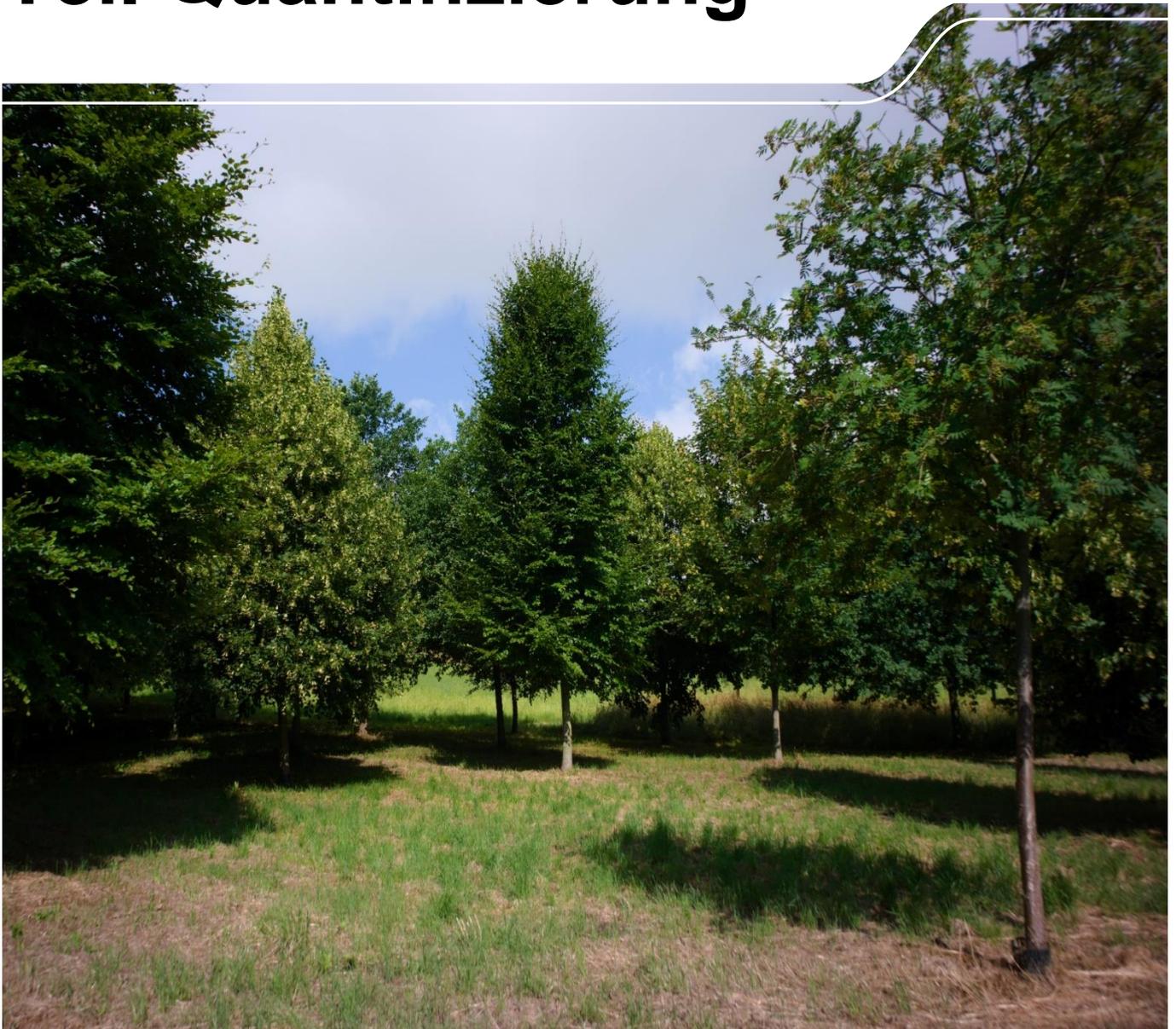




Bodenfunktionen in der wassersensiblen Stadtentwicklung, Teil Quantifizierung



Bodenfunktionen in der wassersensiblen Stadt, Teil Quantifizierung

StadtLand GmbH (Dr. Uwe Ferber, Team StadtLand GmbH)

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung und Ziele	5
2	Rahmenbedingungen	6
2.1	Initiativen der Europäische Union	6
2.2	Initiativen im Bund.....	6
2.3	Initiativen in Sachsen	7
2.4	Methodik	9
3	Literaturrecherche: Bodenfunktionen, wassersensible Stadt – Quantifizierung	12
3.1	Literaturrecherche: Urbane Böden	12
3.2	Literaturrecherche: Versiegelung	14
3.3	Literaturrecherche: Ökosystemleistungen des Bodens und des Stadtgrüns	15
3.4	Literaturrecherche: Klimawandel und Klimaanpassung	19
3.5	Literaturrecherche: Wassersensible Stadtentwicklung.....	20
3.6	Literaturrecherche: Bodenkundliche Baubegleitung.....	22
3.7	Kernaussagen aus den Interviews	22
3.8	Zusammenfassung Indikatoren.....	23
4	Fallbeispiele: Bodenfunktionen und wassersensible Stadt	24
4.1	Auswahl der Projekte	24
4.2	Quartier 416.....	25
4.3	Buckower Felder.....	28
4.4	Industrievorsorgegebiet Wiedemar	33
5	Entscheidungshilfetool für Maßnahmen „Bodenfunktion in der wassersensiblen Stadtentwicklung“	36
6	Zusammenfassung/Fazit	41
	Literaturverzeichnis	42

Abkürzungsverzeichnis

AB	Arbeitsbreiten
ANK	Aktionsprogramm natürlicher Klimaschutz
BMWSB	Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
B-Plan	Bebauungsplan
DOP	Digitales Orthophoto
EU	Europäische Union
EK	Europäische Kommission
LfLUG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
ELSA	European Land and Soil Alliance
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
Ha	Hektar
INSEK	Integriertes Stadtentwicklungskonzept
nFKWe	Nutzbare Feldkapazität des Bodens im effektiven Wurzelraum
LK	Luftkapazität des Bodens
We	Effektiver Wurzelraum
Kf-Wert	Durchlässigkeitsbeiwert der Versickerungsfähigkeit von Böden
SMEKUL	Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft
SUITMA	Soils of Urban, Industrial, Traffic, Military and Mining Areas
SuV	Siedlungs- und Verkehrsflächen

1. Aufgabenstellung und Ziele

Auch der Freistaat Sachsen ist stärker als zuvor von den massiven Folgen des Klimawandels betroffen. Extremwetterereignisse, wie beispielsweise Starkregen, Überflutungen und Hitze belasteten urbane Gebiete und den ländlichen Raum stark. Nicht zuletzt die Überflutungsereignisse in Rheinland-Pfalz im Ahrtal verdeutlichen die prekäre Lage in der sich auch Sachsen potenziell befindet. Infolge des fortschreitenden Klimawandels gewinnen Konzepte und Ideen bezüglich des Wasserrückhaltes und der Speicherung von Wasser in Verbindung mit dem Bodenschutz im urbanen Raum zunehmend an Bedeutung. Ein in diesem Rahmen diskutiertes Konzept stellt die wassersensible Stadtentwicklung dar, welches in der Fachplanung ebenfalls als wassersensible Stadtentwicklung bezeichnet wird. Die Stadt-Land GmbH wurde im November 2022 mit der Bearbeitung der Studie „Bodenfunktionen in der wassersensiblen Stadtentwicklung, Teil Quantifizierung“ beauftragt. Die Arbeit schließt an die Ergebnisse der 2020 veröffentlichten Studie „Ökosystem-Dienstleistungen des Bodens / der Fläche“ an (Ferber, Eckert 2020).

Mit dieser vorliegenden Studie soll das Bewusstsein der Umsetzbarkeit von mehr Wasserrückhaltung durch den Schutz des Bodens gesteigert und Optionen der Umsetzung in Freistaat Sachsen aufgezeigt werden. Es wurden bis Dezember 2022 relevante Veröffentlichungen zum Thema Schwammstadt und wassersensible Stadtentwicklung analysiert und bereits erfolgte oder geplante Umsetzungsmaßnahmen zum Wasserrückhalt bzw. zur Verringerung des wild abfließenden Wassers in der Stadtplanung bundesweit erfasst. Zudem wurden relevante Normen und Standards, insbesondere die „DWA-A 138 Richtlinie: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser und FLL-Empfehlungen zur Regenwasserbewirtschaftung“ betrachtet. Ziele der Studie sind:

- Bodenschutzmaßnahmen mit quantifizierbaren Ansätzen zur Verbesserung von Wasserrückhalt und Temperaturentwicklung zu untersuchen.
- die ökologischen Leistungen des Bodens an sächsischen Beispielen zu quantifizieren, um Vorteile im Entscheidungsprozess für die zweckgebundene Bodenentsiegelung, Flächenrevitalisierung und den Aufbau grüner Infrastruktur zu erzielen.
- einer Checkliste „Bodenfunktionen in der wassersensiblen Stadt“ mit einem Überblick über erfolgreiche Beispiele der Integration des Bodens auf Großbaustellen und im Siedlungsbestand mit Blick auf variable Funktionen des Bodens und seiner Ökosystemleistungen zu erstellen.
- ein Entscheidungshilfetool für Maßnahmen des Bodenschutzes in der wassersensiblen Stadt zu erstellen.

Die methodische Herangehensweise basiert auf einer Literaturanalyse und der Erhebung von Grundlegendaten durch ausgewählte Fallbeispiele. Ergänzend werden am März 2023 Interviews mit Projektträgern durchgeführt.

2. Rahmenbedingungen

Die Themenfelder „Bodenfunktionen“ und „wassersensible Stadtentwicklung“ werden trotz ihrer engen gegenseitigen Zusammenhänge und Wechselwirkungen bisher kaum gemeinsam in den Blick genommen. In der 2020 veröffentlichten Studie des LfULG „Ökosystem-Dienstleistungen des Bodens / der Fläche“ wurde die engen Zusammenhänge dargestellt (Ferber, Eckert 2020). In der Zwischenzeit haben sich die Rahmenbedingungen deutlich verändert. Initiativen auf Ebene der Europäischen Union, des Bundes und im Freistaat Sachsen verbessern die Chancen, praktische Maßnahmen im größeren Umfang als bisher umzusetzen.

2.1 Initiativen der Europäische Union

Mit dem Ziel „Netto Null“ fokussiert die Europäische Union auf den Schutz natürlicher Böden und stellt die Weichen hin zur Etablierung einer Flächenkreislaufwirtschaft bis zum Jahr 2050. Die Flächenkreislaufwirtschaft stellt ein System von Planung, Nutzung, Nutzungsaufgabe, Brachliegen und Wiedereinbringen von Flächen dar. Prämisse einer Flächenkreislaufwirtschaft ist es, bestehende Flächenpotenziale zu mobilisieren und für neue Nutzungen vorrangig in Anspruch zu nehmen. Die Flächennutzung soll auf vorher bereits baulichen genutzten Grundstücken (z.B. Brachflächen, Baulücken) erfolgen. Die Ausweisung neuer Bauflächen wäre nur in dem Maße möglich, wie anderenorts Flächen entwidmet, zurückgebaut und aus dem baulichen Nutzungskreislauf entlassen werden (z.B. durch Renaturierung und Wiederherstellung der Bodenfunktionen) (BMVBS, BBR 2007: 8ff).

Verbesserte Rahmenbedingungen sind zu erwarten:

- durch die Bodenexpertengruppe im Rahmen des Umweltaktionsprogrammes der Europäischen Kommission, die seit Februar 2022 intensiv an der Erarbeitung eines Vorschlags für ein Bodengesundheitsgesetz arbeitet.
- Durch das „European Soil Observatory“ (EUSO). Eine, im Dezember 2020, gegründete Plattform mit dem Ziel die Bodenpolitik in der EU im Sinne des „Green Deal“ zu unterstützen. Sie stellt mit Wissen und Daten bzw. Indikatoren zum Boden, Forschung und Innovation sowie Stärkung des Bewusstseins für den Wert des Bodens bereit. Die Plattform ist in Arbeitsgruppen organisiert, welche sich mit Stakeholdern austauschen, u.a. beim jährlichen Stakeholder Forum.

Das europäische Netzwerk ELSA (European Land and Soil Alliance) macht sich intensiv für das Themenfeld „Bodenfunktionen/Schwammstadt“ stark. In einer 2021/22 durchgeführten Veranstaltungsreihe wurden wertvolle fachliche Grundlagen zum Schwammstadthema gelegt (s. Webseite <http://www.bodenbuendnis.org/download/veranstaltungen/>) (European Land and Soil Alliance (ELSA) e.V. 2023).

2.2 Initiativen im Bund

Der Bund hat bereits in den vergangenen Jahren Initiativen für mehr „Grün in der Stadt“ ergriffen, bei denen die Themenfelder Bodenfunktionen / wassersensible Stadtentwicklung eine wichtige Rolle spielen. Mit dem im Jahr 2017 veröffentlichten Weißbuch Stadtgrün wurde die Stärkung des Grüns in der Stadt als politisches Ziel für eine integrierte und nachhaltige Stadtentwicklung formuliert (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung 2022). Außerdem wurde im Jahr 2021 ein Sofortprogramm Klimaanpassung gestartet, das die Kommunen mit zusätzlichen 60 Millionen Euro und Fachleuten unterstützt, um sich für Extremwetter oder Hitzeperioden besser zu wappnen (2.). Die Bundesregierung fördert Projekte zur wassersensiblen Stadtentwicklung im Rahmen des Programms „Zukunft Stadtgrün“

(Bayrisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz 2021). Zusätzlich hat sie einen Leitfaden für Kommunen und Planer herausgegeben, der Lösungsansätze und Umsetzungsbeispiele für eine Schwammstadt enthält (Südwestrundfunk 2022). Die Bundesregierung arbeitet auch mit anderen Ländern zusammen, um Erfahrungen und Wissen über die Schwammstadt zu teilen (Umweltbundesamt 2017).

Das Themenfeld Schwammstadt wird vom geplanten neuen Bundesprogramm „Natürlicher Klimaschutz“ aufgegriffen. Nach Einschätzung der Bundesregierung trägt natürlicher Klimaschutz substantiell dazu bei, die Ziele zum Klimaschutz, zum Schutz der biologischen Vielfalt und zur Vorsorge gegen die Folgen der Klimakrise zu erzielen. Dazu gehört auch, dass sich der Siedlungsraum für den Menschen nicht immer weiter in den Freiraum ausdehnt und die Siedlungs- und Verkehrsfläche nicht ungebremst zunimmt. Vermiedene Flächeninanspruchnahme ist somit natürlicher Klimaschutz, da auf den Eingriff in bestehende Ökosysteme verzichtet und die natürlichen Kohlenstoffspeicher von Boden und Vegetation bewahrt werden. Bis 2026 stehen für verschiedene Maßnahmen des natürlichen Klimaschutzes insgesamt vier Milliarden Euro aus dem „Aktionsprogramm natürlicher Klimaschutz“ (ANK) des Bundesumweltministeriums zur Verfügung (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz 2023).

Im ANK sind neben der Betonung von Böden als Kohlenstoffspeicher auch Ansätze zur Vermeidung und Verminderung von Flächeninanspruchnahme genannt, die insbesondere die kommunale Ebene adressieren.

2.3 Initiativen in Sachsen

Auch in Sachsen hat das Themenfeld zunehmend an Bedeutung gewonnen. So ist der Verlust von Bodenfunktionen infolge der anhaltenden Flächeninanspruchnahme nach wie vor signifikant. Die aktuelle Untersuchung des LfULG „Erfassung der Bodenversiegelung im Freistaat Sachsen“ zur Ermittlung von Versiegelungsgraden im Bundesland Sachsen verdeutlicht dies. Die Untersuchung aus dem Jahr 2021 basiert auf dem ATKIS-Basis-DLM 2021 sowie auf digitalen Luftbildern (2021).

Sowohl innerorts als auch außerorts wird der Boden in Sachsen durch Bauvorhaben in Anspruch genommen, abgegraben und versiegelt. Aktuelle Beispiele sind die Gewerbeflächenausweisungen in Dresden, Leipzig und Wiedemar.

Sächsische Kommunen nehmen das Themenfeld in den Blick, so entstehen unter anderem in Leipzig, Dresden, Bad Dübener Heide, Meerane, Hoyerswerda praktische Anwendungsbeispiele für Maßnahmen zur wassersensiblen Stadt.

Eine Vorreiterrolle nimmt die Stadt Leipzig und das Vorhaben „Leipziger BlauGrün“ ein. Auf Ebene der Gesamtstadt wurde die Erarbeitung einer wasserwirtschaftlichen Gesamtkonzeption beschlossen, welche in Teilbereichen Akzente auf den Bodenschutz legt. „Das Ziel soll sein, eine Wasserkonzeption für das ganze Stadtgebiet vorzulegen, die gefüllte Teiche und nutzbare Gräben und Flüsse sowie deren Pflege genauso zum Gegenstand hat, wie Lösungen für Starkregenereignisse und Trockenperioden“ (Böhlau, 2020).

Das Forschungsprojekt „Leipziger BlauGrün“ begleitet seit 2019 die wassersensible Entwicklung des „Eutritzscher Freiladbahnwegs“. Rein technische Regenwasserbehandlungsanlagen, welche das Oberflächenwasser schnell ableiten, werden nicht länger als geeignete Lösung verstanden. Regenwasserrückhaltung und Versickerung über den Boden gewinnen dagegen als klimaresiliente und umweltschonende Alternativen zunehmend für das Projekt an Relevanz. Wasser soll im Quartier gehalten, verfügbar und erlebbar gemacht werden. Es entsteht ein abflussloses und ressourceneffizientes Stadtquartier (UFZ 2021). Im Hinblick auf die zahlreichen bereitstellenden, regulierenden und kulturellen Ökosystemleistungen gegenüber der Stadtgesellschaft wird im Quartierskonzept das Wasser als eine zu bewirtschaftende multifunktionale Ressource betrachtet (UFZ 2021).

Die Landeshauptstadt Dresden hat Informationen zu Versickerungsmöglichkeiten für die Bürgerinnen und Bürger erarbeitet und analog und digital, bspw. als kurze Infoblätter, zur Verfügung gestellt. In den Infoblättern wird Wissenswertes zu den Themen Regenwasser, Versickerung, Bodenentsiegelung, durchlässige Flächenbelege und Bauwerke kurz und übersichtlich dargestellt. Unter anderem werden auch Kostenschätzungen, Einsatzspektrum und allgemeine Hinweise dargeboten (Ferber et. al. 2021: 9).

Auch kleinere Städte wie die Stadt Großenhain möchten zur „Schwammstadt“ werden – entsprechende Maßnahmen hierzu werden im Integrierten Stadtentwicklungskonzept (INSEK) der Stadt als zentrale Schwerpunktaufgaben aufgeführt. So wird am Topfmarkt und der Wallanlage eine dezentrale Regenwasserspeicherung etabliert (die STEG Stadtentwicklung GmbH 2019). Die sächsische Stadt Frankenberg hat mit der Revitalisierung von Brachflächen und der damit einhergehenden Wiederherstellung von Bodenfunktionen neue Räume für Wasserretention und Multifunktionalität im Stadtgebiet geschaffen. Im Rahmen der sächsischen Landesgartenschau 2019 wurden leerstehende Gebäude bzw. Brachflächen in der Nähe der Zschopau und in der Innenstadt abgebrochen und revitalisiert. Aufbauend auf den Planungen zur Landesgartenschau 2019 und der Revitalisierung im Innenstadtgebiet sind weitere Maßnahmen im Bereich des Mühlbachtals umgesetzt worden. So wurde der Bachlauf im Rahmen durchgeführter Hochwasserschutzmaßnahmen zur Landesgartenschau 2019 naturnah umgestaltet und um einen Nebenarm und Auenflächen mit entsprechenden Flächen zur Versickerung ergänzt. Die Maßnahmen wurden im Jahr 2022 im Rahmen des *Bundespreis Stadtgrün* mit einer *Anerkennung* durch das BMWSB ausgezeichnet.

Die Stadt Lauta im Landkreis Bautzen hat sich dem Thema der Klimaanpassung und der Entwicklung einer Anpassungsstrategie angenommen. Im Projekt „Klimaanpassung in der Stadt Lauta – Modellprojekt Lauta-Süd“ wurde auf einer Teilfläche in einer Plattenbausiedlung mit ca. 9 ha auf das Ziel „Ermittlung lokaler Möglichkeiten zur Anpassung an den Klimawandel“ hingearbeitet. So soll anfallendes Wasser auf der Fläche zurückgehalten und ggf. in Teiche abgeleitet werden. Auf Dächern anfallendes Wasser soll in Versickerungsmulden abgeleitet werden. Zisternen sollen zur Bewässerung genutzt werden. Ergänzend sind eine Flächenentsiegelung sowie die Verwendung versickerungsdurchlässiger Beläge vorgesehen (Neumann & Mücke 2020).

Auch von Seiten des Freistaates Sachsen gehen neue Initiativen aus:

- Eine neue vom LfULG konzipierte- und zum Teil bereits fertiggestellte Versuchsanlage in Dresden-Pillnitz soll weitere Erkenntnisse hinsichtlich der Effizienz neuer Verfahren bei Entwässerungs- und Versickerungssysteme bringen. Anfang 2022 wurden hierzu bereits Baumrigolen, Filterstreifen, Regengärten und Verdunstungsbeete in unterschiedlichen Bauformen errichtet.
- Die in Vorbereitung befindliche Förderrichtlinie „Energie und Klima“ schließt Zuwendungen für Vorhaben zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der anwendungsorientierten Energie- und Klimaforschung bis hin für Vorhaben, die der Anpassung an die Folgen des Klimawandels und zum Schutz der Bevölkerung vor klimabedingten Extremwetterereignissen dienen mit ein. Darunter fallen investive Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels, insbesondere Maßnahmen zum Regenwasserrückhalt und zum Schutz vor Überflutung oder vor wild abfließendem Wasser, vor Bodenerosion und Erosionseintrag, soweit sie nicht dem öffentlichen Hochwasserschutz zuzuordnen sind.

Darüber hinaus bieten die Plattformen des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Bodenfunktionskarten für das gesamte Landesgebiet des Freistaates Sachsen in unterschiedlichen Maßstäben an. Dies sind Darstellungen und Pläne, die Informationen über die unterschiedlichen Funktionen und Eigenschaften des Bodens in den jeweiligen Gebieten beinhalten. In der Regel wird Aufschluss bezüglich der natürlichen Bodenteilfunktionen bzw. Teilfunktionenerfüllungen der jeweiligen Bodentypen, Bodennutzungen gegeben. Für weitere Informationen siehe: <https://www.boden.sachsen.de/fachinformationssystem-boden-17220.html>.

Weiterführende Literatur zur Thematik Umgang mit Regenwasser enthält die Publikationen Vom Umgang mit Regenwasser – Ressource und Gefahr - Publikationen - sachsen.de vom Sächsischen Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft aus dem Jahr 2023.

2.4 Methodik

Die Bearbeitung der Studie erfolgte in vier Schritten. Diese umfassten

- 1. Schritt: Literaturanalyse
- 2. Schritt: Analyse von Fallbeispielen und leitfadengestützte Experteninterviews
- 3. Schritt: Qualifizierung von Bodenfunktionen und Erstellung eines Kataloges „Maßnahmen Boden/Wasser“
- 4. Schritt: Erstellung eines Entscheidungshilfetools

Die in Schritt 1 erfassten Publikationen, Veranstaltungen und Förderprogrammen zeigen sowohl in wasserwirtschaftlichen als auch im stadtplanerischen Forschungsfeldern auf, dass das Themenfeld immer mehr an Bedeutung gewinnt. Boden und die von ihm geleisteten Bodenfunktionen spielen hierbei eine Schlüsselrolle. In der Gesamtschau ist jedoch nur eine begrenzte spezifische Betrachtung des Bodens und von Bodenfunktionen im Diskurs zu beobachten.

Im Schritt 2 werden aktuelle Projekte anhand von Bebauungsplänen, Dokumentationen und Umweltberichte analysiert. Die Untersuchung der Fallbeispiele wird anschließend in einem Katalog dokumentiert, in welchem die untersuchten Praxisbeispiele dargestellt werden, beispielsweise Klimaanpassung durch Wasserrückhalt in der Stadt Lauta, Entsiegelung von Brachflächen in Meerane (Sachsen) und Versickerungsmulden am Beispiel Leipzig und Berlin. Zusätzlich erfolgt die Umsetzung und Analyse von Experteninterviews.

Schritt 3 umfasst anschließend die Quantifizierung der Bodenfunktionen in Verknüpfung mit einer wassersensiblen Stadtentwicklung an drei Beispielen. Diese stellen sowohl neue Bauprojekte, Bestandprojekte als auch Gewerbeprojekte dar. An diesen Beispielen soll die Quantifizierung durch die Untersuchung der Wasserrückhaltefunktionen durch Wasserspeicherung, Abkühlungsfunktionen und entstehenden Kosten untersucht und veranschaulicht werden. Untersucht werden folgende Beispiele:

- Industrievorsorgegebiet Wiedemar
- Leipziger BlauGrün
- Buckower Felder

Abgeleitet aus den Interviews und der Literaturanalyse erfolgt im 3. Schritt zusätzlich die Aufstellung eines Maßnahmenkataloges bezüglich Boden und Wasser, dieser unterteilt sich in Maßnahmen bei „Innenentwicklung und Bestand“ und „Außenentwicklung und Neubau“. Im Folgenden wird dieser als „Katalog Boden/Wasser“ benannt (siehe Anhang 1)

In einem Schritt 4 erfolgte abschließend die Aufstellung eines Entscheidungshilfetools für Maßnahmen „Bodenfunktion in der wassersensiblen Stadtentwicklung“ für kommunale Akteure.

Das leitfadengestützte Experteninterview im Schritt 2 zielte auf die Schnittstellen zwischen Bodenfunktionen und Schwammstadt und entsprechende praktische Erfahrungen. Es sollte differenziert werden zwischen der Umsetzung

im Bestand, im Neubau und in Gewerbeprojekten. Potenzielle Indikatoren für die Quantifizierung der wassersensiblen Stadtentwicklung waren zu ermitteln. Die Auswahl der Interviewpartner erfolgte auf Grundlage ihrer Expertise in den Themenfeldern der nachhaltigen Stadtentwicklung, wassersensiblen Stadtentwicklung, Bodenschutz sowie aus der Praxis der wassersensiblen Stadtentwicklung.

Folgende Akteure wurden interviewt:

Herr Stefan Böttger

Herr Stefan Böttger ist Seniormanager der Tilia GmbH, in den Fachgebieten Wasser- und Abwasserunternehmen, dezentrale Abwasserwirtschaft, Kleinkläranlagen, Erneuerbare Energien und Prozessoptimierung. Die Tilia GmbH ist Koordinator in Planungsprozesse zu verschiedenen Themenschwerpunkten, wie z.B. Energieversorgung, Mobilitätssysteme und auch Wasserver- und entsorgung.

Dr. Maike Beier

Frau Dr. Maike Beier ist Leiterin des Forschungsfeldes Abwasser an der Leibniz Universität Hannover. Unter anderem setzt sie sich mit den Tätigkeitsbereichen der Kreislauf- und Abwasserbewirtschaftung in industrieller Anwendung und Beachtung der Nachhaltigkeitsprinzipien auseinander.

Ablaufschema des Projektes

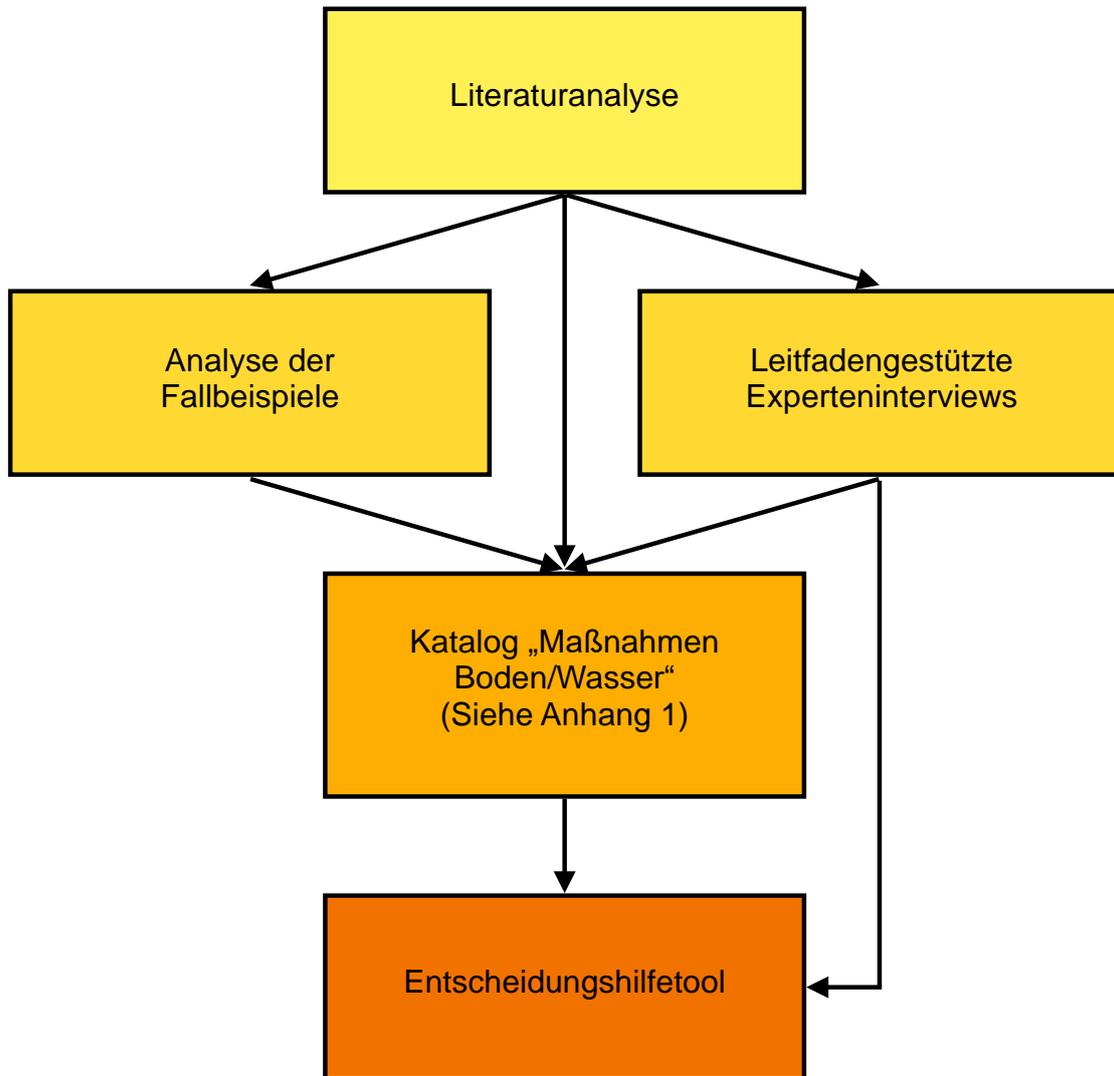


Abbildung 1: Ablaufschema des Projektes. Eigene Darstellung.

3. Literaturrecherche: Bodenfunktionen, wassersensible Stadt – Quantifizierung

Die steigende Zahl an Publikationen, Veranstaltungen und Förderprogrammen, sowohl im wasserwirtschaftlichen als auch im stadtplanerischen Metier, verdeutlichen, dass die wassersensible Stadtentwicklung immer mehr an Bedeutung gewinnt. In diesem Rahmen soll gezielt die Betrachtung des Bodens und von Bodenfunktionen im Diskurs wassersensible Stadtentwicklung analysiert werden, sowie Indikatoren für eine Quantifizierung der wassersensiblen Stadtentwicklung ermittelt werden.

3.1 Literaturrecherche: Urbane Böden

In der bodenschutzfachlichen Diskussion wird urbanen Böden bisher nur geringe Aufmerksamkeit gewidmet. Die Begriffe „Stadtböden“ oder auch urbane Böden werden weitgehend synonym verwendet und beziehen sich in beiden Fällen auf durch Menschen beeinflusste Böden, z.B. durch Überformungen oder Bodenumlagerungen (BURGHARDT, ET AL., 2019, S. 48). Bodenfunktionen in der Stadt leisten wichtige Beiträge „gegen die Überhitzung von Städten, zur Bindung von Stäuben und zur Lebensqualität in urbanen Räumen“ (BURGHARDT, ET AL., 2019, S. 54). In der Literatur werden zwei Kategorien urbaner Böden unterschieden: „anthropogene Böden“ und „Technosoils“. Auf internationaler Ebene werden die Eigenschaften anthropogener Böden von der Arbeitsgruppe Soils of Urban, Industrial, Traffic, Military and Mining Areas (SUITMA) beschrieben. Es wird zwischen den Bodenarten begrünter Pseudo-Böden (engl. vegetated pseudo-soils) und begrünte und technisch veränderte Böden (engl. vegetated engineered) unterschieden (MOREL, LORENZ, & CHENU, 2017, S. 199). Mit beiden Bodenklassen werden unversiegelte begrünte und anthropogen beeinflusste Böden beschrieben.

Die Arbeitsgruppe „Stadtböden“ der deutschen bodenkundlichen Gesellschaft weist darauf hin, dass Stadtböden mehr sind als Baugrund und Lücken zwischen Gebäuden und Straßen und ihrerseits wichtige Funktionen erfüllen. Die Böden der Stadt sind Lebensgrundlage für die Pflanzen der Parks, Gärten und Freiflächen. Gerade junge Stadtböden können auch Nischen für seltene und schützenswerte Pflanzen und Tiere sein. Böden und Pflanzen filtern Stäube, reinigen die Luft und schützen so unsere Gesundheit. Darüber hinaus kühlen Stadtböden bei Sommerhitze indirekt durch Schattenwurf (Bäume) oder durch die Verdunstung von Wasser. Wasser, das im Boden versickert, verursacht keine Überschwemmungen und führt nicht zum Abfluss in die Kanalisation. Gleichzeitig filtern Böden Schadstoffe aus dem Wasser und halten damit unser Grundwasser sauber (siehe Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft (DBG)). Stadtböden besitzen wichtige Funktionen für das Leben der Menschen, der Tiere und der Vegetation in Stadt und Stadt-Umland.

Wie die Tabelle 1 veranschaulicht, steht die Versickerungsfähigkeit des Bodens in einer Abhängigkeit zu den unterschiedlichen vorliegenden Flächennutzungen. Die nachfolgende Tabelle veranschaulicht die Abflussbildung des Bodens in Abhängigkeit von Landnutzung und Niederschlagsstärke. Verdeutlicht wird die Effektivität und Relevanz natürlicher Bodenfunktionen sowie unversiegelter Böden. Jedoch werden keine Aussagen bezüglich urbaner Böden getroffen.

Tabelle 1 Abflussbildung in Abhängigkeit von Landnutzung und Niederschlagsstärke

Landnutzung	20 L Niederschlag pro m ²	60 L Niederschlag pro m ²	100 L Niederschlag pro m ²
Wald	Irrelevant	10 L	33,5 L
Wiese, Weide	1,5 L	20 L	50 L
Getreide, Futterpflanzen	3 L	27 L	60 L
Undurchlässige Flächen	20 L	60 L	100 L

Quelle: AHLELM, ET AL., 2016, S. 21

Weiterhin zeigt die Tabelle 2 Maßnahmen und deren Wirkung zur Erhöhung des Bodenwasserspeichers und der damit einhergehenden Abkühlungsleistung. Verdeutlicht wird die Relevanz des bestehenden Zustandes des Bodens, dieser ist maßgeblich für den weiteren Umgang bezüglich des Erhaltes des bestehenden Bodenmaterials oder der Etablierung technischer Maßnahmen.

Tabelle 1 Erhöhung des Bodenwasserspeichers und damit der Abkühlleistung

Maßnahmen	Wirkung	Beispiel	Wirkungspotenzial (pfadübergreifend)
Erhalt des Bodenwasserspeichers			
Freihalten von Böden mit hoher Wasserspeicherkapazität von Versiegelung und Verdichtung insbes. in klimastrategisch wichtigen Bereichen	Verringerung der Aufheizung, Vergrößerung der Fläche, die für Versickerung und Speicherung von Wasser zu Verfügung steht	Umsetzung von Entsiegelungsmaßnahmen z.B. im Rahmen der Eingriffs-/Ausgleichsregelung Optimierung der Flächennutzung und die Verringerung versiegelter Flächen im Bebauungsplan	+++
Freihalten von Böden mit Grundwasseranschluss von Versiegelung und Verdichtung insbes. in klimastrategisch wichtigen Bereichen	größeres Nachlieferungsvermögen von Wasser über kapillaren Aufstieg aus dem Grundwasser	Berücksichtigung von grundwassernassen Böden im Bebauungsplan	+++
Vermeidung von Bodenschäden und Verdichtung bei der Gestaltung und Nutzung von Freiflächen	Erhalt des für die Wasserspeicherung zur Verfügung stehenden Porenraums	Kein Befahren bei ungünstigen Bodenfeuchten Bodenkundliche Baubegleitung Verdichtungsfördernde Bodennutzung vermeiden	+

Quelle: KASTLER, ET AL., 2015

Generell stellen urbane Böden im Rahmen der wassersensiblen Stadtentwicklung eine große Herausforderung dar. Die hohe Flächenversiegelung führt zu einer reduzierten Wasserdurchlässigkeit und Wasserspeicherkapazität des Bodens. Das Regenwasser fließt in Kanäle ab und steht für Verdunstungen bzw. Abkühlungen kaum zur Verfügung. Das fehlende Wasser verursacht Trockenheiten in der urbanen Umgebung und führt zu einer Überwärmung der

Oberflächen und Luftmassen. Gleichzeitig entsteht ein steigendes Risiko für Überflutungen, z.B. bei höheren Niederschlägen, indem Böden das Wasser nicht mehr aufnehmen können und die technischen Infrastrukturen überfordert sind.

Ebenso verursacht eine steigende Bodenverdichtung eine reduzierte Infiltration und Speicherung des Regenwassers in den urbanen Böden.

Eine weitere Folge ist die Nährstoffverarmung im urbanen Boden. Umlagerungen, Verdichtungen und Versiegelungen beeinträchtigen die Lebensraumfunktionen für die Flora und Fauna. Folgen des Klimawandels in urbanen Räumen verursachen erhöhte Temperaturen, längere Trockenperioden und stärkere Niederschläge. Die urbanen Böden müssen Funktionen für die Klimaanpassung und den Klimaschutz erfüllen können. Urbane Böden müssen nachhaltig bewirtschaftet, geschützt und wiederhergestellt werden.

Massive Aufschüttungen sind ein spezifisches Problem urbaner Böden. Es handelt sich um das Anhäufen von Bodenmaterialien oder anderen Materialien, um Geländehöhen auszugleichen oder unebene Flächen zu begradigen. Dies kann zu negativen Auswirkungen auf die natürlichen Bodenfunktionen führen, wie beispielsweise durch eine starke Bodenverdichtung.

Dementsprechend stehen Maßnahmen der wassersensiblen Stadtentwicklung bei bereits versiegelten Flächen vor der Herausforderung erheblicher Investitionen. Die Nutzung sowie der Schutz natürlicher Bodenfunktionen aus einer ökonomischen sowie ökologischen Perspektive sind auch aus finanzieller Sicht von großem Vorteil.

Parameter der Quantifizierung:

- **Anthropogen beeinflusste Bodenfunktionen (m²),**
- **Infiltrations- und Versickerungsfähigkeit des Bodens (Kf-Wert in m/s),**
- **Wasserspeicherfähigkeit des Bodens (nFKWe in mm bzw. Vol.-%)**

3.2 Literaturrecherche: Versiegelung

Mit dem Begriff Versiegelung wird eine Fläche (vormals „Boden“) bezeichnet, auf der durch technische und bauliche Maßnahmen, sowie durch die Abgrabung des Bodens, der Austausch von Luft (Gasaustausch) sowie Wasser (Infiltration von Niederschlagswasser) im Boden entweder teilweise oder vollständig verhindert werden. Die biotischen und abiotischen Bodenfunktionen werden durch eine Versiegelung unterbrochen und negativ beeinflusst (NIETE, PANKRATZ, & BERIEF, 2017). Auswirkungen auf die Bodenfunktionen durch Versiegelungen sind:

- Verdichtung und Ersatzmaterialien (z.B. Frostschutz)
- Unterbindung des Austausches von Luft und Wasser im Boden und mit der Umgebung
- Abgrabungen des Bodens (z.B. durch die Aufbereitung einer Baumaßnahme) - Bodenentfernung
- Zerstörung der Lebensgrundlage Boden für viele Arten der Flora und Fauna.

Bodenversiegelung zerstört die natürlichen Bodenfunktionen und wirkt sich ebenso negativ auf den natürlichen Wasserhaushalt aus. Der Oberflächenabfluss wird gesteigert und die Neubildung von Grundwasser verringert. Dadurch können Wassermangel, vermehrte Dürreschäden und stärkere Hochwasser begünstigt werden. Darüber hinaus resultiert aus der zunehmenden Bodenversiegelung eine stärkere Erwärmung der Stadt, speziell an heißen Tagen. Durch den Bau von Straßen, asphaltierten Wegen und Plätzen, Häusern, Gewerbeanlagen und Industrieanlagen, auch im Rahmen von Nachverdichtung, werden freie Flächen weiterhin in großem Umfang versiegelt. Insbesondere in den sächsischen Städten und umliegenden Siedlungsräumen sind oftmals große Anteile des Bodens versiegelt.

Parameter der Quantifizierung:

- Versiegelungsgrad des Bodens (m² oder %),
- Zunahme des oberflächennahen Wasserabflusses (m³/s),
- Verlust Wasserspeicher Boden bzw. Grundwasserneubildung (mm),
- Zunahme der Lufttemperatur (°C)

3.3 Literaturrecherche: Ökosystemleistungen des Bodens und des Stadtgrüns

Mit Ökosystemleistungen werden, die von der Natur erbrachten, regulierenden, bereitstehenden, kulturellen sowie unterstützenden Systeme und Kreisläufe beschrieben (HANSJÜRGENS, 2018). Viele Ökosystemleistungen sind mit dem Bereich Boden verbunden. Im BBodSchG (§2 Ab. 2 Satz 1.) werden die natürlichen Funktionen aus Sicht des Gesetzgebers bestimmt. Der Boden ist:

- Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen,
- Bestandteil des Naturhaushalts, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen,
- Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen auf Grund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers.

Die beschriebenen Wirkungen/Wechselwirkungen werden im BBodSchG/V jedoch nicht quantifiziert.

Natürliche Bodenfunktionen leisten in urbanen Gebieten Abkühlung. Hinzuweisen ist hier auf das Grundprinzip des Bodens, Wasser zu speichern und den Pflanzen zur Verfügung zu stellen. In diesem Zusammenhang ist zu untersuchen, ob sich die Abkühlungsleistung, durch Wasserspeicherungsmöglichkeiten und Verdunstungsmöglichkeiten des Bodens quantifizieren lassen.

Der Bundesverband Boden e.V. stellt folgende Zusammenhänge auf, ein Hektar Boden, der optimal mit Wasser versorgt ist, verdunstet gemeinsam mit der Vegetation rund 5.000 m³ Wasser pro Jahr. Durch diese „Ökosystemdienstleistung“ des Bodens wird die Lufttemperatur um bis zu 5 °C abgekühlt; die Reichweite beträgt bis zu 100 m. Um die Kühlleistung eines Hektar Bodens technisch zu erbringen, sind Energiemengen notwendig, die je nach Energieträger ca. 500.000 Euro pro Jahr kosten. (Bundesverband Boden e.V.o.J.). Daher dienen natürliche Bodenfunktionen als natürliche Klimaanlage für das Mikroklima und sind ein Kernfaktor für die Klimaanpassung.

Die Funktion der Evapotranspiration, die Gesamtverdunstung einer natürlich bewachsenen Bodenoberfläche, führt zu einer Abnahme des fühlbaren Wärmestroms. Eine hohe Relevanz kommt hier der Fähigkeit des Bodens zu, Wasser im Wurzelraum zu speichern. Dies steht in Abhängigkeit zur Bodenart, dem Anteil an Gesteinen, dem Humusgehalt oder auch der Lagerungsdichte. (Universität Hamburg 2016). Demnach sind Abkühlungsfunktionen direkt abhängig von dem Grad der Bodenversiegelung und damit der Veränderung von Energie- und Wasserflüssen im Boden, dem Wassergehalt im Boden (Bodenwasserhaushalt), der Vegetation am Standort und dem vorherrschenden Mikroklima. Ebenfalls sind Böden in der Lage die Pflanzen bzw. grüne Infrastruktur auch während längerer Trockenperioden noch mit Wasser zu versorgen, die Lufttemperatur zu senken und das Stadtklima zu regulieren. Eine Be-

rücksichtigung dieser für den Klimaschutz und die Klimaanpassung relevanten Funktionen des Bodens in den Planungsprozessen bietet daher auch den Kommunen vielfältige Möglichkeiten zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel (Natur- und Umweltschutzakademie NRW 2014). Daher sind im Rahmen von grüner Infrastruktur auch immer der Boden und dessen Funktionen mit zu betrachten.

Im Stadtgebiet Düsseldorf wurden die Kühlleistungen des Bodens bewertet (Sperling, Valentin & Kastler, 2019). Das Wasserspeichervermögen und die Wassernachlieferung (grundwassernahe Standorte) des Bodens wurden für eine Berechnung herangezogen. Die erbrachten Kühlleistungen wurden in kWh pro Quadratmeter für das Sommerhalbjahr ermittelt. Böden mit hohem Grundwasserstand (Gleyböden) haben eine Kühlleistung von max. 507 kWh/m². Die Kühlleistung ist für die Ziele der städtischen Abkühlung besonders wichtig (SPERLING, VALENTIN & KASTLER, 2019). Die Analyse bestätigt, dass Grünflächen, deren Bodenfunktionen ausreichend Wasser bereitstellen und verdunsten können, natürliche „Kühlschränke“ der Stadt sind.

Ein weiteres Beispiel für die Quantifizierung der Kühlleistung des Bodens ist die durch die Hansestadt Hamburg erstellte Verdunstungspotenzialkarte. Sie stellt Informationen für die unterschiedlichen urbanen Böden hinsichtlich ihrer zu erwartenden Kühl- bzw. Verdunstungsleistung im Sommer bereit. Da die Verdunstungsleistung schwierig direkt zu ermitteln ist wurde auf das Bodenwasserhaushaltsmodell ArcEGMO-PSCN zurückgegriffen. Unter anderem finden hier Phosphor-, Kohlen- und Stickstoff, Wuchs der Vegetation, der Wasserhaushalt, der Grundwasserspiegel, Niederschlag, Luftfeuchte, Lufttemperatur sowie die Globalstrahlung Berücksichtigung. Die verschiedenen Standorte im Hamburger Norden waren eine Wiesenfläche auf einem Gley-Regosol-Boden im Kiwittmoor (S_G3), ein Laubwald auf einem Pseudogley-Pararendzina-Boden (D_G3) und eine Wiesenfläche mit einer Bänderparabraunerde im Amsinckpark (D_G4). Der unterschiedliche Vegetationsaufwuchs sowie deren Kühlleistung wurden berücksichtigt. Die Vegetation hat dabei einen wesentlichen Einfluss auf die Kühlleistung (s.a. Abbildung 2 und 3).

Bodenbedingte Verdunstungsleistung:

Zur Auswertung wurden in Abbildung 2 die Tagessummen der tatsächlichen Verdunstung (ET_r , blaue Balken im Vordergrund) und die Tagessummen der potenziellen Evaporation (ET_p , braune Balken im Hintergrund) gegenübergestellt.

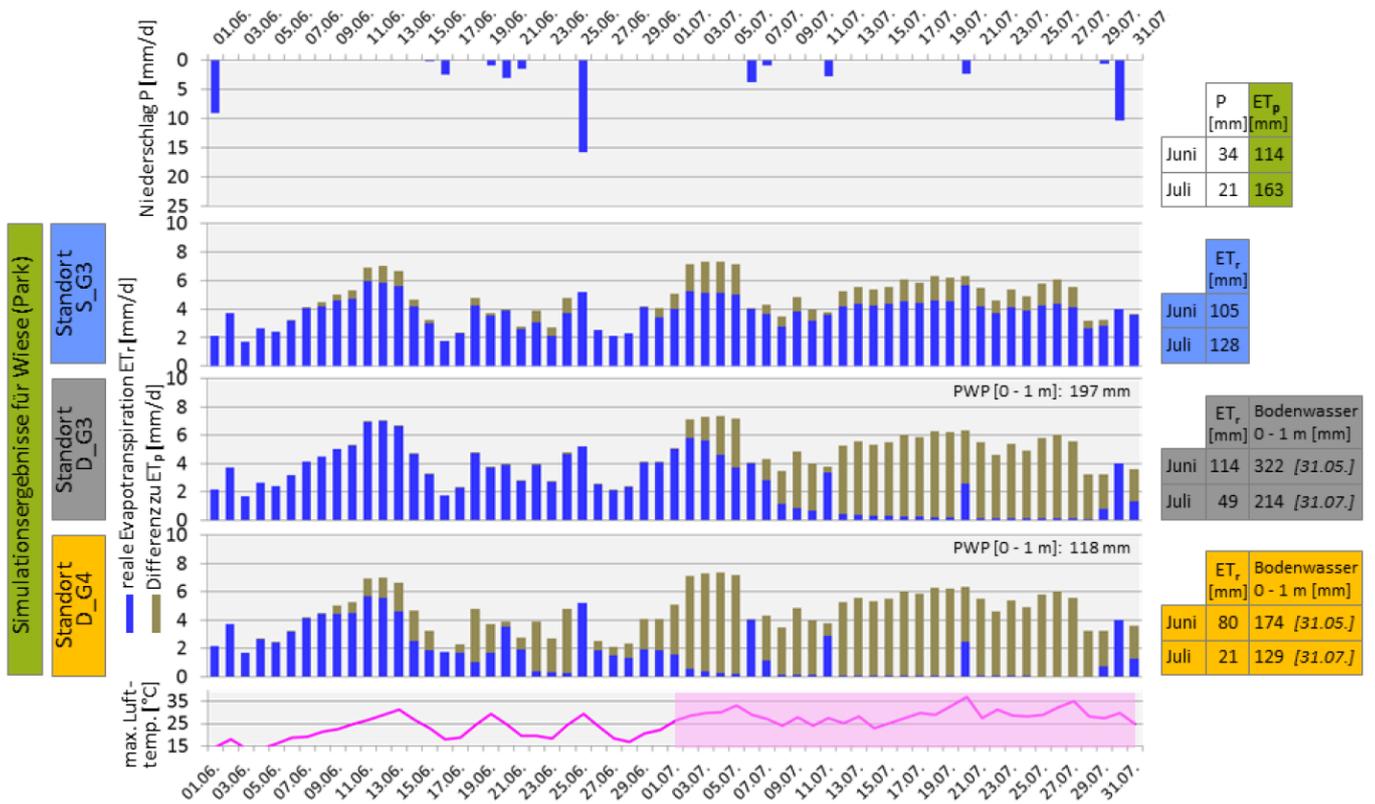


Abbildung 2: Gegenüberstellung von ET_r und ET_p auf den drei Standorten im ArcEGMO-PSCN-Modell für Juni und Juli 2006. Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie 2017: 10.

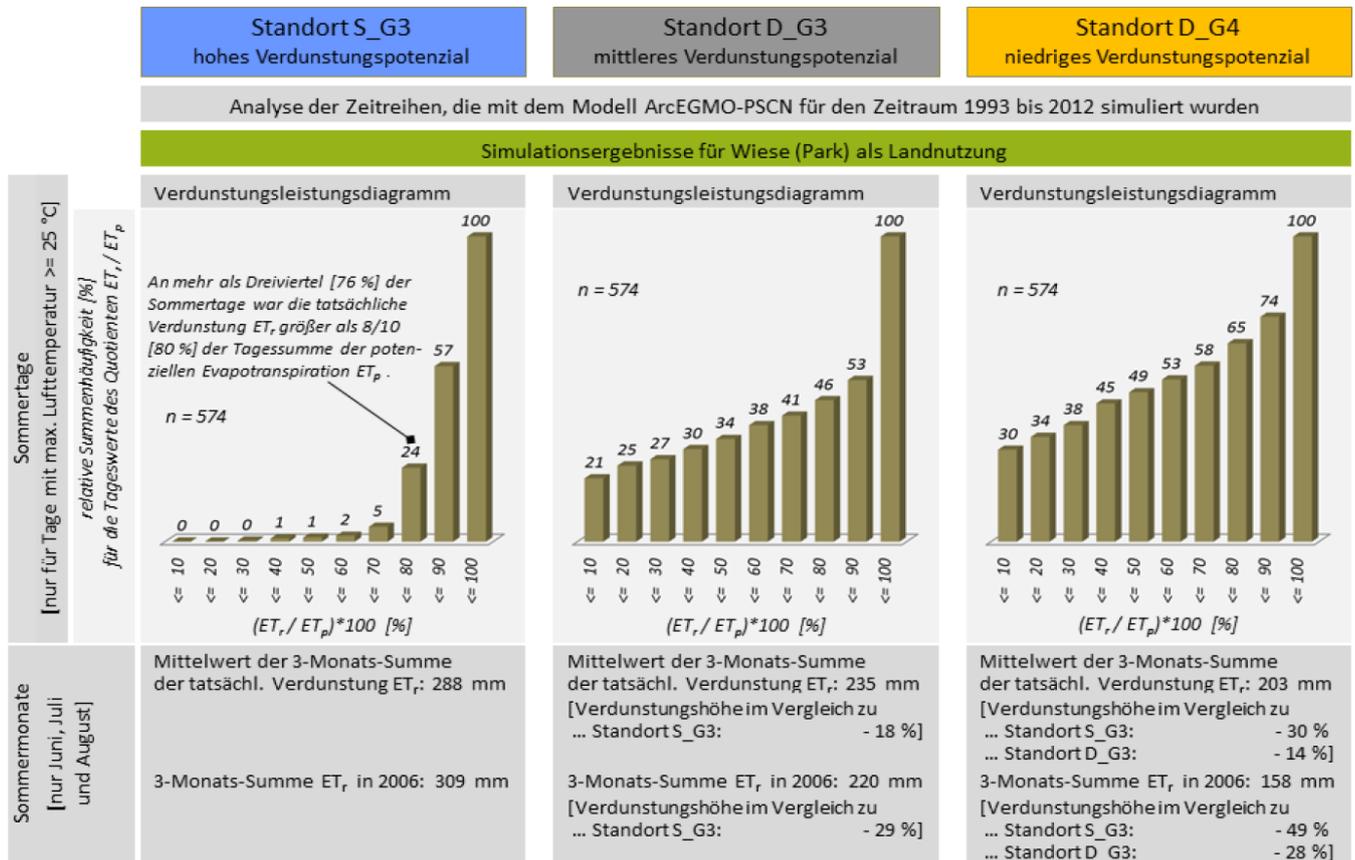


Abbildung 3: Verdunstungsleistungsdiagramm für die drei Standorte für den Zeitraum von 1993 bis 2012, simuliert mit Hilfe des ArcEGMO-PSCN-Modells. Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie 2017: 12.

Die Ergebnisse stellten heraus, dass eine gute Verdunstungsleistung erzielt wurde, wenn die tatsächliche Verdunstung (ET_r) die potenzielle Evaporation (ET_p) erreicht (oder übersteigt). In diesem Falls färbt sich der Balken in Abbildung 2 vollkommen blau. Auf dem Standort S_G3, die Wiesenfläche im Kiwitmoor, hat über die gesamte Simulationszeit Verdunstung stattgefunden. Die Kühlleistung dieses Standortes ist dementsprechend höher als die der anderen beiden Standorte. Die quantitative Verdunstungsleistung wird letztendlich mittels des Quotienten aus ET_r und ET_p (für Sommertage) dargestellt und lautet *relative Summenhäufigkeit [%] für die Tageswerte des Quotienten ET_r/ET_p* (siehe Abbildung 3).

Zu beachten ist hierbei jedoch auch die Kühlleistung beziehungsweise Verdunstungsleistung der Vegetation. Sie ist von der (maximalen) Durchwurzelungstiefe, der Wasserversorgung und der nutzbaren Feldkapazität (nFK) abhängig. Am Beispiel der drei Standorte bedeutet das, dass die Verdunstungsleistung des Standortes D_G3 (Laubwald) höher ist als die der Wiesenflächen (Büro für Angewandte Hydrologie GmbH 2023: 3-6,9-15) (Büro für Angewandte Hydrologie GmbH 2023).

Parameter der Quantifizierung:

- **Bodenwasserhaushaltsparameter: absoluter Wassergehalt in Masseprozent (WM = g H₂O/100g Boden); relativer Wassergehalt in Volumenprozent (ml/100 cm³ Boden)**
- **Verdunstungsleistung/Kühlleistung : kWh/m²**

3.4 Literaturrecherche: Klimawandel und Klimaanpassung

Die umfangreiche Literatur zum Klimawandel unterstreicht die Aufgaben und Herausforderungen insbesondere für urbane Gebiete (Campe et al. 2015: 343). Die Steigerung der Durchschnitts- und Extremtemperaturen sowie die Zunahme und Intensivierung von Extremwetterereignissen hat massiven Einfluss auf die Menschheit und deren Umwelt sowie die Wohn-, Lebens- und Arbeitsbedingungen in den Städten und Regionen (Umweltbundesamt 2016: 8). Stark thematisiert wird die Sicherheit und Funktionsfähigkeit städtischer Infrastrukturen durch Extremwetterereignisse (Umweltbundesamt 2016: 8). Die Vermeidung des voranschreitenden Klimawandels wird um notwendige Anpassungen an unvermeidbare zukünftige und bereits eingetretene Veränderungen, also um eine Klimaanpassung, ergänzt (Ginski/Klemme 2014: 129).

Wiederum werden bodenbezogene Themen unter dem Aspekt des Wasserrückhaltes im Boden sowie der Abkühlungsfunktionen betrachtet. So geht der Bericht des Umweltbundesamtes „Klimaanpassung in der räumlichen Planung Starkregen, Hochwasser, Massenbewegungen, Hitze, Dürre“ auf den Aspekt „Bodenfunktionen“ nur bedingt ein. Bezüglich der Quantifizierung der Schwammstadt werden keine Aussagen getroffen bis auf den möglichst frühzeitigen Einbezug der Schwammstadt in Planungsprozesse.

Umfangreichere Literatur geht auf die steigende Relevanz und Notwendigkeit der Klimaanpassung durch Extremwetterereignisse ein. Extremwetterereignisse sind unter anderem: Starkregen, Dürreperioden und urbane Hitzewellen (Knieling/Müller 2015: 9, 17). Insbesondere das Hochwasser an der Ahr verstärkte diese Diskussion (Bundeszentrale für politische Bildung 2021). Dieses Jahrhunderthochwasser verwüstete im Juli 2021 eine Vielzahl von Gemeinden in den Bundesländern Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen. Das Extremwetterereignis forderte 180 Menschenleben und massive infrastrukturelle Schäden in Milliardenhöhe. Im Kontext häufiger urbaner Hochwasser und zunehmender Starkniederschläge in den letzten Jahren wird in der Wissenschaft eine wassersensible Stadtentwicklung als geeignete Reaktion auf sich häufende Wetterextreme angesehen (Röttgen et al. 2015: 158). Die technischen Infrastrukturen der Städte können die zukünftigen Folgeerscheinungen des Klimawandels nicht mehr tragen. Bei Starkwetterereignissen fließt das Wasser auf der Oberfläche in Abhängigkeit zu Topografie, Neigung und Flächennutzung zum nächst gelegenen Tiefpunkt (Umweltbundesamt 2014: 46). Kanalisationen sind für solche Ereignisse häufig nicht ausgelegt. Es kommt zu immer häufiger auftretenden Überflutungen (ebd.). Daher müssen besonders für zukünftige Wasser- Infrastrukturen gesamtheitliche und naturnahe Strategien entwickelt werden. Städte und Kommunen müssen naturnahe Strategien und Konzepte für die Zukunft und Gegenwart entwickeln mit der Berücksichtigung der natürlichen Bodenfunktionen, denn die Betrachtung und Umsetzung von Klimaanpassung, Katastrophenschutz sowie die Reduzierung von Schäden durch Starkregen und Hitzewellen stellen einen gesamtgesellschaftlichen Auftrag dar. Ein solcher Ansatz ist das Stadtentwicklungskonzept der wassersensiblen Stadtentwicklung. Im Rahmen der wassersensiblen Stadtentwicklung werden daher Maßnahmen für nachhaltige Regenwassersysteme entwickelt, jedoch zumeist durch die Umsetzung von Maßnahmen der Klimaanpassung wie beispielsweise Retentionsflächen, grüne Infrastrukturen oder auch multicodierte Grünflächen.

Wasserrückhalt verbessert die Wasserversorgung der Vegetation und reduziert die Bodenerosion sowie Stoffausträge. Als Klimaanpassungsmaßnahme verbessert er das Mikroklima.

Im Rahmen der Studie stellt sich die Frage, ob der Wasserrückhalt des Bodens quantifizierbar ist. Das Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen veröffentlichte 2016 zum Thema Kühlleistung des Bodens, einen Leitfaden für die Einbindung des Bodens in stadtklimatische Konzepte in NRW (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein Westfalen 2016). Die Kernergebnisse der Studie stellten heraus, dass Böden mit einer hohen pflanzenverfügbaren Wasserspeicherleistung oder mit Grundwasseranschluss erhalten werden müssen. Der Boden bietet die natürliche Dienstleistung „Verdunstung“ zusammen mit den auf ihm wachsenden Pflanzen. Eine konventionelle Erzeugung von Kühlleistung umfasst ca. 625.000€ Stromkosten. Der Leitfaden des

Bundeslandes NRW stellt in diesem Zusammenhang folgende Ansätze auf: Freihaltung von verdunstungsstarken Böden, Entsiegelungsmaßnahmen und die Verbesserung der Wasserspeicherkapazitäten auf anthropogen überprägten Böden und Freiflächen (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2016).

Parameter der Quantifizierung:

- Grünflächen z.B. pro Stadt/Stadtteil in % der Fläche

3.5 Literaturrecherche: Wassersensible Stadtentwicklung

Natürliche Bodenfunktionen sind eng verknüpft mit den Zielsetzungen einer wassersensiblen Stadtentwicklung (engl. Sponge city). Sie hat seinen Ursprung in der Siedlungswasserwirtschaft, als Konzept für die Speicherung, Rückhaltung und kontrollierte Abgabe von Wasser im städtischen Raum womit dem Boden eine zentrale Rolle zugewiesen wird. Damit wird ein modernes Prinzip des Regenwassermanagements und der naturnahen Regenwasserbewirtschaftung unter Einbeziehung der Bodenfunktionen in der Stadt beschrieben (Liesenfeld et al. 2021: 238). Durch die bereits eintretenden sowie noch kommenden und erwarteten Folgen des Klimawandels wird die wassersensible Stadtentwicklung immer deutlicher in der Fachliteratur aufgegriffen. Sie muss als Querschnittsaufgabe verstanden werden und erfordert eine interdisziplinäre Zusammenarbeit. Betroffen sind Wasser und Boden sowie alle Infrastrukturen der Stadt und betrifft demnach Gebäude, Verkehrsräume, öffentliche Räume, oberirdische wie unterirdische Leitungstrassen (DWA 2021: 2). Die Notwendigkeit dieser planerischen Innovation ergibt sich insbesondere aus den mit der Bodenversiegelung einhergehenden häufiger auftretenden Hitze- und Dürreereignissen im urbanen Raum sowie Trockenperioden und daraus resultierenden sinkenden Wasserständen in städtischen Gewässern.

Die Rolle des Bodens in den Städten und damit eine stärkere Wahrnehmung von nötigen ökologischen Dienstleistungen des Bodens im urbanen Raum wird in der Literatur jedoch nicht spezifisch thematisiert. Zumeist erfolgt die Argumentation der wassersensiblen Stadtentwicklung über Maßnahmen und Funktionen bezüglich Grüner Infrastrukturen bzw. Grünräumen. Hierbei ist die Problematik, dass bei Neuplanungen bereits in den frühen Planungsphasen der Boden bzw. die natürlichen Bodenfunktionen abgewogen werden. Anschließend findet die Thematik im Planungsprozess keine weitere Betrachtung. Dies überträgt sich auch in die Literatur und Forschung. Ebenso steht die Planung vor der Herausforderung, dass bei Projekten im Bestand den planenden Personen Bodenfunktionen und Boden-Daten nicht bekannt sind. Grünflächen und Vegetationen stellen hingegen Kernfaktoren von technischen und naturnahen Maßnahmen der wassersensiblen Stadt dar, welche im Rahmen der Planung konzipiert und während der Bauphase etabliert werden.

Im Rahmen von Maßnahmen der wassersensiblen Stadtentwicklung in urbanen Räumen kommt es häufig zu der Umsetzung technischer Maßnahmen, da es durch eine zu starke Versiegelung bzw. eine zu hohe Dichte nicht möglich ist, durch natürliche Bodenfunktionen die Ziele (z.B. Wasserrückhaltung) zu erreichen. Dabei werden Kaskadensysteme angestrebt, die Wasserressourcen in städtischen Gebieten nachhaltig bewirtschaften sollen. Das Konzept der Kaskadensysteme basiert auf der Idee, dass Regenwasser und Abwasser in verschiedenen Stufen und auf verschiedene Weise genutzt und behandelt werden können, um eine effiziente Nutzung zu ermöglichen (Stadt Leipzig 2022: 34). Im Rahmen der wassersensiblen Stadtentwicklung werden Kaskadensysteme entworfen, um die natürlichen Wasserkreisläufe nachzuahmen und die Belastung der Abwassersysteme zu verringern. Diese Systeme integrieren verschiedene Elemente und Prozesse, die den Fluss von Wasser durch die städtische Umgebung steuern und optimieren. Beispielsweise beinhaltet dies:

- Regenwasser wird gesammelt und für verschiedene Zwecke wie Bewässerung, Toilettenspülung oder Waschmaschinen verwendet.
- Gründächer und versickerungsfähige Oberflächen zur Reduzierung der Oberflächenabflussrate
- Regenwasserrückhaltung und -rückgewinnung
- Begrünung von Flächen

Kaskadensysteme tragen dazu bei, den Wasserbedarf zu minimieren, die ökologische Nachhaltigkeit zu fördern und die Anfälligkeit für Überschwemmungen und Sturzfluten in urbanen Räumen zu reduzieren. Sie sind ein integraler Bestandteil einer ganzheitlichen und nachhaltigen Wasserbewirtschaftung in städtischen Gebieten sowie ein Bestandteil einer wassersensiblen Stadtentwicklung. Jedoch ist zu betrachten, dass Kaskadensysteme einen erheblichen Kostenfaktor darstellen.

Ebenfalls stellt der Einsatz technischer Substrate bei Grüner Infrastruktur ein Instrument der wassersensiblen Stadtentwicklung dar. Sie dienen dazu, die Wasserspeicherfähigkeit zu erhöhen und die Bodenstruktur zu verbessern, um die Verfügbarkeit von Wasser für Pflanzen zu optimieren. Diese technischen Substrate können dazu beitragen, die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens zu verbessern, insbesondere in sandigen Böden oder in Regionen mit begrenzter Wasserverfügbarkeit. Es ist wichtig zu beachten, dass die Anwendung und Dosierung solcher Substrate abhängig von den spezifischen Bodenbedingungen und Pflanzenanforderungen erfolgen sollten. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass technische Substrate die Funktion des Wasserrückhaltes verbessern, aber nicht die natürliche Bodenstruktur. Technische Substrate stellen keine natürlichen Böden dar.

Im Rahmen der Baufeldfreimachung kommt es zur Abtragung ganzer Baufelder. Jedoch werden im Rahmen der Bauausführung die Böden nur teilweise versiegelt oder technisch in Anspruch genommen. Durch den vollständigen Abtrag geht das Potenzial der bestehenden natürlichen Bodenfunktionen, verloren. Ziel sollte es jedoch sein, die Böden, für welche keine bauliche Nutzung vorgesehen ist, vor einem Verbrauch zu schützen, um die Regelungsfunktionen wie die Wasserspeicherung, Abkühlungsfunktion und die Lebensraumfunktion als Pflanzenstandort, zu nutzen.

Weiterführende Literatur zur Thematik Umgang mit Regenwasser enthält die Publikationen „Vom Umgang mit Regenwasser – Ressource in Gefahr“ vom Sächsischen Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft aus dem Jahr 2023. Hierbei geht es um den Wandel um Umgang mit Regenwasser durch Maßnahmen der wassersensiblen Stadtentwicklung: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/41613>.

Parameter der Quantifizierung:
- Entsiegelte Flächen im Quartier (m²)

3.6 Literaturrecherche: Bodenkundliche Baubegleitung

Bodenkundliche Baubegleitung ist eine Maßnahme zum Schutz des Bodens auf Baustellen und kann bei Bauvorhaben und bei Vorhaben mit sehr empfindlichen Böden eingesetzt werden. Ziel der Bodenkundlichen Baubegleitung ist die Einhaltung der bodenschutzrechtlichen Bestimmungen sowie der projektspezifischen Auflagen aus dem jeweiligen Bewilligungsverfahren. Die Bodenkundliche Baubegleitung übernimmt die Planung und Kontrolle von Maßnahmen zum Schutz des Bodens auf Baustellen und berät die Bauleitung zu bodenkundlichen Themen (LANUV FIS 2023).

Parameter der Quantifizierung:

- Konzept zur bodenkundlichen Baubegleitung, Bodenschutzkonzept (DIN 19639)

3.7 Kernaussagen aus den Interviews

Herr Stefan Böttger von der Tilia GmbH, welche die Thematik der wassersensiblen Stadtentwicklung sowohl aus einer energetischen Perspektive als auch aus Perspektive der Grundwasserneubildung und naturnaher Wasserhaushalt betrachten, erklärt, dass der Bodenschutz in diesem Rahmen eine nachgestellte Rolle spielt sowohl in der Begründung als auch in der Umsetzung von Projekten und Maßnahmen der wassersensiblen Stadtentwicklung. Als Impulsgeber und Akteur*innen zur Integration der Schwammstadt in den Planungsprozesse, erläuterte Herr Böttger den starken Mangel an personellen Ressourcen und beschrieb, dass bei Neubauprojekten häufig die Initiative von den Investor*innen für die Schwammstadt ausgeht. Die Tilia GmbH beschäftigt sich in diesem Rahmen fokussiert mit Neubauprojekten, jedoch beschreibt Herr Böttger auch das hohe Potenzial der wassersensiblen Stadtentwicklung für Gewerbeprojekte durch die Kopplung von Energie und Regenwasser sowie Flächenabkopplungen und Synergieeffekte. Als primäre Indikatoren stellt das Expert*inneninterview die Kosten, die zentrale- oder dezentrale Entsorgung von Bodenmaterial und die Versickerungsfunktionen dar.

Maike Baier weist auf die Notwendigkeit hin, städtebauliche und wasserwirtschaftliche Aspekte bei der Quartiers- und Infrastrukturplanung langfristig und synergetisch zu Verknüpfung. Nur so sei es möglich, die verschiedenen Alternativen differenziert zu bewerten und gemeinwohlorientiert zu steuern. Das Projekt TransMIT stellt die Frage nach Entwässerungssystemen im Kontext von gesamtstädtischen Herausforderungen in den Mittelpunkt. Ziel ist die Ausformulierung eines Konzepts der qualitätsbasierten Trennentwässerung (qbTE). Frau Baier betont, dass diese Entwässerungsstrategie die (Niederschlags-)Wasserqualität in den Mittelpunkt stellt und auf der Quartiersebene konkrete und niedrigschwellige Regenwassernutzungsoptionen generiert. Sie gibt ferner weitergehende Orientierung an der Schnittstelle von städtischem Wassermanagement und Stadtentwicklung, indem die oberirdische Quartiersgestaltung und damit die Stadtplanung sektorübergreifend mit einbezogen wird. Eine Herausforderung bzw. Notwendigkeit stellt hier die enge Zusammenarbeit von Wasserwirtschaft und Stadtentwicklung dar. Dies könnte sogar eine zusätzliche städtische Wasserversorgungskomponente etablieren, die sich aus den lokal gesammelten Niederschlägen speist.

Gleichzeitig verdeutlicht das Interview, dass für alle Transformationsschritte in Bestandsquartieren die Entwicklung und Umsetzung eines fachbereichsübergreifenden Planungsprozesses auf strategisch-rahmengebender Ebene essenziell sind, sodass die strukturellen Defizite, die die von allen Beteiligten gewünschte Vernetzung und Planungs-

Abstimmung erschweren, überwunden werden können. Die Entwicklung erster Einzelkomponenten sowie die Integration des Gesamtsystems im TransMIT-Projekt waren erfolgreich, ebenso wie die Entwicklung einer integralen Planung unterstützenden kommunalen Prozessablaufs „Stadt-Quartier 2050+“.

3.8 Zusammenfassung Indikatoren

Für den Bereich Boden/wassersensible Stadtentwicklung lassen sich zusammenfassend die nachfolgenden quantifizierbaren Indikatoren ableiten. Dabei zeigt sich, dass nur wenige Daten direkt verfügbar wären. Als Schlüsselindikator spielt der Versiegelungsgrad eine große Rolle. Für eine Betrachtung wasserwirtschaftlich funktional verbundener Siedlungsflächen sind daher Ver- bzw. Entsiegelungskataster erforderlich.

Indikator	Messgröße	Erläuterung
Versiegelung	m ² /%	Unsichere Datenlage, Versiegelungskataster erforderlich
Entsiegelung	m ² /%	Multitemporale Auswertung von Entsiegelungskatastern
Anthropogen beeinflusster Boden	m ²	Keine flächendeckende Datenverfügbarkeit
Wasserspeicherleistung des Bodens	Vol.-%	Einzelfallprüfung erforderlich
Versickerungsfähigkeit des Bodens (kf-Wert)	m/s	Einzelfallprüfung erforderlich
Verdunstungsleistung des Bodens	kwh/m ²	Verdunstungspotenzialkarten (Modell Hamburg)
	m ³ Wasser/m ² /a	Schätzung Bundesverband Boden: 1 ha Boden = 5000 m ³ /a (1 ha Boden, mit optimaler Wasserversorgung gemeinsam mit Vegetation)
Grünflächen im Quartier	m ² /%	Erhebung über Luftbilder, Geodaten
Zunahme des oberflächennahen Wasserabflusses	m ³	Daten der Wasserwirtschaftsverwaltung
Verlust Grundwasserneubildung	m ³	Grundwasserstände
Zunahme der Lufttemperatur	°C	Meteorologische Messwerte
Umgelagerter Boden	m ³	Daten des Bodenmanagements

4. Fallbeispiele: Bodenfunktionen und wassersensible Stadt

4.1 Auswahl der Projekte

Im Rahmen des Vorhabens werden aus den inzwischen zahlreichen Fallbeispielen drei typische Projekte der wassersensiblen Stadtentwicklung mit Blick auf die Berücksichtigung bzw. Rolle der Bodenfunktionen sowie möglicher Quantifizierungen analysiert. Diese stellen sowohl Bestandsprojekte, Neubauprojekte als auch Projekte für Gewerbestandorte im Außenbereich dar. Analysiert wurden folgende Beispiele:

- *Leipzig Quartier 416*: Das Projekt Quartier 416 umfasst einen 25 ha Neubaustandort bzw. das Quartier des Eutritzscher Freiladebahnhofs in Leipzig. Das übergeordnete Ziel ist ein klimaangepasstes und resilientes Wasser- und Energiemanagement sowie der Ansatz eines abflussfreien Quartiers (UFZ 2021). Es soll ein Quartier geschaffen werden, welches durch innovative naturnahe und technische Maßnahmen das Wasser im Quartier zurückhält und damit kein zusätzliches Wasser in die Kanalisationsnetze der Stadt einleitet. Von Seiten der Forschung wird das Projekt durch das BMBF-Projekt „Leipziger BlauGrün“ begleitet.
- *Buckower Felder – Berlin*: Ein Beispiel für die Implementierung der Schwammstadtprinzipien auf der Quartiers-ebene, stellt das 16,2 ha Neubauprojekt Buckower Felder in Berlin dar. Es ist Teil der Berliner Strategie des Senates „Schwammstadt Berlin“. Neben zahlreichen Maßnahmen der Dach- und Fassadenbegrünung umfasst das Projekt ein Abflussfreies Quartier mit einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung.
- *Industrievorsorgegebiet Wiedemar*: Im Sinne einer nachhaltigen Industrie- und Gewerbeflächenentwicklung ist es im Bereich der Niederschlagswasserentsorgung notwendig, nachhaltige Ansätze zu verfolgen. Ein Konzept, das auch für das 410 ha Industrievorsorgegebiet Wiedemar gelten soll, ist das „Schwammstadt-Prinzip“.

4.2 Quartier 416

Das Projekt umfasst eine 25 ha große Brachfläche des ehemaligen Eutritzscher Freiladebahnhofs in Zentrum der Stadt Leipzig. Es soll bis Ende der 2020er Jahre ein autoarmes und als Schwammstadt konzipiertes Quartier entstehen, das modernes Wohnen im Einklang mit der Natur, Zusammenleben, Arbeit und Freizeit verbindet. Das Quartier soll für etwa 3.700 Menschen entwickelt werden und wird inklusive Parks, Schul- und Sportcampus, Büros sowie kulturellen und sozialen Einrichtungen gebaut (Leipzig 416 Management GmbH o.J.).

Das Ziel ist somit die Schaffung eines Neubauquartiers, welches durch innovative naturnahe und technische Maßnahmen das Wasser im Quartier zurückhält und damit kein zusätzliches Wasser in die Kanalisationsnetze der Stadt Leipzig einleitet. Im Rahmen der Zielsetzung „abflussfrei“ finden sich zahlreiche Maßnahmen der wassersensiblen Stadtentwicklung wieder, dass gesamte im Quartier anfallende Oberflächenwasser soll im Quartier zurückgehalten werden. Im Rahmen der wassersensiblen Stadtentwicklung werden folgende Zielsetzungen verfolgt:

- kein Oberflächenwasser in die Umgebung abgeben
- Trennung von Regenwasser und Abwasser
- Regenwasserbewirtschaftungskonzept
- Rückhaltung und Nutzung des Regenwassers im Quartier
- Nachhaltiges Bewässerungskonzept für private und öffentliche Flächen (ebd.)

Begleitet wird das Projekt durch das Forschungsprojekt Leipziger Blau Grün des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Im begleitenden Forschungsvorhaben wird unter anderen der Frage nachgegangen, welche Anforderungen des Grundwasser- und Bodenschutzes für die wassersensible Stadtentwicklung zu beachten sind (UFZ 2021). Es erfolgen Berechnungen stärkerer Niederschlagsereignisse sowie die Berechnung konkreter Schwammstadtmaßnahmen. Für das Quartier sollen die zentralen Abwassersysteme signifikant entlastet und das Mikroklima verbessert werden (UFZ 2021).

In der Planung wurden bereits Schwammstadtprinzipien unter Beteiligung kommunaler, wissenschaftlicher und wirtschaftlicher Akteure in einem Masterplan für das Quartier festgehalten.



Abbildung 4: Gelände 416 – 2021. Helmholtz Zentrum für Umweltforschung. o.J.. Gelände L416.
https://www.ufz.de/export/data/478/248603_PM_Bild1_DJI_0322-16zu9.jpg (Letzter Zugriff 24.10.2021).

Aspekte Boden/Wasser

Aufgrund der Vornutzung sind auf dem Gelände keine natürlichen Böden mehr vorhanden. Auf der Gesamtläche von ca. 292.000 m² werden ca. 208.000 m² für die Siedlungs- und Verkehrsfläche genutzt, was einen Anteil von 73 % ergibt. Neben den Zielen der Schaffung einer nachhaltigen und klimaschützenden Quartiersentwicklung, der Realisierung von Dachbegrünung auf Flachdächern, der Schaffung einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung mit gestalterischer Integration in den nutzbaren Freiräumen (Leipzig 416 Management GmbH 2021) führt die unzureichende Leistungsfähigkeit des Kanalnetzes dazu, dass alle anfallenden Regenwassermengen auf der Fläche versickert werden müssen. Dies kann durch die natürliche Funktion des „Stadtbodens“ durch Versickerung allein nicht geleistet werden. In der Folge sollen ergänzend technisch aufwändigere Lösungsansätze, z.B. Retentionsgründächer, Regenrückhaltebecken, Wasserparkplätze, Muldenanlagen und Rigolensysteme eingesetzt werden.



Abbildung 5: Schwammstadtquartier Helmholtz Zentrum für Umweltforschung. o.J.. Schwammstadtquartier. URL: https://www.ufz.de/export/data/478/254931_Schwammstadt_Grafik%20UmweltPerspektiven_©Artkolchose.jpg (Letzter Zugriff 25.07.2023).

Bodenfunktionen in der wassersensiblen Stadtentwicklung

Wasserrückhaltung

Als Ziel des Projektes stehen im Rahmen der Klimaanpassung multifunktionale und blaugrüne Infrastrukturen festgeschrieben (RES:Z 2021). In diesem Rahmen soll der Wasserrückhalt auf Flächen mit anderen Funktionen gekoppelt werden, beispielsweise sollen Parkanlagen als Aufenthalts- und Erholungsräume ebenfalls als Retentionsflächen genutzt werden.

Im Zuge des abflussfreien Quartieres soll darüber hinaus Niederschlagswasser im öffentlichen Bereich zurückgehalten und genutzt werden (UFZ 2022). Dafür vorgesehene Flächen:

- Öffentlicher Bereich: Freiflächen, Straßenabläufe
- Semizentrale Versickerung: drei Rigolensysteme mit Reinigung, zentrale Mulden
- Rückhalt und Versickerung für ein 100-jähriges Regenereignis ist umsetzbar

Abkühlungsfunktionen

Mit der Schaffung großflächiger multifunktionaler und grünblauer Infrastruktur und den damit zusammenhängenden natürlichen Bodenfunktionen kommt es neben der Wasserrückhaltung zu starken Verdunstungseffekten und damit Abkühlungseffekten für das Quartier und das Mikroklima. Ebenfalls werden als großer Faktor der Abkühlung die Schaffung begrünter Innenhöfe in den Wohnbebauungen geplant (RES:Z 2021).

Boden und Grünflächen

Neben dem baulichen Nutzen, werden 54.695 m² Grünflächen geplant, dies entspricht 22 % des Gebietes. Davon sind insgesamt 40.000 m² geplant als siedlungsnah und öffentliche Grün- und Freiflächen im Quartier. Die Flächen erreichen eine Verdunstungsleistung von ca. 27.347,5 m³ Wasser pro Jahr (eigene Berechnung).

Bauelemente

Verschiedene Infrastrukturen der wassersensiblen Stadtentwicklung werden gekoppelt (UFZ 2022). Hierfür werden angewendet:

- Naturnah gestaltete Regenrückhaltebecken als offene Wasserflächen (Ferber 2021: 42f.)
- Wasserparkplätze zur Zwischenspeicherung von Regenwasser (ebd.)
- Muldenanlagen, Aufstauen des Wassers auf natürlich gestalteten Flächen, Versickerung durch unterliegende Rigolen (ebd.)
- Dachbegrünungen (ebd.)

Perspektive Bodenschutz

Die schon früher versiegelten Flächen bleiben, im Wesentlichen an gleicher Stelle, versiegelte Flächen mit nahezu gleichem Versiegelungsgrad. 2016 waren ca. 17,9 ha, demnach 72% des Planungsgebietes versiegelt. Mit der Planaufstellung werden, einschließlich der zulässigen zu unterbauenden Flächen 73% des Planungsgebietes versiegelt. (Stadt Leipzig 2023: 67). Insofern liegen keine Anhaltspunkte für erhebliche zusätzliche Umweltauswirkungen vor. Mit Umsetzung der Planung ist eine Neuordnung der versiegelten Flächen verbunden. Die neu versiegelte Fläche wird vorrangig auf bereits zuvor versiegelten Flächen realisiert.

4.3 Buckower Felder

Projektbeschreibung/Ziele

Ebenfalls ein Beispiel für die Implementierung der Prinzipien der wassersensiblen Stadtentwicklung auf der Quartiersebene, stellt das 16,2 ha Neubauprojekt Buckower Felder im Süden der Stadt Berlin im Bezirk Neukölln dar. Es ist Teil des Konzepts „Schwammstadt Berlin“ (Stadt und Land 2021). Ziel des Projektes ist die Planung und Umsetzung einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsanlage mit einer wirtschaftlichen und am natürlichen Wasserkreislauf orientierten Oberflächenentwässerung für das Gebiet (InnoAuqua GmbH & Co. KG o.J.). Neben zahlreichen Maßnahmen der Dach- und Fassadenbegrünung umfasst das Projekt die Entwicklung eines abflussfreien Quartiers mit einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung. Natürliche Kühlungseffekte durch Verdunstung der Pflanzen und Verschattung der Fassaden und Aufenthaltsgelegenheiten sollen das Mikroklima verbessern. In den Straßenräumen sind Tiefbeet-Rigolen, Mulden-Rigolen-Standorte und Baumrigolen mit 30 Baumstandorten geschaffen worden.

Zentrales Element für die Regenwasserbewirtschaftung ist eine multifunktionale Fläche, in welche die Straßen entwässern. Hier sollen durch Bepflanzung und die natürlichen Bodenfunktionen Einstaufunktion, Verdunstungs- und Versickerungsfunktionen sowie Erholungs- und Ausgleichsflächen kombiniert werden und die natürliche Wasserbilanz wieder hergestellt werden. Bausteine sind:

- Dezentrale Entwässerung der Verkehrsflächen mittels kaskadierendem Drosselsystem
- Straßenbegleitende Tiefbeet-Rigolen als Regenwasserbewirtschaftungsflächen
- (Not)-Ableitungswege für Starkregenereignisse
- Regenwasserversickerung in umliegenden Feldern
- Multifunktionsfläche mit Retentionsmulden im angrenzenden Landschaftspark
- Baumrigolen als Pilotprojekt

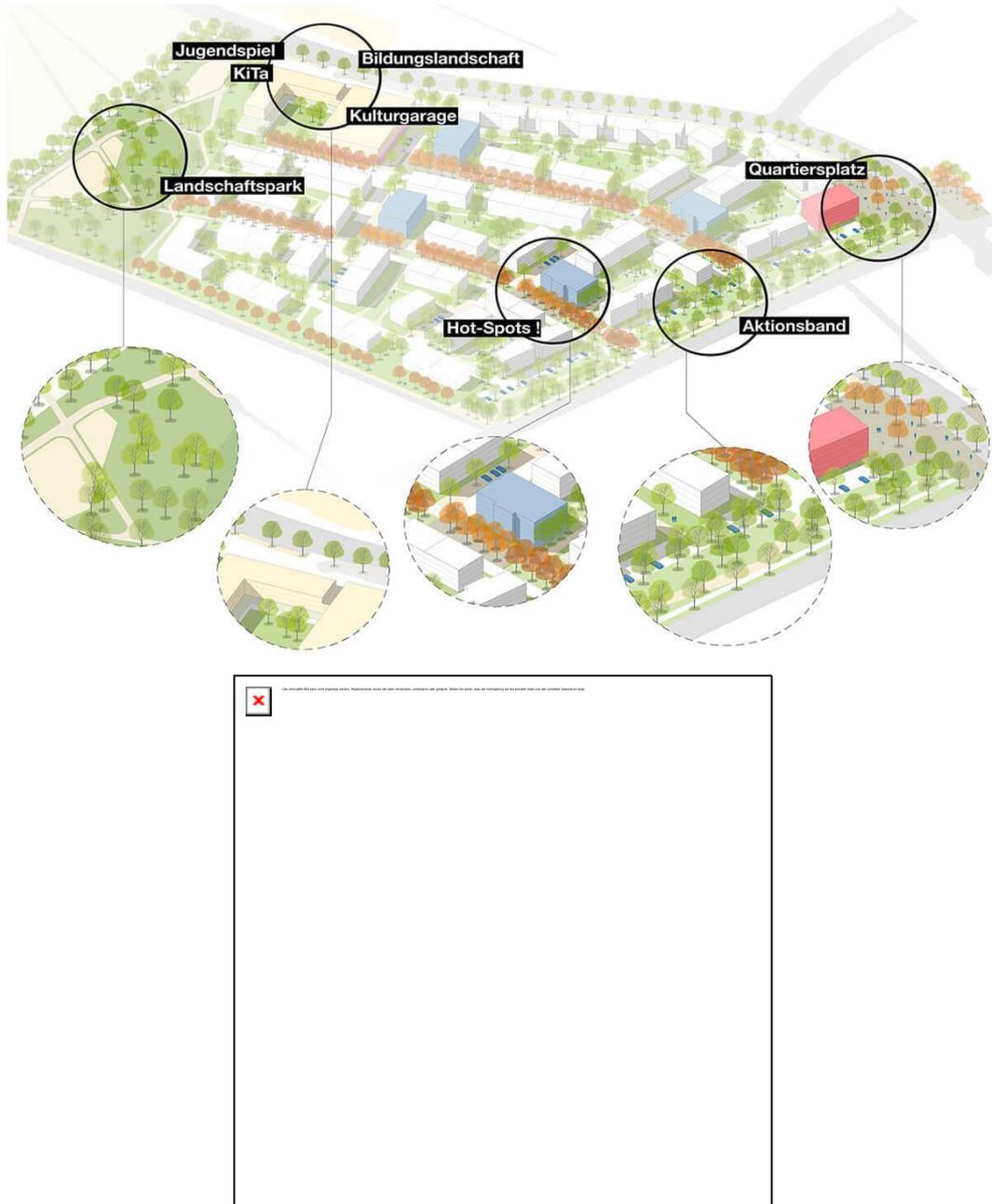


Abbildung 6: Buckower Felder. Förder Landschafts Architekten. (o.J.). Buckower Felder – Gemeinschaft entwickeln, Nachbarschaft wagen. URL: <https://www.foerder-landschaftsarchitekten.de/wp-content/uploads/2020/02/Ansicht-1.jpg> (Letzter Zugriff: 25.05.2023).

Aspekte Boden/Wasser

Für das gesamte Plangebiet ist von einer Neuversiegelung von ca. 4,7 ha (vollversiegelte Fläche) auszugehen, das sind etwa 30 % des Plangebietes. Dies entspricht ca. einem Verbrauch von 23.500 m³ Wasserspeicherleistung pro Jahr. Demnach kommt es zu einer erheblichen Beeinträchtigung des Schutzgutes Boden (Stadtentwicklungsamt Neukölln 2019: 85). Ebenfalls erfolgt kein flächenschonender Umgang im Rahmen der Baustelle und es erfolgen große Abgrabungen des bestehenden Bodenmaterials.



Abbildung 7: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Bauen und Wohnen (2021). Luftaufnahme 2021 Buckower Felder. URL: https://www.berlin.de/sen/stadtentwicklung/_assets/neue-stadtquartiere/buckower-felder/crop_1063_797.25_0_153.48333740234375_1063_1063_fea0c7fd2a9875ebc192c3c531b3652a_2022_dop_03_buckower-felder_2022_bb_2021.jpg (Letzter Zugriff 13.07.2023).



Abbildung 8: Dirk Laubner (2022). Luftaufnahme 2022 Buckower Felder. URL: https://www.berlin.de/sen/stadtentwicklung/_assets/neue-stadtquartiere/buckower-felder/dt8a9969.jpg (Letzter Zugriff: 13.07.2023).

Das Planungsgebiet ist unterteilt in 14 Baufelder. Diese sind zu 30 % - 40 % durch Gebäude vollversiegelt und 15 % - 22,5 % teilversiegelt. Weitere Straßenverkehrsflächen werden vollversiegelt. Im Ergebnis werden im Planungsgebiet 44.442 m² versiegelt und 12.147 m² teilversiegelt.

Der vorhandene Boden setzt sich größtenteils aus mittel lehmigen Sandboden zusammen und im Nord-Osten des Gebietes aus Mittelsand Boden mit kantigen Steinen im Ober- und Unterboden. Dem mittel lehmigen Sandboden wird im Rahmen der Wasserdurchlässigkeit die Stufe 3 „mittel“ und ein kf-Wert von 10 - <40 cm/d zugeordnet. Dem Mittelsandboden wird die Stufe 6 „äußerst hoch“ mit einem Kf-Wert von >300 cm/d zugemessen.

Bodenfunktionen in der wassersensiblen Stadtentwicklung

Im Rahmen des Konzeptes „Schwammstadt“ entsteht im Quartier der Buckower Felder eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftungsanlage mit weitgehend naturnahen Elementen unter Einbeziehung der natürlichen Bodenfunktionen.

- innerhalb der privaten Grünfläche, ist die Anlage von Niederschlagswasserbewirtschaftungsanlagen geplant. Diese Flächen dienen der Retention und Verdunstung von Regenwasser.
- Auf den „Grünen Angern“ werden Baumrigolen und Mulden-Rigolen-Systeme zur Versickerung des auf den Straßenverkehrsflächen anfallenden Oberflächenwassers, vorgesehen.
- Nördlich wird das Straßenverkehrswasser in Tiefbeet-Rigolen-Systeme geleitet.

Hierzu werden Tiefbeet-Rigolen, in Kombination mit Kies-Rigolen, sowie Muldenrigolen in Kombination mit Drosselschächten und Baumrigolen im Verkehrsraum mit einem multifunktionalen Landschaftspark etabliert.

Die extensiven Dachbegrünungen verringern zudem den Anteil des anfallenden Regenwassers. In der Summe tragen die Maßnahmen zur Reduzierung der mit der Planung verbundenen mikroklimatischen Veränderung bei (Sieker 2020).

Im Rahmen des Projektes sollen auf den Flächen der öffentlichen naturnahen Parkanlage bzw. des Spielplatzes 9.600 m² zur Rückhaltung und Versickerung von Niederschlagswasser geschaffen werden. Das innerhalb der Baugebiete anfallende Niederschlagswasser soll vollständig durch Mulden oder Mulden-Rigolensysteme oder andere Maßnahmen gleicher Wirkung auf den Grundstücksflächen zurückgehalten und versickert werden (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen 2019).

Wie auch bei den Tiefbeet- und Baumrigolen wird der Oberflächenabfluss in den Mulden-Rigolen zurückgehalten und der Anteil, der nicht versickert oder verdunstet über Drosselschächte stark verzögert in Richtung der Retentionsmulden abgeleitet (Sieker 2020). Die Tiefbeete werden über darunter angeordnete Kies-Rigolen entwässert und mit speziell für Mulden geeigneten Gräsern und Bodendeckern bepflanzt. Die Betonfertigteile der Beete werden durch das vorhandene Längsgefälle kaskadierend angeordnet (ebd.). Baumrigolen im Straßenraum, stellen zugleich Pflanzgruben dar (ebd.). Bei den multifunktional genutzten Flächen handelt es sich um eine Parkanlage mit einer 7.300 m² großen Retentionsfläche (ebd.). Diese dient der Rückhaltung von Regenwasser wie auch als siedlungsnahes Grün und ist in drei Teilflächen gegliedert. Die Retentionsmulden sind so bemessen, dass sie das Niederschlagswasser der verschiedenen Teilflächen des Gebiets aufnehmen:

- von 23.000 m² Verkehrsfläche, indirekt über das Drosselsystem angeschlossen
- 3.000 m² abflusswirksamer Wegefläche im Landschaftspark
- Ebenso wurden Dach- und Hofflächen in der Bemessung berücksichtigt

Die Retentionsmulden sind auf ein dreißigjähriges Extremwetterereignis bemessen und bieten einen Rückhaltevolumen von 3.650 m³ Wasser. Die Retentionsmuldenfläche ist unterteilt in drei Teilbereichen, welche sich in ihrer Funktionalität hinsichtlich Einstaufähigkeit, ihrer sozialen Nutzung und ihrer gepflanzten Vegetation unterscheiden.

Abkühlungsfunktionen

Die Thematik der Verdunstung und Abkühlung spielt im Rahmen des Projektes Buckower Felder eine zentrale Rolle (Umweltbundesamt 2019: 82). Im Gebiet bestehen aufgrund der Geologie ungünstige Versickerungsbedingungen (BlueGreenStreets 2022: 132). Daher wird auf der Grundlage eines Regenwasserbewirtschaftungskonzeptes in den öffentlichen Straßen die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung sowie Mitbenutzung der zentralen öffentlichen Grünflächen als semizentrale Versickerungsfläche verfolgt (BlueGreenStreets 2022: 134 ff.). Im Rahmen der oben benannten Maßnahmen ist neben der Funktion des Wasserrückhaltes auch die Funktion der Abkühlung zu beachten.

Boden und Grünflächen

Ein Ziel ist die Erhöhung des Grünflächenanteils in den Wohngebieten. 40 % der Flächen im Geltungsbereich des Bebauungsplanes sind als Grünflächen oder landwirtschaftliche Nutzflächen ausgeschrieben. In diesem Rahmen entsteht eine 9.600 m² große multifunktionale Landschaftsparkfläche als Retentionsraum.

Bauelemente

Im Rahmen des Projektes Buckower Felder werden verschiedene Maßnahmen der wassersensiblen Stadtentwicklung angewendet sowie kombiniert. Der Wasserrückhalt sowie auch die Verdunstung erfolgen über verschiedenen Maßnahmen der wassersensiblen Stadtentwicklung im Rahmen von Neubauprojekten im Bestandsquartieren. Unter anderem:

- Tiefbeet-Rigolen in Kombination mit Kies-Rigolen
- Muldenrigolen in Kombination mit Drosselschächten
- Baumrigolen im Verkehrsraum
- Multifunktionale Flächennutzung

Perspektive Bodenschutz

Im Rahmen des Bebauungsplanes kommt es zu einer Abwägung des Erhalts des bestehenden Bodens sowie seiner Funktionen durch vorherige Bodenuntersuchung, mit dem Ergebnis geringer Durchlässigkeitswerte (ebd. 53). und durch die Bevölkerungsprognose der Stadt Berlin, welche steigende Wohnungsbedarfe aufzeigt (ebd.: 211).

Die Nutzung der natürlichen Bodenfunktionen der bestehenden Flächen findet im Rahmen des Projektes „Buckower Felder“ wenig bis keine Berücksichtigung. Das Projekt umfasst die Etablierung naturnaher technischer Lösungen. Diese umfassen kostenintensive Vorhaben, welche ebenfalls nicht auf die Funktionen der gegenebenen Böden zurückgreifen. Ebenfalls erfolgt im Rahmen der Erschließung die Abgrabung großer Mengen an Bodenmaterial auf der gesamten Fläche des Projektes. Es erfolgen keine Aussagen über die Umlagerung der natürlichen Böden oder die Sicherung der bestehenden Stadtböden. Es bestehen im Planungsgebiet keine Potenziale der Entsiegelung, das Projekt entsteht auf ehemaligen Ackerflächen.

4.4 Industrievorsorgegebiet Wiedemar

Projektbeschreibung/Ziel

Das Projekt „Industrievorsorgegebiet Wiedemar“ entsteht im Landkreis Nordsachsen auf hochwertigen landwirtschaftlichen Böden (Bodenwertzahl > 70). Die Gemeinde Wiedemar weist eine 410 ha großen Fläche aus und soll nach dem Schwammstadtprinzip beplant und gebaut werden. Hierbei soll ein Fokus auf die Niederschlagswasserableitung gesetzt werden. In Abkehr von konventionellen Entwässerungsformen wird das Ziel verfolgt, eine möglichst große Menge des anfallenden Niederschlagswassers zurückzuhalten, zu speichern und im Gebiet zu versickern, so dass der lokale Wasserhaushalt weitestgehend erhalten wird. Bausteine sind hierbei:

- Etablierung eines naturnahen Regenwassermanagements
- Entlastung des Abwassernetzes
- Erhöhung der Speicherwirkung von Böden im Gebiet
- Verbesserung des Mikroklimas (Verdunstungskühlung)
- Erhöhung und Verbesserung der Grundwasserneubildung

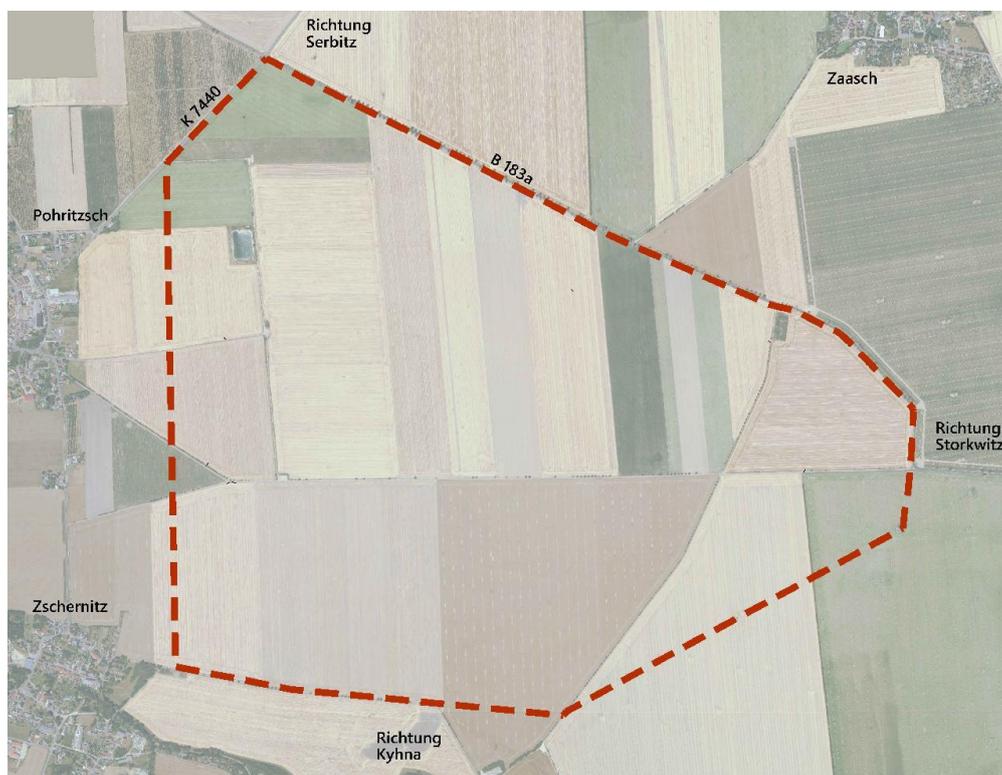


Abbildung 9: Planzeichnung – Bebauungsplan Industrievorsorgegebiet Wiedemar. Gemeinde Wiedemar (Hg.). (o.J.). Planzeichnung – Bebauungsplan Industrievorsorgegebiet Wiedemar. URL: https://buergerbeteiligung.sachsen.de/portal/download/datei/2186113_0/2022-05-31_22035_IVG_Wiedemar_Umgriff_Luftbild.jpg (Letzter Zugriff: 25.07.2023).

Aspekte Boden/Wasser

Im Rahmen des Projektes erfolgt eine großflächige Versiegelung und der Verlust natürlicher Bodenfunktionen. Es ist von einer gesamten Neuversiegelung von ca. 351,0 ha beziehungsweise 85,6 % des Plangebietes auszugehen. Das Schutzgut Boden wird im Zuge der Baumaßnahme zu 100 % ausgekoffert.

Der anstehende Boden weist eine hohe bis sehr hohe natürliche Bodenfruchtbarkeit auf. Dennoch enthält die Umweltprüfung keine Aussagen bezüglich eines flächenschonenden Umgangs bezüglich der Baustelle. Erwähnt wird nur, dass weitere Maßnahmen die Verwertung des abgetragenen Oberbodens während und nach der Bauphase erforderlich machen. Dieser muss für eine hochwertige Verwertung bereitgestellt werden.

Bodenfunktionen in der wassersensiblen Stadtentwicklung

Wassersensible Stadtentwicklung

Im Rahmen der Planung des Industrieborsorgegebietes Wiedemar ist das Ziel, die genaue Leistungsfähigkeit der Oberflächengewässer, unter anderem des Gienickenbachs, einschätzen zu können. Es erfolgt eine Modellierung des Grundwasserkörpers und des Gewässers bzw. eine Darstellung des Hochwasserabflusses sowie die Auswirkungen der geplanten Einleitungen. In den Unterlagen des Bebauungsplans wird die Nutzung des Kiessees Serbitz als Retentionsraum festgelegt.

Zusätzlich muss eine Zuführung des Niederschlagswassers zum See geschaffen werden. Ebenso soll eine getrennte Ableitung von sanitärem und technologisch/industriellem Abwasser erfolgen. Für die Ableitung des Niederschlagswasser auf versiegelten Flächen werden im Rahmen der Planung eine Vielzahl von Möglichkeiten der Ableitung geprüft:

- Vermeidung von Spritzwasserabflüssen
- Umsetzung des Wasserrückhaltes auf der Baufläche
- Regenwassernutzung als Brauch- und Beregnungswasser
- Einleitung des Niederschlagswasser in das Grundwasser vor Ort
- Verdunstungsfunktionen
- Ableitung in oberirdisches Gewässer
- Berücksichtigung von Drosselsystemen und Regenwasserspeicherung

Ziel und Grundprinzip sind, dass anfallende Niederschläge im Gebiet auch am Anfallort dem Wasserhaushalt wieder zugeführt werden. Demnach verfolgt das Projekt „Industrieborsorgegebiet Wiedemar“ Ziele der wassersensiblen Stadtentwicklung durch die Planung der Anwendung von Abkühlungsfunktionen und Wasserrückhalt. Dementsprechend findet die Nutzung des Niederschlagswassers vor Ort, im Sinne von Speicherung, Versickerung und Verdunstung statt.

Wasserrückhalt

Nach den angestrebten Zielen soll eine Abkehr von konventionellen Entwässerungsformen erfolgen und eine möglichst große Menge des anfallenden Niederschlagswassers zurückgehalten, gespeichert und im Gebiet versickert werden. Der lokale Wasserhaushalt soll hierdurch weitestgehend erhalten werden. Maßnahmen sind abflusswirksame Flächen und ein naturnahes Regenwassermanagement.

Bereits geplante Maßnahmen für den Wasserrückhalt sind zum Beispiel die Einleitung von Regenwasser in den endausgekiesten Kiessandtagebau Serbitz (ca. 30 ha Größe) ca. 900 m nördlich des Vorhabengebiets. Ergänzend erfolgt die Begrünung von Straßen und Stellplätzen, sowie die Pflanzungen von Bäumen. Ebenso werden der Bau

von Baumrigolen, Mulden und Regenrückhaltebecken geprüft. Dies würde größere zusammenhängende Grünflächen im Gebiet bündeln und so grünordnerische Synergieeffekte bewirken, auch wenn die Flächen vorrangig anderen Nutzungen zugeschrieben werden. Zusätzlich soll durch den Einsatz eines Systems von Drainage-, Speicher- und Versickerungselementen, ein verstärkter Wasserrückhalt erfolgen.

Der südöstliche Teil des Plangebiets ist ein „Gebiet zur Erhaltung und Verbesserung des Wasserrückhalts“. Laut des Regionalplanes Leipzig-West Sachsen ist zu beachten: *„In den „Gebieten zur Erhaltung und Verbesserung des Wasserrückhalts“ sind Beeinträchtigungen des Wasserrückhaltevermögens durch großflächige Bodenversiegelungen, die Beseitigung abflusshemmender Vegetationsbestände, nutzungsbedingte schädliche Bodenverdichtungen und Verringerung des natürlichen Retentionsraums der Fließgewässer zu vermeiden. Nutzungen und Maßnahmen, die eine Erhöhung des Wasserrückhaltevermögens in diesen Gebieten begünstigen, sind zu befördern.“* (Regionalplan Leipzig-West Sachsen 2021, Grundsatz G 4.1.2.23)

Boden und Grünflächen

Im Rahmen der Planung werden 59 ha Grünstrukturen geplant, dies entspricht ca. 14,4% des Planungsgebietes. Dies ermöglicht eine Verdunstung von ca. 295.000 m³ Wasser jährlich. Das gesamte Plangebiet soll durch einen „grüner Saum“ mit einer Größe von ca. 70 hDa und einer möglichen Breite von bis zu 150 m eingefasst werden. Ebenso werden Regenrückhaltebecken und Regenklärbecken geschaffen, diese werden aber nicht multifunktional geplant.

Bauelemente

Im Rahmen des Projektes werden separate Teilflächen zur Verbesserung des Wasserrückhaltes geplant. Im konkreten Fall soll deshalb das Niederschlagswasser durch den Einsatz von Regenrückhaltebecken und Regenklärbecken auf dem Grundstück wirksam zurückgehalten und behandelt sowie nach Möglichkeit durch ein System von Drainage, Speicher- und Versickerungselementen zur Versickerung gebracht werden. Dabei sind die verschiedenen Teilflächen (Dachflächen, Fassadenbegrünung, Grünflächen, Stellplatzflächen u. Ä.), u.a. in Bezug auf ihre Abflussbeiwerte und Qualitäten, zu berücksichtigen. Weiterhin sollen weitere hydrologische Gegebenheiten durch Bodengrunduntersuchungen einschließlich der Ermittlung der Durchlässigkeitsbeiwerte ermittelt werden.

Ebenso werden weitere Möglichkeiten bezüglich Drainage-, Speicher-, und Versickerungssysteme geprüft.

Perspektive Bodenschutz

Im Rahmen des Projektes „Industrievorsorgegebiet Wiedemar“ erfolgt die Betrachtung der wassersensiblen Stadtentwicklung „erst“ im Rahmen der Ausführungsplanung. Die Nutzung der natürlichen Bodenfunktionen, die bereits bestehen bzw. eine behutsame Erschließung der Fläche, erhält keine weitere Betrachtung. Laut den Bodenfunktionskarten des LfULG existieren auf der Baufläche hohe bis sehr hohe natürliche Bodenfruchtbarkeiten sowie ein ebenfalls sehr hohes Wasserspeichervermögen des Bodens (LfULG 2022).

Die Bodenversiegelung verursacht einen hohen Verlust der bestehenden natürlichen Bodenfunktionen. Durch das Betreiben der Baustelle und die Erschließung werden weitere Bodenbeeinträchtigungen verursacht wie z.B. die Verdichtung des Bodens im Rahmen des gesamten Bauprozesses. Darüber hinaus kommt es zu einer Bodenabgrabung von ca. 6.150.000 Tonnen Bodenmaterial, sofern eine vollständige Baufeldfreimachung erfolgt. Dies entspricht einem Verlust der Wasserspeicherleistung des Bodens von ca. 1.230.000 m³ Wasser jährlich.

Die geplanten Maßnahmen der wassersensiblen Stadtentwicklung zum Wasserrückhalt beinhalten naturnahe technische Lösungen. Das Vorhaben zielt aber nicht auf einen Erhalt der gegebenen natürlichen Bodenfunktionen vor Ort ab. Aussagen über abgegrabene Bodenmaterialien, sowie ihre Wiedernutzbarmachung sind noch nicht festgelegt. Ziel ist es aber, die Bodenmaterialien in eine hochwertige Verwertung zu überführen.

5. Entscheidungshilfetool für Maßnahmen „Bodenfunktion in der wassersensiblen Stadtentwicklung“

Der Boden spielt für die Umsetzung einer wassersensiblen Stadtentwicklung eine zentrale Rolle. Es müssen bei städtebaulichen Planungen die bodenspezifischen Entscheidungskriterien zu einem möglichst frühen Zeitpunkt geprüft und einbezogen werden. Die Bodenschutzklausel nach BauGB §1a (2) einen sparsamen und schonenden Umgang mit Grund und Boden, setzt den dafür notwendigen Rahmen. Ein geeigneter praktischer Handlungsansatz wurde durch die 2022 im Rahmen des BMBF-Forschungsverbundes „Ressourceneffiziente Stadtentwicklung“ vorgelegte DINSPEC Ressourceneffiziente Stadtquartiere entwickelt. Ziel der DINSPEC ist die integrierte Betrachtung der Ressourcen Boden/Fläche, Grün und Wasser in einem Plangebiet. Sie richtet sich an öffentliche und private Entscheidungsträger*innen, insbesondere in Kommunen, Fachverwaltungen und Immobilienwirtschaft. Die DINSPEC legt Anforderungen und Vorgehensweisen fest, die bei der Entwicklung ressourceneffizienter Stadtquartiere zu berücksichtigen sind und eignet sich für eine Integration von Boden/Bodenfunktionen in die Planung. In der nachfolgend dargestellten Anwendung wurde dieser Ansatz spezifisch auf die Schnittmengen Boden/Wasser fokussiert.

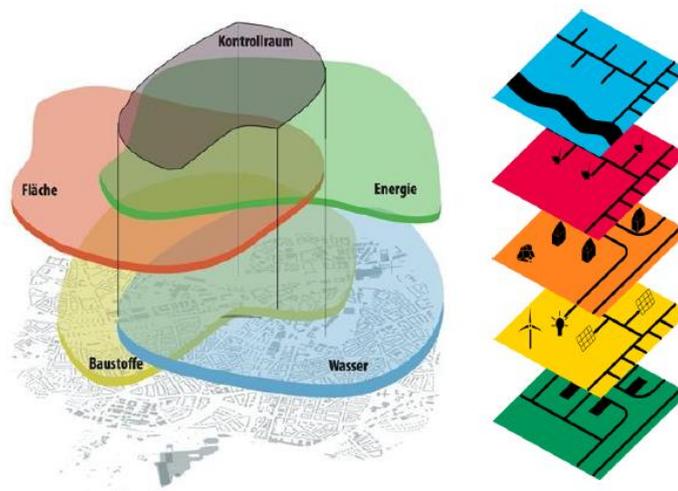


Abbildung 11: Ressourcenübergreifende Betrachtungsebenen. Eigene Darstellung.

Mit der beschriebenen Vorgehensweise sollen räumliche und sektorale Planungs- und Genehmigungsverfahren (z.B. Bauleitplanung, Klimaanpassungskonzepte, Generalentwässerungsplanung) zusammengeführt werden. Ein effizientes Schnittstellenmanagement zwischen privaten und öffentlichen Stakeholdern soll gewährleistet und multifunktionale Nutzungen verankert werden. Dies erfolgt in fünf Schritten:

1. Schritt: Auswahl und Abgrenzung des Plangebietes einer boden- und wassersensiblen Stadtentwicklung

Auswahl und Abgrenzung des Plangebietes hängen in der Praxis meist anlassbezogen von administrativen Anlässen wie der Aufstellung eines Bebauungsplans, der Ausweisung eines Sanierungsgebietes oder der Erarbeitung eines Klimaanpassungskonzeptes ab. Neben diesen räumlichen Kriterien müssen für die wassersensible Stadtentwicklung ebenfalls die bodenkundlichen und siedlungswasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen, z.B. Verflechtungen der Grünverbände, des Entwässerungssystems und topografische Aspekte mit einbezogen werden.

2. Schritt: Auswahl der Verfahrensbeteiligten

Die Herausforderung einer boden- und wassersensiblen Stadtentwicklung richtet sich generell an ein breites Spektrum öffentlicher und privater Entscheidungsträger*innen, insbesondere in Kommunen, Fachverwaltungen und Immobilienwirtschaft. Bei diesen vorgelagerten Prozessen jedoch ausschließlich auf einen Personenkreis aus Stadt- und Umweltplanung sowie Siedlungswasserwirtschaft fokussiert werden.

3. Schritt Auswahl der Entscheidungskriterien

Entscheidungskriterien, aus bodenschutzfachlicher Perspektive, sind auf Grundlage der Literaturanalyse und der untersuchten Fallbeispiele erarbeitet wurden. Die anschließende Tabelle 3 fasst die Kriterien und Indikatoren zusammen.

Tabelle 3: Auswahl der Entscheidungskriterien

Entscheidungskriterium	Indikator	Messgröße	Erläuterung
Erhalt natürlicher Böden und ihrer Versickerungsfunktion im Plangebiet bei Neuausweisungen	Sicherung der Böden in Bauphase und Nutzungsphase	m ² gesicherte Böden	Mögliche Auswertung über B-Plan, Durchführung eines baubegleitenden Bodenmanagements
Erhalt durch schonende Umlagerung natürlicher Böden	m ³ umgelagerter Böden		
Nutzung der Entsiegelungspotenziale im Bestand	Bodenentsiegelung	m ² pro Jahr im Plangebiet	Auswertung von Entwicklungskonzepten, Klimaanpassungskonzepten etc.
Sicherung vorhandener Stadtböden	Anthropogen beeinflusster Boden	m ²	Keine flächendeckende Datenverfügbarkeit
Verbesserung der Versickerungsfähigkeit von Stadtböden	Wasserspeicherleistung des Bodens	nFKWp in mm	Einzelfallprüfung erforderlich
	Versickerungsfähigkeit des Bodens (kf-Wert)	m/s	
	Bodenversiegelungsgrad	% oder m ²	

Erhalt und Verbesserung der Verdunstungsleistungen	kwh/m ² m ³ Wasser/m ² /a Grünanteil im Plangebiet	Verdunstungspotenzialkarten (Modell Hamburg) Schätzung Bundesverband Boden: 1 ha Boden = 5000 m ³ /a (1 ha Boden, mit optimaler Wasserversorgung gemeinsam mit Vegetation)
Erhöhung der Grünflächenanteile	Grünflächen und offene Bodenflächen im Plangebiet	% im Quartier
Minimierung des oberflächennahen Wasserabflusses	Maßnahmen des Wasserrückhaltes	Siehe Studie SME-KUL/LFULG

Quelle: StadtLand GmbH, 2023

4. Schritt: Scoping der Schnittstellen

Scoping ist die Definition von Aufgaben- oder Untersuchungsumfängen in komplexen Planungs-, Management- und Herstellungsprozessen. Daraus lassen sich für Bodenfunktionen und wassersensible Stadtentwicklung zwei typische planerische Konstellationen ableiten:

- Umbau von Bestandsgebieten
- Neuausweisung von Siedlungsflächen

Die Prüffragen müssen auf Grundlage, der von den jeweilig beteiligten Akteuren bereitgestellten Daten beantwortet und möglichst konkret im Quartier lokalisiert werden.

Prüffragen Boden/wassersensible Stadtentwicklung:

Umbau von Bestandsgebieten

Prüffrage	Grundlage
Welche natürlichen Böden/Freiflächen können geschützt werden?	Bodenkartierungen: Hochwertige Böden oder vorhandene natürliche Böden in Stadtgebieten.
Liegen Informationen bzw. Festlegungen zum unterirdischen Raum vor? Wo liegen welche Leitungen? Sind Baugrundinformationen und ggf. Informationen zu Altlasten vorhanden?	Leitungspläne, Altlastenkataster
Wo besteht der Bedarf für eine Heizvorsorge/Bereiche hoher baulicher Dichte (bioklimatische Entlastung der dichter werdenden Städte im Klimawandel)?	Lokale Kartierungen, Messungen

Welche Flächen können entsiegelt werden und Bodenfunktionen wiederhergestellt werden?	Kartierung der Entsiegelungspotenziale
Welche Verkehrsflächen können entsiegelt werden?	Spezifische Analyse von Verkehrsflächen: Quelle BGS
Welche Flächen können ggf. multifunktional genutzt werden (Wasser + Grün + Aufenthalt)?	Einzelfallprüfung und Abwägung

Je nach Fläche gegebenenfalls auch Bodenmanagement bzw. bodenkundliche Baubegleitung integrieren (siehe unten).

Neuausweisung von Siedlungsflächen

Prüfrage	Grundlage
Welche natürlichen Böden/Freiflächen können durch bodensensible Planung erhalten und geschützt werden?	Städtebaulicher Entwurf
Bei welchen Flächen kann auf eine Vollversiegelung zugunsten einer Teilversiegelung verzichtet werden?	Städtebaulicher Entwurf, Ausführungsplanungen
Welche Flächen können ggf. multifunktional genutzt werden (Wasser + Grün + Aufenthalt)?	Einzelfallprüfung und Abwägung
Welche Böden können durch Bodenmanagement erhalten werden?	Konzept Bodenmanagement
Ist eine bodenkundliche Baubegleitung erforderlich	Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV) § 4

Ergebnis: Zusammenfassende Beschreibung des IST-Zustands und von Defiziten, Treibern und Bedarfen auf Grundlage des Scopings. (Fläche, Wasser, Grün).

5. Schritt: Fachplan Boden-/Wassersensible Stadtentwicklung

In Abhängigkeit der festgestellten Treiber und Bedarfe erfolgt eine integrierte Analyse des Quartiers. Ergebnisse sind die Identifikation von Defiziten sowie Potenzialräumen zur Optimierung der Ressourceneffizienz. Davon werden planerische Zielgrößen (z.B. Versiegelungsgrad, Grünflächenanteil) abgeleitet. Ausgehend von den analysierten Defiziten und Potenzialen im Plangebiet werden durch alle beteiligten Disziplinen ein Planungsszenario auch unter Kostenaspekten definiert. In ressourcenübergreifender Abwägung werden prioritäre Maßnahmen identifiziert, die zur größtmöglichen Ressourceneffizienz führen.

6. Schritt: Bodenkundliche Baubegleitung BBodSchV § 4 Vorsorgeanforderungen

Bei Vorhaben, bei denen auf einer Fläche von mehr als 3 000 Quadratmetern Materialien auf oder in die durchwurzelbare Bodenschicht auf- oder eingebracht werden, Bodenmaterial aus dem Ober- oder Unterboden ausgehoben oder abgeschoben wird oder der Ober- und Unterboden dauerhaft oder vorübergehend vollständig oder teilweise verdichtet wird, sollte die Beauftragung einer bodenkundlichen Baubegleitung nach DIN 19639 erfolgen. Die Din 19639 ist eine Handlungsanleitung zum baubegleitenden Bodenschutz und zielt auf die Minimierung der Verluste der gesetzlich geschützten Bodenfunktionen. Sie konkretisiert die gesetzlichen Vorgaben zur Verhinderung schädlicher Bodenveränderungen bei Baumaßnahmen und gilt für Vorhaben mit bauzeitlicher Inanspruchnahme von Böden und Bodenmaterialien die nach Bauabschluss wieder natürliche Bodenfunktionen erfüllen sollen. Dies gilt für Böden unter forstlicher, landwirtschaftlicher, gärtnerischer Nutzung+ oder unter Grünflächen und Haus- und Kleingärten. Besondere Aufmerksamkeit gilt Böden mit hoher Funktionserfüllung oder besonders empfindlichen Böden.

6. Zusammenfassung/Fazit

Auch der Freistaat Sachsen ist stärker als zuvor von den massiven Folgen des Klimawandels betroffen. Ein Baustein zur Bewältigung und Anpassung an die Folgen ist die wassersensible Stadtentwicklung. Dabei spielt die Einbeziehung des Bodens mit seinen Bodenfunktionen eine zentrale Rolle. Ziel dieser Studie war es, die Bodenfunktionen in der wassersensiblen Stadtentwicklung zu erfassen und soweit möglich operativ zu quantifizieren. Hierfür wurden Veröffentlichungen zum Thema Schwammstadt und wassersensible Stadtentwicklung analysiert und bereits erfolgte oder geplante Umsetzungsmaßnahmen zum Wasserrückhalt bzw. zur Verringerung des wild abfließenden Wassers in der Stadtplanung bundesweit erfasst.

In der Literaturrecherche wurden Bodenfunktionen mit Blick auf die wassersensible Stadtentwicklung analysiert. Dabei richtete sich der Blick auf die Veröffentlichungen zu urbanen Böden, Ökosystemleistungen bis hin zur umfangreichen Literatur im Bereich des Klimawandels und der Klimaanpassung. Ergänzend wurde aus wasserwirtschaftlicher Sicht, die Literatur zur wassersensiblen Stadtentwicklung und aus bodenkundlicher Sicht die Bodenkundliche Baubegleitung mit aufgenommen. Aus der Betrachtung der Literatur konnten insgesamt zehn Indikatoren abgeleitet werden, mit deren Hilfe eine Quantifizierung der Bodenfunktionen vorgenommen werden kann. Dabei spielen insbesondere der Versiegelungsgrad, die Versickerungsleistungen sowie die Verdunstungsleistung des Bodens eine zentrale Rolle. Die steigende Zahl an Publikationen, Veranstaltungen und Förderprogrammen, sowohl im wasserwirtschaftlichen als auch im stadtplanerischen Metier, verdeutlichen, dass die wassersensible Stadtentwicklung immer mehr an Bedeutung gewinnt. Die explizite Bedeutung des Bodens und der von ihm geleisteten Bodenfunktionen werden hingegen bisher kaum bis nicht thematisiert.

Die gebauten Beispiele der wassersensiblen Stadtentwicklung nehmen insgesamt zu. Jedoch zeigt der Blick auf die analysierten Fallbeispiele mit modellhaftem Charakter in Leipzig und Berlin, dass Bodenfunktionen nur geringe Aufmerksamkeit erhalten. Insbesondere beim Neubau von Siedlungsflächen gelingt es meist nicht, den natürlichen Boden zumindest teilweise zu erhalten.

Zur Unterstützung der Entscheidungsträger wurden praktische Maßnahmen im Bereich Boden/Wasser in einem Maßnahmenkatalog (siehe Anhang 1) zusammengefasst. Dieser untersetzt Teilmaßnahmen auf bestehenden und auf neu geplanten Siedlungs- und Verkehrsflächen. Dabei reicht das Spektrum der Maßnahmen von Initiativen zur Entsiegelung in Quartieren über die Entsiegelung von Verkehrsflächen, dem Bodenmanagement bis hin zur Wiedernutzbarmachung zerstörter Böden und den naturnahen technischen Lösungen wie Rigolensystemen. Von besonderer Bedeutung im urbanen Raum sind Mehrfachnutzung bzw. die multifunktionale Nutzung von Flächen.

In Zukunft müssen bei städtebaulichen Planungen die bodenspezifischen Entscheidungskriterien zu einem möglichst frühen Zeitpunkt geprüft und einbezogen werden. Ein geeigneter praktischer Handlungsansatz wurde in dieser Studie mit dem Fachplan boden-/wassersensible Stadtentwicklung vorgelegt (S. 39). Dieser richtet sich an öffentliche und private Entscheidungsträger, insbesondere in Kommunen, Fachverwaltungen und Immobilienwirtschaft und sollte fester Bestandteil der integrierten Stadtentwicklungskonzepte in Sachsen werden.

7. Literaturverzeichnis

- Bauriedl, Sybille; Baasch, Stefanie; Görg, Christoph. 2015. Anpassung im Interessenkonflikt. Klimawandel-Governance als Aushandlungsprozess vielfältiger Akteure. In: Knieling, Jörg; Roßnagel, Alexander (Hg.). 2015d. Governance der Klimaanpassung Akteure, Organisation und Instrumente der Stadt und Region: 29–46.
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (Hg.). 2021. Glauber: Wasser gegen den Klimawandel. URL: <https://www.stmuv.bayern.de/aktuell/presse/pressemitteilung.htm?PMNr=07/21> (Letzter Zugriff am 09.05.2023).
- BlueGreenStreets (2022a): BlueGreenStreets Toolbox – Teil A. Multifunktionale Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere
- BlueGreenStreets (Hg.). (2022). BlueGreenStreets Toolbox – Teil B. Multifunktionale Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere, März 2022, Hamburg. Erstellt im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „Ressourceneffiziente Stadtquartiere für die Zukunft“ (RES:Z).
- BlueGreenStreets (Hrsg.) (2022b): BlueGreenStreets Toolbox – Teil B. Multifunktionale Straßenraumgestaltung urbaner Quartiere
- BÖHLAU B. (2020): Protokoll zur Ortschaftsratssitzung am 06.10.2020; letzter Zugriff am 20.01.2023: <https://ol.wittich.de/titel/3090/ausgabe/11/2020/artikel/00000000000023849371-OL-3090-2020-45-11-0>
- Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.) (2007): Perspektive Flächenkreislaufwirtschaft. Neue Instrumente für neue Ziele. Band 3 der Sonderveröffentlichungsreihe zum ExWoSt-Forschungsfeld „Fläche im Kreis“. Bearb.: Deutsches Institut für Urbanistik u.a., Preuß, Thomas u.a.; BBR, Dosch, Fabian u.a., Bonn.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt-, und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BR) (Hg.). 2022. Wie grün sind unsere Städte? Ergebnisse einer bundesweiten Erfassung. Bonn.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (2023): Aktionsprogramm Natürlicher Klimaschutz. <https://www.bmuv.de/DL2872> (aufgerufen am 23.01.2023)
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (Hrsg.) (2007): Kreislaufwirtschaft in der städtischen/stadtregionalen Flächennutzung. Das ExWoSt-Forschungsfeld „Fläche im Kreis“, Werkstatt Praxis Heft 51, Bonn.
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (2023): 3. Bundeskongress „Grün in der Stadt“. <https://gruen-in-der-stadt.de/3.bundeskongress-stadtgruen> (aufgerufen am 23.01.2023)
- Bundesverband Boden e.V. (Hg.). o.J. Boden als Klimaanlage – Kühlungsfunktion. URL: <https://www.bodenwelten.de/content/boden-als-klimaanlage-kuehlungsfunktion> (Letzter Zugriff: 10.08.2023).
- Bundeszentrfür für politische Bildung (Hg.). 2021. Jahrhunderthochwasser 2021 in Deutschland. URL: <https://www.bpb.de/politik/hintergrund-aktuell/337277/jahrhunderthochwasser-2021-in-deutschland> (Letzter Zugriff am 17.09.2021).
- Campe, Sabrina; Katzschner, Lutz; Kupski, Sebastian. 2015. Klimafunktionskarten als Instrument der Klimaanpassung in der Bauleitplanung. In: Knieling, Jörg; Müller, Bernhard (Hg.). 2015a. Klimaanpassung in der Stadt- und Regionalentwicklung. Ansätze, Instrumente, Maßnahmen und Beispiele: 343–354.
- Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft (2023). URL: <https://www.dbges.de/de> (Letzter Zugriff: 15.05.2023).
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hg.). 2021. DWA- Positionen. Wasserbewusste Entwicklung unserer Städte. Hennel: o.A.
- DIN 19639: Bodenschutz bei Planung und Durchführung von Bauvorhaben: DIN 19639 - 2019-09 - Beuth.de
- European Land and Soil Alliance (ELSA) e.V. (2023): Online Veranstaltungsreihe „Boden und Klima“. <http://www.bodenbuenndnis.org/download/veranstaltungen/> (aufgerufen am 23.01.2023)
- Ferber U., Eckert, K. (2020): Ökosystem-Dienstleistungen des Bodens / der Fläche. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.). Dresden
- Ferber U., Eckert, K., Fischer C. (2021): Bodenfunktionen in der Schwammstadt. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.). Dresden
- Gemeinde Wiedemar (Hg.). (2022). Bebauungsplan „Industrievorsorgegebiet Wiedemar“ der Gemeinde Wiedemar. Bebauungsplan und Umweltbericht – Vorentwurf. Wiedemar.
- Ginski, Sarah; Klemme, Marion. 2014. Anpassung an klimatische Herausforderungen in der Stadt: Erfordernisse, Möglichkeiten und Hemmnisse aus Sicht Aachener Akteure. In: Altrock, Uwe et al. (Hg.). 2014. Die Anpassungsfähigkeit von Städten. Zwischen Resilienz, Krisenreaktion und Zukunftsorientierung: 111–128.

- Grewe, Henny; Blättner, Beate. 2015. Klimawandel und Gesundheitsschutz. Möglichkeiten und Grenzen einer regionalen Anpassung des Gesundheitssystems. In: Knieling, Jörg; Roßnagel, Alexander (Hg). 2015d. Governance der Klimaanpassung. Akteure, Organisation und Instrumente für Stadt und Region: 105–124.
- Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie (2017): Quantifizierung der Verdunstungsleistung (Kühlleistung) von Böden in Hamburg – Projektbericht. Hamburg
- Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (UFZ) (Hg.). (2023). Blau-grüne Quartiersentwicklung in Leipzig. URL: https://www.stadtentwaesserung-dresden.de/fileadmin/user_upload/downloads/veranstaltungen/20230322-blau-gruene__infrastrukturen_leipzig-_khurelbaatar_.pdf (Letzter Zugriff: 18.07.2023).
- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschungs (UFZ). 2021. Forschungsprojekt Leipziger BlauGrün. Letzter Zugriff am 06.04.21: <https://www.ufz.de/leipzigerblaugruen/index.php?de=466782>
- InnoAuqua GmbH & Co. KG (Hg.). (o.J.). Tegenwasserbewirtschaftungskonzept für die Buckower Felder in Berlin.
- Knieling, Jörg; Müller, Bernhard. 2015c. Klimaanpassung in Städten und Regionen. Handlungsfelder und Fragestellungen aus Sicht der Stadt- und Regionalentwicklung. In: Knieling, Jörg; Müller, Bernhard (Hg). 2015a. Klimaanpassung in der Stadt- und Regionalentwicklung. Ansätze, Instrumente, Maßnahmen und Beispiele: 9–24.
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hg). 2016. Kühlleistung von Böden. Leitfaden zur Einbindung in stadtklimatische Konzepte in NRW. URL: https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/boden/bodenschutz_nrw/pdf/Kastler_NUA_17112016.pdf (Letzter Zugriff am 10.05.2023).
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hg.). (2023). Bodenkundliche Baubegleitung. URL: <https://www.lanuv-fis.nrw.de/bodenschutz-beim-bauen-neu/vor-dem-bau/bodenkundliche-baubegleitung> (Letzter Zugriff: 20.07.2023).
- Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hg.). (2022). Die Bewertung der natürlichen Bodenfunktionen. Bodenteilfunktionen nach BBodSchG. URL: https://www.boden.sachsen.de/download/2022.06.06_2_Bodenfunktion_und_Bodenversiegelung.pdf (Letzter Zugriff 18.07.2023).
- Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hg.). (2022). Bodenfunktionskarten 1:50.000. URL: https://luis.sachsen.de/boden/bodenfunktionenkarten.html?_cp=%7B%22accordion-content-6952%22%3A%7B%220%22%3Atrue%7D%2C%22previousOpen%22%3A%7B%22group%22%3A%22accordion-content-6897%22%2C%22idx%22%3A0%7D%2C%22accordion-content-6897%22%3A%7B%220%22%3Atrue%7D%7D (Letzter Zugriff: 10.08.2023).
- Landeshauptstadt Dresden Umweltamt, Stadtentwässerung Dresden GmbH (Hrsg.). 2004. Mit Regenwasser wirtschaften. 1. korrigierter Nachdruck Hrsg. Dresden: Landeshauptstadt Dresden
- Landratsamt Nordsachsen (Hg.). (2022). Industrievorsorgegebiet Wiedemar und Änderung des Flächennutzungsplanes der Gemeinde Wiedemar. Stellungnahme des Landratsamtes Nordsachsen als Träger öffentlicher Belange gemäß §4 Abs. 1 BauGB. Torgau.
- Landratsamt Nordsachsen (Hg.). (2022). Zielabweichverfahren Industrievorsorgegebiet Wiedemar. Stellungnahme des Landratsamtes Nordsachsen als Träger öffentlicher Belange. Torgau.
- Liesenfeld, Joachim; Schneider, Jens; Weingärtner, Dorothea. 2015. Regionale Klimaanpassung als kommunikativer und arbeitsteiliger Lernprozess. In: Knieling, Jörg; Roßnagel, Alexander (Hg). 2015. Governance der Klimaanpassung. Akteure, Organisation und Instfürnte für Stadt und Region: 229–245.
- Natur- und Umweltschutzakademie NRW (Hg). 2014. Städtische Böden im Klimaschutz in NRW. URL: https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/boden/bodenschutz_nrw/pdf/Eschenbach_NUA_17112016.pdf (Letzter Zugriff am 10.05.2023).
- Othengrafen, Meike (Hg). 2013. Anpassung an den Klimawandel: Das formelle Instrumentarium der Stadt- und Regionalplanung. Hamburg: Verlag Dr. Kovac.
- PROCHNOW-PANNICKE, NADINE; FERBER, UWE; ALBRECHT, JULIA; ECKERT, KARL: Abschlussbericht – Bessere Nutzung von Entsiegelungspotentialen zur Wiederherstellung von Bodenfunktionen und zur Klimaanpassung; Umweltbundesamt. Texte 141/2021

- Ressourceneffiziente Stadtquartiere (RES:Z) (Hg.). (2021). Ein Leipziger Quartier für das Leben mit Klimaextremen. URL: https://ressourceneffiziente-stadtquartiere.de/wp-content/uploads/2023/07/RESZ_Ergebnisse_LeipzigerBlau-Gruen_2022.pdf (Letzter Zugriff: 18.07.2023).
- Röttgen, Manfred; Siekmann, Thomas; Siekmann, Marko. 2015. Berücksichtigung wassersensibler Gestaltungselemente bei der Stadtentwicklung. In: Bolle, Friederich-Wilhelm; Krebs, Peter (Hg). 2015. Siedlungswasserwirtschaft klimarobust gestalten. Methoden und Maßnahmen zum Umgang mit dem Klimawandel: 157–188.
- Schüle, Ralf; Liesenfeld, Joachim; Madry, Thomas. 2015. Treffpunkt im Unendlichen – Synergien und Konflikte von Klimaschutz und Klimawandelanpassung in der Stadt- und Regionalplanung. In: Knieling, Jörg; Roßnagel, Alexander (Hg). 2015d. Governance der Klimaanpassung Akteure, Organisation und Instrumente der Stadt und Region: 69–86.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen. (2019). Zusammenfassende Erklärung nach § 10a Abs. 1 BauGB zum Bebauungsplan 8-66. Berlin.
- Sieker (Hg.). (2020). dezRWB Buckower Felder. Planung der dezentralen Regenwasserbewirtschaftungsanlagen des Berliner Neubaustandorts „Wohnen in den Buckower Feldern“. URL: <https://www.sieker.de/projekte/project/dezrwb-buckower-felder-192.html> (Letzter Zugriff: 13.07.2023).
- Stadt Leipzig (Hg.). (2022). Wassersensibel planen und bauen. Leipzig.
- Stadt und Land Wohnbauten-Gesellschaft mbH. (2021). Buckower Felder. URL: <https://www.stadtundland.de/Bauen/Neubau/Neukoelln/im-bau/Buckower-Felder.php> (Letzter Zugriff: 25.07.2023).
- Stadtentwicklungsamt Neukölln (Hg.). (2019). Bebauungsplan 8-66- URL: <https://www.berlin.de/ba-neukoelln/politik-und-verwaltung/aemter/stadtentwicklungsamt/stadtplanung/bebauungsplaene/bebauungsplan-festgesetzt/artikel.844944.php> (Letzter Zugriff: 13.07.2023).
- Südwestrundfunk (Hg). 2022. Gegen Hitze und Überschwemmung: So könnten Städte in BW in Zukunft aussehen. URL: <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/schwammstadt-gegen-hitze-und-ueberschwemmung-100.html> (Letzter Zugriff am 09.05.2022).
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2018): Instrumente zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme. Aktionsplan Flächensparen, bearb. Preuß, Thomas, Adrian, Luise, Bock, Stephanie Bock, Bunzel, Arno, und Magdalene Rakel, Dessau-Roßlau (UBA-Reihe „Texte“ 38/2018).
- UFZ (Hg.). (2021). Blau-grüne Infrastruktur für ein neues, ressourceneffizientes Stadtquartier. URL: https://www.ufz.de/index.php?de=36336&webc_pm=05/2021 (Letzter Zugriff 20.07.2023).
- Umweltbundesamt (Hg.). (2019). Untersuchung der Potenziale für die Nutzung von Regenwasser zur Verdunstungskühlung in Städten. Berlin.
- Umweltbundesamt (Hg), 2017. Dauerregen in Deutschland: Wie können wir vorsorgen? URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/dauerregen-in-deutschland-wie-koennen-wir-vorsorgen> (Letzter Zugriff am 09.06.2023).
- Umweltbundesamt (Hg). 2016. Gestaltungsmöglichkeiten der Raumordnung und Bauleitplanung. Klimaanpassung in der räumlichen Planung. Starkregen, Hochwasser, Massenbewegung, Hitze, Dürre. Dessau-Roßlau: Umwelt Bundesamt.
- Umweltbundesamt (Hg). 2021. IPCC-Bericht: Klimawandel verläuft schneller und folgeschwerer. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/ipcc-bericht-klimawandel-verlaeuft-schneller> (Letzter Zugriff am 06.09.2021)
- Umweltbundesamt (Hg). 2023. Trends der Lufttemperatur. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-lufttemperatur#steigende-durchschnittstemperaturen-weltweit> (Letzter Zugriff am 10.05.2023).
- Universität Hamburg (Hg). 2016. Urbane Böden im Klimaschutz am Beispiel Hamburgs. URL: https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/boden/bodenschutz_nrw/pdf/Eschenbach_NUA_17112016.pdf (Letzter Zugriff am 10.05.2023).
- Zöller-Schuck, Susanne; Bowyer, Paul; Jacob, Daniela; Brasseur, Guy. 2015. Inter- und transdisziplinäres Arbeiten im Klimageschichte. In: Beese, Karin et al. (Hg). 2014. Anpassung an regionale Klimafolgen kommunizieren. Konzepte, Herausforderungen und Perspektiven 99– 116.