luftbild Stadt Bottrop 2011, GWG und Ersatzsystem Emschergenossenschaft 2013b)	52
Abb. 31:	Lage der geplanten Dränagen am Stadtgarten, mit 3 möglichen Entnahmestellen und GW-Fließrichtung (Luftbild Stadt Bottrop 2011, GWG und Ersatzsystem Emschergenossenschaft 2013b)	53
Abb. 32:	Lage der geplanten Dränagen am Volkspark, mit 2 möglichen Entnahmestellen und GW-Fließrichtung (Luftbild Stadt Bottrop 2011, GWG und Ersatzsystem Emschergenossenschaft 2013b)	54
Abb. 33:	Verfügbares Grundwasser (mittlere Anfallsmengen des Klimareferenzzeitraums) aus den geplanten Dränagen entlang der Parkanlagen über die Sommermonate	55

Abb. 34:	Berücksichtigte Flächen entlang des Ehrenparks für eine Abkopplung (Luftbild, Stadt Bottrop 2011)	56
Abb. 35:	Abkoppelbare Mengen aus der Regenwasserbewirtschaftung am Ehrenpark der Sommer 1976 und 1974	57
Abb. 36:	Berücksichtigte Flächen entlang des Stadtgartens für eine Abkopplung (Luftbild, Stadt Bottrop 2011)	58
Abb. 37:	Abkoppelbare Mengen aus der Regenwasserbewirtschaftung am Stadtgarten der Sommer 1976 und 1974	59
Abb. 38:	Berücksichtigte Flächen entlang des Volksparks für eine Abkopplung (Luftbild, Stadt Bottrop 2011)	59
Abb. 39:	Abkoppelbare Mengen aus der Regenwasserbewirtschaftung am Stadtgarten der Sommer 1976 und 1974	60
Abb. 40:	Vergleich von monatlichen Bedarfs- und Deckungsmenge der Grundwasserbewirtschaftung aus den mittleren Anfallsmengen des Klimareferenzzeitraums, Ehrenpark 1974	62
Abb. 41:	Vergleich von täglichen Bedarfs- und Deckungsmengen aus der Regenwasserbewirtschaftung, Ehrenpark 1976	62
Abb. 42:	Bewässerungsbedarf nach Bewässerungsmethode während der 19 tägigen Trockenperiode im Juni und Juli 1976, Zierrasenfläche Ehrenpark (30 mm nFKWe)	63
Abb. 43:	Bewässerungsbedarf nach Bewässerungsmethode während der 13 tägigen Trockenperiode im August 1974, Zierrasenfläche Ehrenpark (30 mm nFKWe)	63
Abb. 44:	Bewässerungsbedarf nach Bewässerungsmethode während der 19 tägigen Trockenperiode im Juni und Juli 1976, Zierrasenfläche Stadtgarten (55 mm nFKWe)	63
Abb. 45:	Bewässerungsbedarf nach Bewässerungsmethode während der 19 tägigen Trockenperiode im Juni und Juli 1976, Baumfläche Stadtgarten (262 mm nFKWe)	64
Abb. 46:	Vergleich von monatlichen Bedarfs- und Deckungsmengen der Grundwasserbewirtschaftung aus den mittleren Anfallsmengen des Klimareferenzzeitraums, Volkspark 1976	64
Abb. 47:	Vergleich von monatlichen Bedarfs- und Deckungsmengen der Regenwasserbewirtschaftung, Stadtgarten 1976	65

## Anhänge

### Anhang 1: Bodenansprache der Bohrpunkte

### Anhang 2: Ausgewählte Berechnungsergebnisse

2.1: Bewässerungsbedarf im Extremsommer 1976 (Ehrenpark)

2.2: Diagramme Vergleich der monatlichen Bedarfs- und Deckungsmengen

## Verzeichnis der Symbole, Abkürzungen und Einheiten

$A_{Ei}$	[m <sup>2</sup> ]	befestigte Fläche
$ET_p$	[mm]	potentielle Verdunstung
$ET_0$	[mm]	Gras-Referenzverdunstung
$ET_r$	[mm]	empirische Referenzverdunstung
$ET_{pot_{FAO}}$	[mm]	mittlere jährliche potenzielle Evapotranspiration als FAO-Gras-Referenzverdunstung
$h$	[m]	Höhenkorrektur, Höhe über NN
$k$		Küstenfaktor
$K$		Kelvin
$k_A$	[mm]	mittlerer kapillarer Aufstieg
$k_R$	[mm]	mittlere kapillare Aufstiegsrate
$k_{WB}$	[mm]	klimatische Wasserbilanz
$n_{FK}$	[mm]	nutzbare Feldkapazität
$n_{FKWe}$	[mm]	nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes
$N_{j_{korr}}$	[mm]	korrigierter mittlerer Niederschlag im Gesamtjahr
$N_{s_{korr}}$	[mm]	korrigierter mittlerer Niederschlag im Sommerhalbjahr
$RG$	[W/m <sup>2</sup> ]	Globalstrahlung
$T$	[°C]	Temperatur
$We$	[cm]	Durchwurzelungstiefe
$We_{eff}$	[cm]	effektive Durchwurzelungstiefe
$W_{pfl}$	[mm]	pflanzenverfügbares Bodenwasser
$\Psi_{mi}$		mittlerer Abflussbeiwert

## VERFÜGBARE WASSERRESSOURCEN IN DER EMSCHERREGION FÜR EINE AKTIVE KÜHLUNG DURCH BÖDEN WÄHREND TROCKENPERIODEN

---

ArcGIS	Geographisches Informationssystem der Firma ESRI Geoinformatik GmbH
BBK-S	Digitale Bodenbelastungskarte – Siedlungsbereich
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BOWAB	Bodenwasserbilanzierung
CLM	Regionales, dynamisches Klimamodel
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DVWK/ DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
<i>dynaklim</i>	Dynamische Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region (Ruhrgebiet)
FAO	Food and Agriculture Organization
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
MUNLV	Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen; heute: Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MKULNV)
NLFB	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
PAK	Polyzyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
SO <sub>4</sub>	Sulfat
URBIS_ER	Urbanes Bodeninformationssystem Emscher
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie

## 1 Einleitung

### 1.1 Anlass

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen des BMBF-Forschungsprojektes „Dynamische Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region“, im Folgenden *dynaklim*, erstellt (Förderkennzeichen: 01LR0804A). Themenbereiche des Projektes sind u.a. die Auswirkung des Klimawandels auf den regionalen Wasserhaushalt sowie Möglichkeiten der Verbesserung des Stadtklimas in Hitzeperioden.

Stadtgebiete im industriell überprägten Emscherraum haben im Vergleich zu ihrem Umland schon heute eine deutlich höhere mittlere Lufttemperatur. Klimamodelldaten des regionalen Klimamodells CLM zeigen für die Emscherregion, dass es bereits in naher Zukunft (2021-2050) einzelne Sommermonate mit mehr als 15 heißen Tagen geben wird. In der Dekade 2001 bis 2010 lag der Mittelwert noch bei 9 Tagen. Dies sind deutliche Hinweise darauf, dass Hitzeperioden in Zukunft häufiger und gleichzeitig länger auftreten werden (QUIRMBACH et al. 2012b). Dadurch wird sich das Problem der Überwärmung von Städten der Emscherregion weiter verstärken. Dies kann in der Nacht das Schlafen und am Tag das Arbeiten beeinträchtigen. Darüber hinaus stellt diese Überwärmung auch eine Gefahr für Risikogruppen der Bevölkerung dar (KUTTLER 2011).

Die verstärkte Nutzung der natürlichen Kühlung durch Boden-Wasser-Vegetation wird gerade in städtischen Gebieten als eine mögliche Anpassungsstrategie an den Klimawandel erachtet. Bekannte Möglichkeiten zur Abkühlung überhitzter Städte sind bislang u.a. folgende Maßnahmen:

- Freihaltung von potentiell kühlleistungsstarken Flächen
- Entsiegelung von Böden
- Wiederherstellung großer Bodenwasserspeicher

Zukünftig kann auch die aktive Bodenkühlung mittels Bewässerung, die in dieser Arbeit vorgestellt wird, eine größere Rolle spielen.

In *dynaklim* wurden sowohl für die mittlere (HÖKE et al. 2012) als auch für die großmaßstäbige Planungsebene (DAMM 2011) einfach anzuwendende Erfassungs-, Bewertungs- und Prognoseinstrumente entwickelt, die es erlauben, die Bodenkühlleistung in Planungsprozessen zu berücksichtigen. So können kühlleistungsstarke Böden von Bebauungen freigehalten und kühlleistungsschwache, meist urban-industriell überprägte Böden, in ihrer Kühlleistung verbessert werden.

Berechnungen aus DAMM (2011) zeigen jedoch, dass auch bei Böden mit einem hohen Kühlungspotential, die keinen Grundwasseranschluss haben, in trockenen Sommern eine Zehrung der Bodenspeicherung stattfindet.

In *dynaklim* durchgeführte stadtklimatische Modellsimulationen haben ergeben, dass eine unzureichende Wasserversorgung auf vielen Grünflächen zu einer eingeschränkten Verdunstung und damit einer schlechteren Kühlleistung der Fläche führt (KUTTLER et al. 2012).

Dies könnte in Zukunft durch eine prognostizierte Überlagerung von zunehmenden Temperaturen und rückläufigen Niederschlagssummen im Sommerhalbjahr (QUIRMBACH et al. 2012a) häufiger auftreten.

Deshalb wird in der vorliegenden Masterarbeit geprüft, ob Synergien zwischen Wasserwirtschaft und Bodenschutz genutzt werden können, um durch eine aktive Bodenkühlung zur Verbesserung der Kühlleistung beizutragen. Dazu erfolgt eine Abschätzung des Bewässerungsbedarfs sowie der zur Verfügung stehenden Wassermengen in Trockenperioden. Mögliche Wasserressourcen stellen die Grundwasserbewirtschaftung in den Poldergebieten, die Regenwasserbewirtschaftung sowie die Entnahme von Trinkwasser aus dem Leitungsnetz dar.

## 1.2 Vorgehen

Angelehnt an bisherige Untersuchungen in *dynaklim* wird in dieser Arbeit eine generelle Machbarkeit der aktiven Bodenkühlung in Trockenperioden an drei Parkanlagen der Stadt Bottrop geprüft. Die Planungstiefe entspricht in etwa der Vorplanung gemäß HOAI. Hierzu werden zuerst die Systemzusammenhänge der natürlichen Kühlung durch Boden-Wasser-Vegetation und die Wirkungen einer aktiven Bodenkühlung aufgezeigt. Im Methodenteil werden die Datengrundlage sowie die Berechnungsverfahren, die in der Arbeit verwendet werden, dargestellt und erläutert. Nach Ermittlung der Kennwerte der Untersuchungsgebiete werden dann die Größenordnungen des Wasserbedarfs und der Verfügbarkeit von Regen- und Grundwasser aus der Grund- und Regenwasserbewirtschaftung für Trockenperioden ermittelt. Aus ihnen werden Aussagen über eine generelle Machbarkeit sowie Handlungsoptionen zur Umsetzung abgeleitet.

In allen Beispielen dienen zwei trockene Sommer aus dem Klimareferenzzeitraum (1961-1990) als Berechnungsgrundlage: der trockenste Sommer 1976 als extremer Sommer und der Sommer 1974 als trockener Sommer. 30 % der Sommer waren trockener.

Unter der Modellannahme eines Worst-Case-Szenarios wird auf allen Untersuchungsflächen davon ausgegangen, dass der für eine Kühlung während Trockenperioden maßgebliche kapillare Aufstieg ( $k_A$ ) aus dem Grundwasser nicht mehr ausreicht, um den Bedarf der Vegetation zu decken.

## 2 Grund- und Regenwasserbewirtschaftung in der Emscherregion

Die Emscherregion bildet neben der Lipperegion das Untersuchungsgebiet des *dynaklim*-Projektes (vgl. Abb. 1). Sie wird von der Emscher, die ein Nebenfluss des Rheins ist, durchflossen und ist etwa 865 km<sup>2</sup> groß (EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2009).



Abb. 1: Das Emscher- und Lippegebiet mit Polderflächen (Emschergenossenschaft 2013c)

In den letzten Jahrhunderten hat die Emscherregion einen Wandel von einer nassen Bruchlandschaft hin zum am dichtesten besiedelten Wirtschaftsraum Europas erfahren. Durch die Besiedlung und Industrialisierung sind viele wasserwirtschaftliche Probleme entstanden, zu deren Regelung die Emschergenossenschaft im Jahr 1899 gegründet wurde (EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2009).

Besonders der Bergbau hat die Region geprägt. Durch Bergsenkungen sind viele Poldergebiete entstanden (vgl. Abb. 1), aus denen die Gewässer nicht mehr ihre Hauptvorflut Emscher und Lippe erreichen. Diese Gewässer werden über Pumpwerke aus den Senkungsmulden gehoben oder in tiefen Spundwasserkanälen aus den Senkungsgebieten herausgeführt.

In den Bergsenkungsgebieten konnten vielfach keine unterirdischen Kanäle gebaut werden, deshalb wurden die Abwässer oberirdisch mit den Gewässern abgeleitet und erst an der Emschermündung geklärt.

Durch undichte städtische und private Abwasserkanäle und daran angeschlossene Hausdränagen findet zudem oft eine flächige Grundwasserabsenkung statt.

Nach dem Rückzug des Bergbaus sind die Bergsenkungen zum größten Teil abgeklungen, sodass seit den 1990er Jahren der Emscherumbau, aktuell die größte wasserwirtschaftliche Maßnahme Europas, durchgeführt werden kann. Hierzu zählen unter anderem die Entflechtung von Abwasser und Reinwasser, die dezentrale Abwasserreinigung über vier Gebietskläranlagen, der Hochwasserschutz sowie die Erreichung der Zielvorgaben der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) (EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2009).

## 2.1 Grundwasserbewirtschaftung

In Zukunft gewinnt die Grundwasserbewirtschaftung vor allem im Zuge von Kanalsanierungen in den Poldergebieten an Bedeutung. Durch die dann fehlende Dränwirkung der ehemals undichten Kanäle kann die Grundwasseroberfläche vielfach auf ein kritisches Maß ansteigen. Mit Grundwassermodellierungen wurden Bereiche identifiziert, in denen sich Nutzungskonflikte ergeben. Hierzu zählen vor allem Kellervernässungen. Abbildung 2 zeigt die Abgrenzung von Schwerpunktgebieten (134 km<sup>2</sup>, Stand 2006), die sich durch die Folgen einer vollständigen Kanalsanierung ergeben werden.

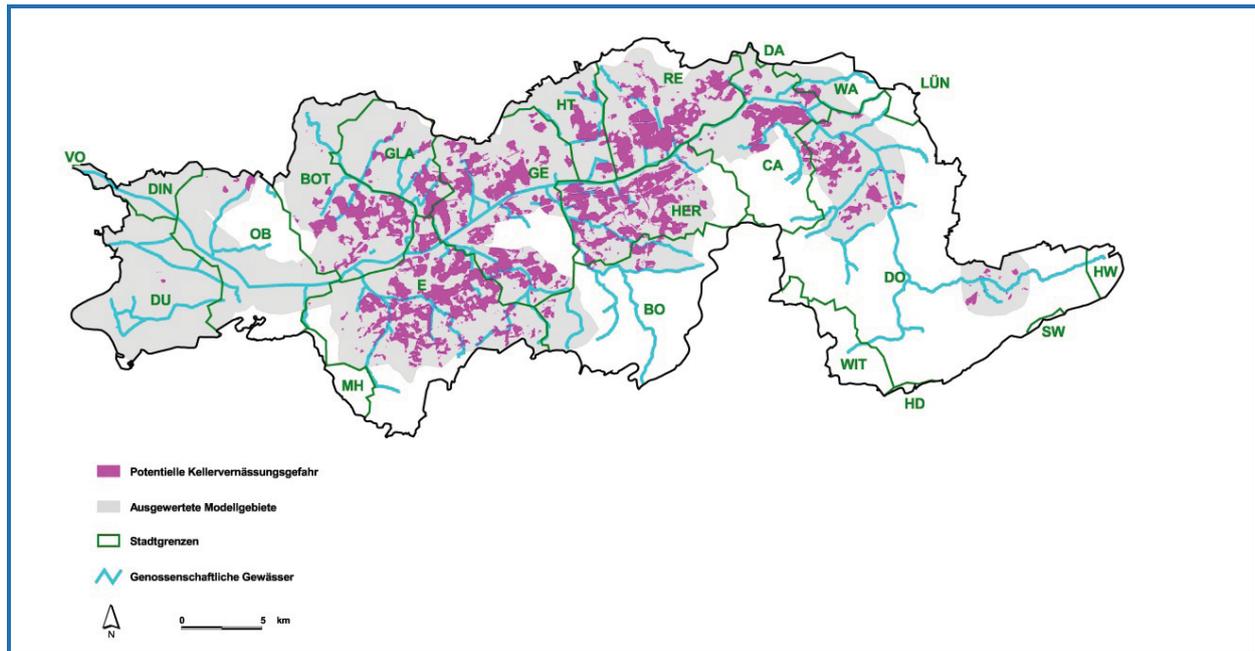


Abb. 2: Lage der Schwerpunktgebiete (kritischer Grundwasseranstieg nach Kanalsanierung) in den Modellgebieten (mittlere Grundwasserstände, Stand 2006) (AG GRUNDWASSERBEWIRTSCHAFTUNG IM EMSCHERGEBIET 2011)

Im *dynaklim*-Projekt erfolgt eine Aktualisierung der Modellierungen; Ergebnisse werden im März 2014 erwartet. Dabei werden auch die zusätzlichen Einflüsse der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung sowie des Klimawandels berücksichtigt.

Als Maßnahme gegen die steigende Grundwasseroberfläche wird die Schaffung eines sogenannten Ersatzsystems in den Risikogebieten geplant (EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2013a). Das Ersatzsystem besteht aus Dränagen zur Grundwasserfassung und aus Ableitungen. Dieses System wird in Kapitel 7.1 näher beschrieben. Das Grundwasser aus dem Ersatzsystem soll v.a. zur sommerlichen Niedrigwasseraufhöhung der Gewässer dienen (AG GRUNDWASSERBEWIRTSCHAFTUNG IM EMSCHERGEBIET 2011). Eine weitere Nutzung könnte aber auch bei der aktiven Bodenkühlung erfolgen, dies wird im Folgenden geprüft.

Durch die intensive anthropogene und industrielle Nutzung des Emscherraums ist das Grundwasser flächendeckend beeinflusst. Trotzdem liegen die Konzentrationen im Grundwasser für viele Parameter unter den aktuellen Gewässerzielwerten. Große Grundwasserbelastungen liegen ubiquitär für Sulfat (SO<sub>4</sub>) und zonal für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) vor (EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2009).

Die Grundwasserqualität ist im Einzelfall vor einer Nutzung zu prüfen.

## 2.2 Regenwasserbewirtschaftung

In der Regel wird überschüssiges Regenwasser über die Kanalisation aus den Städten geleitet und so dem städtischen Wasserhaushalt entzogen. Der Emscherumbau bietet durch den überwiegenden Neu- und Umbau vieler Entwässerungssysteme die Möglichkeit einer nachhaltigen Stadtentwässerung (Becker & Raasch 2005). Zur naturnahen Regenwasserbewirtschaftung zählen die Retention, die Versickerung und die gedrosselte Ableitung des Regenwassers. Die Bewirtschaftung der Niederschläge am Anfallsort bewirkt eine deutliche Reduzierung von Mengen und Abflussspitzen an abzuleitendem und zu behandelndem Wasser, wodurch Kanäle geringer und kostengünstiger dimensioniert werden können.

Für eine flächendeckende Umsetzung der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung haben sich die Emschergenossenschaft, alle Kommunen des Emscherraums sowie das MUNLV NRW mit der Unterzeichnung der „Zukunftsvereinbarung Regenwasser“ im Jahr 2005 zu einer Abkopplung von 15 % des Regenwasserabflusses in den nächsten 15 Jahren verpflichtet.

Der Gehalt an gelösten Inhaltsstoffen im Regenwasser ist in der Regel gering. Durch das Abfließen über befestigte Flächen kann sich die Qualität des Regens aber verschlechtern. Daher kann eine uneingeschränkte Nutzung nicht von allen Flächen erfolgen und ist wie beim Grundwasser im Einzelfall zu prüfen.

### 3 Aktive Bodenkühlung

Unter aktiver Bodenkühlung wird in der vorliegenden Arbeit die Bewässerung von Böden zur Optimierung der Verdunstungsleistung verstanden.

Zur Einführung in die Thematik wird zunächst kurz die Grundlage der natürlichen Kühlung durch Boden, Vegetation und Wasser erläutert. Eine ausführliche Darstellung der Rolle des Bodens in der natürlichen Kühlung ist DAMM (2011) zu entnehmen.

#### 3.1 Das System der natürlichen Kühlung

Die Kühlleistung eines Standortes hängt von seiner Verdunstung ab. Diese wird durch klimatische, bodenphysikalische und pflanzliche Faktoren, aber auch in einem hohen Maß durch den kapillaren Aufstieg aus dem Grundwasser beeinflusst. Das System der natürlichen Kühlung ist in Abbildung 3 dargestellt.

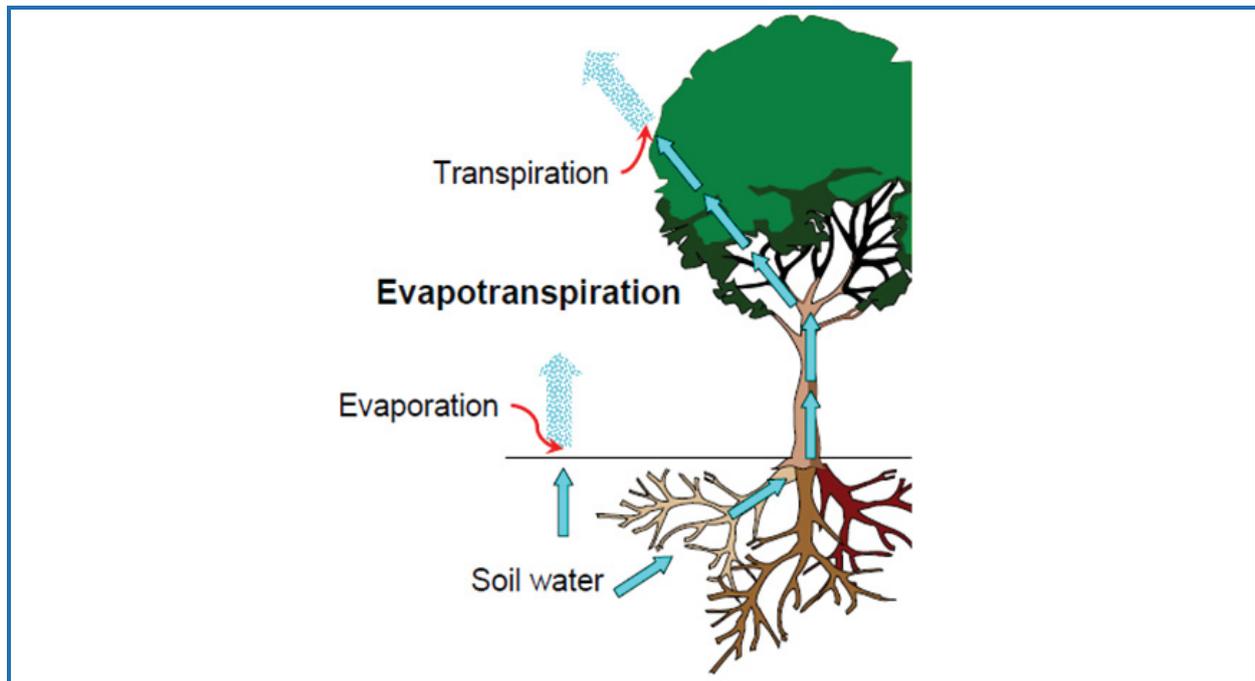


Abb. 3: System der natürlichen Kühlung (LIVESLEY 2013)

Die physikalischen Bodeneigenschaften eines Standortes bestimmen, zu welchen Anteilen das Niederschlagswasser in das Grundwasser versickert, im Boden gehalten wird, verdunstet oder oberirdisch bzw. unterirdisch abfließt. Das im Boden gehaltene Wasser wird von der Vegetation zur Verdunstung genutzt. Durch den Verdunstungsvorgang wird Sonnenenergie in latente (nicht fühlbare) Wärme umgewandelt, die somit nicht zu einer Erwärmung der Umgebungstemperatur beiträgt (TIPLER & MOSCA 2006). Diese latente Wärme wird als Verdunstungskälte bezeichnet. Abbildung 4 zeigt den Anteil der Sonnenenergie, der im Vergleich zum weltweiten Energieverbrauch durch die Verdunstung in latente Wärme umgewandelt wird.

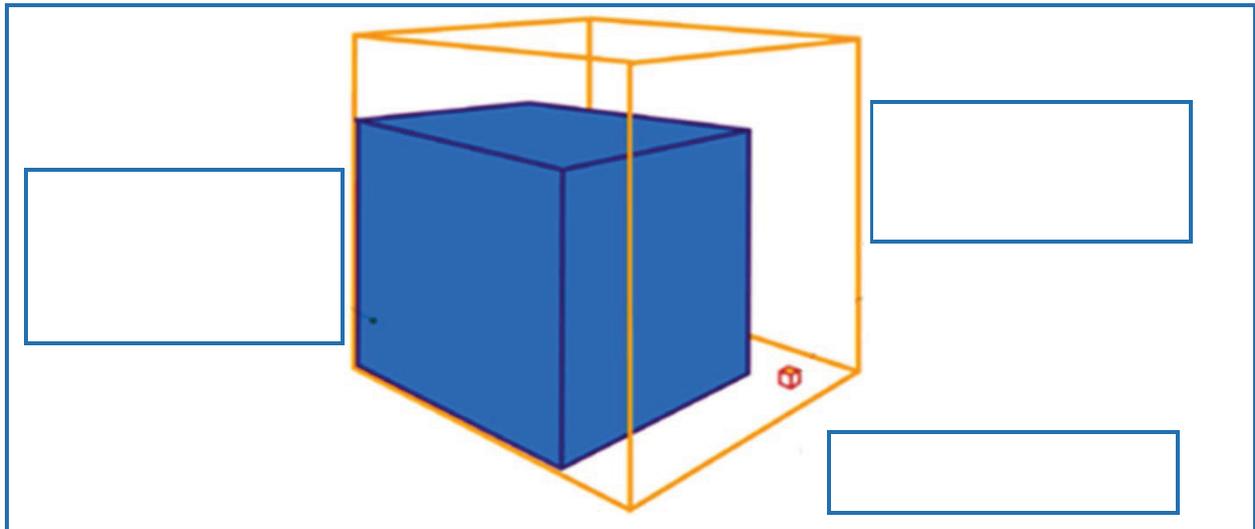


Abb. 4: Aufteilung der Sonnenenergie in latente und sensible Wärme (verändert nach SCHMIDT 2010)

Grenzen sind der natürlichen Kühlung in urbanen Räumen durch hohe Versiegelungsgrade und ungünstige Bodeneigenschaften gesetzt. Diese verhindern es oft, ausreichend Niederschlag zurückzuhalten und Grundwasser aus tieferen Bodenschichten zu nutzen. In Trockenperioden ist oft nicht ausreichend Wasser für die Verdunstung vorhanden. Stadtböden ohne Grundwasseranschluss trocknen über die Sommermonate häufig schneller aus als natürliche Böden, so dass das Verhältnis von latenter zu sensibler (fühlbarer Wärme) verschoben und die Luft erwärmt wird. Ein erhöhter Fluss an sensibler Wärme kann dann zur Erzeugung und Verbindung von Hitzeinseln beitragen.

Die Abkühlung der Lufttemperatur über feuchten Böden im Vergleich zu trockenen Böden beträgt bis zu 5 K, die Reichweite ca. 150 m (DÜTEMEYER & KUTTLER 2011).

### 3.2 Bewässerung zur Erhöhung der Kühlleistung

Der Bewässerungsbedarf zur Erhöhung der Kühlleistung hängt vom Gehalt des pflanzenverfügbaren Bodenwassers (Wpfl) ab. Dessen Verlauf über den Sommer wird maßgeblich von den Standortfaktoren Boden, Vegetation und deren Wasserversorgung durch Niederschläge oder kapillaren Aufstieg beeinflusst.

#### 3.2.1 Bodenphysikalische, pflanzliche und klimatische Einflüsse

Die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens (nFK) wird durch seine Bodeneigenschaften bestimmt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). Bindige Böden mit einer lockeren Lagerung und einem hohen Humusanteil haben eine deutlich bessere Wasserspeicherfähigkeit als grobkörnige, verdichtete oder skeletthaltige Böden. Außerdem wirken sich die Bodeneigenschaften auch auf die Durchwurzelbarkeit der Böden aus (RENGER & STREBEL 1982). Böden mit hohem Wasserspeichervermögen können zum einen mehr Wasser aus den humiden Wintermonaten bereitstellen, zum anderen eine höhere Menge an sommerlichen Niederschlägen speichern.

Neben der Speichergröße spielt bei grundwassernahen Standorten auch die Versorgung der Vegetation während Trockenperioden durch kapillaren Aufstieg eine Rolle. Ist die tägliche Aufstiegsrate hoch genug, ist die Größe der Bodenwasserspeicher unbedeutend (HÖKE et al. 2011).

Durch die Vegetation wird die Ausnutzung des Bodenwasserspeichers bestimmt. Vegetation mit geringen Durchwurzelungstiefen ( $W_e$ ) kann nur einen geringen Teil des zurückgehaltenen Bodenwassers nutzen. Durch eine ausgeprägte und tiefe Durchwurzelung wird mehr Bodenvolumen und damit mehr pflanzenverfügbares Wasser erschlossen. Außerdem gibt es Unterschiede in der Verdunstungsleistung verschiedener Vegetation. So liegt die Verdunstung eines Waldbestandes bei 850 mm/a, die einer Grasfläche nur bei 400 mm/a, Schilf und Röhricht Bestände können bei ausreichender Wasserversorgung sogar über 1.300 mm/a verdunsten (KALUSCHE 1996).

Je größer die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum ( $nFKW_e$ ), die sich aus dem Wasserspeichervermögen des Bodens und der Durchwurzelungstiefe der Vegetation ergibt, ist, desto länger kann der Standort in Trockenperioden seine Kühlleistung bereitstellen.

Auf Böden mit ungünstigen Bodeneigenschaften und flach wurzelndem Bewuchs kann die Kühlleistung aufgrund des geringen Rückhaltevermögens schon während kurzer Trockenperioden in durchschnittlichen Jahren reduziert sein. In Jahren, in denen längere und häufiger wiederkehrende Trockenperioden herrschen, reicht auch der Rückhalt von tief durchwurzelten Böden mit gutem Wasserspeichervermögen nicht aus, um die Vegetation optimal mit Wasser zu versorgen (DAMM 2011).

Die Prognosen für den Klimawandel zeigen sowohl in der nahen Zukunft (2021 bis 2050) als auch in der fernen Zukunft (2071 bis 2100) eine Überlagerung von zunehmenden Temperaturen und rückläufigen Niederschlagssummen im Sommerhalbjahr (QUIRMBACH et al. 2012a). Dies führt zu einer höheren potentiellen Verdunstungsrate bei gleichzeitig geringerem Wasserangebot aus Niederschlägen. Die Menge an pflanzenverfügbarem Bodenwasser wird damit über die Sommermonate zukünftig geringer ausfallen.

Fällt der Wassergehalt im Boden unter 70 % der  $nFKW_e$ , leidet die Vegetation unter Wasserstress und reduziert zur Anpassung an die trockeneren Bedingungen ihre Verdunstungsleistung (DVWK M238 1996). Somit sinkt die Kühlleistung des Standortes.

Ein Ausgleich kann durch Bewässerung erfolgen. Sie kann:

- geringe Rückhaltevermögen ausgleichen,
- Trockenperioden überbrücken,
- einen erhöhten Wasserbedarf aufgrund verdunstungsfördernder Vegetation decken.

Dadurch kann die Verdunstung und Kühlung in Trockenperioden aufrechterhalten werden.

### **3.2.2 Bewässerungssteuerung**

Eine Bewässerung von genutzten Freiflächen in der Stadt erfolgt am besten unterflur und nachts, um zum Beispiel die Nutzung von Rasenflächen durch die Bevölkerung nicht einzuschränken. Ein weiterer Vorteil der nächtlichen Bewässerung sind gefüllte Bodenspeicher bei Tagesanbruch.

Eine möglichst effiziente Bewässerung wird in der Landwirtschaft durch eine automatische Bewässerungssteuerung über Bodenfeuchtemessungen erzielt. So könnte bei einer Bewässerung zur Verbesserung der Kühlleistung einerseits Wasser gespart und andererseits eine unerwünschte Sickerwasserbildung und Nährstoffauswaschungen vermieden werden.

Eine weitere in der Praxis angewandte Möglichkeit zur Bewässerungssteuerung bietet die rechnerische Ermittlung der Bewässerungsmengen über die klimatische Wasserbilanz. Hierzu müssen Bodeneigenschaften, Durchwurzelungstiefen, Verdunstungsraten und Niederschlagsdaten bekannt sein (MÜLLER et al. 2012).

Zusätzlich ist es sinnvoll, die Wettervorhersage in die Bewässerungsplanung zu integrieren, um unnötige Bildung von Oberflächenabfluss und Versickerung während niederschlagsreicher Perioden zu vermeiden. Ungenaue Vorhersagen können aber auch dazu führen, dass nicht immer eine optimale Füllung der Bodenwasserspeicher gewährleistet ist. Die Einbeziehung der Wettervorhersage wurde in den Berechnungen für diese Arbeit, in der die Bewässerungsmenge über die klimatische Wasserbilanz bestimmt wird, nicht berücksichtigt.

Es wird eine kontinuierlichen Bewässerung vorausgesetzt, die garantiert, dass die Bodenfeuchte nicht unter eine nFKWe von 70 % fällt. Die Methode wird in Kapitel 4.2.1 erläutert.

Auch eine diskontinuierliche Bewässerung ist möglich. Hier würde die Zielfeuchte bei 80 % nFKWe liegen, so dass genug Puffer für Niederschläge und auch ausreichend Sauerstoff in der Bodenzone gegeben ist (vgl. Kapitel 4.2.1). Nach einer Austrocknung auf 70 % nFKWe wird dann wieder auf die Zielfeuchte 80 % nFKWe bewässert. Bei dieser Methode wird die Rolle der Bodenwasserspeichergröße deutlich. Kleine Bodenwasserspeicher müssen häufiger mit geringeren Mengen bewässert werden. Große Bodenwasserspeicher hingegen seltener, dafür aber mit höheren Mengen (vgl. Tab. 1).

**Tab. 1: Vergleich der diskontinuierlichen Bewässerung von kleinen und großen Bodenwasserspeichern im extrem trockenen Sommer 1976**

nFKWe [mm]	Anzahl Bewässerungstage	Bewässerungsmenge/Bewässerung
30	61	3-6 mm
262	14	26-31 mm

Probleme wie eine Versalzung der Böden durch die Bewässerung werden als eher gering eingeschätzt (HÖKE 2013, MÜLLER 2013). Der Boden wirkt über die Sommermonate als Puffer. Eine Anreicherung von Salzen in der oberen Bodenschicht über längere Zeit wird aber aufgrund der positiven klimatischen Wasserbilanz in den Wintermonaten, in denen die Grundwasserneubildung stattfindet, nicht erwartet.

Neben der Verbesserung des Stadtklimas können Böden, die mittels Bewässerung bewirtschaftet werden, im Fall von Niederschlagsereignissen mehr Wasser zwischenspeichern als durch Trockenperioden ausgetrocknete Böden. Der oberirdische Abfluss, der z.B. zur Überlastung des Kanalnetzes führt, würde so reduziert werden. Weiteres Wasser kann zudem durch Interzeption von mittlerer und hoher Vegetation zwischengespeichert werden. In dieser Kombination können auch Boden und Vegetation zur Vermeidung hoher Abflussspitzen von Starkregenereignissen beitragen.

## 4 Methoden zur Ermittlung von Wasserbedarf und Deckungsmengen

Wie in Kapitel 3 erläutert, hängt der Bewässerungsbedarf eines Standortes von bodenphysikalischen, pflanzlichen und klimatischen Einflussfaktoren ab. In dieser Arbeit wird der Bewässerungsbedarf über homogene Teilflächen innerhalb der Untersuchungsgebiete, die durch die Einflussfaktoren Boden und Vegetation gegliedert sind, ermittelt. Die Deckungsmengen aus der Grundwasserbewirtschaftung stehen für die Berechnungen zur Verfügung. Für die Regenwasserbewirtschaftung werden sie durch die Abkopplung befestigter Flächen in der Umgebung der untersuchten Parkanlagen berechnet.

### 4.1 Datengrundlage

Die Abschätzung des Wasserbedarfs zur Sicherstellung einer optimalen Kühlleistung und die Prüfung möglicher Wasserressourcen zur Deckung des Bedarfs soll für eine Anwendung in der Praxis möglichst einfach und praktikabel gehalten werden. Dazu zählt u.a., dass die Bedarfsermittlung auf Grundlage vorhandener oder einfach im Feld zu erfassender Daten durchgeführt werden kann. In dieser Arbeit werden bereits vorhandene Daten verwendet. Die Werte für die klimatische Wasserbilanz (kWB) und den Bewässerungsbedarf werden über Modellrechnungen simuliert.

#### Boden

Um den Bewässerungsbedarf für eine aktive Bodenkühlung zu ermitteln, müssen Bodendaten vorliegen, aus denen über Verknüpfungsregeln notwendige Kennwerte berechnet und abgeleitet werden können. Nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA5, AD-HOC-AG BODEN 2005) müssen horizontweise Bodenart, Trockenrohdichte, Humusgehalt sowie Feinboden und Grobboden angesprochen werden. Die Mindestbetrachtungstiefe beträgt 1 m. Um die Rate des kapillaren Aufstiegs auf grundwassernahen Standorten bestimmen zu können, werden 2 m Aufschlusstiefe empfohlen.

Da für diese Arbeit keine expliziten Bohrungen vorgenommen wurden, wurde auf vorhandene Bodendaten zurückgegriffen. Hierzu dienen Bodendaten aus Rammkernsondierungen und Profilaufnahmen des *dynaklim*-Teilprojektes Urbis\_ER (Urbanes Bodeninformationssystem Emscher). Außerdem wurden vom Umweltamt Bottrop Bodendaten aus der Bodenansprache zur Erstellung der Digitalen Bodenbelastungskarte – Siedlungsbereich (BBK-S) zur Verfügung gestellt. Die Anzahl der verwendeten Bohrungen je Parkanlage ist für eine Umsetzungsplanung zu gering, für eine erste Abschätzung des Bewässerungsbedarfs aber ausreichend. Zudem fehlen bei den Bodenansprachen der BBK-S horizontweise Angaben über die Trockenrohdichte. Diese wurden mit  $pt_2$  angenommen, was eher zu höheren als zu gering bemessenen nFKWe-Werten führt. Die ermittelten Bewässerungsmengen werden somit unter Umständen etwas zu gering ausfallen. Generell gilt: Je genauer die Profilinformationen sind, umso besser ist die Übereinstimmung der berechneten mit der tatsächlichen Bewässerungsmenge.

#### Vegetation

Die Flächenabmessung und Vegetationseinteilung der Untersuchungsgebiete wurde auf der Grundlage aktueller Luftbilder (STADT BOTTRUP 2011) der Parkanlagen im ArcGIS durchgeführt. Es wurde nach befestigten Flächen, Zierrasen- und Baumflächen unterteilt.

#### Klima

Die verwendeten Klimadaten stammen von der DWD Wetterstation Bochum. Sie stehen durch das *dynaklim*-Projekt zur Verfügung (*dynaklim* 2011). Ihre Bedingungen werden aufgrund der ähnlichen Höhenlage und Lageverhältnisse als vergleichbar mit denen des Modellgebietes angesehen. Eingangsgröße für die Bedarfsberechnung sind Tagessummen des Niederschlags sowie der Temperatur

und der tatsächlichen Sonnenscheindauer. Da von der Station Bochum keine Daten zur täglichen Sonnenscheindauer zur Verfügung standen, wurde auf Daten der DWD Wetterstation Essen Bredeney zurückgegriffen. Daten zu Globalstrahlung und astronomisch möglicher Sonnenscheindauer etc. sind dem DvWK Merkblatt 238 (1996) für den 51. Breitengrad entnommen.

### Wasserressourcen

Die benötigten Daten für eine Abschätzung von Mengen des verfügbaren Grund- und Regenwassers wurden aus den digitalen Karten der versiegelten Flächen sowie den Karten zu Lage und anfallenden Grundwassermengen aus den Ersatzsystemen entnommen. Diese wurden von der Emschergenossenschaft über das Geographische Informationssystem ArcGIS bereitgestellt. Die Mengen aus den geplanten Ersatzsystemen stehen als durchschnittliche Jahresmengen zur Verfügung. Sie wurden durch stationäre Grundwassermodellierungen ermittelt. Weiterhin standen digitale Karten zu den Risikogebieten durch Kanalsanierung und der mittleren Grundwasserneubildung zur Verfügung.

Zur besseren Einschätzung der Untersuchungsgebiete dient weiterhin eine digitale Karte mit Angaben zu Grundwasserflurabständen aus dem *dynaklim*-Projekt.

## 4.2 Berechnungsverfahren

Die Berechnungen des Bewässerungsbedarfs und der Deckungsmengen sind so entwickelt, dass sie auf Tagesbasis berechnet werden können. In dieser Arbeit wird exemplarisch ein Worst-Case-Szenario für trockene Sommer aus dem Klimareferenzzeitraum (1961-1990) betrachtet. Die Methoden lassen sich jedoch auch für die Berechnung von anderen Sommern des Klimareferenzzeitraums oder auch für Projektionen aus den Klimamodellen (Zukunftsszenarien 2021-2050 und 2071-2100) verwenden. Es muss dann ein möglicher kapillarer Aufstieg berücksichtigt werden, der einer zusätzlichen Wasserversorgung während Trockenperioden dienen kann.

### 4.2.1 Wasserbedarf für eine aktive Bodenkühlung

Für die Berechnungen wird die in DAMM (2011) entwickelte Vorgehensweise zur Berechnung des Bodenkühlungspotentials genutzt und um die Berechnung potentieller Bewässerungsmengen aus dem Bodenwasserhaushaltsmodell (BOWAB) nach ENGEL (2012) erweitert. So können unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren (Klima, Bodenart, Vegetation) für verschiedenste Szenarien die täglichen Bewässerungsmengen sowie die Anzahl der Bewässerungstage ermittelt werden. Die Berechnungen erfolgen in drei Schritten:

#### Schritt 1: Berechnung des Bodenkühlungspotentials (DAMM 2011)

Die Berechnungsergebnisse zeigen die Veränderungen des Bodenwasserhaushalts über die Sommermonate. Hierzu wurde die ungesättigte Bodenzone, wie in DISSE (1995) angegeben, als integratives Speichersystem betrachtet, was für die Bilanzierung über die Wasserhaushaltsgrößen ausreichend ist.

#### Schritt 1.1: Berechnung der potentiellen Referenzverdunstung

Die Verwendung der potentiellen Referenzverdunstung eignet sich sehr gut für die Ermittlung des Wasserdefizits, das durch eine aktive Bodenkühlung bereitgestellt werden muss, um optimale Ver-

dunstungsleistungen zu garantieren. Die Werte der potentiellen Referenzverdunstung beziehen sich auf optimal mit Wasser versorgte Standorte.

#### *Rasenflächen*

Für die Rasenflächen wird die Gras-Referenzverdunstung ( $ET_{pot_{FAO}} / ET_r$ ) verwendet.

$$ET_r = \frac{(R_G + 93 \times k) \times (T + 22)}{162 \times (T + 123)} \times \frac{1}{1 + 0,0003 \times h} \quad (Gl.1)$$

$ET_r$	empirische Referenzverdunstung zur Grasreferenzverdunstung
$R_G$	Globalstrahlung
$k$	Küstenfaktor (Lage unter 200 m über NN, $k$ zu vernachlässigen)
$T$	Temperatur
$h$	Höhenkorrektur

Die Gras-Referenzverdunstung ( $ET_{pot_{FAO}}$ ) gilt international als Standard und setzt einen über das Jahr einheitlichen Grasbestand von 0,12 m Höhe, mit einem aerodynamischen Verdunstungswiderstand von 208 s/m und einem Mindest-Stomatawiderstand von 70 s/m, bei fehlendem Wasserstress (Bodenfeuchte > 70 % nFK) voraus. Die verwendete Gleichung zur Berechnung der Verdunstung ist die aus  $ET_{pot_{FAO}}$  gewonnene empirische Referenzverdunstung aus der Turc-Wendling-Beziehung und wird mit  $ET_r$  bezeichnet (vgl. Gl.1). Im folgenden Teil der Arbeit wird sie als Gras-Referenzverdunstung verwendet. Eingangswerte sind Globalstrahlung  $R_G$ , Küstenfaktor  $k$ , Temperatur  $T$ . Die Höhenkorrektur  $h$  wird in dieser Arbeit aufgrund der Höhenlage Bochums (unter 200 m ü. NN) vernachlässigt (DvWK M238 1996). Ausgangswert ist die Verdunstung in mm/d.

#### *Baumflächen*

Für die mit Bäumen oder Stauden bewachsenen Flächen führt die Methode der Gras-Referenzverdunstung zu zu niedrigen Werten. Denn höhere Bestände verdunsten bei ausreichender Wasserversorgung in der Regel mehr, als die Methode der Gras-Referenzverdunstung angibt (DvWK M238 1996). Die Food and Agriculture Organization (FAO) hat in Untersuchungen einige Koeffizienten ( $k_c$ ) für die Ermittlung von potentiellen Verdunstungsleistungen vieler verschiedener Feldfrüchte ermittelt. Die Koeffizienten spiegeln aber nicht die Verdunstungsleistung von Bäumen oder Stauden wieder. In ihnen werden die verschiedenen Wachstumsphasen von Feldfrüchten über eine Vegetationsperiode und die damit schwankenden Verdunstungsleistungen berücksichtigt (ALLEN et al. 1998). Für andere Vegetationstypen konnten keine Koeffizienten der FAO für die Gras-Referenzverdunstung recherchiert werden. In KALUSCHE (1996) werden Angaben über durchschnittliche Verdunstungsleistungen von Buchen- und Birken-Beständen gemacht. Diese liegen für Buchen bei 3,1 mm und für Birken bei 4,0 mm pro Tag. Aus diesen Werten wurde der arithmetische Mittelwert gebildet und an den Verlauf der FAO-Gras-Referenzverdunstung, welcher vor allem durch die Klimabedingungen beeinflusst wird, angepasst. Die in dieser Arbeit verwendeten Verdunstungsraten beruhen auf Annahmen und sind mit Unsicherheiten behaftet. In der Regel verdunsten frei stehende Bäume aufgrund ihrer exponierten Lage mehr Wasser als Bäume im Bestand (HARLAB 2008).

#### **Schritt 1.2: Berechnung der klimatischen Wasserbilanz**

Die klimatische Wasserbilanz (kWB) ist die Differenz aus korrigiertem Niederschlag ( $N_{jkorrr}$ ) und potentieller Evapotranspiration (ETp) (vgl. Gl.2). Positive Werte bedeuten eine Füllung der Bodenwasserspeicher, negative eine Zehrung.

$$kWB = N_{jkorrr} - ETp$$

(Gl.2)

### Schritt 1.3: Berechnung der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum

Die Berechnung der nFKWe erfolgt durch die Anwendung von Standardmethoden, z.B. NLFB (2004), und für urbane Böden über eine Erweiterung nach HÖKE et al. (2009).

Die tägliche mittlere kapillare Aufstiegsrate (kR), die von den Bodeneigenschaften zwischen Wurzelraum und Grundwasseroberkante sowie dem Grundwasserstand bestimmt wird, muss dem pflanzenverfügbaren Wasser zugerechnet werden. Methoden sind zum Beispiel in NLFB (2004) oder in der KA5 (AD-HOC-AG BODEN 2005) beschrieben.

### EXKURS: Grundwasserstände und kapillare Aufstiegsraten während Trockenperioden

Grundlage der Berechnungen in dieser Arbeit ist die Situation des trockensten Sommers 1976 aus dem Klimareferenzzeitraum (1961-1990), ein Worst-Case-Sommer, denn er liegt in einer Reihe von überdurchschnittlich trockenen Jahren (5 der 8 Jahre von 1969 bis 1977 wurden als trocken bzw. sehr trocken eingestuft, vgl. LANUV 2000). Diese überlagern die jahreszeitlichen Schwankungen und führten aufgrund der mehrfach geringen winterlichen Grundwasserneubildung zu einem Absinken der Grundwasserstände um mehrere Meter. Eine solche Überlagerung findet nur selten, aber zyklisch statt. Eine ähnliche Trockenperiode Anfang der 1990er Jahre hat auch noch einmal in etwas abgeschwächter Form die Grundwasserstände geprägt (vgl. Abb. 5). Im „Jahrhundertsommer“ 2003 haben hingegen hohe-mittlere Grundwasserstände geherrscht.

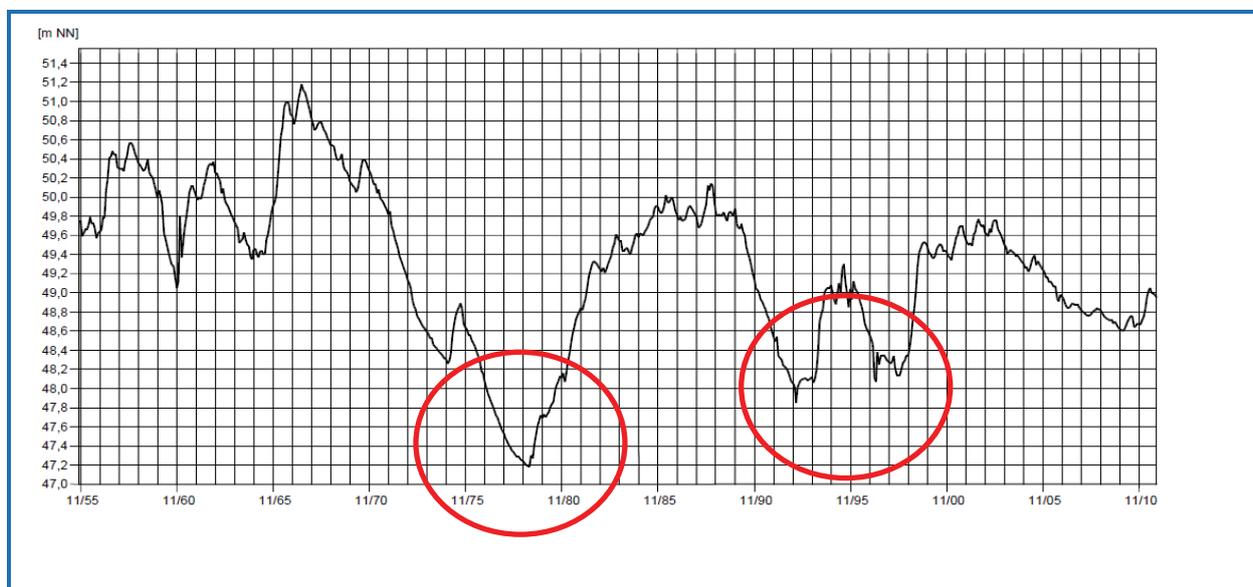
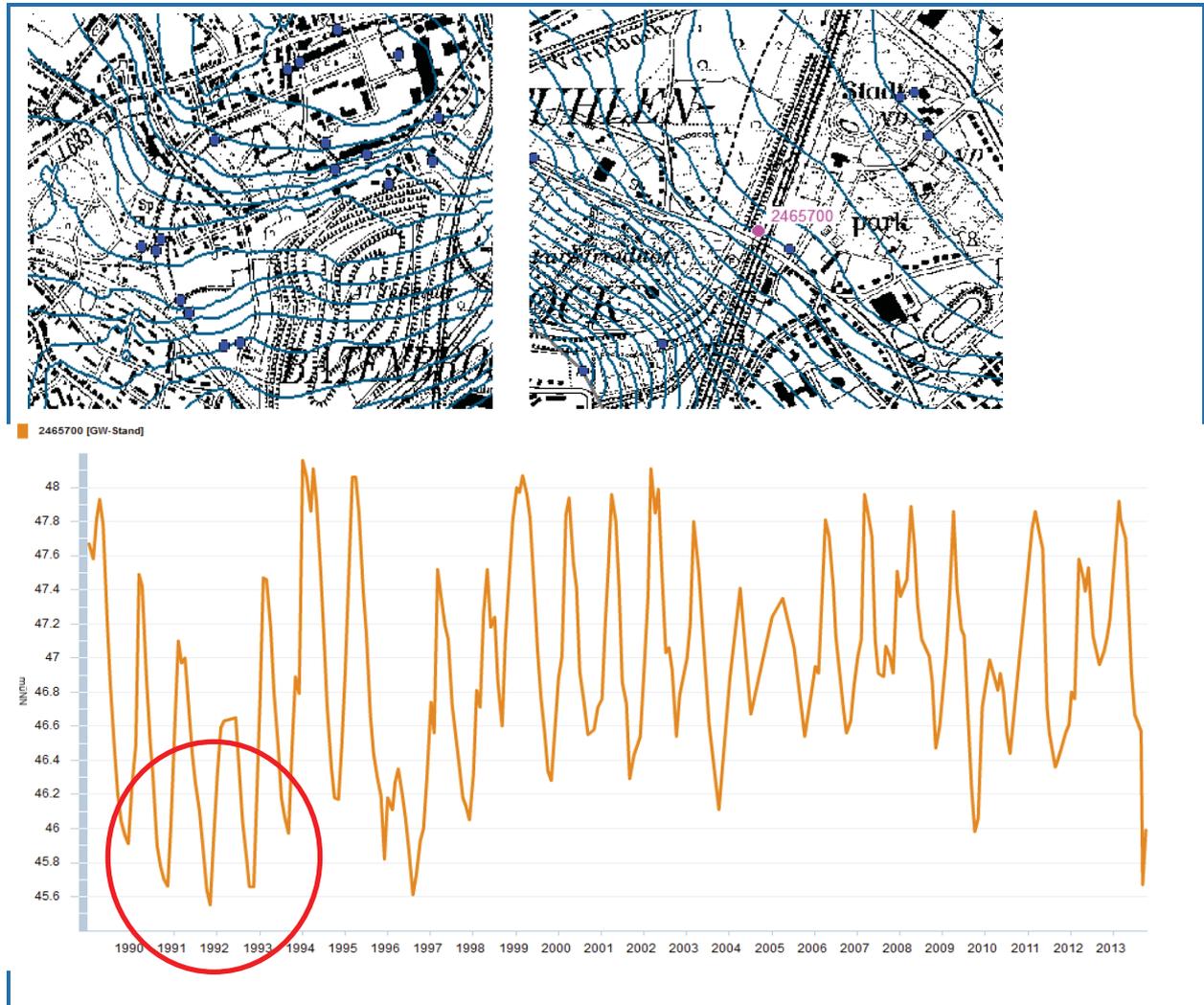


Abb. 5: Langzeitganglinie der Gemeinde Dülken am Niederrhein mit Tiefstständen in den 1970er und 1990er Jahren, GOK: 62,39 m NN (RWE POWER AG 2010)

Eine vergleichbare Langzeitganglinie aus der näheren Umgebung der Untersuchungsflächen existiert nicht. Oft beginnen die Aufzeichnungen erst Ende der 1980er Jahre (Umweltamt Bottrop) oder Anfang der 2000er Jahre (Emschergenossenschaft). Trotzdem kann man auch bei diesen Ganglinien

## VERFÜGBARE WASSERRESSOURCEN IN DER EMSCHERREGION FÜR EINE AKTIVE KÜHLUNG DURCH BÖDEN WÄHREND TROCKENPERIODEN

Grundwassertiefstände in den Trockenperioden Anfang der 1990er Jahre erkennen (vgl. Abb. 6), was darauf schließen lässt, dass diese Tiefstände auch in den noch extremeren Trockenjahren in den 1970er Jahren stattgefunden haben müssen.



## VERFÜGBARE WASSERRESSOURCEN IN DER EMSCHERREGION FÜR EINE AKTIVE KÜHLUNG DURCH BÖDEN WÄHREND TROCKENPERIODEN

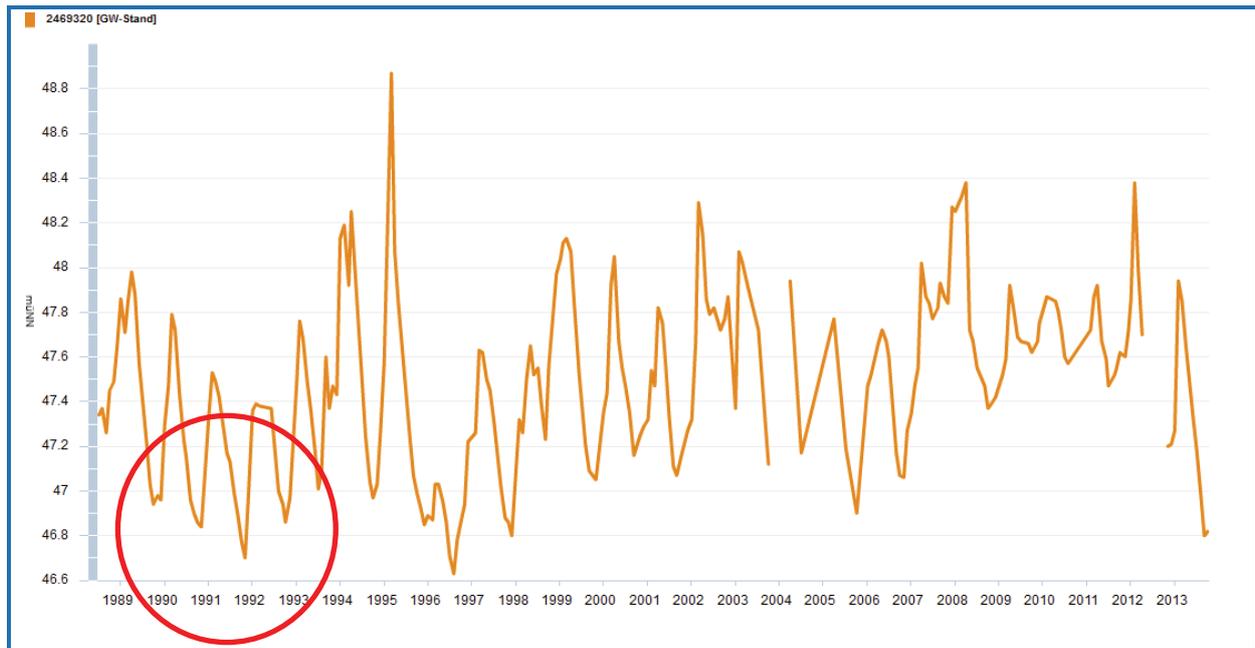


Abb. 6: Grundwasserganglinien in direkter Umgebung von Stadtgarten (oben und linke Karte) und Volkspark (unten und rechte Karte) mit Tiefständen Anfang der 1990er Jahre (BIS GW 2013)

Auf Tiefstände während der 1970er und Anfang der 1990er Jahre weisen auch die Langzeitganglinien aus einem Gutachten über die „Analyse von Senkungserscheinungen außerhalb prognostizierter bergbaulicher Einwirkungsbereiche des Bergwerks Prosper-Haniel“ nördlich der Stadt Bottrop hin (BUSCH et al. 2012).

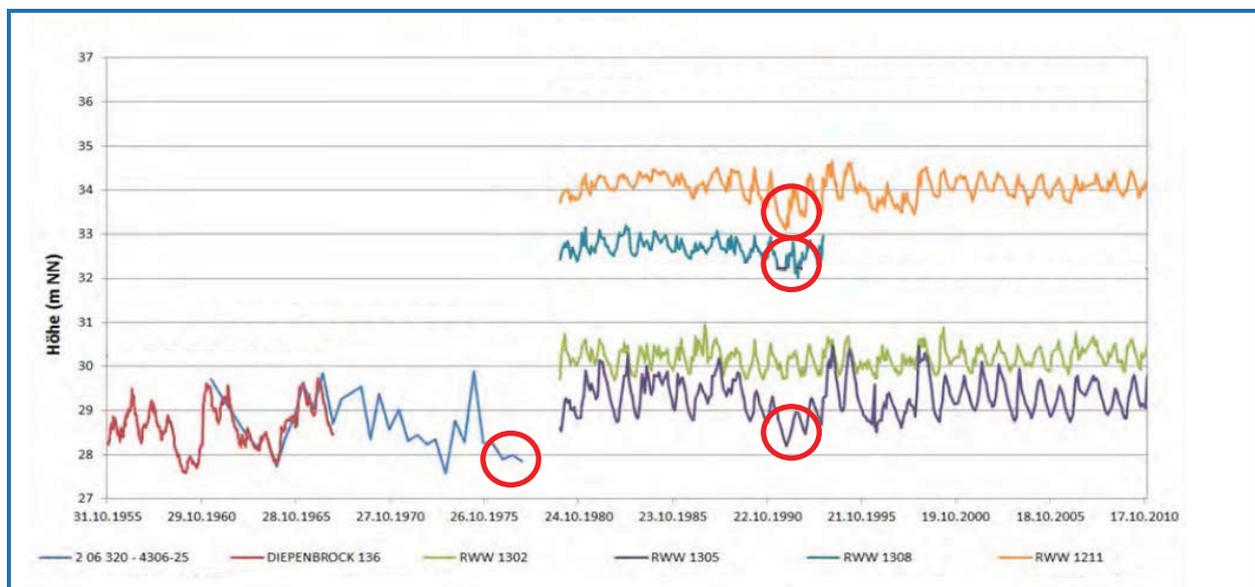


Abb. 7: Langzeitganglinien nördlich des Bottroper Stadtgebiets aus einem Gutachten zur „Analyse von Senkungserscheinungen außerhalb prognostizierter bergbaulicher Einwirkungsbereiche des Bergwerks Prosper-Haniel“ (BUSCH et al. 2012)

Unter der Annahme, dass die Vegetation nur durch einen kapillaren Aufstieg von mehr als 5 mm/d optimal versorgt ist (MÜLLER & WALDECK 2011), darf der Grundwasserflurabstand für typische städtische Böden nicht tiefer als 40 cm bis 50 cm unter der Durchwurzelungstiefe liegen (vgl. Tab. 2). Dies

ist bei durchschnittlichen Absenkungen dieser trockenen Jahre vermutlich nicht mehr gegeben. Daher wird der kapillare Aufstieg grundwassernaher Standorte nicht berücksichtigt.

Durch die Klimaänderungen wird eine Verschiebung der Niederschläge aus den Sommermonaten in die Wintermonate prognostiziert. Dadurch könnte es in Zukunft während längerer Trockenphasen im Sommer häufiger als bislang zu einem Abreißen des kapillaren Aufstiegs kommen (HÖKE et al. 2010).

Dieser Abriss kann auch in grundwasserregulierten Standorten stattfinden, denn es findet lediglich eine Regulierung der Grundwasserhöchststände statt.

Tab. 2: Bodenartabhängige kapillare Aufstiegshöhe [dm] bei einer täglichen kapillaren Aufstiegsrate von 5 [mm/d] (Müller & Waldeck 2011)

Bodenart	kapillare Aufstiegshöhe [dm]
gS, mSgs	3
mSfs	4
fS	5
Sl2, St2, Su2	5
Sl3, Sl4, St3, Su3	6
Su4, Slu	8
Uu, Us	9
Ut2, Ut3, Ut4, Lu, Uls	7
Ls3, Ls4	4
Ls2	5
Lts, Lt2, Tu4, Tu3	3
Tt, Tl, Tu2, Lt3	2

#### Schritt 1.4: Berechnung der Speicherfüllstände des Bodens

Durch die Berechnung der Speicherfüllstände wird ermittelt, an welchen Tagen die Bodenwasserspeicherfüllung unter 70 % nFKWe fällt und somit eine Bewässerung zur Erhaltung der hohen potentiellen Verdunstungsraten nötig ist.

$$\text{Speicherfüllstand \%} = \text{nFKWe}_{\text{FüllstandTag}} - \text{kWB}_{\text{Folgetag}} \quad (\text{Gl.3})$$

Weitere Modellannahmen:

- 100 % Speicherfüllung Ende März aufgrund humider Winter
- ab einer nFKWe-Füllung < 70 % herrscht Wasserstress für Pflanzen (DVWK M238 1996)

#### Schritt 2: Erforderliche Bewässerungsmenge (Engel 2012)

$$\text{Bewässerungsmenge} = \text{nFKWe}_{\text{Zielfeuchte}} - \text{nFKWe}_{\text{Speicherfüllung}} \quad (\text{Gl.4})$$

Die Zielfeuchte wird auf eine nFKWe von 70 % festgelegt, um die im DVWK Merkblatt M238 (1996) beschriebene optimale Wasserversorgung und damit verbundene potentielle Verdunstungsrate des Standortes zu gewährleisten.

Um eine Speicherreserve für Niederschläge sicher zu stellen und die Versickerung von Beregnungswasser zu vermeiden, sollte der Bodenwasserspeicher durch Bewässerung nicht über 80 % nFKWe aufgesättigt werden (ENGEL 2012). Außerdem wird bei nFKWe Füllungen > 80 % der Gasaustausch eingeschränkt, sodass bei länger andauernden Füllungen Sauerstoffmangel entsteht, der die physiologischen Prozesse einer Pflanze negativ beeinflussen kann (WALTER 2005).

Die errechnete Wassermenge für die Bewässerung wird wie Niederschlag behandelt und bei der weiteren Berechnung der Speicherfüllstände berücksichtigt (ENGEL 2012). Besonders zu Beginn der Sommermonate und bei kleinen Bodenwasserspeichern kann es auch zwischen Bewässerungsphasen passieren, dass die Bodenwasserspeicher durch lange oder intensive Niederschläge über 100 % gefüllt werden. In den Berechnungen wird der Überschuss nicht berücksichtigt, dieser fließt entweder als Abfluss oberirdisch ab oder versickert in tiefere Bodenschichten und trägt zur Grundwasserneubildung bei. Dies führt dazu, dass die gesamte Bewässerungsmenge z.T. über dem Defizit der klimatischen Wasserbilanz liegt, da nicht der komplette Niederschlag zur Verdunstung zurückgehalten werden kann. Hysterese Effekte, die bei Ent- und Bewässerung von Böden auftreten, wurden in den Berechnungen nicht beachtet.

### **Schritt 3: Berechnung der Gesamtbewässerungsmenge einer homogenen Teilfläche**

Zur Ermittlung der Gesamtbewässerungsmenge einer homogenen Teilfläche wird die in Schritt 2 ermittelte Bewässerungsmenge mit der Größe der Fläche multipliziert (vgl. Gl.5).

$$\text{Gesamtbewässerungsmenge} = \sum \text{Bewässerungsmenge Fläche}_i \times \text{Flächengröße}_i \quad (\text{Gl.5})$$

## **4.2.2 Deckungsmengen aus der Grund- und Regenwasserbewirtschaftung**

### **Grundwasserbewirtschaftung**

Die Mengenangaben aus den geplanten Ersatzsystemen zur Grundwasserbewirtschaftung sind durchschnittliche Jahresmengen des Klimareferenzzeitraums (1961-1990), die stationär modelliert wurden. Für die Prüfung von Deckungsmöglichkeiten werden auch Monats- oder Tagesmengen benötigt. Es wird angenommen, dass die Anfallsmengen in den Ersatzsystemen maßgeblich durch die Grundwasserneubildung beeinflusst werden. Daher wurden für die Ermittlung von Monatsmengen der Ersatzsysteme die Monatssummen der Grundwasserneubildungsrate in den Projektgebieten zur Jahressumme in Relation gestellt (vgl. Abb. 8). So kann eine prozentuale Verteilung der Jahresneubildung auf die einzelnen Monate ermittelt werden. Hieraus wurde das arithmetische Mittel für die Stadt Bottrop abgeleitet. Eine Ermittlung von Tageswerten ist mit der vorhandenen Datengrundlage nicht möglich. Für die Bewertung muss berücksichtigt werden, dass mittlere Anfallsmengen aus dem Klimareferenzzeitraum nicht der Realität in Trockenjahren entsprechen. Anfallsmengen von hohen und niedrigen Grundwasserständen lassen sich aber nur mit instationären Grundwassermodellen berechnen. Der Emschergenossenschaft werden erst Anfang 2014 durch instationäre Modellierungen Ergebnisse für monatliche Anfallsmengen der Ersatzsysteme bei unterschiedlichen Grundwasserständen vorliegen.

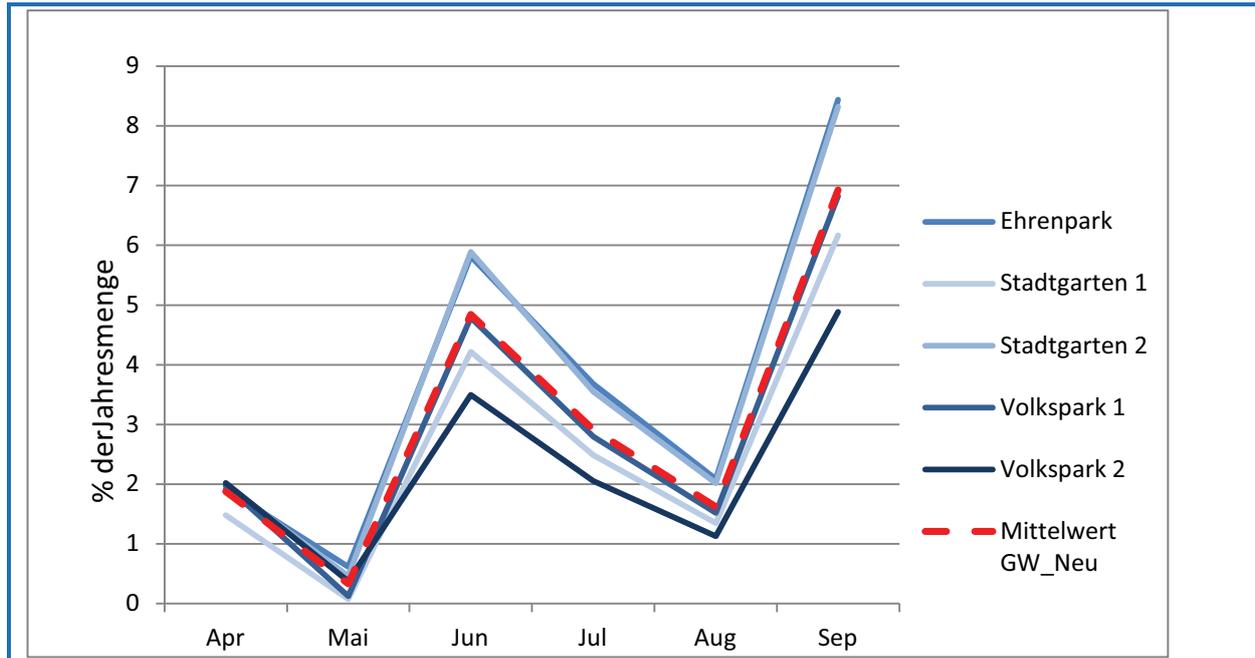


Abb. 8: Prozentualer Anteil der Grundwasserneubildungsrate in den Sommermonaten an der Jahresgesamtmenge (Mittel 1961-1990) (berechnet aus Daten der Emschergenossenschaft)

### Regenwasserbewirtschaftung

Da für eine Bewässerung zur Verdunstung das Abkopplungspotential nicht durch Bodeneigenschaften wie bei der Versickerung beeinflusst wird, kann die Ermittlung des Regenwasserabflusses aus der befestigten Flächengröße  $A_{Ei}$ , dem mittleren Abflussbeiwert  $\psi_{mi}$  sowie der Niederschlagsmenge  $N_i$  berechnet werden:

$$\text{Abflussmenge} \equiv \sum A_{Ei} \times \psi_{mi} \times N_i \quad (\text{Gl.6})$$

Die verwendeten Abflussbeiwerte wurden in Rücksprache mit dem Umweltamt der Stadt Bottrop verwendet und entsprechen den Angaben des DWA Arbeitsblatt 138 (2005) und denen der DIN 18035-3 „Sportanlagen“ (2006).

Tab. 3: Abflussbeiwerte befestigter Flächen aus DWA A138 (2005) und DIN 18035-3 (2006)

Befestigte Fläche	Abflussbeiwert
Dachflächen, Schrägdach	0,9
Dachflächen, Flachdach mit Kies	0,7
Straßen, Wege und Plätze, Beton	0,9
Sportrasen	0,3
Tennisflächen	0,7

Für die Prüfung der Deckungsmöglichkeit werden Abkopplungsmengen aus Tages- und Monatssummen der Sommerniederschläge für ein Gebiet von ca. 150 m um die Parkflächen berechnet.

## 5 Untersuchungsgebiete

Die generelle Machbarkeit der aktiven Bodenkühlung in Trockenperioden wird an drei Parkanlagen der Stadt Bottrop geprüft.

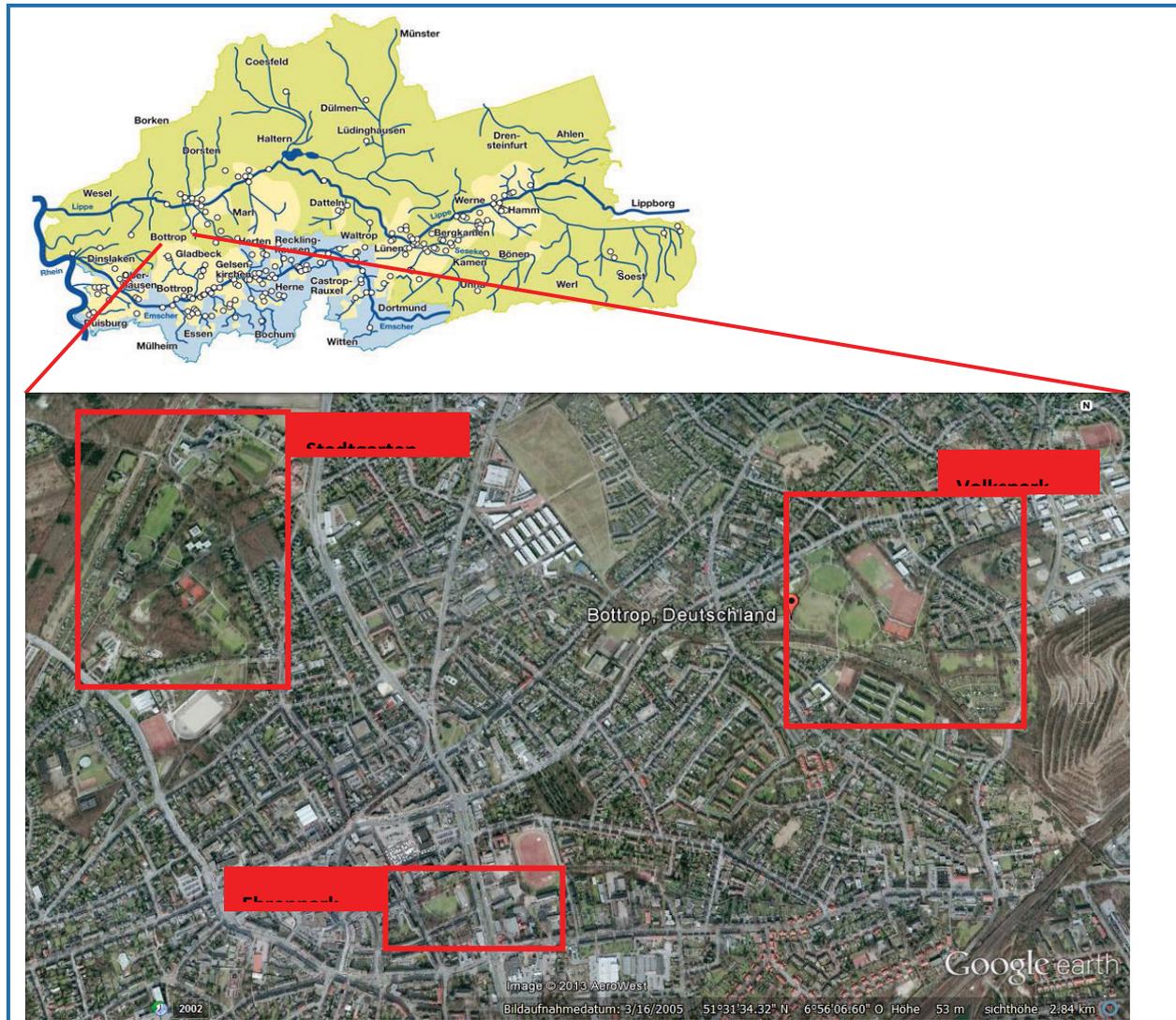


Abb. 9: Übersichtsplan Lage des Bottroper Stadtgebiets mit den Parkanlagen Ehrenpark, Stadtpark und Volkspark im Emscherraum (EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2013c, GOOGLE EARTH 2005)

Die Parkanlagen wurden zum einen aufgrund ihrer zentralen Lage in der Stadt gewählt, zum anderen bieten viele städtische Parkanlagen – bedingt durch ungünstige Gestaltung, Bepflanzung und Bodeneigenschaften (urbane Böden) – ein hohes Optimierungspotential. Dieses kann auf Flächen in städtischem Besitz voraussichtlich leichter umgesetzt und genutzt werden als auf privaten Grundstücken. Da durch die fortschreitende Innenentwicklung von Städten immer weniger Freiflächen zur Verfügung stehen, können und sollten alle noch vorhandenen Freiflächen in Städten in Zukunft grundsätzlich für eine optimierte Kühlung genutzt werden.

Für die Berechnungen des Wasserbedarfs der Parkanlagen sind als Einflussfaktoren das Klima, der Boden, die Vegetation, in durchschnittlichen Jahren die Grundwasserstände und die Größen der Flächen von Bedeutung. Diese Eingangsgrößen werden in der Vorstellung der Untersuchungsgebiete dargelegt.

Da die klimatische Situation für diese Fragestellung in den drei Parkanlagen gleich ist, wird sie vorangestellt betrachtet.

### Klima

Das Klima der Stadt Bottrop wird durch ozeanische Einflüsse bestimmt. Die überwiegend aus westlicher Richtung angeführte Meeresluft bewirkt ein ausgeglichenes Klima mit mäßig warmen Sommern und milden Wintern (STADT BOTTROP 2004).

Für die Berechnungen wird mit den Daten der DWD Wetterstationen Bochum und Essen Bredeneu für den extrem trockenen Sommer 1976 und den trockenen Sommer 1974 sowie mit den gemittelten Werten über den Klimareferenzzeitraum gerechnet (vgl. Tab. 4).

Tab. 4: Klimadaten zu den betrachteten Sommern im Klimareferenzzeitraum, abgeleitet aus den Daten der DWD Wetterstationen Bochum und Essen Bredeneu

	1961-1990	1976	1974
Mittlerer Jahresniederschlag, $N_{j, \text{kor}}$ [mm]	804	534	919
Niederschlag Sommerhalbjahr (Apr.-Sept.) [mm]	432	232	393
Niederschlag Winterhalbjahr (Okt.- Mrz.) [mm]	372	311	526
Gras-Referenzverdunstung (Apr.-Sept.) [mm]	432	531	432
Baum- Referenzverdunstung (Apr. -Sept.) [mm]	700	860	700
Klimatische Wasserbilanz Gras(Apr.-Sept.) [mm]	0	-299	-39
Klimatische Wasserbilanz Baum(Apr.-Sept.) [mm]	-268	-628	-307

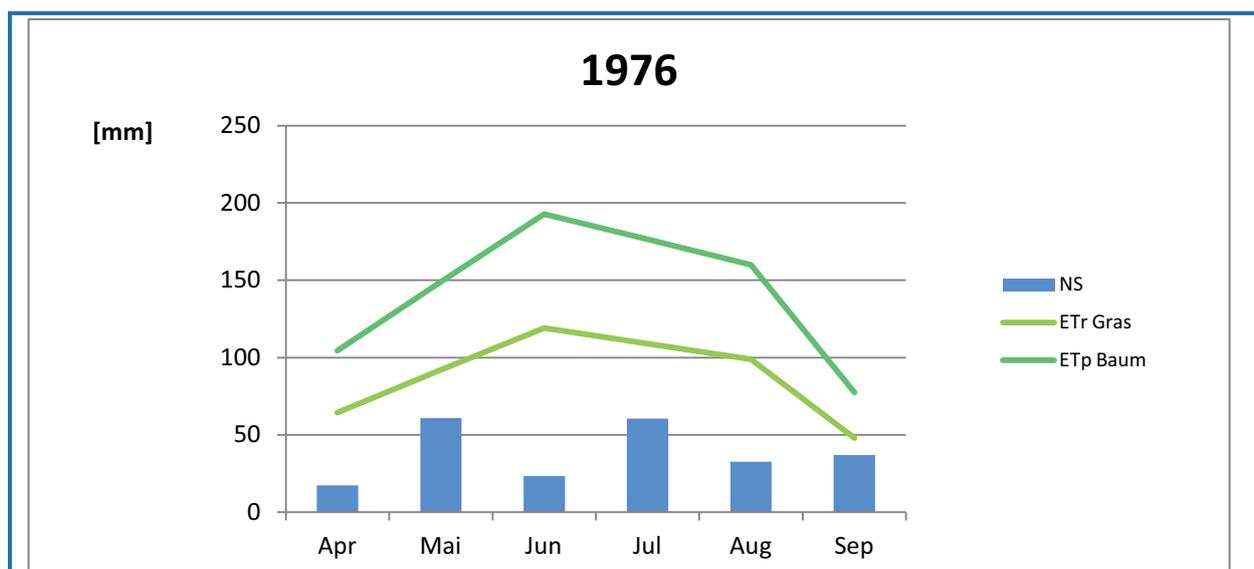


Abb. 10: Niederschlags- und Verdunstungsraten über die extrem trockenen Sommermonate 1976

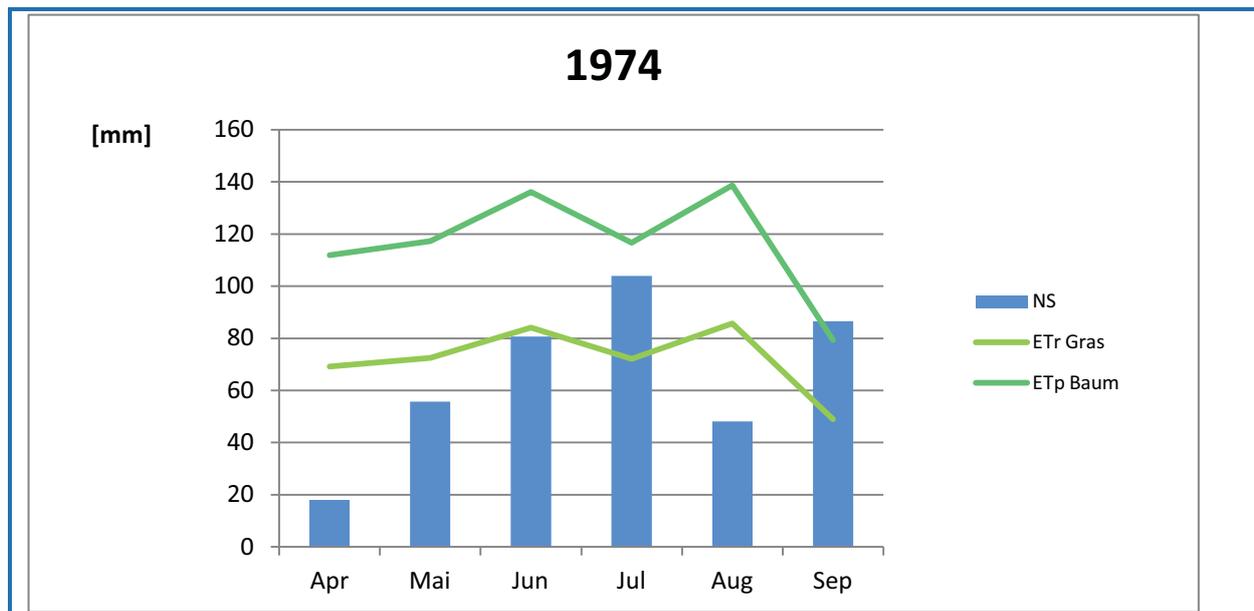


Abb. 11: Niederschlags- und Verdunstungsraten über die trockenen Sommermonate 1974

Bei der Betrachtung von Niederschlags- und Verdunstungsraten der beiden trockenen Sommer wird deutlich, dass im extrem trockenen Sommer 1976, in dem nur 232 mm Niederschlag fielen, die klimatische Wasserbilanz über den gesamten Sommer negativ ist (vgl. Abb. 10). Trockenperioden haben in den Monaten April, Juni und August geherrscht. Im Sommer 1974 sind 393 mm Niederschlag gefallen; es herrschte eine Trockenperiode direkt zu Beginn der Sommermonate im April und eine im August (vgl. Abb. 11). Die längste Periode ohne Niederschläge betrug 1976 19 Tage, 1974 21 Tage. Aufgrund der höheren Verdunstungsraten zwischen Juni und August verursachen Perioden ohne Niederschlag in diesen Monaten höhere Defizite als im April oder September.

## 5.1 Ehrenpark

Der ca. 1,6 ha große Ehrenpark liegt im Stadtzentrum von Bottrop unweit der Innenstadt. Er ist umgeben von Wohnbebauung mit hohen Versiegelungsanteilen. Im Jahr 2011 wurde der Park umgestaltet. Als Mehrgenerationenpark geht er auf die verschiedenen Nutzungsansprüche der umliegenden Anwohner (Kindergarten, Seniorenheim, Schule) ein. Durch die Umgestaltung des Parks wurde keine deutliche Verringerung des Versiegelungsanteils erzielt. Die Parkanlage diente auch in DAMM (2011) als Untersuchungsgebiet. Einige Ergebnisse werden im Kasten „EXKURS: Bodenkühlleistung Ehrenpark“ weiter unten vorgestellt. Zuerst werden die für die Ermittlung des Bewässerungsbedarfs maßgeblichen Faktoren Boden, Vegetation und Grundwasser dargestellt.

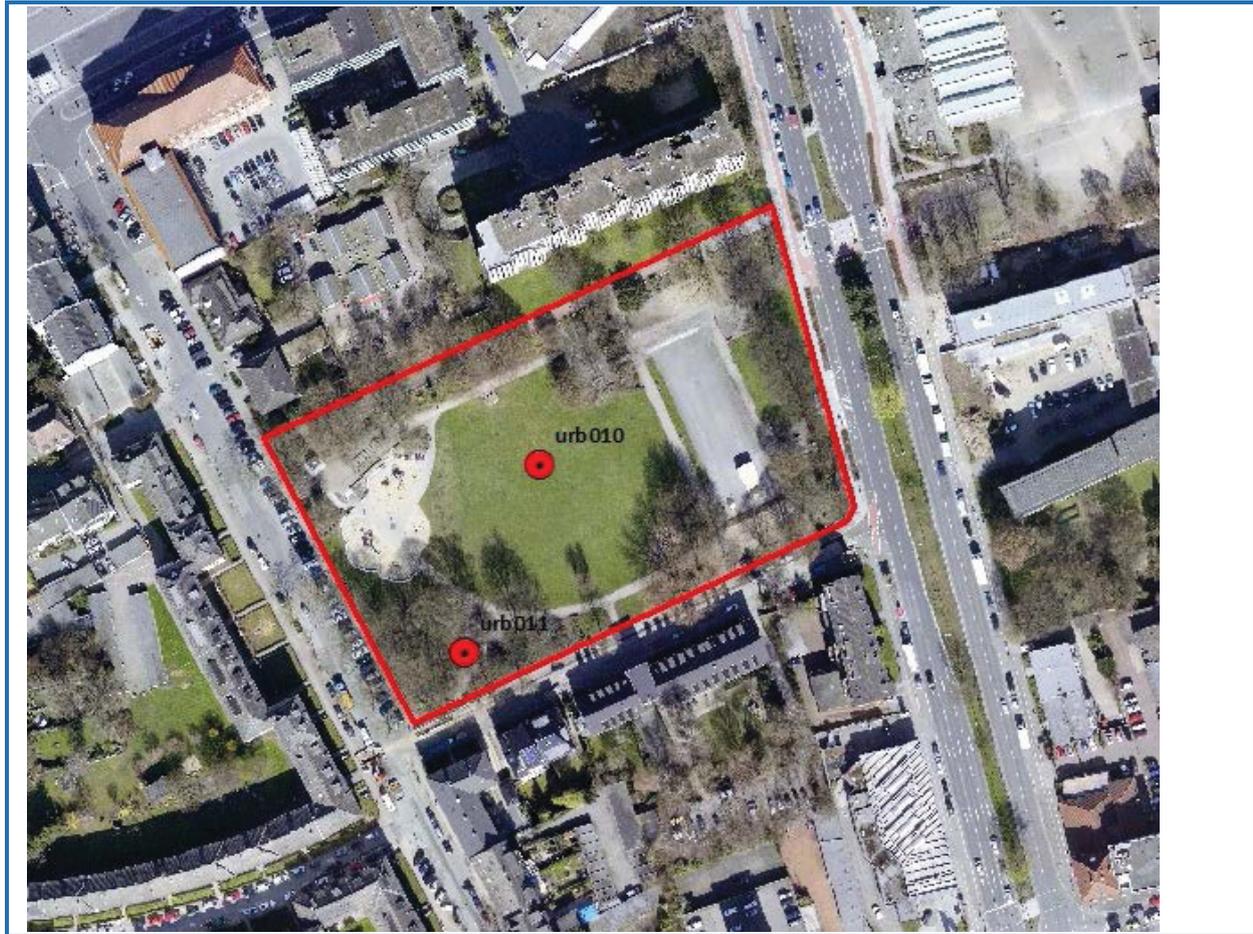


Abb. 12: Parkanlage Ehrenpark mit den Bohrpunkten (Luftbild, STADT BOTTROP 2011)

### Boden

Die Bodenuntersuchungen wurden im Jahr 2011 im Rahmen des *dynaklim*-Teilprojektes „Urbanes Bodeninformationssystem Emscher. Planungshilfe für die Wasserwirtschaft im Klimawandel“ durchgeführt (HÖKE et al. 2012).

- Der Bodenaufbau wurde durch zwei Rammkernsondierungen (urb010 und urb011 (vgl. Abb. 12)) und einen Schurf, welche nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA5, AD-HOC-AG BODEN 2005) angesprochen wurden, aufgenommen (vgl. Anhang 1).
- Das gesamte Untersuchungsgebiet ist durch oberflächennahe Aufschüttungen mit hohen Anteilen technogener Substrate (z.B. Bauschutt, Schlacke, Asche und Bergematerial) aufgeschüttet.

### Vegetation

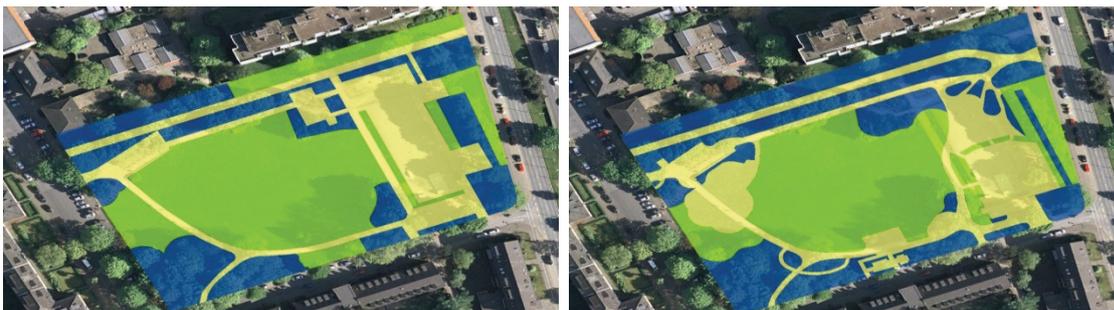
- große Zierrasenfläche
- Pflanzbeete mit Sträuchern und Bäumen

### Grundwasser

- Grundwasserfließrichtung: Südosten, mit deutlichem Gefälle in Richtung Emscher, die ca. 2000 m südlich des Ehrenparks als lokaler Vorfluter fließt (Stadt Bottrop 2009)
- Mittlerer Grundwasserflurabstand: 1 m bis 4 m unter GOK (Emschergenossenschaft 2011b)

### EXKURS: Bodenkühlleistung Ehrenpark

- *Anthropogen überprägter Boden*
- *Hohe Skelettgehalte (Bauschutt)*
- *Geringe Durchwurzelungstiefe (Zierrasen)*
- *Kein Grundwasseranschluss*



Verdunstung			
	optimal	> 600 mm	 mittel 400-500 mm
	hoch	500-600 mm	 gering 300-400 mm
			 sehr gering < 300 mm

Durch die geringe Bodenwasserspeichergröße auf der Zierrasenfläche können nur mittlere Verdunstungsraten erzielt werden. Außerdem wurde aus den Berechnungen deutlich, dass auf der Fläche des Ehrenparks nur 73 % der Grasreferenzverdunstung verdunstet wird. Durch die Umgestaltung des Parks wurde keine Verbesserung der Kühlleistung erzielt, hier liegt ein hohes ungenutztes **Optimierungspotential** vor. Dieses kann durch Optimierung der Bodeneigenschaften, der Bepflanzung und durch Bewässerung genutzt werden (DAMM 2011).

## 5.2 Stadtgarten

Der ca. 20 ha große Stadtgarten wurde 1921 als englischer Landschaftsgarten angelegt. Er liegt nördlich des Stadtzentrums, grenzt im Westen an den Köllnischen Wald, im Norden an das Marienhospital und im Südwesten an ein ehemaliges Bauerngehöft, den Overbeckshof an. Der Park wird durch die Straße im Stadtgarten in einen nördlichen und einen südlichen Teil gespalten. Auf dem Gelände befinden sich heute neben zahlreichen Rad- und Wanderwegen eine große Wasserfontäne, ein Mini-golfplatz sowie das Josef-Albers-Museum „Quadrat“. Für die Bewohner Bottrops hat der Stadtgarten als Ausläufer des Regionalen Grünzugs B eine hohe Naherholungsbedeutung. Im Jahr 2013 feierte der Park sein 100-jähriges Bestehen, seine charakteristische Gestaltung findet man noch heute. 40.000 Blumenzwiebeln sind in den Beetbereichen verpflanzt. Typisch sind weiter die vielen alten Bäume (Rotbuche 150-200 Jahre, Silberlinden 80-120 Jahre) der Anlage, die zum Teil schon vor der Parkgründung standen. Nach dem Ersten Weltkrieg wurde der Stadtgarten zur Versorgung der Bevölkerung als landwirtschaftliche Anbaufläche genutzt.



Abb. 13: Parkfläche Stadtgarten (Luftbild, STADT BOTTROP 2011)

## Boden

Die verwendeten Bodendaten stammen aus Bodenuntersuchungen, die im Herbst 2006, im Rahmen der Erstellung der Digitalen Bodenbelastungskarte-Siedlungsbereich (BBK-S), vom Institut für Stadtökologie und Bodenschutz (ISB) durchgeführt wurden (STADT BOTTROP 2006).

- Der Bodenaufbau der beiden Bohrpunkte (BOT 06 165 und BOT 06 157 (vgl. Abb. 14)) wurde nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA5, AD-HOC-AG BODEN 2005) auf eine Tiefe von 80 cm bis 90 cm angesprochen (vgl. Anhang 1).
- Der Boden ist nach Aussagen des Umweltamtes Bottrops umgelagerter, natürlicher Boden. Im Norden des Parks befindet sich ein mit humosem Sand überdecktes Erdniedermoor. Der südliche Teil der Parkanlage ist hingegen durch einen Pseudogley aus Sand über Ton geprägt. Typisches Merkmal von Pseudogleyen sind Stauschichten, die sowohl die Versickerungseigenschaften als auch den kapillaren Aufstieg reduzieren können.



Abb. 14: Bohrpunkte Stadtgarten (STADT BOTTROP 2006)

## Vegetation

- große Zierrasenflächen
- Pflanzbeete mit Zierblumen
- Sträucher und Bäume (z.T. sehr alt)

## Grundwasser

- • Grundwasserfließrichtung: nordöstlich
- • Mittlerer Grundwasserflurabstand: Norden 0 m bis 2 m unter GOK, im Süden 2 m bis 5 m unter GOK (EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2011b).

### EXKURS: Regenwasserbewirtschaftung im Stadtgarten

Der Stadtgarten wird bereits für die naturnahe Regenwasserbewirtschaftung genutzt. Die Emschergenossenschaft hat schon vor der „Zukunftsvereinbarung Regenwasser“ im Jahr 2004 ein 1.500 m langes Grabensystem zur Ableitung von Niederschlag in den Vorthbach installiert (vgl. Abb. 15). Angeschlossen sind aktuell die befestigten Flächen des Jahn-Stadions und der Dieter-Renz-Schwimmhalle. Bei einem zweijährlichen Hochwasser kann das Grabensystem ca. 340 l/s entlasten, der Niedrigwasserabfluss des Vorthbachs kann um 15 bis 20 l/s gestärkt werden (EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2011a).

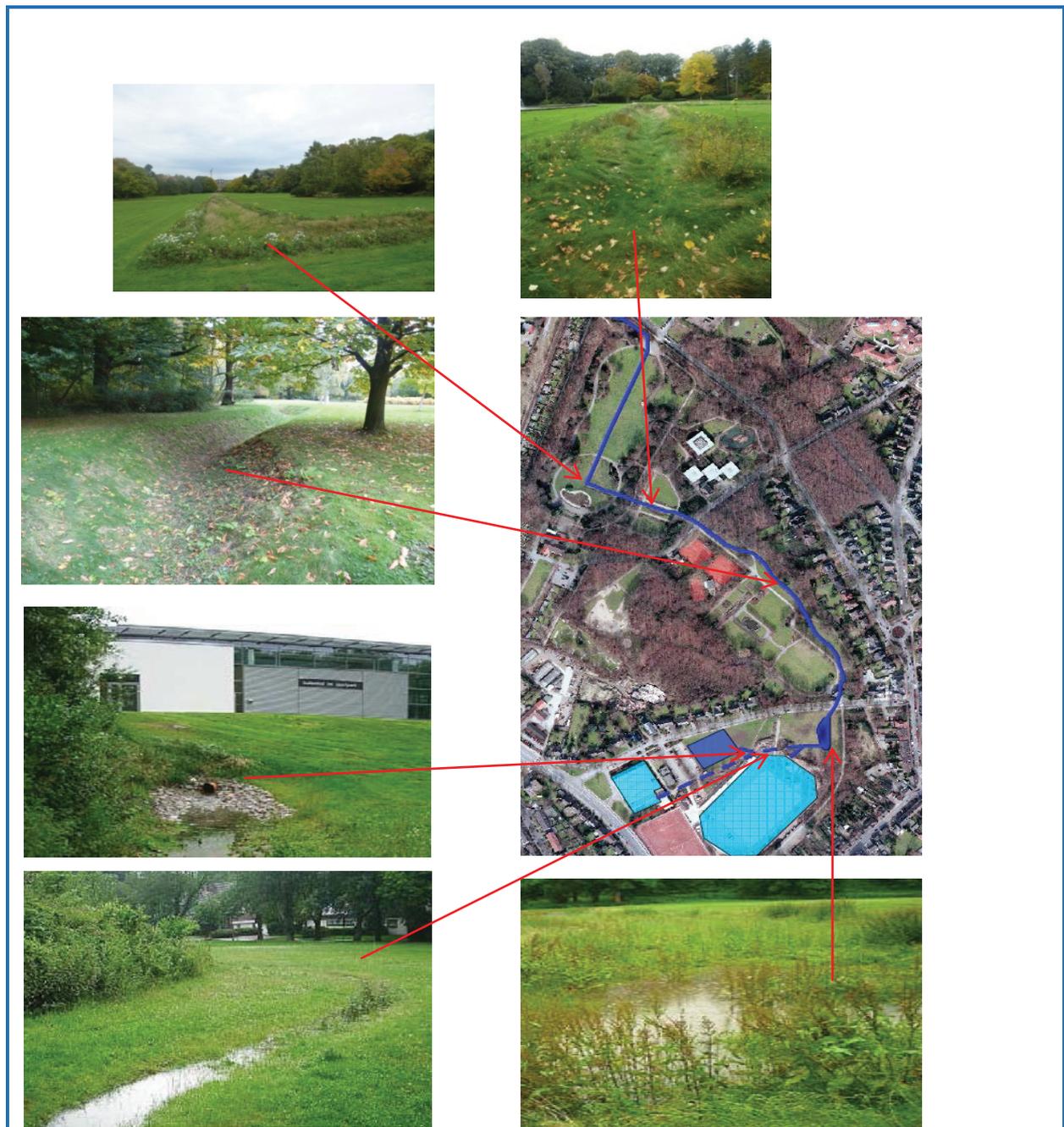


Abb. 15: Elemente der Regenwasserbewirtschaftung am Stadtgarten (TISCHLER 2009, privat)

### 5.3 Volkspark

Der ca. 11 ha große Volkspark liegt im Stadtteil Batenbrock unweit des Tetraeders.

In dieser Arbeit wird der nördliche Teil der Parkanlage mit seinen drei großen Rasenflächen an der Horster Straße betrachtet. Zwei weitere Rasenflächen befinden sich im südlichen Teil der Anlage mit Eingang Beckstraße. Die beiden Parkteile werden durch eine Kleingartenanlage geteilt. Sie sind beide in den Regionalen Grünzug C eingebunden. Es befinden sich außerdem zwei Spielplätze sowie das Bürgerhaus Batenbrock auf der Anlage. Im Osten des Parks grenzen mehrere Sportanlagen (Tennis und Fußball) an. Es bestehen im Umweltamt Bottrop bereits Überlegungen, die Sportanlagen in den Volkspark abzukoppeln. Des Weiteren befindet sich in der Nähe des Bürgerhauses eine kleine künstlich angelegte Teichanlage, die im Herbst 2013 allerdings kein Wasser führte.



Abb. 16: Parkfläche Volkspark (Luftbild, STADT Bottrop 2011)

#### Boden

Die verwendeten Bodendaten stammen aus Bodenuntersuchungen, die im Herbst 2006 im Rahmen der Erstellung der Digitalen Bodenbelastungskarte Siedlungsbereich (BBK-S), vom Institut für Stadtökologie und Bodenschutz (ISB) durchgeführt wurden (STADT BOTTROP 2006).

- Der Bodenaufbau des Bohrpunkts (BOT 06 166 (vgl. Abb. 17)) wurde nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (KA5, AD-HOC-AG BODEN 2005) auf eine Tiefe von 80 cm bis 90 cm angesprochen (vgl. Anhang 1).

- Das gesamte Untersuchungsgebiet ist durch oberflächennahe sandige Aufschüttungen mit Anteilen technogener Substrate (koksartige Asche, Bauschutt z.B. Ziegeln und Bergematerial) aufgeschüttet.



Abb. 17: Bohrpunkt Volkspark (STADT BOTTRUP 2006)

### Vegetation

- große Zierrasenflächen
- Pflanzbeete mit Zierblumen
- Bäume

### Grundwasser

- Grundwasser-Fließrichtung: süd-west in Richtung Emscher, die ca. 2.000 m südlich des Volksparks als lokaler Vorfluter fließt.
- Mittlerer Grundwasserflurabstand: 1 m bis 5 m unter GOK (EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2011b)

## 6 Wasserbedarf für eine aktive Bodenkühlung

Zur Ermittlung des Wasserbedarfs wurden die unbefestigten Flächen der Parkanlagen in Zierrasen- und Baumflächen unterteilt. Sie haben auch bei gleichem Klima unterschiedliche potentielle Verdunstungsraten und weisen damit einen unterschiedlichen Bewässerungsbedarf auf. Die drei Parkanlagen unterscheiden sich außerdem in ihren Bodeneigenschaften.

Die Bestimmung des Bewässerungsbedarfs erfolgt über die klimatische Wasserbilanz.

Hierzu muss aus den Boden-, Vegetations- und Grundwasserinformationen die Größe der Bodenwasserspeicher (nFKWe) ermittelt werden.

Es wurden für die Berechnungen folgende Annahmen getroffen:

- Änderung der effektiven Durchwurzelungstiefen aus den Bodeneigenschaften: We für Baumfläche auf 110 cm (HÖKE et al. 2009)
- We für Zierrasenfläche auf 20 cm, ermittelt im Rahmen von Untersuchungen an einem Schurf im Ehrenpark (DAMM 2011). Dies entspricht auch dem Wert aus Untersuchungen von EPPLE & HOTZ (2008), bei denen 95 % der Wurzelmasse von Rasen in der Oberbodenschicht bis 20 cm vorgefunden wurden.
- Ein möglicher kapillarer Aufstieg wurde, wie in Kapitel 4.2.1 begründet, für die Betrachtung der Worst-Case-Sommer 1976 und 1974 nicht berücksichtigt.
- Für die potentielle Verdunstung der Baumflächen wurden durchschnittliche Tageswerte (KALUSCHE 1996) an den Verlauf der potentiellen Gras-Referenzverdunstung angepasst (vgl. Kapitel 4.2.1).
- Der ermittelte Bewässerungsbedarf beruht auf einer kontinuierlichen Bewässerung, die eine Leerung der Bodenwasserspeicher unter 70 % nFKWe verhindert.

### 6.1 Ehrenpark

Durch die Auswertung des Datenmaterials im ArcGIS erfolgt die Einteilung des Parks in 34 % Zierrasenfläche, 36 % Baumfläche und 30 % befestigte Wegfläche (vgl. Abb. 18). Für die Baumflächen wurde aus den Boden- und Vegetationseigenschaften eine nFKWe von 185 mm und für die Zierrasenfläche eine nFKWe von 30 mm berechnet.

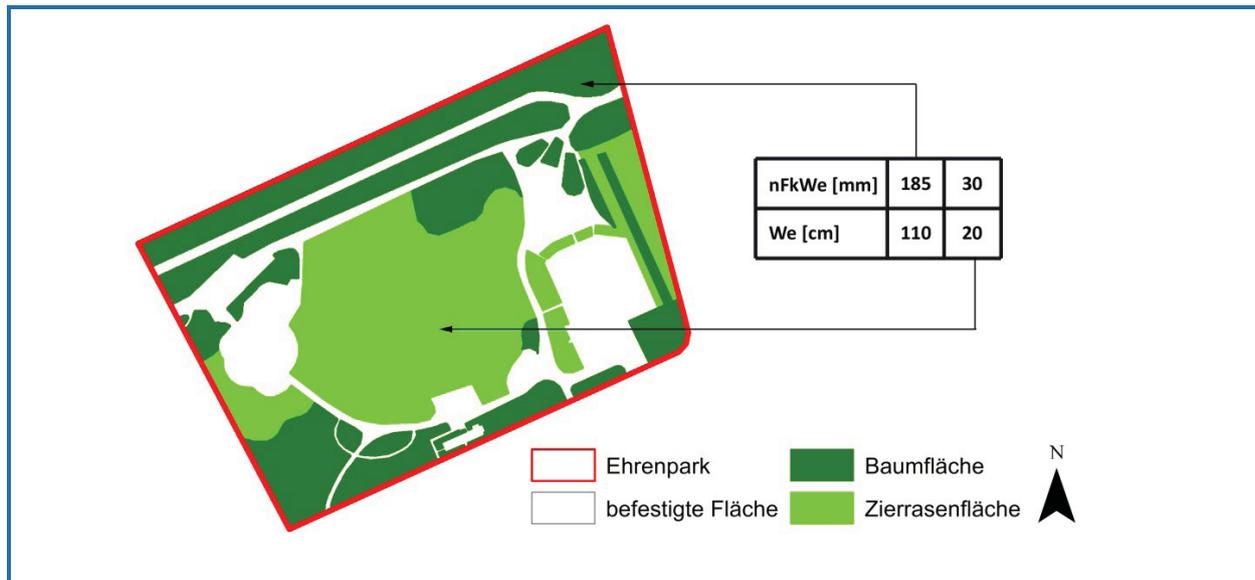


Abb. 18: Flächeneinteilung des Ehrenparks nach Baum-, Zierrasen- und befestigter Fläche sowie ermittelte Kennwerte der Bodenwasserspeicher

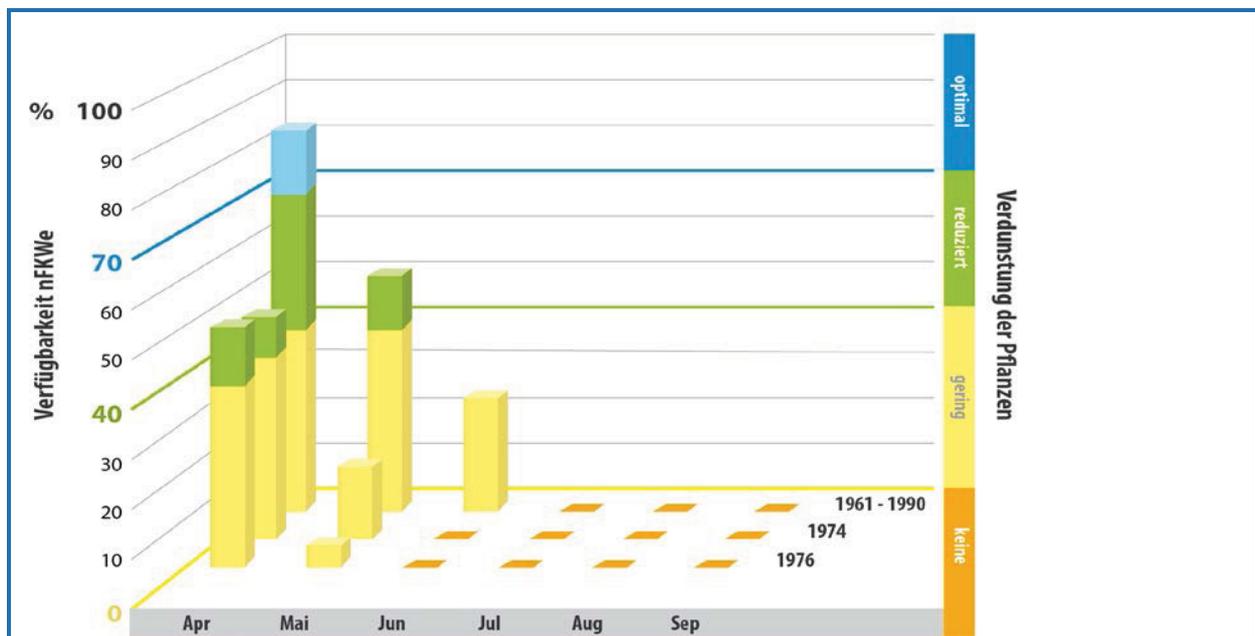


Abb. 19: Speicherfüllstände der Baumfläche, nFKWe 185 mm, über die Sommermonate 1976 und 1974 sowie den Durchschnitt des Klimareferenzzeitraums

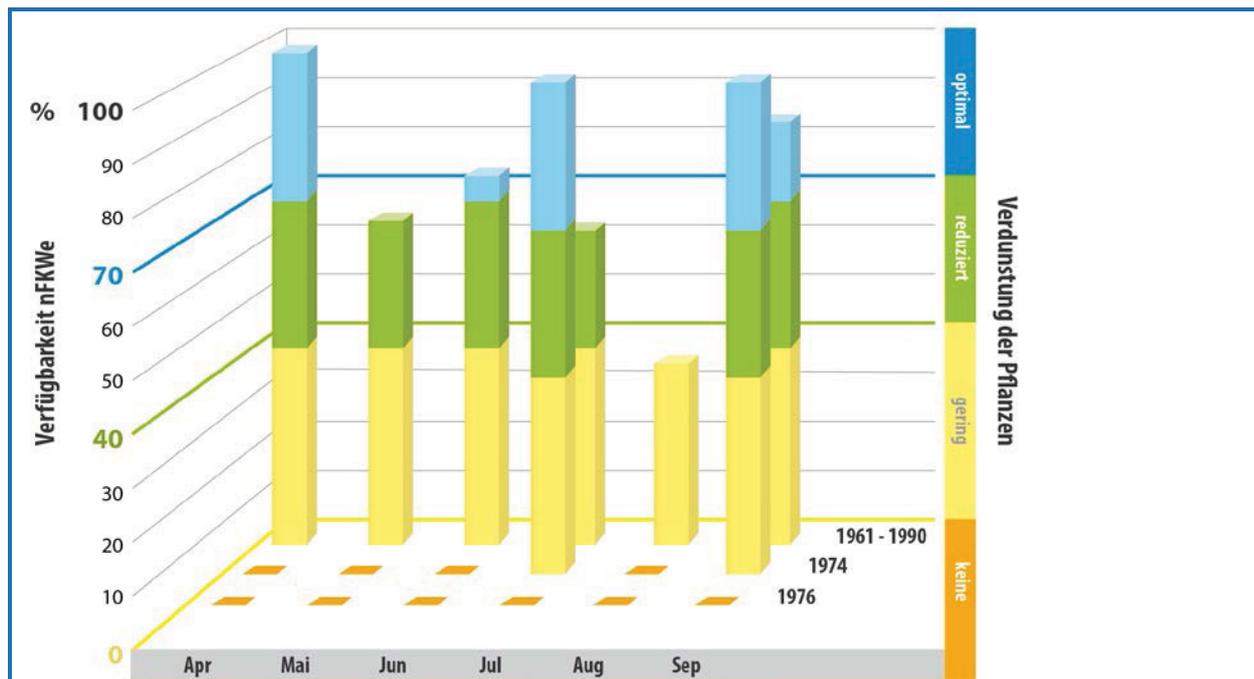


Abb. 20: Speicherfüllstände der Zierrasenfläche, nFKWe 30 mm, über die Sommermonate 1976 und 1974 sowie den Durchschnitt des Klimareferenzzeitraums

Die Abbildungen 19 und 20 zeigen den Verlauf der Speicherfüllstände der Baum- und Zierrasenfläche über die Sommermonate des extremen Sommers 1976, des trockenen Sommer 1974 sowie den Durchschnitt über den Klimareferenzzeitraum.

Es wird deutlich, dass auf dieser Parkfläche die Bodenspeicher in trockenen Jahren früh unter die für die Verdunstungsleistung wichtige Füllung von nFKWe 70 % fallen. Es muss also davon ausgegangen werden, dass über große Zeiträume des Sommers die Kühlfunktion der Fläche durch die Umwandlung von Sonnenenergie in latente Wärme deutlich reduziert ist. Besonders ins Auge fällt die große Zierrasenfläche, die wie in Abbildung 20 deutlich wird, schon im April trocken fällt. Sie wird sich dann, wie in DÜTEMEYER & KUTTLER (2011) und SPERBER (2007) beschrieben, aufwärmen statt einen Beitrag zur Kühlung zu leisten. Aber auch auf den Baumflächen ist mit einem hohen Wassermangel zu rechnen, denn sie können deutlich mehr Wasser verdunsten als die Zierrasenfläche. Baumflächen, die auch in durchschnittlichen Sommern ihren potentiellen Wasserbedarf nicht über den kapillaren Aufstieg decken können, liegen, wie in Abbildung 19 deutlich wird, auch in durchschnittlichen Sommern unter ihrer potentiellen Verdunstungsleistung. Sie reduzieren schon früh ihre Verdunstung als Anpassung an die Trockenheit.

Die Verläufe der Bodenwasserspeicherfüllstände zeigen, dass die Kühlleistung der Parkanlage durch eine Bewässerung erheblich gesteigert werden könnte.

Im extrem trockenen Sommern 1976 kann die Verdunstung verdoppelt werden. Hierzu wurde die vereinfachte Annahme getroffen, dass ohne eine zusätzliche Bewässerung maximal der sommerliche Niederschlag sowie das zu Beginn der Sommermonate zwischengespeicherte Bodenwasser verdunsten können.

Eine Aussage über die Verbesserung der Kühlleistung in niederschlagsreicheren Sommern, wie 1974, ist nur schwer abschätzbar. Hierzu müsste zunächst die tatsächliche Verdunstung tageweise berechnet, - oder besser noch - gemessen werden.

Die Berechnungen zum Bewässerungsbedarf wurden durchgeführt, wie in Kapitel 4 erläutert. Ausgewählte Berechnungsergebnisse sind in Anhang 2.1 zu finden. Die Berechnungen zeigen für die beiden Flächen im aktuellen Zustand folgenden Bewässerungsbedarf, um den Bodenwassergehalt konstant über 70 % nFKWe zu halten:

Tab. 5: Zusammenfassung relevanter Daten für den Bewässerungsbedarf sowie der Berechnungsergebnisse für die trockenen Sommer 1976 und 1974, Ehrenpark

	Baumfläche	Rasenfläche
Flächengröße [m <sup>2</sup> ]	5.866	5.493
nFKWe [mm]	185	30
kA	-	-
Extremsommer 1976, 232 mm Niederschlag		
Anzahl Bewässerungstage	112	106
Start der Bewässerung	20. April	11. April
Menge [l/m <sup>2</sup> ]	574	346
Menge pro Fläche [m <sup>3</sup> ]	3.370	1.900
Menge gesamter Park [m <sup>3</sup> ]/ [l/m <sup>2</sup> ]	5.270/ 464	
Trockener Sommer 1974, 393 mm Niederschlag		
Anzahl Bewässerungstage	74	66
Start der Bewässerung	13. April	4. April
Menge [l/m <sup>2</sup> ]	284	159
Menge pro Fläche [m <sup>3</sup> ]	1.667	873
Menge gesamter Park [m <sup>3</sup> ]/ [l/m <sup>2</sup> ]	2.540/ 224	

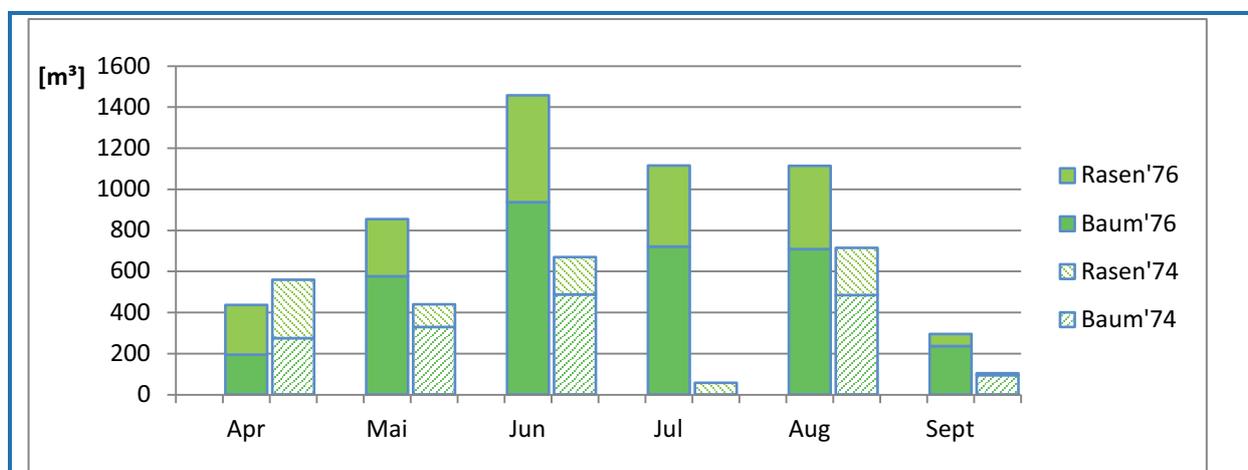


Abb. 21: Bewässerungsbedarf der gesamten Parkfläche, aufgeteilt nach Baum- und Zierrasenflächen für die trockenen Sommer 1976 und 1974

Im extrem trockenen Sommer 1976 ist eine zusätzliche Wasserversorgung an 123 Tagen (67 % der Sommertage) erforderlich. Für die gesamte Parkfläche sind dies ca. 5.300 m<sup>3</sup> über den gesamten Sommer. Der Beginn der Bewässerung liegt bei Zierrasen- und Baumflächen Mitte bzw. Ende April. Da auf beiden Flächen im April noch Bodenwasser genutzt werden kann, ist die Bewässerungsmenge im April geringer als in den folgenden Monaten. Durch die bessere Speichernutzung der Baumflächen (110 cm) gegenüber den Zierrasenflächen (20 cm) ist der Bewässerungsbedarf im April annähernd gleich. Sobald auf beiden Flächen die erste Leerung der Bodenwasserspeicher unter 70 % nFKWe erreicht ist (bei Baumflächen neun Tage später), benötigen die Baumflächen aufgrund ihrer höheren potentiellen täglichen Verdunstungsrate (Baum max.: 9,42 mm, Zierrasen max.: 5,82 mm) deutlich mehr Bewässerungswasser.

Die längste Bewässerungsperiode liegt mit ca. 40 Tagen und einem Bedarf von rund 2.500 m<sup>3</sup> erwartungsgemäß im Juni und Juli, der Juni ist der Monat mit der negativsten klimatischen Wasserbilanz (vgl. Abb. 10, Kapitel 5). Hier liegt der Spitzenbedarf z.T. bei bis zu 87 m<sup>3</sup> pro Tag. Dies entspricht bei gleichmäßiger Wasserzufuhr 1 l/s. Als eine Bewässerungsperiode wurden Abschnitte zusammengefasst, die nicht durch mehr als drei bewässerungsfreie Tage unterbrochen werden. Eine weitere Bewässerungsperiode liegt mit 25 Tagen und 1100 m<sup>3</sup> im August. Die Bewässerungsperioden setzen einige Tage (je nach Größe des Bodenwasserspeichers) nach Beginn von Trockenperioden ein. Insgesamt gibt es drei solcher langen Bedarfsperioden, wobei die erste schon Mitte April beginnt. Sie ist jedoch mit 38 Tagen und 1300 m<sup>3</sup> geringer, da zu Anfang nur Zierrasenflächen bewässert werden müssen, während die Baumflächen noch Bodenwasser nutzen können und insgesamt die Verdunstungsrate noch nicht so hoch ist, wie zwischen Juli und August.

Im Sommer 1974 fiel mit 393 mm mehr Niederschlag als im Extremsommer 1976. Trotzdem weist die klimatische Wasserbilanz besonders Anfang der Sommermonate, von April bis Anfang Mai im Juni sowie im August aufgrund geringer Niederschläge bei hohen Verdunstungsraten Wasserdefizite aus (vgl. Abb. 11, Kapitel 5). Die Trockenperiode im April kann nicht durch die nutzbaren Speichervorräte in den Böden überbrückt werden. Hier liegt der Bewässerungsbedarf bei 23 Tagen und 550 m<sup>3</sup>. Die Bewässerungsperiode auf den Baumflächen ist neun Tage kürzer, zeigt aber in der Summe mit 280 m<sup>3</sup> den gleichen Bedarf. Weitere Bewässerungsperioden, beeinflusst durch die Trockenperioden, liegen mit 28 Tagen und 800 m<sup>3</sup> im Juni und mit 19 Tagen und 700 m<sup>3</sup> im August. Im Juli und September konnte aufgrund der positiven klimatischen Wasserbilanz Niederschlag für die Verdunstung zwischengespeichert werden. Der Bewässerungsbedarf fällt in diesen Monaten entsprechend geringer aus.

Für den Vergleich von Bedarf- und Deckungsmengen in Kapitel 8 wurde der Bewässerungsbedarf von Zierrasen- und Baumflächen summiert.

## 6.2 Stadtgarten

Durch die Auswertung des Datenmaterials im ArcGIS erfolgt die Einteilung des Parks in 18 % Zierrasenfläche, 50 % Baumfläche und 32 % befestigte Fläche (vgl. Abb. 22). Der hohe Anteil an Baumflächen und ein reduzierter Anteil an Zierrasenflächen im Vergleich zum Ehrenpark, wirken sich positiv auf die Verdunstungsleistung aus.



Abb. 22: Flächeneinteilung des Stadtgartens nach Baum-, Zierrasen- und befestigter Fläche sowie ermittelte Kennwerte der Bodenwasserspeicher

Die umgelagerten, naturnahen Böden im Stadtgarten haben aufgrund ihrer Bodeneigenschaften noch heute ein hohes Wasserspeichervermögen. Für die Baumflächen wurde aus den Boden- und Vegetationseigenschaften eine nFKWe von 262 mm (Norden) und 214 mm (Süden) und für die Zierrasenfläche eine nFKWe von 52 mm (Norden) und 55 mm (Süden) berechnet.

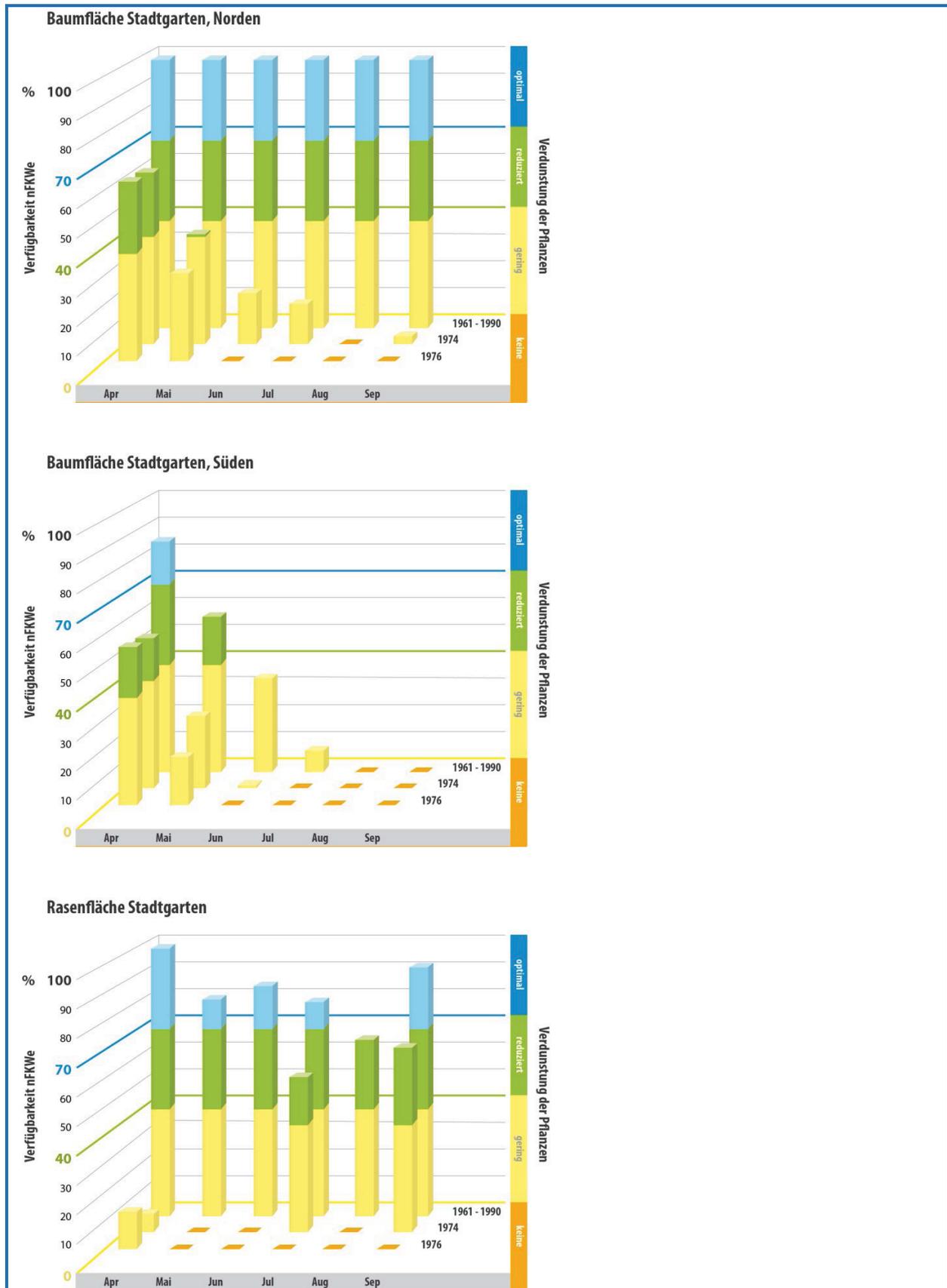


Abb. 23: Speicherfüllstände der Baum- und Zierrasenfläche über die Sommermonate 1976 und 1974 sowie den Durchschnitt des Klimareferenzzeitraums

Der Verlauf der Speicherfüllstände über die Sommermonate des extremen Sommers 1976, des trockenen Sommers 1974 sowie den Durchschnitt über den Klimareferenzzeitraum, ist für die beiden Baumflächen und die Zierrasenfläche im Süden des Parks in Abbildung 23 dargestellt.

Bei den Speicherfüllständen der Baumfläche im Norden wurde für den Durchschnitt 1961-1990 berücksichtigt, dass bei mittleren Grundwasserverhältnissen der Bedarf durch den kapillaren Aufstieg aus dem Grundwasser gedeckt werden kann. Auf der südlichen Baumfläche mit großen mittleren Grundwasserflurabständen ist damit zu rechnen, dass auch in durchschnittlichen Jahren die Verdunstungsrate der Bäume reduziert ist.

Es wird deutlich, dass auch auf Böden mit gutem Wasserspeichervermögen die Verdunstung in diesen trockenen Sommern schon zu Anfang des Sommers reduziert wird. Daher kann auch im Stadtgarten durch eine Bewässerung die Kühlleistung deutlich gesteigert werden. Im extrem trockenen Sommer ist auf den Baumflächen eine Steigerung um 74% und auf den Zierrasenflächen um 85% möglich.

Die Berechnungen zur Ermittlung des Wasserbedarfs wurden, wie in Kapitel 4 erläutert, durchgeführt. Tabelle 6 zeigt die relevanten Daten des Untersuchungsgebiets sowie die Berechnungsergebnisse.

**Tab. 6: Zusammenfassung relevanter Daten für den Bewässerungsbedarf sowie der Berechnungsergebnisse für die trockenen Sommer 1976 und 1974, Stadtgarten**

	Baumfläche bot165/bot157	Rasenfläche bot165/bot157
Flächengröße [m <sup>2</sup> ]	52.727/ 47.399	22.515/ 13.826
nFKWe [mm]	262/ 214	52/ 55
kA	-	-
Extremsummer 1976, 232 mm Niederschlag		
Anzahl Bewässerungstage	104/ 109	98/ 97
Start der Bewässerung	28. April/ 23. April	13. April/ 14. April
Menge [l/m <sup>2</sup> ]	551/ 566	318/ 316
Menge pro Fläche [m <sup>3</sup> ]	29.068/ 26.813	7.168/ 4.364
Menge gesamter Park [m <sup>3</sup> ]/ [l/m <sup>2</sup> ]	67.413/ 494	
Trockener Sommer 1974, 393 mm Niederschlag		
Anzahl Bewässerungstage	65/ 69	51/ 50
Start der Bewässerung	19. April/ 15. April	6. April/ 7. April
Menge [l/m <sup>2</sup> ]	253/ 268	130/ 128
Menge pro Fläche [m <sup>3</sup> ]	13.366/ 12.697	2.930/ 1.774
Menge gesamter Park [m <sup>3</sup> ]/ [l/m <sup>2</sup> ]	30.767/ 225	

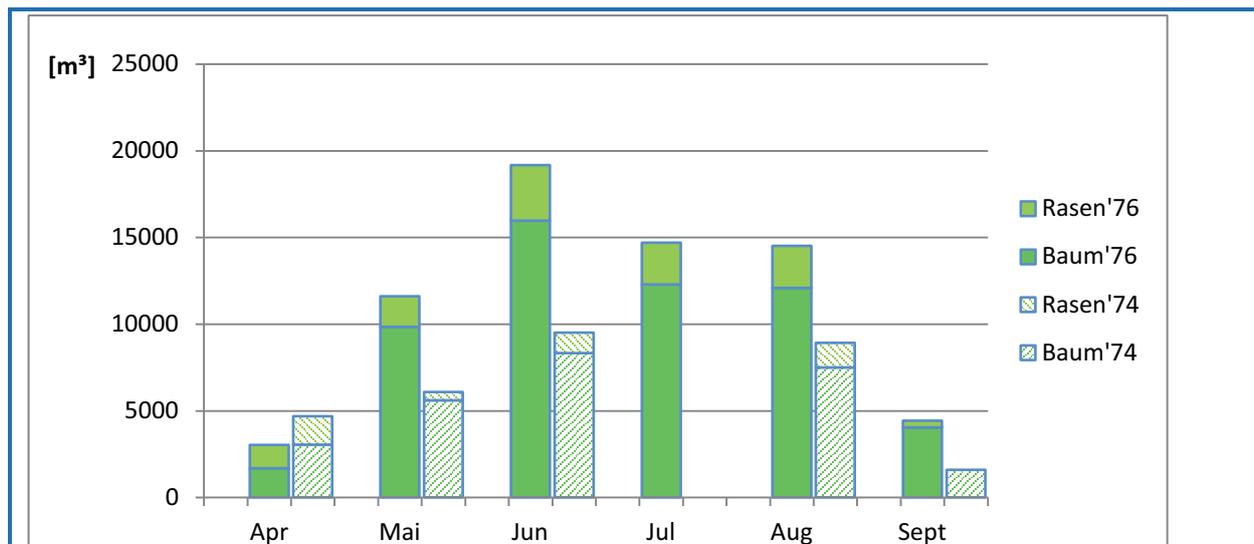


Abb. 24: Bewässerungsbedarf der gesamten Parkfläche, aufgeteilt nach Baum- und Zierrasenflächen für die trockenen Sommer 1976 und 1974

Im extrem trockenen Sommer 1976 ist eine zusätzliche Wasserversorgung an 119 Tagen (65 % der Sommertage) erforderlich. Für die gesamte Parkfläche sind dies ca. 67.400 m<sup>3</sup> Wasser über den Sommer. Der Bewässerungsbeginn der Zierrasenfläche liegt drei Tage nach dem der Zierrasenflächen des Ehrenparks, am 13. April. Die Baumflächen können aufgrund der besseren Bodenspeichernutzung, trotz höherer Verdunstungsraten, noch 10 Tage beziehungsweise zwei Wochen länger ohne Bewässerung auskommen. Wie schon beim Ehrenpark erläutert, beruht die geringe Bewässerungsmenge im April auf der noch möglichen Nutzung der Wintervorräte im Bodenwasserspeicher. Im Stadtgarten ist der hohe Bedarf der Baumflächen im Vergleich zur Zierrasenfläche auffällig. Dies ist zum einen durch die höhere Verdunstungsrate, zum anderen durch die unterschiedlichen Flächenanteile (20 % zu 50 %) zu begründen.

Die längste Bewässerungsperiode liegt bei ca. 40 Tagen und einem Bedarf von rund 33.000 m<sup>3</sup> erwartungsgemäß im Juni und Juli, der Juni ist der Monat mit der negativsten klimatischen Wasserbilanz. Hier liegt der Spitzenbedarf z.T. bei bis zu 1155 m<sup>3</sup> pro Tag, 9,42 l/m<sup>2</sup> und Tag. Dies entspricht bei gleichmäßiger Wasserzufuhr 13,36 l/s. Die erste Bewässerungsperiode beginnt Mitte April, diese dauert mit 43 Tagen auch lange an, hat aber mit 14.600 m<sup>3</sup> einen deutlich geringeren Bedarf, da die Verdunstungsraten zu Beginn der Sommermonate geringer sind. Den gleichen Bedarf weist die Bewässerungsperiode im August bei nur 24 Tagen auf.

Im Sommer 1974 gibt es besonders zu Beginn der Sommermonate von April bis Anfang Mai eine längere Trockenperiode die nicht durch die nutzbaren Speichervorräte in den Böden überbrückt werden kann. Hier liegt der Bewässerungsbedarf bei 21 Tagen und 4.700 m<sup>3</sup>. Weitere Bewässerungsabschnitte, beeinflusst durch die Trockenperioden, liegen mit 22 Tagen und 11.100 m<sup>3</sup> von Ende Mai bis Ende Juni und mit 18 Tagen und 9.300 m<sup>3</sup> im August. Im Juli wirken sich die guten Wasserspeicherfähigkeiten der Böden im Stadtgarten besonders gut aus, hier ist durch den hohen Rückhalt keine Bewässerung notwendig. Im September sind nur geringe Mengen auf den Baumflächen von bedarf.

### 6.3 Volkspark

Durch die Auswertung des Datenmaterials im ArcGIS erfolgt die Einteilung des Parks in 33 % Zierrasenfläche 53 % Baumfläche und 14 % befestigte Wegfläche (vgl. Abb. 25).

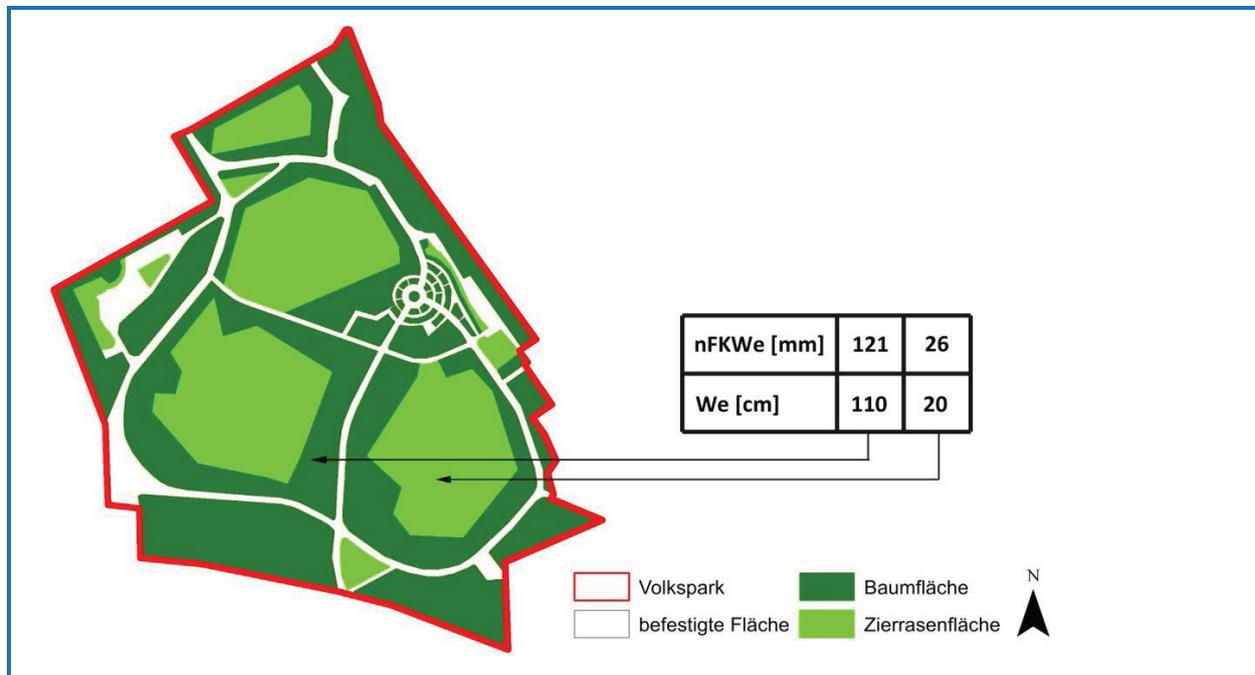


Abb. 25: Flächeneinteilung des Volkspark nach Baum-, Zierrasen und befestigter Fläche sowie ermittelte Kennwerte der Bodenwasserspeicher

Als Bodenart wurde reiner Sand angesprochen, eine der ungünstigsten Bodenarten in Bezug auf die Wasserspeicherfähigkeit. Durch die fehlenden Feinkornanteile, die im Ehrenpark zum Beispiel durch schwach schluffige Anteile gegeben sind, ist der Bodenwasserspeicher im Volkspark mit 26 mm nFKWe auf der Zierrasenfläche und 121 mm nFKWe auf der Baumfläche noch geringer.

Die Abbildungen 26 und 27 zeigen den Verlauf der Speicherfüllstände von Baum- (oben) und Zierrasenfläche (unten) über die Sommermonate des extremen Sommers 1976, des trockenen Sommers 1974 sowie den Durchschnitt über den Klimareferenzzeitraum.

Auch im Volkspark fallen die Bodenspeicher in trockenen Jahren schnell unter die, für die Verdunstungsleistung wichtige, Füllung von nFKWe 70 %. Durch die für die Wasserspeicherfähigkeit ungünstigste Bodenart treten die Defizite der Baumflächen vier Tage vor denen des Ehrenparks und 7/12 Tage vor denen des Stadtgartens auf.

Das Defizit der Zierrasenfläche gleicht dem des Ehrenparks, die Zierrasenflächen des Stadtgartens fallen drei Tage später unter die 70 % Speicherfüllung.

VERFÜGBARE WASSERRESSOURCEN IN DER EMSCHERREGION FÜR EINE AKTIVE KÜHLUNG DURCH BÖDEN WÄHREND TROCKENPERIODEN

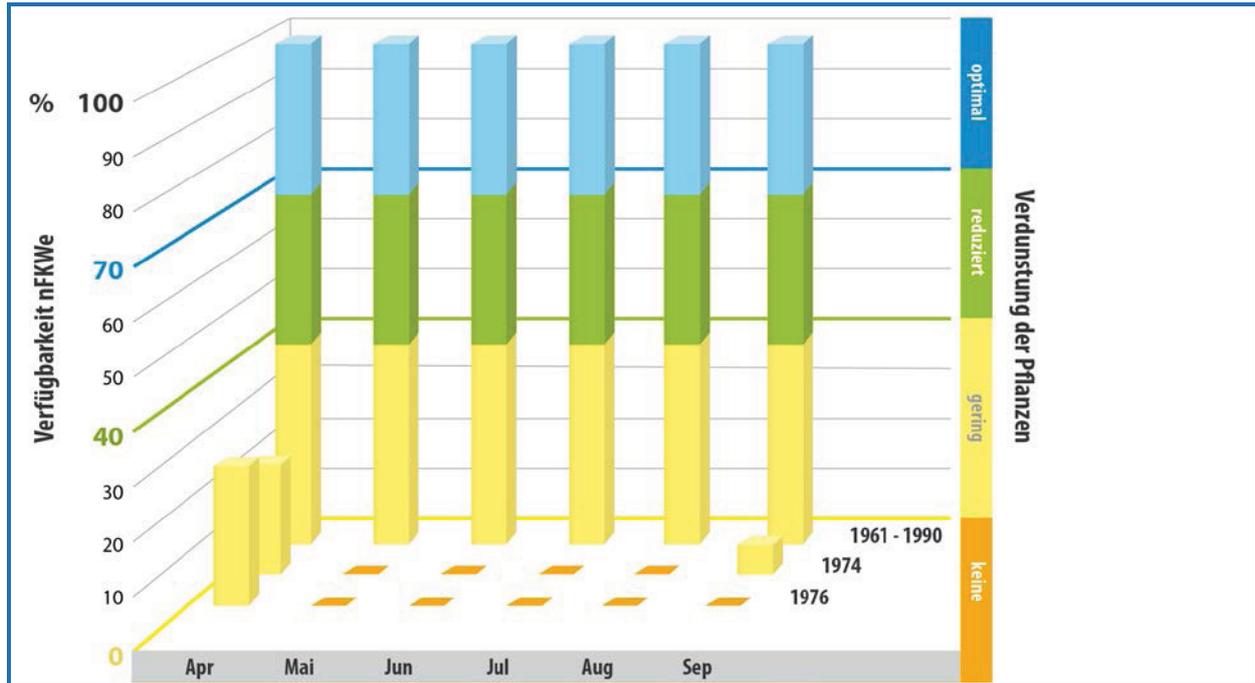


Abb. 26: Speicherfüllstände der Baumfläche, nFKWe 121 mm, über die Sommermonate 1976 und 1974 sowie den Durchschnitt des Klimareferenzzeitraums

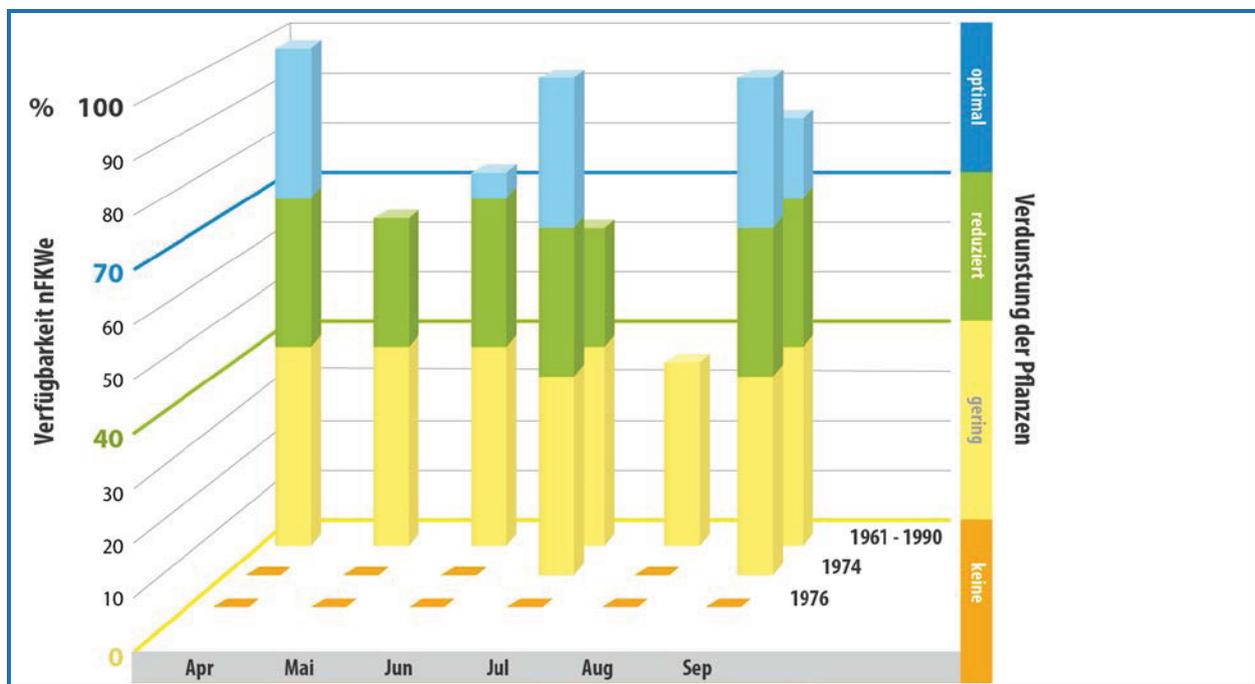


Abb. 27: Speicherfüllstände der Zierrasenfläche, nFKWe 26 mm, über die Sommermonate 1976 und 1974 sowie den Durchschnitt des Klimareferenzzeitraums

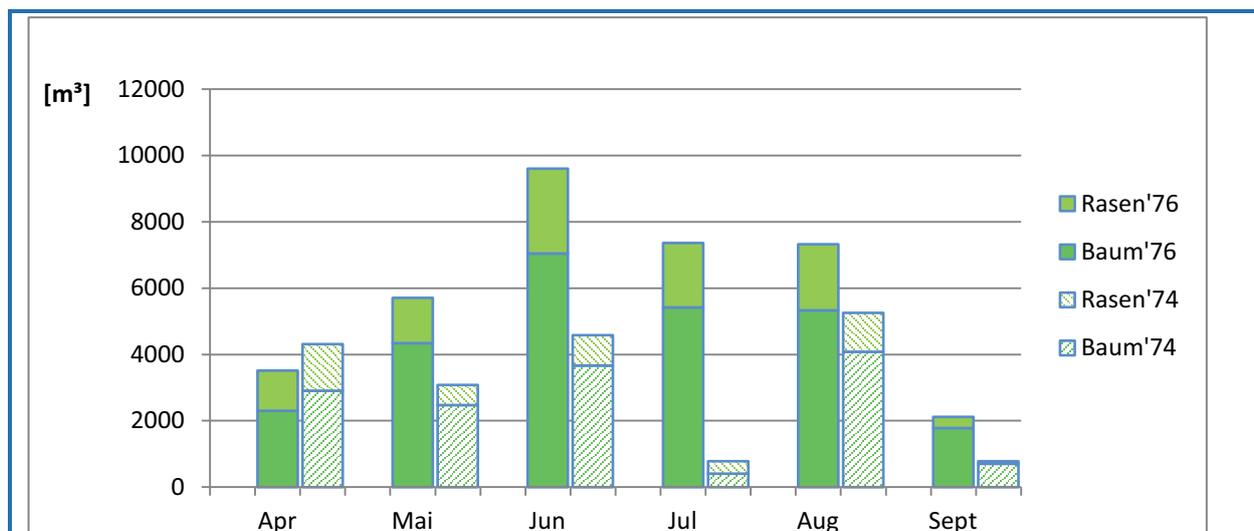
## VERFÜGBARE WASSERRESSOURCEN IN DER EMSCHERREGION FÜR EINE AKTIVE KÜHLUNG DURCH BÖDEN WÄHREND TROCKENPERIODEN

Es gilt also wie auf den beiden anderen Parkanlagen, dass eine aktive Bodenkühlung durch Bewässerung einen erheblichen Beitrag zur Abkühlung der Parkfläche leisten kann.

Im extrem trockenen Sommer ist auf den Baumflächen eine Steigerung um 140 % und auf den Zierrasenflächen um 105 % möglich.

**Tab. 7: Zusammenfassung relevanter Daten für den Bewässerungsbedarf sowie der Berechnungsergebnisse für die trockenen Sommer 1976 und 1974, Volkspark**

	Baumfläche	Rasenfläche
Flächengröße [m <sup>2</sup> ]	44.164	26.599
nFKWe [mm]	121	26
kA	-	-
Extremsummer 1976, 232 mm Niederschlag		
Anzahl Bewässerungstage	116	109
Start der Bewässerung	16. April	11. April
Menge [l/m <sup>2</sup> ]	594	354
Menge pro Fläche [m <sup>3</sup> ]	26.216	9.412
Menge gesamter Park [m <sup>3</sup> ]/ [l/m <sup>2</sup> ]	35.628/ 503	
Trockener Sommer 1974, 393 mm Niederschlag		
Anzahl Bewässerungstage	96	69
Start der Bewässerung	8. April	4. April
Menge [l/m <sup>2</sup> ]	322	171
Menge pro Fläche [m <sup>3</sup> ]	14.250	4.559
Menge gesamter Park [m <sup>3</sup> ]/ [l/m <sup>2</sup> ]	18.810/ 266	



**Abb. 28: Bewässerungsbedarf der gesamten Parkfläche, aufgeteilt nach Baum- und Zierrasenflächen für die trockenen Sommer 1976 und 1974**

Im extrem trockenen Sommer 1976 ist eine zusätzliche Wasserversorgung an 124 Tagen (68 % der Sommertage) erforderlich. Für die gesamte Parkfläche sind dies ca. 35.600 m<sup>3</sup> Wasser pro Sommer. Der Beginn der Bewässerung der Zierrasenfläche liegt drei Tage vor dem im Ehrenpark, am 11. April. Aufgrund der vergleichsweise kleinen Bodenspeicher ist im Volkspark der Unterschied des Bewässerungsbedarfs zwischen April und den anderen Sommermonaten geringer.

Die längste Bewässerungsperiode liegt bei 40 Tagen und einem Bedarf von ca. 16.400 m<sup>3</sup> erwartungsgemäß im Juni und Juli, der Juni ist der Monat mit der negativsten klimatischen Wasserbilanz. Hier liegt der Spitzenbedarf z.T. bei bis zu 570 m<sup>3</sup> pro Tag, 9,42 l/m<sup>2</sup> und Tag, dies entspricht bei gleichmäßiger Wasserzufuhr 6,6 l/s. Insgesamt gibt es drei solcher langen Bewässerungsperioden, wohingegen die erste schon am 11. April beginnt. Sie hat anders als bei den anderen beiden Parkalagen mit 9.000 m<sup>3</sup> einen höheren Wasserbedarf als die Periode im August (7000 m<sup>3</sup>). Dies liegt an den kleinen Bodenspeichern auf der Baumfläche (121 mm Volkspark, 185 mm Ehrenpark, 214 mm und 262 mm Stadtgarten), die im April früher unter 70 % nFKWe fallen.

Im Sommer 1974 liegt die erste Bewässerungsperiode von April bis Anfang Mai, der Bewässerungsbedarf beträgt bei 25 Tagen 4.400 m<sup>3</sup>. Weitere Bewässerungsperioden beeinflusst durch Trockenheit und hohe Verdunstungsraten liegen mit 26 Tagen und 5.700 m<sup>3</sup> von Ende Mai bis Ende Juni und mit 19 Tagen und 5.300 m<sup>3</sup> im August.

### Fazit

Auf allen betrachteten Flächen fallen die Bodenwasserspeicher aufgrund der negativen klimatischen Wasserbilanz in den Sommern 1976 und 1974 unter die Zielfeuchte von 70 % nFKWe.

Eine Bewässerung würde die Verdunstung damit erheblich erhöhen. Im extrem trockenen Sommer 1976 äußert sich dies (in Abhängigkeit von Bodenart und Vegetation) in einer Steigerung der Kühlleistung um 75 % (Böden mit hoher Wasserspeicherkapazität) bis 140 % (Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität).

Da Böden mit hoher Wasserspeicherkapazität über den Sommer mehr Wasser zur Verdunstung bereitstellen können, besitzen sie bereits eine bessere Kühlleistung als Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität. Ihre Steigerung fällt deshalb, wie in den Beispielrechnungen deutlich wird, geringer aus.

Die Unterschiede der Bewässerungsmengen der Böden liegen im extrem trockenen Sommer 1976 bei ca. 39 l/m<sup>2</sup> auf den Zierrasenflächen und bei 42 l/m<sup>2</sup> auf den Baumflächen. Im weniger trockenen Sommer 1974 ist der Unterschied auf der Baumfläche mit 69 l/m<sup>2</sup> schon deutlicher, auf den Rasenflächen beträgt er 43 l/m<sup>2</sup>.

Aus mehreren Gründen wird die Bedeutung von Böden mit hohem Wasserspeichervermögen in diesen Berechnungen nicht sehr deutlich.

- Es wurde nicht mit dem Bodenkennwert  $nFKW_{eff}$  gerechnet, der sich allein aus den Bodeneigenschaften ableitet, sondern auf Zierrasen- und Baumflächen angepassten Durchwurzelungstiefen.
- Die Speicherwirkung der Böden wird durch die hohe Zielfeuchte von 70 % nFKWe auf max. 30 % des gesamten Bodenwasserspeichers begrenzt. Bei den geringen Durchwurzelungstiefen auf den Zierrasenflächen (20 cm) beläuft sich der Unterschied des Speichervolumens von Böden mit günstigen Wasserspeichereigenschaften (Stadtgarten) zu denen mit ungünstigen (Volkspark) nur auf 8,5 mm, auf den Baumflächen auf 42 mm.
- Die Niederschlagsmenge des Sommerhalbjahrs ist nur gering, so dass in vielen Monaten eine negative klimatische Wasserbilanz herrscht. Die unterschiedlichen Speichereigenschaften der Böden fallen daher auf den Baumflächen nur zu Beginn des Sommers bis zum Bewässerungsbeginn ins Gewicht.

Deutlich wird die Wirkung von Böden mit günstigen Wasserspeichereigenschaften in den Monaten, in denen viel Niederschlag über einen geschlossenen Zeitraum fällt. Böden mit günstigen Bodeneigenschaften können einen höheren Anteil der Niederschläge zwischenspeichern.

Auf den Zierrasenflächen reichen dazu aufgrund der geringen Speichergrößen schon kleinere Niederschlagsereignisse aus. Im Sommer 1976 treten diese in den Monaten Juni bis August, im Sommer 1974 im Mai und Juli auf. Der Boden im Stadtgarten kann dann je nach Niederschlagsereignis 8,5 mm mehr Niederschlag speichern als der des Volksparks und muss entsprechend weniger bewässert werden.

Die Speicher auf den Baumflächen sind auch bei ungünstigen Bodeneigenschaften groß genug, um den gesamten Niederschlag im Sommer 1976 zurückzuhalten. Hier ergibt sich die Differenz zwischen den Baumflächen der beiden Parkanlagen nur aus dem über die Wintermonate zurückgehaltenen Bodenwasser (42 mm).

Im Sommer 1974 fiel im Juli mit 104 mm so viel Niederschlag, dass der Bodenspeicher im Volkspark komplett gesättigt war. 27 mm sind versickert oder oberirdisch abgeflossen. Dieses Wasser geht für die Verdunstung verloren und muss zusätzlich bewässert werden. Die beschriebenen Unterschiede zeigt Tabelle 8.

Tab. 8: Differenzen der Bewässerungsmengen der Böden im Stadtgarten und Volkspark

	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sept	Gesamt
Rasenflächen Stadtgarten (55 mm nFKWe) und Volkspark (26 mm nFKWe)							
Differenz 1976 [l/m <sup>2</sup> ]	8	3	9	7	9	2	<b>38</b>
Differenz 1974 [l/m <sup>2</sup> ]	9	10	2	14	6	2	<b>43</b>
Baumfläche Stadtgarten (262 mm nFKWe) und Volkspark (121 mm nFKWe)							
Differenz 1976 [l/m <sup>2</sup> ]	42	0	0	0	0	0	<b>42</b>
Differenz 1974 [l/m <sup>2</sup> ]	42	0	0	9	18	0	<b>69</b>

## 7 Deckungsmöglichkeiten aus den Untersuchungsgebieten

### 7.1 Grundwasserbewirtschaftung

Im Bottroper Innenstadtgebiet sind gemäß der Modellrechnungen der Emschergenossenschaft aktuell 82 hydraulische Ersatzsysteme aus Grundwasserregulierungsmaßnahmen (Dränagen), Transportleitungen (Rohrleitungen, Gräben) und Übergabepunkten (Einleitungsbauwerke, Pumpstationen) vorgesehen (Stand 2013). Diese sollen eine Vernässung der Keller durch zu hohe Grundwasserstände in den Risikogebieten nach Kanalsanierungen verhindern (vgl. Abb. 29).

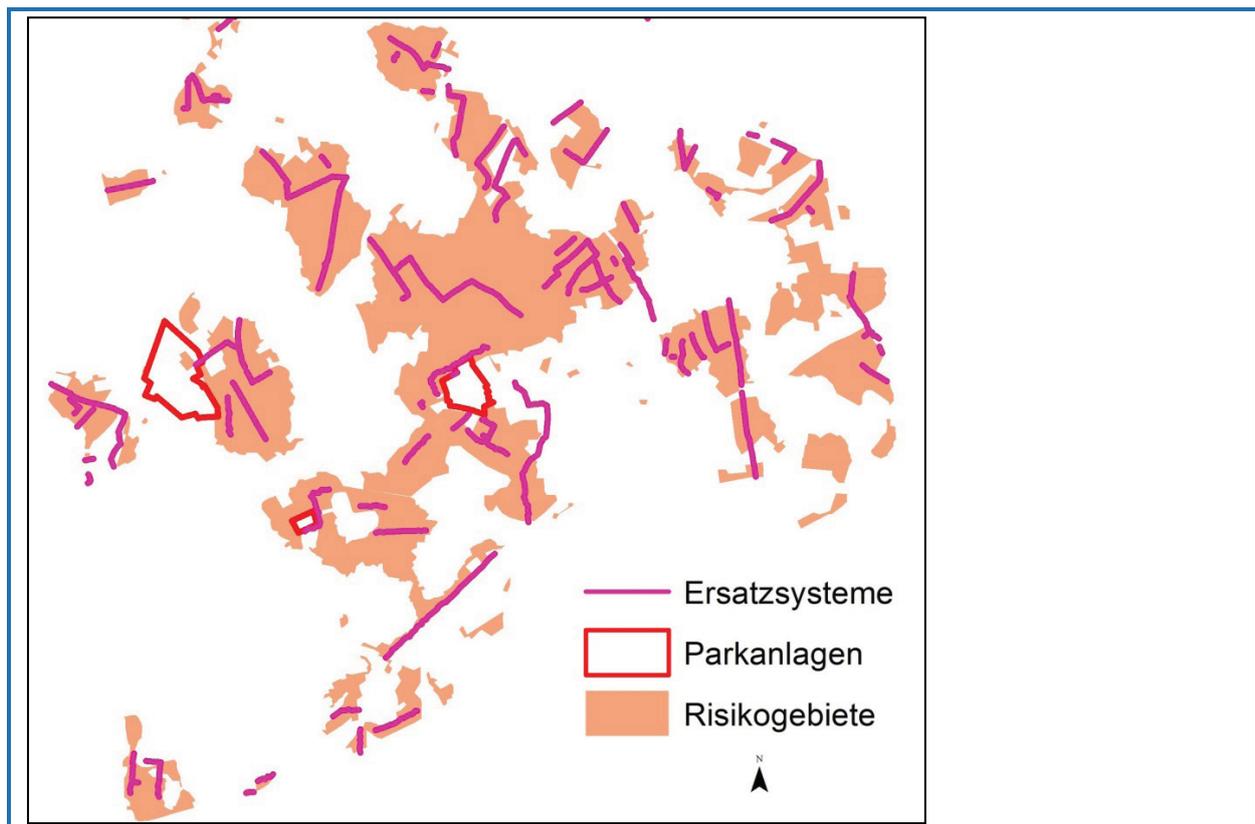


Abb. 29: Lage der Ersatzsysteme, im Bottroper Innenstadtgebiet (Ersatzsysteme und Risikogebiete EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2013b)

Absenkungsziel sind in der Regel die mittleren Grundwasserstände, die vor einer Kanalsanierung geherrscht haben (EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2013a). Dränagen können für eine dauerhafte und weitreichende Grundwasserabsenkung in Gebieten mit durchlässigen Bodeneigenschaften ( $k_f \geq 5 \times 10^{-6}$ ) verwendet werden. In der Emscherregion werden sie aufgrund des Risikos einer Verockerung eingestaut betrieben. Die Planungen sehen vor, dass Dränageabschnitte von maximal 80 m das gleiche Absenkziel haben, das durch einen nachfolgenden Steuerschacht reguliert werden soll. Nähere Informationen zu den Planungen der hydraulischen Ersatzsysteme sind der „Arbeitshilfe für Planung, Bau und Betrieb hydraulischer Ersatzsysteme“ zu entnehmen (EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2013a).

Durch die Emschergenossenschaft wurden die Lage und die mittleren Anfallsmengen (nach Kanalsanierung) dieser modellierten Ersatzsysteme zur Verfügung gestellt. Der gesamte mittlere Grundwasseranfall beläuft sich im Sommerhalbjahr April bis September auf 390.000 m<sup>3</sup>. Wobei in den Monaten

Juni und September aufgrund erhöhter Niederschläge am meisten reguliert werden muss, der Mai hingegen ergibt im Durchschnitt die geringsten Mengen.

Abbildung 29 zeigt die Lage der Ersatzsysteme, der Risikogebiete sowie der betrachteten Untersuchungsgebiete. Es wird deutlich, dass an den betrachteten Parkanlagen mindestens ein Ersatzsystem geplant ist, über das Grundwasser für die Bewässerung der Parkanlagen zur Verfügung gestellt werden könnte.

Im Folgenden werden für jede Parkanlage die Lage der geplanten Ersatzsysteme und deren Anfallsmengen über das Sommerhalbjahr dargestellt.

## Ehrenpark

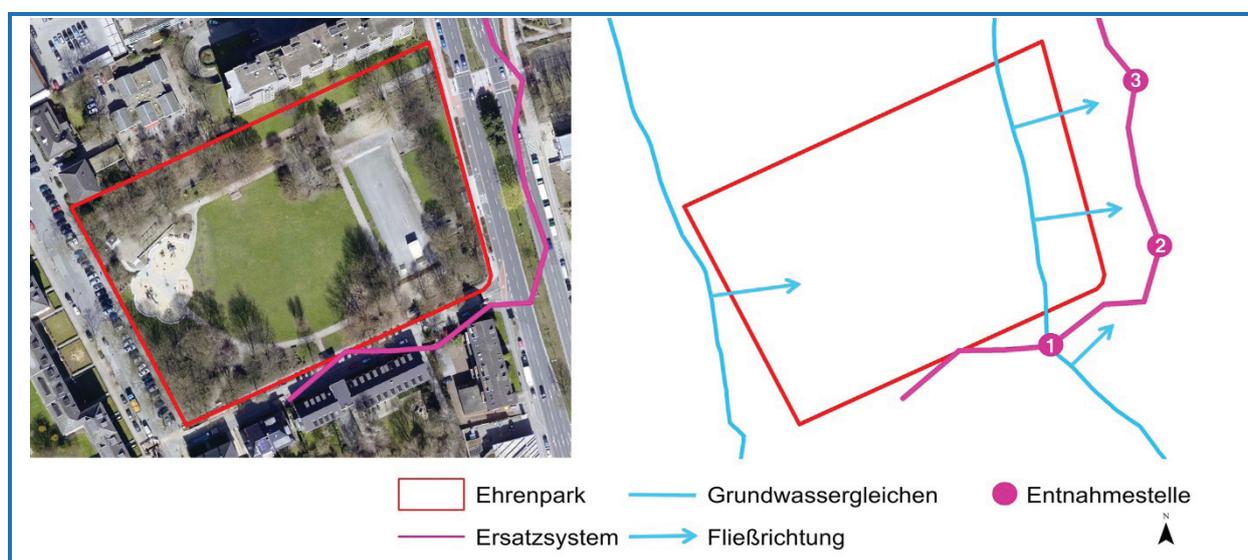


Abb. 30: Lage der geplanten Dränage am Ehrenpark, mit 3 möglichen Entnahmestellen und GW-Fließrichtung (Luftbild STADT BOTTRUP 2011, GWG und Ersatzsystem EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2013b)

Die errechneten Anfallsmengen und weitere Informationen über die geplante Dränage sind in Tabelle 9 für die drei Entnahmestellen aufgeführt.

Tab. 9: Informationen über die geplante Dränage am Ehrenpark

Entnahmestelle	Länge [m]	Niveau gemittelt [m ü. NN]	Dränage [m <sup>3</sup> /m]	Gesamtmenge Sommerhalbjahr [m <sup>3</sup> ]
1	70	47,48	26	<b>4.193</b>
2	70	47,06	17	
3	73	46,62	17	

## Stadtgarten

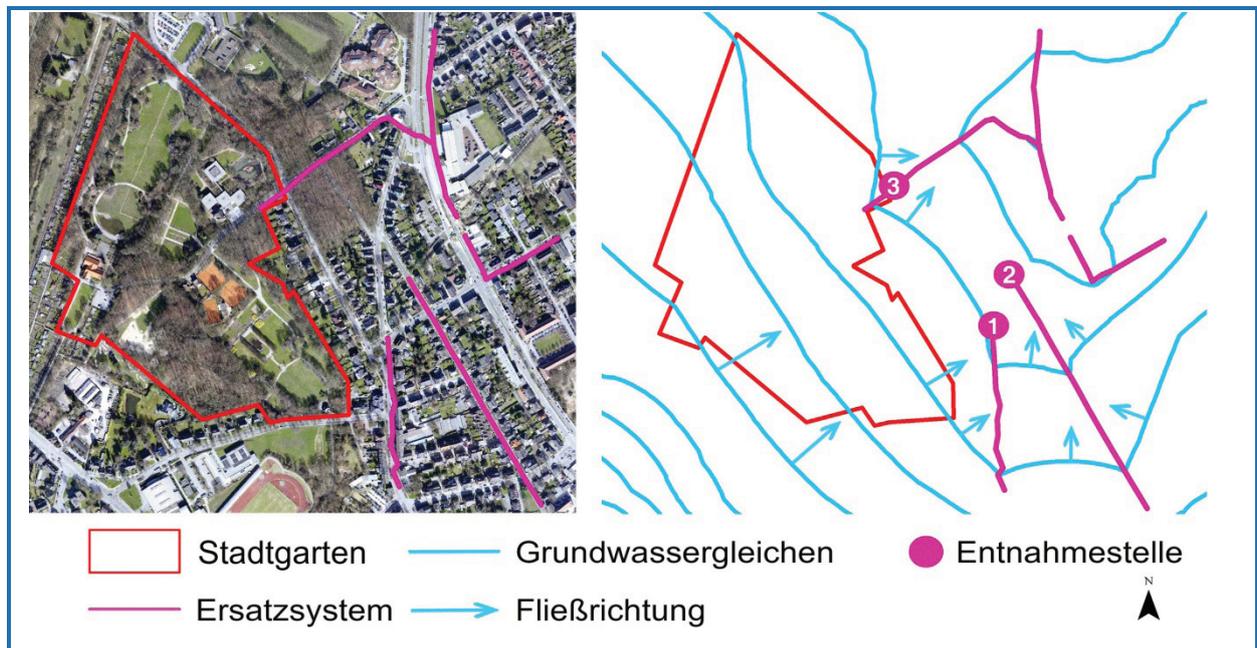


Abb. 31: Lage der geplanten Dränagen am Stadtgarten, mit 3 möglichen Entnahmestellen und GW-Fließrichtung (Luftbild STADT BOTTROP 2011, GWG und Ersatzsystem EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2013b)

In Tabelle 10 sind die Anfallsmengen und weitere Informationen über die geplanten Dränagen zusammengefasst.

Tab. 10: Informationen über die geplanten Dränagen am Stadtgarten

Dränage	Länge [m]	Niveau gemittelt [m ü. NN]	Dränage [m <sup>3</sup> /m]	Gesamtmenge Sommerhalbjahr [m <sup>3</sup> ]
1	276	43,13-41,6	44	<b>27.700</b>
2	465	43,41-41,14	26	
3	70	41,92-41,5	46	

## Volkspark

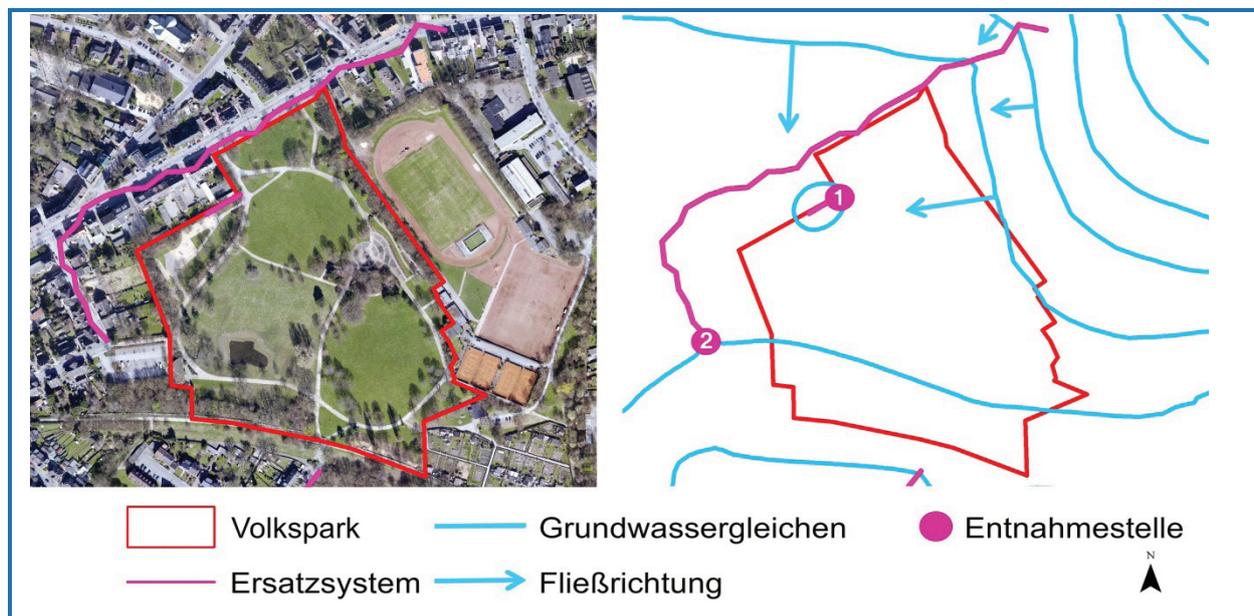


Abb. 32: Lage der geplanten Dränagen am Volkspark, mit 2 möglichen Entnahmestellen und GW-Fließrichtung (Luftbild STADT BOTTRUP 2011, GWG und Ersatzsystem EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2013b)

Informationen und Anfallsmengen der beiden geplanten Dränagen können Tabelle 11 entnommen werden.

Tab. 11: Informationen über die geplanten Dränagen am Volkspark

Dränage	Länge [m]	Niveau gemittelt [m ü. NN]	Dränage [m <sup>3</sup> /m]	Gesamtmenge Sommerhalbjahr [m <sup>3</sup> ]
1	40	41,25	64	<b>14.800</b>
2	631	44,35-41,8	19	

## Fazit

Ein Vergleich der verschiedenen Dränagen entlang der Parkanlagen ergibt, dass die Förderleistung [m<sup>3</sup>/m] der Dränagen je nach Untergrunddurchlässigkeit und Gefälle auf die Dränage sowie Größe und Nutzung des Einzugsgebietes deutlich variiert. Die höchste Leistung über den Sommer hat die kleine Dränage am Volkspark mit 64 m<sup>3</sup>/m. Die geringste, die Dränagen am Ehrenpark und Volkspark mit 19 m<sup>3</sup>/m. Für die Deckungsmengen spielen aber auch noch die nutzbaren Längen der Dränagen und damit das gesamte nutzbare Grundwasser während der Sommermonate eine wichtige Rolle. Die meisten Dränagemeter können am Stadtgarten mit 811 m genutzt werden, am Ehrenpark hingegen nur 213 m. Abbildung 33 zeigt die zusammengefassten Anfallsmengen der geplanten Dränagen an den Parkanlagen über die Sommermonate.

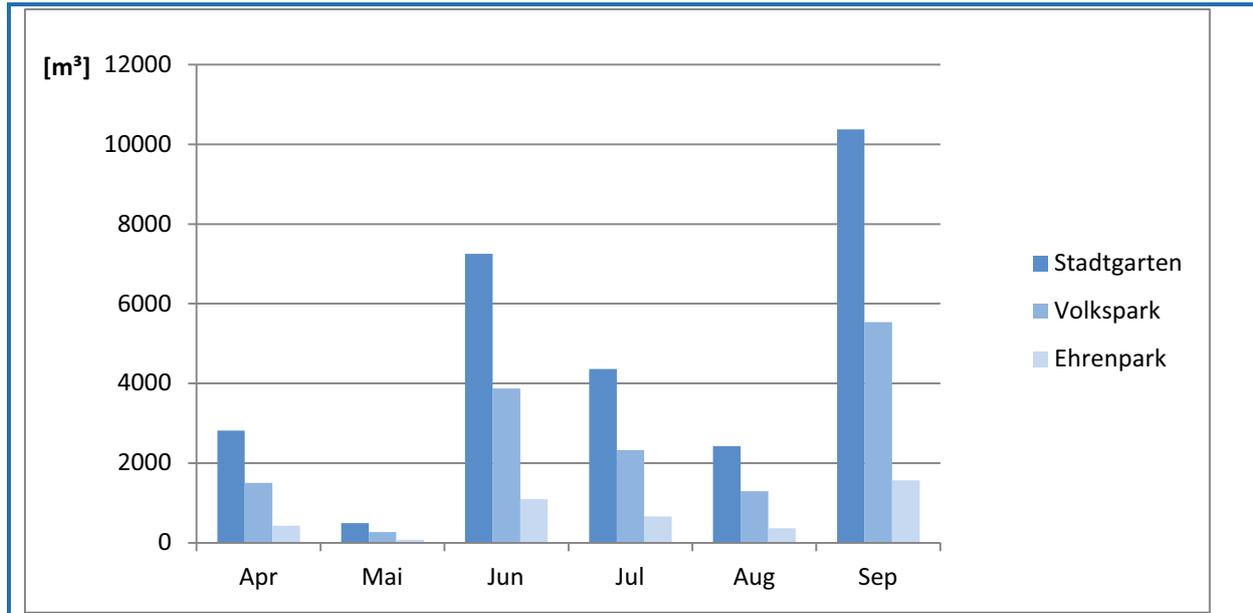


Abb. 33: Verfügbares Grundwasser (mittlere Anfallsmengen des Klimareferenzzeitraums) aus den geplanten Dränagen entlang der Parkanlagen über die Sommermonate

Neben den unterschiedlichen Anfallsmengen muss auch auf die in Kapitel 4.2.1 bereits erwähnte Problematik der extrem tiefen Grundwasserstände – wie im trockenen Jahr 1976 – eingegangen werden. Damit ein ständiger Einstau des Dränagerohrs und des Filters gewährleistet ist, plant die Emschergenossenschaft, den Rohrscheitel der Dränage mindestens um den zweifachen Außendurchmesser (DA) unter den tiefsten zu erwartenden Grundwasserstand zu legen (EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2013a). Das geplante Einstauniveau der Dränagen wurde durch die Emschergenossenschaft anhand der mittleren Grundwasserstände ermittelt. Die im Jahresverlauf tiefsten Grundwasserstände sollen aus den vorliegenden Ganglinien abgeschätzt werden (EMSCHERGENOSSENSCHAFT 2013a).

Dennoch ist nicht auszuschließen, dass bei extrem tiefen Grundwasserständen wie 1976 die Gefahr des Trockenfallens der Dränagen besteht.

Tritt dies ein, kann über die Sommermonate nur wenig Wasser aus der Grundwasserbewirtschaftung für die verdunstungsfördernde Bewässerung von Freiflächen genutzt werden.

## 7.2 Regenwasserbewirtschaftung

Die Bebauung entlang der Parkanlagen ist durch Doppel- und Reihenhausbebauung sowie Blockrandbebauung gekennzeichnet. Die Möglichkeiten zur Regenwasserabkopplung sind in vielen Bereichen gegeben. Es wurden für eine Abkopplung Dachflächen, Sportflächen sowie die befestigten Flächen der Parkanlagen in einem Radius von ca. 150 m um die Parkanlage berücksichtigt. Dies kann bei einer späteren Planung abweichen. Straßen wurden aufgrund der potentiellen Belastung des Wassers (DWA A138 2005) sowie einer erschwerten Abkopplung nicht berücksichtigt. Für die Prüfung der Deckungsmöglichkeit werden Abkopplungsmengen aus Tages- und Monatssummen der Sommerniederschläge berechnet.

## Ehrenpark

Die für die Berechnung der Abkopplungsmengen berücksichtigten Flächen, in der nahen Umgebung des Ehrenparks, sind in Abbildung 34 dargestellt. Es wurden Dach- sowie befestigte Flächen im Park selbst in Betracht gezogen.

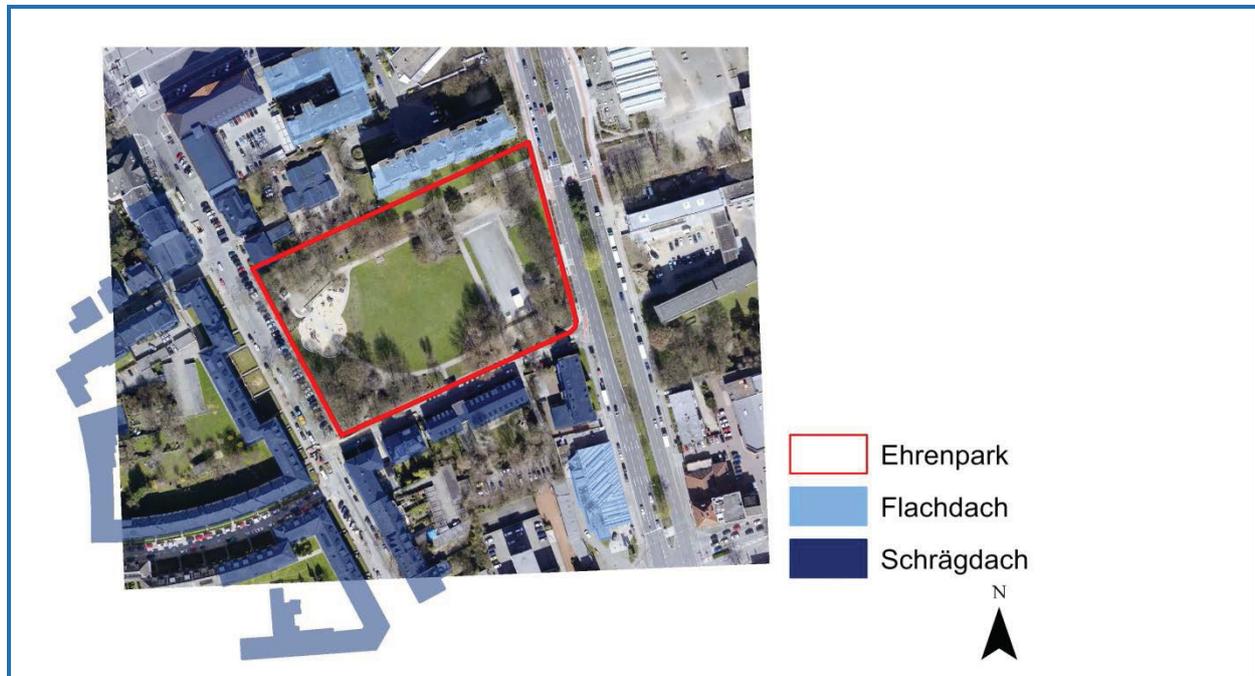


Abb. 34: Berücksichtigte Flächen entlang des Ehrenparks für eine Abkopplung (Luftbild, STADT Bottrop 2011)

Im Ehrenpark setzt sich die Summe der abkoppelbaren Flächen und der anfallenden Mengen über den gesamten Sommer wie folgt zusammen:

Tab. 12: Zusammenfassung der berücksichtigten Abkopplungsflächen und anfallenden Mengen am Ehrenpark

Flächenart	Größe [m <sup>2</sup> ]	Abflussbeiwert $\psi$ [-]	Anfall Sommer '76 [m <sup>3</sup> ]	Anfall Sommer '74 [m <sup>3</sup> ]
Schrägdach	14.233	0,9	2.965	5.034
Flachdach	3.710	0,7	601	1.020
Bef. Park	4.942	0,9	1.030	1.748
<b>Gesamt</b>	<b>22.885</b>		<b>4.596</b>	<b>7.802</b>

Für die Bewässerung eines Quadratmeters Parkfläche im Ehrenpark stehen durch die berücksichtigten Flächen 2 m<sup>2</sup> Abkopplungsfläche in der nahen Umgebung aus der Regenwasserbewirtschaftung zur Verfügung. Insgesamt können aus der Regenwasserbewirtschaftung für die Deckung des Bedarfs im Sommer 1976 rund 4.600 m<sup>3</sup> genutzt werden, im regenreicheren Sommer 1974 ca. 7.800 m<sup>3</sup>.

Abbildung 35 zeigt die Verteilung der ermittelten abkoppelbaren Mengen über die Sommermonate 1976 und 1974.

Ob dies für eine tägliche Deckung ausreichend ist, wird in Kapitel 8 geprüft.

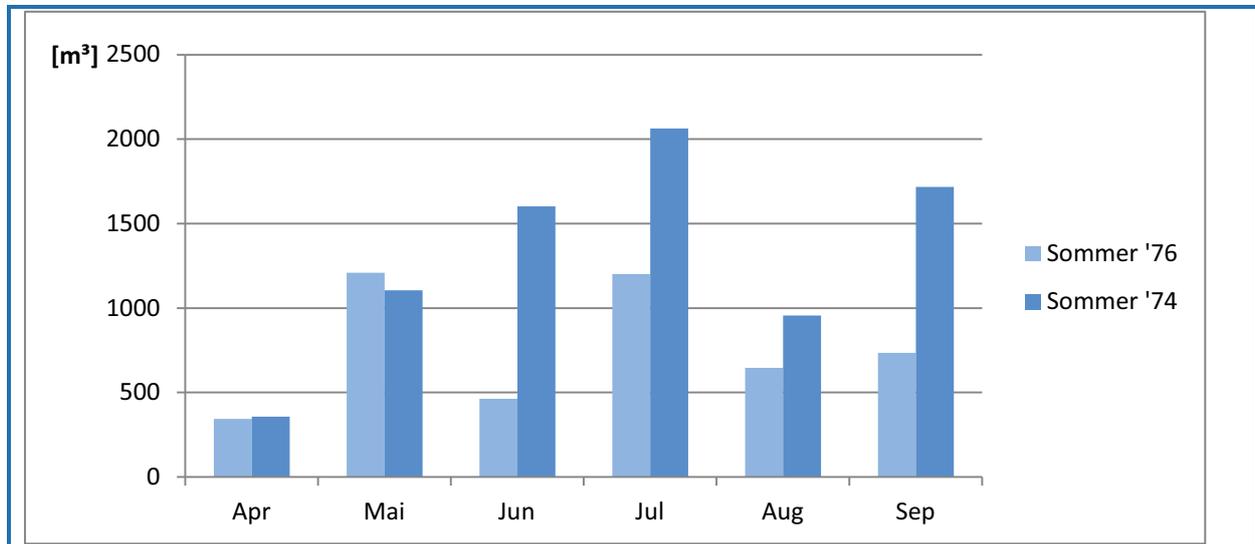


Abb. 35: Abkoppelbare Mengen aus der Regenwasserbewirtschaftung am Ehrenpark der Sommer 1976 und 1974

### Stadtgarten

Entlang des Stadtgartens wurden Dachflächen und Sportanlagen mit Asche- und Rasenbelag sowie befestigte Flächen in der Parkanlage selber für eine Abkopplung berücksichtigt (vgl. Abb. 36).

Tabelle 13 zeigt die ermittelten Summen der abkoppelbaren Flächen und der anfallenden Mengen über das Sommerhalbjahr.

Tab. 13: Zusammenfassung der berücksichtigten Abkopplungsflächen und anfallenden Mengen am Stadtgarten

Flächenart	Größe [m <sup>2</sup> ]	Abflussbeiwert $\Psi$ [-]	Anfall Sommer '76 [m <sup>3</sup> ]	Anfall Sommer '74 [m <sup>3</sup> ]
Schrägdach	31.975	0,9	6.662	11.308
Flachdach	2.892	0,7	469	795
Ascheplatz	21.379	0,7	3.464	5.881
Rasenplatz	7.914	0,3	550	933
Bef. Park	21.559	0,9	4.492	7.624
<b>Gesamt [m<sup>3</sup>]</b>	<b>85.719</b>		<b>15.637</b>	<b>26.542</b>

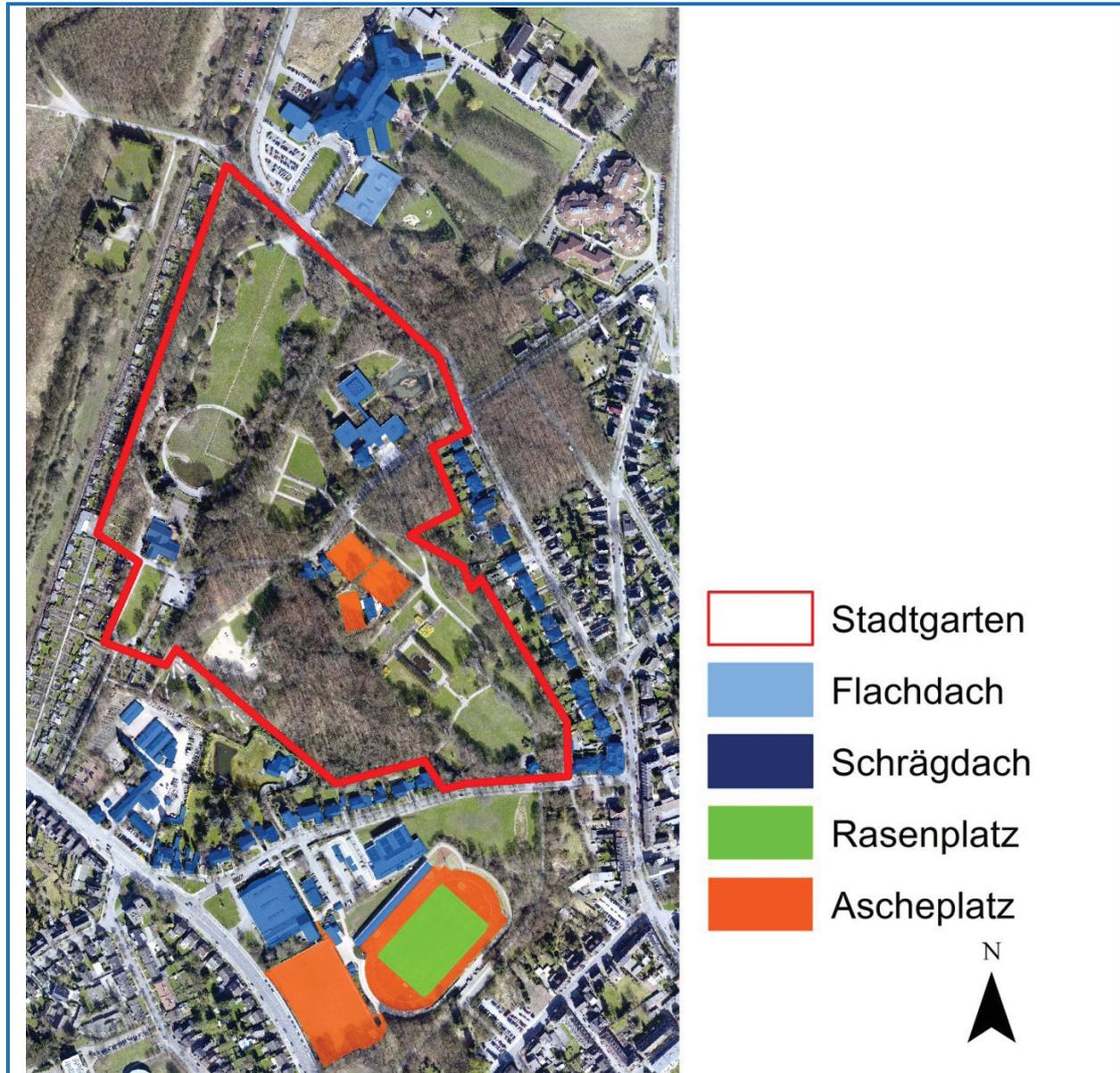


Abb. 36: Berücksichtigte Flächen entlang des Stadtgartens für eine Abkopplung (Luftbild, STADT BOTTRUP 2011)

Für die Bewässerung eines Quadratmeters Parkfläche im Stadtgarten stehen durch die berücksichtigten Flächen nur  $0,6 \text{ m}^2$  Abkopplungsfläche in der nahen Umgebung aus der Regenwasserbewirtschaftung zur Verfügung. Insgesamt können aus der Regenwasserbewirtschaftung für die Deckung des Bedarfs im Sommer des Trockenjahrs 1976 rund  $15.600 \text{ m}^3$  genutzt werden, im regenreicheren Sommer 1974 ca.  $26.500 \text{ m}^3$ .

Abbildung 37 zeigt die Verteilung der ermittelten abkoppelbaren Mengen über die Sommermonate 1976 und 1974.

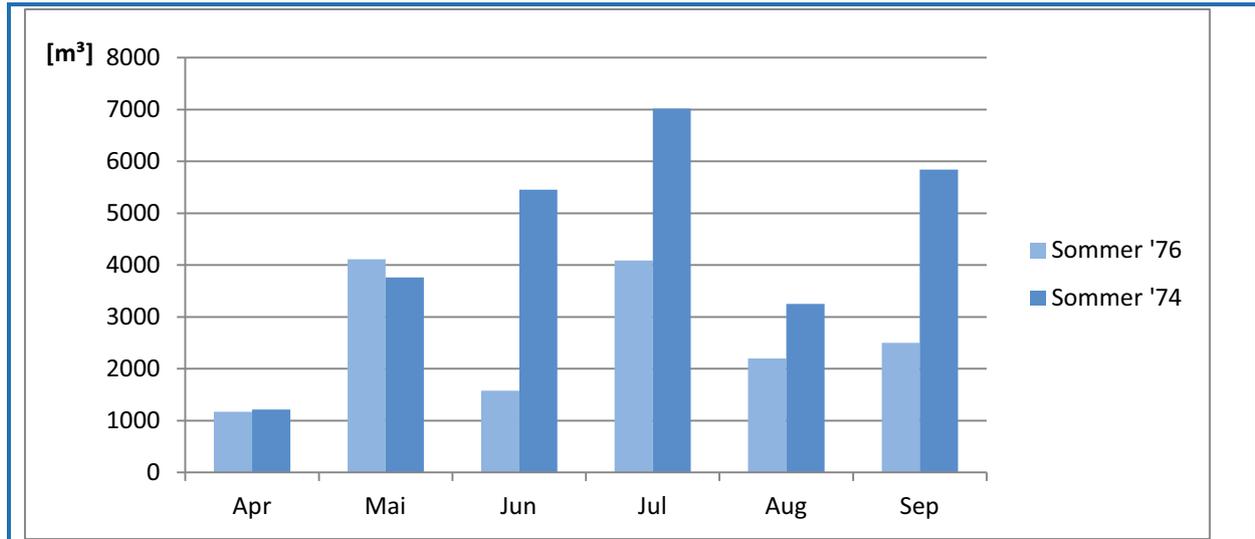


Abb. 37: Abkoppelbare Mengen aus der Regenwasserbewirtschaftung am Stadtgarten der Sommer 1976 und 1974

### Volkspark

Die für die Berechnung der Abkopplungsmengen berücksichtigten Flächen, in der nahen Umgebung des Volksparks, sind in Abbildung 38 dargestellt.

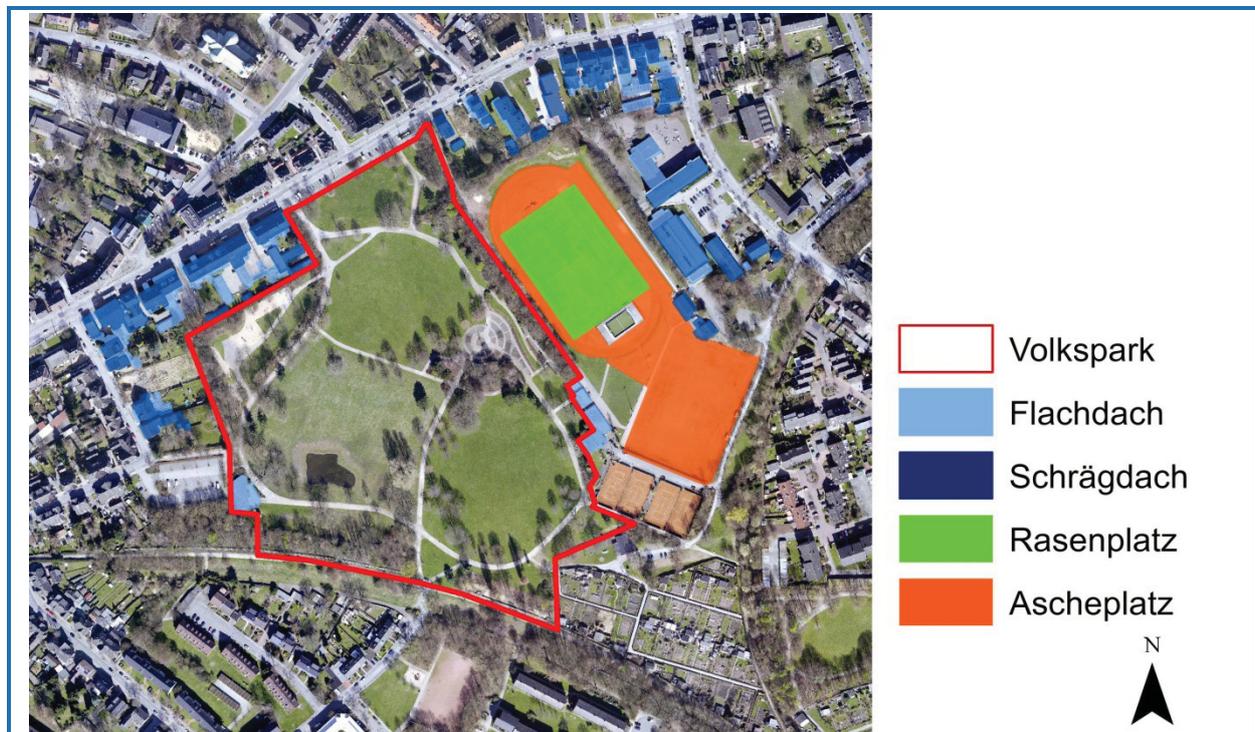


Abb. 38: Berücksichtigte Flächen entlang des Volksparks für eine Abkopplung (Luftbild, STADT BOTTRUP 2011)

Die Summe der berücksichtigten Dachflächen, Sportflächen und befestigten Flächen im Park selber sowie der anfallenden Mengen über den gesamten Sommer setzt sich wie folgt zusammen:

Tab. 14: Zusammenfassung der berücksichtigten Abkopplungsflächen und anfallenden Mengen am Volkspark

Flächenart	Größe [m <sup>2</sup> ]	Abflussbeiwert $\Psi$ [-]	Anfall Sommer '76 [m <sup>3</sup> ]	Anfall Sommer '74 [m <sup>3</sup> ]
Schrägdach	9.178	0,9	1.912	3.246
Flachdach	4.956	0,7	803	1.363
Ascheplatz	18.675	0,7	3.026	5.137
Rasenplatz	744	0,3	52	88
Bef. Park	11.878	0,9	2.475	4.201
<b>Gesamt [m<sup>3</sup>]</b>	<b>45.431</b>		<b>8.268</b>	<b>14.035</b>

Für die Bewässerung eines Quadratmeters Parkfläche im Volkspark stehen durch die berücksichtigten Flächen – wie im Stadtgarten – nur rund 0,6 m<sup>2</sup> Abkopplungsfläche in der nahen Umgebung aus der Regenwasserbewirtschaftung zur Verfügung. Insgesamt können aus der Regenwasserbewirtschaftung für die Deckung des Bedarfs im Sommer 1976 rund 8.268 m<sup>3</sup> genutzt werden, im regenreicheren Sommer 1974 ca. 14.035 m<sup>3</sup>.

Abbildung 39 zeigt die Verteilung der ermittelten abkoppelbaren Mengen über die Sommermonate 1976 und 1974.

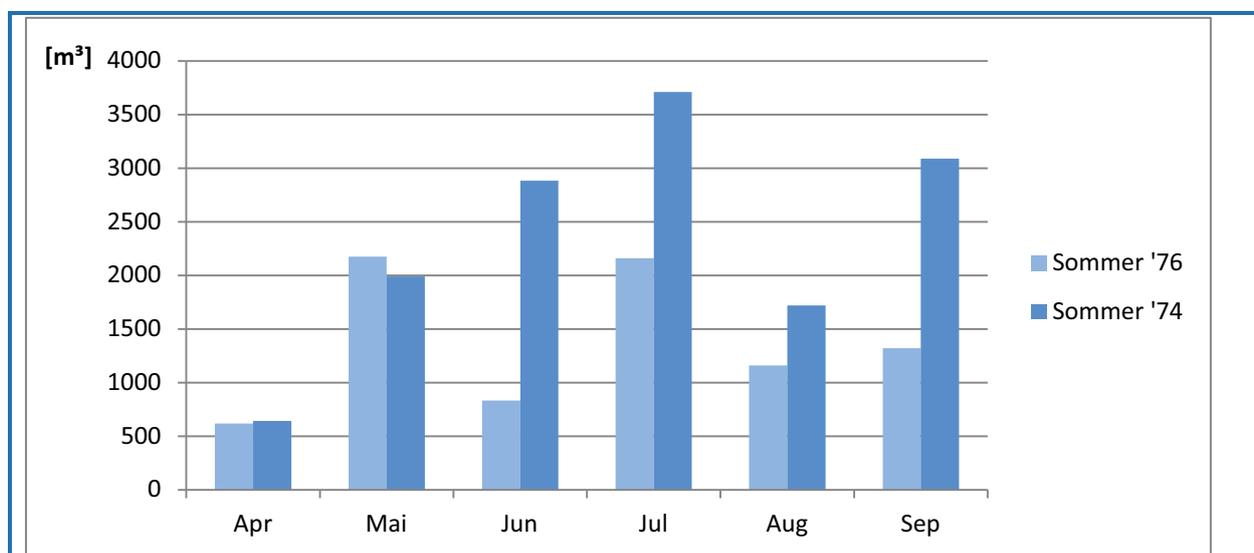


Abb. 39: Abkoppelbare Mengen aus der Regenwasserbewirtschaftung am Stadtgarten der Sommer 1976 und 1974

### Fazit

Das höchste Verhältnis von berücksichtigter, abkoppelbarer Fläche (Umkreis 150 m) zu zu bewässerndem Quadratmeter Parkfläche wird bei der Parkanlage Ehrenpark mit 2 m<sup>2</sup> erreicht. Der Ehrenpark ist mit 1 ha zu bewässernder Fläche deutlich kleiner als die Parkanlagen Stadtgarten (13,5 ha) und Volkspark (7 ha). Für die größeren Parkanlagen ist das Verhältnis mit 0,6 m<sup>2</sup> deutlich geringer.

## 8 Bedarfsdeckung aus der Grund- und Regenwasserbewirtschaftung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die maximalen Bedarfsmengen und die verfügbaren Mengen aus der Grund- und Regenwasserbewirtschaftung für den extrem trockenen Sommer 1976 und den trockenen Sommer 1974 ermittelt. In diesem Kapitel wird überprüft, ob eine Bedarfsdeckung aus der Grund- und Regenwasserbewirtschaftung in den drei Parkanlagen möglich ist. Hierzu werden die Bedarfsberechnungen den ermittelten Deckungsmengen über den gesamten Sommer, auf Monats- und Tagesbasis, gegenübergestellt. Aus den Ergebnissen werden dann mögliche Handlungsoptionen zur Umsetzung abgeleitet.

### 8.1 Verfügbarkeit von Grund- und Regenwasser für eine aktive Bodenkühlung der Untersuchungsgebiete

Der Vergleich von Bedarf- und Deckungsmengen über den gesamten Sommer zeigt, dass nur der Bedarf des Ehrenparks im Sommer 1974 sowohl aus der Grundwasser- als auch aus der Regenwasserbewirtschaftung, gedeckt werden kann. Im Sommer 1976 ist eine Deckung von rund 80 % durch die Grundwasserbewirtschaftung und 87 % durch die Regenwasserbewirtschaftung möglich.

In den beiden größeren Parkanlagen Stadtgarten und Volkspark würde die Regenwasserabkopplung der berücksichtigten Flächen im Sommer 1976 nur rund 23 % und die Grundwasserbewirtschaftung rund 41% des Bedarfs decken.

Im Sommer 1974 sind zum einen 160 mm mehr Niederschlag als 1976 gefallen und zum anderen war die potentielle Verdunstungsrate geringer. Daraus resultiert ein geringerer Bewässerungsbedarf bei höheren Deckungsmengen. Deshalb kann 1974 der Bedarf im Stadtgarten zu 86 % und im Volkspark zu 74 % aus der Regenwasserbewirtschaftung und zu 90 % bzw. 80 % aus der Grundwasserbewirtschaftung gedeckt werden (vgl. Tab. 15).

Tab. 15: Bedarf der Parkflächen und deren prozentuale Deckung aus der Grund- und Regenwasserbewirtschaftung im Sommerhalbjahr 1976 und 1974

Parkanlage	Bedarf 1976 [m <sup>3</sup> ]	Deckung 1976	Bedarf 1974 [m <sup>3</sup> ]	Deckung 1974
Grundwasserbewirtschaftung				
Ehrenpark	5.270	80 %	2.540	165 %
Stadtgarten	67.413	41 %	30.767	90 %
Volkspark	35.628	41 %	18.809	79 %
Regenwasserbewirtschaftung				
Ehrenpark	5.270	87 %	2.540	307 %
Stadtgarten	67.413	23 %	30.767	86 %
Volkspark	35.628	23 %	18.809	74 %

Weiter hat sich gezeigt, dass auch bei einer positiven Gesamtbilanz über den Sommer, wie z.B. beim Ehrenpark 1974, in der Monats- und Tagesbilanz Defizite auftreten können.

Aus Abbildung 40 wird deutlich, dass die mittleren monatlichen Anfallsmengen aus der Grundwasserbewirtschaftung nicht in allen Monaten für eine Deckung des Bewässerungsbedarfs im Sommer 1974 ausreichen. In den Monaten April, Mai und August kann der Bedarf nicht gedeckt werden. Aufgrund der anzunehmenden tiefen Grundwasserstände in extremen Trockenjahren ist auch nicht auszuschließen, dass über die Sommermonate geringere Mengen aus der Grundwasserbewirtschaftung zur Verfügung stehen, als bei der jetzigen Planungstiefe ermittelt werden kann.

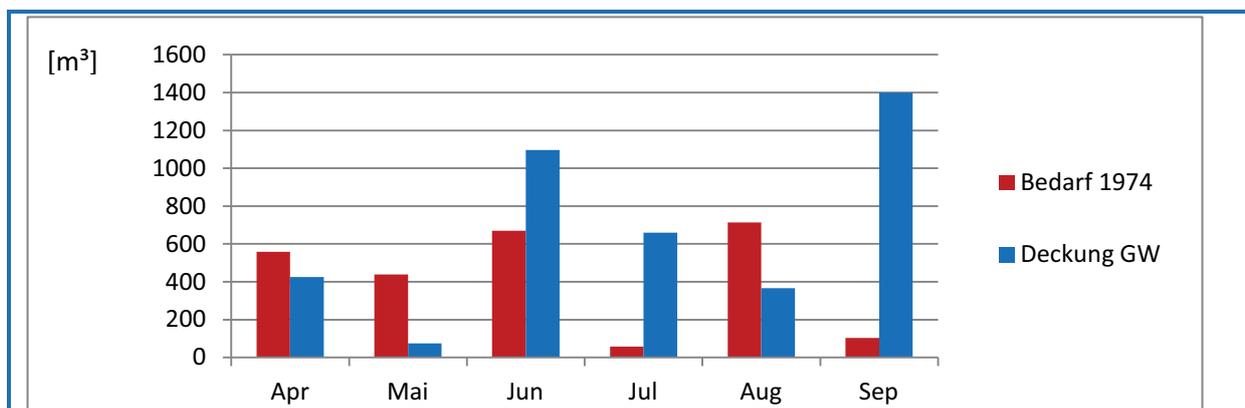


Abb. 40: Vergleich von monatlichen Bedarfs- und Deckungsmenge der Grundwasserbewirtschaftung aus den mittleren Anfallsmengen des Klimareferenzzeitraums, Ehrenpark 1974

Für die Regenwassernutzung in der kleinen Parkanlage des Ehrenparks, zeigt sich bei einer Betrachtung der Tageswerte für den Bedarf und die Deckung, dass der Wasserbedarf einer kontinuierlichen Bewässerung an den Tagen am höchsten ist, an denen kein Wasser aus der Regenwasserbewirtschaftung zur Verfügung steht (vgl. Abb. 41).

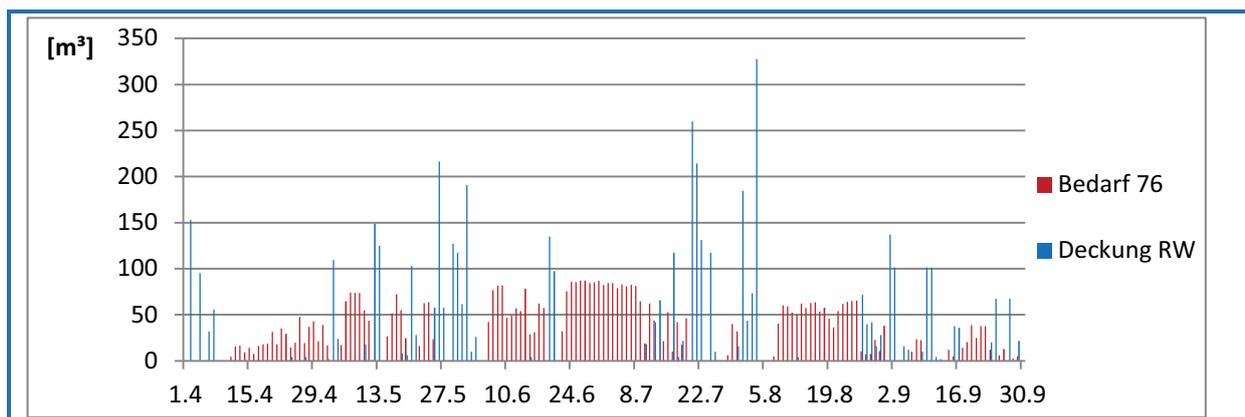


Abb. 41: Vergleich von täglichen Bedarfs- und Deckungsmengen aus der Regenwasserbewirtschaftung, Ehrenpark 1976

Auch eine diskontinuierliche Bewässerung von 70 % auf 80 % nFKWe oder 70 % auf 100 % nFKWe, bei der der Boden als Wasserspeicher genutzt wird, reicht aufgrund der langen Trockenperioden (19 Tage 1976, 13 Tage 1974) sowie der ungünstigen Speichernutzung von Zierrasen bzw. hohen Verdunstungsraten von Baumflächen nicht aus, um die Trockenperioden zu überbrücken. Die Abbildungen 42 und 43 zeigen den Bewässerungsbedarf während der Trockenperioden, in denen kein Niederschlag gefallen ist, je nach Bewässerungsmethode für die Rasenfläche im Ehrenpark.

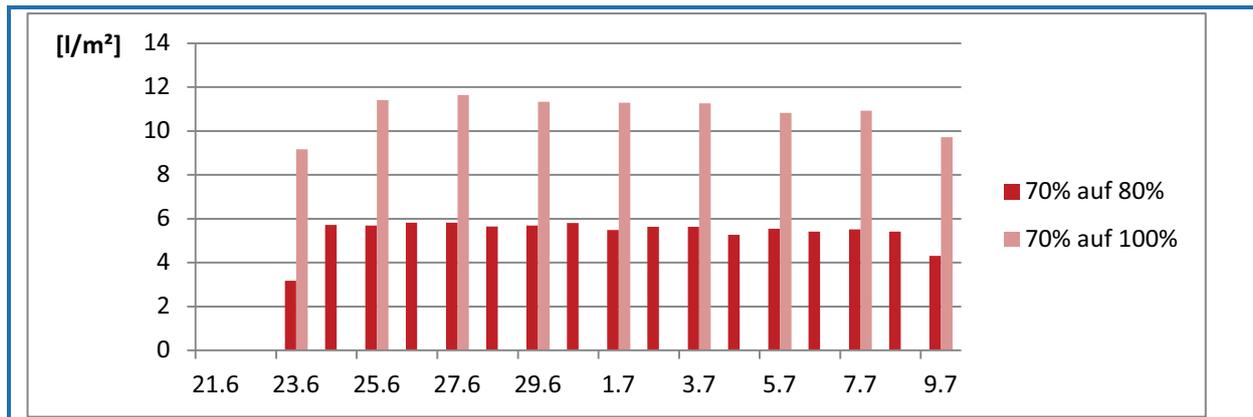


Abb. 42: Bewässerungsbedarf nach Bewässerungsmethode während der 19 tägigen Trockenperiode im Juni und Juli 1976, Zierrasenfläche Ehrenpark (30 mm nFKWe)

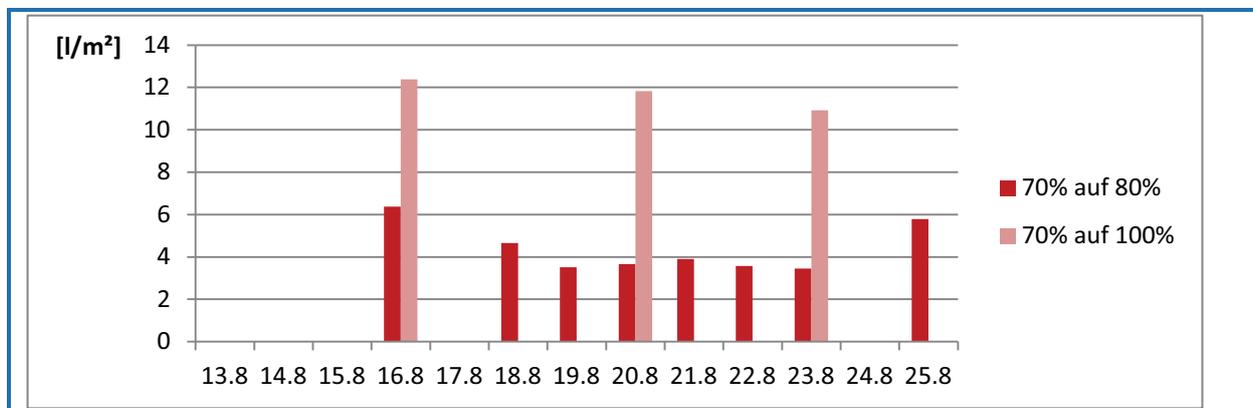


Abb. 43: Bewässerungsbedarf nach Bewässerungsmethode während der 13 tägigen Trockenperiode im August 1974, Zierrasenfläche Ehrenpark (30 mm nFKWe)

Auch die Zierrasen- und Baumfläche im Stadtgarten mit besseren Wasserspeichereigenschaften (nFKWe von 55 mm bzw. 262 mm) können die lange Trockenperiode 1976 – bei einer Zielfeuchte von 70 % nFKWe - nicht ohne Bewässerung überbrücken (vgl. Abb. 44 und 45). Sie müssen zwar seltener, dafür aber mit höheren Mengen bewässert werden.

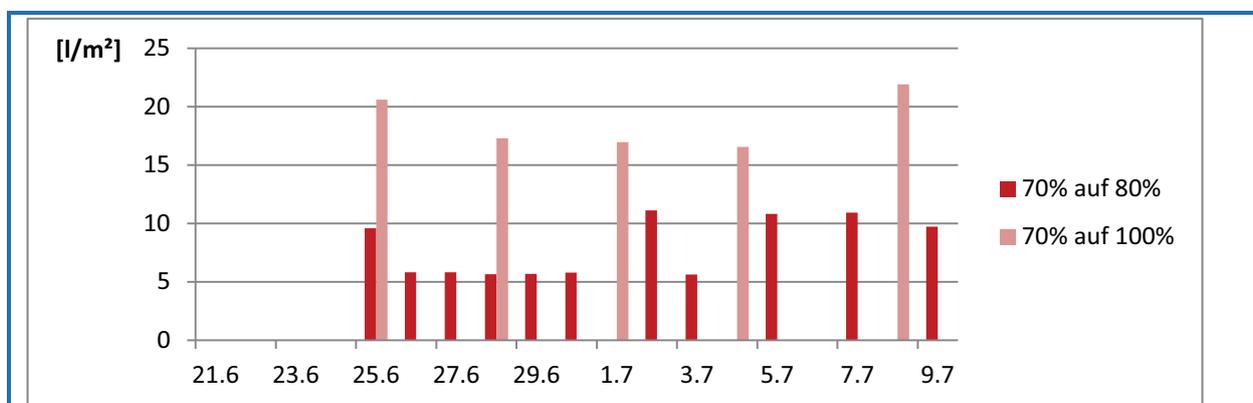


Abb. 44: Bewässerungsbedarf nach Bewässerungsmethode während der 19 tägigen Trockenperiode im Juni und Juli 1976, Zierrasenfläche Stadtgarten (55 mm nFKWe)

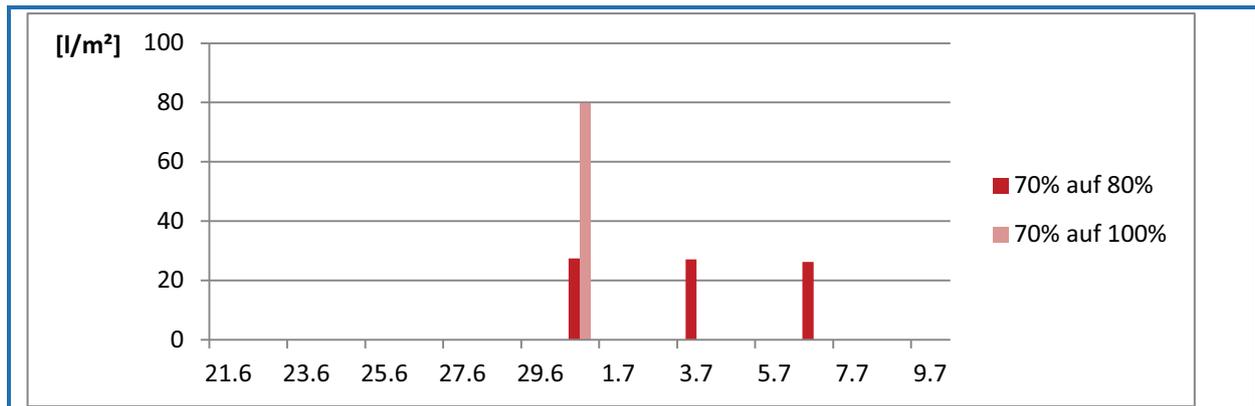


Abb. 45: Bewässerungsbedarf nach Bewässerungsmethode während der 19 tägigen Trockenperiode im Juni und Juli 1976, Baumfläche Stadtgarten (262 mm nFKWe)

Auf den größeren Parkanlagen, deren Wasserbedarf aus der nahen Umgebung nicht vollständig durch die Grund- oder Regenwasserbewirtschaftung gedeckt werden kann, sind die monatlichen Defizite noch deutlicher zu erkennen (vgl. Abb. 46 und 47). Weitere Diagramme der monatlichen Bedarfs- und Deckungsmengen aus der Grund- und Regenwasserbewirtschaftung sind für alle Parkanlagen in Anhang 2.2 zu finden.

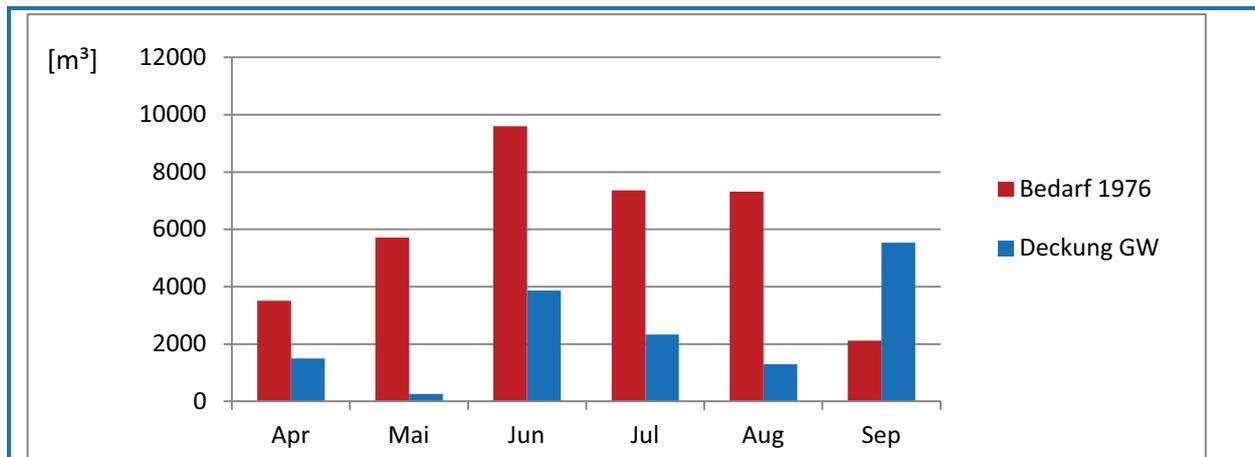


Abb. 46: Vergleich von monatlichen Bedarfs- und Deckungsmengen der Grundwasserbewirtschaftung aus den mittleren Anfallsmengen des Klimareferenzzeitraums, Volkspark 1976

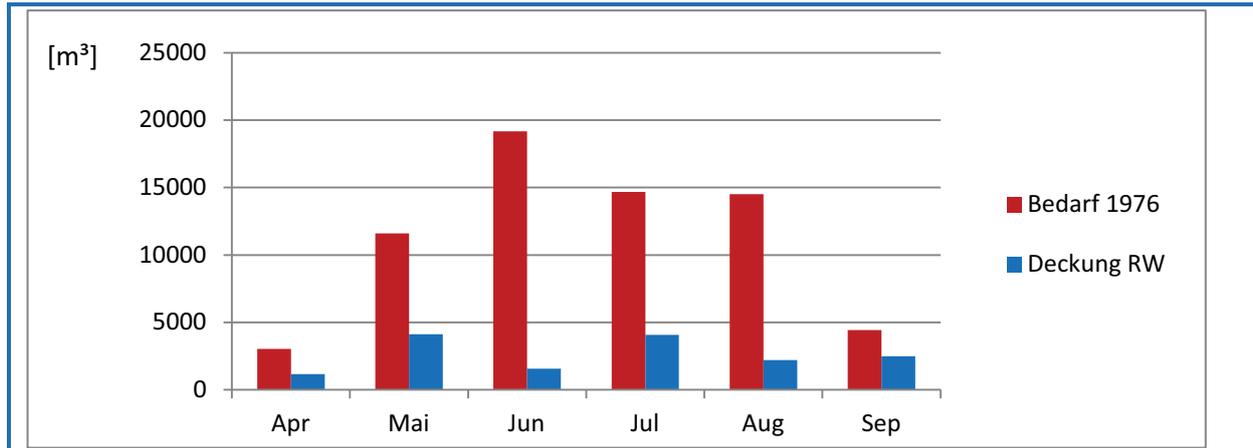


Abb. 47: Vergleich von monatlichen Bedarfs- und Deckungsmengen der Regenwasserbewirtschaftung, Stadtgarten 1976

Zusammenfassend lassen sich auf Grundlage der verwendeten Daten und Berechnungen für Zierrasen- und Baumflächen folgende Ergebnisse festhalten:

- Bei einer optimalen Bewässerung könnte die Kühlleistung der Flächen in Abhängigkeit von Bodenart und Vegetation in extrem trockenen Sommern um rund 75 % bis 140 % gesteigert werden.
- Der Wasserbedarf des extrem trockenen Sommers 1976 ist rund doppelt so hoch wie der des trockenen Sommers 1974.
- Die konkrete Menge des anfallenden Grundwassers aus der Grundwasserbewirtschaftung lässt sich für trockene Sommer noch nicht bestimmen. Da aber bereits bei einer ausreichenden Deckung des Bedarfs über den Sommer bei mittleren Anfallsmengen in den Monaten April, Mai und August Defizite auftreten, können Defizite in den trockenen Sommern 1976 und 1974 noch deutlicher ausfallen.
- Für eine Deckung des Bedarfs durch die Regenwasserbewirtschaftung müssen im Sommer 1976 pro Quadratmeter zu bewässernder Parkfläche – unter der Annahme eines Abflussbeiwerts von 0,9 - mindestens 2,4 m<sup>2</sup> befestigte Fläche abgekoppelt werden, im Sommer 1974 reichen 0,8 m<sup>2</sup> aus.
- Hiervon zu unterscheiden ist die Betrachtung von Tageswerten. Dauern Trockenperioden zu lang an, können diese bei einer Zielfeuchte von 70 % nFKWe, nicht mehr durch die Bodenwasserspeicher überbrückt werden. Eine optimale durchgehende Versorgung der Vegetation mit Regenwasser ist in diesem Fall nur durch eine Zwischenspeicherung – aus Zeiten eines erhöhten Anfalls – möglich.

## 8.2 Handlungsoptionen für eine Bedarfsdeckung der aktiven Bodenkühlung

Auf Grundlage der erarbeiteten Ergebnisse wird deutlich, dass zur Überbrückung von längeren und häufiger auftretenden Trockenperioden Maßnahmen für eine optimale Wasserversorgung der Standorte getroffen werden müssen, um eine optimale Kühlleistung zu erreichen. Dabei ist eine integrierte Betrachtung von Nutzungsansprüchen, Boden, Vegetation, Grundwasserverhältnissen, und – falls vorhanden – Grundwasser- und Regenwasserbewirtschaftung erforderlich, um bei der Planung eine sowohl nachhaltige als auch wirtschaftliche Lösung zu finden.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Wasserbedarf im extrem trockenen Sommer 1976 rund doppelt so hoch ist wie der des trockenen Sommers 1974.

Eine durchgehende und vollständige Ausnutzung der Kühlleistung in extrem trockenen Sommern ist bei großen Parkanlagen oft nur mit hohem Aufwand möglich. Zudem traten diese Sommer bislang nur vereinzelt und in großen zeitlichen Abständen auf. Vergleichbar zum extrem trockenen Sommer 1976 sind die Sommer 2003 und 2010.

Unter der Berücksichtigung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses sollte die Zielgröße daher nicht unbedingt in der Abdeckung der extremen Sommer liegen, sondern eine optimale Versorgung der häufigeren mittleren bis leicht trockenen Sommer, wie 1974, ermöglichen. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Prognosen für den Klimawandel in Zukunft eine Häufung von Trockenperioden während der Sommerhalbjahre erwarten lassen.

Bis zu welchem Wasserbedarf eine optimale Deckung garantiert werden kann und durch welche Handlungsoptionen die angestrebte Kühlleistung letztendlich gesteuert wird, hängt maßgeblich von den Gegebenheiten der Untersuchungsgebiete und den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln ab. Dies muss im Einzelfall anhand einer detaillierteren Datengrundlage und einer höheren Planungstiefe beurteilt werden.

Maßnahmen an Boden und Vegetation stellen dabei nachhaltige Lösungen dar, die einmalige Investitionen erfordern. Eine Bewässerung zur Erhaltung der Kühlleistung verursacht hingegen sowohl Investitions- als auch laufende Kosten.

Handlungsoptionen zur Bereitstellung von ausreichend Wasser für eine aktive Bodenkühlung ergeben sich sowohl auf der Angebotsseite als auch auf der Bedarfsseite.

Eine nachhaltige Planung muss alle Handlungsoptionen berücksichtigen, um ein Pareto-Optimum zu erreichen: ein Zustand, indem die Verbesserung einzelner Faktoren zu einer Verringerung der Effizienz des Gesamtsystems führt.

Wasserangebotsseite:

- Erhöhung der Wirksamkeit der Dränagen (z.B. Tieferlegung)
- Vergrößerung der abkoppelbaren Fläche
- kombinierte Nutzung von Grund- und Regenwasser
- Speicherung
- Verwendung von Leitungswasser

Wasserbedarfsseite:

- Änderung der Zielfeuchte bei der Bewässerung
- Optimierung von Boden und Vegetation
- Größe der zu bewässernden Fläche

### **8.2.1 Wasserangebotsseite**

#### **Erhöhung der Wirksamkeit von Dränagen, Vergrößerung der abkoppelbaren Fläche**

Durch eine Tieferlegung der Dränagen oder eine Vergrößerung der abkoppelbaren Flächen stehen größere Wassermengen zur Verfügung. Bei der Umsetzung dieser Maßnahmen muss die Machbarkeit im Einzelnen unter einer Vielzahl von Kriterien geprüft werden. Hier spielen zum Beispiel bei der Tieferlegung von Dränagen u.a. die Eigenschaften und der Aufbau des Grundwasserleiters, Bau- und Unterhaltungskosten, Lage von Infrastruktur in den Straßen und Altlasten eine Rolle.

Für den Bewässerungsbedarf großer Parkflächen müssen große Flächen abgekoppelt werden. Um den Bedarf des Sommers 1976 zu decken, müssen für den Stadtgarten mit einer zu bewässernden Fläche von 13,6 ha ca. 33,0 ha befestigte Fläche bei einem Abflussbeiwert von 0.9 über den Sommer abgekoppelt werden. Für den Volkspark müssen dafür ca. 17 ha abgekoppelt werden.

Eine Abkopplung vieler kleiner, isolierter Flächen im Bestand der Wohnsiedlungen benötigt viele Installationen und komplexe Zuleitungssysteme in die Parkanlagen. Hier sind große und homogene Abkopplungsflächen von Vorteil, so dass dann auch eine längere Zuleitungsstrecke wirtschaftlich sein kann.

### Kombinierte Nutzung von Grund- und Regenwasser

Reichen Mengen aus der Regen- oder Grundwasserbewirtschaftung alleine nicht zur Bedarfsdeckung, kann eine kombinierte Nutzung erfolgen. So könnte im Ehrenpark im Sommer 1976, im Stadtgarten und Volkspark im Sommer 1974 eine vollständige Deckung erreicht werden.

### Speicherung

Auch in den Fällen, in denen die Grund- und Regenwasserbewirtschaftung den Gesamtbedarf über den Sommer deckt, treten Defizite auf Monats- und Tagesbasis auf. Diese können durch eine Speichernutzung überbrückt werden.

Werden Speicher zur Nutzung von Grund- und Regenwasser installiert, kann durch eine vollständige Füllung der Speicher aus den im Winter und Frühjahr überschüssigen Mengen die Größe der abzukoppelnden Fläche reduziert werden.

Ein Beispiel könnte ein gegen den Untergrund abgedichteter Bewässerungsteich sein, dessen Wasserzonen je nach Verhältnis von Bedarf und Angebot wechseln. Durch den Einlauf über einen Filter sowie Sedimentation, kann das Wasser außerdem gereinigt werden. In Zeiten hoher Wasserstände kann durch eine Bepflanzung eine zusätzliche Verdunstungsleistung erbracht werden, da Wasser- und Sumpfpflanzen eine höhere Verdunstungsleistung aufweisen als offene Wasserflächen und andere Vegetation; sie verdunsten ca. das Doppelte des Niederschlags (KALUSCHE 1996).

### Leitungswasser

Leitungswasser zur Bewässerung steht im Prinzip immer zur Verfügung. Es können dadurch leicht Defizite aus der Grund- und Regenwasserbewirtschaftung ausgeglichen, aber auch ganze Trockenperioden überbrückt werden. Unter der Berücksichtigung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses kann eine zeitweise Wasserversorgung aus dem Leitungsnetz wirtschaftlicher sein, als eine durchgehende Bedarfsdeckung aus der Grund- und Regenwasserbewirtschaftung z.B. durch den Bau von Speichern zu gewährleisten.

In extrem trockenen Sommern kann die Nutzung von Leitungswasser aber zu einer kritischen Erhöhung des Tagesspitzenbedarfs führen. Hier kann eine nächtliche Bewässerung zur Entlastung beitragen.

## 8.2.2 Wasserbedarfsseite

### Änderung der Zielfeuchte bei der Bewässerung

Durch eine Verringerung der Zielfeuchte von 70 % nFKWe, die eine optimale Versorgung darstellt, kann auch eine Zehrung bis zu einer nFKWe von 40 % zugelassen werden. Hierdurch reduziert sich die Verdunstungsleistung aufgrund des steigenden Wasserstress der Vegetation. Es wird aber mehr zwischengespeichertes Wasser aus den Wintermonaten und starken Sommerniederschlägen genutzt, was sich bei Böden mit guten Speichereigenschaften in einem späteren Bewässerungsbe-

ginn, einer besseren Überbrückung von Trockenperioden und einem geringeren Gesamtbedarf äußert. Die Größe der Bodenwasserspeicher gewinnt dabei an Bedeutung.

Außerdem kann überprüft werden, ob bei vorhersehbaren Trockenperioden, bei denen die Gefahr einer erhöhten Sickerwasserbildung durch Niederschläge nicht gegeben ist, eine Auffüllung der Bodenspeicher auf 100 % statt auf 80 % nFKWe durchführbar ist.

### **Optimierung von Boden und Vegetation**

Eine weitere nachhaltige Möglichkeit ist eine Optimierung von Bodeneigenschaften und Vegetation. In dieser Arbeit werden zwei extreme Fälle betrachtet: zum einen Zierrasen, der durch seine geringen Durchwurzelungstiefen die hohen Wasserspeicherkapazitäten der Böden nicht ausnutzen kann, sowie tief wurzelnde Bäume, die die Speicher gut erschließen, aber aufgrund ihrer hohen potentiellen Verdunstungsleistungen auch einen sehr hohen Wasserbedarf aufweisen. Beides führt auf Standorten ohne Grundwasseranschluss schnell zu einer Leerung der Bodenwasserspeicher und zu einem hohen Bewässerungsbedarf.

Durch eine angepasste Gestaltung und extensive Pflege der Parkanlagen (z.B. weniger Mähen) kann durch Pflanzen, die tiefer wurzeln als Zierrasen und weniger verdunsten als Bäume, eine verbesserte Speichernutzung erzielt werden. Die Wasserspeicherkapazität von Böden kann zum Beispiel durch Bodenauftrag, Bodeneinmischung, Lockerung oder Humuseintrag verbessert werden (DAMM 2011). So können auf Böden mit hoher Wasserspeicherkapazität Trockenperioden besser überbrückt und der Wasserbedarf reduziert werden. Dabei ist zu prüfen, ob bei einer optimalen Abstimmung von Vegetations- und Bodeneigenschaften auch längere Trockenperioden ohne zusätzliche Bewässerung überbrückt werden können.

## 9 Offene Fragen

Im Verlauf der Bearbeitung wurden offene Fragen identifiziert, die im Rahmen dieser Arbeit nicht ausreichend behandelt werden konnten. Für eine Umsetzung der aktiven Bodenkühlung sind diese aber von Bedeutung und sollten ggf. in weiteren Untersuchungen beantwortet werden. Hierzu werden erste Lösungsvorschläge gemacht.

### Bewässerungsmanagement

Die Einbeziehung der Wettervorhersage wurde in den Berechnungen für diese Arbeit nicht berücksichtigt. Es wird eine kontinuierliche Bewässerung vorausgesetzt, die garantiert, dass die Bodenfeuchte nicht unter eine nFKWe von 70 % fällt. Es ist zu prüfen, inwieweit eine verbesserte Berücksichtigung von zukünftigen Niederschlägen, die Bewässerungs- und Versickerungsmenge, unter der Bedingung, dass die Bodenwasserspeicher unter 70 % nFKWe fallen, reduzieren kann.

Es wurden Varianten der Bewässerungssteuerung aus der Landwirtschaft vorgestellt. In welcher Form diese für die Erhaltung der optimalen Kühlleistung geeignet und welche Bewässerungstechnik in Grünanlagen umsetzbar ist, sollte optimalerweise in einem Pilotprojekt getestet werden.

### Boden

Bei der Ermittlung der Daten für die Berechnungen des maximalen Bewässerungsbedarfs wurde deutlich, dass eine mittelmaßstäbige Abschätzung (1:50.000), zum Beispiel für gesamte Grünzüge, aufgrund des unzureichenden Kenntnisstands über die Verteilung urbaner Böden im Emscherraum bislang noch nicht möglich ist. Hier kann die geplante Erweiterung des „Urbanen Bodeninformationssystems Emscher“ verbessertes Datenmaterial bereitstellen.

In Kapitel 3 wurde die Problematik einer Versalzung von Böden durch die Bewässerung zur Verdunstung als gering eingeschätzt. Untersuchungsbedarf besteht aber in der Auswirkung von Schadstoffanreicherungen oder möglichen Abbauprozessen in der Bodenzone, durch eine Bewässerung mit leicht belastetem Grund- und Regenwasser.

Die Berechnungen zeigen, dass Zierrasenflächen aufgrund geringer Durchwurzelungstiefen und dass Baumflächen aufgrund hoher Verdunstungsraten keine effiziente Bodenwasserspeichernutzung zur Überbrückung von Trockenperioden aufweisen. Hier müssen optimale Kombinationen von Bewuchs und Bodenart zur Überbrückung von längeren Trockenperioden gefunden werden.

### Verdunstungsleistung der Vegetation

Der Bewässerungsbedarf zur Sicherstellung der potentiellen Kühlleistung ergibt sich unter der Verwendung einer potentiellen Verdunstungsrate. Sie spiegelt die Höhe der Verdunstung bei optimaler Wasserversorgung wieder. Von der FAO wird die Verwendung der Gras-Referenzverdunstung empfohlen. Es gibt Korrekturfaktoren für Feldfrüchte, es konnten jedoch keine Korrekturfaktoren für weitere Vegetation wie Bäume oder Hochstauden in unseren Breiten recherchiert werden. Die Berechnungen für Baumflächen in dieser Arbeit beruhen daher auf Annahmen und sind mit Unsicherheiten behaftet. Gerade in städtischen Gebieten werden potentielle Verdunstungsraten von freistehenden Bäumen von Bedeutung sein. Diese sind nach HARLAB (2008) durch den Einfluss des urbanen Raums höher als die von Wäldern oder Baumgruppen.

Die potentielle Verdunstungshöhe der Vegetation kann nur bei ausreichend feuchten Böden erreicht werden, mit sinkendem Wassergehalt im Boden bleibt die tatsächliche Verdunstungshöhe zunehmend hinter der potentiellen zurück. Da die tageweise Berechnung oder Bemessung der tatsächlichen Verdunstung mit einem hohen Aufwand verbunden ist (DVWK M238 1996), wurde in dieser Arbeit nur eine vereinfachte Aussage über die Erhöhung der Kühlleistung in extrem trockenen Sommern getroffen.

Um auch Aussagen über die Wirkung der aktiven Bodenkühlung in trockenen Sommern treffen zu können, muss die tägliche tatsächliche Verdunstung in Abhängigkeit der Bodenfeuchte rechnerisch oder messtechnisch ermittelt werden. Sind die Verdunstungsraten bekannt, können neben Aussagen zur Steigerung der Verdunstungsleistung einer aktiven Bodenkühlung auch bessere Aussagen im Sinne des Kosten-Nutzen-Verhältnisses, zum Beispiel über die optimale Zielfeuchte der Bewässerung, getroffen werden.

### **Wasserressourcen**

Die Aussagen über die Verfügbarkeit des Grundwassers aus der Grundwasserbewirtschaftung über den Sommer wurden auf Grundlage mittlerer Jahresmengen getroffen. Diese wurden über die prozentuale Verteilung der Jahresneubildung auf Monatsmengen umgerechnet.

Der Emschergenossenschaft werden erst im März 2014 durch instationäre Modellierungen Ergebnisse für monatliche Anfallsmengen der Ersatzsysteme, bei unterschiedlichen Grundwasserständen, vorliegen. Mit ihnen ist eine genauere Aussage über die monats- und tageweise Verfügbarkeit möglich.

### **Quantifizierung der Bodenkühlung in Modellen**

Die methodisch erarbeiteten Zusammenhänge von Boden, Vegetation und Wasser untereinander und auf das Stadtklima sind bislang weder mess- noch modelltechnisch für längere Trockenperioden bestimmt worden.

Die Auswirkung der Bodenkühlleistung kann mit den bestehenden Klimamodellen bisher nur für einzelne Tage simuliert werden. Längere Trockenperioden, in denen sich der Bodenwassergehalt abhängig von Bodenart und Vegetation unterschiedlich stark ändert, können noch nicht modelliert werden. Hierzu müssen die Klimamodelle erweitert und ergänzt werden, um den instationären Bodenwasserhaushalt besser berücksichtigen zu können. Ergebnisse aus Pilotprojekten können dazu dienen, die Modelle zu kalibrieren und zu validieren.

### **Fazit und Ausblick**

Um die Auswirkungen und Möglichkeiten der Kühlung durch Boden-Wasser-Vegetation in Zeiten mit häufigeren und längeren Trockenperioden genauer quantifizieren zu können, sollten fortlaufend Messungen und Modellierungen der Auswirkungen auf das Stadtklima über eine längere Periode erfolgen. Eine Umsetzung kann am besten in Pilotprojekten stattfinden.

Erste Standortmessungen von Luft- und Bodentemperaturen sowie der Bodenfeuchte auf unterschiedlichen Bodentypen mit verschiedener Landnutzung werden ab Mai 2014 in der Stadt Neuss vorgenommen. Im Rahmen des vom Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV NRW) beauftragten Projekts soll außerdem ein Leitfaden für kommunale Umwelt- und Planungsbehörden erarbeitet werden, um die potentielle Bodenkühlleistung zukünftig in den stadtklimatischen Zielsystemen zur Klimaanpassung häufiger zu berücksichtigen.

Auch für die Erprobung einer aktiven Bodenkühlung durch Wasserressourcen aus der Grund- und Regenwasserbewirtschaftung oder dem Leitungsnetz ist die Umsetzung in einem Pilotprojekt erforderlich. Auf Grundlage einer qualitativ und quantitativ hochwertigeren Datengrundlage können offene Fragen bearbeitet und nähere Aussagen über nachhaltige und zugleich wirtschaftliche Umsetzungsszenarien getroffen werden.

## 10 Zusammenfassung und Ausblick

Untersuchungen im *dynaklim*-Projekt haben gezeigt, dass Vegetationsflächen bei optimaler Wasserversorgung durch ihre Verdunstungsleistung einen Beitrag zur Verbesserung des Stadtklimas leisten können. Exemplarische Berechnungen zeigen, dass während Trockenperioden, die sich in Zukunft häufen werden, das verfügbare Bodenwasser oft nicht für eine optimale Versorgung der Vegetation ausreicht. Die potentielle Kühlleistung wird dadurch reduziert. Eine aktive Bodenkühlung mittels Bewässerung kann die Kühlleistung der Flächen in einem extrem trockenen Sommer in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften und Vegetation um rund 75 % bis 140 % steigern. Allerdings ist der Wasserbedarf in einem extrem trockenen Sommer rund doppelt so hoch wie der eines trockenen Sommers.

Um in Trockenperioden zukünftig ausreichend Wasser zur Verdunstung zur Verfügung stellen zu können, wurde in dieser Arbeit die generelle Machbarkeit einer aktiven Bodenkühlung geprüft. Hierzu wurden an drei Parkanlagen der Stadt Bottrop über die klimatische Wasserbilanz Größenordnungen des Bewässerungsbedarfs sowie Deckungsmengen aus der Grund- und Regenwasserbewirtschaftung ermittelt um eine mögliche Bedarfsdeckung abzuschätzen und zu bewerten.

Die Berechnungen für Zierrasen- und Baumflächen haben gezeigt, dass auch bei einer ausreichenden Bedarfsdeckung aus der Grund- und Regenwasserbewirtschaftung über den gesamten Sommer auf Monats- und Tagesbasis Defizite auftreten. Eine optimale und durchgängige Versorgung der Vegetation während Trockenperioden ist daher nicht ohne weitere Maßnahmen möglich.

Anhand der verwendeten Daten und Planungstiefe können generelle Handlungsoptionen für eine Deckung des Wasserbedarfs der aktiven Bodenkühlung aufgezeigt werden. Hierzu zählen auf der Wasserangebotsseite die Erhöhung der Wirksamkeit von Dränagen, eine Vergrößerung der abkoppelbaren Fläche, die Zwischenspeicherung von Grund- und Regenwasser oder die Nutzung von Leitungswasser sowie auf der Wasserbedarfsseite die Reduzierung der Zielfeuchte bei der Bewässerung oder eine nachhaltige Optimierung von Bodeneigenschaften und Vegetation.

Unter Verwendung einer detaillierteren Datengrundlage und einer höheren Planungstiefe kann dann beurteilt werden, inwieweit eine nachhaltige und wirtschaftliche Bedarfsdeckung in Trockenperioden möglich ist und welche Handlungsoptionen im Einzelnen dazu dienen können. Es bietet sich an, dies in Pilotprojekten weiter zu entwickeln.

## Literaturverzeichnis

- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA5), 5. Verbesserte und erweiterte Auflage, Hannover.
- AG GRUNDWASSERBEWIRTSCHAFTUNG IM EMSCHERGEBIET (2011): Ergebnisse der Arbeitsgruppe „Grundwasserbewirtschaftung im Emschergebiet“. Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe unter Leitung der Emschergenossenschaft, Hg.: MKULNV.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998): Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy.
- BECKER, M.; RAASCH, U. (2005): 15 in 15 – Abkopplungsstrategien im Emschergebiet. Vortrag im Rahmen eines Seminars an der TA Hannover.
- BISGW (2013): Bewirtschaftungsinformationssystem Grundwasser. Online verfügbar unter: <http://bisgw.eglv.de> (abgerufen am 05.11.2013).
- BUSCH, W.; COLDEWEY, W. G.; WALTER, D.; WESCHE, D.; TIELMANN, I. (2012): Analyse von Senkungserscheinungen außerhalb prognostizierter bergbaulicher Einwirkungsbereiche des Bergwerks Prosper-Haniel.- Gutachten der TU Clausthal und der WWU Münster vom 31.08.2012 im Auftrag der Bezirksregierung Arnsberg (Abt. 6); Clausthal-Zellerfeld.
- DAMM, E. (2011): Erfassungs- und Optimierungsmöglichkeiten des Kühlungspotenzials von Böden dargestellt an ausgewählten Wohn- und Parkflächen der Stadt Bottrop. Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Abfallwirtschaft der RWTH Aachen/ ahu AG.
- DIN (2006): DIN 18035-3; Sportplätze-Teil 3: Entwässerung. Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- DISSE, M. (1995): Modellierung der Verdunstung und der Grundwasserneubildung in ebenen Einzugsgebieten – IHW Heft 53, Karlsruhe, Universität Karlsruhe.
- DVWK (1996): Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen, Merkblatt 238.
- DWA (2005): Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, Arbeitsblatt 138.
- DÜTEMEYER, D.; KUTTLER, W. (2011): Gegen die Hitze in Stadtquartieren: Kühle Luft und warme Böden. Vortrag *dynaklim*-Symposium, Session 3.
- dynaklim* (2011): Homepage: <http://www.dynaklim.de/dynaklim/index.html>.
- EMSCHERGENOSSENSCHAFT (2013a): Hydraulische Ersatzsysteme zur Regulierung des Grundwasserstandes im Emschergebiet. Arbeitshilfe für Planung, Bau und Betrieb.
- EMSCHERGENOSSENSCHAFT (2013b): Digitaler Datensatz zur Grund- und Regenwasserbewirtschaftung. Bearbeitungsstand 2013.
- EMSCHERGENOSSENSCHAFT (2013c): Abbildung des Emscher- und Lippegebiet mit Polderflächen. Online verfügbar unter: [http://www.eglv.de/fileadmin/EmscherGenossenschaft/2.3\\_Flussgebietsmanagement/2\\_3\\_7/2\\_3\\_7\\_kartenplayer/2\\_3\\_7\\_karte\\_EG\\_LV\\_polder.jpg](http://www.eglv.de/fileadmin/EmscherGenossenschaft/2.3_Flussgebietsmanagement/2_3_7/2_3_7_kartenplayer/2_3_7_karte_EG_LV_polder.jpg) (abgerufen am 20.12.2013).
- EMSCHERGENOSSENSCHAFT (2011a): Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung durch Grabensysteme: das erste Wasser fließt! Regen auf richtigen Wegen, Newsletter 01/2011.
- EMSCHERGENOSSENSCHAFT (2011b): Grundwasserflurabstandskarte, Stand 2010.
- EMSCHERGENOSSENSCHAFT (2009): Flussgebietsplan Emscher. Essen.

- ENGEL, N. (2012): Standort- und vegetationsabhängige Berechnungssteuerung mittels eines Bodenwasserhaushaltsmodells (BOWAB). In: GeoBerichte 20, Klimawandel und Bodenwasserhaushalt, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover.
- EPPEL-HOTZ, A. (2008): Versickerungsaktive Pflanzflächen – Regenwasserbewirtschaftung mit Boden und Vegetation. In: Garten + Landschaft 9/08.
- GOOGLE EARTH (2005): Luftbild Bottrop aus der Earth Version 7.1.2.2041 (abgerufen am 03.01.2014).
- HARLAß, R. (2008): Verdunstung in bebauten Gebieten. Dissertation an der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden.
- HÖKE, S. (2013): Bodenkühlung. Gespräch mit E. Damm.
- HÖKE, S.; DENNEBORG, M.; KAUFMANN-BOLL, C. (2012): Urbanes Bodeninformationssystem Emscher. Planungshilfe für die Wasserwirtschaft im Klimawandel. *dynaklim*-Publikation No.31.
- HÖKE, S.; DENNEBORG, M.; KAUFMANN-BOLL, C. (2011): Klimabedingte Veränderung des Bodenwasser- und Stoffhaushaltes und der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der Emscher. *dynaklim*-Publikation No.11.
- HÖKE, S.; DAVID, S.; SCHNEIDER, J. (2009): Weiterentwicklung und Validierung der Funktionsbewertung für urbane Böden. In: Rück, F.; Dressler von, H.; Rolf, M.; Höke, S.; David, S. (2009): Stadtboden, Funktionsbewertung urbaner Böden und planerische Umsetzung im Rahmen kommunaler Flächenschutzkonzeptionen. Endbericht. BMBF REFINA- Forschungsvorhaben, Förderkennzeichen 0330728.
- KALUSCHE, D. (1996): Ökologie in Zahlen. Eine Datensammlung in Tabellen mit über 10.000 Einzelwerten. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart; Jena; New York.
- Kuttler, W.; MÜLLER, N.; DÜTEMEYER, D.; BARLAG, A-B. (2012): Prognose- und Diagnoseanalyse zur Verbesserung des Stadtklimas. Stadtklimatische Untersuchungen in Oberhausen und Simulation verschiedener Minderungsstrategien zur Reduktion der thermischen Belastung im Hinblick auf den Klimawandel. *dynaklim*-Publikation No.25.
- KUTTLER, W. (2011): Klimawandel im urbanen Bereich Teil1, Wirkung. Environmental Sciences Europe, a Springer Open Journal.
- LANUV (2000): Grundwasserbericht Nordrhein Westfalen, Kapitel 2: Grundwasserstände im langjährigen Vergleich. Online verfügbar unter: [http://www.lanuv.nrw.de/wasser/grundwabe2000/Bericht/GW\\_Kapitel/xkap2.htm](http://www.lanuv.nrw.de/wasser/grundwabe2000/Bericht/GW_Kapitel/xkap2.htm) (abgerufen am 15.11.2013).
- LIVESLEY, S. (2013): Urban green infrastructure as a climate change adaptation strategy in our cities. Vortrag. Green Infrastructure Research Group, Department of Resource Management and Geography, the University of Melbourne.
- MÜLLER, T. (2013): Bodenkühlung. Gespräch mit E. Damm.
- MÜLLER, U.; ENGEL, N.; HEIDT, L. (2012): Ableiten der potenziellen Berechnungswassermenge aus verfügbaren Boden- und Klimadaten. In: GeoBerichte 20, Klimawandel und Bodenwasserhaushalt, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover.
- MÜLLER, U.; WALDECK, A. (2011): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS®). In: GeoBerichte 19, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie. Hannover.
- NLFB (2004): Arbeitshefte Boden, Auswertungsmethoden im Bodenschutz, Heft 2004/2.
- QUIRMBACH, M.; FREISTÜHLER, E.; PAPADAKIS, I. (2012a): Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region. Analyse zu den Parametern Lufttemperatur und Niederschlag. *dynaklim*-Publikation No. 30.

- QUIRMBACH, M.; FREISTÜHLER, E.; PAPADAKIS, I. (2012b): Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region. Kurzfassung, *dynaklim*-Kompakt No. 12.
- RENGER, M.; STREBEL, O. (1982): Beregnungsbedürftigkeit der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen in Niedersachsen. Geologisches Jahrbuch Reihe F 13, Bundesanstalt Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- RWE POWER AG (2010): Langzeitganglinie der Gemeinde Dülken. Zur Verfügung gestellt durch die RWE Power AG, Dezember 2013.
- SCHAEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Auflage Heidelberg.
- SCHMIDT, M. (2010): Ökologisches Bauen im Kontext von Klimaänderungen: Paradigmenwechsel in der Klimapolitik, Technische Universität Berlin-Institut für Architektur, Arbeitsgruppe watergy.
- SPERBER, HEINZ H. (2007): Stadtklima – ein unausweichliches Phänomen? Untersuchung zur Wirkung naturnäherer baulicher Mikrostrukturen. In: *Stadt+Grün* 2/2007, S. 40-48.
- STADT BOTTROP (2011): Luftbilder der Parkanlagen Ehrenpark, Stadtgarten und Volkspark. Zur Verfügung gestellt durch das Umweltamt Bottrop, Oktober 2013.
- STADT BOTTROP (2009): Orientierende Altlastenuntersuchung, „Umgestaltung Ehrenpark“ durch Dipl.-Geol. R. Petersen jr.
- STADT BOTTROP (2006): Digitale Bodenbelastungskarte Stadt Bottrop – Siedlungsbereich, erstellt durch das Institut für Stadtökologie und Bodenschutz, Witten.
- STADT BOTTROP (2004): Flächennutzungsplan Bottrop, Erläuterungsbericht. Fassung vom 29.12.2004.
- TIPLER, P.; MOSCA, G. (2006): Physik für Wissenschaftler und Ingenieure, 2. Deutsche Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- TISCHLER, B. (2009): Integration der Regenwasserbewirtschaftung in den Planungsalltag der Stadt Bottrop – Eine Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Vortrag.
- WALTER, S. M. (2005): Untersuchungen zu verschiedenen Belüftungssystemen: Wirkung auf die O<sub>2</sub>-Dynamik im Boden und das Wachstum von Gemüsepflanzen. Dissertation am Lehrstuhl für Gemüsebau an der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München.



**Ansprechpartner**

Jens Hasse  
hasse@fiw.rwth-aachen.de

Michaela Stecking  
stecking@fiw.rwth-aachen.de

**Projektbüro *dynaklim***

Mozartstraße 4  
45128 Essen

Tel.: +49 (0)201 104-33 39

***www.dynaklim.de***