

TEXTE

111/2019

# Untersuchung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in Städten

Abschlussbericht



TEXTE 111/2019

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3717 48 240 0  
FB000060

## **Untersuchung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in Städten**

Abschlussbericht

von

Prof. Dr.-Ing. Heiko Sieker, M.Sc. Ruth Steyer  
Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, Hoppegarten

Dr. phil. Björn Büter, B.Sc. Dominika Leßmann, M.Sc. Robert von Tils  
GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Hannover

Dr. Carlo Becker, Dipl.-Ing. Sven Hübner  
bgmr Landschaftsarchitekten GmbH, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

# Impressum

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
buergerservice@uba.de  
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

**Durchführung der Studie:**

Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH  
Rennbahnallee 109A  
15366 Hoppegarten

GEO-NET Umweltconsulting GmbH  
Große Pfahlstraße 5a  
30161 Hannover

bgmr Landschaftsarchitekten GmbH  
Prager Platz 6  
10779 Berlin

**Abschlussdatum:**

Februar 2019

**Redaktion:**

Fachgebiet II 2.1 – Übergreifende Angelegenheiten Wasser & Boden  
Bernd Kirschbaum

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, September 2019

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

## Kurzbeschreibung

Kern des Forschungsprojekts war die Ermittlung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung. Im Fokus standen dabei vor allem intelligente Techniken und Verfahren für eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung, die im Zusammenspiel mit anderen Maßnahmen einen Beitrag zu einem naturnahen Wasserhaushalt, zur Überflutungsvorsorge und für ein gesundes Stadtklima und die Hitzevorsorge leisten. Inwieweit das thermische Wohlbefinden der Menschen und die energetische Einsparung, die sich aus der Nutzung der Verdunstungskühlung ergeben, wirksam werden können, wird für die Gebäude-, Quartiers und Gesamtstadtebene vorgestellt. Basierend auf diesen Ergebnissen und der Auswertung leitfadengestützter Interviews sowie eines Workshops mit Experten aus Wissenschaft und Praxis zu den Themen „Stand der Techniken und Verfahren“ und „Verankerung und Umsetzung in der Stadtentwicklung“ werden Handlungsempfehlungen zur Verdunstungskühlung für Politik und Wirtschaft auf Bundes- und Länderebene gegeben und der weitere Forschungsbedarf skizziert.

Die Schwerpunkte der Handlungsempfehlungen liegen dabei zunächst in der Sensibilisierung und Beteiligung aller relevanten Fachbereiche, der Politik, der Betroffenen und der Planenden. Für eine zielführende Umsetzung von Maßnahmen zur Verdunstungskühlung sind Planungstools notwendig. Eine wesentliche Grundlage ist ebenso die Verankerung der Ziele und Maßnahmen in den einschlägigen Gesetzen und Regelwerken. Dabei wird es als notwendig erachtet, die Verdunstung im Wasserrecht verstärkt zu implementieren und intensiver die im Baugesetzbuch enthaltenen Möglichkeiten zu nutzen, um Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung zur Verdunstungskühlung planerisch abzusichern. Die Anpassung der Regelwerke zielt auf Techniken und Verfahren zur Niederschlagswasserbewirtschaftung und auf die Gestaltung der Oberflächen in der Stadt ab. Ziel ist es, in den Städten Standards und Anforderungen für Räume, technische Einrichtungen und Anlagen zur Nutzung des Niederschlagswassers für die Verdunstungskühlung zu entwickeln. Wesentliche Forschungsbedarfe liegen in der Ermittlung der Leistungsfähigkeit von blau-grünen Strukturen und anderen Maßnahmen im urbanen Raum, der Verdunstungsleistung von Pflanzenarten sowie von praktikablen Berechnungs- und Bewertungsverfahren.

## Abstract

The essence of the research project was to determine the potentials for using rainwater for evaporation cooling. Thereby the focus was above all on intelligent techniques and processes for the decentralised rainwater management, which, in its interaction with other measures, contributes to a near-natural water balance, to flood and heat prevention as well as to creating a healthy urban climate. The extent to which the thermal well-being of people and the energy saving, by making use of evaporative cooling, can become effective is presented at the level of buildings, quarters and cities as a whole. Based on these results and on the analysis of guided interviews as well as a workshop with experts on the topics of the current state of used techniques and processes and the extent to which these are embedded and implemented within a city's development, recommendations for actions concerning evaporative cooling for politicians and economists at a federal and local level are formulated. Also additional research required is outlined.

As a first step, the emphases of the recommendations for action lie in the sensitization and participation of all relevant players in the field, in politics, of the people affected and of the planners. Planning tools are necessary to ensure a target-focussed implementation of evaporation cooling measures. It is also crucial to enshrine the objectives and measures in the relevant laws and rulebooks. It is thereby deemed to be necessary to implement evaporation in the German Water Legislation to a greater extent. In addition, it is necessary to make more intensive use of the options contained in the German Building Code (Baugesetzbuch) in order to secure measures of rainwater management for evaporative cooling by setting them down in development plans. The adjustment of the regulations is geared towards techniques and processes of rainwater management as well as towards the shaping and design of urban surfaces. The objective is to develop standards and requirements for urban spaces and technical facilities to then make use of rainwater for evaporative cooling. There is an essential need for research into gauging the efficacy of blue green solutions in urban areas, the evaporation capacity of plants as well as viable calculation and evaluation methods.



## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	9
Tabellenverzeichnis .....	11
Abkürzungsverzeichnis .....	12
Zusammenfassung .....	13
Summary .....	16
1 Einführung .....	19
2 Methodik .....	22
3 Analyse von Techniken und Verfahren .....	24
3.1 Relevanz der Verdunstungskühlung in den Regelwerken .....	24
3.2 Maßnahmen zur Verdunstungskühlung .....	24
3.2.1 Dachbegrünung .....	25
3.2.2 Fassadenbegrünung .....	25
3.2.3 Baum-Rigolen .....	26
3.2.4 Teiche .....	27
3.2.5 Urban Wetlands .....	28
3.3 Projektsteckbriefe .....	29
4 Potentialanalyse für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in deutschen Städten .....	30
4.1 Konzept .....	30
4.2 Methodik .....	31
4.2.1 Potentialermittlung .....	31
4.2.2 Fallstudie 1: Gebäudeebene .....	32
4.2.3 Fallstudie 2: Quartiersebene .....	36
4.2.4 Fallstudie 3: Gesamtstadt-/ Regionsebene .....	41
4.3 Ergebnisse .....	44
4.3.1 Fallstudie 1: Gebäudeebene .....	44
4.3.2 Fallstudie 2: Quartiersebene .....	49
4.3.3 Fallstudie 3: Gesamtstadt/Städteregion und Extrapolation für Deutschland .....	55
5 Handlungsempfehlungen und Forschungsbedarfe .....	60
5.1 Sensibilisierung und Beteiligung .....	60
5.2 Planungsziele und -tools .....	62
5.3 Gesetzliche Regelungen und Regelwerke im Wasserrecht .....	67
5.4 Bau- und Planungsrecht .....	69
5.5 Weitere Forschungsbedarfe (Grundlagenforschung) .....	72

6	Quellenverzeichnis.....	75
7	Anhang.....	77
7.1	Interviewleitfaden.....	78
7.2	Leitfragen für die Experteninterviews .....	79
7.3	Auswertung der Interviews.....	81
7.3.1	Projektcharakter und Bezug zum Forschungsvorhaben .....	81
7.3.2	Bewertung der Leistungsfähigkeit – Was bringt die Verdunstungskühlung? .....	81
7.3.3	Einsatz von Techniken und Verfahren.....	81
7.3.4	Verankerung und Umsetzung in der Stadtentwicklung .....	82
7.3.5	Erfolgsfaktoren, Hemmnisse, Handlungsbedarf und gute Beispiele.....	83
7.3.6	Fazit der Interviews .....	84
7.4	Projektsteckbriefe.....	85
7.5	Dokumentation des Fachworkshops .....	104

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verdunstung in einem natürlichen Gebiet .....	20
Abbildung 2:	Verdunstung in einem urbanen Gebiet .....	20
Abbildung 3:	Unterschiedliche Dachtypen und ihre Effektivität für die Verdunstungskühlung und Wasserrückhaltung .....	25
Abbildung 4:	Unterschiedliche Fassadenbegrünungen und ihre Effektivität für die Verdunstungskühlung.....	26
Abbildung 5:	Prinzipquerschnitt einer Baum-Rigole.....	27
Abbildung 6:	Unterschiedliche Urban Wetlands und ihre Effektivität für die Verdunstungskühlung.....	28
Abbildung 7:	Übersicht der Stammdaten durchgeführter Fallstudien .....	30
Abbildung 8:	Projektspezifische Potentialpyramide .....	31
Abbildung 9:	Bilanzgrößen zur Abschätzung des Verdunstungskühlungspotentials von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung .....	32
Abbildung 10:	Idealisiertes Stadtquartier in der Fallstudie 1 .....	33
Abbildung 11:	Gebäudegrundriss in der Fallstudie 1 .....	34
Abbildung 12:	Schematische Darstellung der Maßnahmen auf Gebäudeebene.....	35
Abbildung 13:	Lufttemperatur, Sonnenscheindauer und Niederschlagsmenge gemessen an der DWD Station Berlin-Tempelhof.....	36
Abbildung 14:	Verschiedene Wetterlagen der Cuboid-Methode .....	37
Abbildung 15:	Lage und Impressionen des Modellquartiers Pankow .....	38
Abbildung 16:	Nutzungsparametrisierung im Ist-Zustand im Modellquartier Pankow.....	39
Abbildung 17:	Geplante Maßnahmen im Modellquartier Pankow.....	40
Abbildung 18:	Nutzungsparametrisierung im Maßnahmenplan im Modellquartier Pankow .....	41
Abbildung 19:	Ausschnitt des Tagesgangs der Innenraumtemperatur im Gebäude ohne Begrünungsmaßnahmen in verschiedenen Räumen des Dachgeschosses sowie Lufttemperatur an der Antriebsmessstation Berlin-Tempelhof.....	44
Abbildung 20:	Ausschnitt des Tagesgangs der Innenraumtemperatur im Südwestraum des Dachgeschosses für die sieben Szenarien sowie Lufttemperatur an der Antriebsmessstation Berlin-Tempelhof.....	45
Abbildung 21:	Tagesmitteltemperatur im Südwestraum des Dachgeschosses für die sieben Szenarien.....	46
Abbildung 22:	Korrelation der Tagesmitteltemperaturen im Südwestraum des Dachgeschosses zwischen dem unbegrünten Gebäude und den sechs begrünten Gebäudeszenarien .....	47

Abbildung 23:	Korrelation der Tagesmitteltemperaturen im Nordraum des Dachgeschosses zwischen dem unbegrünten Gebäude und den sechs begrünten Gebäudeszenarien .....	47
Abbildung 24:	Anzahl der Überschreitungstage der mittleren Innenraumtemperatur (>25 °C) und der maximalen Innenraumtemperatur (>30 °C) im Erd- und Dachgeschoss und jeweils im Nord- und Südwestraum für alle sieben Gebäudeszenarien .....	48
Abbildung 25:	Kühlenergiebedarf in der simulierten Zeitspanne im Erd- und Dachgeschoss und jeweils im Nord- und Südwestraum für alle sieben Gebäudeszenarien .....	49
Abbildung 26:	Hitzestress im Ist-Zustand im Modellgebiet Pankow .....	50
Abbildung 27:	Hitzestress-Differenz zwischen dem Maßnahmenplan und dem Ist-Zustand .....	51
Abbildung 28:	Wirkung der Dachbegrünung in 2 m Höhe abhängig von der Gebäudehöhe und Begrünungsart .....	52
Abbildung 29:	Anzahl an Tropennächten im Ist-Zustand im Modellgebiet Pankow .....	53
Abbildung 30:	Tropennächte-Differenz zwischen dem Maßnahmenplan und dem Ist-Zustand .....	54
Abbildung 31:	Reduktion der Lufttemperatur in 2 m Höhe um 14:00 Uhr beim „feuchten“ Tagesszenario im Vergleich zum „trockenen“ Szenario .....	55
Abbildung 32:	Ergebnisse von Fallstudie 3 – absolute Skala der bodennahen Lufttemperatur .....	56
Abbildung 33:	Ergebnisse von Fallstudie 3 – Differenzkarte der bodennahen Lufttemperatur .....	57
Abbildung 34:	Vergleich des modellierten Abkühlungspotentials von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung in Abhängigkeit des Stadttyps .....	58
Abbildung 35:	Bausteine einer klimagerechten Stadtentwicklung mit Relevanz für die Verdunstungskühlung .....	59
Abbildung 36:	Diskussionsrunde beim Fachworkshop .....	104

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Charakterisierung der Nutzungsklassen im Modell FITNAH.....	42
Tabelle 2:	Änderung des Versiegelungsgrades bzw. der Nutzungsklasse im Modell bei der Simulation des Maßnahmenplans.....	44

## Abkürzungsverzeichnis

<b>AKP</b>	Abkopplungspotential
<b>BauGB</b>	Baugesetzbuch
<b>BauNVO</b>	Baunutzungsverordnung
<b>BBodSchG</b>	Bundes-Bodenschutzgesetz
<b>BBSR</b>	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
<b>BFF</b>	Biotopflächenfaktor
<b>BMBF</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung
<b>DGNB</b>	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
<b>DWA</b>	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
<b>DWD</b>	Deutscher Wetterdienst
<b>FLL</b>	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
<b>FNP</b>	Flächennutzungsplan
<b>GFF</b>	Grünflächenfaktor
<b>HE</b>	Handlungsempfehlung
<b>KURAS</b>	Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung und Abwassersysteme
<b>LANUV</b>	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
<b>NRW</b>	Nordrhein-Westfalen
<b>ROG</b>	Raumordnungsgesetz
<b>SenStadtUm</b>	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin
<b>UTCI</b>	Universal Thermal Climate Index
<b>WHG</b>	Wasserhaushaltsgesetz

## Zusammenfassung

*Ziel des Projektes* war es das Potential von Niederschlagswasser zur Kühlung von Städten zu ermitteln, Handlungsempfehlungen auf Bundesebene und kommunaler Ebene abzuleiten sowie den weiteren Forschungsbedarf zu skizzieren. Im Zuge dessen wurden Experteninterviews zum Stand der Techniken und Verfahren sowie zur Verankerung und Umsetzung in der Stadtentwicklung durchgeführt, ausgewertet und beispielgebende Projekte zur Verdunstungskühlung recherchiert und dokumentiert.

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil des vorliegenden Berichts ist die Untersuchung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung im Hinblick auf die positive Beeinflussung des Innen- und Außenraumklimas im Rahmen von drei Fallstudien. Auf der Gebäude-, Quartiers und Gesamtstadtebene wurde analysiert, inwieweit das thermische Wohlbefinden der Menschen und die energetische Einsparung, die sich aus der Nutzung der Verdunstungskühlung ergeben, wirksam werden können. Die Ergebnisse wurden anschließend auf Deutschland extrapoliert. In einem abschließenden Workshop wurden die wesentlichen Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt vorgestellt und diskutiert. Dabei nahmen an dem Workshop Experten aus der Wissenschaft und Forschung, der Verwaltung, Planung und der technischen Praxis teil.

*Die Analyse des aktuellen Stands der Technik zeigt*, dass es bereits eine Reihe von Techniken und Verfahren gibt, die einen Beitrag zur Verdunstungskühlung leisten. Projekte mit dem Ziel der Verdunstungskühlung sind bisher allerdings keine tägliche Praxis, denn die Bewirtschaftung von Regenwasser ist vor allem auf die Ableitung und Versickerung ausgerichtet. Die Verdunstungskühlung ist zumeist „nur“ ein positiver Nebeneffekt, aber kein „harter“ Belang.

Die Auswertung der durchgeführten 17 *Experteninterviews* mit Interviewpartnern *aus der Forschung, Verwaltung und Planung* macht ebenfalls deutlich, dass es vor allem einen Untersuchungsbedarf zur Eignung und Wirkung von Techniken und Verfahren der Verdunstungskühlung und weniger einen Entwicklungsbedarf gibt. Es bestehen in der Praxis allerdings große Vorbehalte gegenüber ‚Neuem‘, wie dem Prinzip der Schwammstadt, das nicht den gängigen Normen entspricht. Das Konzept berührt viele Fachbelange und ist in der Praxis noch nicht umfassend eingeführt und rechtlich festgesetzt.

Auch in den *Regelwerken* ist die Verdunstung (noch) keine relevante Zielgröße. Die Versickerung ist mit Regelwerken hinterlegt, wogegen die Kühlung durch Verdunstung als positiver Ertrag von Landnutzung, Bewuchs und Boden noch wenig Berücksichtigung findet. Oft wird auch in der Wasserbilanz die Verdunstung als eine „Verlustgröße“ betrachtet.

In drei *Fallstudien* werden die Wirkungen von Maßnahmen zur Regenwasserverdunstung auf ausgewählte thermische bzw. humanbioklimatische Parameter mit Hilfe von numerischen Modellierungen beispielhaft quantifiziert. Neben der Verdunstung spielt auch die gleichzeitig auftretende Verschattung eine Rolle. Zentrale Ergebnisse sind:

- ▶ Auf Gebäudeebene lässt sich eine Energieeinsparung zur Kühlung der Innenräume im Bereich von 10 % (Dachbegrünung) bis zu 50 % (Beschattung mit Bäumen) erreichen. Fassadenbegrünungen sind in der Summe effektiver als Dachbegrünungen, weil sie eine größere Fläche einnehmen und auf allen Etagen wirksam sind. Ihre Verdunstungskühlleistung lässt sich durch die Bewässerung steigern. Die Wirkung der Maßnahmen ist in den von der Hitze besonders betroffenen Räumen, wie dem Dachgeschoss im Südwesten am stärksten. Dort wird die Anzahl an Tagen mit mittleren Tagestemperaturen über 25 °C aufgrund der Fassadenbegrünung um etwa die Hälfte gesenkt. Mit Hilfe von Bäumen wird die Anzahl dieser Tage um etwa ein Drittel gesenkt.

- ▶ Auf Quartiersebene wurde das Außenklima untersucht. Hier zeigen ebenfalls die Bäume (Baumrigolen) und die Fassadenbegrünungen die stärkste Wirkung. Im Gegensatz zur Dachbegrünung oder Teilentsiegelung kann durch diese Maßnahmen der Hitzestress am Tage über einen längeren Zeitraum nachhaltig reduziert werden (- 16 %). Auch nachts sind die Effekte der Fassadenbegrünung zu spüren, wobei auch die Dachbegrünung einen kleineren Anteil dazu liefert. Es wird eine um 17 % geringere Anzahl an Tropennächten erreicht.
- ▶ Auf gesamtstädtischer/stadtregionaler Ebene lässt sich die (nach-)mittägliche bodennahe Lufttemperatur während heißer Sommertage (autochthone Wetterlage) mit Hilfe von Regenwasserverdunstung im Mittel über 12 Städte der Emscher-Region um 0,9 K abkühlen. Je nach Stadtstruktur ergeben sich Abkühlungspotentiale zwischen 0,5 K und 1,3 K.

Aus den Erkenntnissen des Forschungsprojektes wurden *Handlungsempfehlungen* hinsichtlich der Verdunstungskühlung in Städten abgeleitet.

Zunächst ist die zielgruppengerechte *Sensibilisierung und Beteiligung* aller relevanten Fachbereiche, der Politik, der Betroffenen und der Planenden ein wichtiges Aufgabenfeld. Es ist ein notwendiger Prozess, um das Thema in der Planung und Praxis bekannt zu machen und für Akzeptanz zu werben. Dabei ist es grundlegend wichtig, die Ausbildung und Beratung zu stärken. Des Weiteren ist zu beachten, dass die Einführung von Techniken und Verfahren der Regenwasserbewirtschaftung zur Verdunstungskühlung kein Selbstläufer ist. Dieser Prozess muss fachübergreifend kontinuierlich begleitet und gefördert werden. Besonders in größeren Kommunen werden hierzu kompetente und engagierte Kümmerer benötigt. Zu den Aufgaben der Kümmerer gehören neben koordinierenden und beratenden Tätigkeiten auch die Öffentlichkeitsarbeit und die Förderung von Pilotprojekten. Gute, aktuelle Praxisbeispiele sind wichtig für die Überzeugungsarbeit des Nutzens und die allgemeine Sensibilisierung für das Thema der Verdunstungskühlung.

Ein weiteres Aufgabenfeld ist die Formulierung von *Planungszielen*, wie zum Beispiel Vorgaben zum Erhalt des natürlichen Wasserhaushalts und Leitpläne der Regenwasserbewirtschaftung und Hitzevorsorge. Wichtig ist dabei, das Ziel der „Verdunstungsstadt“ mit anderen Zielen der Stadtentwicklung, wie der wassersensiblen, klimaangepassten oder grünen, biodiversen Stadt, zu bündeln und Synergien zu nutzen.

Um gezielt Maßnahmen zur Verdunstungskühlung verorten zu können, ist es wichtig, Teilräume zu identifizieren, die eine starke Hitzebelastung und Potentiale zur Verbesserung der Wasser- und Energiebilanz aufweisen. Dies kann mit Hilfe von Modellsimulationen und Messkampagnen erfolgen. Die Fallstudienuntersuchungen veranschaulichen, dass sich die Verdunstungskühlung durch eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung insbesondere in Stadtstrukturen mit ausreichend un bebauten Freiflächen gut integrieren lässt. In dicht bebauten, und damit besonders hitzeanfälligen Stadtstrukturen, liegen die Potentiale für die Verdunstungskühlung v. a. in der Regenwasserretention und Begrünung auf der Gebäudeoberfläche. Für diese dichten Stadtstrukturen müssen ortsbezogene multifunktionale Gestaltungskonzepte entwickelt werden, die die Anforderungen der Erschließung, Belichtung, Erholung, Biodiversität und Klimaanpassung mit einer verdunstungsfördernden Regenwasserbewirtschaftung in Einklang bringen und intelligente Lösungen für die Kombination von Bepflanzungen mit temporären Regenwasserspeichern aufzeigen. Für solche Konzepte und die Umsetzung in der Praxis werden *Planungstools* benötigt, die an vorhandenen Verfahren und Instrumenten andocken und die interdisziplinäre Zusammenarbeit stärken. Zum Teil werden auch neue Werkzeuge gebraucht, wie beispielsweise der Grünflächenfaktor (GFF), der die bestehenden Kennwerte für die bauliche Dichte mit Zielrichtung auf eine hitze- und wassersensible sowie biodiverse Stadtentwicklung sinnvoll ergänzt. Ein weiteres relevantes neues Werkzeug ist auch ein Pflanzen- und Maßnahmenkatalog zur Förderung der Verdunstungskühlung, der die Wirkung und positiven Effekte der Maßnahmen für die Verdunstungskühlung (und für andere Ziele der Stadtentwicklung) abbildet und als Auswahlwerkzeug für Maßnahmen dient.

Mit Hilfe der Verdunstungskühlung wird das Wasser nicht mehr abgeführt, sondern soll im Einzugsgebiet verbleiben. Das setzt ein neues Denken und einen Paradigmenwechsel voraus. Die Annäherung an die natürliche Wasserbilanz ist das neue Paradigma, dieses Ziel spielte in der Stadtentwicklung und in der Wasserwirtschaft bisher keine wesentliche Rolle. Deswegen sollte nicht zuletzt die Verdunstungskühlung auch neu bzw. zielführend in die *gesetzlichen Regelungen und Regelwerke* der Wasserwirtschaft und der Stadtentwicklung aufgenommen werden. Dies schließt auch Anreize durch Förderung oder Kosteneinsparungen, etwa im Rahmen von Programmen oder Gebührenordnungen, ein. Die Verankerung in den technischen Regelwerken ist notwendig, um die Verdunstungskühlung in Städten in die Praxis zu überführen und hilfreich, um Grundsatzdiskussionen zu vermeiden.

Innerhalb des Wasserrechts fehlt bislang eine bundesweite Rechtsverordnung für die Regenwasserbewirtschaftung. Weiter sollten im Wasserhaushaltsgesetz vor allem Maßnahmen gegen Starkregen und Hitze, wie z. B. der Erhalt des natürlichen Wasserhaushalts bei Neuplanungen, gesetzlich verankert werden. Ein grundlegender Schritt ist dabei die Einführung des DWA-A 102, das seit 2016 nur im Entwurf vorliegt. Um bei dem Paradigmenwechsel von der Entwässerung über die Ableitung hin zur Rückhaltung des Niederschlags im Einzugsgebiet auch die Verdunstung zu fördern, ist es außerdem nötig, das DWA-A 138 zu überarbeiten. Außerdem sollte die Verdunstung bei der Regenwassergebühr berücksichtigt und der Anschluss- und Benutzungszwang für Niederschlagsabflüsse in den entsprechenden Bundesländern aufgehoben werden. Generell ist es zudem förderlich, die Begrifflichkeiten von Regenwasser und Verdunstung im Wasserrecht und Regelwerk positiv zu prägen.

Innerhalb des *Bau- und Planungsrechts* lassen sich aufgrund der im Baugesetzbuch enthaltenen Festsetzungsmöglichkeiten von Grünflächen, Wasserflächen und Flächen für die Wasserwirtschaft sowie von Anpflanzungen und Bindungen für die Bepflanzung viele dezentrale Regenwasserbewirtschaftungsmethoden, die auch zur Verdunstungskühlung beitragen, verbindlich über einen Bebauungsplan absichern. Zur Unterstützung der kommunalen Planungsträger bei der Umsetzung von Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung sind Planungshilfen für die verbindliche Bauleitplanung der Länder und Kommunen dienlich. Die üblichen Festsetzungen, wie z. B. Pflanzbindungen, sollten um neuere Maßnahmen, die verstärkt auch für die Verdunstung förderlich sind, erweitert werden.

Als ein neuer grundstücksbezogener Zielwert wird die rechtliche Verankerung des Grünflächenfaktors in der Baunutzungsverordnung empfohlen. Mit ihm sollte für die unterschiedlichen Baugebiete der Mindestanteil zu begrünender Flächen festgelegt werden. Er soll die Kennwerte für das Maß der baulichen Nutzung in der BauNVO ergänzen und den Mindeststandard des Grünflächenanteils regeln, wobei dieser flexibel sowohl durch Maßnahmen zu ebener Erde, als auch an und auf den Gebäuden erfüllt werden kann. Die Straßen, versiegelten Höfe und unbegrünter Dächer und Fassaden der Innenstädte zählen zu den Flächen und Räumen, die sich am stärksten aufheizen. Zugleich leben hier sehr viele potentiell betroffene Menschen. Um dieses große Potential der Hitzevorsorge zu aktivieren, wird empfohlen, das Thema „Kühlung“ in die Merkblätter und Normen der Straßen (für die innerstädtischen Straßen sind dies insbesondere die Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen - RAS) aufzunehmen sowie Anreize für die Realisierung von Maßnahmen der Verdunstungskühlung zu schaffen. Letztere können z. B. durch eine spürbare Absenkung der Niederschlagswassergebühren für Maßnahmen der Verdunstungskühlung und durch die Aufnahme solcher Maßnahmen in vorhandene und neue kommunale Umweltentlastungsprogramme geschaffen werden.

Das letzte Handlungsfeld zeigt die Aspekte und Fragestellungen der Verdunstungskühlung auf, zu denen es noch einen vertiefenden *Forschungsbedarf* gibt. Dies betrifft vor allem grundlegende Fragen zur Leistungsfähigkeit von blau-grünen Strukturen und Maßnahmen im urbanen Raum, zur Verdunstungsleistung von Pflanzenarten sowie zu praktikablen Berechnungsverfahren. Ebenso sollten auch humanbioklimatische Effekte, die während feucht-heißer Witterungsperioden („Schwüle“) auftreten können, ganzheitlich erforscht werden, um potentiell negative Effekte auf das thermische Wohlbefinden abzuschätzen.

## Summary

The aim of the project was to determine rainwater's potential to cool down cities and thus to arrive at recommendations for action at a federal and local level as well as to outline the additional research required. As part of this, expert interviews were conducted to assess the current state of used techniques and processes as well as to ascertain to what extent these are embedded and implemented within a city's development. These were then analysed and exemplary projects on evaporative cooling were researched and documented.

Three case studies investigating rainwater evaporation in terms of its effect on the climate inside and outside of buildings form an additional essential part of this report. The analysis at the level of buildings, quarters and cities as a whole, concentrates on the extent to which the thermal well-being of people and the energy saved by making use of evaporative cooling can become effective. The results were then extrapolated to Germany as a whole. The essential findings of the research project were presented and discussed in a concluding workshop. Experts from academia and research as well as experts from administration, planning and technical practitioners took part in the workshop.

The analysis of state-of-the-art technology reveals that a number of techniques and processes already exist which contribute to evaporative cooling. However, projects dedicated to the sole purpose of evaporative cooling are as yet not commonplace in everyday practice because rainwater management is above all geared towards drainage and infiltration. Evaporative cooling is often 'only' a positive side effect, without any real significance. The analysis of the 17 expert interviews conducted with interviewees working in research, administration and planning also shows clearly that there is above all a need for research into the suitability and effect of techniques and processes of evaporative cooling rather than a need for development. However, in practice, there are great reservations regarding anything that is 'new', such as the 'Sponge City' concept, which does not conform to established norms.

In the regulations also evaporation is not (yet) a relevant key performance indicator. Infiltration is recorded in the regulations, whereas little attention is given to cooling by means of evaporation as a positive yield from land use, vegetation and the soil. In fact, evaporation is often seen as a 'loss factor' in the water balance.

In the three case studies, the effects of rainwater management systems for evaporation on selected thermal and human bio-climatic parameters are quantified by way of example with the help of numeric modelling. In addition to the evaporation, the co-occurring shadow effects play a part. These are the main results:

- ▶ For buildings, an energy saving of between 10% (green roofs) and 50% (shade from trees) can be achieved to cool the inside of houses. Facade greenery being the altogether more efficient means than green roofs because it covers a greater area and thus is effective on all floors. The cooling effect can be enhanced by watering facade greenery. The impact of these measures is greatest for rooms or spaces particularly affected by heat, such as top floors facing southwest. Here the number of days with an average temperature of above 25 °C is reduced by roughly half through facade greenery and by roughly a third through the presence of trees.
- ▶ For the urban quarters merely the outdoor climate was analysed. Here too, trees (tree-trench-system) and facade greenery have the strongest effect. In contrast to green roofs or partial unsealing, these measures can help reduce the daytime heat stress in a sustained manner over a longer period of time (- 16%). The effects of facade greenery are also felt during the night, with green roofs also contributing a smaller part. Thus a 17% reduction in the number of tropical nights is achieved.

- ▶ The midday and afternoon air temperature near ground level in cities and city regions on hot summer days (indigenous weather conditions) can be reduced city-wide with the help of rain-water evaporation by an average of 0.9 K in 12 towns of the Emscher region. The cooling potential lies between 0.5 and 1.3 K, depending on the individual town structure.

Recommendations for action concerning evaporative cooling in cities are derived from the findings and results of the research project.

First of all, an important task is the targeted sensitisation and participation of all relevant players in the field, in politics, of the people concerned and of the planners. This is a necessary process in order to raise awareness for the topic amongst planners and practitioners and to advocate acceptance thereof. It is thereby of essential importance to promote training and guidance in the field. Moreover, it is necessary to bear in mind that the introduction of rainwater management techniques and processes for evaporative cooling is not a matter of course. This process will need to be overseen and nurtured continuously across all sectors. In particular, the larger councils will need competent and committed people. Their tasks encompass coordinating and counselling as well as public relations and the promotion of pilot projects. Good, current examples from everyday practice are important to convince people of the benefits and for the general sensitisation for the topic of evaporative cooling.

The formulation of planning objectives, such as standards for the preservation of the natural water balance and master plans for rainwater management and preventative measures against the heat, form an additional task. It is thereby important to combine the objective of the 'Rainwater-Evaporation-City' with other objectives in town planning, such as the water sensitive, climate adapted or green, biodiverse city and to thus make use of synergies.

In order to undertake specific steps towards evaporation cooling, it is important to identify individual areas that are exposed to high levels of heat stress and show potential for improving both the water and energy balance. This can be achieved with the help of model simulations and surveys. The case studies illustrate that evaporative cooling within decentralised rainwater management, works well in particular in urban spaces with ample unbuilt areas. In heavily built-up city areas that are hence particularly exposed to heat stress, the potentials for evaporative cooling above all lie in stormwater retention and the greening of building surfaces. For these built-up city areas location-specific, multifunctional design concepts need to be developed that reconcile the requirements concerning exploitation, lighting, recreation, biodiversity and climate adaptation with an evaporation-favourable rainwater management and provide intelligent solutions to plants with temporary rainwater storage. These concepts and their implementation require planning tools that latch onto existing processes and instruments and strengthen interdisciplinary cooperation. In part this will also require new tools, such as the "Green Area Factor" which is a sensible supplement to the existing parameters for building density with the aim of heat and water sensitive as well as biodiverse town planning. A catalogue of plants and measures to promote evaporation cooling, which depicts the impact and positive effects of evaporative cooling measures (and of other town planning objectives) and serves as a selection tool for measures, is another relevant new tool.

Water is no longer drained away, but instead, with the help of evaporation cooling, it remains in the catchment area. This presupposes some new thinking as well as a paradigm shift. Convergence with the natural water balance is the new paradigm. Until now, this goal played no significant part in town planning and water management. Not least for this reason should evaporation cooling also receive a new or rather a target-focussed entry in the statutory rules and rulebooks on water management and town planning. This also includes incentives such as funding or cost saving, for instance, as part of programmes or tariffs. Embedding it in the technical rulebooks is necessary in order for cities to make the transition into practice, and it is helpful for avoiding fundamental discussions on the topic.

As yet, a national statutory instrument for rainwater management is missing in German Water Law (Wasserrecht). Moreover, measures against heavy rainfall and heat, in particular, such as respecting the preservation of the natural water balance when drawing up new building plans, should be enshrined in German Water Resources Management Law. Thereby the introduction of DWA-A 102, which only exists as a draft from 2016, is a fundamental step. In order to also promote evaporation in the paradigm shift from discharge to the detention of rainwater within a catchment area, it is furthermore necessary to revise the DWA-A 138. Moreover, evaporation should be considered in the rainwater fees and the legal requirement for connection and usage of the rainwater runoff in the applicable federal states should be abolished. In general, it is also beneficial to create a positive image for the terms rainwater and evaporation in German Water Law and in the Rules and Standards.

Thanks to the regulatory options for defining green spaces, water surfaces and areas reserved for water management as well as planting and plant preservation requirements in the German Building Code (Baugesetzbuch), it is possible to set down and secure binding decentralised rainwater management methods, which also contribute to evaporation cooling, within the Building and Planning Law (Bau- und Planungsrecht). This can be achieved with a development plan (Bebauungsplan). In order to support the local planning authorities in the implementation of decentralised rainwater management measures, planning aides for the binding urban land-use planning (Bauleitplanung) of the federal states (Länder) and the local authorities are useful. The standard stipulations, such as the plant preservation requirements, should be extended to newer measures which are also increasingly beneficial for evaporation.

It is recommended that the “Green Area Factor” be enshrined in the Federal Land Utilisation Ordinance (Baunutzungsverordnung) as a new target value for properties. With it, the minimum proportion of green spaces in the various development areas is to be fixed. The “Green Area Factor” is to compliment the parameters for the measure of building development activity in the Federal Land Utilisation Ordinance (BauNVO). It should also set the minimum standard for the proportion of green spaces, whereby the criteria can be fulfilled in a flexible manner, through measures at ground level as well as measures on the buildings themselves. The tarmacked roads, courtyards, roofs and facades (without greenery) of inner cities belong to those areas most hit by the heat. At the same time, very many potentially affected people live in these areas. In order to realise the great potential of preventative measures against the heat, it is recommended to incorporate the topic of cooling in the pamphlets and norms on roads (specifically, for inner-city roads, these are the Guidelines on the Building of Urban Roads – RAST) as well as to create incentives for the realisation of evaporation cooling measures. The latter could, for example, be achieved by an appreciable reduction in the rainwater fees for evaporation cooling measures as well as through the inclusion of these measures in existing and new local programmes on protecting the environment.

The final task highlights those aspects and issues of evaporative cooling that still have a more in-depth need for research. Above all, this pertains to fundamental questions about the efficacy of blue green solutions in urban areas and the evaporation capacity of plants as well as viable calculation methods. In addition, holistic research into the human bio-climatic effects, which can occur in hot and humid periods, is required in order to gauge the potentially negative effects on thermal well-being.

## 1 Einführung

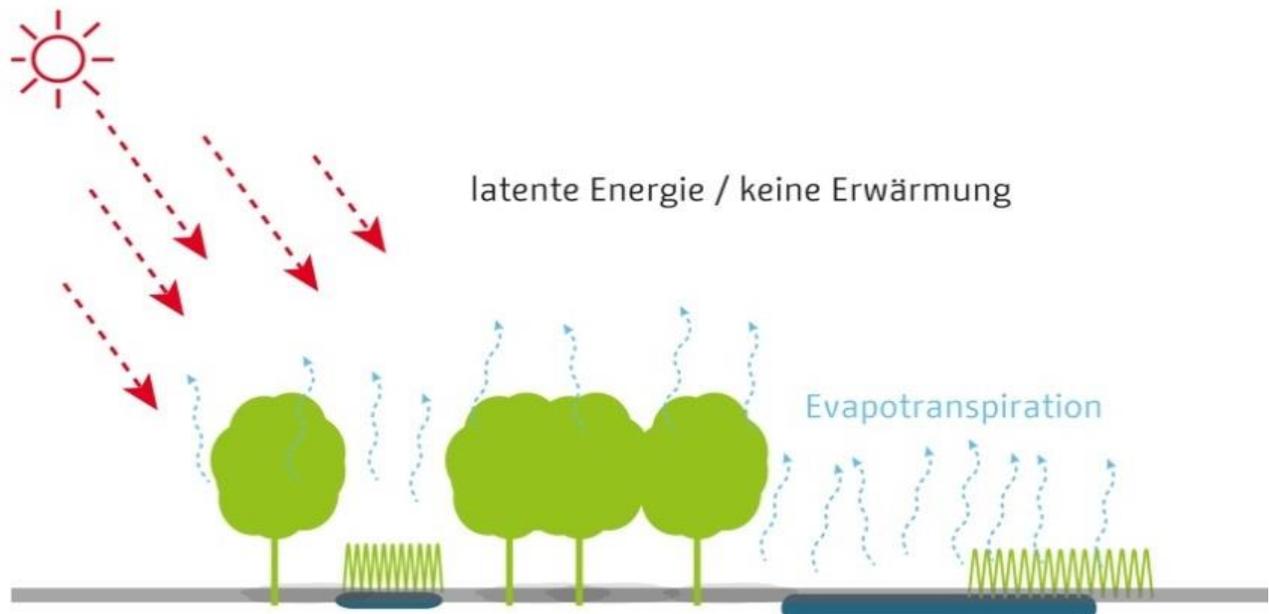
Die Berücksichtigung der Verdunstung als Teil des urbanen Regenwassermanagements ist ein recht neuer Aspekt. Bislang steht noch oft die Ableitung und falls erforderlich die Retention von Regenabflüssen im Vordergrund. Sinnbildlich dafür sind die Begriffe „Regenwasserentsorgung“ oder „Niederschlagswasserbeseitigung“. Auch der Ausdruck „Verluste“ für die Teile des Niederschlages, die nicht zum Abfluss kommen, ist symptomatisch für die bisherige Praxis. Evaporation und Evapotranspiration spielen in der Stadtentwässerung und so auch in den üblicherweise verwendeten (Kanalnetz-) Modellen bislang nur eine Rolle, um die Regeneration der Abflussbeiwerte abzubilden.

Seit einigen Jahren ist die Versickerung als weiterer Baustein der Regenwasserbewirtschaftung praxisrelevant geworden. Versickerungsmulden, Mulden-Rigolen-Systeme und ähnliche Anlagen sind inzwischen Stand der Technik und werden verbreitet bei der Erschließung und teilweise auch im Bestand angewendet. Allerdings stand auch bei der Planung von Versickerungsanlagen die Reduktion der Abflüsse bislang als Zielstellung im Fokus. Erstaunlicherweise darf in Deutschland die Wasserbilanz eines Gebietes (beschrieben durch die Wasserhaushaltsgleichung) durch Bebauung beliebig verändert werden, ohne dass konkrete Zielvorgaben durch Wassergesetze oder Technische Regeln greifen.

Erst in den letzten Jahren wurde die Wasserbilanz und somit auch die Verdunstung als Planungskriterium in Betracht gezogen (Sieker F., Zweynert U., Sieker H. 2006). Der Entwurf des neuen DWA-Arbeitsblatts A 102 „Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer“ formuliert erstmalig für ein Technisches Regelwerk den Erhalt des lokalen Wasserhaushaltes als Zielgröße für die Regenwasserbewirtschaftung, was aber in der Fachwelt noch sehr kritisch diskutiert wird.

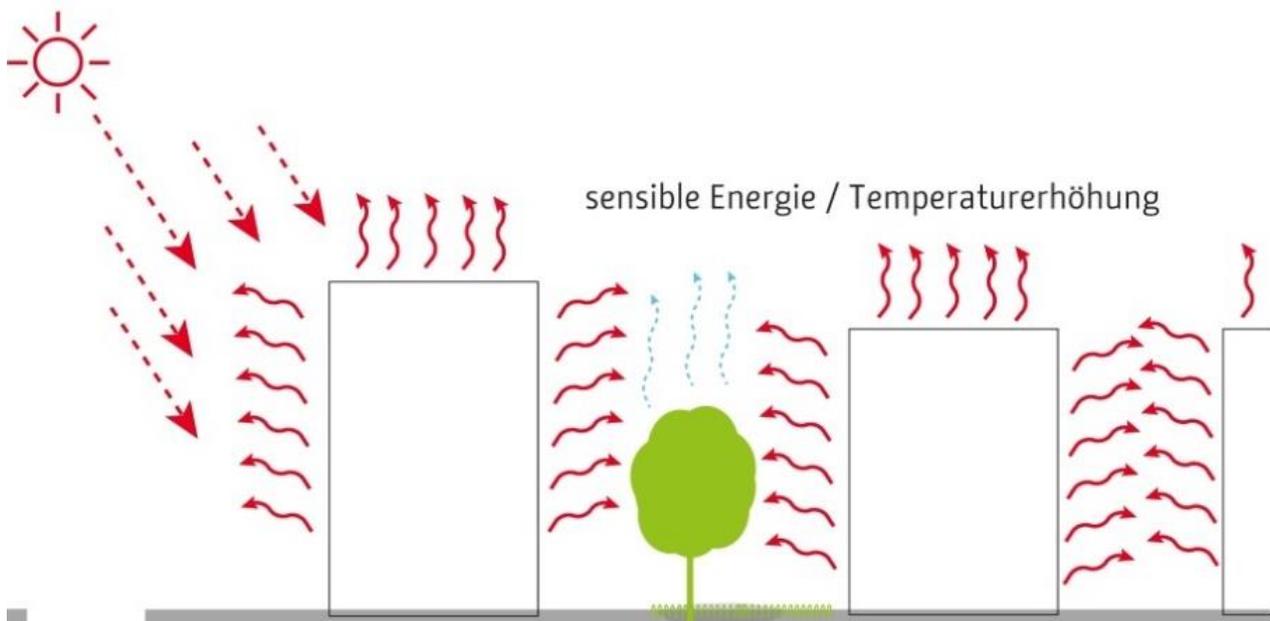
Die Aufrechterhaltung der Verdunstung, insbesondere in urbanen Gebieten, ist notwendig, um der sommerlichen Wärmebelastung in Siedlungsgebieten entgegenzuwirken. Städtische Hitzeinseln („urban heat islands“) sind bereits ohne Klimawandel sehr ausgeprägt und besonders in den Großstädten und dicht bebauten Stadtregionen deutlich spürbar. Temperaturunterschiede zwischen urbanen und ruralen Gebieten von 3-4°C, insbesondere in heißen Sommernächten, sind keine Seltenheit. Das Wachstum der Städte und der Klimawandel verschärfen diesen Effekt noch. Neben zunehmenden Starkniederschlägen werden auch vermehrt lange Hitzeperioden eine Herausforderung für die Siedlungswasserwirtschaft werden. In Abbildung 1 ist die Verdunstung eines natürlichen Gebietes dargestellt. Abbildung 2 verdeutlicht dagegen die starke Reduzierung der Verdunstung in einem urbanen Gebiet.

Abbildung 1: Verdunstung in einem natürlichen Gebiet



© SenStadtUm Berlin/bgmr (2016)

Abbildung 2: Verdunstung in einem urbanen Gebiet



© SenStadtUm Berlin/bgmr (2016)

Eine am natürlichen Wasserhaushalt ausgerichtete Regenwasserbewirtschaftung kann diesen Problemen entgegenwirken. Die Technologien dafür stehen prinzipiell zur Verfügung. Dachbegrünung, „Constructed Wetlands“ oder Baum-Rigolen sind, neben vielen weiteren Methoden, ausgereifte Systeme, die einen Beitrag zur Erhöhung der Verdunstung leisten können.

Die Wirkung der Verdunstungskühlung spielt sich auf verschiedenen Ebenen ab. Erstens kann Regenwasser direkt zur (Gebäude-) Kühlung („adiabate Kühlung“) verwendet werden, zweitens wird durch Maßnahmen der Gebäudebegrünung ebenfalls eine Kühlwirkung für Gebäude erreicht, insbesondere dann, wenn die Systeme aktiv mit Regenwasser bewässert werden („Blau-grüne Dächer“). Darüber

hinaus lässt sich mit geeigneten Maßnahmen der Begrünung und Wasserspeicherung eine Kühlwirkung für ganze Straßenzüge und Stadtquartiere erreichen, wie die Ergebnisse des BMBF-Projekts KURAS zeigen (Matzinger, Riechel, Remy et al. 2017). Neben der Gebäudebegrünung sind hier vor allem Maßnahmen im Straßenraum zu nennen (Baum-Rigolen, technische Feuchtgebiete).

Voraussetzung aller genannten Maßnahmen ist, dass entsprechend große Retentionsräume für den Rückhalt von Regenwasser bereitgestellt werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass genügend Wasser für die Verdunstung in trockenen Zeiträumen zur Verfügung steht. Die Idee der Speicherung und Rückhaltung von Regenwasser und der dadurch bedingten Verzögerung und Verminderung des Abflusses wird auch als Konzept der Schwammstadt („Sponge City“) bezeichnet. Die Retentionsräume haben zusätzlich den Vorteil, dass gleichzeitig Kanalisationssysteme und Gewässer hydraulisch entlastet werden und eine Risikominimierung bei Stark- und Extremregenereignissen erreicht werden kann.

## 2 Methodik

Im ersten Arbeitspaket des Forschungsvorhabens wurden mögliche Maßnahmen zur Verdunstungskühlung ermittelt und die Relevanz der Verdunstungskühlung in den Regelwerken untersucht. Im Zuge dessen wurden ausgewählte Forschungsprojekte sowie bereits durchgeführte (Bau-) Projekte aus Deutschland analysiert und in Steckbriefen dokumentiert (vgl. 7.4 Projektsteckbriefe). Die Steckbriefe geben zusammenfassend die wesentlichen Projektinhalte sowie die erreichten Effekte und die bei der Umsetzung aufgetretenen Hemmnisse wieder. Für die Einordnung der Übertragbarkeit werden ergänzend die klimatischen, wasserwirtschaftlichen und städtebaulichen Rahmenbedingungen, wie beispielsweise die Bebauungsdichte, Niederschläge, Gebäudetyp, -größe, Dachfläche etc. der jeweiligen Projekte benannt.

Ein weiterer methodischer Baustein in diesem Arbeitspaket war eine Analyse, inwieweit die Verdunstungskühlung bereits Stand der Techniken und Verfahren ist und in der planerischen Praxis zur Anwendung kommt. Diese erfolgte anhand von Experteninterviews mit insgesamt 17 Interviewpartnern aus Fachverbänden, Kommunen, Industrie/Gewerbe und der Wissenschaft:

- ▶ Prof. Dr. Hartmut Balder, Institut für Stadtgrün
- ▶ Stefan Brückmann, Ramboll Studio Dreiseitl
- ▶ Dr. Fabian Dosch, BBSR, Stadt-, Umwelt- und Raumbbeobachtung
- ▶ Dr. Bernhard Fischer, BBSR, Bauen und Umwelt
- ▶ Christian Härtel, Wiener Umweltschutzabteilung
- ▶ Nicole Jackisch, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Hydrologie
- ▶ Dr. Michael Kastler, ahu GmbH Wasser Boden Geomatik
- ▶ Michael Koch, Freie Hansestadt Bremen, Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr
- ▶ Prof. Dr. Manfred Köhler, Hochschule Neubrandenburg, Fachbereich Landschaftswissenschaften und Geomatik
- ▶ Klaus W. König, Sachverständigen- und Fachpressebüro Überlingen
- ▶ Dr. Gunter Mann, Präsident des Bundesverbands GebäudeGrün e. V. (BuGG)
- ▶ Thomas Müller, Stadt Bottrop, Fachbereich Umwelt und Grün
- ▶ Dr. Thomas Nehls, TU Berlin, Institut für Ökologie
- ▶ Dr. Darla Nickel, Berliner Wasserbetriebe
- ▶ Marco Schmidt, TU Berlin, Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung
- ▶ Dr. Heike Stock, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen Berlin
- ▶ Prof. Antje Stokman, HafenCity Universität Hamburg, Fachgebiet Architektur und Landschaft

Grundlage für diese Expertengespräche war ein Interviewleitfaden (vgl. 7.1 Interviewleitfaden), der die Schlüsselfragen für die Interviews benennt und vorab an die Teilnehmer gesendet wurde. Die Interviewpartner sollten die Leistungsfähigkeit der Verdunstungskühlung bewerten, ihren Kenntnisstand zu Techniken und Verfahren wiedergeben, sich zur Verankerung und Umsetzung in der Stadtentwicklung äußern sowie Erfolgsfaktoren, Hemmnisse, Handlungsbedarf und Anwendungsbeispiele bzw. Forschungsprojekte nennen. Eine Auswertung der Experteninterviews findet sich in Kapitel 7.3.

Im zweiten Arbeitspaket des Forschungsvorhabens wurde die Wirkung der Regenwasserverdunstung auf das Innen- und Außenraumklima im Rahmen von drei Fallstudien untersucht. Auf der Gebäude-, Quartiers und Gesamtstadtebene wurde analysiert, inwieweit das thermische Wohlbefinden der Menschen und die energetische Einsparung, die sich aus der Nutzung der Verdunstungskühlung ergeben, gesteigert werden können. Das detaillierte methodische Vorgehen für die Fallstudien-Simulationen sowie die Ergebnisse sind in Kapitel 4 zu finden.

Mit dem Ziel, die erarbeiteten Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt kritisch zu reflektieren und mit den geladenen Experten Handlungsempfehlungen für Bund, Länder und Kommunen zu generieren,

wurde zum Abschluss des Forschungsprojektes ein Fachworkshop durchgeführt. Dieser fand am 10.09.2018 im UBA am Bismarckplatz in Berlin statt. Die 31 Teilnehmer kamen sowohl aus der Forschung als auch aus der Verwaltung und Anwendung. Nach einführenden Vorträgen über die Ergebnisse der Analysen und die durchgeführten Interviews wurden in wechselnden Arbeitsgruppen Handlungsempfehlungen auf Bundesebene und kommunaler Ebene sowie offene Fragen und der weitergehende Forschungsbedarf skizziert und für die Vorstellung im Plenum festgehalten. Die Dokumentation des Workshops ist in Kapitel 7.5 zu finden.

## 3 Analyse von Techniken und Verfahren

### 3.1 Relevanz der Verdunstungskühlung in den Regelwerken

Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG 2009) führt den Erhalt der Leistungsfähigkeit des Wasserhaushalts als eine Sorgfaltspflicht auf (vgl. § 5 Nr. 3 WHG). Im Gegensatz zur Versickerung, die seit einigen Jahren in der Regenwasserbewirtschaftung praxisrelevant geworden ist, wird die Verdunstung aber nur selten berücksichtigt. So gilt das Arbeitsblatt DWA-A 138 "Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser" (2005) als Stand der Technik und wird seit Jahren bei Neuer-schließungen und auch im Bestand angewendet. Für die Verdunstung ist solch ein Arbeitsblatt noch nicht zu finden. Im DVWK-M 238/1996 „Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen“ wird der Zusammenhang zwischen Wasser- und Energiebilanz hinsichtlich der Verdunstung sowie Messverfahren und Berechnungsansätze erläutert. Dabei wird die Verdunstung als „Verlustgröße“ der Wasserbilanz bezeichnet, da dieser Anteil scheinbar nicht zum nutzbaren Wasserdargebot zählt. Die Zusammenhänge zwischen Landnutzung und Verdunstung werden im DVWK-M 504/2002 „Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden“ dargestellt. Beide Merkblätter werden jedoch nun überarbeitet und zu einem neuen Merkblatt mit zwei Teilen zusammengelegt. Dabei ist der erste Teil DWA-M 504-1 „Grundlagen, experimentelle Bestimmung der Landverdunstung, Gewässerverdunstung“ im Jahr 2018 erschienen. Hier wird nun die Verdunstung als eine zentrale Größe im Wasserkreislauf hervorgehoben und weniger als Verlust bezeichnet.

Als eine Zielgröße der Regenwasserbewirtschaftung taucht die Verdunstung erstmalig im DWA-A 100 „Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung“ auf. In diesem Arbeitsblatt wird die Zielsetzung genannt, die Veränderungen des natürlichen Wasserhaushaltes in mengenmäßiger und stofflicher Hinsicht so gering wie möglich zu halten. Diese Zielsetzung wird mit dem Entwurf des neuen Arbeitsblattes DWA-A 102 "Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer" von 2016 konkretisiert. Dabei liegt der Fokus aber auf der Reduzierung des Oberflächenabflusses. Eine Kühlung durch Verdunstung wird in den Arbeitsblättern nicht thematisiert.

### 3.2 Maßnahmen zur Verdunstungskühlung

Grundsätzlich gilt, dass jede Art von Bepflanzung, ob Parks, Straßenbäume oder grüne Balkone, aber auch offene Wasserflächen sowie offenliegender Boden, einen Teil zur Verdunstungskühlung beitragen. Durch gezielte Verfahren und Techniken kann dieser Effekt noch verstärkt werden. Eine ausführlichere Beschreibung des Aufbaus und der Wirkung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen, kann u. a. den Maßnahmensteckbriefen des Verbundvorhabens KURAS (Matzinger, Riechel, Remy et al. 2017) entnommen werden. Informationen vor allem zur Fassaden- und Dachbegrünung gibt auch das FLL-Forschungsvorhaben „Gebäude Begrünung Energie“ (2014) wieder. Dabei wird ein Fokus auf die klimatische und energetische Auswirkung auf das Gebäude sowie das Umfeld und den Stadtraum gelegt.

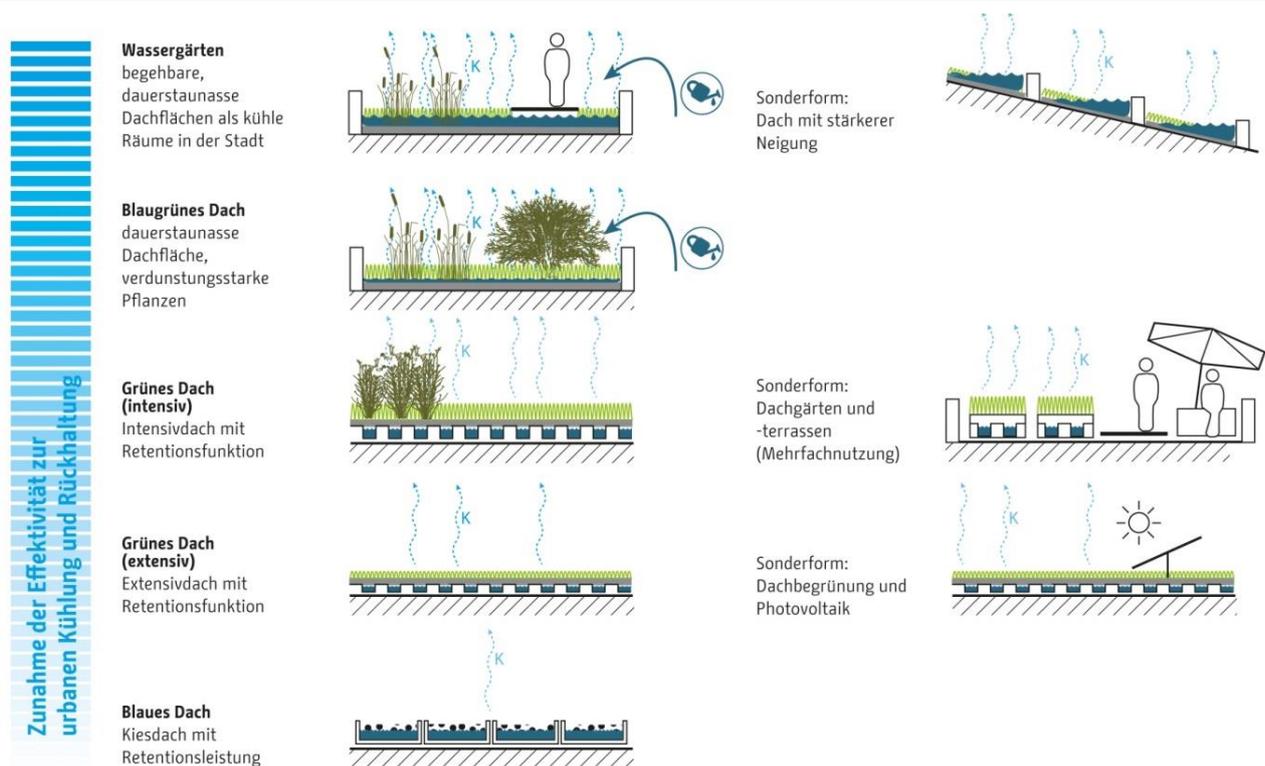
Zu beachten ist, dass bei allen Maßnahmen zur Verstärkung der Verdunstungskühlung eine ausreichende Wasserversorgung gegeben sein muss. Um diese zu gewährleisten ist eine Kombination mit Maßnahmen zur temporären Regenwasserspeicherung notwendig. Konzepte wie das Schwammstadtprinzip, in welchem das Niederschlagswasser am Ort der Entstehung zwischengespeichert und in die „grünen Elemente“ eingeleitet werden soll, berücksichtigen diesen Sachverhalt.

Nachfolgend werden Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen, die in Kapitel 4 in den Simulationen berücksichtigt wurden, kurz vorgestellt.

### 3.2.1 Dachbegrünung

Die Begrünung von Dachflächen kommt i. d. R. für Gebäude und bauliche Anlagen wie (Tief-) Garagen mit ebenen bis schwach geneigten Dachflächen zum Einsatz. Unterschieden wird zwischen extensiven und intensiven Dachbegrünungen. Extensive Dachbegrünungen sind einschichtig mit einer Substratmächtigkeit <15 cm aufgebaut und zumeist mit niedrig wachsenden Gräsern, Sedumarten oder Sukkulenten bepflanzt, die trockenverträglich und pflegeleicht sind. Sie eignen sich aufgrund der geringen Auflast auch zum nachträglichen Aufbau auf bislang unbegrüntem Flachdächern. Intensiv begrünte Dächer (mehrschichtig, Substratstärke von >15 cm) können bis zur kompletten Gartenlandschaft auf dem Dach reichen. Besonders Tiefgaragen eignen sich für intensive Begrünung, da hier aus statischen Gründen dickere Schichtaufbauten möglich sind. Für beide Begrünungsarten gibt es technische Retentionssysteme, die den Wirkungsgrad der Regenwasserrückhaltung verbessern und gleichzeitig in Trockenphasen für eine längere Wasserversorgung der Pflanzen sorgen können. Der Wasserrückhalt und somit auch die Verdunstungsrate sind abhängig von Bauweise, Aufbaudicke und Jahresniederschlag (vgl. Abbildung 3). Empfehlungen für Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen sind in der FLL „Dachbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltungen von Dachbegrünungen“ (2018) zu finden.

Abbildung 3: Unterschiedliche Dachtypen und ihre Effektivität für die Verdunstungskühlung und Wasserrückhaltung



© SenStadtUm Berlin/bgmr (2016)

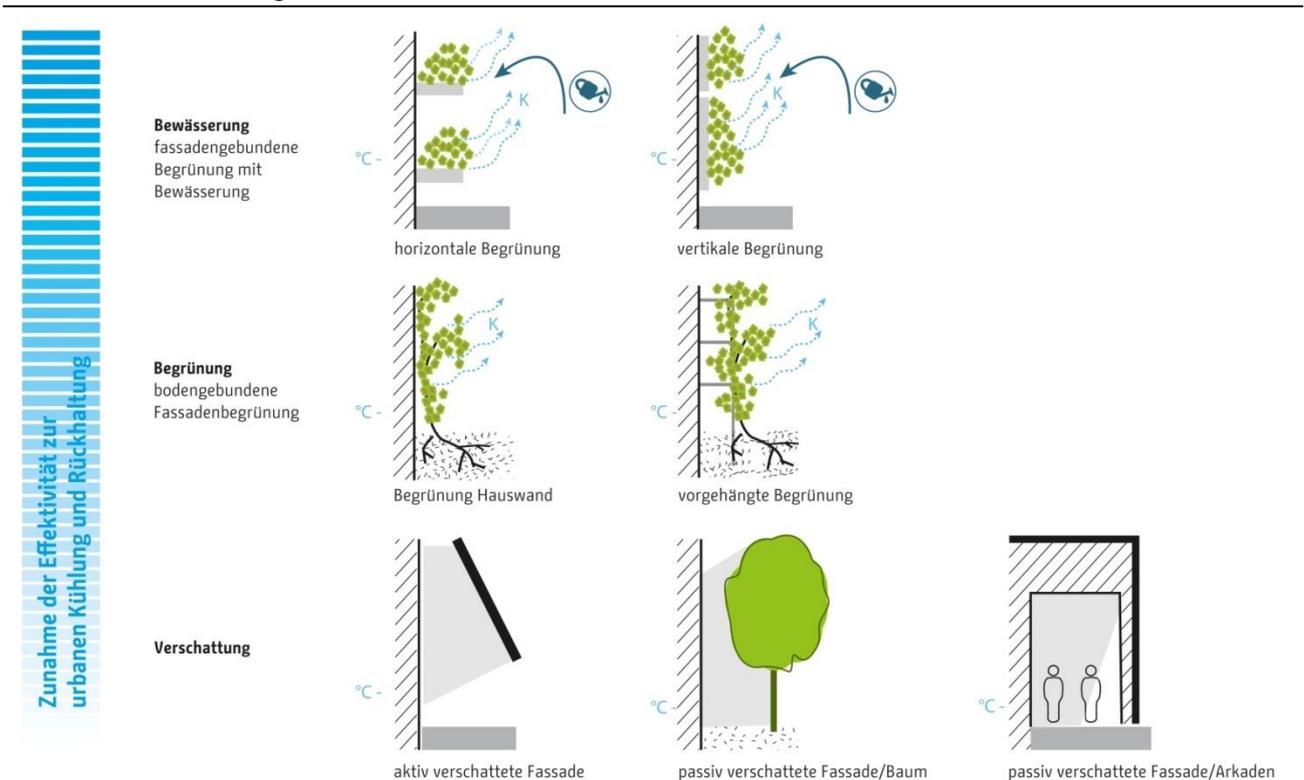
### 3.2.2 Fassadenbegrünung

Bei der Begrünung von Fassaden wird zum einen zwischen systemgebundenen und bodengebundenen Systemen und zum anderen zwischen dem Direktbewuchs an der Hauswand und dem Bewuchs an einem vorgesetzten Klettergerüst differenziert (vgl. Abbildung 4). Während bodengebundene Systeme zumindest zum Teil mit örtlichen Niederschlägen versorgt werden können, werden systemgebundene Fassadenbegrünungen häufig mit Trinkwasser bewässert. Mit Hilfe der Fassadenbegrünung lässt sich der Anteil der Verdunstung an der Jahreswasserbilanz erhöhen. Eine Quantifizierung ist jedoch

schwierig, aufgrund der geringen Anzahl an Literaturwerten und den zahlreichen Einflussparametern. So hängt die Maßnahmenwirkung von der Art der Fassadenbegrünung, der geografischen Ausrichtung und somit der Sonneneinstrahlung, der Wasserverfügbarkeit und den Pflanzenarten ab. Die endgültige Kühlwirkung der Fassadenbegrünung beruht neben der Verdunstungskühlung auch auf der gleichzeitigen Verschattung der Hauswand.

Detaillierte Informationen zu den Einsatzbereichen der Fassadenbegrünung gibt die FLL „Fassadenbegrünungsrichtlinie – Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen“ (2018) sowie der FLL-Forschungsbericht „Wandgebundene Begrünungen“ (2015).

Abbildung 4: Unterschiedliche Fassadenbegrünungen und ihre Effektivität für die Verdunstungskühlung



© SenStadtUm Berlin/bgmr (2016)

### 3.2.3 Baum-Rigolen

Die Baum-Rigole besteht aus einem Baum in einer Versickerungsfläche, die temporär eingestaut werden kann und einer unterirdisch angelegten Rigole. Teile dieser Rigole werden als Wurzelraum für einen Baum genutzt (vgl. Abbildung 5). Im Gegensatz zum herkömmlichen Straßenbaum besitzt die Baum-Rigole ein optimiertes Wasserdargebot. Die Zuleitung von Niederschlagswasser in die Baum-Rigole kann je nach den Gefälleverhältnissen flächig über die sog. Baumscheibe oder punktuell mit gefassten Abflüssen erfolgen. Durch das Prinzip der Baum-Rigole wird Oberflächenabfluss reduziert, bei gleichzeitiger Erhöhung von Verdunstung und Versickerung. Neben den Verdunstungseffekten führt auch die Verschattung der umgebenden versiegelten Flächen zu einer Minderung des Heat-Island-Effects.

Die wasserwirtschaftlichen Anforderungen an Baum-Rigolen sind äquivalent zu denen an Mulden-Rigolen-Elementen und werden im DWA-A 138 formuliert. Ein eigenständiger Bemessungsansatz bzw. eine Dimensionierungshilfe ist in Deutschland noch nicht vorhanden. Für einzelne Systemelemente

der Baum-Rigole lassen sich jedoch die Vorgaben aus anderen Regelwerken und Handlungsanweisungen ableiten. So hat die FLL Richtlinien zu Baumpflanzungen herausgegeben.

Abbildung 5: Prinzipquerschnitt einer Baum-Rigole



© Sieker (2017)

### 3.2.4 Teiche

Teiche entsprechen in der Regenwasserbewirtschaftung künstlich angelegten Wasserbecken. Bei entsprechender Gestaltung können Teiche ästhetisch anspruchsvolle Bausteine von Regenwasserkonzepten sein. Da sie dauerhaft mit Wasser gefüllt sind, weisen sie eine hohe Verdunstungsleistung auf. „Um ein zu starkes Absinken des Wasserstandes zu vermeiden, sind Teiche in der Regel abgedichtet. Überschreitet der Wasserstand die Teichfolienhöhe, versickert das Wasser über die Böschungskante in den Untergrund. Alternativ kann ein Überlauf in eine Mulde oder einen Vorfluter oder Kanal erfolgen.“

Die jährliche Verdunstung von freien Wasserflächen liegt in Deutschland bei etwa 700 mm (DWA-M 504-1 2018, S. 120). Ein Teich hat daher im Jahresmittel eine ungefähr ausgeglichene Wasserbilanz (abhängig von den örtlichen Niederschlagsverhältnissen). Die monatlichen Wasserbilanzen dagegen variieren über das Jahr stark, da die Verdunstungsrate von Wind- und Sonnenexposition abhängt. Durch eine zusätzliche Bepflanzung der Uferzone mit Schilf oder Sumpfpflanzen kann die Verdunstung signifikant erhöht werden.

Die Auslegung von Teichen erfolgt am besten mit einer Wasserhaushaltsmodellierung. Hinweise zur Planung und Bauausführung von Teichanlagen finden sich in „FLL-Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von privaten Schwimm- und Badeteichen“ (2017). Hinweise zur Auswahl und Ausle-

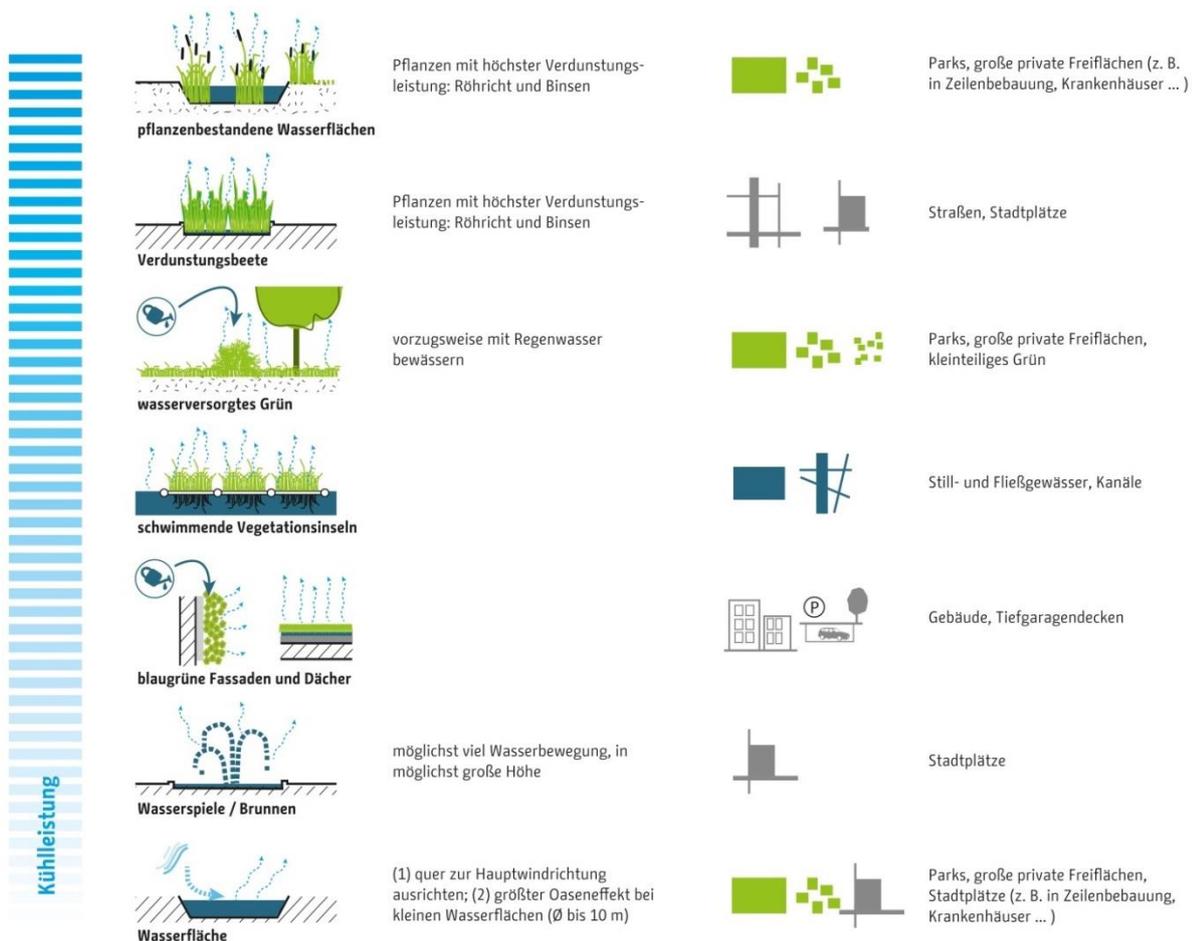
gung der Abdichtung gibt die DWA-Richtlinie M 512 (2012). Bei Teichanlagen sind die örtlichen Bauvorschriften zu beachten.

### 3.2.5 Urban Wetlands

Eine Weiterentwicklung hinsichtlich der Verdunstungsleistung von Teichen stellen Verdunstungsbeete (wassergesättigte Vegetationsbeete) dar, die auch als Urban Wetlands bezeichnet werden. Die Umsetzung kann im Straßenraum oder auf Stadtplätzen, auf größeren Grundstücken, an Wasserbecken, am Rand von Kanälen oder auch als schwimmende Vegetationsinseln erfolgen. Durch den Bewuchs einer Wasserfläche, ist es möglich die Kühlleistung dieser erheblich zu steigern, vorausgesetzt es ist eine ausreichende Wasserversorgung gegeben. Es bietet sich die Koppelung mit Regenwasserspeichern (Zisternen) an, um einerseits den Regenwasserabfluss zu reduzieren und andererseits Trinkwasser zur Bewässerung zu substituieren.

In Abbildung 6 wird die Kühlleistung von Verdunstungsbeeten und pflanzenbestandenen Wasserflächen neben blaugrünen Fassaden und Dächern, sowie offenen Wasserflächen eingeordnet.

Abbildung 6: Unterschiedliche Urban Wetlands und ihre Effektivität für die Verdunstungskühlung. Die rechte Spalte gibt mögliche Umsetzungsorte wieder.



© SenStadtUm Berlin/bgmr (2016)

### 3.3 Projektsteckbriefe

Die gezielte Recherche und Nachfrage in den Experteninterviews nach Projekten mit dem konkreten Ziel der Verdunstung bzw. Verdunstungskühlung zeigten, dass solche Projekte bisher keine Praxis sind. Die Verdunstungskühlung ist meistens nur ein zusätzlicher Effekt, aber nur in seltenen Fällen das Hauptziel der Projekte.

Insgesamt wurden acht Steckbriefe zu Projekten, die die Verdunstungskühlung berücksichtigen, erstellt (vgl. Kapitel 7.4):

- ▶ Institut für Physik in Berlin-Adlershof: Bauliche Umsetzung einer Fassadenbegrünung und wissenschaftliche Begleitung
- ▶ KURAS – Konzepte für Urbane Regenwasserbewirtschaftung: Untersuchung der Effekte von dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen auf das Stadtklima (Berlin)
- ▶ Grünes Zimmer, Ludwigsburg: Umsetzung eines mobilen grünen Zimmers im Rahmen des EU-Forschungsprojekts „TURAS – nachhaltige Städte und Regionen“
- ▶ TRANSPIRANT: Verdunstungsmessung in Verdunstungsbeeten, die aus einem Regenauffangteich bewässert werden (Verdunstungsanlage Firma Ludzay, Bottrop)
- ▶ Prisma Gostenhof: Ökologisches Gesamtkonzept mit einer naturnahen Entwässerung und Klimatisierung der Innenräume
- ▶ Leitplan Regenwasser und Hitzeanpassung Berlin TXL, Schumacher Quartier: Errichtung eines abflusslosen Stadtquartiers nach dem Prinzip der Schwammstadt
- ▶ F+E-Projekt TREEDRAIN: Umsetzung einer Baum-Rigole mit wissenschaftlicher Begleitung
- ▶ UCaHS - Urban Climate and Heat Stress: Ermittlung der Kühlleistung und Verschattung von Fassadenbegrünung (TU Berlin)

Weitere Projekte der Gebäudebegrünung sowie städtebauliche Projekte werden u. a. auch in dem FLL-Forschungsvorhaben „Gebäude Begrünung Energie“ (2014) vorgestellt.

## 4 Potentialanalyse für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in deutschen Städten

### 4.1 Konzept

Die Potentialanalyse für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in deutschen Städten erfolgte auf der Basis von drei modellgestützten Fallstudien auf den Ebenen:

- ▶ Gebäude
- ▶ Quartier
- ▶ Gesamtstadt

Das Vorgehen wurde gewählt, um relevante Techniken und Verfahren (vgl. Kapitel 3) mit ihren individuellen Kühlungseffekten in verschiedenen stadtplanerischen Raumdimensionen zu betrachten und dadurch mehreren Zielgruppen gerecht werden zu können. Dabei kamen für jeden Maßstab angepasste Methoden und Untersuchungssetups zum Einsatz (vgl. Kapitel 4.2). Kernelement aller Fallstudien waren folgende Instrumente (Abbildung 7):

- ▶ ASMUS\_Inside (mikroskaliges Klimamodell für das Innenraumklima)
- ▶ ASMUS\_Green (mikroskaliges Klimamodell für das Außenraumklima)
- ▶ FITNAH-3D (mesokaliges Klimamodell für das Außenraumklima)
- ▶ STORM (Software für Wasserwirtschaft und Hydrologie)

Die Fallstudien sind in sich schlüssig und basieren auf Methoden, die dem Stand der Technik und Wissenschaft entsprechen. Sie reklamieren für sich aber ausdrücklich keinen Anspruch auf Ganzheitlichkeit oder Absolutheit. Vielmehr liegt das Ziel in der Bereitstellung erster Orientierungswerte, die für bestimmte Rahmenbedingungen ermittelt worden sind. Aufgrund des hohen Parametrisierungsgrades der Maßnahmen und ihrer komplexen Wirkungen ist insbesondere für die gesamtstädtische Ebene eine Weiterentwicklung der Untersuchungsmethoden und Evaluation der Ergebnisse notwendig.

Abbildung 7: Übersicht der Stammdaten durchgeführter Fallstudien



Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH, bgmr Landschaftsarchitekten GmbH, Bilderquelle mittleres Bild: berchtoldkrass space&options

## 4.2 Methodik

### 4.2.1 Potentialermittlung

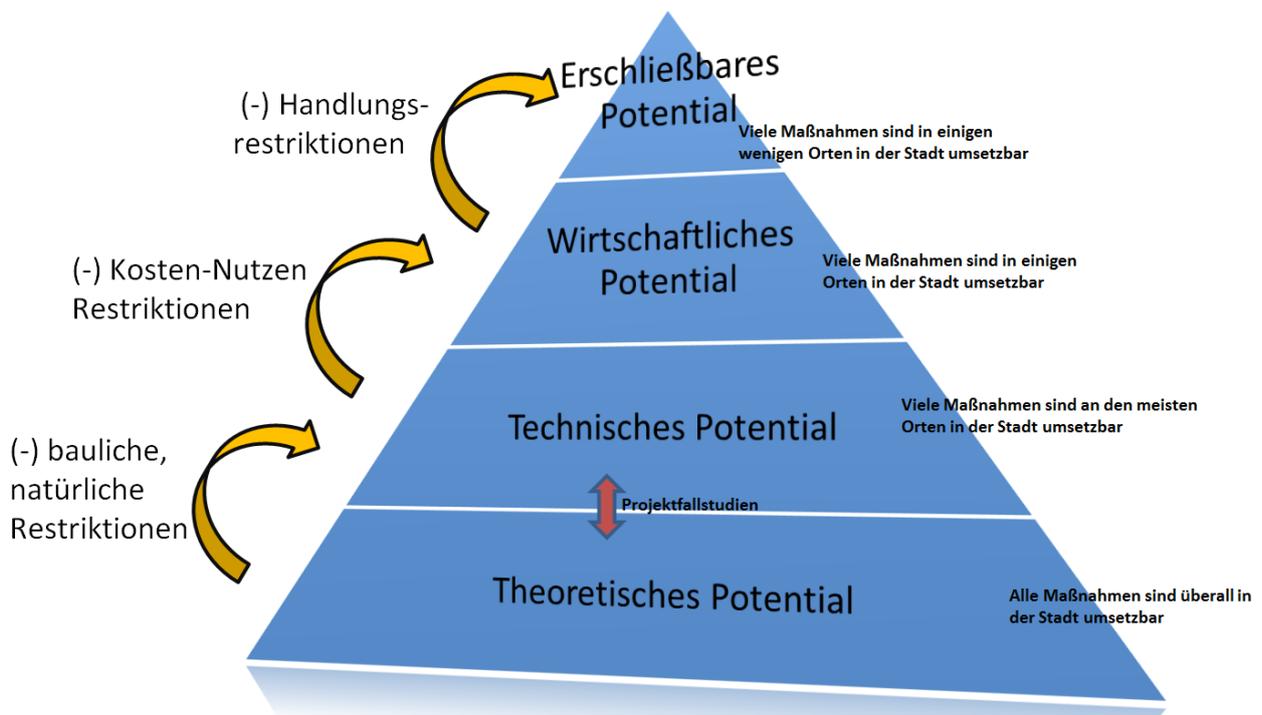
Bei Potentialanalysen wird klassischerweise zwischen folgenden Potentialstufen unterschieden:

- ▶ theoretisches Potential,
- ▶ technisches Potential,
- ▶ wirtschaftliches Potential sowie
- ▶ das tatsächlich erschließbare Potential.

Dabei verringert sich das Potential in aller Regel von Stufe zu Stufe, weil jeweils zusätzliche Restriktionen zu berücksichtigen sind. Hierzu zählen mit Blick auf das urbane Regenwassermanagement u. a. bauliche (z. B. Denkmalschutz von Bauwerken), natürliche (z. B. Versickerungsfähigkeit von Böden), ökonomische (z. B. Kosten-Nutzenverhältnis von Maßnahmen zum dezentralen Regenwassermanagement) sowie Handlungsrestriktionen (z. B. fehlende politische Mehrheiten).

Für die im Projekt durchgeführten Fallstudien wurde der Übergangsbereich vom theoretischen zum technischen Potential betrachtet. Folglich konnten insbesondere bauliche und natürliche Restriktionen Berücksichtigung finden, während ökonomische Betrachtungen und insbesondere Handlungsrestriktionen nicht Untersuchungsgegenstand des Projektes waren (Abbildung 8). Für die in Kapitel 4.3 dargestellten Ergebnisse bedeutet dies, dass die Potentiale in der Realität vermutlich eher geringer ausfallen werden.

Abbildung 8: Projektspezifische Potentialpyramide



Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

In diesem Zusammenhang ist von entscheidender Bedeutung, dass es nicht den einen „richtigen“ Parameter zur Bilanzierung des Verdunstungskühlungspotentials gibt. Vielmehr existiert eine große Vielfalt an Bilanzgrößen, aus welchen in Abhängigkeit der betrachteten Maßstabsebene und konkreten Fragestellung ausgewählt werden soll (Abbildung 9). Der Hauptgrund dafür liegt insbesondere in der

Komplexität von (stadt-)klimatischen Fragestellungen begründet, bei denen zumindest die Begriffs-paare >>Innenraum – Außenraum<<, >>Tagsituation – Nachtsituation<< und >>Langzeitbetrachtung – Kurzeitbetrachtung<< analytisch zu berücksichtigen sind. So ist es beispielsweise auf Gebäudeebene sinnvoll, die Innenraumtemperaturen sowie den (potentiellen) Energieverbrauch zur Gebäudekühlung zu betrachten, während auf gesamtstädtischer Ebene eher humanbioklimatische Indizes („gefühlte Temperaturen“) für den Aufenthaltsbereich der Stadtbevölkerung im (halb-)öffentlichen Stadtraum im Zentrum der Analyse stehen (sollten).

Abbildung 9: Bilanzgrößen zur Abschätzung des Verdunstungskühlungspotentials von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung



Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

#### 4.2.2 Fallstudie 1: Gebäudeebene

Die Simulationen wurden mit dem mikroskaligen Modell ASMUS (Ausbreitungs- und Strömungsmodell für urbane Strukturen) durchgeführt (Groß 1994). ASMUS ist ein nichthydrostatisches, hindernisauflösendes Strömungsmodell und basiert auf den Reynolds-gemittelten Navier-Stokes Gleichungen (engl.: Reynolds-averaged Navier- Stokes, RANS). Es gehört somit zu den sogenannten RANS-Modellen und simuliert die dreidimensionale Verteilung der Temperatur, der Windkomponenten und der Feuchte.

Das Modell besitzt zwei Module: ASMUS\_Green zur Simulation von (grünen) Boden- und Gebäudeoberflächen (Groß 2012; Günther 2014) und ASMUS\_Inside für Innenräume (von Tils 2017). Somit werden auch die Oberflächentemperaturen, die zu Grunde liegenden Wärmeströme, die Boden- und Gebäudetemperaturen, sowie die Bodenfeuchte und Innenraumtemperatur simuliert. Das Innenraummodul simuliert insbesondere auch die solare kurzzeitige Einstrahlung durch Fenster und Reflektion von langwelliger Strahlung im Innenraum.

Des Weiteren wurden Simulationen mit idealisierter Klimaanlage/Heizung durchgeführt, bei denen für jeden Innenraum individuell die Temperatur konstant gehalten wurde und überschüssige/fehlende Energie der Lufttemperatur entzogen wurde.

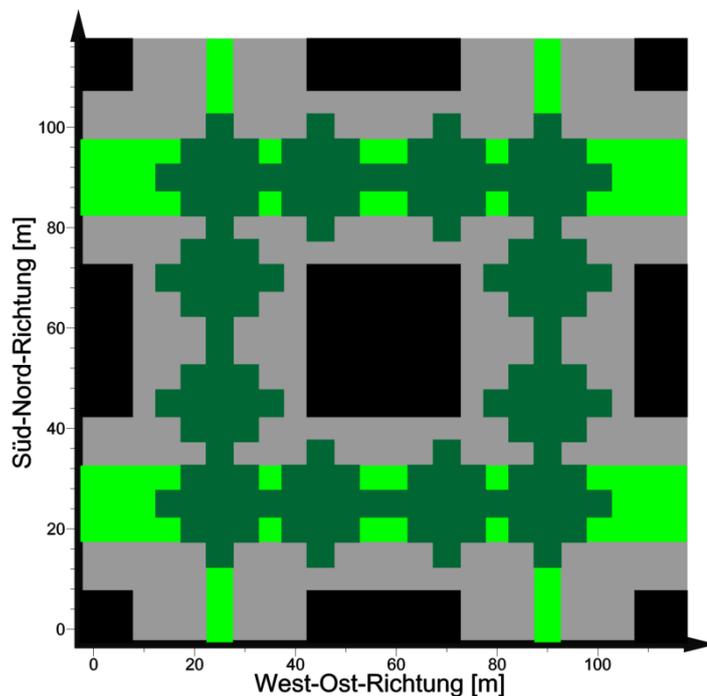
Die Simulationsergebnisse des Innenraummodells wurden durch einen Vergleich mit Labormessungen (Eiband 2004) validiert.

Die Bodenfeuchte und die Verdunstung der Dachbegrünungsmaßnahmen wurden mit dem Modell STORM (Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker) berechnet und in ASMUS\_Green verwendet.

Es wurde ein idealisiertes Stadtgebiet mit einer Größe von 120 m x 120 m und einer Gitterauflösung von 4 m horizontal und 2 m vertikal mit ASMUS\_Green simuliert (Abbildung 10). Im Zentrum des Modellgebiets wurde ein freistehendes Flachdachgebäude platziert. Mittels der meteorologischen Größen an der Gebäudehülle wurde die Gebäude- und Innenraumsimulation mit ASMUS\_Inside angetrieben.

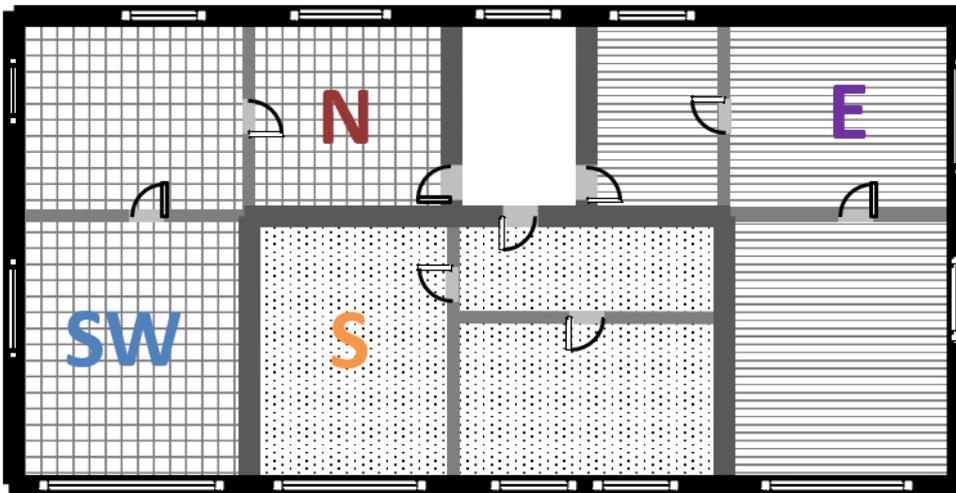
Das Gebäude hat drei Etagen und ist auf jeder Etage in drei Wohnungen mit je drei Räumen aufgeteilt (Abbildung 11). Der Innenraum des Gebäudes wurde mit einer Auflösung von 0,5 m in alle drei Raumrichtungen simuliert. Wände, Decken und Fenster bestehen aus mehreren Schichten mit einer individuellen realistischen Dicke. Die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der Fassade und der Fenster richten sich nach den typischen Werten eines nicht nachträglich gedämmten Gebäudes mit Baujahr 1970 (U-Wert Außenwände/Dach 0,6 W/m<sup>2</sup>K, Fenster 2,8 W/m<sup>2</sup>K; Pfafferott 2008). Jeder Raum wurde über die Außenfassade belüftet (24 m<sup>3</sup>/h), um Undichtigkeiten von Fenstern zu berücksichtigen. Es wurden keine anthropogenen Wärmequellen im Innenraum sowie Fensterverschattung und das Öffnen von Fenstern zur Lüftung berücksichtigt.

Abbildung 10: Idealisiertes Stadtquartier in der Fallstudie 1



schwarz: Gebäude, grau: versiegelte Fläche, hellgrün: Rasen, dunkelgrün: Bäume; Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Abbildung 11: Gebäudegrundriss in der Fallstudie 1



SW: Südwestraum, S: Südraum, N: Nordraum, E: Ostraum; Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

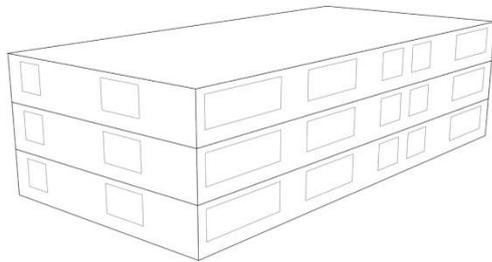
Es wurden sieben Gebäudeszenarien entwickelt:

- ▶ ohne Begrünung,
- ▶ umgeben von großen Bäumen (die das Dach und die gesamte Fassade verschatten, Höhe 16 m),
- ▶ mit intensiver Dachbegrünung (Substratdicke 80 cm, Vegetationshöhe 150 cm, Dränschicht 15 cm),
- ▶ mit extensiver Dachbegrünung (Substratdicke 6 cm, Vegetationshöhe 3 cm, Dränschicht 4 cm),
- ▶ mit extensiver Dachbegrünung mit Retention, Drossel und permanentem Anstau (Substratdicke 6 cm, Vegetationshöhe 3 cm, Dränschicht 8,5 cm),
- ▶ mit bodengebundener Fassadenbegrünung (Efeu; gesamte Fassade ausgenommen Fensterflächen),
- ▶ mit bodengebundener Fassadenbegrünung und zusätzlicher Bewässerung.

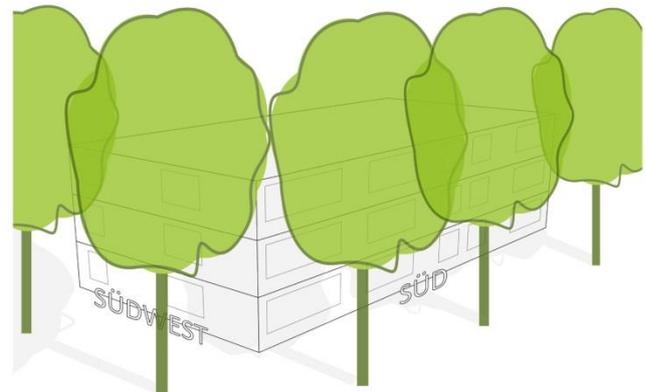
Diese Gebäudeszenarien wurden jeweils mit und ohne idealisierte Klimaanlage (Zieltemperatur: 20 °C) simuliert. In Abbildung 12 sind die Maßnahmen der einzelnen Szenarien vereinfacht dargestellt.

Abbildung 12: Schematische Darstellung der Maßnahmen auf Gebäudeebene

**Gebäude**

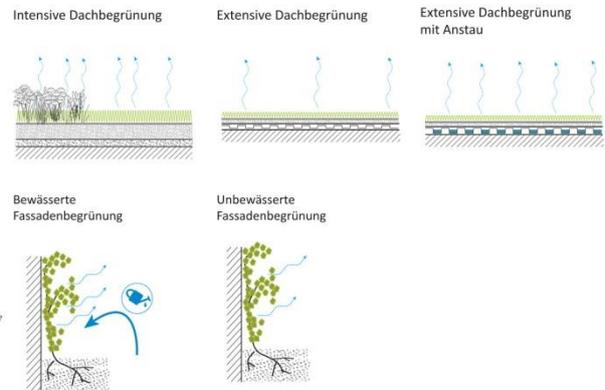
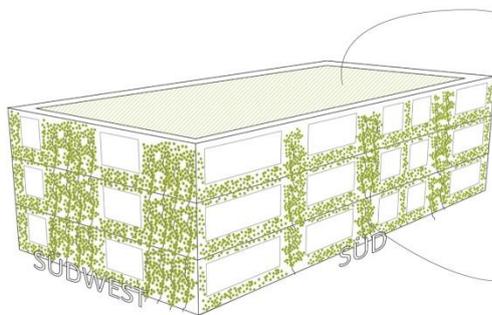


**Maßnahmen außerhalb des Gebäudes:  
Verschattung durch Bäume**



**Maßnahmen am Gebäude:**

Dachbegrünung  
Fassadenbegrünung

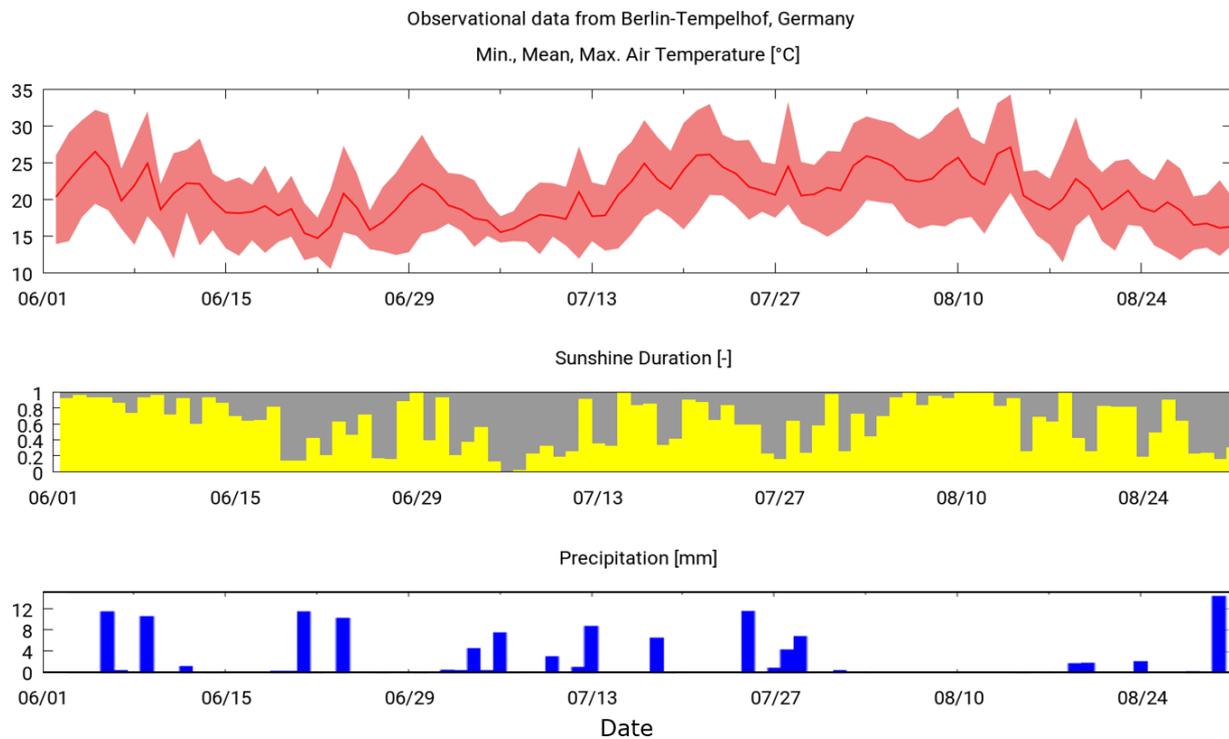


Grafiken: bgmr Landschaftsarchitekten GmbH

Quelle: Eigene Darstellung, bgmr Landschaftsarchitekten GmbH

Die gekoppelten Simulationen wurden für 90 Tage durchgeführt und mit den Messdaten der DWD-Station Berlin-Tempelhof (Abbildung 13) und den Simulationsergebnissen aus STORM für die Bodenfeuchte und die Verdunstung der Dachbegrünung vom 01.06.2003 bis 29.08.2003 angetrieben. Dieser Sommer war von relativ hohen Temperaturen, vielen Sonnenstunden und einer längeren Trockenperiode im August geprägt.

Abbildung 13: Lufttemperatur, Sonnenscheindauer und Niederschlagsmenge gemessen an der DWD Station Berlin-Tempelhof (01.06.2003-31.8.2003)



Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

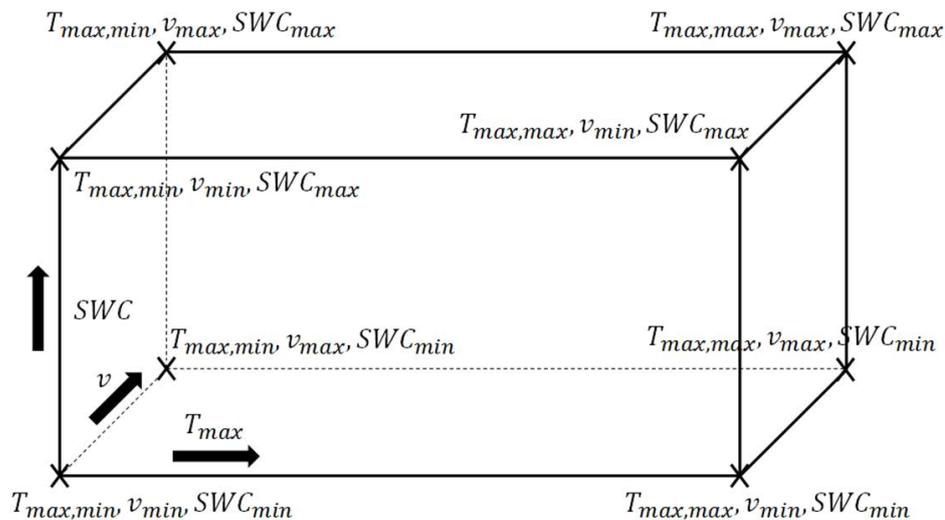
#### 4.2.3 Fallstudie 2: Quartiersebene

Für die Quartiersebene wurde ebenfalls das mikroskalige Modell ASMUS mit dem Modul ASMUS\_Green angewendet (vgl. Kapitel 4.2.2). Im Gegenteil zur Fallstudie auf Gebäudeebene, lag hier der Fokus auf dem bodennahen (bis zu 2 m Höhe) Außenraumklima. Die feine horizontale Auflösung des Modells von 8 x 8 m erlaubte eine genaue Verteilung der Maßnahmen im Gebiet und das Erfassen von selbst kleinräumigen Auswirkungen der Maßnahmen.

Für die Größenordnung von einem Quartier sind Tagessimulationen (24 h) üblich. Die Modellierung eines längeren Zeitraums würde den zeitlichen Rahmen des Projektes sprengen. Dennoch konnte dank der sogenannten Cuboid-Methode (Früh et al. 2011) ein Zeitraum von 40 Jahren in die Auswertung einbezogen werden. Das hatte den Vorteil, dass die Maßnahmenwirkung nicht nur für einen bestimmten Tag, sondern auch im Durchschnitt über verschiedene sommerliche Wetterlagen und für ein durchschnittliches Jahr bewertet werden konnten.

Die Cuboid-Methode basiert auf einzelnen Tagessimulationen, die sich in diesem Fall in ihrem meteorologischen Antrieb hinsichtlich der Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit und Bodenwassergehalt unterscheiden. Es werden acht Kombinationen aus Maxima und Minima dieser drei Variablen simuliert, wodurch ein dreidimensionales Cuboid aufgespannt wird (Abbildung 14). Die Maxima und Minima der Variablen orientierten sich dabei an den Messergebnissen der Station Tempelhof (1974-2013) im Sommerhalbjahr. Für jeden Tag in dieser Messzeitreihe wurden anschließend die Tagessimulationen des Cuboids trilinear interpoliert. Das Ergebnis ist eine 40-jährige Zeitreihe der simulierten Größen für jeden Gitterpunkt im Modellgebiet.

Abbildung 14: Verschiedene Wetterlagen der Cuboid-Methode



$T_{max}$ : Tageshöchsttemperatur,  $v$ : Windgeschwindigkeit,  $SWC$ : soil water content (Bodenfeuchtigkeit). Quelle: Günther (2015) nach Früh et al. (2011)

Für die Bewertung des Hitzestresses am Tage wurde der Parameter UTCI (universal thermal climate index) berechnet, der die physiologische Belastung darstellt und der gefühlten Temperatur ähnelt. Die UTCI-Werteskala definiert „keinen Hitzestress“ bei Werten bis 26 °C und einen „moderaten Hitzestress“ bei Werten zwischen 26-32 °C. Im Rahmen des Projektes wurden die Klassen ab 32 °C (starker, sehr starker und extremer Hitzestress) zusammengefasst und als Hitzestress in Stunden pro Jahr betrachtet. Für die Bewertung der Nachtsituation wurde die jährliche Anzahl an Tropennächten herangezogen. Eine Tropennacht tritt dann auf, wenn die minimale Lufttemperatur 20 °C oder mehr beträgt.

Das modellierte Quartier liegt im Berliner Stadtteil Pankow und ist rund 120 ha groß. Es dominiert eine lockerere Zeilen-, Block- und Hochhausbebauung mit relativ viel grüner Fläche. Im Süden des Gebietes ist eine dichtere, aber recht gut begrünte Blockrandbebauung vorhanden. Es handelt sich um ein Wohn- und Mischgebiet (Abbildung 15). Die Flächennutzung in Form von Grünflächen, Versiegelungsgraden und Gebäuden sowie deren Strukturhöhen flossen als Eingangsdaten in das Modell ein (Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Quelle Hintergrundkarte: ArcGIS Online, 2018

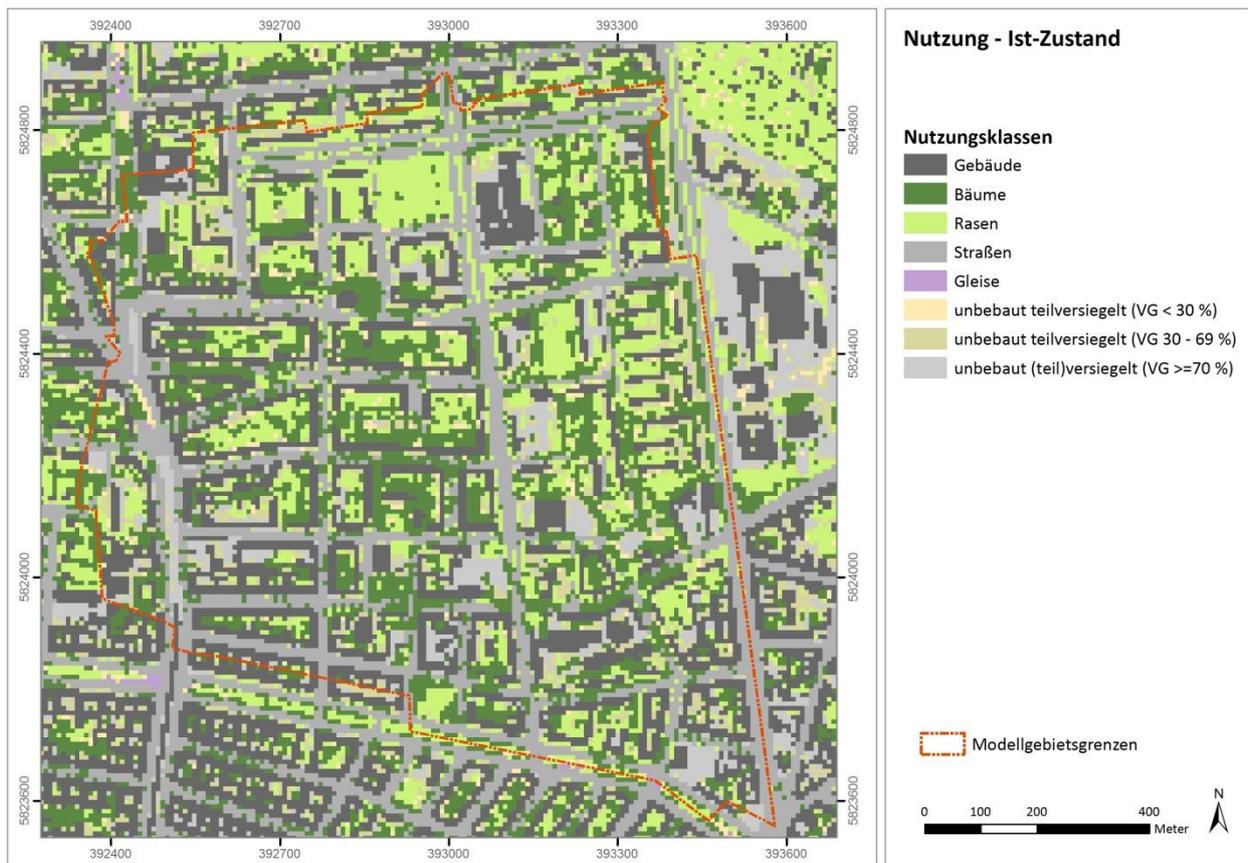
Abbildung 16). Zusätzlich wurden Daten zur Bodenfeuchte aus der Berechnung mit STORM (Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker) berücksichtigt.

Abbildung 15: Lage und Impressionen des Modellquartiers Pankow



Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Quelle Hintergrundkarte: ArcGIS Online, 2018

Abbildung 16: Nutzungparametrisierung im Ist-Zustand im Modellquartier Pankow



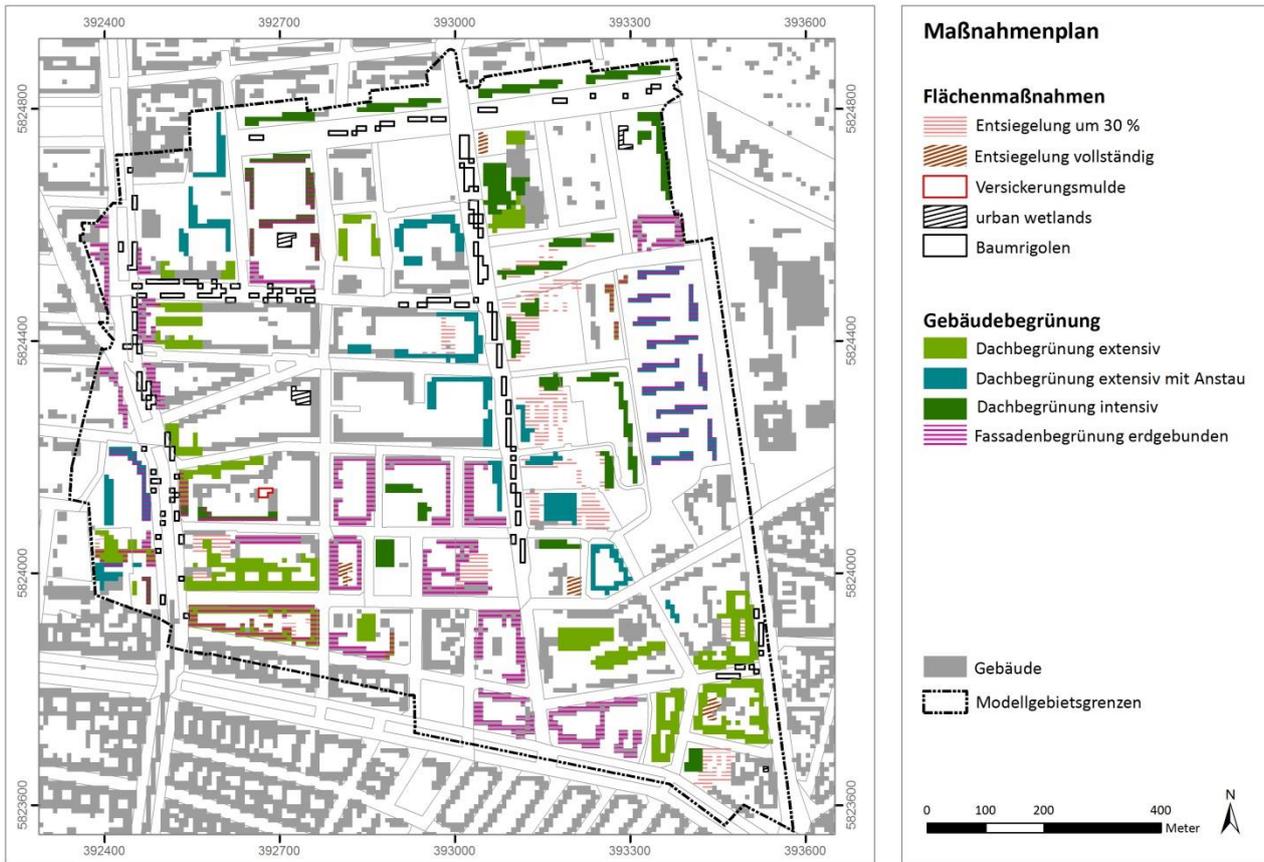
Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Die Verteilung der Maßnahmen im Gebiet basiert auf den Vorarbeiten des BMBF-Forschungsprojektes KURAS (Matzinger, Riechel, Remy et al. 2017). In diesem Projekt wurden ebenfalls regenwasserwirtschaftliche Maßnahmen geplant und deren Auswirkung auf verschiedene Umweltbereiche untersucht. Die Maßnahmenplanung knüpft an eine Ausweisung der Problemzonen und eine Machbarkeitsanalyse im Gebiet an. Zusätzlich wurden lokale Stakeholder nach deren prioritären Zielen befragt.

Es wurde eines der KURAS-Szenarien übernommen und um zwei weitere Dachbegrünungsformen (analog zur Fallstudie 1, vgl. Kapitel 4.2.2) und die vollständige Entsiegelung ergänzt. Zusätzlich wurde die gesamte Maßnahmenfläche für die Dachbegrünung und Teilentsiegelung vergrößert. Im Gegensatz zum KURAS-Projekt wurden keine Teiche, sondern verdunstungsreiche Urban Wetlands in Form von permanent wassergesättigten bepflanzten Böden geplant. Die vollständige Auflistung der Maßnahmen kann Abbildung 17 entnommen werden.

Die definierten Nutzungsklassen an Maßnahmenstandorten änderten sich bedingt. Eine Baumpflanzung im Straßenraum beispielsweise äußerte sich in der Nutzungsänderung „Straße“ zu „Baum“, wobei der Versiegelungsgrad unter dem Baum unverändert blieb. Eine Teilentsiegelung änderte dagegen den Versiegelungsgrad, aber nicht unbedingt die Nutzungsklasse (Abbildung 18)

Abbildung 17: Geplante Maßnahmen im Modellquartier Pankow



Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Abbildung 18: Nutzungsparametrisierung im Maßnahmenplan im Modellquartier Pankow



Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

#### 4.2.4 Fallstudie 3: Gesamtstadt-/ Regionsebene

Für die gesamtstädtische Klimasimulation, die in diesem Fall mehrere mittelgroße und große Städte der Emscher-Region betraf, wurde das mesoskalige Modell FITNAH-3D (Flow over Irregular Terrain with Natural and Anthropogenic Heat sources) angewendet (Groß 2002). Das Grundgerüst des nicht-hydrostatischen Modells bilden die Gleichungen der Impulserhaltung (Navier-Stokes-Gleichung), der Massenerhaltung (Kontinuitätsgleichung) und der Energieerhaltung (1. Hauptsatz der Thermodynamik).

Neben der Orographie und der Landnutzung finden Daten zu Strukturhöhen und Versiegelungsgraden Eingang in das Modell. Bei einer mesoskaligen Auflösung (im vorliegenden Fall 50 x 50 m) können keine kleineren Strukturen, wie Gebäude oder Bäume, einzeln simuliert werden, sondern müssen zusammengefasst und als eine Nutzungsklasse betrachtet werden. Die Nutzungsklassen werden vor allem über eine mittlere Strukturhöhe, einen mittleren Versiegelungsgrad und gewisse Porosität (Durchströmbarkeit), die sich vertikal je nach Nutzung unterschiedlich ausprägen kann, parametrisiert. Eine Zentrumsbebauung charakterisiert sich somit durch einen höheren Versiegelungsgrad und eine geringere Porosität als z. B. eine Einfamilienhaus-Siedlung. Die für die gesamtstädtische Klimarechnung verwendeten Nutzungsklassen werden in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Charakterisierung der Nutzungsklassen im Modell FITNAH

Klassennummer	Nutzungsklasse	Beschreibung	Mittlerer Versiegelungsgrad [%]	Mittlere Strukturhöhe [m]
1	Zentrumsbebauung	Kerngebietsnutzung, die durch einen sehr hohen Bebauungs- und Versiegelungsgrad gekennzeichnet ist.	95	25,0
2	Block- und Blockrandbebauung	Vergleichsweise dicht bebaute und häufig auch stark versiegelte Siedlungsfläche. Baustrukturell ist sie meist durch geschlossene Blockinnenhöfe geprägt. Sie umfasst sowohl Vorkriegs- als auch Nachkriegsbauten.	78	15,0
3	Industrie- und Gewerbefläche	Ähnlich hoher Versiegelungsgrad wie die Zentrumsbebauung. Gleichzeitig ist der versiegelte unbebaute Flächenanteil oft größer als der mit Gebäuden.	87	10,0
4	Zeilen- und Hochhausbebauung	Sowohl freistehende Punkthochhäuser als auch halboffene Blockrandbebauung und Zeilenbebauung. Gemeinsames Merkmal ist ein relativ hoher Grünflächenanteil (Abstandflächen zwischen den Gebäudekörpern).	55	15,0
5	Einzel- und Reihenhausbebauung	Siedlungsraum mit dem geringsten Bebauungsgrad	41	5,0
6	Straßenraum	Ebenerdig versiegelte Fläche	95	0,0
7	Gleisfläche	Schienenverkehrsfläche mit geringer Strukturhöhe	25	0,5
8	Baulich geprägte Grünfläche	Vegetationsgeprägte Flächen, die zugleich auch einen gewissen Anteil an versiegelter Fläche (Zuwegungen oder Bebauung) aufweisen. Dazu zählen z. B. Kleingartenanlagen, Spiel- und Sportplätze. Es überwiegt aber letztlich die Eigenschaft als Grünfläche.	25	5,0
9	Freiland	Landwirtschaftlich/ackerbaulich genutzte Flächen. Innerstädtisch handelt es sich meist um größere Rasenflächen mit geringem Gehölzanteil.	5	1
10	Gehölz	Innerstädtische Parkareale und Gehölzflächen als auch Obstbauflächen, Baumschulen und Straßenbegleitgrün	5	2,0
11-13	Wald	Waldflächen sowie waldartige Bestände. Es wird zwischen Nadel-, Laub- und Mischwald unterschieden.	5	12,5
14	Wasserfläche	Still- und Fließgewässer	0	0

Die untersuchte Region, die den Großteil des Einzugsgebietes des Flusses Emscher umfasst, liegt im Nordrein-Westfalen und erstreckt sich west-östlich zwischen Duisburg und Dortmund. Innerhalb des Gebietes liegen insgesamt 36 große und mittelgroße Städte. Die Region wurde für die großstädtische Betrachtung gewählt, da hier seitens der Projektpartner bereits Arbeiten in Rahmen anderer Projekte durchgeführt wurden, die für die aktuelle Fragestellung von Bedeutung sind. Die Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker ermittelte dort das Abkopplungspotential des Regenwassers von der Kanalisation und die GEO-NET Umweltconsulting erstellte eine Klimaanalyse für den Regionalverband Ruhr. Die Vorarbeiten und daraus resultierte Vorkenntnisse flossen in Form von Eingangsdaten sowie methodisch und inhaltlich bei der Verteilung der Maßnahmen im Raum ein.

Aus der Abkopplungspotentialkarte wurden Flächen mit einem Potential von bis zu 20 % (d. h. mit keinem oder geringen Potential) als weniger geeignet für die Umsetzung der „grünen“ oder „blauen“ Maßnahmen klassifiziert. Flächen mit einem Abkopplungspotential von über 20 % (mittleres und hohes Potential) wurde demnach gleichzeitig als hohes Potential für die Umsetzung der regenwasserwirtschaftlichen Maßnahmen gedeutet. Zusätzlich wurde die für dieses Gebiet vom Büro Sieker erstellte Regenwasserbewirtschaftungsartenkarte genutzt, um Flächen auszuschließen, bei denen keine Versickerung möglich ist.

Grüne Maßnahmen, inklusive der Gebäudebegrünung, sind in diesem großräumigen Kontext und unter dem Aspekt der mesoskaligen Modellierung als Vergrößerung des Grünvolumenanteils zu verstehen. Eine Projektion auf konkrete Flächen und Gebäude ist nicht möglich. Auch das Ausmaß der Begrünung, Bepflanzung und Entsiegelung konnte pro Nutzungsklasse nur pauschal angenommen werden. Während das Abkopplungspotential über das Ausmaß der flächenhaften Maßnahmen entschied, konnte die Gebäudebegrünung an jedem Standort theoretisch umgesetzt werden.

Aus der Kombination der Informationen über die Höhe des Abkopplungspotentials und die Nutzungsklassen wurde eine Matrix mit als wahrscheinlich angenommenen Veränderungen des Versiegelungsgrades und der Klasseneigenschaft erstellt (Tabelle 2). Somit wurde bei einem geringen Abkopplungspotential, das gleichzeitig für ein geringes Maßnahmenpotential in der Fläche spricht, der Versiegelungsgrad je nach Bebauungsdichte herabgesetzt. Eine Zentrumsbebauung beispielsweise bot mehr Gebäudefläche für die Dach- und Fassadenbegrünung als eine Siedlung derselben Größe mit Einfamilienhäusern. Der Versiegelungsgrad des Zentrums konnte somit prozentual stärker reduziert werden. Bei einem höheren Abkopplungspotential entstand neben der Gebäudebegrünung die Möglichkeit die freien Flächen stärker zu entsiegeln und das Grünvolumen auf diesen zu steigern. Die betroffenen Nutzungsklassen verloren dabei ihre ursprüngliche Charakterisierung, wobei der Bebauungs- und Versiegelungsgrad sich in Richtung des Grünanteils verschob. Die betroffene Fläche wurde konsequenterweise modelltechnisch als eine andere Nutzungsklasse aufgefasst. Beispielsweise ähnelte eine Blockrandbebauung, die teils mit Gebäudebegrünung und mit zusätzlicher Vegetation ausgestattet wurde, einer Zeilenbebauung. Durch eine Steigerung des Grünanteils in der Zeilenbebauung wurde diese in eine Einfamilienhausbebauung umgeschrieben.

Tabelle 2: Änderung des Versiegelungsgrades bzw. der Nutzungsklasse im Modell bei der Simulation des Maßnahmenplans

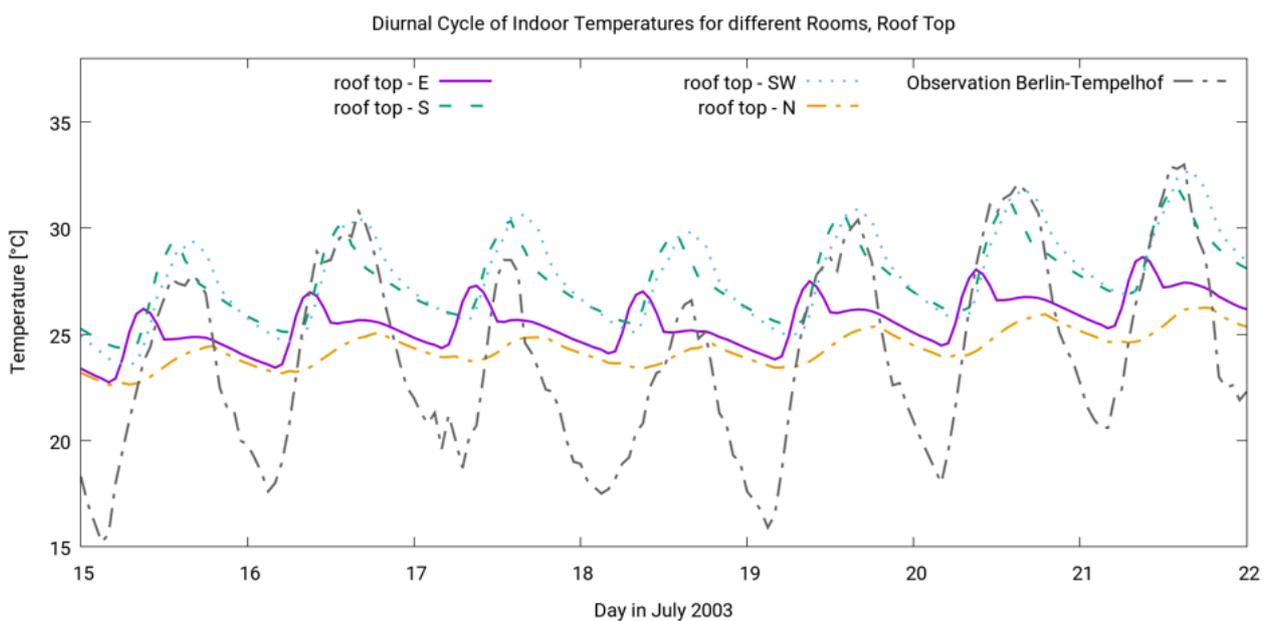
Nutzungsklasse/ Abkopplungspot.	1: Zentrum	2: Block	3: Gewerbe	4: Zeilen	5: Einfamilienhäuser	6: Straßenraum
<b>mittleres/ hohes AP:</b> hohes Flächenpotential + Gebäudepotential	2: Blockbebauung	4: Zeilenbebauung	4: Zeilenbebauung	5: Einfamilienhäuser	8: baulich geprägtes Grün	-30 % VG
<b>AP gering bis kein:</b> geringes Flächenpotential + Gebäudepotential	-30 % VG	-25 % VG	-30 % VG	-20 % VG	-10 % VG	-30 % VG

### 4.3 Ergebnisse

#### 4.3.1 Fallstudie 1: Gebäudeebene

Das Gebäudelayout, insbesondere die Anordnung und Größe der Fenster, hatte bereits im Basisszenario des Gebäudes ohne Begrünungsmaßnahmen großen Einfluss auf die Temperaturen im Innenraum (Abbildung 19). Beispielsweise trat das Tagesmaximum der Temperatur im Ostraum, auf Grund der am Vormittag stärkeren Sonneneinstrahlung, früher als im Südwestraum auf. Aufgrund des geringeren Energieeintrags durch die Sonne, war jedoch das Tagesmaximum insgesamt im Ostraum geringer. Die Innenraumtemperaturen waren meistens höher als die Antriebstemperaturen der Station Berlin-Tempelhof, da die Räume nicht gelüftet oder verschattet wurden und daher ähnlich wie ein Treibhaus wirkten.

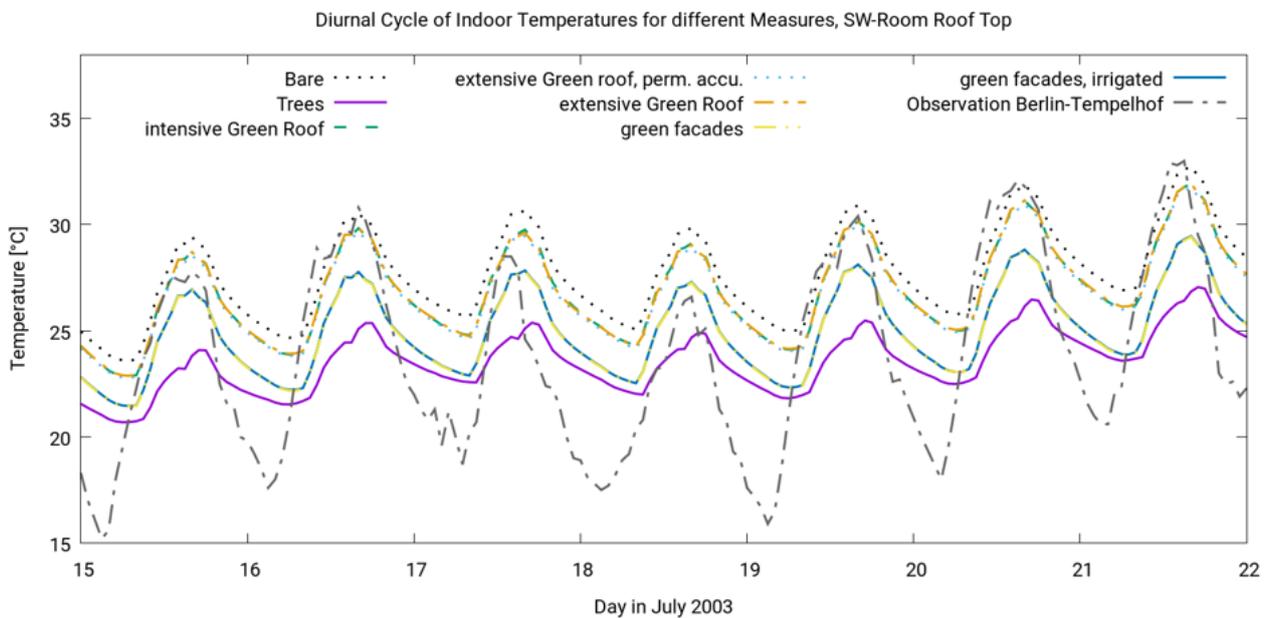
Abbildung 19: Ausschnitt des Tagesgangs der Innenraumtemperatur im Gebäude ohne Begrünungsmaßnahmen in verschiedenen Räumen des Dachgeschosses sowie Lufttemperatur an der Antriebsmessstation Berlin-Tempelhof



Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

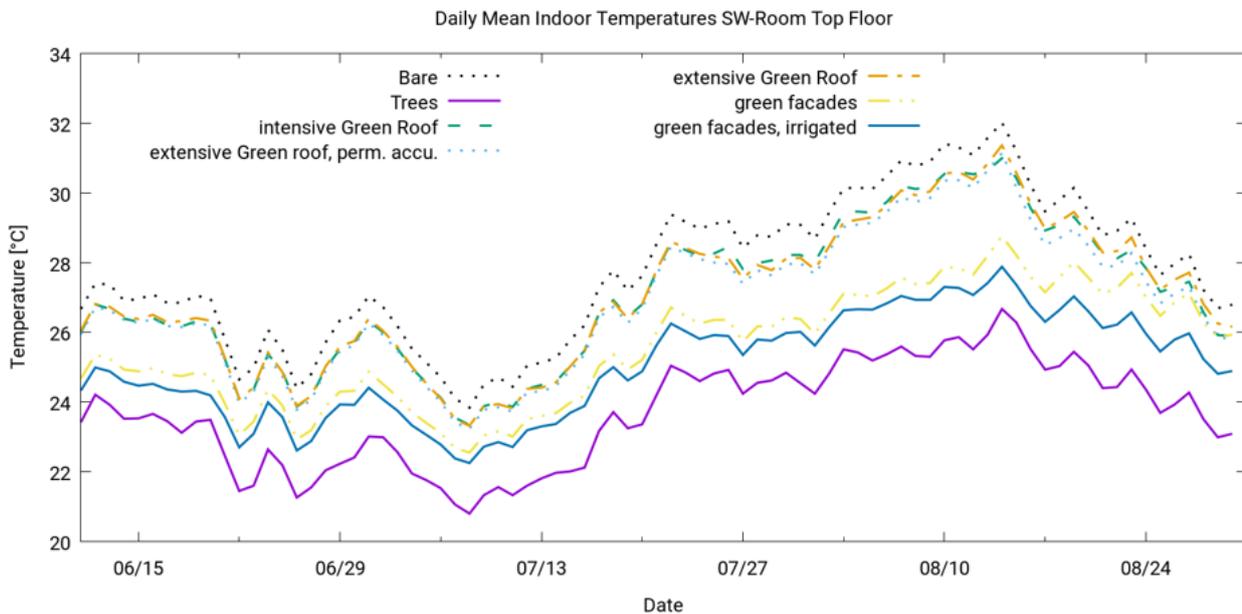
Die Wirkung der sechs begrünten Gebäudeszenarien auf die Innenraumtemperatur (Abbildung 20 und Abbildung 21) und den Kühlenergiebedarf war sehr unterschiedlich. Am stärksten waren die Effekte der Maßnahmen in dem Südwestraum im Dachgeschoss ausgeprägt. Dort waren die Innenraumtemperaturen auch ohne grüne Maßnahmen am höchsten und die Bäume bewirkten die stärkste Reduktion der Innenraumtemperatur um 3-5 K im simulierten 90-Tage Zeitraum. Die beiden Gebäudeszenarien mit Fassadenbegrünung folgten mit einer Reduktion um 2-3 K, wobei die Fassadenbegrünung mit Bewässerung auf Grund des größeren Potentials zur Verdunstung leicht bessere Ergebnisse zeigte. Die Wirkung der Dachbegrünungsszenarien war auch im Dachgeschoss nur schwach mit einer Reduktion der Innenraumtemperatur von 0,5 -1 K ausgeprägt. Es gab nur geringe Unterschiede zwischen der Wirkung der drei Dachbegrünungen. Gegen Ende der Simulationsperiode in einer längeren Trockenperiode war die Innenraumtemperatur unter dem Dach mit extensiver Begrünung und permanentem Anstau leicht geringer als unter den beiden anderen grünen Dacharten.

Abbildung 20: Ausschnitt des Tagesgangs der Innenraumtemperatur im Südwestraum des Dachgeschosses für die sieben Szenarien sowie Lufttemperatur an der Antriebsmessstation Berlin-Tempelhof



Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

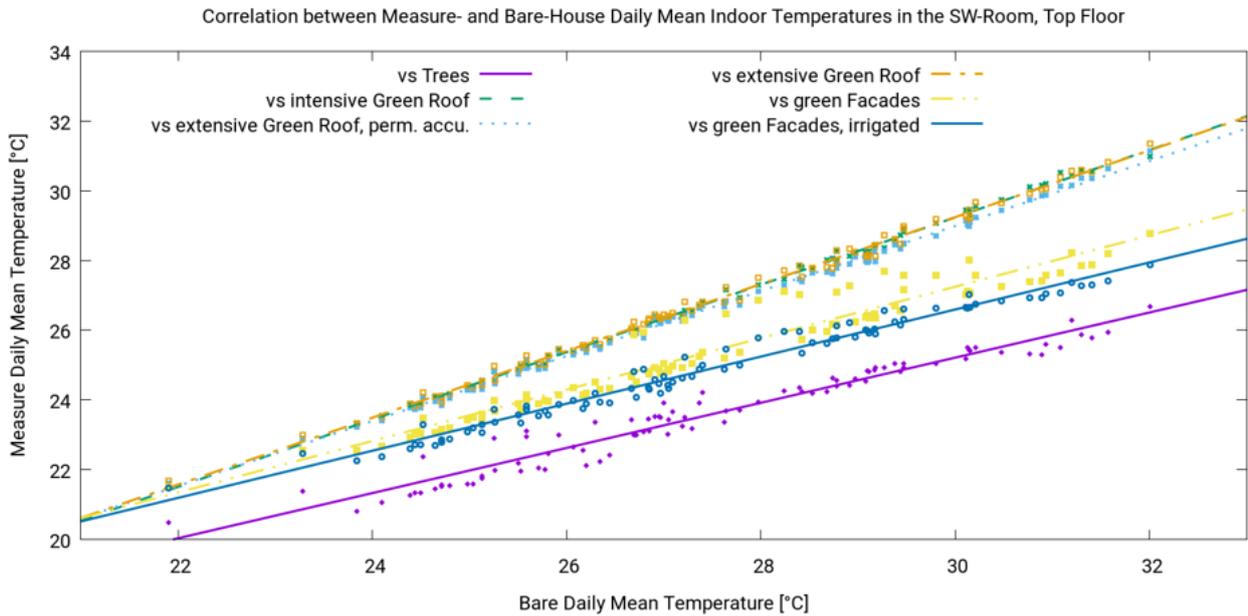
Abbildung 21: Tagesmitteltemperatur im Südwestraum des Dachgeschosses für die sieben Szenarien



Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

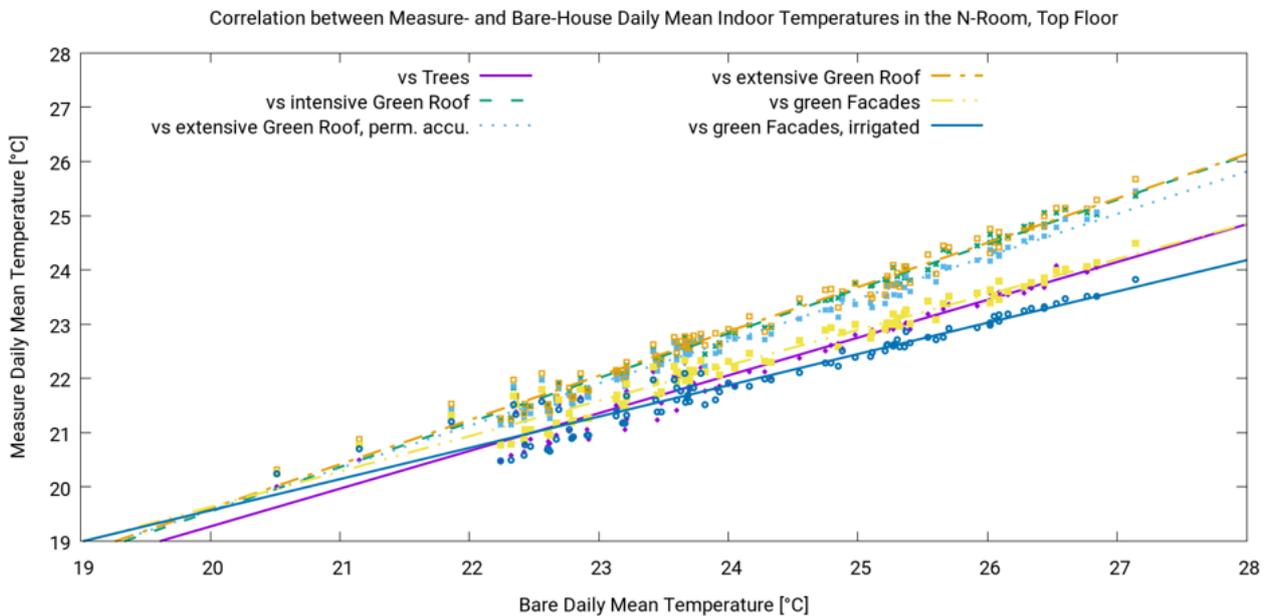
Abbildung 22 und Abbildung 23 zeigen die Korrelation der mittleren Innenraumtemperaturen im simulierten Zeitraum zwischen dem unbegrünten Basisgebäude und den verschiedenen begrünten Gebäudeszenarien im Dachgeschoss für den Südwestraum und den Nordraum. Der Korrelationskoeffizient ist in allen Fällen sehr hoch ( $R^2 > 93\%$ ). Dies lässt den Schluss zu, dass in diesem heißen Sommerszenario die Maßnahmenwirkung umso stärker war, desto höher die Innenraumtemperaturen im Basisszenario lagen. Ursachen hierfür können sein, dass sehr heiße Wetterlagen hier öfter mit längeren täglichen Sonnenscheindauern und niedrigeren relativen Luftfeuchten zusammen hingen. Beides bewirkte eine stärkere Verdunstung der grünen Maßnahmen und somit auch eine stärkere Wirkung bei hohen Innenraumtemperaturen.

Abbildung 22: Korrelation der Tagesmitteltemperaturen im Südwestraum des Dachgeschosses zwischen dem unbegrünten Gebäude und den sechs begrünten Gebäudeszenarien



Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Abbildung 23: Korrelation der Tagesmitteltemperaturen im Nordraum des Dachgeschosses zwischen dem unbegrünten Gebäude und den sechs begrünten Gebäudeszenarien



Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

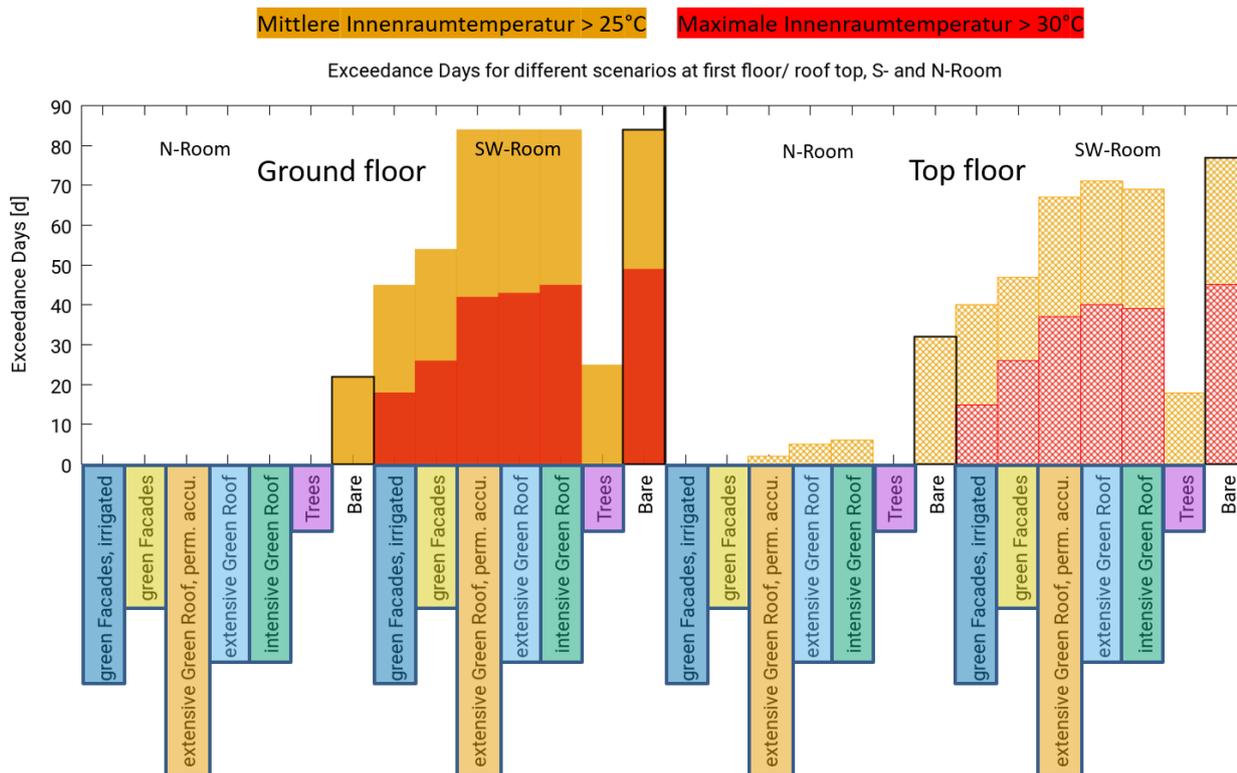
Die Wirkung der begrünten Maßnahmen konnte auch mittels Überschreitungstagen und dem Gesamtkühlenergiebedarf dargestellt werden. Mangels einer etablierten Größe wurde hier die Anzahl an Tagen, in denen die mittlere Innenraumtemperatur größer als 25 °C und/oder die maximale Innenraumtemperatur größer als 30 °C betragen, gezählt. Beispielhaft ist die Wirkung auf Überschreitungstage und Kühlenergiebedarf pro Raum in den Abbildung 24 und Abbildung 25 dargestellt. In den Nord-

räumen konnte der Wert von allen drei Indikatoren teils deutlich durch die Begrünungsmaßnahmen reduziert werden. Eine maximale Innenraumtemperatur größer als 30 °C trat dort gar nicht mehr auf, Tage mit mittleren Innenraumtemperaturen größer als 25 °C gab es nur noch selten im Dachgeschoss und gar nicht mehr im Erdgeschoss. Der Kühlenergiebedarf wurde um 40 % - 60 % gesenkt. Die Wirkung der Bäume reihte sich hier hinter der Fassadenbegrünung ein, da die Verschattung der Fassade durch Bäume auf der Nordseite keine Rolle spielt und die Bäume hier lediglich über ihre Verdunstungskühlung wirkten.

Auf der Südseite des Gebäudes im Südwestraum traten deutlich öfter Überschreitungstage beider Typen auf und auch der Kühlenergiebedarf war bis zu sechs Mal so hoch wie auf der Nordseite. Die Begrünungsmaßnahmen reduzierten hier die Indikatorwerte leicht (Dachbegrünungsszenarien) bis stark (Fassadenbegrünungsszenarien, Szenario mit Bäumen).

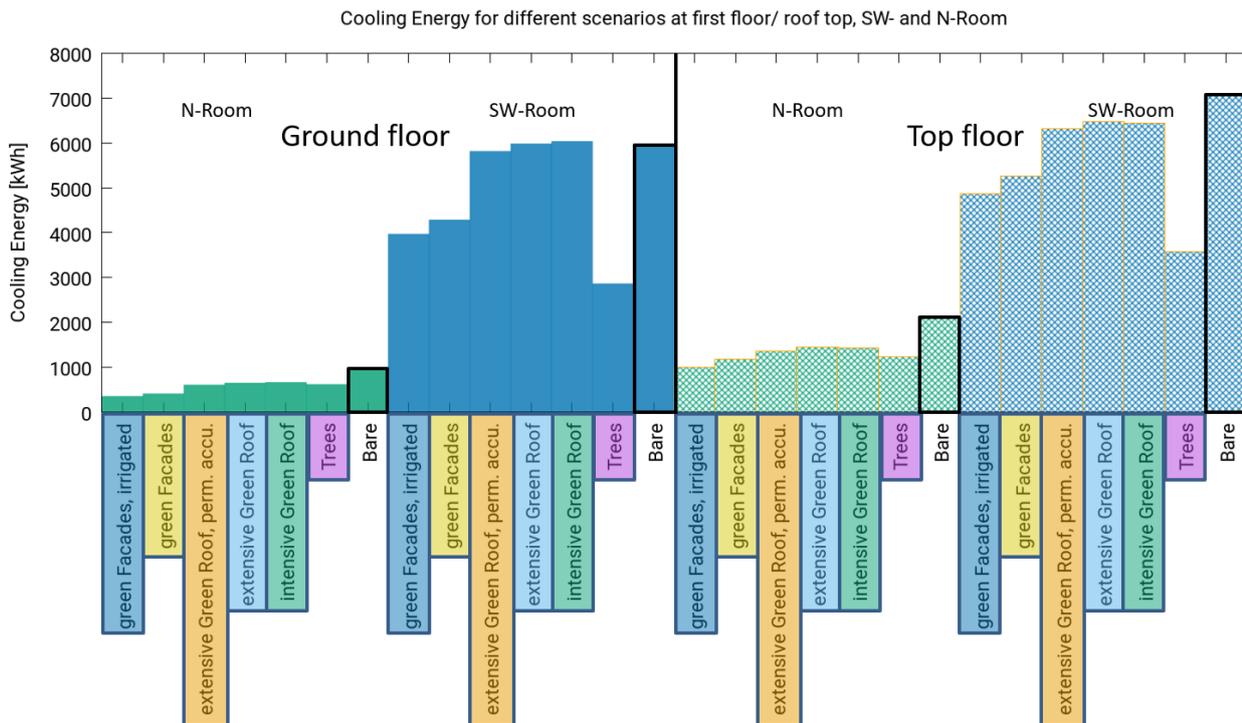
Für das Gebäude insgesamt konnten die Dachbegrünungsszenarien den Kühlenergiebedarf um 10 % reduzieren, Bäume bewirkten sogar eine Reduktion um 50 %.

Abbildung 24: Anzahl der Überschreitungstage der mittleren Innenraumtemperatur (>25 °C) und der maximalen Innenraumtemperatur (>30 °C) im Erd- und Dachgeschoss und jeweils im Nord- und Südwestraum für alle sieben Gebäudeszenarien



Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Abbildung 25: Kühlenergiebedarf in der simulierten Zeitspanne im Erd- und Dachgeschoss und jeweils im Nord- und Südwestraum für alle sieben Gebäudeszenarien



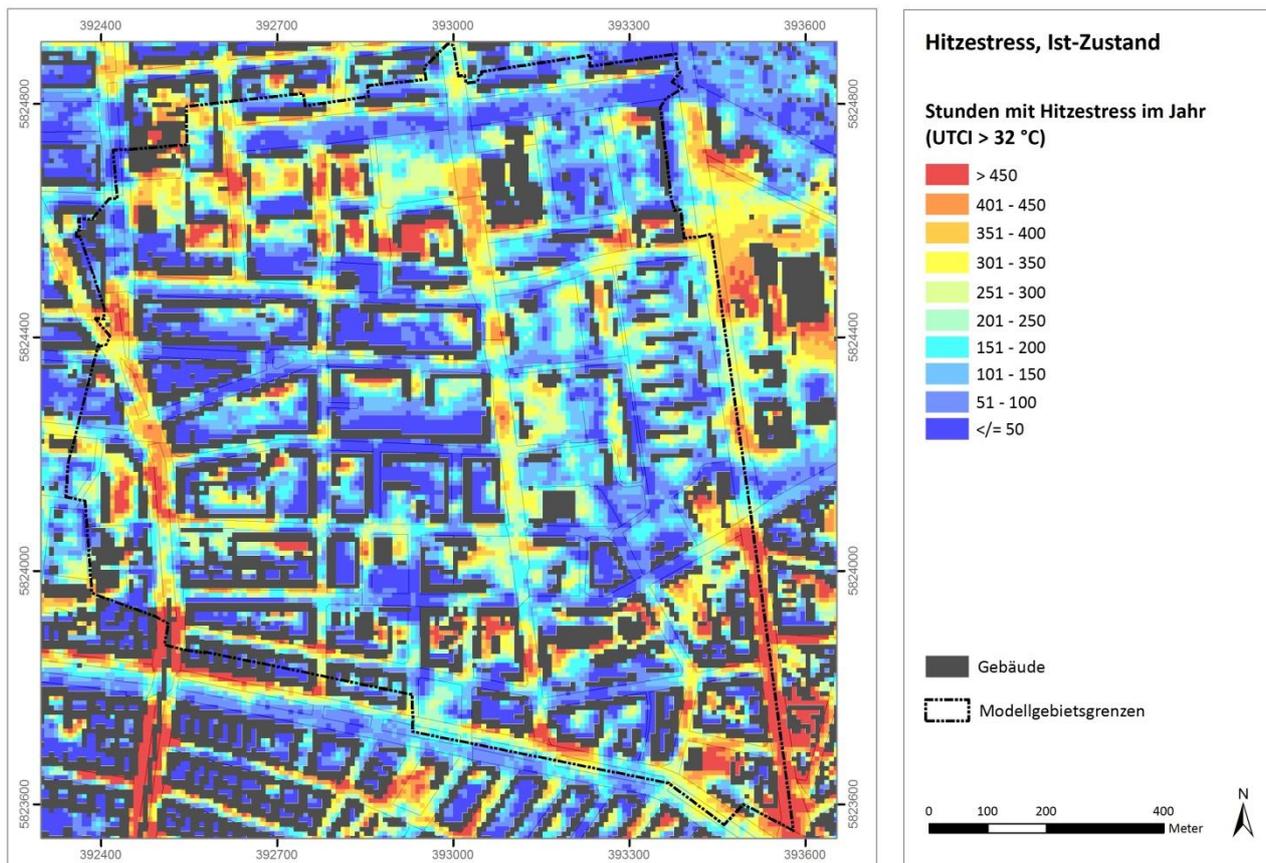
Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Die Maßnahmenwirkung ist immer von dem jeweiligen Gebäudegrundriss, insbesondere den Fenstern und ihrer möglichen Verschattung, den Gebäudedämmwerten, der Meteorologie und der hier nicht berücksichtigten anthropogenen inneren Wärmequellen abhängig. Die Wirkung der Bäume beruht hier hauptsächlich auf ihrer Verschattung und weniger auf ihrer Verdunstungskühlung.

#### 4.3.2 Fallstudie 2: Quartiersebene

Die Ergebnisse der mikroskaligen Simulationen ergaben für das Modellgebiet im Ist-Zustand im Mittel 153 h/a Hitzestress. Die höchsten Werte von durchschnittlich rund 250 h/a und maximal bis zu fast 800 h/a wurden für die offenen versiegelten Standorte, wie Straßen und Plätze notiert. Auch auf Rasenflächen trug die Sonneneinstrahlung zur vergleichbar hohen Hitzebelastung von durchschnittlich 220 h/a bei. Die UTCI-Werte waren am geringsten an beschatteten Standorten, wie unter den Bäumen, wo im Mittel nur 90 h/a Hitzestress auftrat (Abbildung 26).

Abbildung 26: Hitzestress im Ist-Zustand im Modellgebiet Pankow



Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

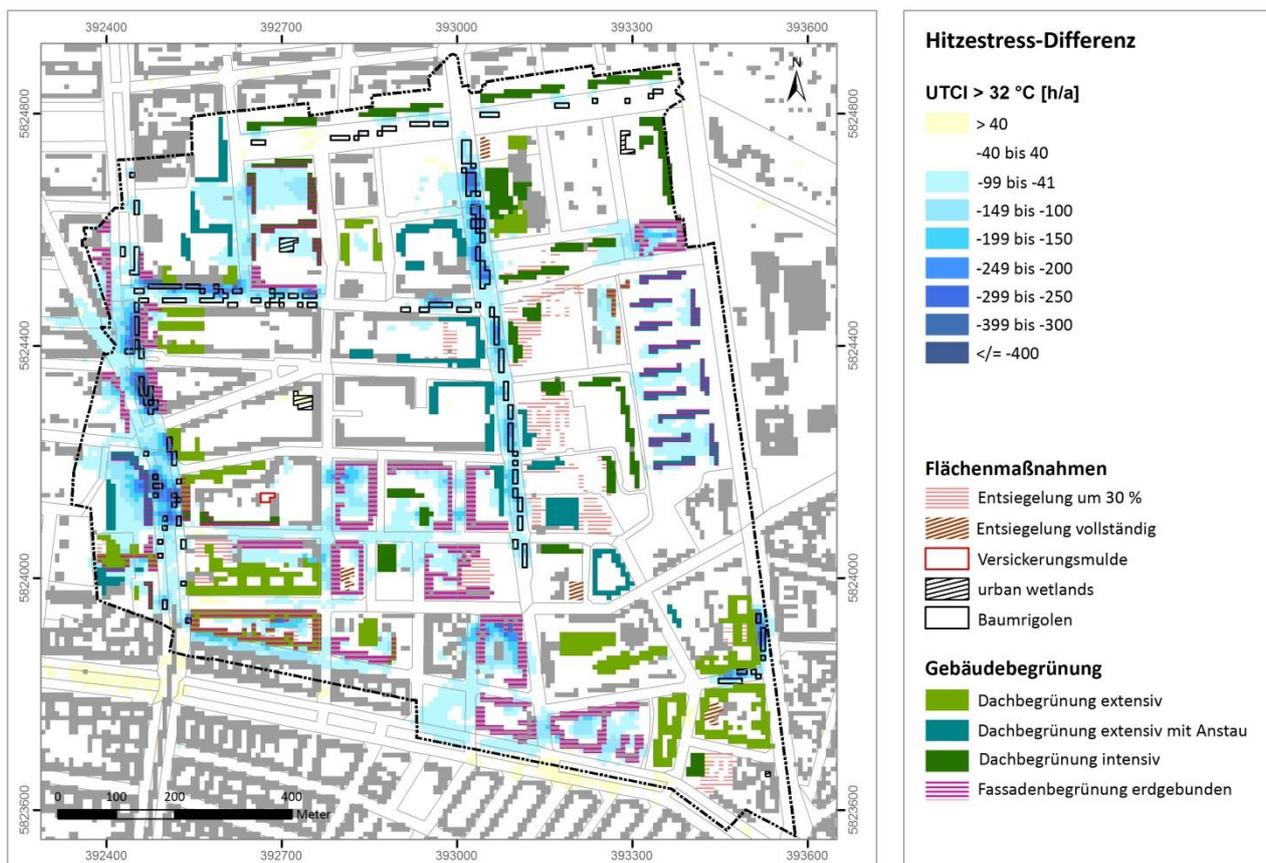
Die angewandten Maßnahmen wirkten sich in unterschiedlichem Maß kühlend auf die Umgebung aus. Am wirksamsten waren dabei die Baumrigolen, durch die der Hitzestress direkt unter den Bäumen im Mittel um 160 h/a und maximal um 410 h/a reduziert wurde. Ihnen folgten die Fassadenbegrünungen, die eine Reduktion des Hitzestresses von bis zu 300 h/a bewirkten. Im Mittel in der direkten Nähe der Gebäude und in den Hinterhöfen wurden 70 h/a weniger Hitze durch Fassadenbegrünung notiert (Auswertung von drei Gebäudekomplexen mit nur Fassadenbegrünung, Hinterhofsituation sowie bis zu 8 m Entfernung von der Gebäudevorderseite). In den geschlossenen Hinterhöfen lässt sich die vergleichbar starke kühlende Wirkung auf die fehlende Luftdurchmischung zurückführen. Darüber hinaus bestand eine gewisse Fernwirkung, die genauso wie die unmittelbar nahe Wirkung sich von der Leeseite der Gebäude (überwiegend vom Westen) zeigte. Auf der windzugewandten Seite dagegen kam es verstärkt zur Durchmischung der durch die Maßnahme abgekühlten Luftmassen mit den wärmeren Luftmassen aus der Umgebung, was den Maßnahmeneffekt signifikant reduzierte und es konnte sich dort keine Änderung der Hitzestunden zeigen. Die Fernwirkung der Fassadenbegrünung außerhalb der Hinterhöfe und der Baumrigolen im Straßenraum lässt sich am Beispiel der Simulation nicht genau quantifizieren, da sie durch weitere Maßnahmen in der Nachbarschaft entweder verstärkt oder durch Hindernisse, wie Bebauung eingeschränkt.

Weder die Verdunstung der Urban Wetlands noch die Entsiegelungsmaßnahmen zeigten Wirkung in Bezug auf die Reduktion des Hitzestresses. Dies kann auf die Kleinräumigkeit der Urban Wetlands zurückgeführt werden. Die Abkühlung in einem Hinterhof im Norden des Gebietes, wo ein Urban Wetland geplant wurde, ist auf die Fassadenbegrünung zurückzuführen. In der Umgebung des südlicheren Urban Wetlands wurde eine Erhöhung der Hitzestunden notiert, die zum Teil auf das Modellrauschen

(Auftreten von Veränderungen in Modellläufen, unabhängig von der Nutzungsparametrisierung) und zum Teil auf die Tatsache, dass sich an dieser Stelle im Ist-Zustand teilweise Bäume befanden, zurückzuführen ist.

Im Modellgebiet ergab sich kein Potential für eine vollständige Entsiegelung von stark versiegelten Flächen. Die 100 % Entsiegelung fand auf Flächen statt, die im Ausgangszustand im Mittel nur zu 50 % (und nur vereinzelt höher) versiegelt waren. Zusätzlich ist die Maßnahme recht kleinräumig geplant worden. Die Entsiegelung um 30 % betraf zwar größere Flächenareale als die vollständige Entsiegelung, aber auch in diesem Fall war die Änderung in Bezug auf den Ausgangszustand zu gering, um eine verstärkt kühlende Wirkung durch Verdunstung hervorzurufen. In dem Wirkungskomplex überwog tagsüber die Sonneneinstrahlung, die die gefühlte Temperatur und den Hitzestress konstant hielt.

Abbildung 27: Hitzestress-Differenz zwischen dem Maßnahmenplan und dem Ist-Zustand



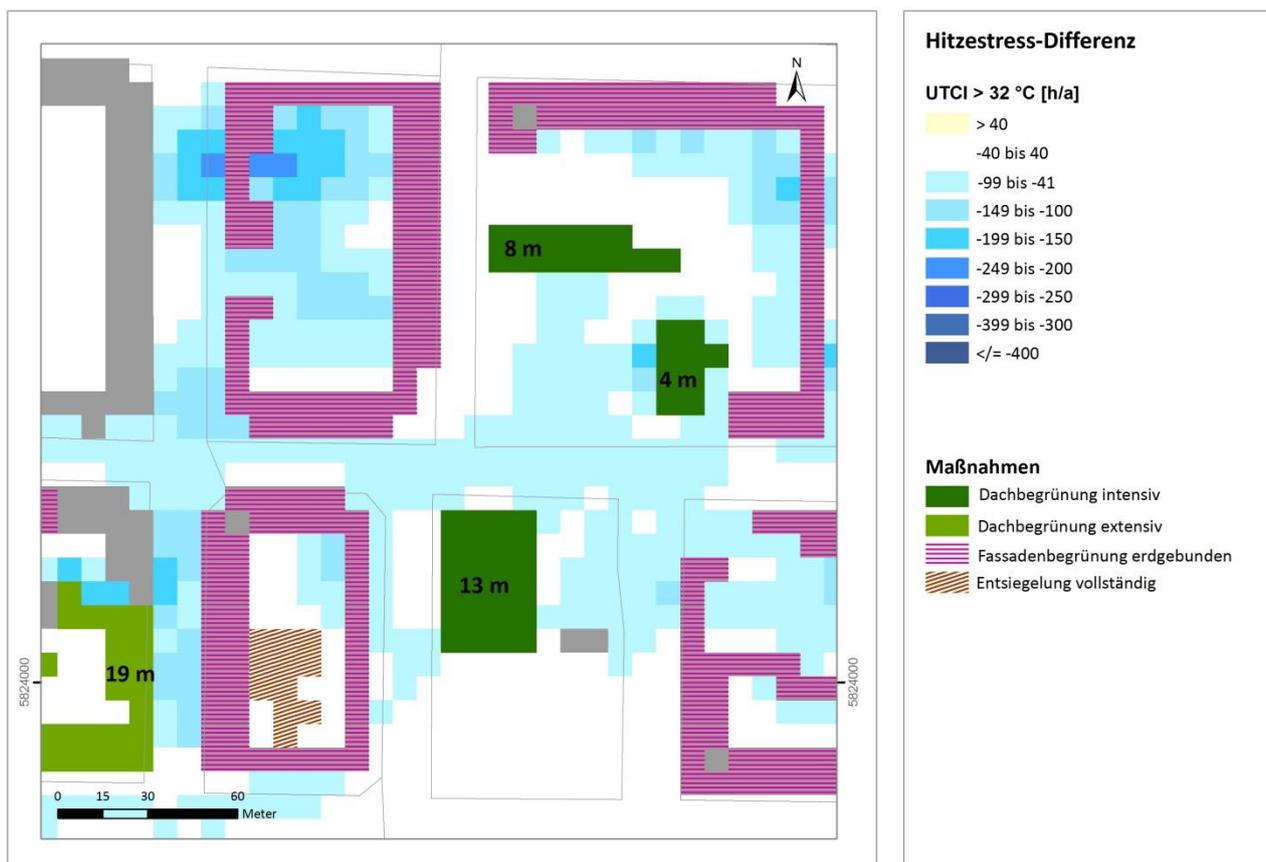
Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Die Wirkung der Dachbegrünung hatte für das Außenklima eine geringere Bedeutung als für das Innenraumklima. Ebenso war die Wirkung auch schwächer als die Wirkung der Bäume oder Fassadenbegrünungen. Beeinflusst wurde dies durch verschiedene Faktoren, die nachfolgend kurz erläutert werden. Bei dem gewählten Parameter „Hitzestunden im Jahr“ wurden nur stärkere Auswirkungen erfasst, sodass eine Änderung im Bereich einer UTCI-Klasse bzw. ein Sprung von extremen bzw. sehr starken Hitzestress in den starken Hitzestress nicht notiert wurde. Zusätzlich trat die Kühlwirkung hauptsächlich über dem Dach auf und reichte nicht bis in Bodennähe. Auch die Durchmischung der Luftmassen auf Dachniveau erschwerte das Erfassen des kühlenden Effektes direkt in der Dach- und Gebäudenähe. Eine Ausnahme bildete die Dachbegrünung auf einem relativ niedrigen, 4 m hohen Gebäude, das windgeschützt in einem Hinterhof stand (Abbildung 28). Die direkt westlich vom Gebäude

sichtbare Reduktion des Hitzestresses um durchschnittlich 100 h/a und maximal 185 h/a ist auf die Dachbegrünung zurückzuführen. Die Fernwirkung konnte nicht quantifiziert werden, weil sie gleichzeitig mit der Wirkung der Fassadenbegrünung auftrat. Die Dachbegrünungen höherer Gebäude zeigten dagegen keine Wirkung. Dies begründet sich durch die fehlende leeseitige Umgebungsabkühlung des Gebäudes. Die Abkühlung ist somit lediglich auf die benachbarten Fassadenbegrünungen zurückzuführen.

Die Kenntnisse aus anderen Simulationen oder Messungen, bei denen die Lufttemperatur an einzelnen Tagen notiert wird, beweisen einen kühlenden Effekt der Dachbegrünung, der stärker wird, je intensiver die Begrünung ist. Eine Tagesgang-Simulation im Rahmen des KURAS-Projektes ergab, für eine wasserversorgte intensive Dachbegrünung eines 6 m hohen Gebäudes an einem heißen und wind-schwachen Mittag, eine Reduktion der bodennahen Lufttemperatur um ca. 1 K, die bis zu einer Entfernung von 40 m von dem Gebäude notiert wurde. Eine Untersuchung in Heidelberg ergab keine bodennahe Wirkung für extensive Dachbegrünungen, aber eine Abkühlung um 1 K bei einer blau-grünen Dachbegrünung in der direkten Nähe des Gebäudes mit einer Fernwirkung von bis zu 100 m (0,4 K) (Simulation mit Asmus; LUBW 2017)

Abbildung 28: Wirkung der Dachbegrünung in 2 m Höhe abhängig von der Gebäudehöhe und Begrünungsart

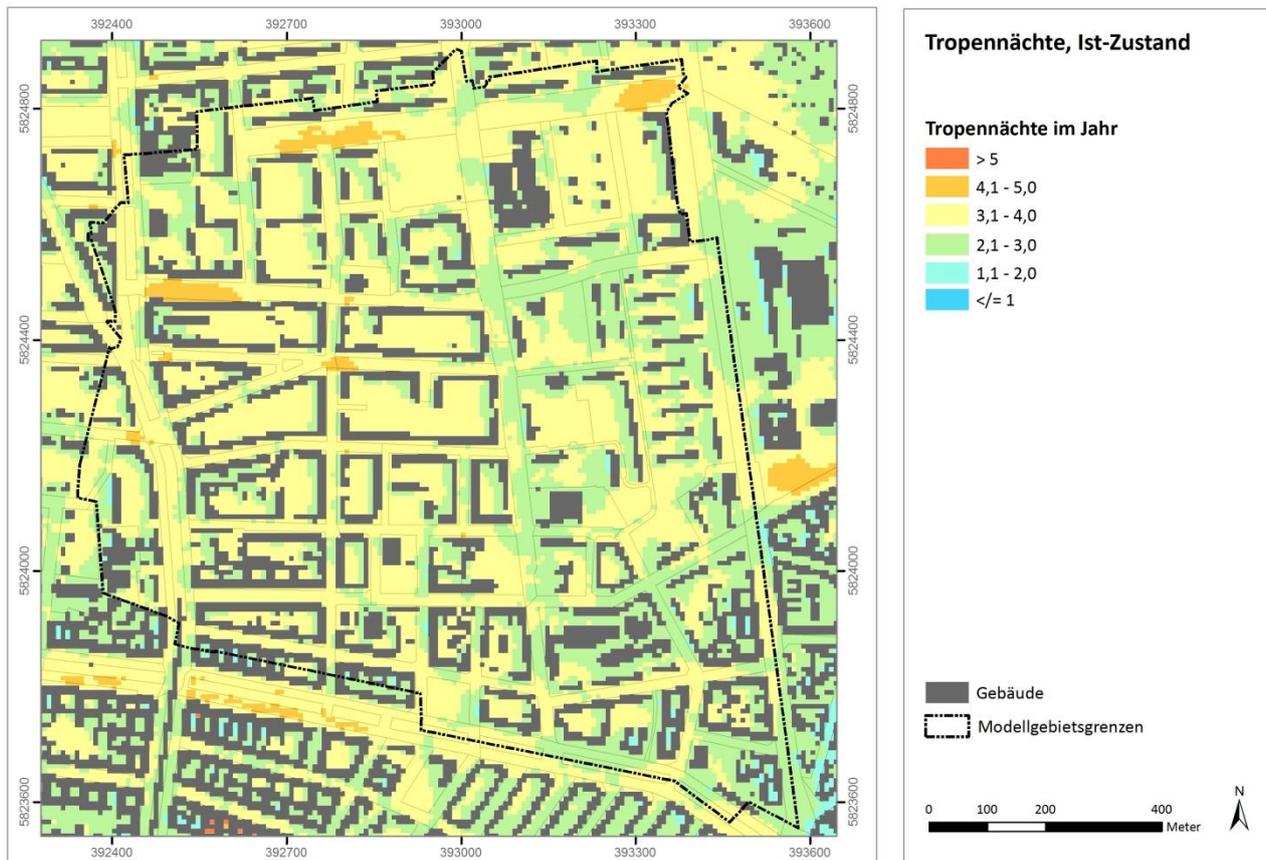


Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Die nächtliche Situation charakterisiert durch die Anzahl der Tropennächte zeigte ein weniger differenziertes Bild als der Parameter UTCI (Abbildung 29). Die unterschiedliche Nutzung beeinflusste nur lokal die Anzahl der Tropennächte. So traten die höchsten Werte mit 4-5 Tropennächten überwiegend im Straßenraum bzw. auf vollversiegelten Flächen auf. Eine niedrigere Anzahl an Tropennächten ( $\leq 2$ )

trat vereinzelt bei unterschiedlichen Nutzungen auf. Im Mittel über das gesamte Modellgebiet ließen sich drei Tropennächte im Ist-Zustand notieren.

Abbildung 29: Anzahl an Tropennächten im Ist-Zustand im Modellgebiet Pankow

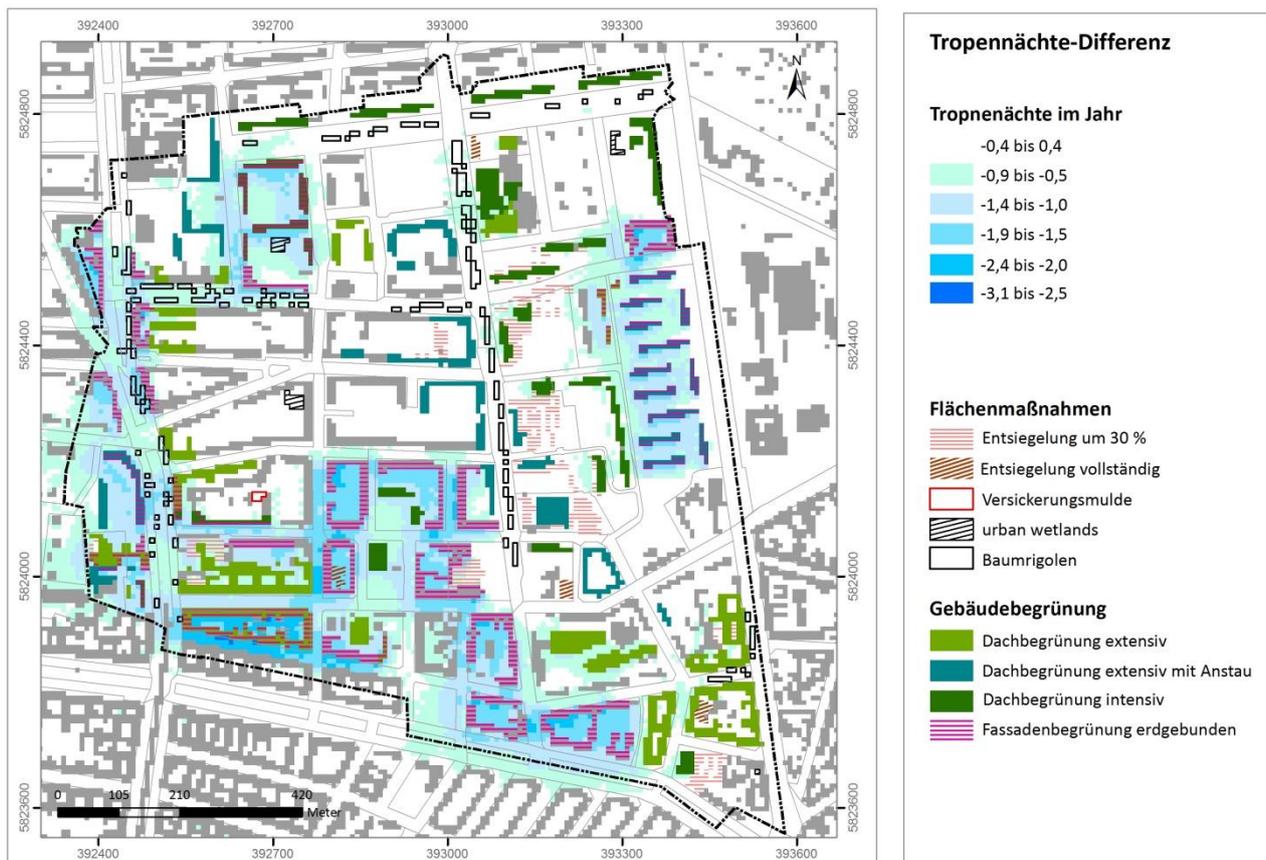


Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

In der Nacht spielten Verdunstung und Beschattung kaum eine Rolle. Dennoch wirkten sich die Temperatursenkungen des Tages auf die nächtliche Temperatur aus. Die durch die Begrünung beschatteten Fassaden und Dächer sowie die Substratschicht der Dachbegrünung absorbierten weniger Sonneneinstrahlung, als unbegrünte Bauten und gaben nachts demnach weniger Wärme an die Umgebung ab. Im Mittel wurden über das gesamte Gebiet eine halbe und maximal drei Tropennächte weniger erreicht. Dabei ist die hauptsächliche Wirkung, die sich auch in einer Entfernung von mehr als 100 m bemerkbar machte, dem Fassadengrün zuzuordnen. Die extensive und die intensive Dachbegrünung (auf Gebäuden bis zu ca. 18 m Höhe) lieferten ihren lokalen Beitrag mit einer Reduktion von einer halben bis einer Tropennacht und einer geringeren Fernwirkung im Vergleich zum Fassadengrün. Die extensive Dachbegrünung mit Anstau zeigte dagegen keine Auswirkung auf die Anzahl der Tropennächte.

Die Entsiegelungsmaßnahmen stellten sich auch nachts als zu geringfügig oder zu kleinräumig dar, um die minimale nächtliche Temperatur unter 20 °C zu senken.

Abbildung 30: Tropennächte-Differenz zwischen dem Maßnahmenplan und dem Ist-Zustand

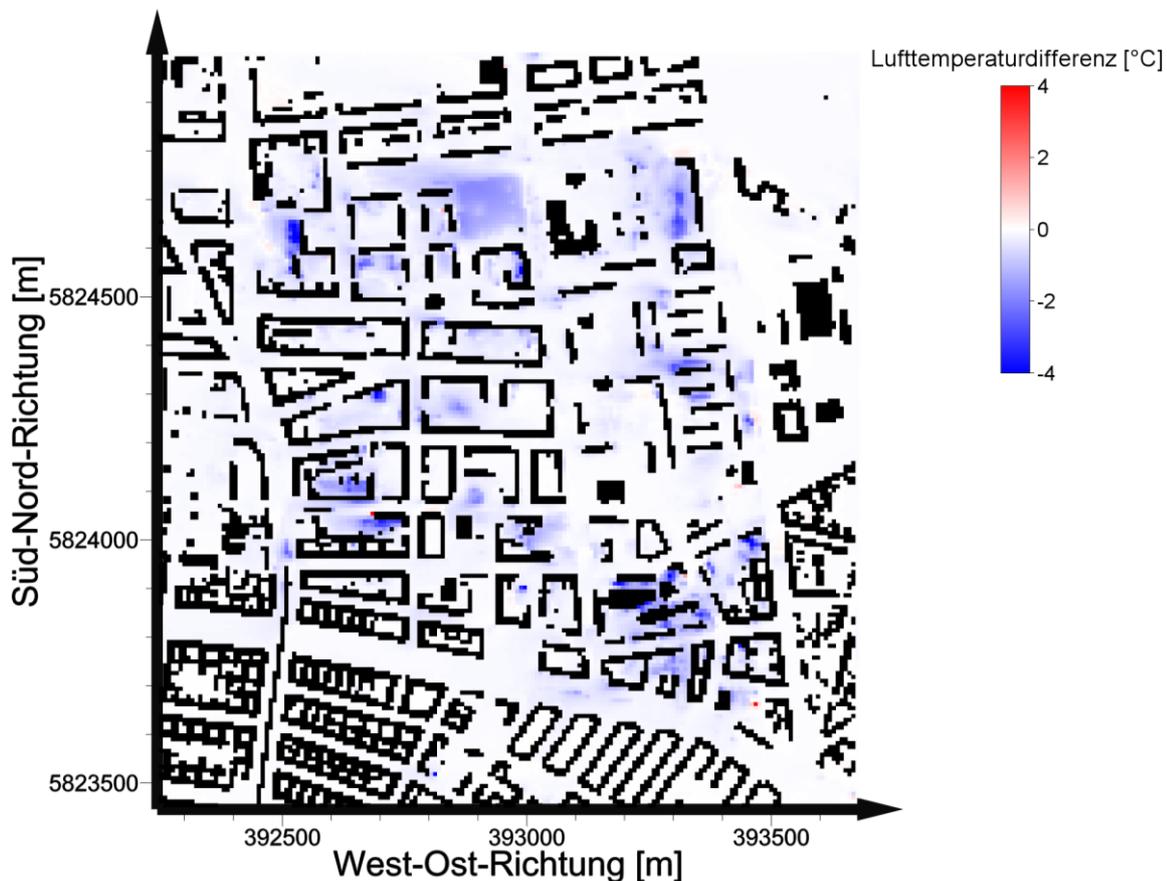


Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Zusammenfassend kann betont werden, dass sich in der Summe für das gesamte Gebiet ein positiver klimatischer Effekt durch die Maßnahmen abzeichnete. Im Mittel über das Modellgebiet wurde eine Reduktion des Hitzestresses um 16 % und eine Verringerung der Anzahl an Tropennächte um 17 % erreicht. Die lokale Wirkung war von der Art der Maßnahmen und deren Kombinationen aber auch von den ursprünglichen klimatischen und bautechnischen Gegebenheiten vor Ort abhängig.

Nachts war die Reduktion der Wärmespeicherung der begrünten und natürlichen Oberflächen im Vergleich zur versiegelten Flächen entscheidend für die Abnahme der klimatischen Belastung. Tagsüber wirkte hauptsächlich die Beschattung kühlend auf die gefühlte Lufttemperatur bzw. den UTCI. Die Wirkung der Verdunstung hängt stark von der Wasserverfügbarkeit der Maßnahme ab. Dies macht der Vergleich von Simulationen einzelner klimatisch unterschiedlicher Tage deutlich. In Abbildung 31 wird die Lufttemperaturdifferenz zwischen einem „feuchten“ Szenario (ein Tag nach einem Regenerereignis) und einem „trockenen“ Szenario (ein Tag nach einer 10-tägigen Trockenperiode) dargestellt (zwei Cuboid-Ecken, vgl. Kapitel 4.2.3). Der wassergesättigte Boden ermöglicht eine um bis zu 4 K stärkere Verdunstungskühlung hauptsächlich auf Rasen und teilversiegelten Flächen.

Abbildung 31: Reduktion der Lufttemperatur in 2 m Höhe um 14:00 Uhr beim „feuchten“ Tagesszenario im Vergleich zum „trockenen“ Szenario



Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

### 4.3.3 Fallstudie 3: Gesamtstadt/Städteregion und Extrapolation für Deutschland

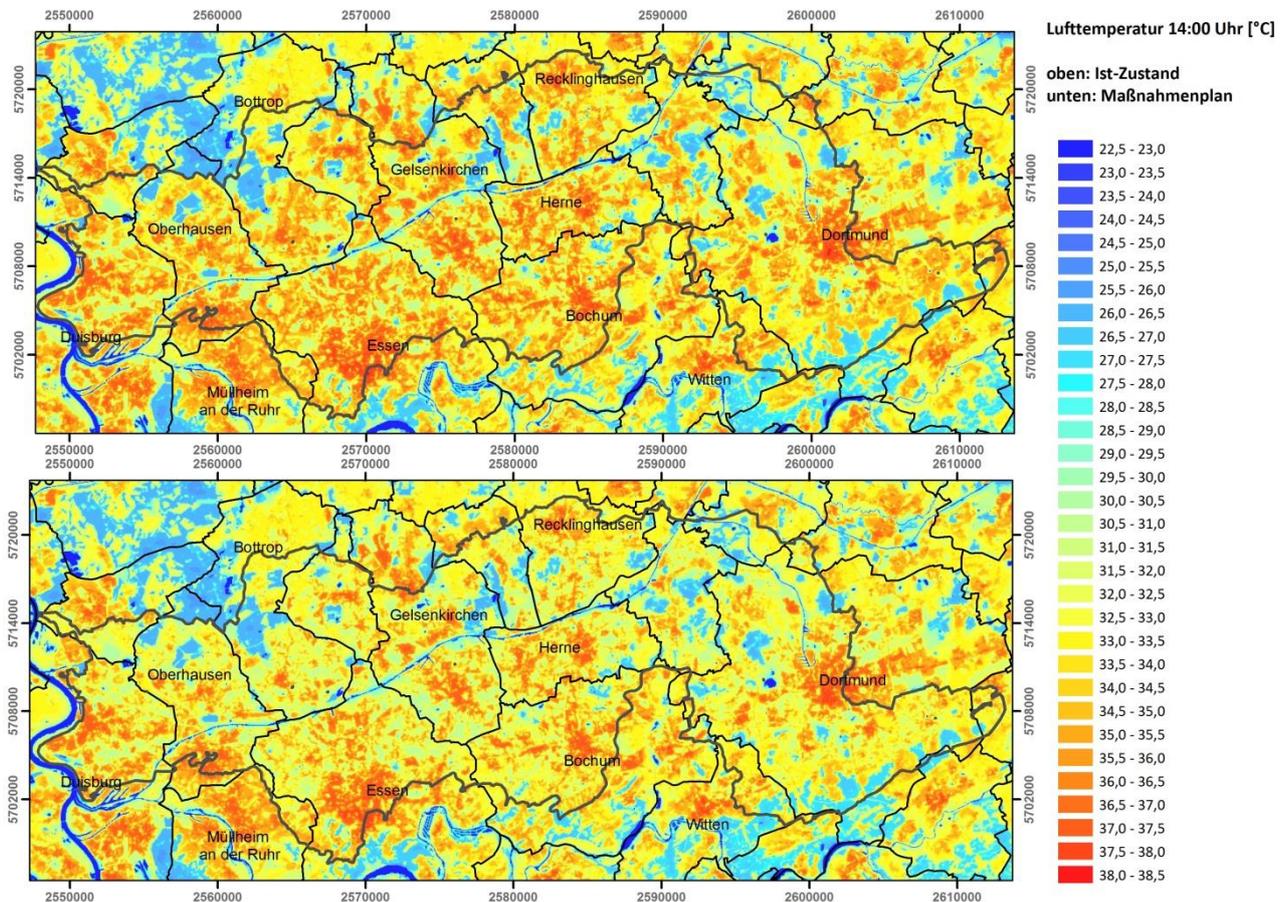
Für das im Kapitel 4.2.4 beschriebene bzw. hergeleitete Modellsetup ergab sich im Untersuchungsgebiet für die bodennahe Lufttemperatur im Außenraum sowohl in der Tag- als auch in der Nachtsituation eine deutliche Abkühlung (Abbildung 32). Dies betraf insbesondere die Flächen, auf denen die Maßnahmen im Vergleichsmodelllauf parametrisiert „umgesetzt“ worden sind, aber auch die nähere Umgebung dieser Flächen. Es zeigten sich ausschließlich Abkühlungs- und keinerlei Erwärmungseffekte, was den „no-regret“<sup>1</sup> Charakter aller betrachteten Maßnahmen unterstreicht. Aufgrund der begrenzten räumlichen Wirkweite aller Maßnahmen existieren allerdings auch Teilflächen, auf denen die Temperaturen konstant bleiben. Zur Abkühlung dieser Flächen bedarf es weiterer/ anderer Strategien.

Im Mittel über die Siedlungsbereiche (Modellnutzungsklassen 1-6) des gesamten Untersuchungsgebietes betrug die Abkühlung für die betrachtete Wetterlage tagsüber (14:00 Uhr) 0,9 K. Der bilanzierte Mittelwert liegt damit im Bereich der bisherigen Zunahme der Jahresmitteltemperatur in Deutschland seit Beginn der flächendeckenden Messungen im 19. Jahrhundert. Das kann als starkes Indiz für das

<sup>1</sup> No-regret Maßnahmen: vor dem Hintergrund des Klimawandels vorsorglich ergriffene Maßnahmen, die auch unabhängig von den tatsächlich auftretenden Folgen des Klimawandels langfristig sinnvoll sind. Sie verbessern bereits die aktuelle klimatische örtliche Situation und haben keine negativen Auswirkungen auf andere Schutzgüter und Nutzungen.

enorme Potential der summarischen Maßnahmenwirkungen der Regenwasserbewirtschaftung auch auf gesamtstädtischer Ebene gewertet werden.

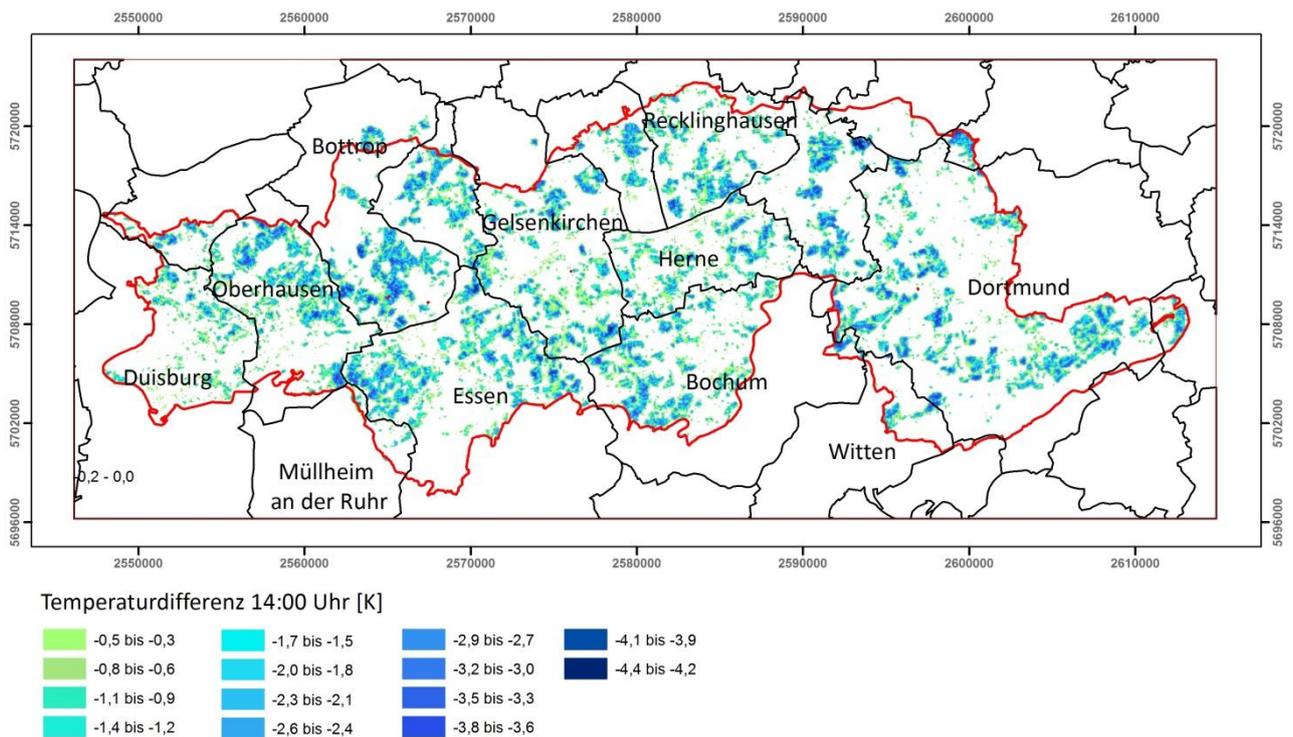
Abbildung 32: Ergebnisse von Fallstudie 3 – absolute Skala der bodennahen Lufttemperatur



Ergebnis für den Ist-Zustand (oben) und Maßnahmenplan (unten), 14:00 Uhr; Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

In der Differenzkarte der beiden Modellläufe (Ist-Zustand vs. Maßnahmenplan) wurden die räumlichen Unterschiede im Abkühlungspotential sichtbar (Abbildung 33). Im Umfeld der Maßnahmen zeigte sich eine Varianz der Wirkungen im Bereich von -0,3 bis -4,4 K. Die kartographische Darstellung verdeutlicht, dass jede Stadt in Abhängigkeit ihrer Struktur, ihres thermischen Ausgangsniveaus sowie ihres Maßnahmenpotentials ein individuelles Raummuster des Verdunstungskühlungspotentials aufweist. Keine Stadt verhält sich exakt so wie eine andere Stadt.

Abbildung 33: Ergebnisse von Fallstudie 3 – Differenzkarte der bodennahen Lufttemperatur

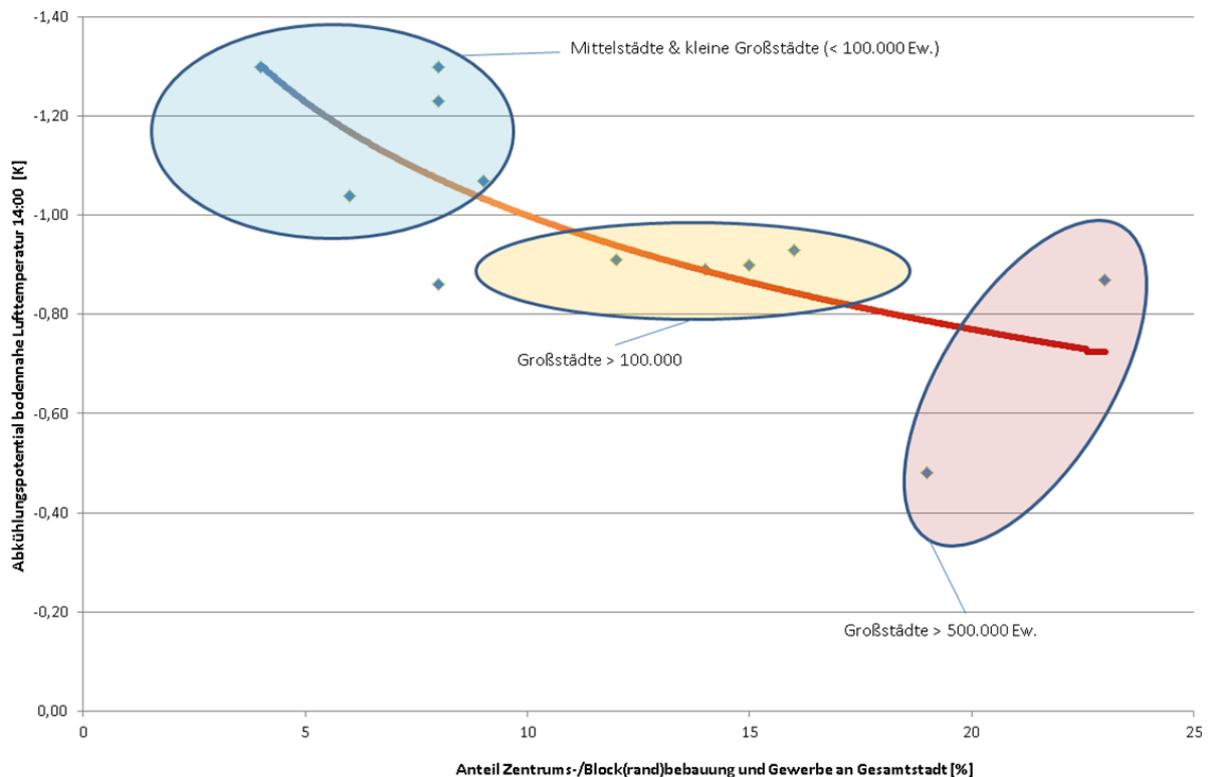


Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Dies deutet bereits darauf hin, dass pauschale quantitative Aussagen zu Potentialen in „der deutschen Stadt“ aufgrund ihrer Individualitäten nicht existieren können. Konkret heißt das, dass das Abkühlungspotential durch Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen im Einzelfall in der betrachteten Städteregion mehr oder weniger deutlich über oder unter den oben erwähnten 0,9 K liegt. Die Modellergebnisse weisen darauf hin, dass ein Zusammenhang zwischen dem Anteil an stark versiegelten Flächen an der Gesamtstadt (also dem Grad der Urbanität) und dem Abkühlungspotential besteht: je höher der Urbanisierungsgrad, desto geringer das Abkühlungspotential. In der betrachteten Städteregion betrug der Unterschied zwischen der Stadt mit dem größten Abkühlungspotential (1,3 K in Herten und Castrop-Rauxel) und dem geringsten Abkühlungspotential (0,5 K in Essen) 0,8 K. Damit lag die Varianz der Ergebnisse im Bereich des Mittelwertes für alle Städte.

Die Erklärung für dieses Phänomen liegt im Flächenbedarf, den mit Ausnahme der gebäudebezogenen Maßnahmen (insbesondere Dach-/Fassadenbegrünungen) alle Techniken und Verfahren der Regenwasserbewirtschaftung zur Verdunstungskühlung aufweisen. Dieser steht in stark verdichteten Stadtstrukturen in sehr viel geringerem Umfang zur Verfügung als in Klein- und Mittelstädten (bzw. den suburbanen Teilräumen einer ansonsten verdichteten Stadt).

Abbildung 34: Vergleich des modellierten Abkühlungspotentials von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung in Abhängigkeit des Stadttyps



Grundgesamtheit: 12 Städte in dem Gebiete der Emscher-Region im Bundesland NRW; Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH

Mit Blick auf statistisch valide Aussagen für den gesamtdeutschen Raum fällt die in Fallstudie 3 betrachtete Grundgesamtheit von 12 Städten eher zu klein aus. Dennoch kann zumindest die begründete Hypothese aufgestellt werden, dass das Potential für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in kleineren Städten bzw. in weniger dichten Stadtstrukturen höher liegt als in Großstädten bzw. hoch verdichteten Stadtstrukturen. Damit wären die höchsten Abkühlungspotentiale insbesondere außerhalb der Kernbereiche der urbanen Hitzeinseln der meisten deutschen Städte zu finden. Gerade mit Blick auf den Klimawandel und die damit zusammenhängende räumliche Ausdehnung der überwärmten Teilräume in der Stadt, wird die Bedeutung des Kühlpotentials auch an diesen Standorten steigen.

Im Umkehrschluss bedeutet das für die Stadtzentren und weitere verdichtete Strukturen mit relevanten Wärmeineffekten (z. B. größere Gewerbegebiete) nicht, dass die Maßnahmenpotentiale hier zu vernachlässigen wären. Vielmehr hat die Fallstudie 3 gezeigt, dass sich auch hier durch die gezielte Regenwasserbewirtschaftung Wirkungen mit einem relevanten Niveau erreichen lassen. Vor allem für diese Strukturen bedarf es aber weiterer Maßnahmen, die aus anderen Zielsystemen bzw. Bausteinen der Stadtplanung abgeleitet werden müssen. Unabhängig davon ob diese Paradigmen nun „Schwammstadt“, „die grüne Stadt“, „blau-grüne Infrastrukturen“ oder „doppelte/dreifache Innenentwicklung“ heißen: Die Verdunstungskühlung ist – als explizite Zielgröße oder willkommener Nebeneffekt – ein zentrales Element einer Gesamtstrategie hin zu einer klimawandelgerechten Stadtentwicklung (Abbildung 35).

Abbildung 35: Bausteine einer klimagerechten Stadtentwicklung mit Relevanz für die Verdunstungskühlung



Quelle: Eigene Darstellung, GEO-NET Umweltconsulting GmbH, Bilderquellen: Fotografien: Dominika Leßmann und Miriam Lübbecke, Grafik Baumrigole: Sieker (2017), Grafik Schwammstadt: SenStadtUm Berlin/bgmr (2016)

## 5 Handlungsempfehlungen und Forschungsbedarfe

Kern des Forschungsprojekts war die Ermittlung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung. Im Fokus standen dabei vor allem intelligente Techniken und Verfahren für eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung, die im Zusammenspiel mit anderen Maßnahmen einen Beitrag für einen naturnahen Wasserhaushalt, zur Überflutungsvorsorge und für ein gesundes Stadtklima und die Hitzevorsorge leisten.

Die hierzu durchgeführten Fachgespräche zeigen, dass die Berücksichtigung der Regenwasserverdunstung und somit Kühlung ein relativ neuer strategischer Ansatz der Regenwasserbewirtschaftung und Klimaanpassung von Städten ist. Das Konzept berührt viele Fachbelange und ist in der Praxis noch nicht umfassend eingeführt und rechtlich festgesetzt. Um auch die Verdunstung, die einen entscheidenden Beitrag zur Hitzevorsorge trägt, neben der Versickerung in den Städten planerisch zu verankern, wurden die nachfolgenden Handlungsempfehlungen (HE), als Ergebnis des Forschungsprojektes, entwickelt.

*Zielgruppen* dieser Empfehlungen sind die rahmensetzenden Behörden und Institutionen von Bund und Ländern, als auch die maßgeblich für die Planung und Umsetzung verantwortlichen Kommunen und Kommunalverbände sowie die Fachverbände. Nicht zuletzt können aber auch private Akteure, wie Wohnungsunternehmen, Grundstückseigentümer und -entwickler einen wesentlichen Beitrag leisten.

Die folgenden Handlungsempfehlungen beziehen sich auf unterschiedliche Implementierungsebenen der Stadtentwicklung.

### 5.1 Sensibilisierung und Beteiligung

---

#### *Ausbildung und Beratung stärken*

---

Die Einführung innovativer Maßnahmen zur Nutzung von Regenwasser für die Verdunstungskühlung wird erschwert durch einen unzureichenden Kenntnisstand über die vielfältigen positiven Effekte der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung und die Möglichkeiten der Gestaltung und Umsetzung. Hinzu kommen Vorbehalte gegenüber ‚Neuem‘, das nicht den gängigen Normen entspricht und unterschiedliche Denkweisen, die dem Handeln der verschiedenen Fachbereiche zugrunde liegen.

Um bereits frühzeitig für die Potentiale zur Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung zu sensibilisieren und Kompetenzen zur Entwicklung und Umsetzung intelligenter Systeme der Regenwasserbewirtschaftung zu fördern, sollte das Thema verstärkt in die universitäre Ausbildung in allen beteiligten Fachbereichen (Landschafts-, Stadt- und Umweltplanung, Bauingenieurwesen, Verkehrsplanung, Architektur, Wasserwirtschaft, Klimatologie, Gesundheit, etc.) aufgenommen werden. Adressaten sind v. a. die Fakultäten bzw. Fachbereiche der Hochschulen, die für die Organisation von Forschung, Lehre und Studium ihres Wissenschaftsbereichs zuständig sind.

Praxiserfahrungen belegen außerdem, dass vor allem auch für Verwaltung und Politik ein großer Beratungsbedarf besteht. Um das Thema aufzuschließen, sollten die Potentiale und Maßnahmen der Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung auf unterschiedlichen Ebenen und für unterschiedliche Belange aufgezeigt werden. Infrage kommen Fortbildungen und ‚Roadshows‘ für Verwaltungsmitarbeiter und Planer. Ebenso ist die Förderung von Wissenstransfer durch z. B. Publikationen und Informationspools im Internet wichtig.

Sowohl Bund, Länder als auch Kommunen sind relevante Partner für die Umsetzung dieser Handlungsempfehlung. Leitfäden zu Klimaanpassung der Bundesländer können dabei z. B. hilfreich sein.

Viele Leitfäden thematisieren die Überflutungsvorsorge, aber im untergeordneten Umfang die Stadtkühlung oder gar den naturnahen Wasserhaushalt. Hier besteht Nachholbedarf!

---

### *Kümmerer einsetzen*

---

Die Einführung von Techniken und Verfahren der lokalen Regenwasserbewirtschaftung, die die Verdunstungskühlung fördern, in Planung und Verwaltung ist kein Selbstläufer. Um diesen fachübergreifenden Prozess zu fördern und kontinuierlich zu begleiten, werden besonders in größeren Kommunen auf verschiedenen Ebenen kompetente und engagierte Kümmerer benötigt. Durch klar geregelte Zuständigkeiten lässt sich vermeiden, dass Aufgaben ergebnislos weitergereicht werden.

Der Aufgabenbereich der Kümmerer umfasst u. a.

- ▶ die Information über die Potentiale, Techniken und Verfahren,
- ▶ koordinierende und beratende Tätigkeiten bei der Erarbeitung von Zielvereinbarungen und Konzepten mit den relevanten Akteuren (z. B. mit Hilfe ressortübergreifender Arbeitsgruppen) und
- ▶ die Förderung und Begleitung der Umsetzung von Maßnahmen und Pilotprojekten.

Ein Praxisbeispiel ist die in Berlin gegründete Regenwasseragentur der Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz der Berliner Wasserbetriebe. Sie soll die Berliner Verwaltung, die Planer und die Bürger bei der Umsetzung dezentraler Lösungen für einen neuen Umgang mit Regenwasser unterstützen, um die Stadt wassersensibler und klimaangepasster zu entwickeln.

---

### *Öffentlichkeit beteiligen und Akzeptanz fördern*

---

Eine Öffentlichkeitsarbeit, die die Relevanz des Themas und mögliche Maßnahmen und Verfahren bekannt macht und den Wissenstransfer zielgruppengerecht fördert, ist ein relevanter Beitrag um die Akzeptanz von verdunstungsfördernden Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in der Bevölkerung zu stärken und die Umsetzung zu fördern. Für die breite Information sollten unterschiedliche mediale Ebenen (Flyer, Broschüren, Internetportale, etc.) sowie Informationsveranstaltungen genutzt werden. Für Fachplanungen und Planer empfiehlt sich die Einrichtung und Bereitstellung von Informationssystemen (z. B. Maßnahmenkataloge, GIS-gestützte Karten).

Auch die zielgerichtete Ansprache von Privatpersonen/ Grundstückseigentümern ist ein entscheidender Bestandteil. So können diese durch die Umsetzung von Gründächern, Fassadenbegrünung, Urban Wetlands, Begrünung von Höfen, etc. einen wichtigen Beitrag zur Regenwasserbewirtschaftung und Erhöhung der Verdunstungskühlung und somit auch zur Hitzevorsorge in Städten leisten. Bei der Öffentlichkeitsarbeit sind Institutionen, die mit Stadtverwaltungen eng zusammen kooperieren, wichtige Partner. So wurde z. B. in der Stadt Wuppertal ein Informationsflyer zur Überflutungs- und Hitzevorsorge zusammen mit der Stromrechnung an alle Haushalte versendet. Aktionstage in Baumärkten, an welchen Produkte zur Förderung der Verdunstungskühlung angeboten werden, sind ebenfalls eine Methode zur Sensibilisierung und Förderung der Umsetzung. Nicht zuletzt bedarf es guter Beispiele mit Vorbildcharakter, wie in der folgenden HE beschrieben wird.

---

### *Pilotprojekte fördern*

---

Bundesweit gibt es bereits vielfältige Projekte, die aufzeigen wie die Regenwasserbewirtschaftung und Überflutungsvorsorge mit Hilfe von Rückhaltung und Versickerung gelingen kann. Gute, aktuelle Vorzeigeprojekte mit Fokussierung auf die Verdunstung und Verdunstungskühlung sind bislang jedoch rar. Für die Überzeugungsarbeit und die Überprüfung sowie genauere Ermittlung der Potentiale, die die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung für die Verdunstungskühlung haben kann, sind Praxisbeispiele hingegen unerlässlich.

In diesem Zusammenhang trägt neben den Kommunen auch der Bund eine besondere Verantwortung für beispielgebende Bauprojekte. Dabei werden neue Standards für Bundesbauten und Leitlinien für das ökologische Bauen benötigt, die die positive und nachhaltige Kühlwirkung durch Regenwasserverdunstung berücksichtigen. Auch werden öffentlich zugängliche Demonstrationsanlagen, die innovative Techniken zur Regenwasserbewirtschaftung und zur Verdunstung zeigen, gebraucht (vgl. Anhang 7.4 „Grünes Zimmer, Ludwigsburg“).

Ein weiterer Aspekt ist die Gestaltung, planungsrechtliche Sicherung und der Betrieb (Pflege und Unterhalt) von Mehrfachnutzungen. Dazu sollten Pilotprojekte umgesetzt werden, die die Verkehrsflächen, Grünflächen und baulichen Anlagen über ihre eigentliche Nutzung hinaus erweitern und als Retentionsräume und Verdunstungsflächen gestalten und anlegen (vgl. die HE „Hotspots identifizieren und vielfältige Maßnahmenpotentiale nutzen“ und „Multifunktionale Konzepte interdisziplinär entwickeln und umsetzen“).

Weitere effektive Vorhaben mit Vorbildcharakter wären die Entwicklung eines „wasserhaushaltsneutralen“ Baugebietes im innerstädtischen Raum sowie die Umsetzung einer „blau-grünen“ Straße. Letzteres Vorhaben wird ab 2019 im Rahmen des BMBF-Projektes „Blue-Green-Streets“ in verschiedenen Städten in Deutschland umgesetzt. Ziel ist es dabei, Entwurfselemente für wassersensible und hitzeangepasste Straßen zu entwickeln.

Einen Mehrwert solcher Vorhaben stellen begleitende wissenschaftliche Studien dar. So kann z. B. durch Messkampagnen die Wirkung der Maßnahmen belegt und quantifiziert werden (vgl. Kapitel 5.5).

## **5.2 Planungsziele und -tools**

---

### *Ziele für die Regenwasserverdunstung formulieren und in Planungen implementieren*

---

Durch das Wachstum der Städte und die damit zunehmende Versiegelung erhält die Kühlung durch Regenwasserverdunstung eine zunehmende Bedeutung als Beitrag zur Verbesserung der Wasser- und Energiebilanz und zur Hitzevorsorge. Dennoch ist die Verdunstungskühlung bei der gegenwärtigen Regenwasserbewirtschaftung kein Hauptziel und „harter“ Belang, sondern zumeist „nur“ ein positiver Nebeneffekt. Die Verdunstung muss zu einer Zielgröße der Nachverdichtung werden, etwa durch eine politische Festlegung von Anteilen der Verdunstung, die wissenschaftlich untersetzt ist. Dies setzt die Benennung der quantitativen und qualitativen Wirkungen und Effekte für die Städte und die Bewohner voraus. Außerdem werden geeignete Bewertungsverfahren und -vorgaben benötigt (vgl. Kapitel 5.5 HE „Bewertungsfaktoren entwickeln“). Das Ziel der „Verdunstungsstadt“ darf dabei nicht allein stehen, sondern muss mit anderen Zielen kombiniert werden (grüne, klimaneutrale, wassersensible, gesunde, biodiverse Stadt).

Eine erhöhte Verdunstungsleistung sollte über Planungsvorgaben (Zielvorgaben) erfolgen und nicht über die Vorgabe von bestimmten Maßnahmen. Damit wird Architekten, Planern, Bauherrn ermöglicht, flexibel auf die örtlichen Bedingungen zu reagieren. Wichtig ist die Überprüfung der Wirksamkeit der Maßnahmen (Nachweis zur Zielumsetzung, Monitoring von Maßnahmen).

Instrumente zur konkreten ortsbezogenen Zielfestlegung sind beispielsweise Vorgaben zum Erhalt des natürlichen Wasserhaushalts, Leitpläne der Regenwasserbewirtschaftung und Hitzevorsorge sowie der Grünflächenfaktor (vgl. nachfolgende HE).

Generell ist es wichtig, die intelligente Regenwasserbewirtschaftung frühzeitig in Planverfahren einzubringen. Die Nutzung des Regenwassers zur Verdunstungskühlung sollte zu einem Bewertungskriterium für städtebauliche Wettbewerbe, Umweltverträglichkeitsprüfungen und Bauplanungsunterlagen werden.

---

### *Hotspots identifizieren und vielfältige Maßnahmenpotentiale nutzen*

---

Um gezielt Maßnahmen zur Verdunstungskühlung umsetzen zu können, ist es notwendig, die am stärksten von Hitze betroffenen Teilräume in den Städten und die Potentiale zur Verbesserung der Wasser- und Energiebilanz zu identifizieren. Die entsprechenden Räume und Potentiale sollten in jeder Kommune individuell auf der Basis von gesamtstädtischen Analysen ermittelt werden. Darauf aufbauend können Ziele für die Verdunstungskühlung definiert werden.

Geeignet für die Analysen sind möglichst hochaufgelöste Modellsimulationen und Messkampagnen. Aber auch eine Analyse der Stadtstrukturtypen und Geländehöhen kann erste Erkenntnisse liefern. Das „Informationsportal Klimaanpassung in Städten“ (INKAS) vom Deutschen Wetterdienst gibt zum Beispiel das Hitzebelastungspotential bestimmter Bebauungstypen sowie die zu erwartende Änderung der Lufttemperatur bei Umsetzung einer städtebaulichen Maßnahme wieder.

Die fallstudiengestützte Potentialuntersuchung in Kapitel 4 zeigt, dass sich eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung besonders in Stadtstrukturen mit einer geringen Dichte i. d. R. gut integrieren lässt. Höhere Anforderungen an die Umsetzung ergeben sich für dicht bebaute Stadtstrukturen. Wegen der begrenzten Verfügbarkeit unbebauter Freiflächen müssen hier insbesondere die Gebäudeoberflächen für die Regenwasserretention und Begrünung verstärkt genutzt werden. Hierzu ergab die Untersuchung der Fallstudien, dass Bäume und Fassadenbegrünungen wegen ihrer starken Verdunstungs- und Verschattungsleistung besonders effektiv für die Kühlung sind. Begrünte Dächer mit Retentionsfunktion tragen sowohl zur Verdunstungskühlung bei, als auch in hohem Maße zur Wasserrückhaltung. Gleichzeitig müssen die wenigen vorhandenen Frei- und Verkehrsflächen in urbanen Stadträumen und -strukturen möglichst multifunktional gestaltet werden. Hierfür sind ortsbezogene Gestaltungskonzepte erforderlich, die die unterschiedlichen Anforderungen und Nutzungen an bzw. von Frei- und Verkehrsflächen mit Maßnahmen einer verdunstungsfördernden Regenwasserbewirtschaftung, wie Urban Wetlands, Teiche, Baum-Rigolen (vgl. Kapitel 3), in Einklang bringen. Eine wichtige Voraussetzung für die optimale Kühlwirkung von Begrünungsmaßnahmen ist die ausreichende kontinuierliche Wasserversorgung der Bepflanzungen mit Regenwasser. Daher sind intelligente Konzepte, die eine Kombination von Bepflanzungen mit temporären Regenwasserspeichern vorsehen, ein besonders wichtiger Beitrag für einen naturnahen Wasserhaushalt und zur Minderung negativer Hitzeeffekte.

---

### *Leitpläne zur Regenwasserbewirtschaftung und Hitzeanpassung erstellen*

---

Die Förderung der Verdunstungskühlung durch eine gezielte Regenwasserbewirtschaftung in Stadtentwicklungsgebieten und Gebieten der städtebaulichen Nachverdichtung erfordert einen integrierten Planungsansatz. Meist muss hier ein Bündel an Maßnahmen konzipiert werden, das genau an die örtlichen Rahmenbedingungen anzupassen und mit einer Vielzahl von Akteuren und Eigentümern abzustimmen ist.

Damit dies gelingt, werden Leitpläne zur Regenwasserbewirtschaftung und Hitzeanpassung benötigt. Für größere Städte und Stadtregionen können, als räumliche Planungsebenen, Leitpläne für die Gesamtstadt, für Stadtteile und ggf. für einzelne Stadtquartiere infrage kommen.

Bestandteil dieser integrierten Vorsorgekonzepte sind die folgenden drei Bausteine:

- ▶ Grundlagenermittlung, um die Handlungsschwerpunkte und Potentiale der Regenwassernutzung zur Verdunstungskühlung zu identifizieren. Dabei ist eine Eingrenzung der Problem- und Handlungsbereiche vor dem Hintergrund knapper Mittel zwingend.
- ▶ Entwicklung von Leitbildern und Zielen für die Vorsorgestrategie, die möglichst auch einen Mehrwert für die Stadt- und Freiraumentwicklung in der Gesamtheit erbringen.
- ▶ Erarbeitung von Strategien und Maßnahmen der Vorsorge, einschließlich von Alternativen und Varianten. Dies schließt auch hydraulische Berechnungen und Kosten-Nutzen-Analysen zu einzelnen Maßnahmen ein.

Für die spätere Realisierbarkeit müssen bei der Konzepterstellung auch die Aspekte Management, Organisation und Finanzierung mitbedacht werden. Dazu sollten alle relevanten Partner für die Umsetzung und den Betrieb in die Konzeptentwicklung eingebunden und alle für die Regenwasserbewirtschaftung und Verdunstungskühlung relevanten Planungen aufeinander abgestimmt werden.

Für größere Projektgebiete sind Aktionspläne und die Einrichtung eines Umsetzungsmanagements sinnvoll.

---

### *Multifunktionale Konzepte interdisziplinär entwickeln und umsetzen*

---

Insbesondere in den verdichteten innerstädtischen Räumen lassen sich Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung zur Verdunstungskühlung nur durch multifunktionale Konzepte realisieren. Da die wenigen Freiflächen meist mehrfach belegt sind, setzen solche Konzepte eine interdisziplinäre Zusammenarbeit nicht nur zwischen Wasserwirtschaft, Stadtplanung und dem Gesundheitswesen, sondern auch zwischen Immobilienwirtschaft, Architekten, Verkehrsplanung, Landschaftsplanung und dem Bodenschutz voraus.

Hierzu sollten Bund, Länder und Kommunen auf unterschiedlichen Ebenen Allianzen und Kooperationen vorbereiten und für die Planung von multifunktionalen Flächen im Rahmen städtebaulicher Wettbewerbe, in der Entwurfs- und Ausführungsplanung und darüber hinaus bei der Pflege und Unterhaltung zur Verpflichtung machen. Mit multifunktionalen Konzepten lassen sich erhebliche Potentiale der Frei- und Wohnraumentwicklung in den Stadtquartieren für die Regenwasserbewirtschaftung und somit auch Hitzevorsorge aktivieren, wenn beispielsweise die Planungen zur Mobilität, zum Straßenausbau, Städtebau und zur Freiflächengestaltung gemeinsam einem Leitbild folgen und kontinuierlich aufeinander abgestimmt werden.

Ein weiteres Potential liegt im Zusammenspiel von öffentlichen und privaten Flächen. Quartiersbezogene Konzepte sollten Ziele und Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung, die einen Beitrag zur Verdunstungskühlung leisten, grundstücksübergreifend für öffentliche und private Flächen aufzeigen. Die Kooperation und der Dialog mit den Eigentümern sind dabei wichtige Grundvoraussetzungen, um die positiven Synergien der Grundstückspotentiale zu nutzen und Maßnahmen, die Schäden am Nachbargrundstück hervorrufen, zu vermeiden.

Es wird empfohlen, dass Kommunen ihr Flächen- und Maßnahmenpotential für multifunktionale Konzepte für die Gesamtstadt und/oder vertiefend für Stadtgebiete mit besonderem Handlungsbedarf untersuchen und in Konzepten aufzeigen. Für die Umsetzung sollten die möglichen Akteure benannt und frühzeitig in die Konzeption und Planung einbezogen werden.

---

### *Pflanzen- und Maßnahmenkatalog zur Verdunstungsleistung erarbeiten*

---

Aufgrund von standortspezifischen Eigenschaften, Potentialen, Möglichkeiten und Einschränkungen sollte den Planern, Architekten, Bauherren und Investoren eine gewisse Flexibilität in der Auswahl geeigneter Maßnahmen verbleiben. Zur Unterstützung bei der Auswahl bietet sich ein Maßnahmenkatalog an. Dieser sollte u. a. Möglichkeiten zur Verbesserung der Regenwasserspeicherfähigkeit und der Verdunstungsleistung spezifischer Flächen sowie die Eignung und Leistungsfähigkeit der Maßnahmen zur Erhöhung der Verdunstung wiedergeben. Dabei darf das Ziel der „Verdunstungsstadt“ jedoch nicht allein stehen, sondern muss mit anderen Zielen kombiniert werden. So sollten neben den Faktoren wie Wasser, Hitze und Kosten auch Vorteile für Biodiversität und Nutzungsqualität berücksichtigt werden. Bei der Ermittlung geeigneter Maßnahmen und Umsetzungsmöglichkeiten sollten auch internationale Erfahrungen genutzt werden

In Zusammenhang mit der geeigneten Maßnahmenauswahl ist auch die Pflanzenauswahl ein wichtiger Faktor bei einer zukünftig stärkeren Berücksichtigung der Verdunstung. So geht eine hohe Verdunstung oft nicht einher mit Hitzeresistenz. Steht die Verdunstung im Fokus, werden verdunstungsstarke Pflanzen und Maßnahmen benötigt, die in trockenen Perioden bewässert werden müssen. Der Katalog sollte u. a. Angaben zu Verdunstungsleistung, Wasserbedarf, Hitzeresistenz sowie Pflegeaspekten von verschiedenen Vegetationsarten enthalten. Zusätzlich sollte er Aussagen zur Eignung und Speicherfähigkeit von verschiedenen Bodensubstraten treffen, da bei der Auswahl von Pflanzen mit einem hohen Verdunstungsanteil auch die Wasserspeicherung einen wichtigen Aspekt darstellt.

Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten sollten für die verschiedenen Maßnahmen und Pflanzen in diesem Katalog gleiche Ermittlungsmethoden verwendet werden. Ebenso sind Daten und Fakten mit konkreten Zahlen wichtig. Generell herrscht hier aber noch ein großer Forschungs- und Entwicklungsbedarf (vgl. Kapitel 5.5).

---

### *Naturnahe Wasserhaushaltsbilanz als Zielvorgabe*

---

Die Zielsetzung, die Wasserhaushaltsbilanz (Verdunstung, Versickerung, Abfluss) des natürlichen Zustandes trotz Bebauung aufrecht zu erhalten beinhaltet, dass bei Baumaßnahmen verstärkt auf eine ausreichende Verdunstung und Versickerung geachtet werden muss, um den durch Versiegelung verstärkten Abfluss zu reduzieren. Gleichzeitig steht bei dieser Zielstellung die Erhöhung der Verdunstung zur Kühlung nicht als alleiniges Ziel da. Es geht einher mit der Reduzierung von Spitzenabflüssen und der stofflichen Gewässerbelastung. Wie genau die natürliche Wasserhaushaltsbilanz definiert

wird (Naturzustand, Kulturlandschaft, etc.) oder ob notwendige Kompromisse über den Grad der Zielerreichung nötig sind, ist zu diskutieren.

---

*„Grünflächenfaktor“ unter Berücksichtigung der Wasserspeicherung und Verdunstungskühlung als Instrument entwickeln*

---

Der Grünflächenfaktor wird als ein neues planerisches Instrument vorgeschlagen, um konkrete Ziele für den Anteil von begrünten Flächen und naturhaushaltswirksamen Maßnahmen auf den Baugrundstücken festzulegen. Dazu ist es erforderlich, den Grünflächenfaktor (GFF) methodisch zu entwickeln und darüber hinaus als planerisches Instrument zu definieren und rechtlich verbindlich zu verankern (vgl. Kapitel 5.4 „Den Grünflächenfaktor in der Baunutzungsverordnung (BauNVO) verankern“).

Wie der für Berlin entwickelte Biotopflächenfaktor (BFF) legt der GFF den Mindestanteil zu begrünender Flächen auf Grundstücken fest. Infrage kommen sowohl Maßnahmen zu ebener Erde mit Anschluss an den gewachsenen Boden, als auch Begrünungen auf Dachflächen und an Fassaden. Zunehmende Hitzebelastungen, Phasen der Trockenheit und Starkregenereignisse in den Städten erfordern jedoch eine Modifizierung und Weiterentwicklung des methodischen Ansatzes des BFF. Die Rückhaltung und Verdunstung von Regenwasser und der Wasser- und Energiehaushalt sollten als Bewertungskomponenten in der Methode für den neuen GFF ein größeres Gewicht erhalten. Alle Maßnahmen zur Speicherung und Nutzung von Regenwasser, die zur Verdunstungskühlung und Verbesserung des natürlichen Wasserhaushalts beitragen, sollten prozentual auf den GFF anrechenbar sein. Neben der Begrünung und der Verbesserung der Speicherfähigkeit des Bodens kommen auch technische Maßnahmen wie Einrichtungen für die Wasserspeicherung, Beregnung und Luftbefeuchtung infrage, die der Verdunstungskühlung dienen.

---

*Modellierungswerkzeuge um Verdunstungsbausteine erweitern*

---

Die gängigen Modellierungswerkzeuge in der Wasserwirtschaft berücksichtigen die Verdunstung meist nur als „Verluste“, soweit es für die Abflussberechnung erforderlich ist. Dies betrifft z. B. Kanalnetzmodelle oder sogenannte Schmutzfrachtmodelle. Um die Auswirkungen von wasserwirtschaftlichen Planungen auf den Wasserhaushalt quantifizieren zu können, ist eine ganzheitliche Modellierung des Wasserhaushaltes erforderlich. Die Modellbausteine zur Berechnung der Wasserhaushaltsbilanz stehen prinzipiell zur Verfügung, müssten jedoch in die gängigen Softwareprodukte eingebaut werden. Diese Entwicklung könnte angestoßen werden, indem Behörden und kommunale Auftraggeber bei der Ausschreibung der Planungsleistungen (z. B. Generalentwässerungspläne) die entsprechenden Modellierungsergebnisse einfordern.

### 5.3 Gesetzliche Regelungen und Regelwerke im Wasserrecht

---

#### *Rechtsverordnung für die Regenwasserbewirtschaftung erarbeiten*

---

Derzeit gibt es auf Bundesebene keine Rechtsverordnung zur Regenwasserbewirtschaftung. Das Wasserhaushaltsgesetz §57 ermächtigt, Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Oberflächengewässer/Grundwasser) festzulegen. Auf Grundlage von §46 WHG (Erlaubnisfreie Benutzungen des Grundwassers) könnte zudem die Erlaubnisfreistellung für das Einleiten von Niederschlagswasser in das Grundwasser geregelt werden. Von beiden Möglichkeiten hat der Bund bislang keinen Gebrauch gemacht.

Aus Praxissicht wäre eine bundesweit geltende Rechtsverordnung für die Regenwasserbewirtschaftung wünschenswert. Die Definition von Zielvorgaben für die Regenwasserbewirtschaftung sollte nicht allein den Fachverbänden überlassen werden.

---

#### *Verankerung von Maßnahmen gegen Starkregen und Hitze im Wasserrecht*

---

Die Förderung der Regenwasserverdunstung in urbanen Gebieten ist ein bedeutsamer Beitrag zur Klimaanpassung. Bislang sind jedoch die Anforderungen zu der notwendigen Anpassung an den Klimawandel im Wasserrecht nur sehr allgemein (§6 WHG Allgemeine Grundsätze der Gewässerbewirtschaftung) formuliert. Eine konkrete Aufforderung zur Berücksichtigung des Klimawandels findet sich nur in Bezug auf das Hochwasserrisiko (§§73-75 WHG). In zukünftigen Fassungen sollten konkrete Maßnahmen in Bezug auf Starkregen und Hitze stärker berücksichtigt werden. Ein möglicher Ansatz ist die Forderung nach dem Erhalt des natürlichen Wasserhaushaltes (s. u.).

---

#### *Erhalt des natürlichen Wasserhaushaltes gesetzlich vorgeben*

---

Zur Förderung der Umsetzung in der Praxis, bedarf es der Aufnahme der „Zielgröße Verdunstung“ in Gesetze und Regelwerke (z. B. der Wasserwirtschaft, Straßenplanung, Bauordnung). Grundsätzlich ist dabei die Vorgabe des Ziels („Erhalt des Wasserhaushaltes“) der Vorgabe von Maßnahmen (Versickerung, Dachbegrünung, etc.) vorzuziehen.

Im Wasserhaushaltsgesetz sollte zukünftig bei Neuplanungen der Erhalt des natürlichen Wasserhaushaltes (Verdunstung, Versickerung, Ableitung) gefordert werden. Die konkrete Verfahrensvorschrift zur Ermittlung des „natürlichen Wasserhaushaltes“ und der gewünschte Grad der Zielerreichung kann dann über untergeordnete Regelungen (z. B. eine „Regenwasserverordnung“) oder das Technische Regelwerk definiert werden.

Beispielgebend ist das Projekt „Leitplan Regenwasser und Hitzeanpassung Berlin TXL“ (vgl. Kapitel 7.4 „Projektsteckbriefe“). Hier soll durch eine Kaskade von Maßnahmen eine Wasserbilanz erreicht werden, die sich den natürlichen Verhältnissen annähert.

---

### *Einführung des Wasserbilanzansatzes nach DWA-A 102*

---

Der Entwurf für das neue Arbeitsblatt DWA-A 102 „Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer“ beinhaltet einen praktikablen Vorschlag, wie der „natürliche Wasserhaushalt“ definiert und der Eingriff in den Wasserhaushalt rechnerisch nachgewiesen werden kann. Der beschriebene Ansatz basiert auf einem Vorschlag, der im Rahmen des vom Umweltbundesamt geförderten Projektes "Regen(ab)wasserbehandlung und –bewirtschaftung nach §7a WHG" (Sieker, F., 2004) entwickelt wurde.

Zu diesem bereits 2016 veröffentlichten Entwurf (Gelbdruck) des A 102 gab es eine große Zahl von Anmerkungen und Einwendungen, sodass bislang kein Weißdruck veröffentlicht wurde. Die Einführung dieses Ansatzes sollte unterstützt werden.

---

### *Überarbeitung des DWA-A 138*

---

Das technische Regelwerk für Versickerungsanlagen, das Arbeitsblatt DWA-A 138, wird derzeit überarbeitet. In der neuen Fassung sollte die Bedeutung der Verdunstung und insbesondere die der Bepflanzung von Versickerungsanlagen hervorgehoben werden. Im Sinne einer standortangepassten und am natürlichen Wasserhaushalt orientierten Regenwasserbewirtschaftung sollten generalisierte Festlegungen wie beispielsweise ein Verbot der Bepflanzung mit Bäumen/Sträuchern, ein Mindestflurabstand zum Grundwasser von 1 m unabhängig vom Boden, die Zulässigkeit von Überläufen, etc. vermieden werden.

---

### *Anschluss- und Benutzungszwang für Niederschlagsabflüsse aufheben*

---

In einigen Bundesländern (z. B. NRW) besteht immer noch ein Anschluss- und Benutzungszwang für Niederschlagsabflüsse (Zwangsanschluss an die Regenwasserkanalisation). Diese Regelung ist nicht mehr zeitgemäß und steht §55 (2) WHG entgegen, der besagt, dass „Niederschlagswasser ortsnah versickert, verrieselt oder direkt oder über eine Kanalisation ohne Vermischung mit Schmutzwasser in ein Gewässer eingeleitet werden [...]“ soll. Aus der Praxis sind zahlreiche Fälle bekannt, wo Grundstücke, die z. T. über lange Zeit ihr Regenwasser erfolgreich dezentral bewirtschaftet haben, unter Berufung auf den Anschluss- und Benutzungszwang zwangsweise an die Regenwasser-/Mischwasserkanalisation angeschlossen wurden, obwohl dies wasserwirtschaftlich nachteilig ist. Die Motivation für die Kanalnetzbetreiber ist offensichtlich vorrangig finanzieller Natur (Gebühreneinnahmen). Hier ist eine bundesweite Regelung anzustreben, die ausdrücklich eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung ermöglicht.

---

### *Berücksichtigung der Verdunstung bei der Regenwassergebühr*

---

Die Gebührensatzungen der Kommunen für das Niederschlagswasser beinhalten bisher keine Regelungen (Belohnungen) für die Verdunstungskühlung. Es wäre hilfreich, wenn Sekundäreffekte der Regenwasserbewirtschaftung in Bezug auf ‚Hitzevorsorge‘ sich in den Gebührenverordnungen abbilden würden, wohlwissend dass dies gebührenrechtlich schwierig ist.

---

*Anpassung der Begrifflichkeiten im Wasserrecht und Regelwerk*

---

Im WHG wird Niederschlagswasser traditionell als Abwasser eingestuft (§ 54 Absatz 1). Dementsprechend wird auch bei Regenwasser immer noch von Niederschlagswasserbeseitigung oder –entsorgung gesprochen. Ebenso wird in der Wasserbilanz die Verdunstung oft als eine „Verlustgröße“ betrachtet.

Um den für Städte relevanten Nutzen von Niederschlagswasser und dessen Verdunstung positiv zu prägen, sind eine positive Begriffsbesetzung und die Untersetzung in den Regelwerken von Nöten.

## **5.4 Bau- und Planungsrecht**

---

*Flächen und Maßnahmen über die Bauleitplanung sichern und festsetzen*

---

Das Baugesetzbuch ist die querschnittsorientierte Rechtsgrundlage, um die bauliche und sonstige Nutzung der Grundstücke in der Gemeinde vorzubereiten und zu steuern. Dazu stellen die Gemeinden, soweit erforderlich, Bauleitpläne (Flächennutzungs- und Bebauungspläne) auf.

Als Planungsziele und -vorgaben für die Bauleitpläne sind die Klimaanpassung (§ 1 Abs. 5 BauGB) und dazugehörige Anlagen, Einrichtungen und Maßnahmen (§ 1a Abs. 5 und § 5 Abs. 2 Nr. 2 c) bereits in das Baugesetzbuch aufgenommen worden. Eingang in das Gesetz haben auch Änderungen auf der Grundlage des Hochwasserschutzgesetzes II gefunden. Hierzu zählen die Vermeidung und Verringerung von Hochwasserschäden als Belang bei der Aufstellung von Bauleitplänen (§ 1 Abs. 6 BauGB) und die Möglichkeit, Gebiete festzusetzen, in denen bei der Errichtung baulicher Anlagen bestimmte bauliche und technische Maßnahmen getroffen werden müssen, um Hochwasserschäden gar nicht erst entstehen zu lassen (§ 9 Abs.1 Nr. 16 c BauGB). Auch können die Kommunen künftig Flächen auf Baugrundstücken für die natürliche Versickerung von Wasser aus Niederschlägen freihalten (§ 9 Abs. 1 Nr. 16 d BauGB).

Zusammen mit den bestehenden Festsetzungsmöglichkeiten von Grünflächen (§ 9 Abs. 1 Nr. 15 BauGB), Wasserflächen und Flächen für die Wasserwirtschaft (§ 9 Abs. 1 Nr. 16 a BauGB) sowie von Anpflanzungen und Bindungen für die Bepflanzung (§ 9 Abs. 1 Nr. 25 BauGB) lassen sich die meisten in Kapitel 3 beschriebenen Flächen und Maßnahmen, die zur dezentralen Bewirtschaftung des Regenwassers und zur Verdunstungskühlung beitragen, verbindlich auf den Baugrundstücken über einen Bebauungsplan absichern. Ergänzend können Maßnahmen, wie etwa die Pflege von Grünmaßnahmen oder der Betrieb von Bewässerungsanlagen, die aufgrund eines fehlenden bodenrechtlichen Bezugs nicht im Bebauungsplan festsetzbar sind, in einem städtebaulichen Vertrag zum Bebauungsplan geregelt werden.

---

*Planungshilfen und Musterfestsetzungen für die dezentrale Bewirtschaftung von Niederschlagswasser für Bebauungspläne entwickeln*

---

In der klimagerechten Siedlungsentwicklung wird Hitzevorsorge in einer guten Planungspraxis integriert mit geplant. Dies bedeutet, das Niederschlag entstehungsnah so lange wie möglich in der Landschaft zurückgehalten, genutzt, verdunstet und versickert werden sollte. Auch Maßnahmen zur Erhöhung der Verdunstung durch Rückhaltung gehören zu einer zeitgemäßen klimagerechten Planung. Dieses Vorgehen erleichtert Planungsprozesse und kann kostenreduzierend wirken.

Zahlreiche Kommunen verfolgen bereits das Ziel, anfallendes Regenwasser nach Möglichkeit am Ort der Entstehung und somit auf den Grundstücken zu belassen. Um dieses Ziel planerisch zu unterstützen hat beispielsweise die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen von Berlin auf ministerieller Ebene das Rundschreiben zum Umgang mit Niederschlagswasser in Bebauungsplänen in Berlin (Rundschreiben Nr. 4/2018) erlassen. Dieses Rundschreiben enthält u. a. Hinweise und Vorgaben für die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung als Teil der Klimaanpassung, Empfehlungen für die Erarbeitung von Entwässerungskonzepten und zum Umgang mit Starkregen, zeigt Festsetzungsmöglichkeiten im Bebauungsplan auf und formuliert Mustervorlagen für Festsetzungstexte und Begründungen.

Solche Planungshilfen für die verbindliche Bauleitplanung der Länder helfen den kommunalen Planungsträgern bei der Umsetzung von Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung. Neben den bereits in der Praxis üblichen Festsetzungen wie z. B. von Grünflächen und Pflanzbindungen sollten dabei auch neuere Maßnahmen wie beispielsweise Rückhalte- und Pflanzflächen für die Verdunstung (Wetlands), unter- und oberirdische Wasserspeicher, Wasser- und Brunnenanlagen zur Verdunstungsförderung, Retentions- und bewässerte Gründächer sowie Fassadenbegrünungen unterschiedlicher Qualitätsstandards usw. einbezogen werden.

Derzeit besteht in der Praxis die Hürde, wie städtebaulich begründet werden kann, dass ein Dach eine bestimmte Retentions- oder Verdunstungsleistung erreichen muss. Die Kommunen benötigen daher eine Hilfestellung, um die Ziele der Verdunstungskühlung in der verbindlichen Bauleitplanung zu verankern.

---

*Den Grünflächenfaktor in der Baunutzungsverordnung (BauNVO) verankern*

---

Die BauNVO sieht in § 17 Obergrenzen für die Bestimmung des Maßes der baulichen Nutzung in Form von Kennwerten für die Grundflächenzahl, Geschoßflächenzahl und Baumassenzahl für die unterschiedlichen Baugebiete vor. Analog hierzu wird empfohlen, auch einen Grünflächenfaktor (GFF) als Kennwert für Grünmaßnahmen in Baugebieten in der BauNVO neu einzufügen (zur Methodenentwicklung vgl. HE „Grünflächenfaktor“ unter Berücksichtigung der Wasserspeicherung und Verdunstungskühlung als Instrument entwickeln“). Rechtsgrundlage wären der Erhalt des natürlichen Wasserhaushaltes und die Verdunstungskühlung, die als neue Belange im Baugesetzbuch vorgeschlagen werden (siehe oben).

Der GFF sollte in Abhängigkeit von der baulichen Dichte und der Art der Bebauung als Mindestwert festgelegt werden. In verbindlichen Bauleitplänen würde dieser oder bei Bedarf auch ein höherer Wert festgesetzt werden. Der Vorteil des GFF gegenüber den Festsetzungen wie etwa zur Dach- und Fassadenbegrünung im Bebauungsplan, besteht darin, dass dieser Wert flexibel umsetzbar ist. Der Grundstückseigentümer könnte auf seinem Grundstück entscheiden, wie er den Wert über bodenbezogene,

gebäudebezogene, extensive oder intensive Maßnahmen umsetzt. Der GFF gibt damit zwar grundstücksbezogen einen Zielwert vor, die Umsetzung kann jedoch flexibel, auf die jeweilige Grundstückssituation bezogen, erfolgen. Die städtebauliche und architektonische Umsetzung würde durch eine Freiflächenplanung für das Baugrundstück erfolgen.

Je nach angestrebter baulicher Dichte wird mit dem GFF der Anteil an grünwirksamer Fläche auf einem Baugrundstück bestimmt. Die zulässige bauliche Nutzung wird durch den GFF grundsätzlich nicht eingeschränkt, es werden aber verbindliche Anforderungen an die Grünausstattung auf dem Baugrundstück gestellt.

---

*Das Thema „Kühlung“ in die Merkblätter und Normen der Straßenplanung aufnehmen*

---

Die Straßenräume der Städte, zu denen die linearen Straßenverkehrsflächen, die Stellplatzanlagen und auch die Stadtplätze zählen, sind aufgrund des hohen Versiegelungsgrades und der meist dichten Randbebauung Hitze-Hotspots der Städte. Die Aufteilung und Gestaltung dieser Flächen liegt in der Regel in der Zuständigkeit der öffentlichen Hand. Hierdurch sind die Relevanz und die Verfügbarkeit dieser Flächen für die Regenwasserbewirtschaftung grundsätzlich gegeben. Viele Experten der Wissenschaft und Praxis stufen das Potential von Straßenräumen für eine Integration von Regenwasserspeichern und Bepflanzungen für die Verdunstungskühlung als hoch ein.

Kommunen sollten daher gesamtstädtische Analysen durchführen, um diese Potentiale für die Verdunstung und Kühlung zu ermitteln und Konzepte für die Nutzung dieser Potentiale entwickeln. Hierbei sollte auch berücksichtigt werden, dass Verkehrsflächen für die Ableitung und die temporäre Zwischenspeicherung von Starkregen geeignet sein können. Die Schaffung von bepflanzten Regenwasserspeichern und der Einsatz von dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsmethoden im Straßenraum bewirken, neben der verstärkten Verdunstung, auch die Rückhaltung und einen verzögerten Abfluss der Niederschläge. Das Ziel, Regenwasser für die Verdunstungskühlung zu nutzen, unterstützt durch den Einsatz dieser Maßnahmen somit auch die städtische Überflutungsvorsorge.

Neben den bereits im Straßenbau zum Einsatz kommenden Versickerungseinrichtungen, wie bepflanzte Versickerungsmulden, kommen auch neuartige Module für die blau-grüne Straßengestaltung zum Tragen. Diese grünen und technischen Maßnahmen zielen darauf ab, ober- und unterirdische Regenwasserspeicher zu schaffen und den Pflanzflächen in den Straßenräumen auch in trockenen Perioden gespeichertes Wasser für die Verdunstung zuzuführen. Neuartige Elemente sind Wasserreservoirs, wie gedichtete Retentionsbecken mit verdunstungsstarken Bepflanzungen (Wetlands) sowie Baumrigolen mit ausreichendem Wurzelraum in Kombination mit lokalen Speichern für die Versorgung von Bepflanzungen in Trockenperioden. Die besondere Bedeutung von vitalen Straßenbäumen für die Kühlung der Städte wird durch deren kombinierte Wirkung aus Verdunstungsleistung und Schattenwurf unterstrichen, die der Aufheizung entgegenwirken (vgl. Kapitel 3 und 4).

Diese neuen Module sind bislang noch nicht in die Regelwerke der Straßengestaltung eingeführt, obwohl sie sich bereits bewährt haben. Insofern besteht ein erheblicher Entwicklungsbedarf, um solche Bepflanzungen und technischen Einrichtungen in den Regelwerken der Straßenraumgestaltung aufzunehmen und Standards für die Straßenplanung festzulegen, die die Verdunstungskühlung und Regenwassernutzung berücksichtigen. Der Ausbau der innerstädtischen Straßen ergibt sich insbesondere aus den Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt 06). Adressaten sind hier vor allem die Länder.

Wichtige weiterführende Erkenntnisse zu dieser Handlungsempfehlung werden von dem Forschungsprojekt „Blue-Green-Streets“ erwartet, das vom BMBF gefördert wird und im Jahr 2019 startet. Ziel ist es, Entwurfselemente für wassersensible und hitzeangepasste Straßen zu entwickeln.

---

*Anreize in Förderprogrammen, Bewertungsverfahren und durch Zertifizierung schaffen*

---

Anreize für die Umsetzung von Maßnahmen der Verdunstungskühlung auf öffentlichen und privaten Grundstücken sollten auf unterschiedlichen Ebenen geschaffen werden. In Kapitel 5.3 wird dazu die Honorierung von Maßnahmen der Verdunstungskühlung bei den Niederschlagswassergebühren genannt. Ein weiterer Ansatz ist die Aufnahme der Ziele und Maßnahmen der Verdunstungskühlung in kommunale Umweltentlastungsprogramme sowie Förderprogramme für Hof-, Dach- und Fassadenbegrünung, wie sie in vielen Bundesländern und Kommunen existieren.

Auch die Aufnahme in die Verfahren zur Bewertung der naturschutzrechtlichen Eingriffe und Ausgleichsmaßnahmen, die auf Ebene von Bund, Länder und Kommunen existieren, würde Anreize für die Umsetzung schaffen. Hierdurch würden vermehrt Maßnahmen der Verdunstungskühlung als Kompensationsmaßnahmen in Bauleitplanungs- und Planfeststellungsverfahren zur Anwendung kommen. Die Verfahren der Eingriff-Ausgleich-Bewertung gehen auf den Aspekt der Verdunstungskühlung bisher nicht ausreichend ein.

Weitere Anreize können die Einführung bzw. Anpassung von Zertifizierungssystemen schaffen. Der Vergleich existierender Green-Building-Zertifikate<sup>2</sup> zeigt hier unterschiedliche Ansätze. Die Verdunstungskühlung ist bisher kein zentrales Kriterium für die Nachhaltigkeit. Durch ein Zertifizierungssystem, das die Verdunstung als ein wesentliches Qualitätsmerkmal berücksichtigt, könnten Anforderungen genauer und einheitlich definiert werden. Gleichzeitig würden mit der Zertifizierung Immobilien in Bezug auf die Nachhaltigkeit und ihre ökologische Leistungsfähigkeit „gelabelt“ werden.

## **5.5 Weitere Forschungsbedarfe (Grundlagenforschung)**

---

*Verdunstungsleistungen ermitteln*

---

Im Leitfaden zur Einbindung der Kühlleistung von Böden in stadtklimatische Konzepte in NRW (LANUV-Arbeitsblatt 29 2015) wird das Potential der Böden für die Kühlung aufgezeigt. Ein Potential von grünen Maßnahmen wurde auch in den Experteninterviews benannt, insbesondere auch in den vertikalen Flächen (Fassadenbegrünung und Baumpflanzungen). In dem vorliegenden Forschungsprojekt wurden die Potentiale der Verdunstungskühlung auf der Ebene der Gebäude, des Stadtquartiers und der Gesamtstadt bestätigt.

Zur tatsächlichen Verdunstungsleistung blau-grüner Strukturen und Maßnahmen im urbanen Raum sowie zur Eignung verschiedener Pflanzenarten liegen jedoch nur wenig systematische Untersuchungen vor. Um einen Maßnahmen- und Pflanzenkatalog (vgl. Kapitel 5.2 HE „Pflanzen- und Maßnahmenkatalog zur Verdunstungsleistung erarbeiten“) als Hilfswerkzeug für die Planung zu entwickeln, sind deshalb konkrete Untersuchungen und Aussagen zur Leistungsfähigkeit und zum Wirkungsgrad der unterschiedlichen Maßnahmen und Bepflanzungen notwendig.

---

<sup>2</sup> z. B. das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), das DGNB System der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen oder das amerikanische System LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), das Maßstäbe für ökologisch extrem leistungsstarke Gebäude beschreibt.

---

### *Kühleffekte auf Quartiers-/Stadtebene ermitteln*

---

Aufgrund von fehlenden Messwerten ist es schwierig das Potential der Verdunstungskühlung auf Quartiers- und Stadtebene abzuschätzen. Auch die Modellanwendung findet noch zu selten statt oder wird oft ohne einen genauen Messabgleich durchgeführt. Erschwerend kommt hinzu, dass Messwerte der Gebäudeebene nicht linear auf das Quartier übertragen werden können. Ähnliches gilt für die gesamtstädtische Ebene. Abhilfe würden wissenschaftliche Begleitstudien von Bauprojekten in Form von Messkampagnen und Modellsimulationen inklusive eines Umsetzungsmonitorings schaffen.

---

### *Praktikable Berechnungsverfahren entwickeln*

---

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts verdeutlichen, dass die Verdunstungskühlung schwierig zu bemessen ist und nur eine geringe Anzahl an systematisch durchgeführten Versuchen vorhanden ist. Um die Leistungsfähigkeit verschiedener Maßnahmen zu quantifizieren, werden zeitnah pragmatische Ansätze zur Verdunstungsberechnung begrünter Anlagen benötigt. In einzelnen Projekten wurde bisher der Energieverbrauch für die Verdunstung als Vergleichswert ermittelt.

---

### *Neue Ansätze für die Speicher-Bemessung*

---

Eine Erhöhung der Verdunstungsleistung setzt eine ausreichende Wasserzufuhr für die Bepflanzung auch über längere Trockenzeiten voraus. Es besteht ein Entwicklungsbedarf für Speicherbausteine, die anders als die bisher in der Siedlungswasserwirtschaft üblichen Retentionsräume nicht nur kurze Regen zwischenspeichern, sondern auch mehrere Wochen oder sogar Monate (Saisonalspeicher, Jahrespeicher) Wasser vorhalten können. In Frage kommen dabei sowohl technische Speicher (z. B. Zisternen), Bausteine einer Dachbegrünung, als auch Bodenspeicher. Ggf. sind Nachspeisemöglichkeiten vorzusehen. Neben der Leistungsfähigkeit solcher Speicher sollten auch die Anwendungsbereiche (Straße, Dächer, Freiflächen) und der notwendige Aufwand für die Unterhaltung und Bewirtschaftung aufgezeigt werden.

Im Zuge dessen werden auch neue Bemessungsansätze für Speicher in der Siedlungswasserwirtschaft benötigt. Die Bemessungswerkzeuge sind grundsätzlich vorhanden. Eine Langzeitsimulation wird als notwendig erachtet. Klimadaten (Niederschläge, potentielle Verdunstung) sind in Deutschland ebenfalls in ausreichender Güte frei verfügbar (vgl. Kapitel 5.2 HE „Modellierungswerkzeuge um Verdunstungsbausteine erweitern“).

---

### *Unklarheiten in der Schadstoffanreicherung durch Niederschlagswasserabflüsse beseitigen*

---

Um Bäume zu bewässern und darunterliegende Regenwasserspeicher zu befüllen, ist es nötig, Niederschlagsabflüsse in die bewachsenen Grünflächen einzuleiten. Bei dieser Einleitung stellt oft die potentielle Schadstoffanreicherung ein Hemmnis dar. Zur Überwindung bedarf es konkrete Untersuchungen und verifizierte Restriktionen zur Einleitung von Niederschlägen in Grünflächen.

---

*Negative humanbioklimatische Effekte von urbaner Verdunstung (Schwüle) erforschen*

---

Während trocken-heißen Witterungsabschnitten kann die Verdunstungskühlung einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung des Hitzestresses in der Stadtbevölkerung leisten. Inwiefern und unter welchen Bedingungen sich eine signifikant erhöhte Verdunstung ggf. auch negativ auf das thermische Wohlbefinden auswirken kann (Belastung durch „Schwüle“), ist hingegen bislang noch weitgehend unerforscht. Entsprechende Forschungsaktivitäten sollten mit dem Ziel einer ganzheitlichen Betrachtung von urbaner Verdunstung initiiert werden.

## 6 Quellenverzeichnis

- Arc GIS Online (2018): World topographic map, Esri, HERE, Garmin, Intermap, INCREMENT P, GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), swisstopo, © OpenStreetMap contributors, GIS User Community.
- DWA (2005): DWA-A 138 – Planung und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. Hennef.
- DWA (2006): DWA-A 100 Leitlinien der integralen Siedlungsentwässerung (ISiE). Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. Hennef.
- DWA (2012): DWA-M 512 – Dichtungssysteme im Wasserbau. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. Hennef.
- DWA (2016): DWA-A 102 Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. Hennef.
- DWA (2018): DWA-M 504-1 Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen – Teil 1. Grundlagen, experimentelle Bestimmung der Landverdunstung, Gewässerverdunstung. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. Hennef.
- DVWK (1996): DVWK-M 238 Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau. Bonn.
- DVWK (2002): DVWK-M 504 Verdunstung in Bezug zu Landnutzung, Bewuchs und Boden. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau. Hennef.
- Eiband, Werner (2004): Modellraumprüfstand mit dynamischer Simulation klimatischer Einflussfaktoren zur Untersuchung von Raum-Heizsystemen, PhD Thesis, Technische Universität München.
- FLL (2014): Gebäude Begrünung Energie - Potenziale und Wechselwirkungen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau. Bonn.
- FLL (2015): Forschungsbericht Wandgebundene Begrünungen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau. Bonn.
- FLL (2017): Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von privaten Schwimm- und Badeteichen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau. Bonn.
- FLL (2018): Dachbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Bau und Instandhaltungen von Dachbegrünungen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau. Bonn.
- FLL (2018): Fassadenbegrünungsrichtlinien – Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau. Bonn.
- Früh B., Becker P., Deutschländer T., Hessel J.-D., Kossmann M., Mieskes I., Namyslo J., Roos M., Sievers U., Steigerwald T., Turau H., Weinert U. (2011): Estimation of climate change impacts on the urban heat load using an urban climate model and regional climate projections, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 50, No. 1, 167-184.
- Groß, Günter (1994): ASMUS - Ein numerisches Modell zur Berechnung der Strömung und der Schadstoffverteilung im Bereich einzelner Gebäude. I: Das Strömungsfeld, *Meteorologische Zeitschrift*, 3, 267-274.
- Groß, Günter (2002): The exploration of boundary layer phenomena using a nonhydrostatic mesoscale model, *Meteorologische Zeitschrift*, 11, 295-302.
- Groß, Günter (2012): Effects of different vegetation on temperature in an urban building environment. Micro-scale numerical experiments, *Meteorologische Zeitschrift*, 21, 399-412.
- Günther, Robert (2014): The role of soil water content for microclimatic effects of green roofs and urban trees – a case study from Berlin, Germany, *Journal of Heat Island Institute International*, 9-2.
- Günther, Robert (2015): Einfluss des Klimawandels auf das Stadtklima und die thermische Behaglichkeit - eine Fallstudie für Berlin, Poster, 10. Deutsche Klimatagung, 21. - 24. September 2015, Hamburg, Deutschland.

INKAS: Informationsportal Klimaanpassung in Städten. [www.dwd.de/DE/leistungen/inkas/inkasstart.html](http://www.dwd.de/DE/leistungen/inkas/inkasstart.html). Aufgerufen am 02.01.2019.

LANUV-Arbeitsblatt 29 (2015): Kühlleistung von Böden. Leitfaden zur Einbindung in stadtklimatische Konzepte in NRW. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. Recklingshausen.

LUBW (Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg) (2017): Planungsempfehlungen für die (stadt-) klimawandelgerechte Entwicklung von Konversionsflächen – Modellvorhaben Heidelberg, KLIMOPASS.

Matzinger, A., Riechel, M., Remy, C., Schwarzmüller, H., Rouault, P., Schmidt, M., Offermann, M., Strehl, C., Nickel, D., Sieker, H., Pallasch, M., Köhler, M., Kaiser, D., Möller, C., Büter, B., Leßmann, D., von Tils, R., Säumel, I., Pille, L., Winkler, A., Bartel, H., Heise, S., Heinzmann, B., Joswig, K., Rehfeld-Klein, M., Reichmann, B. (2017) Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS. Berlin.

Pallasch, Matthias (2017): Baum-Rigolen. [www.sieker.de/de/fachinformationen/article/baum-rigolen-381.html](http://www.sieker.de/de/fachinformationen/article/baum-rigolen-381.html). aufgerufen am 27.12.2017.

Pfafferott, J., Becker P. (2008): Erweiterung des Hitzewarnsystems um die Vorhersage der Wärmebelastung in Innenräumen. Bau-physik 30.

SenStadtUm Berlin/bgmr (2016): Stadtentwicklungsplan Klima KONKRET. Klimaanpassung in der Wachsenden Stadt. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt/bgmr Landschaftsarchitekten GmbH. Berlin.

Sieker, F., Zweynert U., Sieker H. (2006): Zielgrößen und Anforderungen an zukünftige Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen in Neubau-, Erweiterungs- und Sanierungsgebieten, Teil I: Die Jahreswasserbilanz als maßgebendes Planungskriterium, GWF, 147 (2006) Nr. 10, S. 658-667.

von Tils, Robert (2017): Effect of trees and greening of buildings on the indoor heating and cooling load - microscale numerical experiment, Journal of Heat Island Institute International, 12-2.

WHG (2009): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz) vom 31.07.2009 (BGBl. I S. 2585).

## 7 Anhang

## 7.1 Interviewleitfaden

### Ziele und angestrebte Ergebnisse des Forschungsvorhabens

Im Fokus des Forschungsvorhabens steht die Untersuchung der Potentiale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in Städten. Die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung kann einen wichtigen Beitrag zu einer intelligenten dezentralen Regenwasserbewirtschaftung für die Verbesserung der Wasser- und Energiebilanz sowie zur Minderung negativer Hitzeinseleffekte in den Städten leisten. Damit werden die folgenden zwei Handlungsfelder der Wasserwirtschaft, Klimaanpassung und Stadtplanung berührt, denen konkrete Ziele zugeordnet werden:

- ▶ Handlungsfeld „wassersensible Stadtentwicklung“ mit den Teilzielen Überflutungsvorsorge, Vermeidung von Belastungen der Oberflächengewässer, Grundwasseranreicherung und Verdunstung, um den urbanen Wasserhaushalt dem eines unbebauten Zustandes anzunähern
- ▶ Handlungsfeld „hitzeangepasste Stadt“ mit dem Ziel der Kühlung der Stadt, der Stadtquartiere und der Gebäude, um ein gesundes Stadtklima zu sichern

Diese beiden Handlungsfelder stehen in einer engen Wechselbeziehung, denn das Regenwasser wird als Ressource verstanden, die zur Kühlung und damit zur Hitzeanpassung der Städte beiträgt. Mit dem Begriff der ‚Schwammstadt-Strategie‘ wird dieses Wechselspiel beschrieben.

Mit dem Forschungsvorhaben sollen mögliche Techniken und Verfahren, die Niederschlagswasser zur Verdunstungskühlung nutzen, analysiert sowie deren Leistungsfähigkeit bewertet werden. Dazu werden Techniken und Verfahren zur Gebäudekühlung sowie zur Reduzierung von Hitzeinseleffekten auf Quartiersebene, jeweils mittels Nutzung von Niederschlagswasser, recherchiert und genauer betrachtet. Anhand von Fallbeispielen werden die Kühleffekte und Einsatzmöglichkeiten ausgewählter Techniken und Verfahren untersucht und es wird der Einfluss und das Potential auf die lokale Wasserbilanz unter den in Deutschland gegebenen klimatischen Bedingungen ermittelt. Es soll eine Schätzung generiert werden, ob und in welchem Umfang diese Techniken einen Beitrag zum Klimaschutz durch die Minderung von Treibhausgasen leisten können. Außerdem sollen im Ergebnis Handlungsempfehlungen für die Bundesebene, die kommunale Ebene und die Wissenschaft zur Verstärkung des Einsatzes der Regenwasserkühlung abgeleitet werden.

### Analyse der Techniken und Verfahren, Evaluierung durch Experteninterviews

Der erste Baustein des Forschungsvorhabens beinhaltet eine Internet- und Literaturlauswertung der Techniken und Verfahren zur Verdunstungskühlung, die in Deutschland und klimatisch vergleichbaren Regionen in Europa Anwendung finden. Dazu werden die klimatischen, wasserwirtschaftlichen und städtebaulichen Erfordernisse und geeigneten Rahmenbedingungen für eine Kühlung mit Regenwasser berücksichtigt, wie beispielsweise die Bebauungsdichte, Niederschläge, Wärmeverteilung, Gebäudetyp, -größe, Dachfläche etc. Für die Recherche ist vorgesehen sowohl Forschungsprojekte als auch bereits durchgeführte (Bau-)Projekte heranzuziehen.

Die Ergebnisse sollen durch Experteninterviews abgesichert werden. Geplant ist, 15-20 Interviews mit Experten aus den Fachverbänden, Kommunen, Industrie/Gewerbe und der Wissenschaft zu führen (hiervon 10-15 in Deutschland, 3-5 in Europa).

Der nachfolgende Interviewleitfaden dient der Vorbereitung dieser Expertengespräche. Er soll deutlich machen, welche Schlüsselfragen bei den Gesprächen im Mittelpunkt stehen werden. Wir verstehen den Leitfaden zur Vorbereitung einer teilstandardisierten Befragung, die je nach Arbeitsschwerpunkt des Interviewpartners und Verlauf variiert werden kann.

Die Ergebnisse der Expertengespräche werden dokumentiert und münden in Empfehlungen zum weitergehenden Handlungsbedarf. Zusätzlich soll für die Forschungs- und (Bau-)Projekte ein Kurzsteckbrief erstellt werden, der wesentliche Projektaspekte in einheitlicher Grundstruktur darstellt.

## 7.2 Leitfragen für die Experteninterviews

### Projektcharakter und Bezug zum Forschungsvorhaben

- ▶ Welche Rolle spielen in ihrem Projekt/Arbeitsumfeld die Zielstellungen, einer möglichst wassersensiblen und hitzeangepassten Stadt?
- ▶ Welche Rolle spielt dabei, das Regenwasser zur Verdunstungskühlung zu nutzen? Für wie bedeutsam halten sie diesen Ansatz? (Schwammstadt)
- ▶ Wie werden in ihrem Projekt/Arbeitsumfeld die oben skizzierten Handlungsfelder und Ziele zur wassersensiblen und hitzeangepassten Stadtentwicklung umgesetzt und gefördert? In welchen Punkten gibt es ggf. andere Zielstellungen oder Konflikte?
- ▶ An welche Adressaten richtet sich ihr Projekt? Welche Ergebnisse liegen bereits vor oder sind demnächst zu erwarten? Welche wissenschaftliche Begleitung erfolgte in Ihrem Projekt?
- ▶ Ggf. Nachfragen zur Projektdurchführung und zu den Inhalten (siehe Steckbrief)

### Bewertung der Leistungsfähigkeit – Was bringt die Verdunstungskühlung?

- ▶ Wie bewerten Sie die Wirkung/Leistungsfähigkeit des Konzeptes/ihrer bereits realisierten Projekte insgesamt und wie stufen sie die erzielten Effekte in Bezug auf die Verdunstungskühlung und Verbesserung der lokalen Wasserbilanz ein?
- ▶ Ließe sich die Leistungsfähigkeit aus ihrer Sicht z. B. durch die Erschließung zusätzlicher Flächenpotentiale oder durch verbesserte Techniken und Verfahren steigern? Wenn ja, durch welche?
- ▶ Wie schätzen Sie die Potentiale der Nutzung von Regenwasser für die Verdunstungskühlung insgesamt ein:
  - für einzelne Gebäude und das Gebäudeumfeld?
  - für die Quartiersebene?
  - für die Gesamtstadt?
- ▶ Wie schätzen sie den Umfang ein, den die Techniken und Verfahren zur Verdunstungskühlung zum Klimaschutz durch die Minderung von Treibhausgasen beitragen können? Gibt es hierzu in ihrem Projektzusammenhang genauere Ergebnisse?

### Einsatz von Techniken und Verfahren

- ▶ Welche Techniken und Verfahren tragen in ihrem Projekt dazu bei, Niederschlagswasser für eine Verdunstungskühlung zu nutzen?
- ▶ Wie funktionieren diese Techniken und Verfahren und für welche Anwendungsbereiche kommen diese Techniken und Verfahren zum Einsatz (z. B. Kühlung von Gebäuden, Kühlung des unmittelbaren Gebäudeumfelds, Reduzierung von Hitzeinseleffekten auf Quartiersebene oder für die Gesamtstadt)?
- ▶ Wo sehen sie noch Entwicklungsbedarf, um die Strategie der Schwammstadt umzusetzen?
- ▶ Welcher Mehrwert/und Synergien werden mit den Techniken und Verfahren für die Kühlung der Städte durch Verdunstung erreicht? Werden zusätzliche positive Effekte auch für andere Stadtentwicklungsziele wie z. B. die Erholung, Stadtbild oder Biodiversität erreicht? Wenn ja, welche und wie?
- ▶ Was ist in Bezug auf die Verdunstungskühlung und die Zielstellung einer ausgeglichenen Wasserbilanz Stand der Technik?
- ▶ Wie ließen sich die Techniken und Verfahren optimieren? Wo sehen Sie hier wichtige Stell-schrauben? (Formen der Wasserspeicherung, bauliche Dichten, bauliche Umsetzung usw.)

### **Verankerung und Umsetzung in der Stadtentwicklung**

- ▶ Welche Strategien und Techniken sind erforderlich, um auf der kommunalen Ebene für das Thema Kühlung durch die Nutzung von Regenwasser stärker zu sensibilisieren? Welcher Bedarf an Informations- und Beratungsangeboten besteht in den Kommunen?
- ▶ Wie werden Techniken und Verfahren in informelle und verbindliche Stadtentwicklungsplannungen verankert (FNP, B-Plan)?
- ▶ Wie gelingt eine integrierte Planung unter Einbindung anderer relevanter Bereiche/ Akteure? Benötigen wir mehr experimentelle Pilotprojekte zum ‚Lernen und Erproben‘ oder eher neue technische Ausführungsvorschriften?
- ▶ Wie kann der Bund mit seinen Instrumentarien durch Informationen, Wissenstransfer und ggf. auch durch rechtliche Rahmenregelungen beitragen?
- ▶ Reichen die bestehenden rechtlichen Grundlagen und Normen für die oben beschriebenen Handlungsfelder mit ihren Zielen aus? Werden weitere untergesetzliche Regelungen benötigt und wenn ja, welche?

### **Erfolgsfaktoren, Hemmnisse, Handlungsbedarf und gute Beispiele**

- ▶ Was sind die wesentlichen Erfolgsfaktoren und Hemmnisse für die Entwicklung und Umsetzung von Vorsorgeprojekten?
- ▶ Welcher Handlungsbedarf besteht auf der Ebene der Wissenschaft, Forschung und kommunalen Praxis (z. B. Wissenslücken, Informationstransfer, Zusammenarbeit, ...)? Welche Spielräume für die Erprobung und Realisierung sind ggf. notwendig?
- ▶ Können Sie weitere gute Anwendungsbeispiele bzw. Forschungsprojekte zur Wasserrückhaltung und Verfügbarmachung von Regenwasser für die Verdunstung und Kühlung in den Städten benennen (z. B. Gebäudebegrünung, wassergebundene Oberflächen, Feuchtgebiete, Urban Wetlands, blaue Strukturen in Straßenräumen und Freiflächen)?

## 7.3 Auswertung der Interviews

Die Auswertung der Interviews gliedert sich nach den Schwerpunkten des Interviewleitfadens. Markante Thesen wurden für eine bessere Übersichtlichkeit hervorgehoben.

### 7.3.1 Projektcharakter und Bezug zum Forschungsvorhaben

Der erste Schwerpunkt sollte Klarheit darüber verschaffen, welchen Bezug die Interviewpartner zum Forschungsvorhaben besitzen. Die Antworten wurden in den folgenden Schwerpunkten mit berücksichtigt und in die jeweiligen Projektsteckbriefe eingearbeitet (vgl. Anhang 7.4).

### 7.3.2 Bewertung der Leistungsfähigkeit – Was bringt die Verdunstungskühlung?

Der zweite Schwerpunkt zielte auf die Wirkung/ Leistungsfähigkeit des Konzeptes ab. In Zusammenhang der Fallstudienanalyse des vorliegenden Forschungsprojektes (vgl. Kapitel 4) sollten die Potentiale der Nutzung von Regenwasser für die Verdunstungskühlung für einzelne Gebäude, für die Quartiersebene und für die Gesamtstadt eingeschätzt werden. Zusätzlich wurden die Interviewpartner gebeten den Umfang, den die Techniken und Verfahren zur Verdunstungskühlung zum Klimaschutz durch die Minderung von Treibhausgasen beitragen können, einzuschätzen.

#### *Schwierige Quantifizierung der Leistungsfähigkeit*

Die allgemeine Kühlwirkung durch die Verdunstung ist physikalisch belegt und wurde von allen Interviewpartnern bestätigt. Vor allem auf Gebäudeebene war sich die Mehrheit darüber einig, dass ein deutliches Potential zur Nutzung von Regenwasser für die Verdunstungskühlung im Außenraum besteht. Bezüglich der Quartiersebene waren die Aussagen der Interviewpartner nicht so eindeutig. Laut Interviewpartnern aus der Forschung ist ein Potential vorhanden. Es ist jedoch schwierig, dieses Potential aufgrund von fehlenden Messwerten abzuschätzen. Aufgrund fehlender linearer Zusammenhänge können die Messwerte der Gebäudeebene nicht auf das Quartier übertragen werden. Ähnliches gilt für die gesamtstädtische Ebene.

In den Interviews wurde deutlich, dass durch die schwierige Bemessung der Verdunstungskühlung und eine geringe Anzahl an systematisch durchgeführten Versuchen die Leistungsfähigkeit zu diesem Zeitpunkt noch schwierig zu quantifizieren ist. In einzelnen Projekten wurde der Energieverbrauch für die Verdunstung als Vergleichswert ermittelt (z. B. ahu AG Herr Kastler, TU Berlin Marco Schmidt).

Insgesamt ist die Verdunstungsleistung von zahlreichen Faktoren abhängig (Böden, Vegetation, Temperaturen, Verfügbarkeit von Wasser usw.). Interessant wäre eine Zusammenstellung von Flächenmodulen, die hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit beschrieben werden.

Das Leitthema Schwammstadt ist neu, daher sind die Effekte noch nicht hinreichend in der Praxis angekommen.

Auf die Nachfrage zum Thema Klimaschutz durch die Minderung von Treibhausgasen ist festzustellen, dass Klimaanpassung und Klimaschutz zwei sehr unterschiedliche Aufgabenfelder sind und die von uns interviewten Experten zum Thema Klimaanpassung, aber nicht zum Klimaschutz aussagefähig sind.

### 7.3.3 Einsatz von Techniken und Verfahren

Der dritte Schwerpunkt bezog sich auf die vorhandenen Techniken und Verfahren. Die Interviewpartner wurden hinsichtlich Funktionsweise, Entwicklungsbedarf, zusätzliche positive Effekte, Stand der Technik und Optimierungsmöglichkeiten befragt.

*Es besteht eher Untersuchungsbedarf der Eignung und Wirkung und kein Entwicklungsbedarf. Es bestehen in der Praxis allerdings große Vorbehalte gegenüber dem ‚Neuem‘, das nicht den gängigen Normen entspricht.*

Mehrere Interviewpartner konnten bereits einzelne Techniken und Verfahren für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung benennen. Bei genauer Nachfrage stellte sich allerdings heraus, dass bei den Projekten immer die ökologisch optimierte Ableitung und Versickerung im Fokus standen. Die Verdunstung ist ‚Beiwerk‘.

Projekte, die die Verdunstung als wesentliches Ziel der Regenwasserbewirtschaftung benennen, sind nicht gängige Praxis (Ausnahmen z. B. SchumacherQuartier Berlin, Buckower Felder Berlin, Physikgebäude Berlin Adlershof),

Um die Umsetzung in der Praxis zu fördern, bedarf es der Aufnahme der Verdunstung in Gesetze und Regelwerke (z. B. der Wasserwirtschaft, Straßenplanung, Bauordnung).

Im Detail stellte sich jedoch heraus, dass es noch viele offene Fragen bzgl. Eignung und Wirksamkeit zu diesen Techniken und Verfahren gibt:

- ▶ Wieviel Wasser muss wann zur Verfügung stehen?
- ▶ Was sind gute (bezahlbare) Speicher?
- ▶ Welche Bodensubstrate sind gut für die Speicherung? Was leisten unterschiedliche Stadtböden?
- ▶ Welche Pflanzen (Bäume, Gräser) sind besonders gut geeignet (Verträglichkeit von Überstauung/ Trockenheit; Leistungsfähigkeit)?
- ▶ Welcher Flächenbedarf besteht für wirksame ‚Kühlelemente‘?
- ▶ Sind mehrere kleinere oder eine große Fläche wirksamer?

Im Ergebnis wurde deutlich, dass in Bezug auf die Klimaanpassung bereits zahlreiche Leitfäden und Handreichungen vorliegen, diese decken allerdings nicht das Ziel der Kühlung durch Verdunstung auf der Umsetzungsebene ab.

#### **7.3.4 Verankerung und Umsetzung in der Stadtentwicklung**

Im vierten Schwerpunkt wurde nach möglichen Strategien und Techniken auf kommunaler Ebene zur Sensibilisierung des Themas Verdunstungskühlung gefragt. Ebenfalls sollten die Interviewpartner erläutern, wie Techniken und Verfahren in der Stadtentwicklungsplanung verankert werden und ob die rechtlichen Grundlagen und Normen für die Handlungsfelder ‚wassersensible Stadtentwicklung‘ und ‚hitzeangepasste Stadt‘ ausreichen.

Ein Großteil der Interviewpartner bestätigte, dass in Bezug auf das Handlungsfeld der wassersensiblen Stadtentwicklung umfangreiches Wissen vorhanden ist. Konzepte, Strategien und Regelwerke liegen bereits vor, allerdings fehlt der Vollzug noch. In Bezug auf das Handlungsfeld der ‚hitzeangepassten Stadt‘ bestehen auf allen Ebenen noch erhebliche Defizite:

- ▶ Im Baugesetzbuch, im Bodenschutzgesetz und im Wassergesetz ist das Thema Kühlung und Verdunstung nicht als Ziel verankert. Damit diese Belange eine größere Rolle spielen, wäre eine gesetzliche Erwähnung hilfreich.
- ▶ Technische Ausführungsvorschriften (z. B. DWA-Merkblätter, DIN-Normen usw.) thematisieren die Verdunstungskühlung bisher nicht. Eine Verankerung wäre hilfreich, damit in der Praxis Grundsatzdiskussionen vermieden werden.
- ▶ Die vorhandenen Instrumente auf der Ebene der Regional- und Bauleitplanung sind noch lange nicht ausgenutzt. In der Regionalplanung können Vorranggebiete der Klimaanpassung ausgewiesen werden, im FNP solche Gebiete dargestellt werden, im Bebauungsplan Maßnahmen der Kühlung festgesetzt werden. Hierzu bedarf es 1. der fachlichen und rechtlich machbaren Vorschläge und 2. den fachpolitischen Willen, dieses auch zu tun. (z. B. Musterfestsetzungen zur Hitzevorsorge und Kühlung für die Bauleitplanung)

- ▶ Niederschlagswasserverordnungen der Städte beinhalten bisher keine Regelungen (Belohnungen) für die Verdunstungskühlung. Es wäre hilfreich, wenn Sekundäreffekte der Regenwasserbewirtschaftung in Bezug auf ‚Hitzevorsorge‘ sich in den Gebührenverordnungen abbilden würden.
- ▶ Für größere städtebauliche Vorhaben werden in der Regel Master- und Rahmenpläne für die städtebaulich-freiräumliche Entwicklung aufgestellt (häufig im Rahmen von Wettbewerben). Es wird ein Instrument der Klimaanpassungsplanung in dieser frühen Phase für erforderlich gehalten, über das Leitbilder, Ziele, Maßnahmen und Flächen der Klimaanpassung formuliert werden. In Berlin wurde der ‚Leitplan Regenwasserbewirtschaftung und Hitzeanpassung‘ für das Schumacher Quartier in Berlin Tegel als informelles Instrument erarbeitet. Über diesen Leitplan werden die Belange der Hitzeanpassung in die städtebauliche Rahmenplanung integriert.
- ▶ Zur Stärkung der Hitzevorsorge können bei städtebaulich-freiräumlichen Wettbewerben entsprechende Vorgaben in der Auslobung genannt werden. Damit wäre zumindest ein erster Schritt gesetzt. Nachträglich sind die Inhalte der Hitzeanpassung schwieriger zu integrieren.
- ▶ Instrumente, die vergleichbar dem Biotopflächenfaktor Berlin (BFF) quantitative Anforderungen an den Anteil an naturhaushaltswirksamen Flächen in einem Baugebiet stellen, könnten auch Vorbild für die Hitzevorsorge sein. Es wird grundstücksbezogen festgelegt, wieviel klimawirksame Flächen auf einem Grundstück vorhanden sein müssen. Wie diese umgesetzt werden, wäre dann die nächste Plankonkretisierung. Über Landschaftspläne oder Text-Bebauungspläne können diese Anforderungen verbindlich geregelt werden.
- ▶ Insgesamt wird die Kombination aus formellen und informellen Instrumenten für wichtig erachtet.

### 7.3.5 Erfolgsfaktoren, Hemmnisse, Handlungsbedarf und gute Beispiele

Abschließend sollten im fünften Schwerpunkt Erfolgsfaktoren und Hemmnisse sowie der Handlungsbedarf auf der Ebene der Wissenschaft, Forschung und kommunalen Praxis erläutert werden.

Als wesentliche Erfolgsfaktoren und Hemmnisse sowie bestehender Handlungsbedarf für die Entwicklung und Umsetzung von Projekten im Rahmen der Verdunstungskühlung wurden folgende Punkte genannt:

#### *Erfolgsfaktoren*

- ▶ Interdisziplinäre Zusammenarbeit (zwischen Immobilienwirtschaft, Architekten, Stadtplanung, Verkehrsplanung, Landschaftsplanung, Bodenschutz, Wasserwirtschaft). Solche Zusammenarbeit muss eingefordert werden und verpflichtend umgesetzt werden (z. B. im Rahmen von Wettbewerben).
- ▶ Bereitschaft auf politischer Ebene und bei den Investoren: Hierzu bedarf es der Aufklärung, Information (Freiwilligkeit) und auch Vorgaben auf der gesetzlichen Ebene oder z. B. auch durch die Landes- und Regionalplanung.
- ▶ Akzeptanz in der Bevölkerung: Hierzu bedarf es der Information auf unterschiedlichen medialen Ebenen und gute Beispiele mit Vorbildcharakter.
- ▶ Anreize durch Zertifizierung: Mit der Zertifizierung von Gebäuden und Stadtquartieren in Bezug auf die Nachhaltigkeit werden Immobilien ‚gelabelt‘. Zertifizierung wie z. B. DGNB haben die Hitzevorsorge bisher nicht als Kriterium. Wenn diese aufgenommen würden, wäre dieses Thema mit aufgerufen.
- ▶ Best-Practice Beispiele / Pilotprojekte als Vorbildfunktion
- ▶ Technische Ausführungsvorschriften
- ▶ Überzeugungsarbeit: wichtig sind vergleichende Kostenberechnungen (Langzeitkosten)

- ▶ Publikationen, die das Thema Hitzeanpassung konkret behandeln, sind hilfreich, wenn die Umsetzung mit ausgearbeitet wird.

#### *Hemmnisse*

- ▶ Unzureichende Basiskenntnisse/ Grundlagen vorhanden, z. B. genaue Kenntnisse über die Kühlwirkung von Flächen mit unterschiedlichen Vegetationstypen und Bodensubstraten
- ▶ Es gibt bisher keine ‚bekannten‘ guten Referenzen einschließlich der Untersuchung der Wirkungen, die in der Praxis angeschaut werden können.
- ▶ Feuerwehr als Hemmnis (Brandschutz, keine Bewilligung von Alleen)
- ▶ Im Straßenraum wird das Thema „Kühlung“ noch zu wenig umgesetzt. Die Straßenplanung hat die Hitzevorsorge nicht in den einschlägigen Merkblättern, Normen usw.

#### *Handlungsbedarf*

- ▶ Politische Vorgaben sind wichtig: z. B. Abkoppelung von der Kanalisation in Berlin - jährlich 1 Prozent
- ▶ Die natürliche Wasserbilanz als Zielgröße muss verstärkt implementiert werden!
- ▶ Entwicklung von handhabbaren Bewertungsfaktoren (vergleichende Bewertung von Varianten); Hierbei sind nicht nur die Faktoren Wasser, Hitze und Kosten wichtig, sondern auch Vorteile wie Biodiversität und Nutzungsqualität.
- ▶ Verankerung der Verdunstung/ Kühlung im BauGB, Wassergesetz und Bodenschutzgesetz
- ▶ Stärkere Sensibilisierung der Politik, Verwaltung und Bevölkerung für das Thema ‚Schwammstadt‘
- ▶ Schaffung von mehr Kostensicherheit durch modellhafte Vergleichsrechnungen
- ▶ Forschungsbedarf besteht insbesondere in Bezug auf die geeigneten Module der Kühlung in der Stadt (Was bringt welcher Flächentyp, welche Böden, welche Vegetationszusammensetzung und die Wasserspeicherung?) sowie deren Wirksamkeit in Bezug auf die Kühlung

#### **7.3.6 Fazit der Interviews**

- ▶ Die Überhitzung (Verdunstungskühlung) darf nicht vernachlässigt werden, auch wenn diese Problematik nicht so gut sichtbar ist, wie die der Überschwemmung.
- ▶ Das Dogma der Ableitung und Versickerung zu Gunsten der Verdunstung aufzubrechen ist eine Herausforderung!
- ▶ Verdunstungskühlung ist in der Stadtentwicklung ein neues Thema. Daher sind die Wissensstände noch sehr unterschiedlich. Es muss viel Überzeugungsarbeit geleistet werden.
- ▶ Die Instrumente sind zum Teil bereits vorhanden, diese müssen jedoch mit ‚Leben‘ gefüllt werden. Neue Instrumente sind erforderlich, um die Umsetzung stärker voranzutreiben.

## 7.4 Projektsteckbriefe

## Projektsteckbrief

### Institut für Physik in Berlin-Adlershof

Projektart	Umsetzungs-/ Forschungsprojekt
Projektstatus	Abgeschlossen
Laufzeit	1997-2010
Projektgebiet	Berlin Adlershof, Newtonstraße 15
Auftraggeber	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung
Durchführung	TU Berlin - FG Gebäudetechnik und Entwerfen, HU Berlin – Institut Physik, HS Neubrandenburg – FG Landschaftsökologie/Vegetationskunde
Ansprechperson	M. Schmidt, TU Berlin
Weitere Informationen	<a href="http://www.gebaeudekuehlung.de">www.gebaeudekuehlung.de</a>

### Projekthalt und Bezug zum Forschungsvorhaben „Verdunstungskühlung“

Das Projekt ist Ergebnis eines Architekturwettbewerbs von 1997 für das Gebäude des Instituts für Physik der Humboldt-Universität zu Berlin. Schwerpunkte waren die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung, Gebäudebegrünung und Gebäudekühlung. Nach Fertigstellung des Bauvorhabens erfolgte über das Landesprogramm für Stadtökologische Modellvorhaben eine fachliche und wissenschaftliche Projektbegleitung. Zielsetzung war die Erarbeitung von Empfehlungen zur Optimierung und wirtschaftlichen Nutzung der Anlagen. Dabei wurden der Wasserverbrauch von verschiedenen Pflanzenarten der Fassadenbegrünung, die erzeugte Verdunstungskälte und die entsprechende Wirkung auf die Energiebilanz des Gebäudes untersucht. Abschließend wurde der Leitfaden „Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung - Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung - Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung“ erstellt. (SenStadtWo o.J.)

### Rahmenbedingungen

Klima	Mittlerer Jahresniederschlag: 562 mm (Langjähriges Mittel 1961-1990)
Berechnungszeitraum	
Städtebauliche und wasserwirtschaftliche Situation	Gebäude der HU Berlin (Institut für Physik), Neubau, kein Anschluss an den Regenwasserkanal
Bebauungsstruktur	Mischbebauung, Universitätsgelände, 5 Innenhöfe, Flachdach

### Einsatz von Techniken und Verfahren

Das Gebäude der Humboldt Universität ist nicht an den Regenwasserkanal des konventionellen Systems angeschlossen. Das anfallende Niederschlagswasser wird in fünf Zisternen gesammelt und zur gesteuerten Bewässerung der Fassadenbegrünung, sowie zur adiabaten Abluftkühlung verwendet. Überschüssiges Regenwasser wird in einen Teich geleitet, wo es verdunsten bzw. versickern kann. Zum Teil kann das gefallene Niederschlagswasser für die extensive Dachbegrünung zur Verfügung gestellt werden. Um die Randbedingungen zu bestimmen, werden Temperatur und Strahlung gemessen. Bei der Art der Fassadenbegrünung handelt es sich um vorgesetzte Kletterpflanzen in Pflanzkübeln (bodengebunden und fassadengebunden in Form von Pflanzkübeln). Es wurden verschiedene Pflanzen sowie Bodensubstrate getestet, wobei sich der Blauregen am besten entwickelt hat. (SenStadtWo o.J.)

## **Erreichte Effekte/ Bewertung der Leistungsfähigkeit/ Effekte für die Stadtentwicklung**

Die Fassadenbegrünung dient vor allem im Sommer als Sonnenschutz und kühlt durch Verdunstung die Umgebung. Eine Gebäudeklimatisierung im Sommer erfolgt mit dem verfügbaren Niederschlagswasser aus den Zisternen. Dies ist eine kostengünstige und effektive Methode, die Wasser und Abwasser einspart. Es zeigte sich, dass bei Außentemperaturen von bis zu 30°C die Zuluft auf 21-22°C ohne technisch erzeugte Kälte abgekühlt werden kann. Die Verdunstung eines Kubikmeters Regenwasser erzeugt eine Verdunstungskälte von 680 kWh. Durch das Projekt wurde gezeigt, dass mit Hilfe der adiabaten Abluftkühlung auf eine konventionelle Klimaanlage verzichtet werden kann. (SenStadtWo o.J.; S. 8-9)

## **Erfolgsfaktoren/ aufgetretene Hemmnisse/ Handlungsbedarf/ Kenntnislücken**

Das Projekt zeigt, dass durch die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung und die nachhaltige Gebäudekühlung Kosten minimiert, Umwelt und natürliche Ressourcen geschont und gleichzeitig gesunde Lebens- und Arbeitsbedingungen durch die Verbesserung des Mikroklimas geschaffen werden können. (SenStadtWo o.J.) Die Kosten für die Bewässerung der Pflanzen sind gerade an heißen Tagen um ein vielfaches geringer als die Kosten für eine konventionelle Kühlung. Aufgrund von fehlenden Innenraummessungen können die Kosteneinsparungen jedoch nicht genau quantifiziert werden. (SenStadt 2010)

Quellen:

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (o.J.): Institut für Physik in Berlin-Adlershof. Stadtökologisches Modellvorhaben.

[www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches\\_bauen/download/modellvorhaben/faltblatt\\_institut\\_physik.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/oekologisches_bauen/download/modellvorhaben/faltblatt_institut_physik.pdf).  
aufgerufen am 31.07.2018.

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Kommunikation (Hrsg.) (2010): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung - Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung - Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung. Berlin.

## Projektsteckbrief

# Konzepte für urbane Regenwasserbewirtschaftung (KURAS)

Projektart	Forschungsprojekt
Projektstatus	Abgeschlossen
Laufzeit	06/2013-10/2016
Projektgebiet	Berlin Schöneberg (104 ha)/ Berlin Pankow (117 ha)
Auftraggeber	Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Durchführung	Verbundforschungsprojekt mit 19 Partner aus Verwaltung, Forschung und Praxis
Ansprechperson	
Weitere Informationen	<a href="http://www.kuras-projekt.de">www.kuras-projekt.de</a>

## Projekthalt und Bezug zum Forschungsvorhaben „Verdunstungskühlung“

In dem Projekt „KURAS“ wurde betrachtet, wie viele kleine im Stadtgebiet verteilte dezentrale Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung die Kanalisation entlasten und gleichzeitig das Stadtklima verbessern können. Im Zuge dessen wurden Steckbriefe zu den einzelnen Maßnahmen erstellt. Diese nehmen u. a. Bezug auf die Maßnahmeneffekte wie Verdunstungsleistung, Tropennächte und Hitzestress.

## Rahmenbedingungen

Klima	Mittlerer Jahresniederschlag: 550 mm/a (Langjähriges Mittel 1981-1990)
Berechnungszeitraum	Referenzjahr 1990, Betrachtung von Tag und Nacht
Städtebauliche und wasserwirtschaftliche Situation	Pankow: Wohn- und Mischnutzung sowie Gewerbebereiche, 19.000 EW, Trennkanalsystem, Regenwassereinleitungen in die Panke Schöneberg: Wohn- und Mischnutzung, 17.000 EW, Mischkanalsystem, Mischwasserüberläufe in den Landwehrkanal
Bebauungsstruktur	Pankow: dominiert durch Zeilenbebauung der 20er und 30er Jahre, sowie Zeilenbebauung und hohe Bebauung der Nachkriegszeit Schöneberg: dominiert durch Blockbebauung der Gründerzeit, Lückenschluss, zahlreiche Liegenschaften der Verwaltung und Polizei

## Einsatz von Techniken und Verfahren

Folgende Techniken und Verfahren mit Bezug zur Verdunstungskühlung wurden in dem Projekt untersucht: Dachbegrünung, Fassadenbegrünung, teilversiegelte Oberflächenbefestigungen, Flächen- und Muldenversickerung, Baumrigolen, Teiche, wasserführende Gräben, adiabate Abluftkühlung. Daneben fanden Untersuchungen zu zahlreichen weiteren Einzelmaßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung statt.

Mit Hilfe der Software STORM wurden die Wasserhaushaltsbilanzen berechnet. Die ebenso ermittelte Bodenfeuchte wurde in das Stadtklimamodelle ASMUS\_Green integriert. Die Maßnahmeneffekte werden durch die Ermittlung von Oberflächentemperatur, Anzahl der Tropennächte und UTCI-Index (Anzahl der an Stunden im Jahr mit signifikanten Hitzestress) bewertet.

## **Erreichte Effekte/ Bewertung der Leistungsfähigkeit/ Effekte für die Stadtentwicklung**

Die Wasserhaushaltsberechnung der zwei Modellgebiete ergab, dass die Maßnahmenkombinationen eine Erhöhung der Verdunstung von 40-45% des Niederschlages auf 46-54% bewirken. Hinsichtlich der Effekte auf das Stadtklima zeigen kleinräumige Maßnahmen bzw. solche, die lediglich marginale Veränderungen mit sich bringen (ca. 10-20 m<sup>2</sup> große Mulden und die um nur 30 % weniger versiegelten Flächen) keinen Einfluss auf die humanbioklimatische Situation.

Hinsichtlich der Reduktion des Hitzestresses am Tag haben sich Baum-Rigolen und Teiche hervorgehoben. Hierbei ist aber zu beachten, dass neben der Verdunstung auch die Verschattung durch die Baum-Rigolen einen wesentlichen Anteil zu dem Ergebnis beiträgt. Das ist auch bei der Fassadenbegrünung der Fall. Die Simulationen zeigten, dass Baumrigolen und Fassadenbegrünungen sogar auf Quartiersebene einen positiven Einfluss auf das Klima haben. Hinsichtlich des Teiches ist zu beachten, dass der positive Effekt des Teiches sich nachts ins Gegenteil umkehrt, da Wasser die Energie der Sonneneinstrahlung speichert und nachts langsamer abkühlt als natürlicher Boden. „Entsprechend sind Teiche aus Sicht des Stadtklimas vor allem im Bereich von Freizeitflächen und Bürogebäuden sinnvoll.“

„Fassadenbegrünung wirkt sich dagegen sowohl tagsüber als auch nachts positiv aus, besonders, wenn sie in geschlossenen Innenhöfen auf der gesamten Fassadenfläche angebracht wird. Das lässt sich am Tage durch die große Verdunstungsrate in Bezug auf ein relativ kleines Luftvolumen, das kaum Austausch mit wärmeren Luftmassen von außen hat, erklären. In der Nacht bleibt der Innenhof weiterhin kühl, weil die tagsüber durch die Begrünung beschatteten Fassaden keine nennenswerte Menge an Wärme speichern, die sie nachts ausstrahlen könnten. Die Wirkung der extensiven Dachbegrünung beschränkt sich auf die Luftmassen in direkter Angrenzung an das Dach und reicht in kleiner Anzahl nicht aus, um einen weiträumigen Effekt zu erzielen.“ (Matzinger, Riechel, Remy et al. 2017)

## **Erfolgsfaktoren/ aufgetretene Hemmnisse/ Handlungsbedarf/ Kenntnislücken**

Als Ergebnis des Projektes wurden Handlungsempfehlungen gegeben um die Potentiale der Regenwasserbewirtschaftung für Umwelt und Bewohner nutzen zu können, dabei die Kanalisation zu entlasten und bestehende Hemmnisse zu überwinden. Dies umfasst u. a. konkrete Zielvorgaben, eine Erweiterung der Planungsgrundlagen und Planungshilfen, eine Anpassung des rechtlichen Rahmens, die Wissensvermittlung sowie Vorbildprojekte im öffentlichen Raum. (Matzinger, Riechel, Remy et al. 2017)

Quellen:

Matzinger, A., Riechel, M., Remy, C., Schwarzmüller, H., Rouault, P., Schmidt, M., Offermann, M., Strehl, C., Nickel, D., Sieker, H., Pallasch, M., Köhler, M., Kaiser, D., Möller, C., Büter, B., Leßmann, D., von Tils, R., Säumel, I., Pille, L., Winkler, A., Bartel, H., Heise, S., Heinzmann, B., Joswig, K., Rehfeld-Klein, M., Reichmann, B. (2017): Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS. Berlin. [http://www.kuras-projekt.de/fileadmin/Dokumente/Verwaltung/pdf/20170428\\_Leitfaden\\_Regenwasser\\_full\\_final\\_med\\_res.pdf](http://www.kuras-projekt.de/fileadmin/Dokumente/Verwaltung/pdf/20170428_Leitfaden_Regenwasser_full_final_med_res.pdf). aufgerufen am 17.09.2018.

## Projektsteckbrief

### Grünes Zimmer Ludwigsburg

Projektart	Bauprojekt und Forschungsprojekt TURAS - (Transitioning towards Urban Resilience and Sustainability)
Projektstatus	abgeschlossen
Laufzeit	2012 – 2014 (Konzeption, Testmodul, Errichtung), 2016 Abschluss wissenschaftliche Begleitforschung
Projektgebiet	Rathausplatz Ludwigsburg; Grundfläche des GZ ca. 140 m <sup>2</sup>
Auftraggeber	Projekträger: Verband Region Stuttgart ( <a href="http://www.region-stuttgart.org">www.region-stuttgart.org</a> )
Durchführung	Stadt Ludwigsburg, Helix Pflanzen GmbH, Architekten ludwig.schoenle, Universität Stuttgart, Institut für Landschaftsplanung und Ökologie
Ansprechperson	S. Weidenbacher, Verband Region Stuttgart
Weitere Informationen	<a href="http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/tatenbank/gruenes-zimmer-ludwigsburg-0">www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/tatenbank/gruenes-zimmer-ludwigsburg-0</a>

### Projekinhalt und Bezug zum Forschungsvorhaben „Verdunstungskühlung“

Das "Grüne Zimmer" ist Bestandteil des EU-Forschungsprojekts „TURAS – nachhaltige Städte und Regionen“, das untersucht, wie Städte und Regionen mit Blick auf den Klimawandel zukunftsfähig gemacht werden können. Der Einsatz vertikaler Begrünungselemente, wie zum Beispiel Baumwänden, Fassadenbegrünung oder Dachbegrünung ermöglicht insbesondere in dicht bebauten Innenstädten und auf stark versiegelten Flächen eine Maximierung der Grünfläche.

Die Wandkonstruktion des 140 m<sup>2</sup> großen "Grünen Zimmers" besteht aus gestapelten und mit Substrat gefüllten Gitterkörben, in denen rund 7000 Pflanzen von insgesamt 30 Pflanzenarten wachsen. Das Dach wird aus 40 jungen Platanen gebildet, die "baubotanisch" miteinander verbundenen sind. Das grüne Zimmer wurde nach dem Entwurf der Architekten ludwig.schoenle aus Stuttgart auf dem Rathausplatz in Ludwigsburg errichtet und sorgt hier an heißen Tagen für Schatten und Abkühlung. Durch die Anordnung und Geometrie der Wände und Baumdächer werden sowohl sonnige als auch schattige Bereiche erzeugt. Auf den Einbau von festen Mobiliar konnte verzichtet werden, da die „mobilen“ Bänke und Stühle, die auf dem Rathaushof zur Verfügung stehen, auch für das Grüne Zimmer genutzt werden können. Die Bewässerung der Bepflanzung erfolgt über eine Anlage, die sich aus Regenwasser speist.

Die Projektkosten des Grünen Zimmers betragen 230.000 Euro. In diesem Budget sind alle Kosten für die wissenschaftliche Begleitung des Projekts, Auswertung der Daten und Abstimmung der Ergebnisse und Entwicklung zukünftiger Maßnahmen auf EU-Ebene sowie die Baukosten enthalten. 135.000 Euro des Gesamtbudgets kommen aus EU-Fördermitteln. Die Baukosten wurden von der Stadt Ludwigsburg (50.000 Euro) und der Firma Helix Pflanzen GmbH (45.000 Euro) beigesteuert.

Unter dem Motto „Sitzen - Abkühlen – Erholen“ hat die Stadt Ludwigsburg zusätzlich das "Mobile Grüne Zimmer" entwickelt und umgesetzt. Seit dem 9. Juni 2018 wird dieses mobile Modul nun an verschiedenen Orten im Stadtgebiet und zur Nutzung bereitgestellt und erprobt. (Stadt Ludwigsburg o.J.)

## Rahmenbedingungen

Klima	Mittlerer Jahresniederschlag: 688 mm
Berechnungszeitraum	
Städtebauliche und wasserwirtschaftliche Situation	Wachsende Stadt mit einer prognostizierten Zunahme der heißen Tage mit einem Temperaturmaximum von mind. 30°C von derzeit 8 auf 12 Tage (Regionale Klimaprognosen LUBW 2010 und 2013)
Bebauungsstruktur	Innenstadt der barocken Stadtanlage

## Einsatz von Techniken und Verfahren

Zur Bewässerung des Grünen Zimmers wurden von der Stadt Ludwigsburg Zisternen zur Sammlung des Regenwassers, das auf dem Dach eines benachbarten öffentlichen Gebäudes anfällt, bereitgestellt. Insgesamt drei Zisternen mit einem Gesamtfassungsvolumen von 6 m<sup>3</sup> stehen zur Speicherung von Regenwasser zur Verfügung, die mittels einer Pumpe zum Grünen Zimmer und über Steigrohre in die einzelnen Korbebenen transportiert wird. Die Bewässerung erfolgt automatisch über integrierte Tropfschläuche, die sich auf jeder Ebene befinden. Über den Steuerungscomputer kann der Wasser- und Düngemittelbedarf jahreszeitlich angepasst werden.

An der Maßnahme befindet sich eine Messstation für Temperatur und Luftbewegung. Die Maßnahme wird bis zum Ende der Projektlaufzeit von TURAS entsprechend wissenschaftlich begleitet (Uni Stuttgart/Helix Pflanzen) und die Ergebnisse werden ausgewertet. Mit der Maßnahme wird die Bevölkerung für das Thema Hitzeinseleffekte in der Stadt sensibilisiert und gleichzeitig wird eine Lösungsmöglichkeit aufgezeigt. Derzeit befindet sich ein interaktives Internet-Tool im Entwicklungsstadium, das vor Ort per QR-Code angewählt werden kann und von dem aus ein Film über das Projekt und zusätzliche Informationen abgerufen werden können.

## Erreichte Effekte/ Bewertung der Leistungsfähigkeit

Das Grüne Zimmer wird als Aufenthaltsbereich sehr gut angenommen. Bereits in einer Nutzerbefragung zu den positiven Effekten im Juli 2014 wurden insbesondere die Effekte als kühlendes und schattenspendendes Element hervorgehoben. Das Projekt spricht zudem durch seine Pflanzenwahl mit sehr viel blühenden Pflanzen die Besucher auch auf der sinnlichen und emotionalen Ebene an. In Folge dessen genießt das Projekt offensichtlich große Wertschätzung in der Bevölkerung, da bisher keine Vandalismus-Schäden festgestellt wurden. (Stadt Ludwigsburg o.J., UBA-Tatenbank 2014)

Im Sommer 2015 wurden über mehrere Wochen Messungen an Messpunkten im Grünen Zimmer, auf dem Rathausplatz sowie dem benachbarten Clussgarten, als Referenz für einen grünen Freiraum, durchgeführt. An Tagen mit max. Temperaturen von 30 und 35 °C an der Messstelle Rathausplatz sind die Temperaturen im Garten und im Grünen Zimmer 7 K niedriger. Mit zunehmenden Maximaltemperaturen vergrößert sich die Differenz sogar auf 10,5 K. Das Potential der freistehenden Vertikalbegrünung ist von der Kühlwirkung her vergleichbar mit dem Rand einer kleinen Parkanlage. (Eisenberg 2017)

## **Erfolgsfaktoren/ aufgetretene Hemmnisse/ Handlungsbedarf/ Kenntnislücken**

Besondere Herausforderungen waren die Suche nach einer geeigneten Fläche und die Verfügbarmachung von Wasser für die Bewässerung. Dazu hat die Stadt Ludwigsburg einen Flächensuchlauf gestartet und schlussendlich eine Fläche im Besitz der Stadt mit entsprechendem Handlungsbedarf gefunden. Zur Bewässerung des Grünen Zimmers wurden von der Stadt Ludwigsburg Zisternen zur Sammlung des Regenwassers, das auf dem Dach eines benachbarten öffentlichen Gebäudes anfällt, bereitgestellt. Als Synergieeffekt wird so die Wasserrückhaltung im bebauten Bereich verstärkt. (UBA-Tatenbank, 2014)

Quellen:

Stadt Ludwigsburg (o.): Mobiles Grünes Zimmer Auf Tour.

[www.ludwigsburg.de/.Lde/start/stadt\\_buerger/gruenes+zimmer.html](http://www.ludwigsburg.de/.Lde/start/stadt_buerger/gruenes+zimmer.html). aufgerufen am 29.08.2018

UBA-Tatenbank (2014): Grünes Zimmer Ludwigsburg. [www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/tatenbank/gruenes-zimmer-ludwigsburg-0](http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/werkzeuge-der-anpassung/tatenbank/gruenes-zimmer-ludwigsburg-0). Aufgerufen am 29.08.2018.

Eisenberg, Bernd (2017): Das Grüne Zimmer Ludwigsburg. Freistehende Vertikalbegrünung für das Stadtklima. In: Transforming Cities, 1-2017.

## Projektsteckbrief

### Prisma Gostenhof

Projektart	Forschungs-/Bauprojekt
Projektstatus	Abgeschlossen
Laufzeit	1992-1997
Projektgebiet	Nürnberg, 6000 m <sup>2</sup>
Auftraggeber	Karlsruher Lebensversicherung AG, Karlsruhe
Durchführung	Eble Architektur, Ramboll Studio Dreiseitl, Adler und Olesch
Ansprechperson	S. Brueckmann, Ramboll Studio Dreiseitl
Weitere Informationen	<a href="https://siedlungen.eu/db/prisma-nuernberg">https://siedlungen.eu/db/prisma-nuernberg</a>

### Projekthalt und Bezug zum Forschungsvorhaben „Verdunstungskühlung“

Im Wohn- und Gewerbehof „Prisma“ wurde ein ökologisches Gesamtkonzept mit einer naturnahen Entwässerung umgesetzt. Da die vorhandene Kanalisation bereits überlastet war, wurde das Ziel festgesetzt den anfallenden Niederschlag des 6000 m<sup>2</sup> großen Geländes ohne Ableitung zu bewirtschaften. Hierbei wurden Maßnahmen umgesetzt, die die Verdunstung auf dem Gelände verstärken und zur Klimatisierung der Innenräume dienen.

### Rahmenbedingungen

Klima	Mittlerer Jahresniederschlag: 675 mm
Berechnungszeitraum	1997
Städtebauliche und wasserwirtschaftliche Situation	Wohn- und Gewerbekomplex (32 Büros, 9 Geschäfte, Café, Kindergarten, 61 Wohneinheiten), vollständig versiegelt durch Tiefgarage und Gebäude, Neubau
Bebauungsstruktur	Randgebiet der Innenstadt, Glashaus

### Einsatz von Techniken und Verfahren

Den einzelnen Gebäuden sind Glashäuser vorgesetzt, die großzügig begrünt und von Wasserflächen durchzogen sind. Insgesamt sind 190 m<sup>2</sup> Bodenoberfläche bepflanzt (Pflanztröge). Über sechs 4 m hohe Wasserwände gelangt Zuluft in die Glashäuser. Im Sommer dient diese zur Kühlung durch Verdunstung, im Winter wird die Luft nachgewärmt. Über ein Belüftungssystem wird diese gekühlte/temperierte Luft in die anliegenden Wohn- und Büroräume weitergeleitet. Das Regenwasser zur Bewässerung der Pflanzen und Speisung der Wasserwände stammt von den Dachflächen des Geländes und wird in Zisternen gespeichert. Überschüssiges Wasser wird unter dem Gebäude versickert. (Büro Stahl+Weiß 1997) Die in den Wänden gespeicherte Wärme kann durch das nächtliche Öffnen des Glashauses und dem Hochschalten der Lüftungsanlage wieder abgegeben werden. Im Außenbereich wurden 2000 m<sup>2</sup> über den Tiefgaragen begrünt.

## **Erreichte Effekte/ Bewertung der Leistungsfähigkeit/ Effekte für die Stadtentwicklung**

Durch dieses Gesamtkonzept ergibt sich eine Jahreswasserbilanz mit 0% Abfluss, 20% Versickerung und 80% Verdunstung. Auf eine konventionelle Klimaanlage in den Gebäuden kann gänzlich verzichtet werden. Im Glashaus bewirken die Maßnahmen eine Kühlung der Luft um bis zu 4K. Insgesamt konnte erreicht werden, dass die Stundensummen über 26°C kleiner als die der Außenlufttemperatur sind. Im Jahr werden ca. 3300 m<sup>3</sup> Regenwasserverbraucht. (Büro Stahl+Weiß 1997)

## **Erfolgsfaktoren/ aufgetretene Hemmnisse/ Handlungsbedarf/ Kenntnislücken**

Das vorliegende Projekt ist ein Vorzeigeprojekt mit natürlicher Klimatisierung und abflussneutralen Wasserhaushaltsbilanz im Stadtbereich. Neben den Simulationsergebnissen belegt die Vitalität der Pflanzen das funktionierende System. Zur Überprüfung der langfristigen Wirksamkeit sind eine erneute Überprüfung des Systems und die Ermittlung neuer Messwerte nötig.

Quellen:

Büro Stahl+Weiß (1997): Karlsruher Prisma. Freiburg

Siedlungen.eu (2016): Gewerbehof „Prisma“ Nürnberg. <https://siedlungen.eu/db/prisma-nuernberg>. aufgerufen am 29.08.2018.

## Projektsteckbrief

# Leitplan Regenwasser und Hitzeanpassung Berlin TXL - Schumacher Quartier

Projektart	Bauprojekt
Projektstatus	abgeschlossene Konzeptphase
Laufzeit	2016 – 2017
Projektgebiet	Das geplante ca. 48 Hektar große Quartier befindet sich westlich vom Kurt-Schumacher-Platz auf dem Areal des derzeit noch in Betrieb befindlichen Flughafens Tegel
Auftraggeber	Land Berlin vertreten durch Tegel Projekt GmbH
Durchführung	bgmr Landschaftsarchitekten GmbH mit der Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH (Simulation Regenwassermanagement) auf der Grundlage Fortschreibung des Siegerentwurfes des städtebaulichen und landschaftsplanerischen Wettbewerb 2016 von scheuven + wachten plus planungsgesellschaft mbH mit WGF Landschaftsarchitekten GmbH
Ansprechperson	<a href="mailto:info@berlintxl.de">info@berlintxl.de</a>
Weitere Informationen	<a href="http://www.tegelprojekt.de">www.tegelprojekt.de</a>

## Projekthalt und Bezug zum Forschungsvorhaben „Verdunstungskühlung“

Mit dem Leitplan Regenwasser und Hitzeanpassung werden die Leitziele der wassersensiblen Stadtentwicklung und hitzeangepassten Stadt des Stadtentwicklungsplans Klima Berlin (2011) und dem Stadtentwicklungsplan Klima konkret (2016) der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt aufgenommen und für das Schumacher Quartier weiter konkretisiert. Ziel ist es, ein weitgehend abflussloses Stadtquartier zu schaffen, indem das Prinzip der Schwammstadt angewendet wird: Das Regenwasser wird als Ressource genutzt, um es durch Speicherung und Verdunstung für die Kühlung des neuen Stadtquartiers einzusetzen (ausgenommen sind nur die Hauptverkehrsstraßen und der Bereich Kurt-Schumacher-Platz).

Das Konzept der wassersensiblen und hitzeangepassten Stadt wird als eine Kaskade von Maßnahmen aufgebaut: Rückhalten, Nutzen, Verdunsten und Grundwasser anreichern. Mit dieser Kaskade soll eine Wasserbilanz erreicht werden, die sich den natürlichen Verhältnissen annähert. Um mit der Regenwasserbewirtschaftung einen möglichst hohen Beitrag zur Kühlung des Stadtquartiers zu erzielen, soll das Wasser möglichst lange im Gebiet gehalten und langsam verdunstet werden. Nur ein kleiner Teil soll versickern; oberflächlich soll kein Wasser abfließen.

## Rahmenbedingungen

Klima	Langjähriger mittlerer Jahresniederschlag Station Wedding: 540 mm
Berechnungszeitraum	1963-2007
Städtebauliche und wasserwirtschaftliche Situation	Der Boden weist überwiegend eine gute Versickerungsfähigkeit auf. Damit würde das Regenwasser relativ schnell versickern, wenn nicht durch Dichtungsmaßnahmen das Wasser nach dem Schwammstadtprinzip für die Verdunstung zwischengespeichert wird. Da der Boden allerdings an zahlreichen Probestellen erhebliche Schadstoffbelastungen aufweist, würde bei einer Versickerung in der Regel ein Bodenaustausch erforderlich werden.
Bebauungsstruktur	Bislang unbebaute Randlage der Innenstadt, Zeilenhaus- und gründerzeitliche Bebauung im Umfeld

## Einsatz von Techniken und Verfahren

Um eine hohe Annäherung an eine natürliche Wasserbilanz und ein Maximum an Verdunstungskühlung zu erreichen, wurden für die Bauflächen und den öffentlichen Straßenraum unterschiedliche Kaskaden-Prinzipien entwickelt.

**Kaskadenprinzip Bauflächen:** Regenwasser wird auf blaugrünen Dächern zurückgehalten, zwischengespeichert und verdunstet dort. Überschüssiges Wasser der Dächer sowie von befestigten Erschließungsflächen wird in die gedichteten Retentions- und Verdunstungsflächen in die Innenhöfe geleitet. Von diesen Retentions- und Verdunstungsflächen aus wird das überschüssige Wasser in kompakte Versickerungsmulden geleitet, wo das Wasser vor Ort versickert. In der Gesamtwasserbilanz wurde mit 80 % der Dachflächen als blaugrüne Dächer mit Retentions- und Verdunstungsfunktion gerechnet. Der Aufbau der Dachbegrünung beträgt im Minimum 12,5 cm (6 cm Speichermedium zzgl. Extensivsubstrat). In der weiteren Planung wird von einem Gesamtaufbau von 20 cm ausgegangen.

**Kaskadenprinzip öffentlicher Straßenraum:** Anfallendes Regenwasser wird zuerst in gedichteten Retentions- und Verdunstungsflächen zurückgehalten, um es dort zu verdunsten. Überschüssiges Wasser wird in zentrale Verdunstungs- und Versickerungsflächen in die zentrale Parkanlage oder in den Randbereich der Tegeler Heide weitergeleitet (Ausnahme: der Abfluss von Straßen, deren Gefälle nicht Richtung Parkanlage verläuft, muss vor Ort versickert werden).

**Urban Wetlands-Elemente:** Eine Schlüsselstellung bei der Rückhaltung und Verdunstung nehmen gedichtete Retentions- und Verdunstungsflächen ein, die in unterschiedlicher Dimensionierung und Ausführung sowohl auf den Freiflächen der Baugrundstücke, im Straßenraum als auch in Parkanlagen vorgesehen sind. Die Retentions- und Verdunstungsflächen sind nach unten gedichtet und dienen nicht der Versickerung, sondern der Verdunstung. Es wird angestrebt die Dichtung (z. B. Folie, Lehm) mindestens 1,00 m unter Gelände anzuordnen. Der Bodenaufbau ist geschichtet und besteht aus porigem Substrat mit einer guten Wasseraufnahmekapazität und humosem Oberboden. Mit diesem Aufbau wird das Ziel verfolgt, dass, entsprechend dem Schwammprinzip, viel Wasser zwischengespeichert werden kann und über eine hohe Evapotranspiration viel Wasser verdunsten kann. Die abgesenkten Vegetationsflächen können sehr unterschiedlich ausgestaltet sein. Als Vegetationsschicht können je nach Nutzung Staunässe verträgliche Gräser, Stauden sowie Bodendecker und kleinere Sträucher verwendet werden. Blühaspekte bei Rasenansaat (Blühwiesen) oder bei der Auswahl der Gehölze können das Erscheinungsbild verändern. Die Retentions- und Verdunstungsflächen werden durch ein Flachnetz entsprechend der Geländetopografie vernetzt. Wenn einzelne Module gefüllt sind, wird überschüssiges Wasser in nachgeschaltete Versickerungsmulden geleitet.

## **Erreichte Effekte/ Bewertung der Leistungsfähigkeit**

Für zwei Musterflächen (eine private Baufläche und einen öffentlichen Teilraum (Straßen, Park) wurden für die Regenwasser-Kaskaden wassertechnische Berechnungen mit dem Modell STORM durchgeführt. Die Langzeitsimulation der Wasserbilanzen ergibt folgende Anteile für die Verdunstung, die Versickerung und den Oberflächenabfluss:

- ▶ Private Baufelder: 69% Verdunstung, 31% Versickerung, 0% Abfluss
- ▶ Öffentliche Flächen: 58 % Verdunstung, 42 % Versickerung, 0 % Abfluss.

## **Erfolgsfaktoren/ aufgetretene Hemmnisse/ Handlungsbedarf/ Kenntnislücken**

Bei Umsetzung der vorgesehenen Maßnahmen kann größtenteils ein Siedlungsgebiet mit einer Wasserbilanz entwickelt werden, die sich an die natürlichen Abflussverhältnisse annähert. Anstelle einer natürlichen Verdunstung von 70 % in Berlin wird im Schumacher Quartier eine Größenordnung von ca. 60 % erreicht.

Es wird empfohlen frühzeitig, im weiteren Verlauf der Planung, anhand eines Modellversuches auf einer Testfläche die Kaskade der Retentionsbecken zu bauen, um das Erscheinungsbild, die optimalen Substrate und Pflanzenauswahl zu testen und damit die zukünftigen Betriebskosten gering zu halten.

Quellen:

bgmr Landschaftsarchitekten GmbH (2017): Leitplan Regenwasser und Hitzeanpassung Berlin TXL - Schumacher Quartier. Gutachten im Auftrag der Tegel Projekt GmbH. 02.11.17.

[www.tegelprojekt.de](http://www.tegelprojekt.de)

## Projektsteckbrief

### **TRANSPIRANT**

Projektart	Forschungs-/Bauprojekt
Projektstatus	Messungen ab April 2018
Laufzeit	09/2016 - 08/2019
Projektgebiet	Bottrop, Gelände der Firma Ludzay
Auftraggeber	Firma Ludzay, Fördergeber: BMUB
Durchführung	Stadt Bottrop, Ruhr-Universität Bochum
Ansprechperson	T. Mueller, Stadt Bottrop
Weitere Informationen	<a href="http://www.bottrop.de/vv/produkte/dezernat4/113010100000193556.php">www.bottrop.de/vv/produkte/dezernat4/113010100000193556.php</a>

### **Projekthalt und Bezug zum Forschungsvorhaben „Verdunstungskühlung“**

Aufgrund von Bodenkontamination ist auf dem Standort der Firma Ludzay eine Versickerung aus wasserrechtlicher Sicht nicht möglich. Aus diesem Grund wurden Beete mit verdunstungsstarker Vegetation angelegt. Ziel des Vorhabens ist es zu überprüfen in wie weit eine derartige Verdunstungsanlage der Erwärmung des Stadtklimas entgegen wirken kann und wie eine Dimensionierungsgrundlage für ähnliche Anlagen geschaffen werden kann.

### **Rahmenbedingungen**

Klima	Mittlerer Jahresniederschlag: 804 mm
Berechnungszeitraum	Beginn: 04/2018
Städtebauliche und wasserwirtschaftliche Situation	Verpackungs- und Logistik Firma auf dem Gelände eines ehemaligen Schwelenaufbereitungswerkes der deutschen Reichsbahn/ Bundesbahn, ruhrgebiets-typischer Altstandort, Mischwasserkanalisation
Bebauungsstruktur	Gewerbegebiet/ Wohnhaussiedlung

### **Einsatz von Techniken und Verfahren**

Die Verdunstungsanlage besteht aus einem abgedichteten Regenwassersammelteich, aus welchem das Niederschlagswasser in Verdunstungsbeete gepumpt wird. Die Pumpen sind solarbetrieben. Die zwei Verdunstungsbeete sind mit einer Mischkultur bepflanzt, die hauptsächlich aus Schilf besteht.

Messgrößen sind Temperatur, Luftfeuchte, Windrichtung und -stärke, Niederschlag, Luftdruck, Bodenfeuchte, Pegel, Durchfluss. Die kleinklimatischen Auswirkungen der Verdunstung (Senkung der Temperatur / Erhöhung der Luftfeuchtigkeit) sollen mit Vergleichsmessungen auf benachbarten Grundstücken erfasst und bewertet werden.

### **Erreichte Effekte/ Bewertung der Leistungsfähigkeit/ Effekte für die Stadtentwicklung**

Die Messungen starteten im April 2018.

## **Erfolgsfaktoren/ aufgetretene Hemmnisse/ Handlungsbedarf/ Kenntnislücken**

Die Messung einer konkreten Transpirationsrate ist schwierig. Hinzu kommt, dass im Projekt „TRANSPIRANT“ aufgrund der verfügbaren Zeit keine Monokultur angelegt werden konnte. Ein weiteres Problem ergibt sich aus dem Versickerungsanteil, der trotz Abdichtung besteht. Um diesen Anteil zu bestimmen, soll ein Testbecken innerhalb der Verdunstungsbeete angelegt werden. Dieses wird zusätzlich abgedichtet und soll eine gesonderte Wasserversorgung besitzen. Ein Hemmnis bei der zukünftigen Umsetzung innerhalb eines Stadtgebietes wird sein, dass diese Verdunstungsanlage sehr viel Platz benötigt. Dieser ist in der Innenstadt nicht immer gegeben.

## Projektsteckbrief

### **F+E-Projekt TREEDRAIN**

Projektart	Forschungs-/Bauprojekt
Projektstatus	Bauphase ist abgeschlossen, Forschungsphase läuft
Laufzeit	05/2016 - 2019
Projektgebiet	Marzahn-Hellersdorf, Berlin, IGA-Gelände
Auftraggeber	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Durchführung	TU Berlin - FG Siedlungswasserwirtschaft, Ing.gesellschaft Prof. Dr. Sieker GmbH
Ansprechperson	D. Geisler, TU Berlin; M. Pallasch Ing.gesellschaft Prof. Dr. Sieker GmbH
Weitere Informationen	/

### **Projekthalt und Bezug zum Forschungsvorhaben „Verdunstungskühlung“**

Auf dem Gelände der Internationalen Gartenausstellung 2017 in Berlin wurde ein neuer Prototyp der Baum-Rigole umgesetzt. Mit Hilfe dieser Baum-Rigole kann ein Speicherraum für Regenwasser geschaffen und gleichzeitig die Verdunstung auf Straßenebene gefördert werden. Diese in Deutschland noch nicht existierende Systemlösung einer „Baum-Rigole“ wird im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojekts „TREEDRAIN“ weiterentwickelt.

### **Rahmenbedingungen**

Klima	Mittlerer Jahresniederschlag: 576 mm (Langjähriges Mittel 1961-1990)
Berechnungszeitraum	Juli 2017 – Februar 2019
Städtebauliche und wasserwirtschaftliche Situation	Erweiterung der Parklandschaft „Gärten der Welt“; Neubau von Seilbahnstation und Blumenhalle; bestehender Regenwasserkanal ist vollständig ausgelastet
Bebauungsstruktur	Parklandschaft mit Seilbahnstation und Blumenhalle

### **Einsatz von Techniken und Verfahren**

Die Baum-Rigole besteht aus einem nach unten hin abgedichtetem Betonkörper, der als Wasserspeicher und Wurzelraum fungiert. Im Vergleich zu einer konventionellen Baumscheibe ist die Baum-Rigole an eine definierte Fläche angeschlossen, die direkt in das System entwässert, so dass das anfallende Wasser vor Ort gespeichert, sukzessiv versickert und verdunstet wird.

Im vorliegenden Projekt wurden ca. 600 m<sup>2</sup> befestigte Fläche, sowie der Notüberlauf des Daches der Seilbahnstation auf dem IGA-Gelände angeschlossen. Der Zulauf erfolgt unterirdisch über geschlitzte Drainagerohre.

Seit Juli 2017 erfolgen Messungen zum Wasserstand in der Rigole, zu Wasserinhaltsstoffen in der Rigole sowie die Bestimmung des pH-Werts. Weiter wird in 3 m Höhe die Temperatur und Luftfeuchte an der Baumrigole, sowie an einem Baum und einer Laterne in der näheren Umgebung bestimmt.

## **Erreichte Effekte/ Bewertung der Leistungsfähigkeit/ Effekte für die Stadtentwicklung**

Bäume die Trockenheit ausgesetzt sind, schließen ihre Stomata und reduzieren dadurch ihre Verdunstung. Gleichzeitig sinkt ihre Vitalität und sie sind anfälliger für Schädlinge. Im Vergleich zu den Baum-Rigolen nach dem Stockholmer Modell, bei welchem das Regenwasser nach untenhin entweichen kann, trägt das vorliegende Modell auch in Trockenphasen, durch die gezielte Zuleitung und Speicherung des Wassers, zu einer verstärkten Verdunstung bei und reduziert somit den Hitzestress. Gleichzeitig können in langen Trocken- bzw. Hitzeperioden Baumschädigungen durch Wasserknappheit minimiert und der Bewässerungsaufwand reduziert werden. Die Umsetzung einer Baum-Rigole sollte Standortindividuell getroffen werden. So eignet sie sich vor allem bei Standorten mit einem tiefen Grundwasserleiter und stark durchlässigen Böden, da hier das pflanzenverfügbare Wasser knapp ist.

## **Erfolgsfaktoren/ aufgetretene Hemmnisse/ Handlungsbedarf/ Kenntnislücken**

Treiber zur Umsetzung dieses Pilotprojektes waren die Einleitbeschränkung in den vorhandenen Regenwasserkanal. Da es sich bei der angeschlossenen Fläche nicht um eine Verkehrsfläche handelt, war es möglich Einschränkungen der Wasserbehörde hinsichtlich der Wasserqualität einzuhalten. Basierend auf diesem Projekt wurden bereits zahlreiche Erkenntnisse zur Verbesserung des Aufbaus einer Baumrigole gewonnen (Einbau kapillarer Aufstiegshilfen, Verbesserung der Substratschichtung). Weiterer Forschungsbedarf besteht in der Ermittlung der tatsächlichen Verdunstung der Bäume. Durch die fehlende Messtechnik und Messwerte konnte bisher noch nicht der Mehrwert der Baum-Rigole auf die Verdunstung nachgewiesen werden. Zudem ist unklar, wie die Bäume mit möglicher Staunässe in den Rigolen umgehen und ob es zu Wurzelfäulnis kommt. Diese Erkenntnis kann jedoch vermutlich erst in einigen Jahren gewonnen werden.

Die Leistungsfähigkeit des geschaffenen Speicherraums konnte während eines Starkregenereignisses ( $r_{15} = 24 \text{ mm}$ ) Anfang Juni 2017 bewiesen werden. So standen umliegende Platzflächen unter Wasser und mussten leer gepumpt werden, während die Baum-Rigole sämtliches zufließendes Wasser unmittelbar aufnehmen konnte.

### Quellen:

Barjenbruch, M., Geisler, D. (2016). Stauen bei Starkregen, verdunsten bei Hitze. [www.tu-berlin.de/?id=176173](http://www.tu-berlin.de/?id=176173). aufgerufen am 29.08.2018.

Pallasch, M., Sieker, H. (o.J): Treedrain. [www.sieker.de/de/projekte/forschungsprojekte/project/treedrain-165.html](http://www.sieker.de/de/projekte/forschungsprojekte/project/treedrain-165.html). aufgerufen am 29.08.2018.

## Projektsteckbrief

# UCaHS – Urban Climate and Heat Stress (Teilprojekt: Gebäudebegrünung)

Projektart	Forschungsprojekt (DFG FG 1736)
Projektstatus	Abgeschlossen
Laufzeit	2014-12/2016
Projektgebiet	TU Berlin Campus, eine Wand (< 100 m <sup>2</sup> )
Auftraggeber	Forschergemeinschaft gefördert vom DFG
Durchführung	TU Berlin, FG Standortkunde und Bodenschutz (Prof. Dr. G. Wessolek, Dr. T. Nehls, M.-T. Hölscher)
Ansprechperson	T. Nehls, Tu Berlin
Weitere Informationen	<a href="http://www.ucahs.org">www.ucahs.org</a>

## Projekthalt und Bezug zum Forschungsvorhaben „Verdunstungskühlung“

In dem Projekt UCaHS befasste sich eine Forschergruppe verschiedener Institutionen mit den Risiken und Gefahren von zunehmender Wärmebelastung in Städten sowie mit Minderungs- und Anpassungsmöglichkeiten. In dem Teilprojekt 4.1 „Gebäudebegrünung“, durchgeführt von der TU Berlin, wurden Messungen an einer Fassadenbegrünung durchgeführt und die Kühlungsfunktion von Beschattung, Verdunstung und Isolierung für ein Gebäude untersucht.

## Rahmenbedingungen

Klima	Mittlerer Jahresniederschlag: 600 mm/a
Berechnungszeitraum	2012-2014
Städtebauliche und wasserwirtschaftliche Situation	Bestandsgebäude, Mischkanalisation, Campus TU Berlin
Bebauungsstruktur	Universitätsgelände, Wand (12 m hoch, 25 m breit)

## Einsatz von Techniken und Verfahren

Es wurden drei verschiedene Standorte mit Fassadenbegrünung untersucht:

- ▶ boden- und wandgebundene Fassadenbegrünung in Süd-Süd-West-Richtung (Dreispitzige Jungfernebe) mit unregelmäßiger Bewässerung
- ▶ boden- und wandgebundene Fassadenbegrünung vor einer dunklen Wand in Ost-Richtung (Efeu) mit Bewässerung
- ▶ bodengebundene Fassadenbegrünung mit Kletterhilfe 30 cm vor der Hauswand in West-Richtung (Schlingknöterich) mit konstanter Bewässerung

Gemessen wurden Temperatur (40 cm vor der Fassade, direkt an der Begrünung, an der Außenwand und Innenwand), Strahlung, relative Feuchtigkeit (Lysimeter, Messung des Saftflusses, Bestimmung Blattflächenindex). Die Ergebnisse wurden mit den Messwerten der jeweils angrenzenden unbegrünten Fassade verglichen. (Hoelscher, Nehls, Jänicke, Wessolek 2015)

## **Erreichte Effekte/ Bewertung der Leistungsfähigkeit/ Effekte für die Stadtentwicklung**

Die Messungen zeigten deutliche Abkühlungseffekte durch eine Fassadenbegrünung an der Außen- und Innenwand der jeweiligen Gebäude (Durchschnitts-Temperaturunterschiede von 2,4-3,7K). Eine Abkühlung des Straßenraums konnte nicht eindeutig festgestellt werden. Da sich die begrünte Wand direkt neben der unbegrünten Vergleichswand befindet, kann dies auf Luftdurchmischungen beruhen.

Ein wichtiger Faktor für den Kühleffekts ist der Aufbau der Fassadenbegrünung. So bewirkt die direkt an der Fassade angebrachte Begrünung eine zusätzliche Dämmwirkung. Die unbegrünte Wand kühlt in der Nacht schneller und stärker ab, als die begrünte Wand. Auf die nächtliche Abkühlung des Straßenraums hat die Dämmung wiederum einen positiven Effekt, da die Fassadenbegrünung weniger Wärme abgibt. Wird eine Luftzirkulation zwischen Begrünung und Wand ermöglicht, so können die positiven Effekte einer Fassadenbegrünung verstärkt werden. Die Wand hinter der Begrünung kann schneller abkühlen und dennoch ist die Wärmeabgabe in den Straßenraum geringer als bei der unbegrünten Wand. (Hoelscher, Nehls, Jänicke, Wessolek 2015) Ein weiterer wichtiger Faktor für die Kühlwirkung von Kletterpflanzen ist die Bewässerung von Kletterpflanzen. So wurde in vorrangigen Studien festgestellt, dass die Blattoberfläche aufgrund von unzureichender Bewässerung bis zu 2,5°C wärmer sein kann, als die Oberfläche einer bewässerten Pflanze. Ebenso kann die Blattoberflächentemperatur bei Trockenheit die Umgebungstemperatur überschreiten. (Hoelscher 2013) Durch den Vergleich mit ähnlichen Messungen wurde geschlussfolgert, dass die Fassadenbegrünung einen größeren abkühlenden Effekt auf die Wandtemperatur hat als eine Wandoberfläche mit einer hohen Albedo. In dem Projekt wurde gezeigt dass der Kühleffekt durch eine Fassadenbegrünung sowohl auf der Verschattung des Gebäudes, als auch auf der Verdunstung durch die Pflanze beruht. So kann die Kühlwirkung bis zu 87% durch die Verschattung begründet werden. Einflussfaktoren sind Pflanzenart, Bewässerung und meteorologische Bedingungen. Bei direkter Sonneneinstrahlung trägt die Verschattung durch die Fassadenbegrünung den höchsten Anteil an der Abkühlung. (Hoelscher, Nehls, Jänicke, Wessolek 2015)

## **Erfolgsfaktoren/ aufgetretene Hemmnisse/ Handlungsbedarf/ Kenntnislücken**

Mit dem Forschungsprojekt konnte das Kühlungspotential von Fassadenbegrünung am Gebäude nachgewiesen werden. Die Betrachtung des Einflusses von Verschattung und Verdunstung auf die Abkühlung ergab, dass der Kühleffekt an heißen Tagen sich nur zu einem geringen Anteil auf der Verdunstung begründet. Der Mehrwert der Fassadenbegrünung liegt in der potentiellen Leistungserhöhung ohne erhöhten Platzbedarf (Erschließung vertikaler Flächen).

Inwiefern die Kühlwirkung von Pflanzenart, Bewässerung und meteorologischen Bedingungen abhängt, konnte nicht abschließend geklärt werden. Ebenso konnte kein linearer Zusammenhang zwischen der Größe der begrünten Fläche und der Kühlwirkung aufgestellt werden, wodurch es nicht möglich ist allgemeingültige Aussagen über die Effekte auf das Gebäudeumfeld zutreffen. Weitere Studien könnten in diesen Bereichen Aufschluss geben.

### Quellen:

Wessolek, G., Nehls, T., Hoelscher, M.-T. (o.J.): Teilprojekt 4.1 Gebäudebegrünung.  
[www.ucabs.org/index.php?page=rm41&lan=de](http://www.ucabs.org/index.php?page=rm41&lan=de). aufgerufen am 31.07.2018.

Hoelscher, M.-T., Nehls, T., Jänicke, B., Wessolek, G. (2015): Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. Berlin.

Hoelscher, Marie-Therese (2013): Greenhouse Experiments on Transpiration of Vertical Green (Master thesis). TU Berlin.

## 7.5 Dokumentation des Fachworkshops

Insgesamt 31 Expertinnen und Experten unterschiedlicher Fachrichtungen der Wissenschaft und Forschung, Verwaltung und Planung erörterten in den Räumen des Umweltbundesamtes Berlin am 10.09.2018 die Fragestellungen und Erkenntnisse des Forschungsprojektes.

Nach der Begrüßung durch Herrn Kirschbaum vom UBA präsentierte das Forschungsteam aus Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH, GEO-NET Umweltconsulting GmbH und bgmr Landschaftsarchitekten GmbH die Ergebnisse der Analysen und durchgeführten Experteninterviews.

Einführend in den Nachmittag stellte Stefan Brückmann, Ramboll Studio Dreiseitl das realisierte Bauprojekt „Ökologischer Wohn- und Gewerbepark mit natürlicher Klimatisierung“ in Nürnberg vor. Anschließend wurden in wechselnden Arbeitsgruppen zu drei Themenbereichen Handlungsempfehlungen auf Bundesebene und kommunaler Ebene sowie offene Fragen und der weitergehende Forschungsbedarf skizziert und für die Vorstellung im Plenum festgehalten.

Programm, Teilnehmerliste und die gezeigten Präsentationen befinden sich im Anhang dieser Ergebnisdokumentation.

Abbildung 36: Diskussionsrunde beim Fachworkshop



Quelle: Eigene Darstellung, bgmr Landschaftsarchitekten GmbH

## Stand der Techniken und Verfahren

Die Analyse des aktuellen Stands der Technik zeigt, dass es bereits eine Reihe von Techniken und Verfahren gibt, die einen Beitrag zur Verdunstungskühlung leisten. Projekte mit dem Ziel der Verdunstungskühlung sind bisher allerdings keine Praxis. Die Bewirtschaftung von Regenwasser ist v. a. auf die ökologisch optimierte Ableitung und Versickerung ausgerichtet. Bei den Zielen der gegenwärtigen Regenwasserbewirtschaftung ist die Verdunstungskühlung zumeist „nur“ ein positiver Nebeneffekt, aber kein „harter“ Belang.

Auch in den Regelwerken ist die Verdunstung (noch) keine relevante Zielgröße. Die Versickerung ist mit Regelwerken hinterlegt, wogegen die Kühlung durch Verdunstung als positiver Ertrag von Landnutzung, Bewuchs und Boden noch wenig Berücksichtigung findet. Oft wird auch in der Wasserbilanz die Verdunstung als eine „Verlustgröße“ betrachtet. Eine positive Begriffsbesetzung der Verdunstungsleistung für die Kühlung der Städte und eine Untersetzung in den Regelwerken ist erforderlich.

In den durchgeführten Experteninterviews wurden die Potentiale der Verdunstung für Kühlung auf der Ebene der Gebäude, dem Stadtquartier und der Gesamtstadt bestätigt. Zur tatsächlichen Verdunstungsleistung von Flächen und Maßnahmen liegen jedoch nur wenig systematische Untersuchungen vor. Anschaulich wird das Potential der Kühlleistung anhand des Berechnungsbeispiels im Leitfaden zur Einbindung der Kühlleistung von Böden in stadtklimatische Konzepte in NRW. Die mittlere jährliche Verdunstungsleistung für 1 Hektar bepflanztem Boden mit guten Wasserspeichereigenschaften beträgt in NRW 430 Liter/m<sup>2</sup>. Die Kosten für eine äquivalent mit Strom erzeugte Verdunstungsmenge liegen bei rund 600.000 €. (LANUV-Arbeitsblatt 29, 2015). In den Experteninterviews wurde zusätzlich ein großes Potential für die Kühlung in den vertikalen Flächen gesehen (Fassadenbegrünung und Baumpflanzungen).

## Ergebnisse der Fallstudienuntersuchung

In Modellierungen auf der Gebäude-, Quartiers und Gesamtstadtebene wurde untersucht, wie wirksam die Kühlung durch Regenwasserverdunstung für das thermische Wohlbefinden der Menschen ist und welche energetische Einsparungen durch die Nutzung der Verdunstungskühlung erreicht werden können. Im Ergebnis wurden Potentiale in allen Fallstudien (auf allen Maßstabsebenen) festgestellt.

Die Abnahme des Kühlungsbedarfs der Innenräume durch die einzeln untersuchten Maßnahmen Dachbegrünung (extensiv ohne/mit Anstau, intensiv), Fassadenbegrünung (unbewässert, bewässert) sowie Verschattung des Gebäudes durch Bäume liegt für das in der Fallstudie untersuchte nicht gedämmte, dreigeschossige Gebäude mit Flachdach aus den 70er Jahren zwischen 10-50 %. Besonders wirksam sind dabei die Verschattung durch Bäume und die Fassadenbegrünung, da diese Maßnahmen auf einen großen Teil der Fassadenflächen wirken.

Bei Umsetzung der oben angeführten gebäudebezogenen Maßnahmen sowie weiterer Maßnahmen auf dem Grundstück (Baumrigolen, Entsiegelung teilversiegelter Flächen und Anlage von Rasen, Anlage von Versickerungsfläche und Urban Wetlands) wurde für das in der Fallstudie untersuchte Stadtquartier in Berlin-Pankow ein Potential von z. B. 16 % weniger Jahresstunden mit Hitzestress festgestellt. Im Bestand tritt der größte Hitzestress im untersuchten Quartier in baumlosen Straßen und versiegelten, unbeschatteten Höfen auf. Die Begrünungsmaßnahmen bewirken ebenfalls eine Reduzierung der Anzahl der Tropennächte.

Für die Fallstudie auf der Ebene Gesamtstadt wurde beispielhaft die Emscherregion betrachtet. Da eine mikroskalige Betrachtung für die Gesamtstadt(-region) extrem aufwändig ist, erfolgte für diese Fallstudienuntersuchung eine Simulation im mesoskaligen Bereich. In dieser Betrachtung wurden eine klassifizierte Landnutzung, die Regenwasserbewirtschaftungsartenkarte der Region und das vorhandene Abkopplungspotential von der Kanalisation mit berücksichtigt. Maßnahmen wie die Beschattung

von Gebäuden sind dabei nicht berücksichtigt. Für die Emscherregion wurde ein Abkühlungspotential des Siedlungsraumes am Tage um 0,9 K im Mittel über die gesamte Region ermittelt.

Hinsichtlich der Fallstudienresultate ist zu beachten, dass die ermittelten Quantitäten vom Einzelfall (also von den getroffenen Annahmen und den weiteren eingehenden Standortparametern) abhängig sind. Die Grundaussagen sind dennoch übertragbar. Maßnahmen zur Kühlung durch Verdunstung wirken (fast) immer im Komplex (z. B. zusammen mit der Verschattung) und sollten daher (stadtklimatisch) nicht isoliert betrachtet werden.

Weiterer Forschungsbedarf wird vor allem im Bereich der gesamtstädtisch-mikroskaligen Betrachtung der Kühlungseffekte gesehen. Mit Blick auf den Klimawandel sollten blau-grüne Maßnahmen durch Maßnahmen der Gebäudesanierung und weitere technische Maßnahmen auf öffentlichen und privaten Stadtoberflächen ergänzt werden wie z. B. die Flächenbenetzung mit Wasser, Fontänen/Sprühnebel, Albedoerhöhung etc. .

### **Diskussion und Beiträge im Plenum**

Die Wirkung der untersuchten Maßnahmen für die Verdunstungskühlung wird durch die Ergebnisse des Projekts KLIQ in Hamburg (Klimafolgenanpassung innerstädtischer hochverdichteter Quartiere)<sup>3</sup> bestätigt. Im Rahmen dieses Projektes wurde als Planungshilfe eine Checkliste für die Gefährdungsanalyse zur Hitzevorsorge erarbeitet. Zusätzlich wurden Maßnahmen für unterschiedliche Baualterklassen entwickelt. Das Hamburger Projekt SIK befasst sich darüber hinaus mit dem Thema Stadtbäume im Klimawandel<sup>4</sup>.

Das große Plus der grünen Maßnahmen zur Verdunstungskühlung besteht darin, dass die erzeugte Verdunstungskälte keine Emissionen erzeugt.

Besonders die großen Städte stehen vor der Herausforderung, Wohnungen zu bauen. Für die Verdichtung der Städte ist die Hitzevorsorge bislang kein hartes Kriterium. Es wird für eindeutige und verbindliche Vorgaben plädiert, um einen klimatischen Ausgleich für die Zunahme an versiegelten und überbauten Flächen zu gewährleisten.

Für die Verwaltung und Planung ist vor allem eine stärkere Überzeugungsarbeit notwendig, das Bauen hingegen benötigt harte Vorgaben, um die Verdunstungsleistung als Zielgröße einzufordern.

Es werden Zielwerte für den Grünanteil und die Verdunstung in den Stadtteilen benötigt. Dazu muss der Berechnungsnachweis für die Verdunstungsleistung definiert werden.

Angesichts knapper Flächen in wachsenden Städten sollte ein Mikrosystem an Verdunstungsflächen in den Städten geschaffen werden und verstärkt auf die Leistungsfähigkeit von Großpflanzen (verdunstungsfähige Bäume, Großbäume mit durchlässigem Blattwerk, die eine ausreichende Zirkulation gewährleisten) gesetzt werden. Diese Elemente sollten auf die ganze Stadt verteilt werden.

Der Verlust von Grünstrukturen wird als ein entscheidender Motor für die Zunahme von Hotspots mit Hitzestress angesehen. Dachbegrünungen höherer Gebäude bewirken zwar keine bodennahe Abkühlung, begrünte Dachflächen sind aber wichtig als aktive Verdunstungs- und Retentionsflächen.

Der Umbau der Verkehrsflächen z. B. aufgrund geänderter Mobilitätsanforderungen oder des Erneuerungsbedarfs der Infrastruktur stellt ein erhebliches Potential dar, um die Verdunstung durch Bepflanzungen und den Einbau ober- und unterirdischer Speichersysteme zu fördern.

---

<sup>3</sup> <https://www.hcu-hamburg.de/research/forschungsgruppen/reap/reap-projekte/klimafolgenanpassung-innerstaedischer-hochverdichteter-quartiere-in-hamburg-kiq/>

<sup>4</sup> <https://www.hcu-hamburg.de/research/forschungsgruppen/reap/reap-projekte/stadtbaeume-im-klimawandel-sik/>

Geeignete Vegetationsarten für Verdunstungsflächen, extensiv zu betreibende Retentionsflächen, die gezielte Steuerung der Wasserzufuhr sowie geeignete Pflegekonzepte für Regenwasserbewirtschaftungsflächen sind wichtige Zukunftsaufgaben für die Umsetzung in den Kommunen. Die eingesetzten Techniken müssen professionell betrieben und unterhalten werden.

Es gilt zu bedenken, dass eine Summierung verdunstungsfördernder Maßnahmen eine Zunahme von Schwüle in den Städten bewirken kann. Dagegen spricht allerdings, dass aufgrund der Kleinteiligkeit der Maßnahmen und des verbleibenden hohen Anteils an versiegelten und bebauten Flächen in den Innenstädten eine Zunahme von Schwüle in heißen Wetterperioden kaum entstehen kann.

Gute, aktuelle Praxisbeispiele sind wichtig für die Überzeugungsarbeit. Hierzulande fehlen allerdings neuere Demonstrationsanlagen, wie es sie z. B. in Malmö gibt, die innovative Techniken zur Regenwasserbewirtschaftung und Verdunstung zeigen. In diesem Zusammenhang wird auch auf die besondere Verantwortung für beispielgebende Bauprojekten des Bundes hingewiesen. Es werden neue Standards für Bundesbauten und Leitlinien für das ökologische Bauen benötigt.

## **Ergebnisse des World-Cafés - Handlungsempfehlungen an den Bund und die Kommunen für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung / weiterer Forschungsbedarf**

### **Tisch 1: Technische Umsetzung und Verfahren auf der Gebäudeebene**

Moderation: Heiko Sieker, IPS; Dokumentation: Robert von Tils, GEO-NET

#### *Neue Ansätze für die Speicher-Bemessung*

Eine Erhöhung der Verdunstungsleistung setzt eine ausreichende Wasserzufuhr für die Bepflanzung auch über längere Trockenzeiten voraus. Dies bedingt Speicherbausteine, die anders als die bisher in der Siedlungswasserwirtschaft üblichen Retentionsräume nicht nur kurze Regen zwischenspeichern müssen, sondern auch mehrere Wochen oder sogar Monate (Saisonalspeicher, Jahresspeicher) Wasser vorhalten müssen. Speicher können dabei sowohl technische Speicher (z. B. Zisternen), Bausteine einer Dachbegrünung, als auch Bodenspeicher sein. Ggf. sind Nachspeisemöglichkeiten vorzusehen.

Diese Aufgabe erfordert neue Bemessungsansätze für Speicher in der Siedlungswasserwirtschaft. Die Bemessungswerkzeuge sind grundsätzlich vorhanden. Eine Langzeitsimulation wird als notwendig erachtet. Klimadaten (Niederschläge, potentielle Verdunstung) sind in Deutschland ebenfalls in ausreichender Güte frei verfügbar. Defizite bestehen bei Informationen zu der Verdunstungsleistung von Pflanzen. Hier besteht einerseits Forschungsbedarf, andererseits werden zeitnah pragmatische Ansätze benötigt, die notfalls auf der sicheren Seite liegen müssen.

#### *Pflanzenauswahl*

Eine zukünftig stärkere Berücksichtigung der Verdunstung macht eine andere Pflanzenauswahl notwendig. Gründachpflanzen beispielsweise wurden bislang meist hinsichtlich ihrer Trockenheitsverträglichkeit ausgewählt (Sukkulenten). Diese weisen aber naturgemäß keine hohe Verdunstungsleistung auf. Ähnliches gilt für Baumarten. Auch die Frage nach einheimischen Arten vs. Neophyten muss diskutiert werden. Pflegeaspekte sind bei der Pflanzenauswahl von großer Bedeutung.

#### *Berücksichtigung im Planungsprozess*

Eine erhöhte Verdunstungsleistung sollte über Planungsvorgaben (Zielvorgaben) erfolgen und nicht über die Vorgabe von bestimmten Maßnahmen. Damit wird Architekten, Planern, Bauherrn ermöglicht, flexibel auf die örtlichen Bedingungen zu reagieren.

Die Zielvorgaben sollten sich an dem (potentiell) natürlichen Zustand orientieren. Wie dieser definiert wird (Naturzustand vs. Kulturlandschaft) oder ob notwendige Kompromisse über den Grad der Zielerreichung bestimmt werden, ist zu diskutieren.

Wichtig ist die Überprüfung der Wirksamkeit (Nachweis). Weiterhin wird angeregt, Ökobilanzen und Lebenszykluskosten zu berücksichtigen. Möglichkeiten der Zertifizierung sollten geprüft werden.

Unterschiede bestehen in den lokalen Gesetzesgrundlagen bzw. Genehmigungspraktiken. Als kontraproduktiv wurde der Anschluss- und Benutzungszwang für Regenwasser in NRW angesprochen. Als positives Beispiel wurde der Leitfaden „Puccini“ für Regenwassermanagement in Amsterdam erwähnt.

## **Tisch 2: Technische Umsetzung und Verfahren auf den Ebenen Gesamtstadt und Stadtquartiere**

Moderation Dr. Björn Büter, GEO-NET; Dokumentation: Dominika Leßmann, GEO-NET, Ruth Steyer, IPS)

### *Einsatz von Techniken der Verdunstungskühlung*

Insgesamt gilt es, die aktive Stadtbewässerung zu fördern (Wasserverteilung auf Straßenflächen, Sprinkleranlagen, etc.). Damit einher geht die Schaffung von Räumen für die Regenwasserspeicherung (ober- und unterirdisch). Auch werden sowohl aktive Bewässerungssysteme (Wasserspeicherung und Umleitung in andere Stadtteile) als auch passive Bewässerungssysteme (Wetlands als Reservoir) benötigt. Dabei sollte die Verwendung von Grundwasser in Betracht gezogen werden, vorausgesetzt es ist ein ausreichender Grundwasserspeicher vorhanden.

Die Umsetzung vieler kleiner Mikro- oder Pocket-Parks zur Verdunstungskühlung und Wasserspeicherung, die über das ganze Stadtgebiet verteilt sind, wird als sinnvoll erachtet. Zur technischen Umsetzbarkeit und zur Pflanzenverwendung besteht noch weiterer Untersuchungsbedarf. So sollte die Verdunstungsleistung der Vegetation genauer erforscht werden (Ermittlung pflanzenspezifischer Zahlen).

Die bestehenden Strukturen und die Organisation in der Stadt sollten für die Verdunstungskühlung genutzt werden (Doppelnutzung). Beispielsweise könnte die Straßenreinigung gleichzeitig die Verdunstungsflächen bewässern.

Als alternative Wasserquelle wird die Verwendung von Grau-Wasser z. B. für die Bewässerung von Gründächern vorgeschlagen, wobei allerdings eine Vorreinigung des Wassers meistens von Nöten wäre.

Bei der Einleitung von Niederschlagswasser von den verschiedenen Stadtoberflächen in Grünflächen besteht noch Forschungsbedarf. Eine Untersuchung von potentiellen Schadstoffanreicherungen durch die Einleitung und die Ermittlung der sich ergebenden Restriktionen sind von Nöten.

Um Insektenprobleme zu vermeiden, sollten keine stehenden Gewässer umgesetzt werden. Diese Vorgabe ist in anderen Ländern bereits in den Regelwerken verankert). Anzumerken ist hierzu, dass flächig bepflanzte Verdunstungsflächen, die ständig mit Wasser versorgt werden (Wetlands), keine größeren offenen Wasserflächen aufweisen. Hierdurch ist die Mückenentwicklung eingeschränkt.

### *Umsetzung von Maßnahmen*

Für eine gezielte Maßnahmenumsetzung ist eine konkrete Zieldefinition erforderlich, die je nach Standort/ Ebene unterschiedlich ausfallen kann. Die Zielsetzung ist wichtig, um unnötige pauschale Anforderungen zum Thema zu vermeiden. So ist beispielsweise eine generelle Vernässung in der Stadt nicht gewünscht.

Kommunen sollten gesamtstädtische Potentialanalysen durchführen um die größten Potentiale für die Verdunstung und Kühlung zu ermitteln. Da das Potential im Straßenraum hoch ist, ist es wichtig Standards für die Straßenplanung festzulegen, die die Verdunstungskühlung/ Regenwassernutzung berücksichtigen. Ein hohes Potential liegt auch in der Nutzung von Gewerbeflächen, da hier ein großer Freiflächenanteil und zumeist Flachdächer vorhanden sind. Diese Flächen sind potentiell als Speicher

und/oder Verdunstungsfläche nutzbar. Für die Aktivierung dieser Potentiale müssen jedoch Anreize geschaffen werden.

Ein weiteres Potential liegt im Zusammenspiel von öffentlichen und privaten Flächen. Quartiersbezogene Konzepte sollten Ziele und Maßnahmen, die einen Beitrag zur Verdunstungskühlung leisten, grundstücksübergreifend für öffentliche und private Flächen aufzeigen und die Akteure benennen. Die Kooperation und der Dialog mit den Eigentümern sind Grundvoraussetzungen, um die positiven Synergien der Grundstückspotentiale zu nutzen und Maßnahmen, die Schäden am Nachbargrundstück hervorrufen, zu vermeiden.

Zu beachten ist, dass Lösungen zur Verdunstungskühlung standortspezifisch sein müssen, da jeder Standort andere Eigenschaften, Potentiale, Möglichkeiten und Einschränkungen aufweist. So ist beispielsweise zu prüfen, wo und unter welchen Rahmenbedingungen welcher Speicher geeignet ist.

Auch eine gezielte Pflanzenauswahl ist wichtig. So geht eine hohe Verdunstung oft nicht einher mit Hitzeresistenz. Steht die Verdunstung im Fokus, sollten verdunstungsstarke Pflanzen verwendet und diese in trockenen Perioden bewässert werden. Hierbei ist wiederum die Wasserspeicherung wichtig!

#### *Werkzeuge für die Planung*

Benötigt wird ein Maßnahmen- und Pflanzenkatalog. Hierbei sind Daten und Fakten mit konkreten Zahlen wichtig. Der Katalog sollte u. a. das Verdunstungspotential und die Eignung von spezifischen Flächen wiedergeben. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten sollten für diesen Katalog gleiche Ermittlungsmethoden verwendet werden.

Für die Umsetzung sollten auch internationale Erfahrungen genutzt werden. Dazu bietet sich der Vergleich von Städten und deren Umsetzungsmöglichkeiten an: Warum ist es möglich in einer Stadt eine Maßnahme zu implementieren ohne auf (rechtliche) Probleme zu stoßen und in einer anderen Stadt nicht?

Als Entscheidungswerkzeug für die Umsetzung von Maßnahmen wird die Erstellung von Gesamt-Ökobilanzen vorgeschlagen, die den Aufwand für die Errichtung, den Betrieb und die Pflege den Nutzeffekten wie Kühlleistung, Biodiversität, Gebrauchswert, Einsparungen z. B. durch Schutz der Gebäudehaut vergleichen.

Zertifizierungssysteme sollten eingeführt werden, um Anreize zu schaffen. Gleichzeitig dient die Zertifizierung dazu, die Einhaltung bestimmter Anforderungen nachzuweisen. Der Vergleich existierender Zertifizierungssysteme (LEED, BNB, etc.) zeigt hier unterschiedliche Ansätze. Im Rahmen eines Zertifizierungssystems zur Verdunstung könnten Anforderungen genauer und einheitlich definiert werden.

Die Öffentlichkeitsbeteiligung ist ein wichtiges Werkzeug um die Umsetzung von Maßnahmen zu verstärken. Benannt werden die zielgerichtete Ansprache von Privatpersonen, die finanzielle Förderung sowie Informationstage/ -veranstaltungen (z. B. in Baumärkten, in welchen gleichzeitig die entsprechenden Produkte angeboten werden). Bei der Öffentlichkeitsarbeit sind Institutionen, die mit Stadtverwaltungen eng zusammen kooperieren wichtig.

### **Tisch 3: Verankerung und Umsetzung in der Stadtentwicklung und in planerischen Instrumenten**

Moderation: Dr. Carlo Becker, bgmr; Dokumentation: Sven Hübner, bgmr, Matthias Pallasch, IPS

#### *Sensibilisierung und Wissenstransfer*

Grundsätzlich ist eine Zielvereinbarung notwendig, Wasser vorrangig an der Oberfläche zu halten. Dieses Ziel muss dann in alle relevanten Fachbelange eingebracht werden.

Für die Verwaltung und Politik wird ein großer Beratungsbedarf festgestellt. Ein Hemmnis sind auch die unterschiedlichen Denk-Logiken, die dem Handeln der verschiedenen Fachbereiche zugrunde lie-

gen. Fortbildungen und Roadshows werden als wichtig erachtet, um das Thema aufzuschließen und den Mehrwert der Verdunstungskühlung auf unterschiedlichen Ebenen und für unterschiedliche Belange aufzuzeigen. Außerdem muss das Thema verstärkt in die universitäre Ausbildung aufgenommen werden.

Die Relevanz des Themas ist auf geeignete Weise zu transportieren. In Hamburg wurde aufgezeigt, dass die Dachbegrünung eine wichtige Ausgleichsmaßnahme für die bauliche Verdichtung ist. Diese Botschaft wurde dann politisch aufgegriffen und ein Dachbegrünungsprogramm aufgelegt.

Ein wichtiges „Zugpferd“ ist auch das Thema Gesundheit. Bei der Besetzung des Leitbildes ist auf eine positive Botschaft zu achten (z. B. „frische Stadt“).

Die Hitzevorsorge benötigt Kümmerner. Das Klimaschutzmanagement hat seine Berechtigung, befasst sich aber nicht mit der Klimaanpassung und Hitzevorsorge. Für die Kommunikation und Vernetzung benötigen die Kommunen Personal mit Kompetenz und Ressourcen.

#### *Planerische Empfehlungen und Instrumente*

Verdunstung muss zu einer Zielgröße der Nachverdichtung werden (politische Festlegung von Anteilen der Verdunstung). Dies setzt die Benennung der quantitativen und qualitativen Wirkungen und Effekte für die Städte und die Bewohner voraus. Außerdem werden geeignete Bewertungsverfahren und -vorgaben benötigt. Das Ziel der „Verdunstungsstadt“ darf dabei nicht allein stehen, sondern muss anderen Zielen kombiniert werden (lebenswerte Stadt, biodiverse Stadt, etc.).

Die natürliche Wasserbilanz ist eine zentrale Zielgröße. Sie ist standortabhängig und sollte in einem einheitlichen Verfahren ermittelt und für die Stadtquartiere vorgegeben werden. Damit ein solches Verfahren Akzeptanz findet, sollte es unkompliziert gehalten werden.

Hitzevorsorge und Verdunstungskühlung müssen frühzeitig in Planverfahren eingebracht werden. Daher sollten sie zu Bewertungskriterien für städtebauliche Wettbewerbe, Umweltverträglichkeitsprüfungen und Bauplanungsunterlagen werden. Beispielsweise könnte Hitze als Folge fehlender Verdunstungskühlung als Emission eingeführt werden und in der Umweltprüfung stärker platziert werden.

Der DWD kann die Hotspots in den Städten und Stadtregionen benennen. Damit liegen wichtige fachliche Grundlagen für die Stadtplanung vor. In solchen Hotspots müssten Investoren von Bauprojekten, die zu einem Verlust von Grünstrukturen bzw. zur Erhöhung der Versiegelung/Baumasse führen, auf der Grundlage eines Maßnahmenkataloges einen quantitativen und qualitativen Ausgleich schaffen.

Betont wird, dass für Planer und Investoren eine gewisse Flexibilität in der Auswahl geeigneter Maßnahmen verbleiben sollte. Es wird eine „Toolbox“ an Maßnahmen benötigt, die aufzeigt: Was bringt was, wo und unter welchen Bedingungen?

Die veränderte Mobilität schafft Raum für Freiraumqualitäten und Begrünungsmaßnahmen. Dazu müssen die Multifunktionalität von Straßen und die wassersensible Straßenplanung eingefordert werden. Hilfreich ist die Verzahnung von Planungen: Wenn Mobilitätskonzepte, Straßenplanung und eine qualifizierte Freiflächenplanung parallel erarbeitetet, aufeinander abgestimmt werden und einem gemeinsamen Leitbild folgen, können erhebliche Potentiale aktiviert werden.

In diesem Zusammenhang wird auf das Projekt „Blue-Green-Streets“ hingewiesen, das vom BMBF gefördert wird und im Jahr 2019 startet. Ziel ist es, Entwurfselemente für wassersensible und hitzeangepasste Straßen zu entwickeln.

Der Bund kann einen wichtigen Beitrag leisten, indem er die Kühlung als Kriterienkatalog für öffentliche Bauten aufnimmt.

### *Rechtliche Verankerung*

Die natürliche Wasserbilanz und die Verdunstung sollten in der nächsten Novellierung des Wassergesetzes (insbesondere in § 55 Abs. 2) gesetzlich verankert werden (auch der Aspekt der Filterung). Dafür müssen Berechnungsmethoden und Ausführungsvorschriften bereitgestellt werden.

Auch im Baugesetzbuch sollte die Hitzevorsorge aufgenommen werden, da dieses Gesetz querschnittsorientiert ist. Die Versickerung und der Schutz vor Starkregen sind bereits verankert, Hitzevorsorge und Flächen für die Verdunstung sind bislang noch nicht als Festsetzungen in der Bauleitplanung enthalten (§ 9 Abs. 1 Nr. 16).

Auch die rechtliche Verankerung eines Grünflächenfaktors für Baugrundstücke im BauGB und in der BauNVO wird empfohlen. Der Grünflächenfaktor (GFF) würde (wie der für Berlin entwickelte Biotopflächenfaktor - BFF) den Mindestanteil zu begrünender Flächen auf Grundstücken festlegen. Hierfür kommen sowohl Maßnahmen zu ebener Erde mit Anschluss an den gewachsenen Boden als auch Begrünungen auf Dachflächen und an Fassaden infrage. Der GFF soll eine starke Naturhaushaltskomponente in der Bewertung haben, da in der dichten Inneren Stadt Biotopwert erhöhende Maßnahmen kaum erzielbar sind. Maßnahmen, die dazu beitragen, Regenwasser zu speichern und die Verdunstungskühlung zu fördern, sollten prozentual auf den GFF anrechenbar sein.

Es wird vorgeschlagen für den GFF die Methode des BFF weiterzuentwickeln und um die Komponenten Wasser- und Energiehaushalt zu erweitern.

## Anlage zur Dokumentation des Fachworkshops

### Programm zum Experten-Workshop „Verdunstungskühlung“ am 10.09.2018 im UBA

Moderation: Dr. Carlo W. Becker

#### 11.00 Begrüßung, Projekthintergrund, Forschungsfragen (UBA)

#### 11.15 Einführung zum aktuellen Stand der Verdunstungskühlung in Wissenschaft und Praxis (bgmr, IPS)

Techniken und Verfahren zur Verdunstungskühlung, Bau- und Forschungsprojekte, Relevanz der Verdunstungskühlung in den techn. Regelwerken,

Ergebnisse der Experteninterviews

Nachfragen und Diskussion (15 Min)

#### 12.00 Ergebnisse der Potentialuntersuchungen zu Fallstudien auf den Ebenen Gebäude/ Quartier/ Stadt (GeoNet, IPS)

Methodik, Annahmen und Maßnahmen für die Modellierung, Ergebnisse und Schlussfolgerungen (40 Min.)

Nachfragen und Diskussion (20 Min)

#### 13.00 Mittagspause (UBA-Kantine / Selbstzahler)

#### 13.45 Praxisinput: „Ökologischer Wohn- und Gewerbepark mit natürlicher Klimatisierung in Nürnberg“, Stefan Brückmann, Ramboll Studio Dreiseitl (10 Min)

Nachfragen

#### 14:00 World Café: Handlungsempfehlungen an den Bund und die Kommunen für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung / weiterer Forschungsbedarf

**Tisch 1: „Technische Umsetzung und Verfahren auf der Gebäudeebene“** (M: Prof. Sieker, IPS; D: von Tils, GEO-NET)

Verbesserung der Leistungsfähigkeit, technische Optimierung, Verbesserung Grundlagenwissen und Wissenstransfer, weiterer Forschungsbedarf

**Tisch 2: „Technische Umsetzung und Verfahren auf der Ebene der Gesamtstadt und der Stadtquartiere“** (M: Dr. Büter, GEO-NET; D: Lessmann, GEO-NET, Steyer, IPS)

Maßnahmenswerpunkte, Verbesserung der Leistungsfähigkeit, technische Optimierung, Verbesserung Grundlagenwissen und Wissenstransfer, weiterer Forschungsbedarf

**Tisch 3: „Verankerung und Umsetzung in der Stadtentwicklung und in planerischen Instrumenten“** (M: Dr. Becker, bgmr; D: Hübner, bgmr, M. Pallasch, IPS)

Empfehlungen zur Sensibilisierung und Kooperation, Planerische Empfehlungen, Instrumentelle und rechtliche Verankerung

#### 15.30 Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Arbeitsgruppen

#### 15.50 Danke und Verabschiedung (UBA und Moderator)

#### 16.00 Ende