



**HSB**

Hochschule Bremen  
City University of Applied Sciences

# Hochschule Bremen

Fachbereich 2 - Architektur, Bau und Umwelt  
Internationaler Studiengang Umwelttechnik B.Sc.

## Bachelorthesis

---

### **Multifunktionale Flächennutzung durch die Klimaschutzmaßnahme oberflächennahe Geothermie in Form von Erdwärmesonden und die Klimaanpassungsmaßnahme Wasserretention zur Vermeidung von Flächenkonkurrenz am Beispiel der Stadt Bremen**

Multifunctional land use through the climate protection measure near-surface geothermal energy in the form of geothermal probes and the climate adaptation measure water retention to avoid land competition based on the city of Bremen

---

Vorgelegt von: Maleen Sophie Lange

Matrikelnummer: 5097283

Erstprüfer\*in: Prof. Dr. Jürgen Knies

Zweitprüfer\*in: M.Sc., M.Eng. Timmy Schwarz

Bremen, 03.06.2024

## Kurzfassung

Aufgrund der vorliegenden Flächenkonkurrenz insbesondere in städtischen Bereichen muss präzise geplant werden, wie die vorliegenden Grünflächen genutzt werden können. Dabei ist der Grünflächenanteil zu erhalten. Um auf die Auswirkungen des Klimawandels zu reagieren bzw. diese zu mindern, müssen Klimaanpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen in die Siedlungen integriert werden. Im Rahmen dieser Arbeit soll untersucht werden, ob die Klimaanpassungsmaßnahme oberflächennahe Geothermie in Form von Erdwärmesonden auf einer öffentlichen Grünfläche mit Retentionsanlagen inklusive Abdichtungen oder Versickerungsanlagen kombiniert werden kann. Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage: Wo ist eine multifunktionale Flächennutzung auf öffentlichen Grünflächen in der Stadt Bremen durch die Klimaschutzmaßnahme oberflächennahe Geothermie mittels Erdwärmesonden und die Klimaanpassungsmaßnahme Wasserretention potenziell möglich und welche Konflikte bzw. Synergien ergeben sich daraus?

Mittels einer Literaturanalyse werden zunächst die Anforderungen an Erdwärmesonden, Retentionsanlagen mit Abdichtungen und Versickerungsanlagen herausgearbeitet. Anschließend erfolgt ein Vergleich dieser Anforderungen für die Kombination auf einer Grünfläche. Zudem wird eine räumliche Analyse mithilfe eines Geografischen Informationssystems durchgeführt, um potenzielle Flächen in der Stadt Bremen zu ermitteln, die sich für eine Kombination eignen könnten. Eine ausgewählte Fläche wird im Anschluss näher betrachtet.

Das Ergebnis der Arbeit zeigt, dass eine Kombination von Erdwärmesonden mit Retentionsanlagen inklusive Abdichtung oder Versickerungsanlagen technisch möglich ist, solange die Fläche bestimmte Anforderungen erfüllt. Von den Grünanlagen in der Unterhaltung des Umweltbetrieb Bremen der Stadt Bremen werden 0,74 km<sup>2</sup> als potenzielle Fläche für die Kombination betrachtet, die gemäß der bioklimatischen Bewertung der Kategorie 3 oder 4 angehören. Die Betrachtung der Beispielfläche ergibt, dass der höher liegende Grundwasserstand und die schlechte Durchlässigkeit des Bodens zu Konflikten führen. Darüber hinaus werden die Grenzen der durchgeführten Analysen aufgezeigt und was bei der Betrachtung der Ergebnisse zu beachten ist.

Anschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse aus dieser Arbeit zusammengetragen und ein Ausblick gegeben, welche weiteren Aspekte oder Themenfelder noch betrachtet werden könnten.

**Schlagwörter:** Öffentliche Grünflächen, Multifunktionale Flächennutzung, Flächenkonkurrenz, Erdwärmesonden, Retentionsanlagen, Versickerungsanlagen

## Abstract

The competition for space, especially in urban areas, requires precise planning of how the existing green areas can be used. Thereby, it is necessary to preserve the proportion of green spaces. To minimize the effects of climate change, climate adaptation and climate protection measures must be integrated into urban areas.

The purpose of this thesis is to analyze whether the climate adaptation measure of near-surface geothermal energy in the form of geothermal probes can be combined with retention systems with sealing or with infiltration systems on a public green area. This leads to the following research questions: Where is multifunctional land use on public green areas in the city of Bremen potentially possible through the climate protection measure of near-surface geothermal energy by means of geothermal probes and the climate adaptation measure of water retention, and what conflicts or synergies result from this?

First, the requirements for geothermal probes, retention systems and infiltration systems are analyzed through a literature review. Next, a comparison of these requirements to combine these systems on a green area follows. In addition, a geographical information system is used to perform a spatial analysis in order to identify potentially suitable areas in the city of Bremen. A selected area is then analyzed in more detail.

The result of this study shows that a combination of geothermal probes with retention systems or infiltration systems is technically possible if the area itself fulfills certain requirements. In Bremen, the green areas maintained by the Umweltbetrieb Bremen and classified as categories three or four of bioclimatic significance include 0.74 km<sup>2</sup>, where a combination of geothermal probes with retention systems or infiltration systems could be possible. A closer look at an example area shows that many of the required criteria are fulfilled on these sites, and that mainly the higher groundwater level as well as the poor permeability of the soil could lead to conflicts. Moreover, this thesis points out the limitations of the conducted analysis and what needs to be considered when reviewing the results.

Finally, the conclusions of this study are summarized, and an outlook is given as to which other aspects or subject areas could be further considered.

**Keywords:** public green areas, multifunctional land use, land competition, geothermal probes, retention systems, infiltration systems

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	VI
Tabellenverzeichnis.....	X
Abkürzungsverzeichnis.....	XI
Verzeichnis über Gesetze, Normen, Regelwerke, Richtlinien und Verordnungen .....	XII
1. Problemstellung und Zielsetzung .....	1
2. Klimawandel und Klimaanpassung.....	3
2.1 Extremwetterereignisse.....	3
2.2 Entwässerungssysteme .....	4
2.3 Regenwasserbewirtschaftung und Retention.....	5
2.4 Wärmewende.....	6
2.5 Flächenkonkurrenz.....	8
2.6 Bioklimatische Situation .....	9
3. Stand der Technik.....	11
3.1 Oberflächennahe Geothermie durch Erdwärmesonden.....	11
3.2 Retentionsanlagen mit Abdichtungen .....	18
3.3 Versickerungsanlagen.....	26
4. Methodisches Vorgehen und Daten .....	38
4.1 Standortbedingungen für die multifunktionale Flächennutzung.....	38
4.2 Räumliche Analyse zur Ermittlung einer Beispielfläche .....	38
4.3 Betrachtung einer Beispielfläche .....	41
4.4 Datengrundlage.....	42
5. Ergebnisse .....	43
5.1 Standortbedingungen für die multifunktionale Flächennutzung.....	43
5.2 Räumliche Analyse zur Ermittlung einer Beispielfläche .....	51
5.3 Grünanlage in der Gartenstadt Vahr.....	57
6. Diskussion .....	60
6.1 Standortbedingungen für die multifunktionale Flächennutzung.....	60
6.2 Räumliche Analyse zur Ermittlung einer Beispielfläche .....	64
6.3 Grünfläche in der Gartenstadt Vahr .....	65
7. Fazit und Ausblick.....	69
Literaturverzeichnis .....	72
Anhang.....	76
A1. Ergänzende Abbildungen.....	76
A2. Ergänzende Tabellen.....	82

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Regenbecken als Sonderbauwerke und deren Funktion (In Anlehnung an (DWA, 2006).....	5
Abb. 2: Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien für Wärme und Kälte in Deutschland im Jahr 2023 (AGEE-Stat, 2024) .....	7
Abb. 3: Schematische Darstellung einer Erdwärmesonde (in Anlehnung an (Bussmann, 2012).....	12
Abb. 4: Darstellung drei verschiedener Erdwärmesondentypen (Stober & Bucher, 2020) ...	13
Abb. 5: Geothermische Wärmeversorgung eines Quartiers über ein kaltes Nahwärmenetz (BVG, 2023).....	14
Abb. 6: Aufbau eines Bohrlochdurchmessers für eine Doppel-U-Rohr-Sonde (in Anlehnung an (LfU, 2012).....	17
Abb. 7: Querschnitt eines Retentionsfilterbeckens aus dem DWA-A 176 .....	19
Abb. 8: Beispielhafter Aufbau eines Dränsystems eines Retentionsfilterbeckens (MKULV, 2015).....	21
Abb. 9: Skizzierung eines Regenrückhaltebecken in Erdbauweise (Leipziger Wasserwerke, 2019).....	23
Abb. 10: Aufbau einer Filtermulde (Geiger & Dreiseitl et al., 2010) .....	25
Abb. 11: Versickerungsanlagen und deren Systemeigenschaften aus dem DWA-A 138-1....	27
Abb. 12: Einzuhaltender Abstand dezentraler Versickerungsanlagen zu Gebäuden ohne wasserdruckhaltende Abdichtung aus dem DWA-A 138-1 .....	29
Abb. 13: Längsschnitt einer Mulde aus dem DWA-A 138-1 .....	31
Abb. 14: Beispielhafte Darstellung eines Versickerungsbeckens aus dem DWA-A 138-1 .....	32
Abb. 15: Darstellung einer abgesenkten Platzfläche (MUST & DAHLEM, 2017) .....	33
Abb. 16: Darstellung einer Rigole aus dem DWA-A 138-1 .....	34
Abb. 17: Darstellung einer Mulden-Rigolen-Versickerung aus dem DWA-A 138-1 .....	36
Abb. 18: Ablauf der GIS-Analyse zur Ermittlung Potenzieller Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB für Wasserretention und oberflächennahe Geothermie (Eigene Darstellung).....	40
Abb. 19: Ablauf der GIS-Analyse zur Ermittlung Potenzieller Grünanlagen (GA) der bioklimatischen Kategorisierung 3 und 4 in der Unterhaltung des UBB und deren Überflutungsgefahr bei extremen Starkregen (Eigene Darstellung).....	41
Abb. 20: Anlagentiefen bei Kombinationen von Retentionsanlagen mit Abdichtungen und Erdwärmesonden untereinander von der Geländeoberkante (GOK) aus in m (Eigene Darstellung).....	45

Abb. 21: Anlagentiefen bei Kombinationen von Retentionsanlagen mit Abdichtungen und Erdwärmesonden mit Überschneidungen von der Geländeoberkante (GOK) aus in m (Eigene Darstellung) .....	46
Abb. 22: Anlagentiefen von verschiedenen Kombinationen von Versickerungsanlagen und Erdwärmesonden untereinander von der Geländeoberkante (GOK) aus in Meter (Eigene Darstellung) .....	49
Abb. 23: Anlagentiefen von verschiedenen Kombinationen von Versickerungsanlagen und Erdwärmesonden mit Überschneidungen von der Geländeoberkante (GOK) aus in Meter (Eigene Darstellung) .....	50
Abb. 24: Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB im Stadtgebiet Bremen (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024)).....	52
Abb. 25: Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB der Stadt Bremen in Gebieten mit besonderen Einschränkungen für die Nutzung von Erdwärmesonden oder Retentions- bzw. Versickerungsanlagen durch Wasserschutz-, Bodenschutzgebiete oder Salzstrukturen im Untergrund (Eigene Darstellung; Datenquellen: NLWKN (Wasserschutzgebiete), SUKW (Bodenschutzgebiete), GDfB (Salzstrukturen), UBB (Grünanlagen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024)) .....	53
Abb. 26: Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB aufgeteilt in GA mit geeigneten und GA mit weniger geeigneten Eigenschaften für die Installation von Erdwärmesonden, Retentions- oder Versickerungsanlagen (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024)) .....	54
Abb. 27: Potenzielle Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB für die Kombination von Erdwärmesonden mit Retentions- oder Versickerungsanlagen (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen, Baumstandorte), NLWKN (Wasserschutzgebiete), SUKW (Bodenschutzgebiete), GDfB (Salzstrukturen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024)).....	55
Abb. 28: Bioklimatische Bewertung der potenziellen Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen), NLWKN (Wasserschutzgebiete), SUKW (Bioklimatische Bewertung, Bodenschutzgebiete), GDfB (Salzstrukturen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024)).....	56
Abb. 29: Potenzielle Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB der bioklimatischen Kategorie 3 und 4 mit den Überschwemmungsgebieten bei extremen Starkregen	

(Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen), NLWKN (Wasserschutzgebiete), SUKW (Starkregenvorsorge, Bioklimatische Bewertung, Bodenschutzgebiete), GDfB (Salzstrukturen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024)) .....	57
Abb. 30: Darstellung einer potenziellen Anlagenfläche in der Gartenstadt Vahr (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen, Baumstandorte), SUKW (Bioklimatische Bewertung), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024)) .....	58
Abb. 31: Darstellung einer potenziellen Anlagenfläche in der Gartenstadt Vahr (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen, Baumstandorte), SUKW (Bioklimatische Bewertung, Starkregenvorsorge), Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024)) .....	59
Abb. A. 1: Vorliegende Wasserschutzgebiete im Stadtgebiet Bremen und die innerhalb dieser Gebiete liegenden Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen), NLWKN (Wasserschutzgebiete), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024)).....	76
Abb. A. 2: Vorliegende Flächen mit Altablagerungen im Stadtgebiet Bremen mit sich in den Gebieten befindenden Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen), SUKW (Altablagerungen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024)).....	77
Abb. A. 3: Informationsgebiete zu Grundwasserverunreinigungen innerhalb des Stadtgebiets Bremen und den in den Gebieten liegenden Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen), SUKW (Informationsgebiete zu Grundwasserverunreinigungen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024)).....	78
Abb. A. 4: Gebiete mit Salzstrukturen im Stadtgebiet Bremen und die sich in den Gebieten befindenden Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen), GDfB (Salzstrukturen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024)).....	79
Abb. A. 5: Baumstandorte des UBB im Stadtgebiet Bremen (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Baumstandorte), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024)) .....	80

Abb. A. 6: Bioklimatische Bewertung der Grün- und Freiflächen im Stadtgebiet Bremen  
(Eigene Darstellung; Datenquellen: SUKW (Bioklimatische Bewertung),  
Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-  
DE / BKG (2024))..... 81



## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Bioklimatische Bewertung von Grün- und Freiflächen der Stadt Bremen (Etling & Groß, 2013).....	10
Tab. 2: Wärmeleitfähigkeiten, volumenbezogene spez. Wärmekapazität und Dichte verschiedener Gesteinstypen (Auszug aus der VDI 4640 Blatt 1 mit eigener Einfärbung).....	15
Tab. 3: Anlagen zum Rückhalt und zur Behandlung von Regenwasser in den verschiedenen Entwässerungssystemen sowie deren Bauweise gemäß DWA-A 166 (Eigene Darstellung).....	18
Tab. 4: Datensätze für die GIS-Analyse mit der verwaltenden Einrichtung, dem Erstellungsdatum sowie dem Datum der letzten Änderung (Eigene Darstellung) ....	42
Tab. 5: Fläche in km <sup>2</sup> der potenziellen Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB der jeweiligen bioklimatischen Bewertung (Eigene Darstellung).....	56
Tab. A. 1: Anforderung an eine Grünfläche für die Installation einer Erdwärmesonde und Retentionsanlage sowie dessen Kombination auf einer Fläche (Eigene Darstellung).....	82
Tab. A. 2: Anforderung an eine Grünfläche für die Installation einer Erdwärmesonde und Versickerungsanlage sowie dessen Kombination auf einer Fläche (Eigene Darstellung).....	83

## Abkürzungsverzeichnis

### **A**

AIS.....Auskunfts- und Informationssystem Starkregenvorsorge

### **B**

BKG..... Bundesamt für Katographie und Geodäsie

BMBF..... Bundesministerium für Bildung und Forschung

BMUV.....Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

### **E**

EWS..... Erdwärmesonde

### **G**

GA..... Grünanlagen

GIS..... Geografisches Informationssystem

GOK..... Geländeoberkante

GTD..... Geosynthetische Tondichtungsbahn

GW..... Grundwasser

### **K**

KDB.....Kunststoff-Dichtungsbahn

KLAS..... KlimaAnpassungsStrategie Extreme Regenereignisse

### **M**

MHW..... Mittlerer höchster Grundwasserstand

MS..... Mischsystem

### **P**

PE..... Polyethylen

PP..... Polypropylen

### **R**

RBF..... Retentionsbodenfilter

RBFA..... Retentionsbodenfilteranlage

RiStWag..... Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wassergewinnungsgebieten

RKB..... Regenklärbecken

RRB..... Regenrückhaltebecken

RÜB..... Regenüberlaufbecken

### **T**

TGG..... Trinkwassergewinnungsgebiet

TS..... Trennsystem

### **U**

UBB..... Umweltbetrieb Bremen

### **W**

WGK..... Wassergefährdungsklasse

WSG..... Wasserschutzgebiet

WWNW..... Wärmewende Nordwest

# Verzeichnis über Gesetze, Normen, Regelwerke, Richtlinien und Verordnungen

## DIN-Normen

DIN 18920:2014-07, Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Schutz von Bäumen, Pflanzenbeständen und Vegetationsflächen bei Baumaßnahmen

## DWA-Regelwerke

DWA-A 138-1 (November 2020): Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser – Teil 1: Planung, Bau, Betrieb

DWA-A 166 (November 2013): Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung – Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung

DWA-A 176 (November 2013): Hinweise zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung

DWA-A 178 (Juni 2019): Retentionsbodenfilteranlagen

## Gesetze:

Bundesberggesetz vom 13. August 1980 (BGBl. I S. 1310), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 22. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist - **BBergG**

Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 22. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 409) geändert worden ist - **WHG**

## VDI-Richtlinien

VDI 4640 Blatt 1:2010-06, Thermische Nutzung des Untergrunds; Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte

VDI 4640 Blatt 2:2019-06, Thermische Nutzung des Untergrunds; Erdgekoppelte Wärmepumpenanlage

## Verordnungen

Verordnung über die Festsetzung eines Wasserschutzgebiets für die Trinkwasserbrunnen des Wasserwerks Blumenthal der wesernetz Bremen GmbH in Bremen-Vegesack im Land Bremen vom 5. März 2023, Aufgrund der §§ 51 und 52 des Wasserhaushaltsgesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Januar 2023 (BGBl. I Nr. 5) geändert worden ist, in Verbindung mit § 41 Absatz 1 des Bremischen Wassergesetzes vom 12. April 2011 (Brem.GBl. S.

262 – 2189-a-1), das zuletzt durch Artikel 6 Nummer 5 des Gesetzes vom 24. November 2020 (Brem.GBl. S. 1486) geändert worden ist – **WSG-VO**

Verordnung über die Festsetzung eines Wasserschutzgebiets für das Wasserwerk Blumenthal der swb Netze Bremen GmbH & Co. KG vom 6. Februar 2014, Aufgrund der §§ 51 und 52 des Wasserhaushaltsgesetzes vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das durch Artikel 5 Absatz 9 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist, in Verbindung mit § 41 Absatz 1 des Bremischen Wassergesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 12. April 2011 (Brem.GBl. S. 262 – 2180-a-1) – **WSG-VO**



# 1. Problemstellung und Zielsetzung

## Problemstellung

Im August 2011 kam es in der Stadt Bremen zu zwei maßgeblichen Starkregenereignissen, welche Überflutungen und damit einhergehende Sachschäden zur Folge hatten. Beide Ereignisse führten in der Stadt Bremen zu einer intensiveren Auseinandersetzung mit der Thematik Starkregen, woraus sich das Projekt KlimaAnpassungsStrategie Extreme Regenereignisse (KLAS) „Umgang mit Starkregen in Bremen“ entwickelte (SUKW, o. D.b). Die Untersuchung beider Starkregenereignisse im August 2011 ergab, dass das Kanalnetz nach dem Stand der Technik ausreichend groß bemessen ist, jedoch nicht für solche Starkregenereignisse ausgelegt werden kann. Somit wurde der Beschluss gefasst, dass Maßnahmen an der Oberfläche erforderlich sind. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass aufgrund des Klimawandels davon auszugehen ist, dass Starkregenereignisse intensiver und zukünftig häufiger auftreten werden (Thieken & Otto et al., 2022). Mithilfe von Retentionsanlagen zur Rückhaltung von Abflussspitzen in Starkregenfällen können bspw. die Kanalisation entlastet und Objektschäden verhindert werden (StMUV, 2024a). In den Schlüsselmaßnahmen der Klimaanpassungsstrategie Bremen und Bremerhaven ist für die Stadtgemeinde Bremen festgehalten, dass ein verstärkter naturnaher Umgang mit Regenwasser erfolgen soll (SUBV, 2018).

Gleichzeitig spielt die Wärmewende, die Umstellung auf klimaneutrale Wärmebereitstellung, eine bedeutende Rolle. Der Wärmesektor benötigte 2021 über die Hälfte der nationalen Energie, womit er einen signifikanten Einfluss auf den Klimawandel hat. Um eine Umstellung auf eine klimaneutrale Wärmebereitstellung zu erreichen, ist die vermehrte Einbindung von erneuerbaren Energien von Bedeutung. Im Jahr 2021 wurden lediglich 16,2 % der Energie für den Wärmesektor aus erneuerbaren Energien gewonnen (WD, 2023). Eine Form der erneuerbaren Energie ist die Geothermie. Darunter fällt die oberflächennahe Geothermie, welche die Technologie der Erdwärmesonden (EWS) beinhaltet (Stober & Bucher, 2020).

Grundsätzlich benötigen Klimaanpassungsmaßnahmen wie Anlagen zur Wasserretention sowie Klimaschutzmaßnahmen, wie der Ausbau erneuerbarer Energien, Platz. Für beide Maßnahmen muss eine ausreichend große Fläche vorliegen, die bestimmte Eigenschaften aufweist, um eine Installation und einen Betrieb zu ermöglichen. Betrachtet wurden in diesem Falle öffentliche Grünflächen. Aufgrund der angestrebten Flächenkreislaufwirtschaft ist eine sorgfältige Abwägung der Verwendung von Freiflächen für Maßnahmen erforderlich (Adrian & Bock et al., 2018). Aus diesem Grund soll untersucht werden, ob eine potenzielle Kombination von Retentions- oder Versickerungsanlagen mit EWS auf einer öffentlichen Grünfläche möglich ist, um den Flächenverbrauch auf ein Minimum zu beschränken.

## **Ziel der Arbeit**

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, Kombinationsmöglichkeiten von wasserwirtschaftlichen Planungen wie Retentions- und Versickerungsanlagen im Erdbau mit der Installation und dem Betrieb von oberflächennaher Geothermie in Form von EWS zu ermitteln. Dabei soll geprüft werden, ob es zu technischen Einschränkungen bzw. Schwierigkeiten bei der Kombination kommt. Das Untersuchungsgebiet für die Kombination beschränkt sich auf öffentliche Grünflächen der Stadt Bremen und wird beispielhaft an einer ausgewählten Fläche überprüft. Aus der dargelegten Zielsetzung lässt sich die folgende Forschungsfrage ableiten:

**Wo ist eine multifunktionale Flächennutzung auf öffentlichen Grünflächen in der Stadt Bremen durch die Klimaschutzmaßnahme oberflächennahe Geothermie mittels Erdwärmesonden und die Klimaanpassungsmaßnahme Wasserretention potenziell möglich und welche Konflikte bzw. Synergien ergeben sich daraus?**

Aus dieser Forschungsfrage leiten sich folgende Unterfragen ab:

- Wann ist eine Flächennutzung als Retentionsfläche bzw. als Fläche für oberflächennahe Geothermie mittels Erdwärmesonden sinnvoll?
- Wie könnte eine multifunktionale Nutzung einer öffentlichen Grünfläche in der Stadt Bremen für oberflächennahe Geothermie mittels Erdwärmesonden und einer wasserwirtschaftlichen Planung anhand eines Beispiels unter Berücksichtigung technischer Faktoren aussehen?

Die Beantwortung der ersten Forschungsfrage erfolgt im Rahmen einer Literaturrecherche im ersten Teil dieser Arbeit. Für die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage erfolgt eine räumliche Analyse in Kombination mit der vorangegangenen Literaturrecherche. Grundlagen des Klimawandels und der Klimaanpassung werden in Kap. 2 dargestellt. Kap. 3 stellt den Stand der Technik von EWS und Retentionsanlagen inkl. Abdichtungen sowie Versickerungsanlagen dar. Darauf folgt die Beschreibung der angewandten Methodik in Kap. 4 und die daraus resultierenden Ergebnisse in Kap. 5. In Kap. 6 werden diese diskutiert. Die Arbeit schließt mit einem Fazit in Kap. 7.

## **Projektkontext**

Die Bachelorarbeit entstand im Rahmen des Forschungsprojekts „Wärmewende Nordwest“ (WWNW), welches bei der Datenbereitstellung unterstützt hat. Durch digitale Unterstützungslösungen möchte das Forschungsprojekt den Menschen und Organisationen die Chance geben, an der Wärmewende mitzuwirken. Die nachhaltige Erhebung, Nutzung und Bereitstellung von Daten umfasst dabei die Bereiche einzelner Gebäude, Campus, Quartiere und Kommunen im Nordwesten. Das Projekt läuft von April 2021 bis November 2025 und wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert (WWNW, 2022).

## 2. Klimawandel und Klimaanpassung

### 2.1 Extremwetterereignisse

Die Auswirkungen des Klimawandels sind schon heute spürbar. Starkregenereignisse sollen in Bremen zukünftig immer häufiger auftreten und an Intensität zunehmen (SUBV, 2018). Ein Starkregen bezeichnet ein Niederschlagsereignis mit einer hohen Niederschlagsmenge in kurzer Zeit. Die Einstufung eines Niederschlags erfordert die Berücksichtigung der Faktoren Dauer, Häufigkeit und betroffene Fläche (BBSR, 2018). Im Auskunft- und Informationssystem Starkregenvorsorge (AIS) der Stadt Bremen erfolgt die Einordnung der Starkregenereignisse in drei Szenarien. Ein intensives Starkregenereignis wird definiert als ein Ereignis, welches alle 30 Jahre mit einer Niederschlagshöhe von 42,2 mm in 2 h auftritt. Ein außergewöhnlicher Starkregen ist in diesem Falle ein Niederschlag, der alle 50 Jahre auftritt und eine Niederschlagshöhe von 46 mm in 2 h aufweist. Extreme Starkregenereignisse weisen eine Niederschlagshöhe von 51,1 mm in 2 h auf und kommen alle 100 Jahre vor (SUKW, o. D.a).

Starkregenereignisse können in Überschwemmungen enden, welche zur Überlastung des Kanalnetzes und zur Beschädigung von Gebäuden sowie Objekten und Personenschäden führen können. Deshalb ist es von hoher Bedeutung, die Auswirkungen des Klimawandels bei der Planung von Entwässerungssystemen zu berücksichtigen. Generell kann das gesamte Stadtgebiet von Starkregenereignissen betroffen sein. Mithilfe einer Überflutungsanalyse konnten für Bremen Flächen mit potenzieller Überflutungsgefahr identifiziert und im AIS dargestellt werden. Berücksichtigt wurde dabei der Oberflächenabfluss, sensible Infrastruktur und die topografische Lage (SUBV, 2018).

Einen gewissen Überflutungsschutz muss der Betreiber der Entwässerungssysteme gewährleisten. Sollte ein höherer Überflutungsschutz erforderlich sein, handelt es sich um eine kommunale Gemeinschaftsaufgabe. So können bspw. Grünflächen herangezogen werden, die bei Starkregenereignissen zeitweise als Retentionsfläche dienen, um Schäden durch Überflutungen zu vermeiden (Porth & Schüttrumpf, 2017). Mithilfe von Klimaanpassungsmaßnahmen möchte das Land Bremen somit Personenschäden durch Starkregen vermeiden und den Objektschutz verbessern (SUBV, 2018).

Des Weiteren hat der Klimawandel Auswirkungen auf die Temperaturen. Die gemessene Lufttemperatur im Land Bremen ist von 1881 bis 2016 im Jahresmittel um ca. 1,3 °C gestiegen. In den nächsten 100 Jahren ist ein Anstieg der Jahresmitteltemperatur in Deutschland um ca. 1 – 4 °C zu erwarten. Die Stadt Bremen weist aufgrund des Stadtklimas andere klimatische Eigenschaften auf als das ländliche Umland, bspw. durch den Effekt der städtischen Wärmeinsel. Dieser entsteht bspw. durch den für eine Stadt typischen Energieumsatz des Verkehrs, der Wirtschaft sowie der dort vorliegenden Haushalte und führt zu durchschnittlich höheren Temperaturen von ca. 0,5 – 2,0 °C. Der Anstieg der Temperatur hat negative



Auswirkungen auf die Aufenthaltsqualität, die Bevölkerung und das urbane Ökosystem. Dadurch ergeben sich höhere Anforderungen an den Bau- und Gesundheitssektor, um diesen Auswirkungen entgegenzuwirken (SUBV, 2018). Retentionsanlagen an der Oberfläche können hierbei dem urbanen Hitzeinseleffekt entgegenwirken, da die Verdunstungskühlung und Strahlungsreflexion vor Ort zu einer Abkühlung führt (Wittig, 2023).

## **2.2 Entwässerungssysteme**

In der Wasserwirtschaft wird zwischen Schmutz- und Oberflächenwasser unterschieden. Schmutzwasser ist jegliches häusliche Abwasser sowie Abwasser aus gewerblichen und industriellen Prozessen. Oberflächenwasser umfasst jegliches Wasser, welches durch Niederschläge entsteht und von befestigten Flächen abfließt oder von unbefestigten Flächen abgeleitet wird. Die Ableitung von Niederschlagswasser erfolgt, sofern keine Versickerung oder Verdunstung möglich ist, in Abhängigkeit des vorliegenden Entwässerungssystems. Dabei wird zwischen Mischsystemen (MS) und Trennsystemen (TS) unterschieden. Im MS wird das Schmutz- und Oberflächenwasser zusammen in einem Kanal abgeleitet. Im TS hingegen liegen zwei getrennte Leitungssysteme für Regen- und Schmutzwasser vor (Resch & Schatz, 2020). In der Stadt Bremen liegt ungefähr die Hälfte des Kanalnetzes als MS vor, welches sich aufgrund der Historie hauptsächlich im Kernbereich der Stadt befindet. Ab den 1950er Jahren hat sich das TS in Bremen etabliert und wird seitdem eingesetzt (hanseWasser Bremen GmbH, o. D.).

Die im Bestand vorliegenden Entwässerungssysteme sind überwiegend unterirdisch angelegt und umfassen geschlossene als auch offene Elemente bzw. Bauwerke. Zu den geschlossenen Elementen gehören unterirdische Entwässerungsanlagen wie Kanäle und Kanalbauwerke. Offene Elemente umfassen Versickerungsanlagen, offene Ableitungselemente und Sonderbauwerke. Letztere können Regenüberläufe und Regenbecken wie Regenrückhaltebecken (RRB) und Regenüberlaufbecken (RÜB) sein, die der Wasserrückhaltung dienen, was in Abb. 1 dargestellt ist (DWA, 2006).

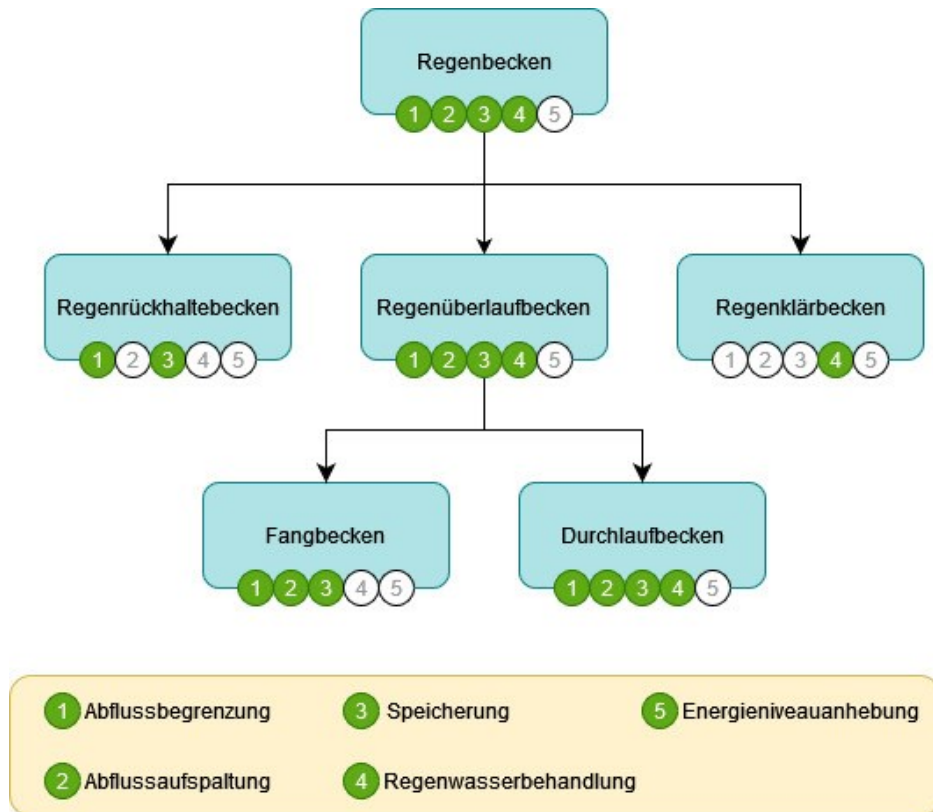


Abb. 1: Regenbecken als Sonderbauwerke und deren Funktion (In Anlehnung an (DWA, 2006))

In der Wasserwirtschaft existieren zentral sowie dezentral angeordnete Regenrückhalteanlagen. Zentral angeordnete Anlagen umfassen RRB sowie Regenrückhaltekanäle und -gräben. Jedoch steigt die Bedeutung von dezentralen Anlagen zur Regenwasserrückhaltung, wie Versickerungsanlagen mit zusätzlicher Retentionsfunktion, immer weiter (DWA, 2006).

### 2.3 Regenwasserbewirtschaftung und Retention

Für den Umgang mit Niederschlagswasser gibt es verschiedene Varianten. Dazu zählt das Aufnehmen und Zwischenspeichern, sowie das Versickern, Verdunsten und gezielte Ableiten in einen Kanal oder ein nahegelegenes Gewässer (SUBV, 2015). Die Stadt Bremen hat in ihren Maßnahmen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels festgehalten, dass verstärkt ein naturnaher Umgang mit dem anfallenden Niederschlagswasser erfolgen soll (SUBV, 2018). Auch im Leitfaden des Klimaanpassungschecks 2.0 wird dargelegt, dass Niederschlagswasser möglichst versickert, verdunstet, zurückgehalten, gespeichert oder auch anderweitig genutzt werden soll, bevor es in die Kanalisation abgeleitet wird (Wittig, 2023).

Das Belassen des Niederschlagswassers im Quartier und keine direkte Ableitung in die Kanalisation entspricht dem Prinzip der wassersensiblen Siedlungsentwicklung bzw. der Schwammstadt. Um dies zu ermöglichen, gibt es verschiedene Maßnahmen. Dazu gehören Maßnahmen, welche der Rückhaltung, Versickerung, Verdunstung von Niederschlagswasser und der Kühlung dienen, wie bspw. RRB oder Versickerungsanlagen (StMUV, 2024b). Bei

Vorliegen von Grün- und Freiflächen sollte stets eine Versickerung und Verdunstung des Niederschlagswassers in Betracht gezogen werden. Dies kann positive Synergieeffekte auf das Mikroklima, die Luftreinhaltung, die Aufenthaltsqualität und die Artenvielfalt haben (MUST & DAHLEM, 2017). Zudem kann so das Grundwasser (GW) angereichert und der natürliche Wasserhaushalt gestärkt werden. Unabhängig davon, ob das Regenwasser versickert, verdunstet oder in ein Oberflächengewässer eingeleitet wird, entlastet es die Kanalisation (SUBV, 2015). Das bedeutet gemäß DWA-A 138-1, dass kleinere Kanalquerschnitte ausreichen, die Kläranlagen teilweise weniger stark belastet werden und auch ein Schutz vor Überstau und Überflutung gegeben ist, da Engpässe in der Kanalisation vermieden werden können. Unabhängig vom Entwässerungssystem werden Kanalnetze für einen Bemessungsregen ausgelegt. Bei einem Bemessungsregen darf also maximal eine Vollenfüllung der Kanalrohre erreicht werden. Sollte mehr Wasser durch z. B. Starkregenereignisse anfallen, kann es zu einem Rückstau im Kanalnetz kommen. Dieser Problematik kann durch bspw. Retention und einer gedrosselten Ableitung entgegengewirkt und somit das Kanalnetz entlastet werden (Resch & Schatz, 2020).

Die Retention ist ein wichtiger Teil der Regenwasserbewirtschaftung. Unter dem Begriff Retention wird der Rückhalt verstanden. Somit dienen Retentionsflächen dem Rückhalt von Wasser und folglich der kommunalen Überflutungsvorsorge (Gujer, 2007). Meist wird Niederschlagswasser bzw. Abwasser zurückgehalten. In diesem Kontext wird unter Abwasser Niederschlagswasser verstanden, welches von bebauten oder befestigten Flächen zugeleitet wird (BBSR, 2018). Die Definition für eine Einstufung des Niederschlagswassers als Abwasser ist in § 54 Abs. 1 Nr. 2 des Wasserhaushaltsgesetz (WHG) vorgegeben.

Durch eine stetige Implementierung von Elementen der Schwammstadt können den Folgen des Klimawandels wie Hochwasserereignissen, Überschwemmungen sowie Hitze- und Trockenperioden entgegengewirkt werden (StMUV, 2024b). So müssen Lösungen auf der Oberfläche entwickelt und umgesetzt werden, die eine Versickerung, Verdunstung, Nutzung, Speicherung oder kontrollierte Ableitung ermöglichen. Dadurch kann der naturnahe Umgang mit Niederschlagswasser gestärkt und die durch Starkregenereignisse entstehenden Schäden minimiert werden (StMUV, 2020). Eine Herausforderung stellt jedoch die Flächenverfügbarkeit dar. Aufgrund der kontinuierlich wachsenden Siedlungsfläche steht immer weniger Grünfläche zur Verfügung, die für den Rückhalt und die Versickerung von Niederschlagswasser genutzt werden kann (StMUV, 2024a).

## **2.4 Wärmewende**

Der Wärmesektor hat einen signifikanten Einfluss auf den Klimawandel in Deutschland. Die Wärmewende bezeichnet die Umstellung auf eine klimaneutrale Wärmebereitstellung, wodurch anstatt fossiler Energieträger erneuerbare Energien zur Wärmeerzeugung verwendet

sowie Effizienz- und Einsparungsmaßnahmen ergriffen werden sollen. Von dem nationalen Energieverbrauch im Jahr 2021, benötigte der Wärmesektor 56 %. Der Energieverbrauch teilt sich auf die Bereiche Industrie, Haushalte und Gewerbe auf. Besonders bedeutend im industriellen Sektor ist die Prozesswärme, während in den Haushalten die Raumwärme eine große Rolle spielt. Im Jahr 2021 hat der Wärmesektor 40 % des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes in Deutschland verursacht (WD, 2023). Ein Großteil der benötigten Energie für Wärme und Kälte (81,2 %) wird zurzeit noch aus fossilen Energieträgern gewonnen. Nur 18,8 % wurden im Jahre 2023 in Deutschland durch erneuerbare Energien bereitgestellt (UBA, 2024). Die Zusammensetzung dieser 18,8 % ist in folgender Abb. 2: dargestellt. Dabei liegt eine Einteilung in die Kategorien Biomasse, Solarthermie und Geothermie / Umweltwärme vor. Die Gewinnung erneuerbarer Energie durch Biomasse machte im Jahr 2023 den Hauptteil aus, während die Solarthermie den kleinsten Anteil bildete. Die Geothermie / Umweltwärme hat 2023 einen deutlichen Aufschwung erlebt und trug 12,5 % zu dem Anteil der erneuerbaren Energien bei. Von diesen stammten lediglich 0,9 % aus tiefer Geothermie und 11,6 % aus oberflächennaher Geothermie / Umweltwärme (AGEE-Stat, 2024).

Bei der Verwendung erneuerbarer Energien im Wärmesektor ist noch viel Potenzial vorhanden, weshalb die Wärmewende von hoher Bedeutung ist (WD, 2023). In Deutschland waren im Jahr 2018 ca. 390 000 Erdwärmepumpen installiert. Prognostiziert ist ein Wachstum der Zahl der installierten Erdwärmepumpen um 23 400 Anlagen pro Jahr (Stober & Bucher, 2020).

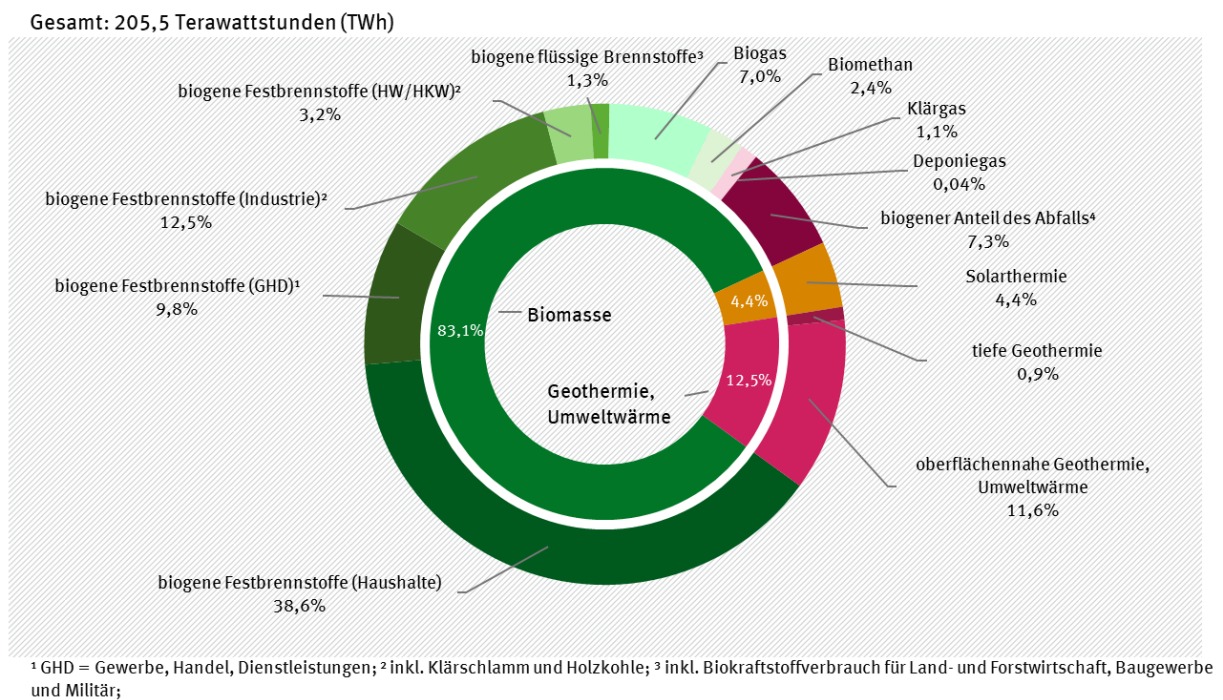


Abb. 2: Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien für Wärme und Kälte in Deutschland im Jahr 2023 (AGEE-Stat, 2024)

Die geplante Umstellung von fossilen Energieträgern auf erneuerbare Energien ist in Gesetzen und Richtlinien festgehalten. Dies jedoch oftmals lediglich als indirekte Formulierung, welche

Freiraum und Interpretationsspielraum für die Art der Umsetzung lässt. Das Übereinkommen von Paris definiert das Ziel, den globalen Anstieg der Temperatur zu begrenzen. Gleichzeitig definiert das Europäische Klimagesetz das Ziel, bis 2050 die Klimaneutralität zu erreichen. Beide Dokumente enthalten jedoch keine konkreten Ziele für den Wärmesektor. In der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie wird beschrieben, dass der verwendete Anteil an erneuerbaren Energien im Wärme- und Kältebereich sukzessiv erhöht werden soll. Das Bundes-Klimaschutzgesetz legt zudem gezielt Emissionsgrenzwerte für wärmerrelevante Sektoren fest. Im Koalitionsvertrag wurde das Ziel definiert, bis 2030 den Anteil der verwendeten erneuerbaren Energien für die Wärmebereitstellung auf 50 % zu erhöhen. Um das Ziel des Koalitionsvertrags zu erreichen, ist eine jährliche Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien um 13 % erforderlich (WD, 2023).

## 2.5 Flächenkonkurrenz

Wie zahlreiche andere Ressourcen auch, ist Fläche eine endliche Ressource. Landwirtschaft, Industrie, Wohnungen und Verkehrsflächen müssen in Deutschland auf einer Fläche von 351 104 km<sup>2</sup> ihren Platz finden (AEE, 2010). In einer Siedlung muss die vorhandene Fläche für verschiedenste Nutzungen aufgeteilt werden. Dazu zählt Fläche zum Wohnen, für Gewerbe, zur Erholung, zur umweltverträglichen Mobilität und Erreichbarkeit, zur Bereitstellung von technischer und sozialer Infrastruktur sowie für benötigte Klimaanpassungsmaßnahmen. Wichtig ist, dass die Verwendung von Flächen an den vorliegenden Bedarf angepasst wird. Bei der Entscheidung über die Nutzung einer Fläche sind ökologische, soziale, ökonomische und städtebauliche Aspekte zu berücksichtigen (Adrian & Bock et al., 2018).

Die Stadt Bremen verfügt über eine Bodenfläche von insgesamt 32 617 ha. Ungefähr die Hälfte wird als Siedlungsfläche genutzt, wozu Flächen für Wohnungen, Industrie, Gewerbe sowie Sport- und Freizeiteinrichtungen zählen. Der zweitgrößte Flächenanteil wird mit der Nutzungsart Vegetation deklariert, was auf die landwirtschaftliche Nutzung zurückzuführen ist. Flächen mit Wald und Gehölz stellen im Gegensatz zur Landwirtschaft nur einen geringen Anteil dar. Die Flächen für den Verkehr und die Gewässer sind ungefähr in einer gleichen Größenordnung von 2 000 ha (Statistisches Landesamt Bremen, 2023).

Die flächenpolitischen Ziele für Deutschland wurden erstmals in der Nachhaltigkeitsstrategie aus dem Jahr 2002 festgehalten. Die Neuauflage von 2016 hält das Ziel fest, bis zum Jahr 2030 die Neuinanspruchnahme von Flächen für die Nutzung als Siedlungs- und Verkehrsfläche auf unter 30 ha pro Tag zu senken. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) hat das „Integrierte Umweltprogramm 2030“ verfasst, in dem festgehalten wurde, dass bis 2030 der Flächenverbrauch auf 20 ha pro Tag beschränkt werden soll. Zudem wird das Ziel dargestellt,

eine Flächenkreislaufwirtschaft anzustreben und somit einen Flächenverbrauch von Netto-Null zu erreichen. Dieser wird erreicht, wenn nicht mehr neue Fläche in Anspruch genommen wird, als durch Rückbau und Renaturierung wieder freigegeben wird. Gemäß dem „Fahrplan für ein ressourceneffizientes Europa“ der Europäischen Kommission soll ein Flächenverbrauch von Netto-Null bis 2050 realisiert werden (Adrian & Bock et al., 2018).

Aufgrund des immer höheren Anteils an Siedlungsfläche nimmt die mögliche Fläche, auf der Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge durchgeführt werden können, weiter ab. Erforderliche Maßnahmen können somit nur nach und nach umgesetzt werden, wenn z. B. eine bauliche Flächenumnutzung geplant ist. Projekte der Neuerschließung, in denen Maßnahmen zum Überflutungsschutz ausgeführt werden können, sind sehr begrenzt. Somit muss besonders im Bestand geprüft werden, wo stärkere Überflutungsgefährdungen vorliegen und ob sich dort Maßnahmen durchführen lassen (Porth & Schüttrumpf, 2017). Aufgrund der schwindenden Flächenverfügbarkeit erlangt das Prinzip der „multifunktionalen Flächennutzung“ immer mehr Bedeutung. Dieses Prinzip beschreibt in der Wasserwirtschaft die temporäre Flutung von Freiflächen bei Starkregenereignissen. Der temporäre Rückhalt des Niederschlags kann dazu beitragen, Schäden durch Starkregenereignisse zu vermeiden. In der Zeit, in der die Fläche nicht als Retentionsfläche verwendet wird, kann sie für andere Nutzungen, bspw. Erholung oder Freizeitgestaltung, zur Verfügung stehen (StMUV, 2024a).





Der Flächenbedarf für erneuerbare Energien ist nach dem „Potenzialatlas der Erneuerbaren Energien 2020“ relativ gering und stets abhängig von der Form der erneuerbaren Energie. Besonders der Flächenbedarf an der Erdoberfläche von Geothermieanlagen wie EWS ist sehr gering (AEE, 2010). Grund dafür ist die Möglichkeit der Überbauung von EWS nach ihrer Installation und somit eine multifunktionale Nutzung der Fläche (Panteleit & Ortmann et al., 2022).

## **2.6 Bioklimatische Situation**

Das Bioklima beschreibt die Auswirkung des vorliegenden Klimas auf das Wohlbefinden und die Gesundheit des Menschen. Angesichts des Klimawandels und der damit einhergehenden steigenden Wärmebelastung nimmt die Bedeutung eines guten Bioklimas immer weiter zu. Empfindlichere Bevölkerungsgruppen, wie kranke und alte Menschen, Schwangere und Menschen, die schwere körperliche Arbeit verrichten, sind besonders betroffen. Sehr hoch ist die bioklimatische Belastung oftmals in städtischen Bereichen mit hoher Bebauung, starker Versiegelung und wenigen Grünflächen. In günstigen bioklimatischen Siedlungsräumen liegt eine geringe Belastung vor. Dies ist auf eine effektive Durchströmung mit Kaltluft zurückzuführen, die in der Regel auf einen hohen Grünanteil in dem Siedlungsbereich hindeutet (Etling & Groß, 2013).

Die Freie Hansestadt Bremen hat eine gesamtstädtische klimaökologische- und lufthygienische Analyse beauftragt, deren Ergebnisse im Jahr 2013 veröffentlicht wurden. Ein Produkt dieser Analyse war die „Planungshinweiskarte Stadtklima“. Diese ermöglicht die Ableitung von Maßnahmen zum Schutz und zur Optimierung der klimatischen Situation sowie die Abschätzung der Auswirkungen von Nutzungsänderungen. Die Grün- und Freiflächen wurden nach ihrer bioklimatischen Bedeutung in gering, mittel, hoch und sehr hoch unterteilt. Die Empfindlichkeit der Fläche für eine Nutzungsänderung und die bei den geplanten Maßnahmen zu berücksichtigenden Hinweise sind in Tab. 1 dargestellt (Etling & Groß, 2013).

Tab. 1: Bioklimatische Bewertung von Grün- und Freiflächen der Stadt Bremen (Etling & Groß, 2013)

Bioklimatische Bedeutung	Kriterium	Beurteilung der Empfindlichkeit	Hinweise zu Maßnahmen
<b>Sehr hohe Bedeutung</b> 	Leitbahnen: Hoher Luftaustausch zwischen Kaltluftstehungsgebieten und belasteten Siedlungsräumen.	Höchste Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strömungsquerschnitt sichern (&gt; 300 m)</li> <li>• Aufweitung oder Beseitigung baulicher und sonstiger Strömungshindernisse</li> <li>• Abriegelnde Randbebauung oder dichte Baumpflanzung vermeiden</li> <li>• Angrenzende bauliche Folgenutzungen längs zur Leitbahn ausrichten</li> <li>• Erhalt des Grünflächenanteils und Minimierung der Versiegelung</li> <li>• Vermeidung oder Verringerung von Luftschadstoffemissionen</li> </ul>
	Grünflächen mit direktem Bezug zu bioklimatisch ungünstigen Siedlungsräumen.	Höchste Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhalt des Grünflächenanteils und Minimierung der Versiegelung</li> <li>• Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber bebauten Randbereichen</li> <li>• Grünflächen vernetzen</li> <li>• Baumbestand optimieren (nur lockerer Baumbestand mit durchströmbarem Stammraum)</li> <li>• Immissionsschutzpflanzungen entlang von Hauptverkehrsstraßen</li> </ul>
<b>Hohe Bedeutung</b> 	Hoher Luftaustausch in Richtung belasteter Siedlungsräume (Anbindung von Kaltluftquellgebieten)	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhalt des Grünflächenanteils</li> <li>• Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber Leitbahnen</li> <li>• Grünflächen vernetzen</li> <li>• Vermeidung oder Verringerung von Luftschadstoffemissionen</li> <li>• Bei baulichen Eingriffen Gebäudeausrichtung beachten sowie Bauhöhen möglichst gering halten</li> </ul>
	Grünflächen mit direktem Bezug zu bioklimatisch weniger günstigen Siedlungsräumen	Hohe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhalt des Grünflächenanteils</li> <li>• Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber bebauten Randbereichen</li> <li>• Grünflächen vernetzen</li> <li>• Baumbestand optimieren (nur lockerer Baumbestand mit durchströmbarem Stammraum)</li> <li>• Immissionsschutzpflanzungen entlang von Hauptverkehrsstraßen</li> </ul>
<b>Mittlere Bedeutung</b> 	Stadtnahe Grünflächen mit hohem Kaltluftvolumenstrom oder hoher Kaltluftproduktion.	Mittlere Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglichst Erhalt des Grünflächenanteils</li> <li>• Vermeidung von Austauschbarrieren gegenüber bebauten Randbereichen</li> <li>• Vermeidung oder Verringerung von Luftschadstoffemissionen</li> <li>• Maßvolle Bebauung möglich, wenn sie den lokalen Luftaustausch nicht wesentlich beeinträchtigt</li> <li>• Waldbestand sichern</li> </ul>
<b>Geringe Bedeutung</b> 	Freiräume mit geringem Einfluss auf Siedlungsgebiete oder unbedeutendem Kaltlufttransport oder geringer Kaltluftproduktion.	Geringe Empfindlichkeit gegenüber Nutzungsänderung.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zersiedlung vermeiden</li> <li>• Bei Verkehrseinfluss Emissionen reduzieren</li> </ul>

### 3. Stand der Technik

#### 3.1 Oberflächennahe Geothermie durch Erdwärmesonden

##### Definition oberflächennaher Geothermie

Der Begriff Geothermie bezeichnet gespeicherte thermische Energie unterhalb der Erdoberfläche, welche durch den terrestrischen Wärmestrom und die solare Strahlung der Sonne entsteht. Der terrestrische Wärmestrom ergibt sich aus dem radioaktiven Zerfall natürlicher langlebiger Isotope und der im Rahmen der Erdentstehung freigesetzten Energie. Geothermie lässt sich in tiefe und oberflächennahe Geothermie unterteilen. Der wesentliche Unterschied liegt in der Tiefe der Energiegewinnung. Bei einer Gewinnung ab ca. 400 m Tiefe wird von tiefer Geothermie gesprochen. Die Gewinnung der Energie erfolgt hierbei über Tiefbohrungen und kann ohne Niveauanhebung verwendet werden (Panteleit & Ortmann et al., 2022). Bei der oberflächennahen Geothermie wird Erdwärme aus dem oberflächennahen Bereich gewonnen, der meist bis zu einer Tiefe von 150 m und maximal bis zu einer Tiefe von 400 m reicht. Das Niveau der gewonnenen Energie ist niedriger als bei tiefer Geothermie und muss bspw. mit einer Wärmepumpe angehoben werden, um energetisch nutzbar zu sein. Je nach Tiefe der Sonde und gebietsbedingten Gegebenheiten liegen die zu gewinnenden Temperaturen der oberflächennahen Geothermie bei ca. 10 – 12 °C (Stober & Bucher, 2020).

Aufgrund äußerer Einflüsse wie der Jahreszeiten schwankt die thermische Energie in den ersten Metern der Erdoberfläche. Ab einer Tiefe von 15 – 20 m pendelt sich die Gesteinstemperatur bei ca. 10 °C ein. Ab ungefähr 20 m Tiefe steigt die Gesteinstemperatur mit einem durchschnittlichen geothermischen Gradienten von 30 °C/km (Panteleit & Ortmann et al., 2022). Geothermie stellt somit eine stetige Energiequelle dar, die täglich unabhängig von äußeren Faktoren wie Wetter, Jahres- und Tageszeit 24 Stunden lang verfügbar ist (BVG, 2023). Sie ist nahezu unerschöpflich und an fast jedem Standort verfügbar. Von Bedeutung ist, dass Geothermieranlagen dort installiert werden, wo die gewonnene Erdwärme auch genutzt werden kann. Ein weiterer Vorteil ist der relativ geringe Flächenbedarf, da die Anlagen unterirdisch installiert werden und somit an der Oberfläche kaum bis keine Fläche beanspruchen (AEE, 2010). Zudem weist sie eine sehr geringe Emissionslast auf und gilt als preisstabil (BVG, 2023). Dennoch scheitern viele Projekte an den Anforderungen des Wasser- und Bergbaurechtes, wodurch sie z. B. keine Genehmigung für die geologische Bohrung erhalten. Außerdem sind die Kosten für eine geologische Bohrung sehr hoch, was insgesamt zu hohen Investitionskosten führt (AEE, 2010).

Oberflächennahe Geothermiesysteme können als offenes oder geschlossenes System ausgeführt werden. Bei offenen Systemen wird das GW z. B. durch Brunnenanlagen direkt genutzt. Jedoch wird dies in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet. Geschlossene Systeme entziehen der Erde die Erdenergie durch geschlossene Rohrsysteme, die horizontal oder



vertikal ausgerichtet sein können. Beispiele sind Erdwärmekollektoren, Erdwärmekörbe oder Energiepfähle. Zu den oberflächennahen, vertikalen geschlossenen Systemen gehören auch die EWS (Bussmann, 2012). In Bremen existieren lediglich privat betriebene Geothermianlagen oder Sondenfelder auf einzelnen Grundstücken. Mit einem Pilotprojekt, welches durch eine Genossenschaft durchgeführt wird, soll in Bremen die Nutzung von EWS auf öffentlichen Flächen zur Versorgung umliegender Gebäude untersucht werden, da auf den einzelnen Grundstücken möglicherweise nicht ausreichend Platz vorhanden ist (ErdwärmeDich e.V., o. D.)

### Prinzip von Erdwärmesonden

Da für die Gewinnung oberflächennaher Geothermie oftmals EWS verwendet werden, werden diese im Verlauf genauer betrachtet (Stober & Bucher, 2020). Wie in der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 beschrieben, bestehen EWS in der Regel aus einem Sondenfuß, einem Sondenrohr und gegebenenfalls einem Sondenkopf. Die Zusammensetzung einer EWS lässt sich der Abb. 3 entnehmen.

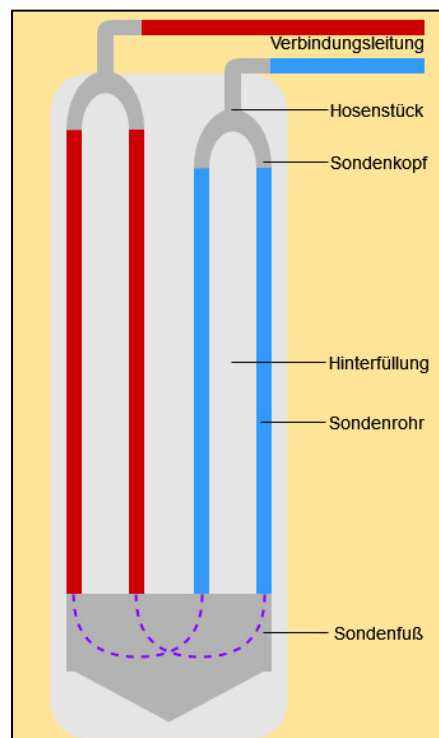


Abb. 3: Schematische Darstellung einer Erdwärmesonde (in Anlehnung an (Bussmann, 2012))

EWS sind mindestens 40 m lange geschlossene Polyethylen (PE) -Rohre der Güte PE-RC oder PE-X (Panteleit & Ortmann et al., 2022). Die Länge einer EWS ist von verschiedenen Faktoren wie den Eigenschaften des Untergrunds, der Wärmeleitfähigkeit, der Temperaturverteilung sowie klimatischen Verhältnissen abhängig. Aber auch das verwendete Hinterfüllungsmaterial und die Wärmeträgerflüssigkeit sind von Bedeutung (Stober & Bucher, 2020). Die Sonden werden mithilfe einer Bohrung lotrecht in den Boden eingebracht und fungieren als Wärmetauscher (Panteleit & Ortmann et al., 2022). Die Bohrungen für

oberflächennahe Geothermie reichen in der Praxis meistens maximal 100 m in den Boden, obwohl theoretisch eine Bohrung bis zu 400 m möglich ist. Innerhalb des PE-Rohrs zirkuliert ein Wärmeträgermittel in Form von Wasser, einem Wasser-Frostschutzgemisch oder einem Gas (Stober & Bucher, 2020). In Bremen dürfen ausschließlich nicht wassergefährdende Stoffe oder wässrige Lösungen der Wassergefährdungsklasse (WGK) 1 verwendet werden. Die Energie des umgebenden Gesteins und GW wird aufgrund des Temperaturunterschieds von dem Wärmeträgermittel aufgenommen und an die Wärmepumpe abgegeben (Panteleit & Ortmann et al., 2022).

Es gibt unterschiedliche Typen von EWS, darunter die Einfach-U-Rohr-Sonde, die Doppel-U-Rohr-Sonde und die Koaxialrohrsonde, welche in Abb. 4 dargestellt sind. Im Prinzip sind Doppel-U-Rohr-Sonden zwei nebeneinander liegende Einfach-U-Rohr-Sonden. Die Doppel-U-Rohr-Sonden werden am häufigsten verwendet, aufgrund der damit vorliegenden Redundanz. Eine U-Rohr-Sonde weist einen Durchmesser von durchschnittlich 32 mm auf. Eine kalte Flüssigkeit (blau eingefärbt in Abb. 4) strömt auf einer Seite des U-Rohres hinab und nimmt dabei die Wärmeenergie aus der Umgebung auf. Dadurch findet eine Erwärmung der Flüssigkeit statt, welche anschließend an eine Wärmepumpe weitergeleitet wird. Die erwärmte Flüssigkeit wird in Abb. 4 rot dargestellt (Stober & Bucher, 2020).

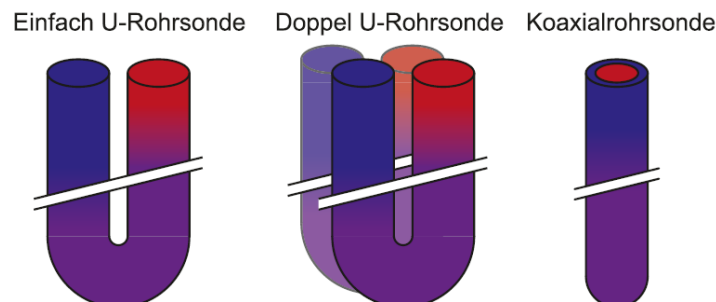


Abb. 4: Darstellung drei verschiedener Erdwärmesondentypen (Stober & Bucher, 2020)

Nach der Installation der EWS ist eine Hinterfüllung bzw. Ringraumverfüllung erforderlich, wobei der Zwischenraum zwischen dem Rohr und dem Erdreich mit wärmeleitfähigen Substanzen gefüllt wird. Notwendig ist dies, um das GW zu schützen und einen positiven Effekt auf die Effizienz und Lebensdauer der Sonde zu erhalten (Stober & Bucher, 2020). Die Fläche kann nach der Installation der EWS überbaut werden, als Verkehrs- und Parkfläche dienen sowie die Funktion als Weg-, Grün- oder Sportfläche erhalten (Panteleit & Ortmann et al., 2022).

Wenn mithilfe von EWS Gebäudekomplexe oder sehr große Gebäude geheizt werden sollen, ist ein Erdwärmesondenfeld notwendig (Stober & Bucher, 2020). Bei einem Erdwärmesondenfeld werden die EWS mittels Anbindeleitungen zu einem Sammelschacht geführt. Von dort aus können die Gebäude über ein kaltes Nahwärmenetz versorgt werden, wie es in Abb. 5 dargestellt ist. Alternativ kann die Sammelleitung auch zu einer

Energiezentrale führen und von dort aus ein isoliertes Niedertemperatur-Nahwärmenetz ausgebaut werden (BVG, 2023).

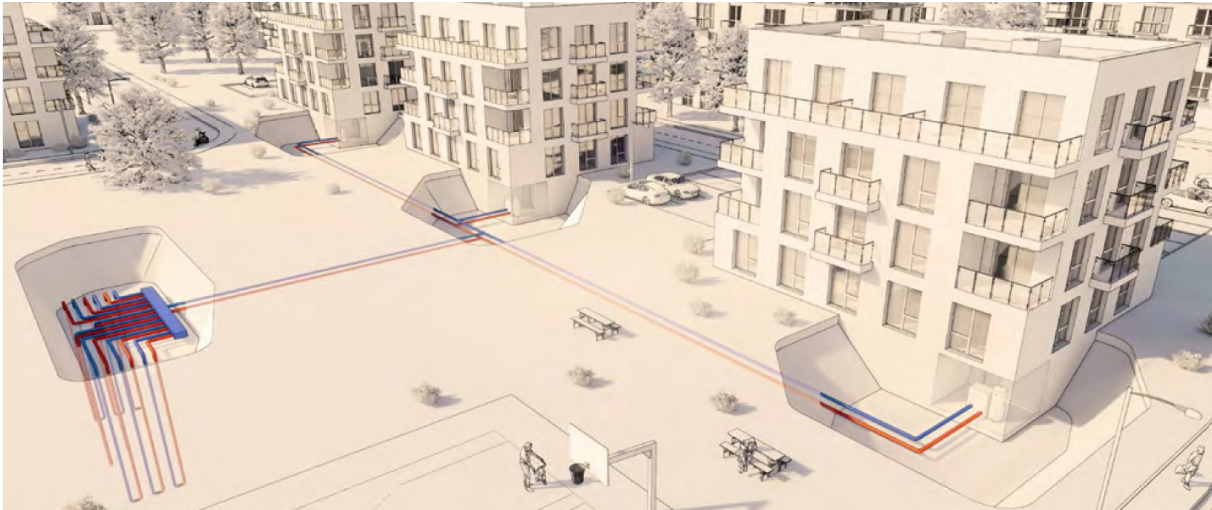


Abb. 5: Geothermische Wärmeversorgung eines Quartiers über ein kaltes Nahwärmenetz (BVG, 2023)

Erdwärmesondenanlagen setzen sich aus den in der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 festgehaltenen Komponenten zusammen. Dazu gehören die EWS, die Anbindeleitungen, der Verteiler, die Sammelleitung und die Wärmepumpen. Die Sonden werden mithilfe von Anbindeleitungen in möglichst parallel geschalteten Kreisen separat an den Verteiler angeschlossen. Bei sehr großen Anbindeleitungen kann eine Zwischenverteileranlage eingegliedert werden. Wenn mehrere Doppel-U-Rohr-Sonden verwendet werden, besteht die Möglichkeit, Hosenstücke (Y-Stücke) einzusetzen. Diese werden am Sondenkopf installiert und können die benötigte Anzahl an Anbindeleitungen reduzieren (BVG, 2023). Die Hosenstücke weisen eine Höhe von ca. 16 cm auf (Gerodur, 2023). Der Nachteil der Hosenstücke ist, dass bei dem Auftreten einer Leckage an einem Rohr der EWS, die gesamte EWS ausfällt (BVG, 2023). Die Sondereintritte und Sondereintritte an die Anbindeleitung sind mit Absperrventilen zu versehen gemäß VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2. Vom Verteiler aus führt anschließend eine Sammelleitung zur Wärmepumpe.

### **Rechtliche Einordnung von Erdwärmesonden**

In Deutschland basiert die Errichtung von oberflächennahen Geothermieanlagen auf dem WHG und dem Wasser- bzw. Bundesberggesetz (BBergG). Zudem haben die einzelnen Bundesländer oftmals eigene Leitfäden, welche spezifische Einschränkungen für die Errichtung von Geothermieanlagen enthalten (Stober & Bucher, 2020). So hat Bremen den „Leitfaden oberflächennahe Geothermie im Land Bremen“. Dieser enthält Informationen über allgemeine technische Anforderungen, welche auch in der VDI-Richtlinie 4640 festgehalten sind (Panteleit & Ortmann et al., 2022). Erdwärme gilt gemäß §3 Abs. 3 Nr. 2b des BBergG als bergfreier Bodenschatz. Nach §8 BBergG ist für die Gewinnung von Erdwärme grundsätzlich eine Bewilligung erforderlich. Zudem müssen alle Bohrungen tiefer als 100 m gemäß §127 Abs. 1 Nr. 1 BBergG angezeigt werden. Wenn durch die Arbeiten GW verwendet,

freigelegt oder verändert wird, müssen diese gemäß §35 WHG angezeigt werden. Unabhängig davon, ob bei dem Einbau auf GW getroffen wird, können die Anlagen gemäß §3 Abs. 2 Nr. 2 WHG erlaubnispflichtig sein. Das Ziel gemäß VDI-Richtlinie 4640 Blatt 1 ist im Allgemeinen der Schutz des GW. Es ist sicherzustellen, dass sich die gegebenenfalls vorliegenden Grundwasserstockwerke hydraulisch sowie stofflich nicht miteinander vermischen. Außerdem darf das GW nicht durch Oberflächenwasser oder Wärmeträgerflüssigkeiten beeinflusst werden. Generell ist festzuhalten, dass in Wasserschutzgebieten (WSG) und Trinkwassergewinnungsgebieten (TGG) keine thermische Nutzung des Untergrunds erfolgen darf. Ausnahmen dürfen höchstens in der Schutzzone III a und III erteilt werden und müssen spezifisch geprüft werden (Panteleit & Ortmann et al., 2022).

### Technische Anforderungen an Erdwärmesonden

Die Ermittlung eines Standortes für EWS erfordert die Berücksichtigung von ober- und unterirdischen Faktoren. Vor der Installation ist eine genaue Ermittlung der geologischen Schichten am Standort erforderlich. Denn vorliegende Altlasten, Rutschgebiete oder Gase im Untergrund können das Verfahren einschränken oder verhindern. Zudem können Schwierigkeiten auftreten, wenn Salzstrukturen, Gipse oder Anhydrite vorliegen (Stober & Bucher, 2020). Die vorhandenen geologischen Schichten beeinflussen auch die vorzuweisende Wärmeleitfähigkeit (Panteleit & Ortmann et al., 2022). Die Tab. 2 zeigt einen Ausschnitt von Wärmeleitfähigkeiten und volumenbezogene spezifische Wärmekapazitäten für verschiedene Gesteinstypen aus der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 1. Der Tabelle ist zu entnehmen, dass die verschiedenen Lockergesteine eine höhere Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität aufweisen, wenn eine Sättigung durch Wasser vorliegt (blau hinterlegt). Im trockenen Zustand (gelb hinterlegt) sind die Werte für die jeweiligen Gesteinstypen deutlich niedriger.

Tab. 2: Wärmeleitfähigkeiten, volumenbezogene spez. Wärmekapazität und Dichte verschiedener Gesteinstypen (Auszug aus der VDI 4640 Blatt 1 mit eigener Einfärbung)

	Gesteinstyp	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ in W/(m·K)		Volumenbezogene spez. Wärme- kapazität $\rho \cdot c_p$ in MJ/(m <sup>3</sup> ·K)	Dichte $\rho$ in 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>
			empfohlener Rechenwert		
Lockergesteine	Ton/Schluff, trocken	0,4-1,0	0,5	1,5-1,6	1,8-2,0
	Ton/Schluff, wassergesättigt	1,1-3,1	1,8	2,0-2,8	2,0-2,2
	Sand, trocken	0,3-0,9	0,4	1,3-1,6	1,8-2,2
	Sand, feucht	1,0-1,9	1,4	1,6-2,2	1,9-2,2
	Sand, wassergesättigt	2,0-3,0	2,4	2,2-2,8	1,9-2,3
	Kies/Steine, trocken	0,4-0,9	0,4	1,3-1,6	1,8-2,2
	Kies/Steine, wassergesättigt	1,6-2,5	1,8	2,2-2,6	1,9-2,3
	Geschiebemergel/-lehm	1,1-2,9	2,4	1,5-2,5	1,8-2,3
	Torf, Weichbraunkohle	0,2-0,7	0,4	0,5-3,8	0,5-1,1

Gebiete mit einem einheitlichen Untergrund, der eine mittlere bis geringe Durchlässigkeit aufweist, erleichtern die Bohr- und Ausbauarbeiten. Zudem kann die Ringraumverfüllung

besser durchgeführt werden, da eine geringere Gefahr besteht, dass das Material zur Hinterfüllung in dem Boden verloren geht. Außerdem sollten an dem Standort keine hochdurchlässigen Grundwasserleiter und keine hohen Grundwasserfließgeschwindigkeiten vorliegen. Diese Eigenschaften erhöhen die Gefahr, dass es bei dem Bohr- und Ausbauvorgang zu Verunreinigungen und Eintrübungen des GW kommt (Stober & Bucher, 2020). Zudem ist zu berücksichtigen, dass kein gespanntes oder artesisch gespanntes GW vorliegen sollte, da laut VDI-Richtlinie 4640 Blatt 1 eine Abdichtung in diesen Fällen eventuell nicht möglich ist. Es kann außerdem zu einer Beschränkung der Bohrtiefe bei vorliegenden Grundwasserstockwerken kommen, um eine Durchteufung von GW trennenden Stockwerken zu vermeiden. Des Weiteren sollte die Fläche für die Installation und den Betrieb von EWS möglichst frei von Bäumen und Gehölz sein (Panteleit & Ortmann et al., 2022). Zum Schutz der Bäume darf die Installation nicht im Wurzelbereich erfolgen. Es muss folglich zuzüglich zur Kronentraufe ein Abstand von 1,5 m zu allen Seiten gemäß DIN 18920 eingehalten werden. Neben Hindernissen auf der Oberfläche des Bodens müssen auch Hindernisse im Untergrund berücksichtigt werden. Es muss also geprüft werden, dass im Bereich der Bohrung keine unterirdischen Leitungen verlaufen und dass eine Kampfmittelfreiheit vorliegt (Panteleit & Ortmann et al., 2022).

Bei der Planung und Installation von EWS sind gewisse Abstände einzuhalten. Bis zu einer Sondenlänge von 100 m muss ein Abstand von 3 m zwischen Grundstücksgrenze und EWS vorliegen. Bei längeren EWS muss der Abstand auf 5 m vergrößert werden (Panteleit & Ortmann et al., 2022). Der Abstand zu benachbarten Grundstücken sollte so groß wie möglich gehalten werden. Die VDI-Richtlinie 4640 Blatt 1 empfiehlt einen Abstand von mindestens 10 m zwischen EWS auf benachbarten Grundstücken. Zwischen einem Gebäude und der EWS muss ein Mindestabstand von 2 m gegeben sein, um die Standsicherheit nicht zu gefährden (LBEG, 2017). Zudem ist zwischen Anlagenteilen der EWS und Ver- oder Entsorgungsleitungen gemäß VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 ein Mindestabstand von 1 m einzuhalten. Ein Abstand von 0,5 m muss zwischen der EWS und der öffentlichen Straßenfläche gegeben sein. In Ausnahmefällen können diese Abstände verringert werden, wobei jedoch weitere Faktoren zu überprüfen und eventuell auch Einverständniserklärungen einzuholen sind. Bei der Installation mehrerer EWS ist in Bremen zwischen den Sonden ein Abstand von mindestens 6 m einzuhalten. Sollte eine Verringerung der Abstände zwischen den einzelnen Sonden aufgrund von Platzverhältnissen in Betracht gezogen werden, muss dieses analytisch berechnet werden (Panteleit & Ortmann et al., 2022).

Der Einbau der Sonde erfolgt mit Hilfe einer Haspel. Das Verfüllrohr kann gleichzeitig mit der Sonde verbaut werden, wobei es als Zentrierhilfe dient. Ist dies nicht der Fall, muss eine andere Form der Zentrierung erfolgen. Der Bohrlochringraum wird direkt nach der Einbringung der Sonde von der Sohle bis zur Oberfläche vollständig verfüllt (Panteleit & Ortmann et al.,

2022). Sondenbündel einer Doppel-U-Rohr-Sonde weisen einen Durchmesser von ca. 110 mm inklusive Innenabstand auf. Der Bohrlochdurchmesser muss mindestens dem Sondenbündeldurchmesser zuzüglich 60 mm Hinterfüllung entsprechen. Sollten weitere Geräte wie Zentriereinrichtungen benötigt werden, müssen diese bei der Bestimmung des Bohrlochdurchmessers mitberücksichtigt werden. Daraus ergibt sich ein benötigter Bohrlochdurchmesser von ca. 170 mm. Dieser kann durch Entfernen der Innenabstandshalter verkleinert werden, muss aber trotzdem mindestens 150 mm groß sein. Die Zusammensetzung des Bohrlochdurchmessers ist in Abb. 6 dargestellt (LfU, 2012).

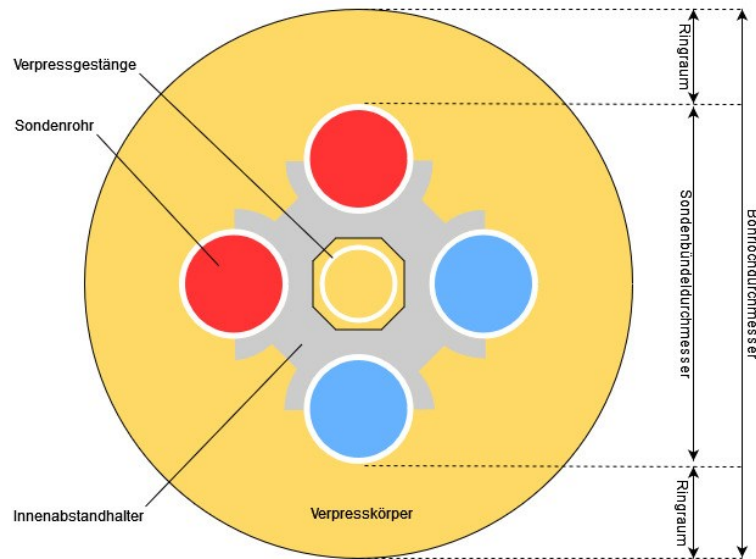


Abb. 6: Aufbau eines Bohrlochdurchmessers für eine Doppel-U-Rohr-Sonde (in Anlehnung an (LfU, 2012))

Für die Hinterfüllung wird eine Suspension aus Wasser mit Zement, Betonit, Ton oder Quarzsand verwendet (Stober & Bucher, 2020). Es ist zu beachten, dass das einzubringende Material eine niedrigere Durchlässigkeit aufweisen muss als das umliegende Gestein. Dadurch wird gewährleistet, dass die trennenden Schichten im Untergrund erhalten bleiben. Wichtig ist, dass die Dichte und Viskosität der Suspension den Herstellerangaben entspricht (Panteleit & Ortmann et al., 2022). In der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 ist festgehalten, dass die Suspension einen Durchlässigkeitsbeiwert von  $\leq 1 \cdot 10^{-10}$  m/s aufweisen sollte. Nach dem Installieren der EWS sollte eine Spülung der Sonden erfolgen.

Die Anbindeleitungen werden horizontal und maximal mit einem Gefälle von 1 – 2 % verlegt. Der Abstand zwischen den Anbindeleitungen sollte dabei eine Rohrdimension betragen. Anbindeleitungen werden auf einem Rohraufleger aus Sand mit einer Mächtigkeit von 10 – 15 cm verlegt (BVG, 2023). Grundsätzlich ist ein Einbau unterhalb der Frosttiefe, innerhalb eines Sandbettes zu empfehlen. Sollte ein Einbau unterhalb der Frosttiefe nicht möglich sein, ist eine Dämmung der Leitungen erforderlich (LfU, 2012). Der frostfreie Bereich befindet sich 0,8 – 1,5 m unterhalb der GOK (BVG, 2023). In Deutschland liegt die Frostgrenze durchschnittlich in 0,8 m Tiefe, weshalb im weiteren Verlauf von diesem Wert ausgegangen

wird (Gusseck Haus, o. D.). Zusätzlich sollte eine Überdeckung der Anbindeleitung von mindestens 0,3 m vorhanden sein. Die Anbindeleitungen sollten aus demselben Material bestehen wie die EWS (BVG, 2023). Da es sich um erdverlegte Rohrverbindungen handelt, müssen diese unlösbar, korrosionsbeständig und dauerhaft dicht sein (LfU, 2012). Sammler- und Verteileranlagen müssen so positioniert werden, dass sie den höchsten Punkt darstellen und die Länge der Leitungsstränge (EWS inkl. Anbindeleitung) lediglich um  $\pm 10 - 15 \%$  voneinander abweichen (BVG, 2023). Die Verteiler werden in soledichten Verteilerschächten verlegt, um das Eindringen von Stoffen bei Leckagen in die Umwelt zu verhindern, gemäß VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2. Die zwischen den Sonden vorliegenden Verteilerbalken und -schächte müssen für Kontrollen zugänglich sein (Panteleit & Ortmann et al., 2022).

### 3.2 Retentionsanlagen mit Abdichtungen

Retentionsanlagen mit Abdichtungen umfassen z. B. RRB und dienen der Rückhaltung und konventionellen Ableitung von Wasser (DWA, 2006). Für die Ableitung bestehen zwei Möglichkeiten, wobei die Ableitung in ein nahes Gewässer der Ableitung in die Kanalisation vorgezogen werden sollte, um den natürlichen Wasserhaushalt zu stärken. Entscheidend für die Art der Ableitung ist die Art des vorliegenden Wassers. Dabei ist entscheidend, ob Schmutzwasser oder ausschließlich Niederschlagswasser anfällt und wie stark dieses belastet ist (Wittig, 2023). Wie in dem DWA-A 166 beschrieben, können Retentionsanlagen in Erdbauweise oder als Massivbecken errichtet werden. Dies ist abhängig davon, ob in dem betrachteten Gebiet ein TS oder MS vorliegt. Tab. 3 zeigt, welche Anlagen in welchem Entwässerungssystem in welcher Bauweise ausgeführt werden können.

Tab. 3: Anlagen zum Rückhalt und zur Behandlung von Regenwasser in den verschiedenen Entwässerungssystemen sowie deren Bauweise gemäß DWA-A 166 (Eigene Darstellung)

	<b>Erdbecken</b>	<b>Massivbecken</b>
<i>Trennsystem</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regenklärbecken mit Dauerstau</li> <li>• Retentionsbodenfilterbecken</li> <li>• Regenrückhaltebecken</li> <li>• Regenrückhaltegräben</li> </ul>	
<i>Mischsystem</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regenrückhalteanlagen mit vorgeschalteter Behandlungsanlage</li> <li>• Retentionsbodenfilterbecken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regenüberlaufbecken</li> <li>• Stauraumkanäle</li> <li>• Regenklärbecken</li> <li>• Regenrückhaltebecken</li> </ul>

Bei der Errichtung aller Anlagen muss darauf geachtet werden, dass diese gemäß DIN 18920 nicht im Wurzelbereich von Bäumen erfolgt. Dieser setzt sich aus der Kronentraufe zuzüglich 1,5 m zu jeder Seite zusammen. Im weiteren Verlauf werden nur Anlagen genauer betrachtet, welche in Erdbauweise errichtet werden können. Der Grund ist, dass im Rahmen dieser Arbeit die Implementierung der Anlagen auf Grünflächen der Stadt Bremen betrachtet wird und eine

Versiegelung dieser vermieden werden soll. Für jede Retentionsanlage muss das Auffangen des Niederschlagswassers, das Zuleiten und der Einlauf in die Retentionsfläche geplant werden. Es gibt verschiedene Varianten, wie dies geschehen kann. Da die Elemente in einer Detailplanung erfolgen müssen, werden diese Themen in der vorliegenden Arbeit nicht weiter verfolgt.

### Retentionsbodenfilterbecken

Retentionsbodenfilterbecken können nach DWA-A 166 in MS und TS integriert werden, um Abflussspitzen durch Zwischenspeicherung entgegenzuwirken (Resch & Schatz, 2020). Zudem erfolgt eine physikalisch-biologische Reinigung des Wassers von gelösten, partikulären und partikulär gebundenen Stoffen (Geiger & Dreiseitl et al., 2010). Das verfahrenstechnische Grundprinzip der Anlage ist gemäß DWA-A 178 die Langsamsandfiltration, wodurch Feststoffe und daran gebundene Schadstoffe zurückgehalten werden. Die zurückgehaltenen Feststoffe und Vegetationsreste verbleiben auf der Bodenfilteroberfläche und fungieren als Sekundärfilterschicht. Außerdem finden Sorptions- und Umsatzprozesse durch die Sedimentauflage statt, welche gelöste Abwasserinhaltsstoffe zurückhalten und abbauen können. Dafür muss die Sedimentauflage regelmäßig trockenfallen und unter aeroben Bedingungen mineralisieren, wie im DWA-A 178 beschrieben.

Eine Retentionsbodenfilteranlage (RBFA) besteht aus einer Vorreinigung und einem Retentionsbodenfilter (RBF) (MKULV, 2015). Die mechanische Vorreinigung erfolgt im MS meist durch ein RÜB und im TS meist durch ein Absetz- oder Regenklärbecken (RKB) (Resch & Schatz, 2020). Das zugeleitete Wasser wird im Retentionsraum des Beckens zwischengespeichert, durchströmt anschließend langsam die vertikal angeordnete Filterschicht und wird über ein Dränsystem dem Ablaufbauwerk zugeführt. Von dort wird das Wasser gedrosselt abgeleitet (MKULV, 2015). Das Retentionsbodenfilterbecken besteht nach dem DWA-A 176 aus einem Einlauf- und Verteilungsbauwerk, Retentionsraum / Sedimentationskammer mit Notentleerung, Filterbeckenüberlauf, Filtervegetation, Filterkörper, Dränsystem, Abdichtung, Ablaufbauwerk und Notumlauf. Die Abb. 7 zeigt diese Komponenten in einen Querschnitt eines Retentionsbodenfilterbeckens.

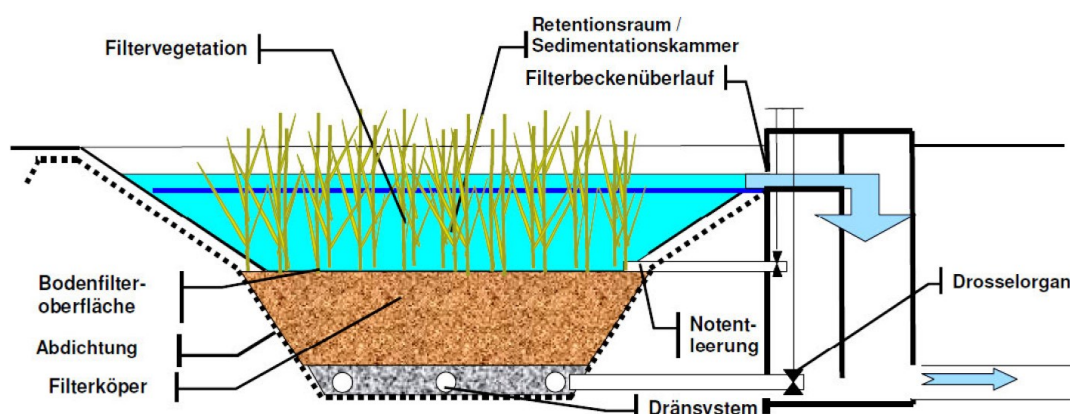


Abb. 7: Querschnitt eines Retentionsfilterbeckens aus dem DWA-A 176



Der Retentionsraum weist gemäß DWA-A 178 eine Einstauhöhe zwischen 0,3 – 2 m auf, welche sich an dem vorliegenden hydraulischen Gefälle und der Entleerungszeit des Beckens orientiert. In Abhängigkeit der Abdichtung muss bei Retentionsbodenfilterbecken stets ein Freibord eingehalten werden (MKULV, 2015). Das DWA-A 176 definiert Freibord als den Abstand zwischen Böschungsoberkante und dem höchsten Wasserspiegel. Bei einer vorliegenden Abdichtung setzt sich der Freibord aus der Mächtigkeit des Oberbodens, der Dichtungsschutzschicht und einem Sicherheitszuschlag zusammen. Daraus ergibt sich eine Freibordhöhe von  $\geq 0,5$  m bei einer Abdichtung mit einer Kunststoff-Dichtungsbahn (KDB) und von  $\geq 0,65$  m bei einer mineralischen Abdichtung.

Die Abgrenzung des Retentionsraums erfolgt bei ausreichend Platz als Erdböschung, welche unmittelbar begrünt werden muss. Sollte die Fläche nicht für eine Erdböschung ausreichen, kann der Retentionsraum auch durch Gabionen abgegrenzt werden. Gabionen sind steingefüllte Drahtkörbe, die eine Böschungsneigung von 1:0,1 ermöglichen und somit Platz sparen (MKULV, 2015).

Der Retentionsraum ist, wie in Abb. 7 dargestellt, mit einem Filterkörper ausgestattet. Das Filtersubstrat muss neben dem Rückhalt von Stoffen eine strömungsmechanische Stabilität, eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit und Schadstofffreiheit aufweisen (MKULV, 2015). Außerdem besagt das DWA-A 178, dass das Filtermaterial frost- und tausalzbeständig sein muss. Ein sandiges Filtersubstrat hat sich aufgrund der bautechnischen Umsetzung, der guten Reinigungsleistung und der niedrigeren Kosten durchgesetzt. Es werden also Sande der Korngruppe 0/2 mm verwendet, die eine steile Körnungslinie aufweisen. Zudem ist zu beachten, dass der Fein- und Grobanteil der verwendeten Sande begrenzt ist (MKULV, 2015). Der Filterkörper wird unter Einhaltung oben genannter Kriterien einschichtig errichtet und beträgt im MS eine Mächtigkeit von  $\geq 0,75$  m. Sollte das Becken im TS angeordnet sein oder Straßenabflüsse auf das Becken geleitet werden, sollte die Filterhöhe  $\geq 0,5$  m betragen, welches ebenfalls im DWA-A 178 festgehalten ist. Wichtig ist, dass das Filtersubstrat gleichmäßig über die Fläche aufgetragen wird und maximal eine Höhenabweichung von  $\pm 2$  cm vorliegt (MKULV, 2015).

Über dem Filtersubstrat befindet sich die Filtervegetation, welche den Filter vor Kolmation schützen und nach DWA-A 178 eine Sekundärfilterschicht darstellen soll. Die Vegetation mit Schilf erweist sich als unempfindlich gegenüber langen Einstauzeiten und der Belastung durch Feststoffe sowie Sedimente. Es fallen keine Mäharbeiten an und abgestorbene Schilfpflanzen fungieren als zusätzlicher Raumfilter. Wenn jedoch keine regelmäßige Beschickung vorliegt, muss das Schilf zusätzlich bewässert und Fremdwuchs entfernt werden. Eine andere Variante ist die Bepflanzung mit Rasensaat. Angewendet werden kann dies, wenn eine sehr geringe hydraulische Filterbelastung vorliegt und es auch nur zu wenigen Beschickungsereignissen im

Jahr kommt. In diesem Fall ist die Unterhaltung einer Rasenfläche weniger aufwändig als die von Schilf (MKULV, 2015). Die Höhe des Oberbodens ist abhängig von der Vegetation und ist im DWA-A 176 festgehalten. Die Mächtigkeit des Oberbodens beträgt bei Rasen 0,1 m und bei der Vegetation mit Schilf 0,4 m.

Unterhalb des Filters befindet sich das Dränsystem bestehend aus Dränsaugern und Dränsammelleitungen. Sie sind flächenhaft und rasterförmig anzulegen, um das Wasser gleichmäßig zu fassen und abzuleiten. Zudem liegt eine Filterkiesschicht der Korngruppe 2/8 mm vor und es dürfen innerhalb des Systems keine Höhenabweichungen von  $> \pm 2$  cm vorliegen. Die Nennweite, Schlitzfläche und der Abstand der Dränrohre muss nach Herstellerangaben und der maximalen anfallenden Sickermenge ausgerichtet werden. Durchgesetzt haben sich Dränrohre mit einer Länge von 20 – 30 cm in Abständen von 3 – 5 m zueinander. Liegt eine Filterfläche von über 1 000 m<sup>2</sup> vor, ist es sinnvoll, mehrere Dränabschnitte zu errichten (MKULV, 2015). Die Dränsauger müssen einen  $\geq$  DN 150 nach DIN 19666, eine Länge von  $\leq$  40 m bei DN 150 und einen Abstand von  $\leq$  5 m zueinander aufweisen. Die Dränsammler weisen gemäß DWA-A 176 einen  $\geq$  DN 200 auf. Zu verlegen ist das Dränsystem nach DWA-A 178 direkt auf dem Schutzvlies der Abdichtung. Über dem Dränrohr sollte ein 0,75 m breiter KDB-Streifen installiert werden, um es von den Wurzeln der Vegetation zu schützen. Bei dem Einbringen des Filtersubstrates über die Dränrohre muss darauf geachtet werden, dass die KDB über den Dränrohren nicht verschoben wird. Der Aufbau ist in Abb. 8 dargestellt (MKULV, 2015).

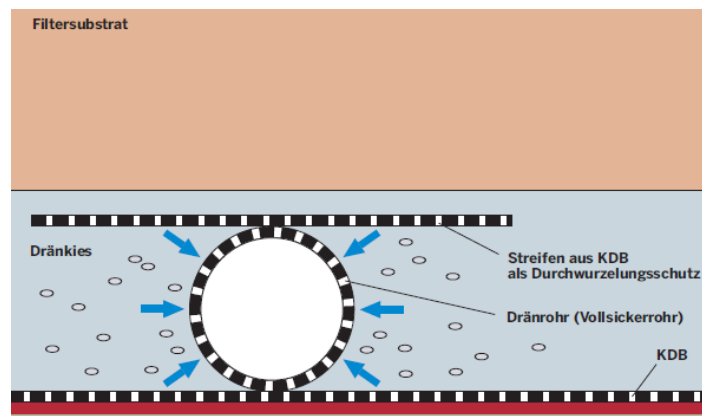


Abb. 8: Beispielhafter Aufbau eines Dränsystems eines Retentionsfilterbeckens (MKULV, 2015)

Die Dränrohre müssen regelmäßig einer Inspektion unterzogen und gespült werden. Dies erfolgt meist über eine Sammelleitung von der Böschungsoberkante des Filters aus (MKULV, 2015). Voraussetzung ist dafür gemäß DWA-A 178, dass das Dränsystem für die Inspektion und Reinigung mit Kameras, Spülgeräten und Schneidegeräten befahren werden kann.

Das Retentionsbodenfilterbecken muss nach unten abgedichtet werden, um den Boden sowie das GW zu schützen und einen kontrollierbaren Anlagenbetrieb zu ermöglichen. Die Abdichtung darf einen Durchlässigkeitsbeiwert von  $1 \cdot 10^{-8}$  m/s nicht unterschreiten. Es kann

eine geosynthetische Tondichtungsbahn (GTD) mit vollflächigem Verbund, eine mehrlagige mineralische Abdichtung oder eine KDB verwendet werden. Um einer Durchwurzelung und Durchdringung der Abdichtung durch Tiere vorzubeugen, sowie bei naheliegenderem GW, sollte eine KDB ( $d \geq 2 \text{ mm}$ ) verwendet werden. Die Abdichtung muss nach oben sowie nach unten durch ein Geotextil geschützt werden. Bei Verwendung einer KDB muss darüber eine Dichtungsschutzschicht von 0,15 m errichtet werden und die KDB muss am Böschungskopf in Einbindegräben gesichert werden (MKULV, 2015).

Die Notentleerung bzw. der Notumlauf muss nach DWA-A 178 vorliegen, falls das Retentionsbodenfilterbecken temporär außer Betrieb gesetzt wird. Im regulären Betrieb ist der Notumlauf geschlossen und das Wasser wird über das Dränsystem dem Ablaufbauwerk zugeführt.

Betrieben werden können Retentionsbodenfilterbecken im Teil- oder Volleinstau (Geiger & Dreiseitl et al., 2010). Wichtig ist, dass keine Über- oder Unterbelastung auftritt, da dies zum Versagen der Anlage und des Filterkörpers führen kann. Entscheidend ist also die Dimensionierung der Anlage. Dazu ist es notwendig, das genaue Behandlungsziel bzw. die stoffliche Belastung des Wassers zu kennen und die anfallenden Zuflüsse (Regen-, Misch- und Fremdwasserzuflüsse) möglichst genau zu ermitteln. Eine Überbelastung führt zu einer schlechteren Reinigungsleistung und einer erhöhten Kolmationsgefahr. Eine Unterbelastung hingegen wirkt sich negativ auf die Filtervegetation aus und kann zur Ansiedelung von Wühltieren führen. All dies ist im DWA-A 178 festgehalten. Explizit im MS soll das Retentionsbodenfilterbecken mindestens 10-mal im Jahr mit Entlastungsabflüssen beschickt werden, um eine Unterbelastung zu vermeiden (MKULV, 2015).

Der Vorteil eines RBF liegt in der hohen Reinigungsleistung und der naturnahen Bauweise. Nachteilig ist jedoch der hohe Platzbedarf (Geiger & Dreiseitl et al., 2010). Allgemein beträgt die Bodenfilteroberfläche ungefähr 1 % der angeschlossenen befestigten Fläche. Zusätzlich muss ausreichend Platz für Böschungen, Zufahrten, Zu- und Ablaufkanäle und die mechanische Vorreinigung zur Verfügung stehen. Der RBF darf nicht zu dicht von Bäumen umsiedelt werden, da diese durch ihren Schatten und Laubfall die Trocknung der Filteroberfläche sowie Abbauvorgänge verhindern und das Wachstum der Vegetation verschlechtern können. Zusätzlich muss ein ausreichender Grundwasserflurabstand nach dem DWA-A 178 gegeben sein. Des Weiteren kann der RBF erst nach langer Zeit (teilweise bis zu 3 Jahren) in Betrieb genommen werden, weil die Vegetation des Beckens geschützt werden muss und es bei der Ansammlung von ungewünschten Substraten oder Vegetationen schnell zu Kolmationen kommen kann (Geiger & Dreiseitl et al., 2010).

Wenn eine Durchdringung der Dichtung mit Rohrleitungen nicht vermeidbar ist, kann dies durchgeführt werden. Bei einer GTD ist der Einbau der Durchdringung mit einem geringen

Aufwand verbunden und kann direkt an der Einbaustelle erfolgen. Bei KDB ist ein höherer Aufwand nötig. Die einzelnen Durchdringungsstellen müssen separat vorgefertigt, vor Ort eingebaut und anschließend verschweißt werden. Wichtig ist, dass eine flüssigkeitsdichte Einbringung erfolgt. Die Rohre, die für eine Durchdringung von KDB verwendet werden, sind PE-Rohre mit einer glatten oder profilierten Außenwand. An dem Rohrstück, welches die KDB durchdringt, ist in der Regel ein plattenförmiger Anschlusskragen aus PE mit einer Größe von mindestens 300 mm umlaufender Überlappung angebracht. Die Dicke des Anschlusskragens ist abhängig von dem Rohrdurchmesser. Die Vorgaben für die Durchdringung sind in dem DWA-A 176 festgehalten.

### Regenrückhaltebecken

RRB dienen der Reduzierung der Abflussspitzen sowie der gedrosselten Abgabe von Wasser an z. B. Versickerungs- oder Reinigungsanlagen. Zudem findet während der Einstauphase im RRB ein Sedimentationsprozess statt, um ungelöste Stoffe zurückzuhalten (Geiger & Dreiseitl et al., 2010). RRB können nach DWA-A 166 in kompakter, offener oder geschlossener Ausführung errichtet werden. Sie werden in MS nach RBF oder RÜB und in TS oftmals nach RKB angeordnet (Resch & Schatz, 2020).

RRB bestehen aus einem Zulaufbauwerk, einer Speicherkammer, einem Drosselbauwerk und einem Notüberlauf wie im DWA-A 176 beschrieben. Die Abb. 9 zeigt den Aufbau eines RRB in Erdbauweise inkl. der Böschung, der Sohle und der Zufahrtsrampe (Leipziger Wasserwerke, 2019).

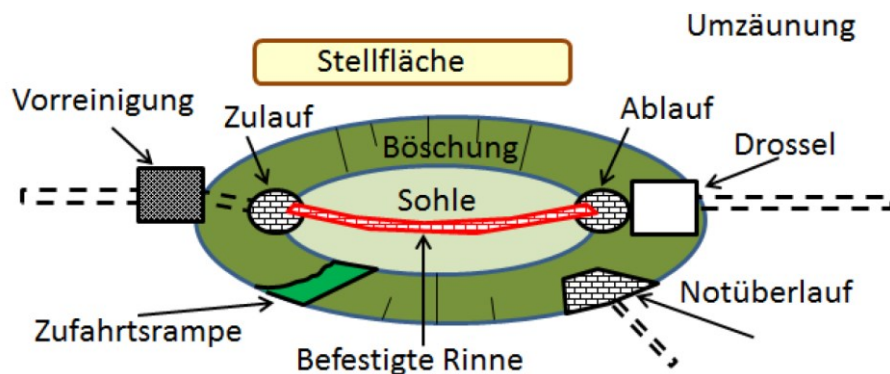


Abb. 9: Skizzierung eines Regenrückhaltebeckens in Erdbauweise (Leipziger Wasserwerke, 2019)

Der Zulauf des RRB sollte möglichst flächig erfolgen, bspw. über Schotterrassenböschungen oder Sohlgräben. Der Sohlgraben verläuft vom Zulauf des Beckens bis zum Ablauf und fungiert wie eine Beschickungsrinne, welche die Speicherkammer beidseitig und gleichmäßig befüllt. Errichtet wird der Sohlgraben bspw. aus Wasserbaupflaster gemäß DWA-A 176. Zudem bewahrt der Sohlgraben die Sohle des Beckens vor Vernässung. Das Längsgefälle sollte 1 % betragen, muss aber mindestens 0,5 % betragen. Der Rest der Sohle des RRB muss zur Rinne hin eine Neigung von mindestens 2 % aufweisen (Leipziger Wasserwerke, 2019). RRB werden

nach DWA-A 176 mit einer Feuchtwiesenmischungssaat bepflanzt und werden nicht im Dauerstau betrieben.

Bei der Ausführung der Böschung in Erdbauweise, wird diese mit Landschaftsrasen bepflanzt und muss eine Böschungsneigung von maximal 1:3 aufweisen. Sollte nicht genügend Fläche zur Verfügung stehen, ist eine Abgrenzung mit Gabionen (steingefüllte Drahtkörbe) möglich. Um Wartungen durchführen zu können, muss die Zugänglichkeit der Fläche in Form einer Rampe gewährleistet sein (Leipziger Wasserwerke, 2019).

Zum Schutz des GW und des Bodens erfolgt zusätzlich eine Abdichtung des Beckens über eine mineralische Schicht, eine GTD oder eine KDB. Die folgenden Randbedingungen sind im DWA-A 176 beschrieben. Die Auswahl der Abdichtung hängt von dem anfallenden Wasser ab. Wird gering belastetes Regenwasser in dem Becken zurückgehalten und eine Versickerung des Wassers wäre theoretisch möglich, kann eine mineralische Abdichtung verwendet werden. Wenn das Wasser durch verschiedene Flächen stärker belastet ist oder es sich auch um den Rückhalt von Schmutzwasser handelt, ist eine mineralische Abdichtung eher ungeeignet, weil diese durch Wurzeln, Rhizomen und Wühltiere undicht werden kann. Für solche Anlagen sollten daher eine GTD oder KDB verwendet werden. Im Allgemeinen gilt eine KDB als wurzel- und rhizomfest und ist damit am besten geeignet, wenn eine hohe Dichtigkeit erforderlich ist. Wichtig ist, dass die Dichtung generell einen Durchlässigkeitsbeiwert ( $k_f$ -Wert) von  $\leq 10^{-8}$  m/s einhält. GTD und KDB müssen beidseitig gegenüber Beschädigungen geschützt werden. Meist erfolgt dies mittels mineralischer Materialien wie Kies und Sand in Form einer Dichtungsschutzschicht. Auch mineralische Abdichtungen müssen mit einer Dichtungsschutzschicht überdeckt werden. Diese muss im Allgemeinen eine Mindestdicke von 0,3 m aufweisen und kann bei der Verwendung von KDB auf 0,15 m verringert werden. Die KDB selbst muss eine Mindest-Nennstärke von  $\geq 2$  mm aufweisen und kann alternativ mit einer Geotextil-Vliesstofflage aus Polypropylen (PP)- oder PE-Fasermaterial geschützt werden. Der über der Schutzschicht liegende Oberboden muss eine ausreichende Mächtigkeit aufweisen, um die Dichtungsschutzschicht und die Dichtung selbst von den Wurzeln der angesiedelten Vegetation zu schützen. Die Mächtigkeit des Oberbodens ist abhängig von der Art der Vegetation. Bei Rasen wird eine Mächtigkeit von 0,1 m benötigt und bei Schilf von 0,4 m. Erfolgt eine mineralische Abdichtung, muss diese bei einlagigem Einbau eine Mächtigkeit von mindestens 0,2 m aufweisen. Oberhalb der mineralischen Dichtung wird eine Dichtungsschutzschicht von 0,3 m aufgetragen und darüber der Oberboden. Möglich ist die Anwendung einer mineralischen Dichtung nur, wenn der vorliegende Grundwasserspiegel stets unterhalb der Beckensohle liegt.

Eine Durchdringung der Abdichtung von RRB mit Rohrleitungen ist möglich, sollte aber nach Möglichkeit vermieden werden. Die Durchdringung der verschiedenen Arten von Abdichtungen

bei RRB ist genau gleich wie bei den RBF. Anforderungen an die Durchdringung können somit dem vorhergegangenen Abschnitt zu den RBF entnommen werden.

Bei RRB ist ebenfalls wie bei RBF die Einhaltung des Freibords nach DWA-A 176 erforderlich. Die minimale Freibordhöhe beträgt bei einer vorliegenden Dichtungsbahn 0,5 – 0,65 m und bei einer mineralischen Abdichtung 0,65 m.

Ein weiteres Kriterium bei der Erstellung von Erdbecken ist der vorliegende Grundwasserstand. Liegt dieser unterhalb der Beckensohle, sind keine Maßnahmen erforderlich. Sollte der Grundwasserstand oberhalb der Beckensohle liegen, sind Maßnahmen gemäß DWA-A 176 zu ergreifen. Während der Bauphase kann das GW, falls nötig, mit Grundwasserabsenkungen von der Abdichtung ferngehalten werden. Um während des Betriebs eine Auftriebssicherheit zu gewährleisten, kann der Schutzschicht der Sohle eine Auflastschicht oder Grundwasserdränage hinzugefügt werden.

RRB haben generell eine gute Retentionswirkung. Zudem kann die Regenwasserbewirtschaftung mithilfe dieser Anlage besser kontrolliert werden. Nachteilig sind jedoch der hohe Flächenbedarf und die sehr geringe Reinigungsleistung. Wenn das Becken nach Regenereignissen gefüllt ist, muss sichergestellt sein, dass von ihm keine Gefahr für die Umwelt wie z. B. spielende Kinder ausgeht. So kann eventuell eine Einfriedung erforderlich sein (Geiger & Dreiseitl et al., 2010).

### **Filtermulde**

Filtermulden sind Anlagen, die ausschließlich dem Rückhalt von Oberflächenwasser dienen. Eine Filtermulde ist eine Muldenrigole, die zusätzlich mit einer Dränage ausgestattet ist. Das Mulden-Rigolen-Element ist nach unten abgedichtet und das in der Anlage anfallende Niederschlagswasser wird gedrosselt in einen Kontrollschacht abgeleitet, nachdem es durch die Bodenpassage versickert ist. Die Filtermulde erfüllt somit eine gewisse Retentionsfunktion und durch die Versickerung über die obere Bodenzone auch eine sehr gute biologische Reinigungsfunktion. Der Aufbau einer Filtermulde ist in Abb. 10 dargestellt (Geiger & Dreiseitl et al., 2010).

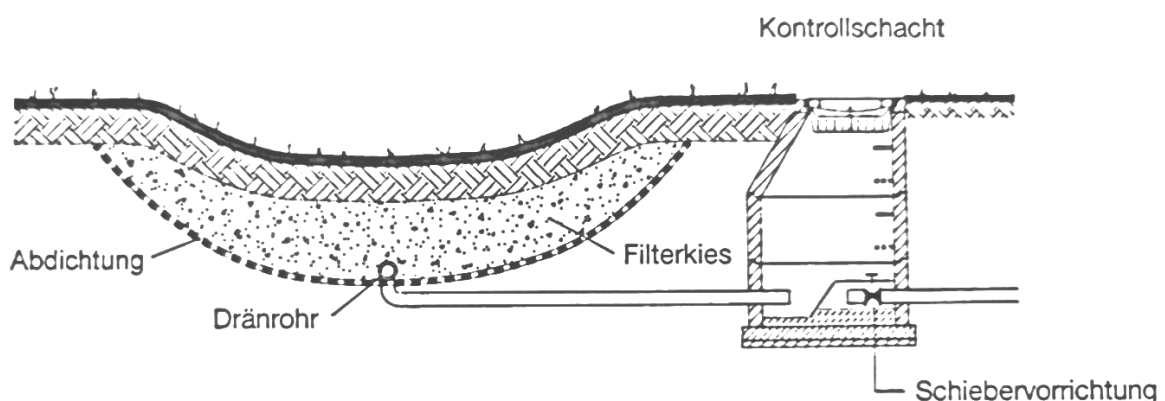


Abb. 10: Aufbau einer Filtermulde (Geiger & Dreiseitl et al., 2010)

Die Einstauhöhe einer Filtermulde beträgt  $\leq 0,3$  m, während die Mächtigkeit der belebten Bodenschicht zwischen 0,2 m und 0,3 m liegen sollte. Durch die biologische Reinigung kann belastetes Wasser vorgereinigt werden. Dies bedeutet, dass eine Filtermulde unabhängig von der Bodendurchlässigkeit und den anfallenden Kontaminationen angewendet werden kann. Anschließend kann das Wasser in ein Gewässer oder in eine unterirdische Versickerungsanlage eingeleitet werden. Nachteilig ist, dass eine direkte Versickerung über die Filtermulde nicht möglich ist. Zudem kann es zum Missbrauch der Filtermulde kommen, indem sie illegal mit Unrat oder Gartenabfällen gefüllt wird. Vorteilhaft ist jedoch, dass sich Filtermulden sehr gut in bestehende Grünflächen integrieren lassen. Sie sollte ein ausgerundetes Profil aufweisen und die Böschung sollte eine Steigung von 1:2 nicht überschreiten (Geiger & Dreiseitl et al., 2010).

### **3.3 Versickerungsanlagen**

#### **Definition von Versickerungsanlagen**

Versickerungsanlagen dienen ausschließlich der Versickerung von Niederschlagswasser und Abwasser gemäß § 54 Abs. 1 Nr. 2 WHG. Diese Anlagen sind somit nicht für Schmutzwasser aus dem MS geeignet. Sobald eine Versickerung erfolgt, wird die Fläche bzw. der Boden rechtlich als Versickerungsanlage betrachtet, welche gemäß §§ 57 und 60 des WHG als Abwasseranlagen einzustufen sind. Gemäß DWA-A 138-1 wird zwischen zentralen und dezentralen Versickerungsanlagen unterschieden. Dezentrale Anlagen sind so angeordnet, dass sie sich in unmittelbarer Nähe der zu entwässernden Fläche befinden. Zentrale Versickerungsanlagen werden dementsprechend so angeordnet, dass sich Niederschlagsabflüsse von verschiedenen Grundstücken auf ihr versickern lassen. Innerhalb dieser Arbeit werden auch dezentrale Versickerungsanlagen betrachtet, da deren Installation auf öffentlichen Grünflächen interessant sein könnte, wenn nur wenig Platz zur Verfügung steht.

Es gibt verschiedene Varianten von Versickerungsanlagen, die in Siedlungsgebieten integriert werden können, welche im DWA-A 138-1 beschrieben werden. Diese tragen in unterschiedlichem Maße zur Versickerung, Speicherung und Ableitung von Niederschlagswasser bei. Die Abb. 11 stellt eine Zusammenfassung möglicher Versickerungsanlagen und deren Systemeigenschaften dar.

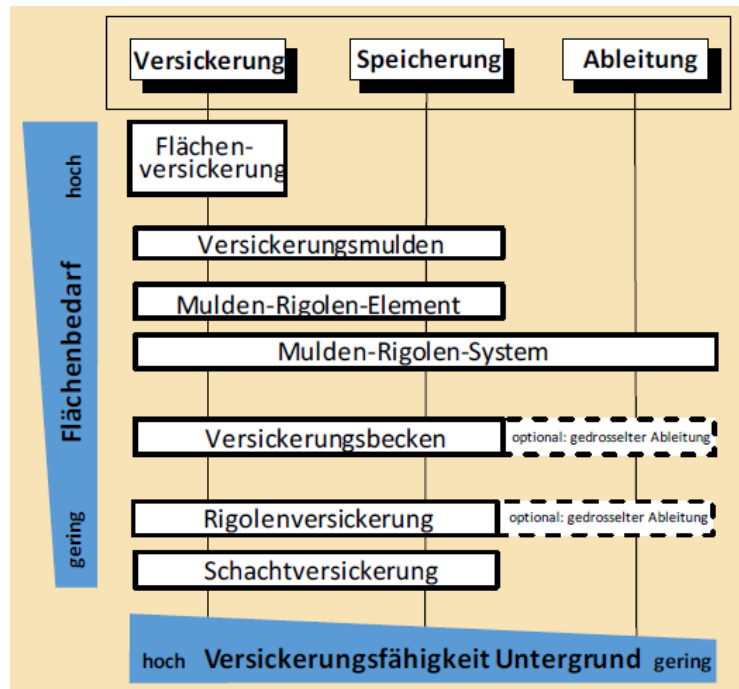


Abb. 11: Versickerungsanlagen und deren Systemeigenschaften aus dem DWA-A 138-1

Die Schachtversickerung wird im weiteren Verlauf nicht weiter betrachtet, weil der Anwendungsbereich hauptsächlich bei Einzelobjekten liegt (Geiger & Dreiseitl et al., 2010). Ein weiterer wesentlicher Aspekt bei der Errichtung von Versickerungsanlagen ist die Planung des Auffangens, des Zuleitens sowie des Einlaufs des Niederschlagswassers. Die Umsetzung kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. An dieser Stelle erfolgt keine weitere Vertiefung, da die genaue Betrachtung Teil einer Detailplanung wäre.

### **Technische Anforderungen an Versickerungsanlagen**

Der Boden der Versickerungsanlage fungiert gemäß DWA-A 138-1 als Schadstoffsinke. Deshalb müssen Anforderungen an den Betrieb, die Wartung, die Überwachung und die fachgerechte Entsorgung eingehalten werden. Es kann zu Schadstoffansammlungen kommen, die jedoch das GW im Sickerraum nicht beeinträchtigen dürfen. Die einzuhaltenden Grenzwerte, welche eine negative Auswirkung auf das GW vermeiden sollen, sind in der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser angegeben.

In den Wasserschutzgebiet Verordnungen (WSG-VO) für Blumenthal und Vegesack in Bremen ist festgehalten, ob eine Versickerung möglich ist. Das Versickern von Wasser von Verkehrsflächen oder ähnlichen wie z. B. Hofflächen ist in beiden WSG über die belebte Bodenzone in der Wasserschutzzone II nicht erlaubt. Die Versickerung des Wassers in den Zonen III a und III b über die belebte Bodenzone ist nicht verboten, jedoch genehmigungspflichtig. Des Weiteren können in den Zonen III a und III b weitere Beschränkungen greifen. Weitere Einschränkungen für die Errichtung von Versickerungsanlagen in WSG sind laut DWA-A 138-1 in dem Arbeitsblatt DVGW W 101 und



der Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wassergewinnungsgebieten (RiStWag) festgehalten.

Im Falle einer geplanten Versickerung von bspw. Anlieferungs- und Verladungsflächen sowie ähnlichen Flächengruppen ist laut DWA-A 138-1 eine Abstimmung mit den zuständigen Behörden erforderlich. Auch wenn die Versickerung über eine bewachsene Bodenzone erfolgt.

Des Weiteren ist im Vorhinein sicherzustellen, dass auf der Fläche keine Altlasten oder geogenen Stoffanreicherungen mit hohem Freisetzungspotenzial vorliegen. Sollte dies der Fall sein, ist stets ein ausreichender Abstand einzuhalten. Eine Mobilisation der Altlasten muss vermieden werden, wobei besonders der horizontale Mindestabstand zur Versickerung von Bedeutung ist. Der erforderliche Abstand muss nach DWA-A 138-1 im Einzelfall bestimmt werden, da er von der vorliegenden Hydrologie abhängig ist.

Die Prüfung, ob das anfallende Wasser versickert werden darf, erfordert eine Bewertung anhand von Belastungskategorien, die im DWA-A 138-1 definiert sind. Niederschläge, die direkt auf die belebte Bodenzone fallen, können dort aus Sicht der stofflichen Belastung ohne Bedenken versickert werden. Durch den Kontakt des Niederschlagswassers mit bebauten oder befestigten Flächen kann es zu einer Verunreinigung kommen. Die Einteilung erfolgt in die Belastungskategorien I (gering belastetes Niederschlagswasser); II (mäßig belastetes Niederschlagswasser) und III (stark belastetes Niederschlagswasser).

Sofern für die jeweiligen Versickerungsanlagen anderweitige Materialien verwendet werden müssen, ist sicherzustellen, dass diese keine negativen Auswirkungen auf das Sicker- oder GW haben. Dies ist ebenfalls in dem DWA-A 138-1 festgehalten.

Eine Versickerung ist nur dann technisch möglich, wenn der Boden der Versickerungsanlage bestimmte Eigenschaften gemäß DWA-A 138-1 aufweist. Eine bedeutende Eigenschaft ist der  $k_f$ -Wert. Wenn keine anderweitigen Ableitungsmöglichkeiten vorliegen, sollte der Boden einen  $k_f$ -Wert zwischen  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s und  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s aufweisen. Bei einem geringeren  $k_f$ -Wert als  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s ist zu prüfen, ob eine zusätzliche Ableitungsmöglichkeit benötigt wird. Sollte ein  $k_f$ -Wert über  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s vorliegen, muss geprüft werden, ob der vorliegende Stoffrückhalt ausreichend ist, oder ob zusätzliche Maßnahmen erforderlich sind. Der Boden der Versickerungsanlage weist zusätzlich eine Behandlungsleistung auf, wobei sich die Filtrationseigenschaften je nach Körnung des Bodens ändern. Die Filtrationseigenschaften sind besonders von Bedeutung, wenn das Wasser durch partikuläre Stoffe belastet ist, da sie eine Rückhaltung dieser Stoffe ermöglichen. Wenn das Wasser hauptsächlich durch gelöste Stoffe belastet ist, die durch den vorliegenden Boden zurückgehalten werden sollen, müssen Parameter wie Humus-, Ton-, und Schluffanteil sowie der pH-Wert betrachtet werden. Wichtig ist, dass bei einer Versickerung von gesammeltem Niederschlagswasser immer die höchsten Anforderungen an die kritische vorliegende Fläche eingehalten werden müssen.

Bei allen Versickerungsanlagen sind bestimmte Abstände, wie im DWA-A 138-1 definiert, einzuhalten. Dies betrifft den Abstand von der Sohle der Versickerungsanlage bis zum GW. Als Referenzwert wird hier der mittlere höchste Grundwasserstand (MHGW) verwendet. Es muss immer ein Abstand von  $\geq 1$  m zwischen der Sohle der Versickerungsanlage und dem MHGW vorliegen. Bei einer geringen stofflichen Belastung des dort zu versickernden Wassers, kann der Abstand auf  $\geq 0,5$  m verringert werden. Bei einem Abstand von unter 0,5 m ist eine Versickerung nicht möglich und eine direkte Einleitung des Niederschlagswassers in das GW unzulässig.

Alle Versickerungsanlagen müssen einen festgelegten Abstand zu Gebäuden und Grenzen aufweisen. Diese werden im Folgenden beschrieben und sind ebenfalls im DWA-A 138-1 beschrieben. Der Abstand von dezentralen Anlagen zu Gebäuden ist abhängig von Art und Tiefe der Unterkellerung eines Gebäudes sowie der Grundwasseroberfläche. Solange die bautechnischen Grundsätze eingehalten werden, ist mit einer wasserdruckhaltenden Abdichtung der Abstand zwischen Versickerungsanlage und Gebäude unkritisch. Versickerungsanlagen dürfen bei Gebäuden ohne wasserdruckhaltende Abdichtung nicht im Verfüllungsbereich des Gebäudes errichtet werden. Sollte eine Unterkellerung vorliegen, die nicht wasserdicht errichtet wurde, muss ein Abstand zwischen Versickerungsanlage und Baugrubenfußpunkt von mindestens dem 1,5-fachen der Baugrubentiefe vorliegen. Dies ist in Abb. 12 dargestellt. Für Gebäude ohne Unterkellerung gilt der gleiche Mindestabstand, wobei für die Berechnung die Tiefe des Fundamentes anstatt die der Baugrube herangezogen wird. Zudem ist zur Sicherung des Verfüllungsbereichs der Baugrube durch Sickerwasser ein Abstand von mindestens 0,5 m zwischen Verfüllungsbereich und Versickerungsanlage erforderlich.

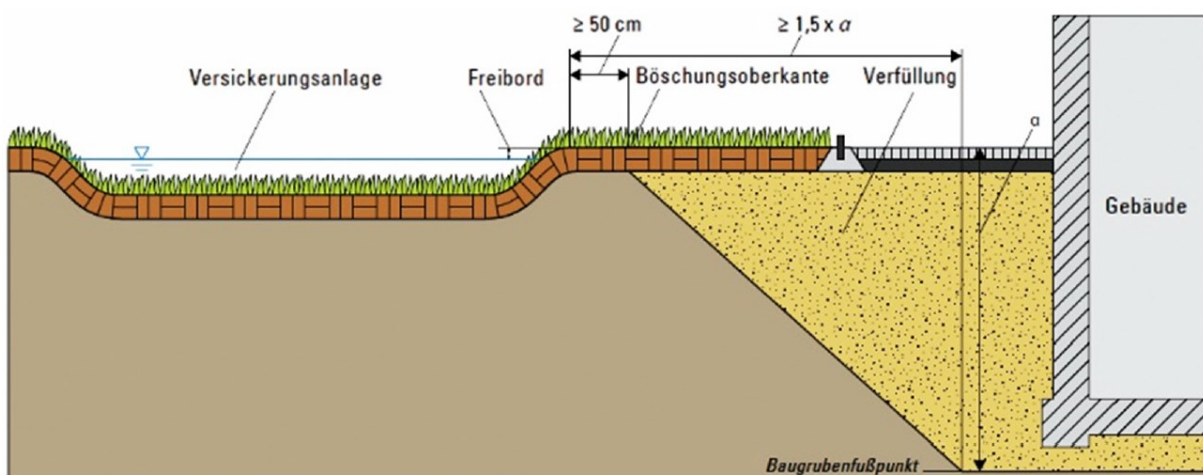


Abb. 12: Einzuhaltender Abstand dezentraler Versickerungsanlagen zu Gebäuden ohne wasserdruckhaltende Abdichtung aus dem DWA-A 138-1

Auch bei zentralen Versickerungsanlagen ist ein Mindestabstand zu Bebauungen einzuhalten. Dieser muss mindestens die Größe der mittleren Beckenbreite aufweisen. Zusätzlich ist der Abstand zwischen Versickerungsanlage und Grundstücksgrenze zu berücksichtigen.

Essenziell ist, dass das Nachbargrundstück sowie jegliche Bebauungen nicht beeinträchtigt werden. Dafür ist eine Einzelfallbetrachtung erforderlich, da der Abstand von den örtlichen Gegebenheiten der Hydrogeologie und der Topografie abhängt. Die Sickerwege des Niederschlagswassers von der Versickerungsanlage aus dürfen sich nicht mit den Lastausbreitungen der umliegenden Fundamente überschneiden und zudem auch nicht in dem Bereich von Medienleitungen verlaufen. Dies ist auch im DWA-A 138-1 festgehalten.

Sowie die Installation von EWS und Retentionsanlagen nicht im Wurzelbereich von Bäumen erfolgen darf, ist dies auch bei Versickerungsanlagen nicht gestattet. Somit ergibt sich erneut ein Abstand aus der Kronentraufe zuzüglich 1,5 m zu jeder Seite, gemäß DIN 18920.

Zudem darf die Fläche, auf der eine Versickerungsanlage errichtet werden soll, gemäß DWA-A 138-1, nicht zu stark geneigt sein, diesbezüglich ist die Topografie zu betrachten. Aus bautechnischer und betrieblicher Sicht ist eine Steigung der Böschung von 1:3 ausreichend. Je flacher die Böschung, desto einfacher ist die Integration der Versickerungsanlage auf einer Grünfläche und auch die Unterhaltungsarbeiten werden erleichtert.

Um sicherzustellen, dass von einer Versickerungsanlage kein Gefahrenpotenzial ausgeht, müssen bestimmte Sicherheitsanforderungen eingehalten werden. Wenn die Versickerungsanlage in einem unmittelbaren Wohnumfeld liegt, sollte versucht werden, starke Strömungen in der Versickerungsanlage sowie Wassertiefen über 0,4 m zu vermeiden. Diese beiden Eigenschaften treten hauptsächlich in zentralen Versickerungsanlagen auf und können oftmals durch oberirdische, offene oder breitflächige Zuleitungen vermieden werden. Ist eine Vermeidung nicht möglich, ist der Bereich der Versickerungsanlage so zu gestalten, dass er nicht zugänglich ist. Die Sicherheitsanforderungen sind ebenfalls im DWA-A 138-1 beschrieben.

### **Muldenversickerung**

Bei der Muldenversickerung wird das Niederschlagswasser an der Oberfläche zwischengespeichert und über eine flache bewachsene Bodenzone versickert, wie im DWA-A 138-1 beschrieben. Mulden weisen eine gute Retentionswirkung auf und aufgrund der Versickerung über die belebte Bodenzone auch eine sehr gute biologische Reinigungsleistung. Die qualitativen Anforderungen an das sich in der Anlage ansammelnde Niederschlagswasser sind aufgrund dessen eher gering. Zudem können Retentions- und Reinigungsanlagen vorgeschaltet werden, falls dies notwendig ist (Geiger & Dreiseitl et al., 2010). Der Aufbau einer Mulde ist Abb. 13 zu entnehmen.

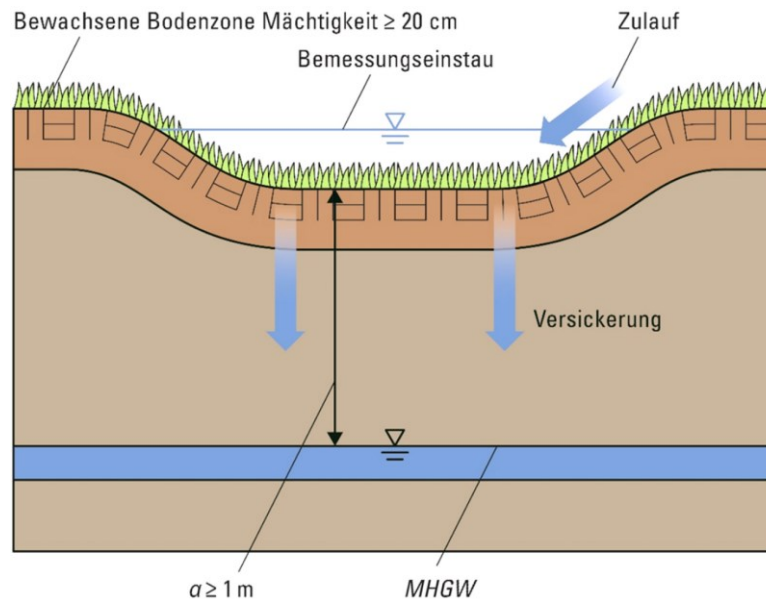


Abb. 13: Längsschnitt einer Mulde aus dem DWA-A 138-1

Die Entleerung einer Mulde erfolgt über die Versickerung und Verdunstung (Sieker & Kaiser et al., 2006). Die Anwendung ist also nur möglich, wenn der Untergrund eine ausreichende Durchlässigkeit aufweist. Der  $k_f$ -Wert des Bodens einer Mulde darf somit nicht niedriger als  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s sein (Geiger & Dreiseitl et al., 2010). Der Zufluss bzw. die Zuleitung zur Mulde wird oberirdisch und breitflächig ausgeführt (Resch & Schatz, 2020). Am einfachsten ist die Beschickung über eine Muldenkante. Wichtig ist zudem, den Bewuchs der Mulde gut zu erhalten, um eine Verschlickung oder Verdichtung zu vermeiden (Geiger & Dreiseitl et al., 2010). Eine Einstaudauer von über 24 h sollte somit verhindert werden, um den Bewuchs und die Durchlüftung des Oberflächenbodens zu erhalten (Sieker & Kaiser et al., 2006). Zudem ist eine intensive Nutzung der Muldenfläche bspw. als Spielfläche zu vermeiden, um eine Verdichtung des Bodens zu verhindern. Generell sind Mulden aber gut und vielfältig auf Grünflächen zu integrieren und können flexibel gestaltet werden. Um die Sicherheit der Bevölkerung, insbesondere von Kindern zu gewährleisten, darf die Einstauhöhe einer Mulde, wenn sie offen zugänglich ist, maximal 0,3 m betragen. Mindestens sollte jedoch eine Muldentiefe von 0,1 m vorliegen. Die Böschungsneigung darf bei einer Mulde maximal 1:2 betragen, wodurch der Flächenbedarf der Anlage im Gegensatz zum Versickerungsbecken steigt. Generell wird damit geplant, dass die Mulde ungefähr 15 – 30 % der angeschlossenen befestigten Fläche benötigt. Die Mulde gilt als wartungsarm und der technische Aufwand, der mit der Planung und Errichtung einhergeht, ist gering (Geiger & Dreiseitl et al., 2010).

### **Beckenversickerung**

Bei einer Beckenversickerung handelt es sich um ein humusiertes Becken, in dem eine Flächenversickerung über die belebte Bodenzone erfolgt. Sie haben eine gute Retentions- sowie Reinigungswirkung. Das Wasser sickert vom Becken aus direkt durch den vorliegenden Boden oder wird zusätzlich über eine Deckschicht gefiltert. Vor der Versickerung kann das

Wasser in dem Retentionsraum des Beckens zwischengespeichert werden, wie es in Abb. 14 dargestellt ist (Geiger & Dreiseitl et al., 2010).

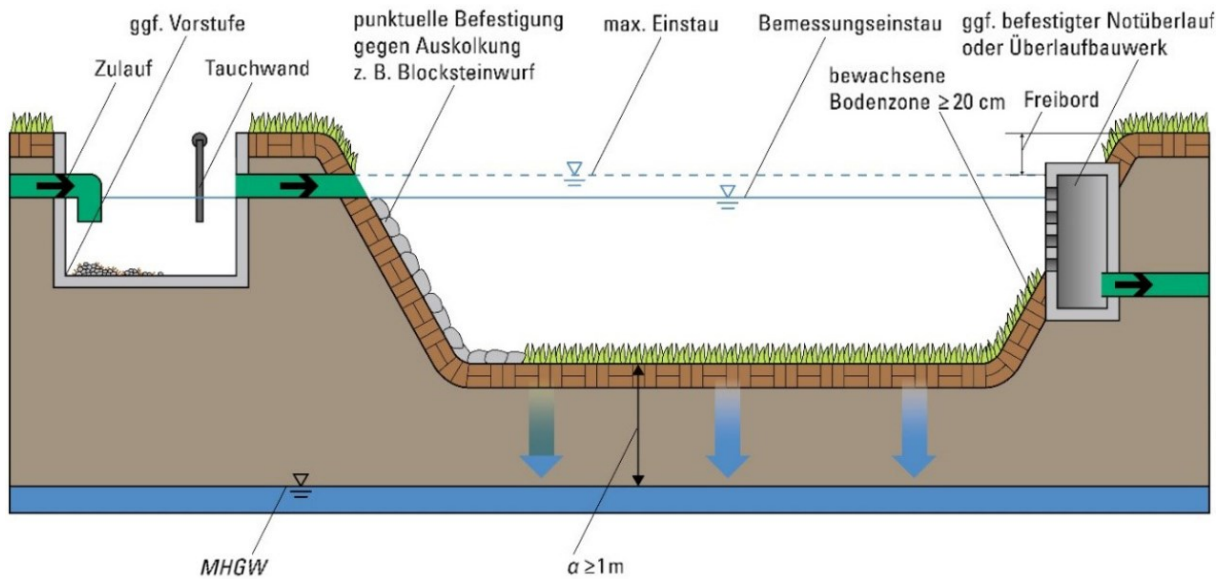


Abb. 14: Beispielhafte Darstellung eines Versickerungsbeckens aus dem DWA-A 138-1

Versickerungsbecken weisen im Allgemeinen eine tiefere Einstauebene und eine steilere Böschungsneigung auf als Mulden. Die Einstauhöhe beträgt nach DWA-A 138-1 mindestens 0,5 m. Zudem muss ein Freibord von  $\geq 0,35$  m vorliegen. Beide Eigenschaften werden den örtlichen Gegebenheiten angepasst. Aufgrund der steileren Böschungsneigung sowie der tieferen Einstauebene ist eine Einfriedung erforderlich, um die Sicherheit des Umfelds zu gewährleisten. Für die Reinigung muss eine Rampe eingebaut werden und die Wartung der Anlage ist aufgrund der offenen Bauweise leichter (Geiger & Dreiseitl et al., 2010)

Des Weiteren sind sie mit einem Überlauf ausgestattet, der das gesammelte Wasser in ein Gewässer oder eine Kanalisation einleiten kann. Um eine höhere Reinigung des Wassers zu erlangen, kann eine Reinigungsanlage oder Mulde vorgeschaltet werden. Die Beckenversickerung kann durch einen integrierten Absetzbereich, ein vorgeschaltetes Absetzbecken oder mögliche Bereiche des Beckens im Dauerstau einen längeren Einstau von Niederschlagswasser ermöglichen. Durch die mögliche vielfältige Bepflanzung und Gestaltung des Versickerungsbeckens kann es zudem sehr gut in Landschaften integriert werden (Geiger & Dreiseitl et al., 2010).

Für das Versickerungsbecken sollte ein  $k_f$ -Wert von  $\geq 1 \cdot 10^{-5}$  m/s vorliegen. Es ist zu beachten, dass der  $k_f$ -Wert größer sein muss als  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s, um das GW zu schützen. Zudem darf aufgrund des Grundwasserschutzes der Abstand zwischen Beckensohle und Grundwasseroberfläche nicht unter 1 m liegen (Sieker & Kaiser et al., 2006). Die Beckenversickerung weist einen geringeren Flächenbedarf auf als eine Versickerungsmulde. Generell benötigt das Versickerungsbecken ungefähr 5 – 15 % der angeschlossenen befestigten Fläche. Die Anwendung dieser Anlage bietet sich also besonders bei großen

Einzugsgebieten ab einer Größe von ungefähr 1 ha an, sowie bei einem begrenztem Flächenangebot und geeigneter Topografie. Zudem eignet sie sich gut für die Entwässerung von frequentierten Straßen (Geiger & Dreiseitl et al., 2010). Es ist zu beachten, dass von dem Becken aus ein Abstand von mindestens der Hälfte der Beckengröße, zu Bebauungen eingehalten werden muss (Sieker & Kaiser et al., 2006).

### **Abgesenkte Platzfläche**

Eine abgesenkte Platzfläche kann mit und ohne die Funktion der Versickerung ausgeführt werden. Es handelt sich um eine tiefer gelegene Platzfläche, die temporär bei Starkregenereignissen als Retentionsfläche dient. Das Wasser, welches sich während des Regenereignisses auf der Fläche ansammelt (Abb. 15), kann von dort aus versickert, abgepumpt oder gedrosselt in die Kanalisation geleitet werden. Betrachtet wird in diesem Falle eine abgesenkte Platzfläche mit einer wasserdurchlässigen Oberfläche. Der Grund ist, dass in dieser Arbeit öffentliche Grünflächen betrachtet werden und diese nicht weiter versiegelt werden sollen. Aufgrund der vorliegenden Versickerung bei einer abgesenkten Platzfläche mit wasserdurchlässiger Oberfläche und der Verdunstung wird der natürliche Wasserkreislauf gestärkt (MUST & DAHLEM, 2017).

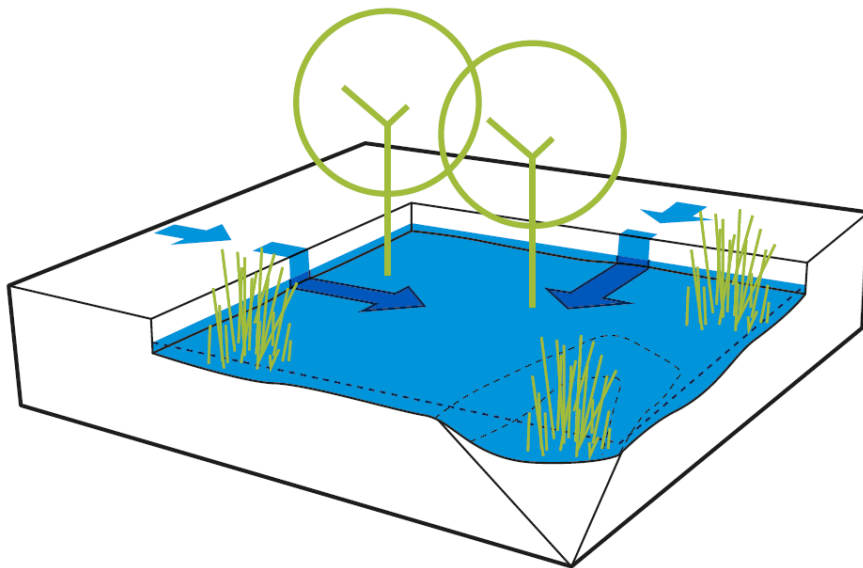


Abb. 15: Darstellung einer abgesenkten Platzfläche (MUST & DAHLEM, 2017)

Damit die abgesenkte Platzfläche in der Zeit, in der keine temporäre Einstauung nötig ist, als bspw. Spiel- oder Erholungsfläche genutzt werden kann, sollte die Entleerungszeit der Platzfläche möglichst unter 24 h gehalten werden (MUST & DAHLEM, 2017). Der prinzipielle Aufbau einer abgesenkten Platzfläche mit wasserdurchlässiger Oberfläche ähnelt dem einer Mulde bzw. einer Beckenversickerung. Es muss ein Oberboden mit einer Mächtigkeit von 0,2 m vorliegen und der Abstand zwischen Sohle der Platzfläche und dem MHGW muss mindestens 1 m betragen. Der Boden selbst muss einen  $k_f$ -Wert von  $\geq 1 \cdot 10^{-6}$  aufweisen, gemäß DWA-A 138-1. Bei der abgesenkten Platzfläche ist zusätzlich eine Ableitung des

Wassers möglich, um eine kürzere Einstaudauer zu erzielen. Die Einstauhöhe einer abgesenkten Platzfläche kann ebenfalls höher sein als bei einer Mulde. In einem Entwurfsbeispiel der Stadt Köln wird beschrieben, dass eine Absenkung der Fläche um 0,5 m möglich ist. Zudem müssen die Böschungen keine bestimmte Steigung aufweisen. Zu beachten ist bei der Planung und Gestaltung einer solchen Fläche die Barrierefreiheit der Fläche durch bspw. eine Rampe und die Sicherheit des Umfeldes (MUST & DAHLEM, 2017).

### Rigolenversickerung

Eine weitere Möglichkeit stellt die Rigolenversickerung mit einer punktuellen oder flächigen Zuleitung dar (Geiger & Dreiseitl et al., 2010). Im Gegensatz zur Muldenversickerung handelt es sich laut DWA-A 138-1 um eine unterirdische Versickerungsart, bestehend aus einem unterirdischen Speicher mit speicherfähigem Material. Der Speicher kann aus Kies-, Lavapackungen oder Wabenkunststoffkörpern bestehen. Er soll eine große aktive Versickerungsfläche aufweisen sowie ein gutes Retentionsvermögen (Geiger & Dreiseitl et al., 2010). Der Rigolenfüllkörper muss von einem Geotextil umgeben werden (Sieker & Kaiser et al., 2006). Eine beispielhafte Darstellung ist der Abb. 16 zu entnehmen.

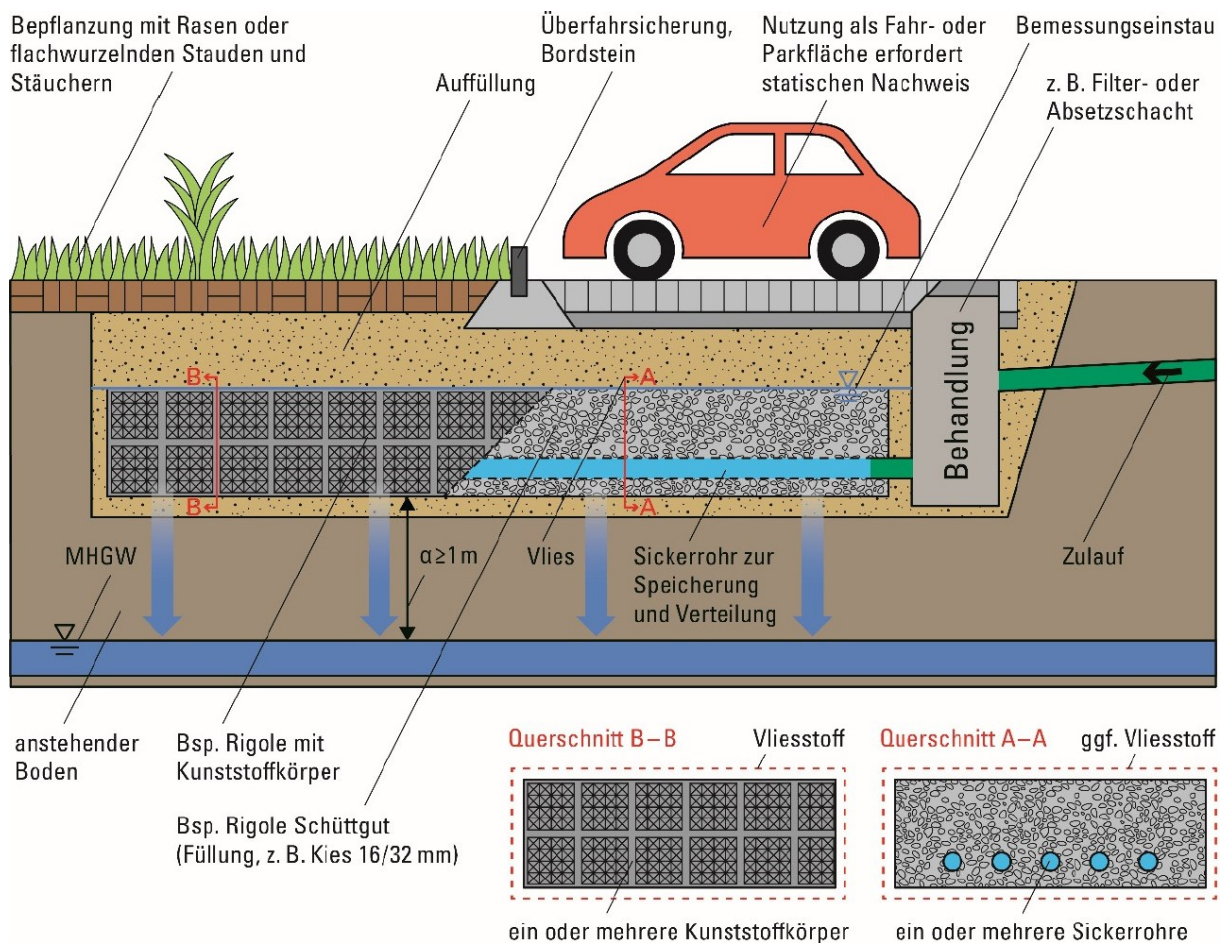


Abb. 16: Darstellung einer Rigole aus dem DWA-A 138-1

Rigolen können gut dort eingesetzt werden, wo oben mäßig durchlässige Bodenverhältnisse vorliegen und darunter eine gut durchlässige Bodenschicht vorhanden ist (DWA, 2006). Ein

weiterer Anwendungsbereich liegt vor, wenn nicht genügend Fläche für eine oberirdische Versickerung zur Verfügung steht, da sie mit leichten Bebauungen überdeckt werden können. Somit ist der oberirdische Flächenbedarf der Rigole sehr gering. Bei der Planung der Anlage ist zu berücksichtigen, dass sie in frostfreier Tiefe errichtet wird. Die Ausführung der Zuleitung hat Einfluss auf die Reinigungsleistung. Bei einer offenen und unterirdischen Zuleitung, wo keine belebte Bodenzone passiert werden muss, ist die Reinigungsleistung sehr gering. Deshalb muss in diesem Falle eine Reinigungsanlage vorgeschaltet werden. Bei einer Zuleitung über eine belebte Bodenzone ist keine vorgeschaltete Reinigungsanlage notwendig (Geiger & Dreiseitl et al., 2010). Die Ausführung einer Rigole kann nach DWA-A 138-1 linien- und flächenförmig erfolgen.

Zwischen der Rigole und Bäumen muss ein Abstand von mindestens der Hälfte des möglichen Kronendurchmessers vorliegen. Dies ist in der DWA-A 138-1 definiert. Damit eine Versickerung über eine Rigole möglich ist, muss der Boden einen deutlich größeren  $k_f$ -Wert als  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s aufweisen. Die Länge sowie der Querschnitt der Rigole sind voneinander abhängig und den örtlichen Gegebenheiten anzupassen (Geiger & Dreiseitl et al., 2010). Der Rigolenfüllkörper muss von einem Geotextil umgeben werden. Hierfür werden mechanisch verfestigte Vliesstoffe verwendet, die besondere Anforderungen erfüllen müssen. An allen Stößen muss das Geotextil mindestens 50 cm überlappen und eine Dicke von 2 mm aufweisen (Sieker & Kaiser et al., 2006).

Die Füllung der Rigole kann auf verschiedene Weise erfolgen. Rigolen aus Kunststoffkörpern sollten dabei ein Porenvolumen von 95 % aufweisen. Es ist auch eine Füllung mit natürlichen Materialien wie Lava, Schotter und Grobkies möglich (Geiger & Dreiseitl et al., 2010). Das gängigste Füllmaterial ist Kies. Dieser sollte eine Körnung von 16/32 sowie einen Porenraum von 30 % aufweisen. Alternativ können auch grobkörnige Kiese mit Körnungen von 8/16 verwendet werden, wobei auch hier ein Porenraum von 28 – 30 % gewährleistet sein muss. Ein weiteres Füllmaterial ist Lava. Lava weist mit 50 % eine höhere Speicherkapazität auf als Kies. Dadurch wird ein geringeres Füllstoffvolumen benötigt, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Kosten für Lava höher sind als für Kies. Aufgrund des geringeren Volumens an Lava muss weniger Boden ausgehoben werden. So fällt weniger Bodenaushub an, und es wird weniger Geotextil für die Ummantelung der Rigole benötigt. Neben natürlichen Füllmaterialien können auch Kunststoffkörper verwendet werden. Diese weisen eine Speicherkapazität von 95 % auf und bestehen aus dem Kunststoff PP. Durch die höhere Speicherkapazität verringert sich die Größe des Volumens im Vergleich zu einer Rigole aus Kies oder Lava. Dadurch fällt noch weniger Bodenaushub an. Dies führt zu einer Reduktion der Kosten, allerdings sind die Kosten des Kunststoffmaterials höher (Sieker & Kaiser et al., 2006).



## Mulden-Rigolen-Versickerung

Zudem ist eine Kombination von Mulden und Rigolen möglich. Bei einer Mulden-Rigolen-Versickerung handelt es sich um eine Rigole unterhalb oder seitlich einer Mulde. Sie weist durch die Versickerung über eine belebte Bodenzone eine sehr gute biologische Reinigung auf, da besonders gelöste und ungelöste Stoffe zurückgehalten werden (Geiger & Dreiseitl et al., 2010). Die Beschickung der Rigole kann über die Versickerung des Niederschlagswassers über die belebte Bodenzone oder dem Überlauf der Mulde erfolgen, wie in Abb. 17 dargestellt (Sieker & Kaiser et al., 2006).

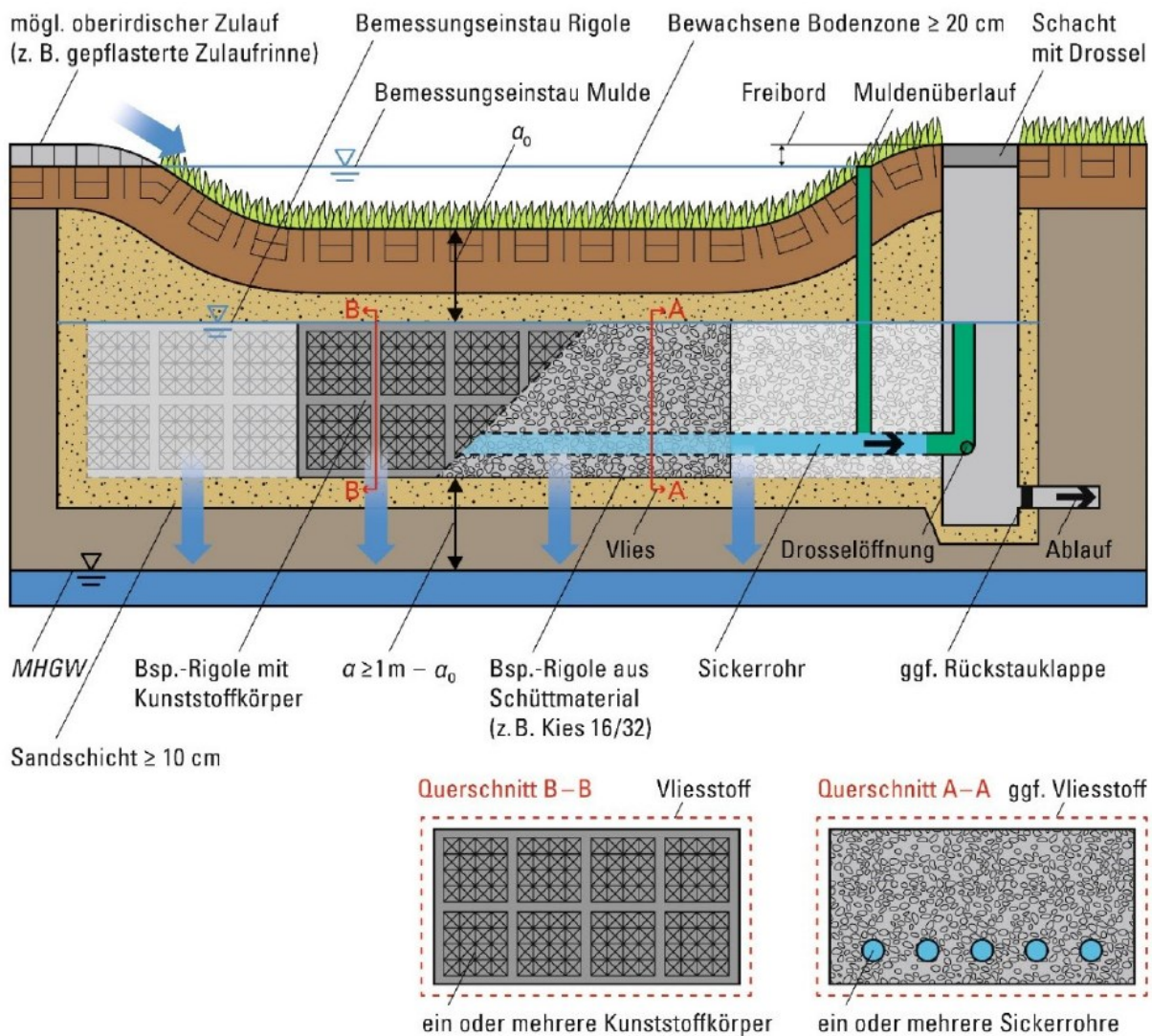


Abb. 17: Darstellung einer Mulden-Rigolen-Versickerung aus dem DWA-A 138-1

Der Muldenüberlauf kommt zur Anwendung, wenn die Mulde bis zum Überlauf gefüllt ist. Das Niederschlagswasser fließt dann ohne Versickerung über die belebte Bodenzone direkt in die Rigole. Es sollte versucht werden, möglichst viel über die Mulde in die Rigole versickern zu lassen und so selten wie möglich den Muldenüberlauf zu nutzen. Als Maßstab soll pro Jahr weniger als 5 % über den Muldenüberlauf der Rigole zugeführt werden. Denn durch einen selteneren Einsatz des Muldenüberlaufs kommt es zu einem niedrigeren Schmutzeintrag in

den Boden und das GW. Der Ablauf der Rigole setzt sich aus der Versickerung der Rigole, des Drosselabflusses und des Rigolenüberlaufs zusammen (Sieker & Kaiser et al., 2006).

Bei einer Mulden-Rigolen-Versickerung wird nach DWA-A 138-1 zwischen Mulden-Rigolen-Elementen und Mulden-Rigolen-Systemen unterschieden. Mit der Differenzierung, dass bei einem Mulden-Rigolen-System nicht nur eine Versickerung, sondern zusätzlich eine Ableitung des Wassers erfolgt.

Aufgrund der Rigole muss zu Bäumen ein Abstand eingehalten werden, der gemäß DWA-A 138-1 mindestens die Hälfte des möglichen Kronendurchmessers beträgt. Der Abstand zwischen Mulden-Rigolen und Gebäuden sollte mindestens 5 m betragen (Sieker & Kaiser et al., 2006).

Die Mulden-Rigolen-Versickerung muss über eine belebte Bodenzone erfolgen, die mindestens einen  $k_f$ -Wert von  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s aufweist (Geiger & Dreiseitl et al., 2010). Besonders bei einem Mulden-Rigolen-Element, also wo eine vollständige Versickerung vor Ort stattfindet, muss ein guter durchlässiger Boden mit einem  $k_f$ -Wert zwischen  $10^{-5}$  m/s und  $5 \cdot 10^{-6}$  m/s vorliegen. Dies entspricht Feinsand und schluffig-lehmigen Böden (Sieker & Kaiser et al., 2006). Zudem muss gemäß DWA-A 138-1 ein Freibord von  $\geq 0,1$  m und eine Einstauhöhe von 0,1 – 0,3 m vorliegen.

## **4. Methodisches Vorgehen und Daten**

### **4.1 Standortbedingungen für die multifunktionale Flächennutzung**

Im Rahmen dieser Arbeit wurde zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt. Die verwendete Literatur diente der Darstellung des aktuellen Stands der Technik der oberflächennahen Geothermie, spezifisch der EWS, sowie des aktuellen Stands der Technik für Retentionsanlagen mit Abdichtung und Versickerungsanlagen in Kap. 3. Dies umfasst die Anforderungen der verschiedenen Anlagen, die eingehalten werden müssen, um sie an einem Standort zu installieren und betreiben zu können. Für die Literaturrecherche wurden wissenschaftliche Bücher, Leitfäden, Richtlinien, Arbeitsblätter und Online-Quellen zur Thematik oberflächennahe Geothermie, EWS, Regenwasserbewirtschaftung und Klimaanpassung herangezogen. Aus dieser Literaturrecherche soll eine Analyse erfolgen, die zur Beantwortung der ersten Teilfrage dient, welche lautet „Wann ist eine Flächennutzung als Retentionsfläche bzw. als Fläche für oberflächennahe Geothermie mittels EWS sinnvoll?“. Die Standortanforderungen an die EWS wurden dafür mit den Anforderungen an die Retentionsanlagen mit Abdichtung und den Anforderungen an die Versickerungsanlagen verglichen. Die vorangegangene Literaturrecherche führte zu einer Auswahl von Kriterien, die betrachtet und verglichen wurden. Dies war abhängig davon, welche Standortanforderungen zu Einschränkungen führen können und zu welchen Informationen vorlagen. Somit wurden die Kriterien des Umweltschutzes, des Baumbestandes, des Bodens, der Anlagentiefe und des Abstandes zu Gebäuden und Grundstücksgrenzen betrachtet. Zu vermerken ist, dass bei dem Kriterium des Umweltschutzes lediglich die WSG und TGG als Schutzgebiete berücksichtigt wurden. Schutzgebiete wie Landschafts- oder Naturschutzgebiete wurden nicht berücksichtigt. Bei allen betrachteten Kriterien wurde davon ausgegangen, dass eine freie Grünfläche vorliegt. Aus dem Abgleich der Standortanforderungen ergaben sich neue Anforderungen, wann die Verwendung einer Fläche für eine Kombination von EWS mit Retentionsanlagen inklusive Abdichtung bzw. Versickerungsanlagen sinnvoll erscheint.

### **4.2 Räumliche Analyse zur Ermittlung einer Beispielfläche**

Im Rahmen der Arbeit wurde eine Literaturrecherche und eine räumliche Analyse unter der Verwendung eines Geografischen Informationssystems (GIS) durchgeführt, um potenzielle Standorte für eine multifunktionale Nutzung einer öffentlichen Grünfläche in Bremen durch EWS und Retentionsanlagen mit Abdichtung bzw. Versickerungsanlagen zu identifizieren. Verwendet wurde für die räumliche Analyse das Programm ArcGIS Pro 3.2.1 der Firma ESRI. Eine räumliche Analyse beschreibt die Methode, verschiedene räumliche Daten miteinander zu kombinieren, um aus den vorliegenden, zusammengetragenen Daten neue Erkenntnisse zur Beantwortung der Fragestellung zu gewinnen. Der erste Schritt umfasste die Formulierung der Fragestellung, wobei es sich in diesem Falle um die zweite Forschungsfrage dieser Arbeit handelt. Diese lautet „Wie könnte eine multifunktionale Nutzung einer öffentlichen Grünfläche

in der Stadt Bremen für oberflächennahe Geothermie mittels EWS und einer wasserwirtschaftlichen Planung anhand eines Beispiels unter Berücksichtigung technischer Faktoren aussehen?“. Hierfür muss zunächst eine geeignete Fläche mittels räumlicher Analyse ermittelt werden. Für die Durchführung der räumlichen Analyse wurden mehrere Funktionen verwendet, darunter das Extrahieren, Überlagern, Zusammenfassen und Berechnen von Daten (Esri, o. D.).

Der Ablauf der durchgeführten Analyse im GIS ist in Abb. 18 dargestellt. Alle im Folgenden genannten Datensätze decken das Gebiet der Stadt Bremen ab. Die Eingangsdaten umfassten Gebiete mit vorliegenden Altablagerungen und Informationsgebiete zu Grundwasserverunreinigungen, welche zu dem Layer „Bodenschutzgebiete“ zusammengeführt wurden, WSG, Salzstrukturen im Untergrund, Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des Umweltbetriebs Bremen (UBB) und Baumstandorte des UBB. Die GA in der Unterhaltung des UBB innerhalb von Boden- und Wasserschutzgebieten sowie in Gebieten mit Salzstrukturen wurden ausgeschnitten und jeweils als Layer dargestellt. Zudem wurden die GA in der Unterhaltung des UBB anhand der Attribute „Pflegeeinheit“ und „Anlagenart“ in zwei Kategorien eingeteilt. In der Attributtabelle wurde zwischen 30 verschiedenen Pflegeeinheiten unterschieden, darunter bspw. auch Baum-/Strauchpflanzen, Spielsandflächen oder Seen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden ausschließlich die drei Pflegeeinheiten „Gebrauchsrasen“, „Wiese“ und „Wiese (Blumenwiese)“ ausgewählt, da diese nicht mit größeren Pflanzen bewachsen sind und keine Versiegelung vorliegt. Des Weiteren waren die Flächen in die Anlagenarten „Biotopfläche“, „Grünanlage“, „Kleingärten“ und „Straßenbegleitgrün“ unterteilt. Gefiltert wurde nach der Anlagenart „Grünanlage“. Folglich verblieben nur GA in der Unterhaltung des UBB, welche der Anlagenart „Grünanlage“ und der Pflegeeinheit „Gebrauchsrasen“, „Wiese“ oder „Wiese (Blumenwiese)“ angehören und somit für die Bearbeitung der Fragestellung geeignet sind. Alle Flächen, die diesen Eigenschaften nicht entsprechen, fallen hinsichtlich der Betrachtung dieser Fragestellung unter „weniger geeignete GA in der Unterhaltung des UBB“.

Der Layer „Restriktive Gebiete“ resultiert aus der Zusammenführung der Layer der GA in Unterhaltung des UBB in Boden- und Wasserschutzgebieten sowie in Gebieten mit Salzstrukturen. Die Eingangsdatei „Baumstandorte des UBB“ wurde bearbeitet, indem der Kronenradius um 1,5 m erweitert wurde, um die Bäume und deren Wurzelbereich vor jeglichen Bauarbeiten wie für EWS, Retentions- oder Versickerungsanlagen zu schützen. Dieser sich neu ergebende Kronenradius wurde als Puffer dargestellt und um die Baumstandorte gelegt. Dieser Puffer wurde als ein Layer dargestellt und als „Baumflächen“ bezeichnet. Die Baumflächen und restriktiven Gebiete wurden von den für die Bearbeitung der Fragestellung geeigneten GA mithilfe des Analysetools „radieren“ entfernt. So entstand das Ergebnislayer „Potenzielle GA“, welcher genauer betrachtet werden konnte.



Abb. 18: Ablauf der GIS-Analyse zur Ermittlung Potenzieller Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB für Wasserretention und oberflächennahe Geothermie (Eigene Darstellung)

Die Abb. 19 zeigt den Workflow für das GIS, welcher zur weiteren Eingrenzung der potenziellen Flächen verwendet wurde. Als Eingangsdaten wurden die potenziellen Flächen aus der vorherigen GIS-Analyse, die bioklimatische Bewertung der Grünflächen sowie die Daten der Starkregenvorsorge für extreme Starkregenereignisse verwendet. Durch die bioklimatische Bewertung der Grünflächen konnten diese in die Kategorien 1 bis 4 unterteilt werden. Außerdem konnten die nicht bioklimatisch bewerteten GA in der Unterhaltung des UBB ermittelt werden, indem von den potenziellen GA alle Flächen entfernt wurden, die eine

bioklimatische Bewertung besitzen. Zudem wurden die potenziellen GA aus den einzelnen bewerteten Grünflächen ausgeschnitten, wie es in Abb. 19 zu sehen ist. Der letzte Schritt der GIS-Analyse bestand darin, die Starkregengefahrenkarte für extreme Starkregenereignisse der Stadt Bremen über die potenziellen GA der Kategorien 3 und 4 zu legen. So konnte optisch die topografische Lage der Fläche sowie deren Gefahr für Überflutung durch Oberflächenwasserabflüsse bestimmt werden und es entstanden zwei Ergebnislayer.

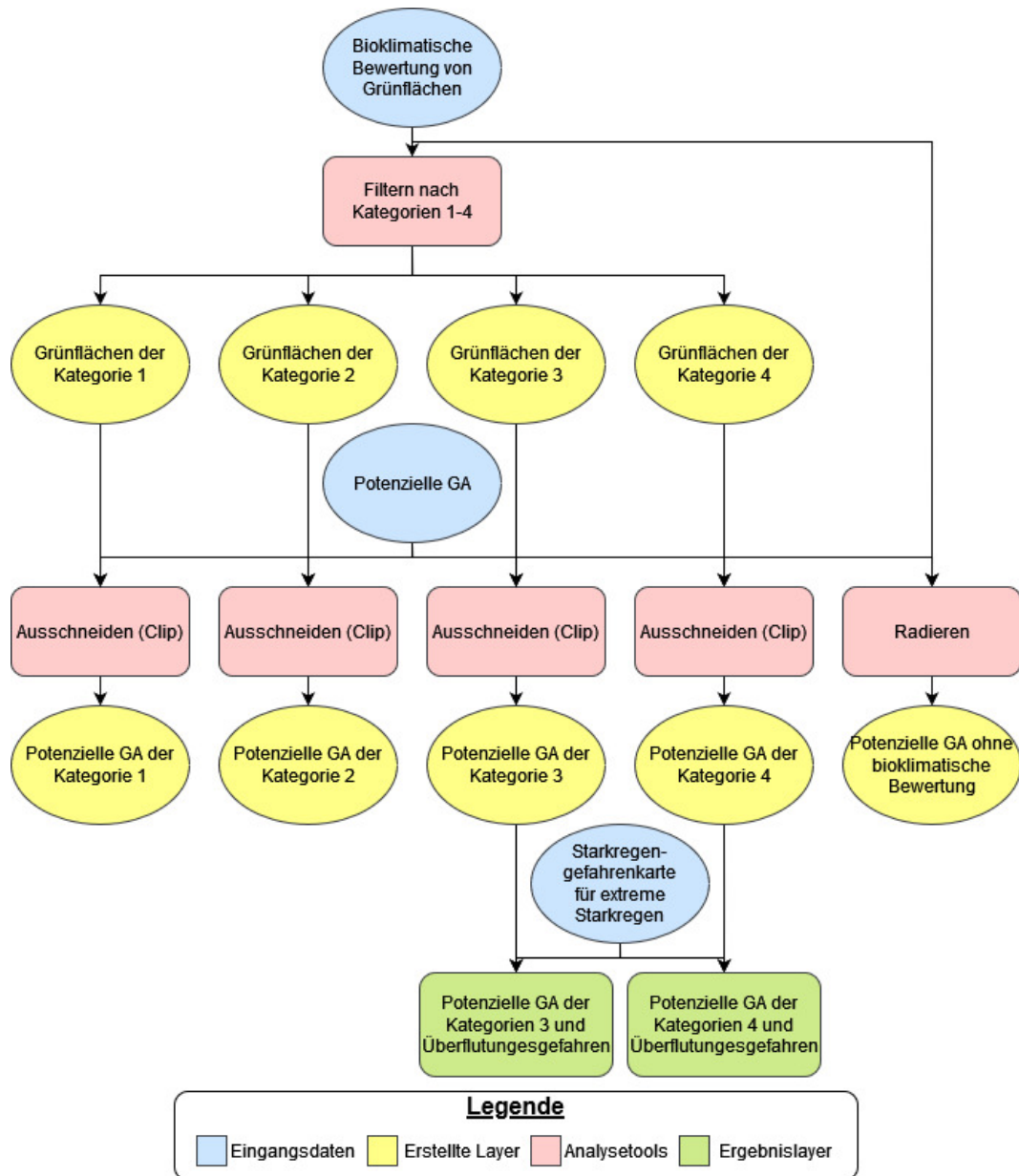


Abb. 19: Ablauf der GIS-Analyse zur Ermittlung Potenzieller Grünanlagen (GA) der bioklimatischen Kategorisierung 3 und 4 in der Unterhaltung des UBB und deren Überflutungsgefahr bei extremen Starkregen (Eigene Darstellung)

### 4.3 Betrachtung einer Beispielfläche

Aus den potenziellen GA der vorangegangenen GIS-Analyse wurde beispielhaft eine Fläche ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich diese Fläche möglichst innerhalb einer Siedlungsstruktur befindet und sich aufgrund der topografischen Lage Wasser in

Starkregenfällen auf ihr ansammelt. Bei der weiteren Betrachtung der ausgewählten Fläche wurden verschiedene Faktoren berücksichtigt. Zuerst wurden die aktuelle Lage und Bepflanzung der Fläche dargestellt. Anschließend wurde die Größe der ausgewählten Fläche mithilfe des GIS bestimmt. Mithilfe des GeoPortals der Stadt Bremen konnte ermittelt werden, welche Art von Boden auf der Fläche vorliegt und wie groß der Grundwasserflurabstand ist. Die ermittelten Kriterien aus Kap. 4.1 wurden auf der Fläche überprüft.

#### 4.4 Datengrundlage

Für die in Kap. 4.2 und Kap. 4.3 beschriebene Methodik wurden verschiedene Datensätze benötigt. All diese Datensätze sind in Tab. 4 zusammengefasst dargestellt und wurden auf Anfrage bei den verschiedenen Einrichtungen oder über einen freien Download erhalten. Bei der Auswahl der Datensätze wurde darauf geachtet, dass immer die neuesten, zur Verfügung stehenden Datensätze verwendet wurden.

Tab. 4: Datensätze für die GIS-Analyse mit der verwaltenden Einrichtung, dem Erstellungsdatum sowie dem Datum der letzten Änderung (Eigene Darstellung)

<b>Datensatz</b>	<b>Verwaltende Einrichtung</b>	<b>Erstellungsdatum</b>	<b>Letzte Änderung</b>
Grünanlagen in der Unterhaltung des UBB	Umweltbetrieb Bremen (UBB)	30.10.2020	13.10.2022
Baumstandorte in der Unterhaltung des UBB	Umweltbetrieb Bremen (UBB)		13.12.2023
Bioklimatische Bedeutung der Grün- und Freiflächen	Freie Hansestadt Bremen, Die Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft (SUKW)	2013	05.03.2021
Wasserschutzgebiete Niedersachsen und Bremen	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN)	12.04.2010	21.01.2021
Altablagerungen im Land Bremen	Freie Hansestadt Bremen, Die Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft (SUKW)	03.03.2023	06.05.2024
Informationsgebiete zu Grundwasserverunreinigungen	Freie Hansestadt Bremen, Die Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft (SUKW)	03.03.2023	06.05.2024
KLAS T100 Starkregenvorsorge extremer Starkregen	Freie Hansestadt Bremen, Die Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft (SUKW)	02.09.2021	15.08.2023
Salzstrukturen in Bremen	Geologischer Dienst für Bremen (GdFB)		2022
Landesgrenze der Stadt Bremen	Landesamt GeoInformation Bremen	16.03.2012	08.09.2023

## 5. Ergebnisse

### 5.1 Standortbedingungen für die multifunktionale Flächennutzung

Die Erstellung dieses Kapitels erfolgte unter Anwendung der in Kap. 4.1 dargestellten Methodik. Die literaturbasierte Analyse liefert ein Ergebnis auf die erste Teilfrage, wann eine Fläche als Retentionsfläche mit Abdichtung bzw. Versickerungsfläche und als Fläche für die Gewinnung von Erdwärme mittels EWS geeignet ist. Das heißt, welche Eigenschaften die Fläche aufweisen muss, um potenziell für eine Kombination geeignet zu sein und wie dies aussieht. Im Folgenden ist unter dem Begriff Retentionsanlage immer eine Retentionsanlage mit Abdichtung gemeint. Die Kombination von EWS mit Retentionsanlagen wurde separat von der Kombination von EWS mit Versickerungsanlagen betrachtet.

#### **Standortbedingungen für die Kombination von Erdwärmesonden mit Retentionsanlagen**

Der Standort für die Kombination beider Anlagen sollte zwei Bedingungen erfüllen, die sich aus der Lage ergeben. Einerseits muss sich die Fläche in der Nähe eines Wärmeabnehmers, bspw. Gebäuden, befinden. Andererseits sollte die Fläche selbst eine Gefahr vor Überschwemmungen durch Oberflächenwasser oder bspw. durch den Rückstau von Kanälen aufweisen. Es kann sich auch um eine Fläche handeln, die indirekt eine andere Fläche von einem Starkregenereignis entlastet.

Die im Folgenden näher erläuterten Anforderungen von EWS und Retentionsanlagen an die in Kap. 4.1 genannten Kriterien sind in Tab. A. 1 im Anhang dargestellt. Zusätzlich sind in Tab. A. 1 die restriktivsten Kriterien für eine Grünfläche aufgeführt, die bei einer Kombination der Anlagen beachtet werden müssen.

Die Errichtung von Retentionsanlagen mit spezifischen Abdichtungen in WSG ist gemäß DWA-A 166 grundsätzlich möglich. EWS dürfen jedoch nicht in WSG und TGG errichtet werden. Ausnahmen sind in den Schutzzonen III a und III möglich, grundsätzlich sollte jedoch eine Errichtung vermieden werden (Panteleit & Ortmann et al., 2022). Eine Kombination sollte daher nicht in WSG und TGG erfolgen, außer es liegt ein Ausnahmefall vor. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass für die Installation und den Betrieb von EWS keine Altlasten, Kampfmittel, Leitungen, Salzstrukturen, Gipse oder Anhydrite auf der Fläche vorliegen dürfen (Panteleit & Ortmann et al., 2022; Stober & Bucher, 2020). Die Fläche für eine Kombination muss folglich ebenfalls diese Eigenschaften aufweisen.

Zum Schutz vorhandener Bäume vor der Installation und Betreibung von EWS und Retentionsanlagen ist ein Sicherheitsabstand einzuhalten. Dieser ist somit auch bei der Kombination beider Anlagen einzuhalten. Der Sicherheitsabstand umfasst gemäß DIN 18920 den Wurzelbereich der Bäume und ergibt sich aus der Kronentraufe zuzüglich 1,5 m zu allen Seiten. Somit muss die ganze Retentionsanlage eine Baumfreiheit aufweisen.



Die Anforderungen an den vorliegenden Boden unterhalb der Retentionsanlagen sind nicht definiert. Die Materialien für das Filtersubstrat, das Dränsystem und die Dichtungsschutzschicht der Retentionsanlage werden für die Errichtung der Anlage angeliefert. Diese müssen gewisse Anforderungen einhalten, haben jedoch keine direkten Anforderungen an den Standort. Um EWS installieren und betreiben zu können, sollte der Boden eine mittlere bis geringe Durchlässigkeit aufweisen (Stober & Bucher, 2020). Bei einer Kombination sollten daher die Eigenschaften der EWS berücksichtigt werden. In der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 1 ist zudem festgehalten, dass vorliegendes wassergesättigtes Lockergestein zu einer höheren Wärmeleitfähigkeit des Bodens führt als trockenes Lockergestein.

Der Abstand der kombinierten Anlage zu Gebäuden sollte mindestens 2 m betragen (LBEG, 2017) und zu Grundstücksgrenzen je nach Länge der EWS mindestens 3 oder 5 m (Panteleit & Ortmann et al., 2022). Wenn aufgrund der Retentionsanlage ein größerer Abstand benötigt wird, muss dieser eingehalten werden.

Die Abb. 20 veranschaulicht die Tiefe der Retentionsanlage in Kombination mit EWS bei einer untereinander liegenden Einbringung. Die dargestellten Werte für die Tiefen der einzelnen Schichten wurden der Literatur entnommen und die dargestellte GOK bezeichnet die Lage der Oberfläche vor Beginn jeglicher Baumaßnahmen. Von der GOK aus zeigt jede in Abb. 20 dargestellte Retentionsanlage einen Freibord, eine Einstauhöhe und einen Oberboden. Danach variiert das Auftreten von Filtersubstrat, einer Dichtungsschutzschicht und eines Dränsystems je nach Anlagenart. Unterhalb der Retentionsanlage wurden die Maße der Anbindeleitung und des Erdwärmesondenkopfes einer EWS dargestellt. Die Maße für den Erdwärmesondenkopf inkl. Puffer teilen sich in 16 cm für den Erdwärmesondenkopf und 14 cm für den Puffer auf. Die Höhe des Puffers ist eine Annahme und nicht festgelegt. Die direkte Länge der Sonde wurde in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt, da diese in Abhängigkeit verschiedener Faktoren stark variieren kann. Berücksichtigt wurde, dass die Installation der Sonde erst unterhalb der Frostschrift erfolgen darf, welche in Deutschland durchschnittlich 0,8 m beträgt (Gusseck Haus, o. D.). Es wurde davon ausgegangen, dass nur die Überdeckung der Anbindeleitung noch im Bereich der Frostschrift liegen darf. Aufgrund des erforderlichen Abstandes von 1 m zwischen den Leitungen der EWS und Ver- und Entsorgungsleitungen (gemäß VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2) wurde bei den RBF und der Filtermulde ein Abstand von 1 m zwischen dem Dränsystem und der Anbindeleitung integriert. Die geringste Einbautiefe weist die Kombination der EWS mit einem RRB mit KDB mit einer Tiefe von - 2,05 m auf. Darauf folgen die Kombinationen von EWS mit RRB mit mineralischer Abdichtung (- 2,3 m Tiefe), RBF mit KDB im TS (- 3,05 m Tiefe), RBF mit KDB im MS (- 3,3 m Tiefe) und mit Filtermulden (- 3,4 m Tiefe).

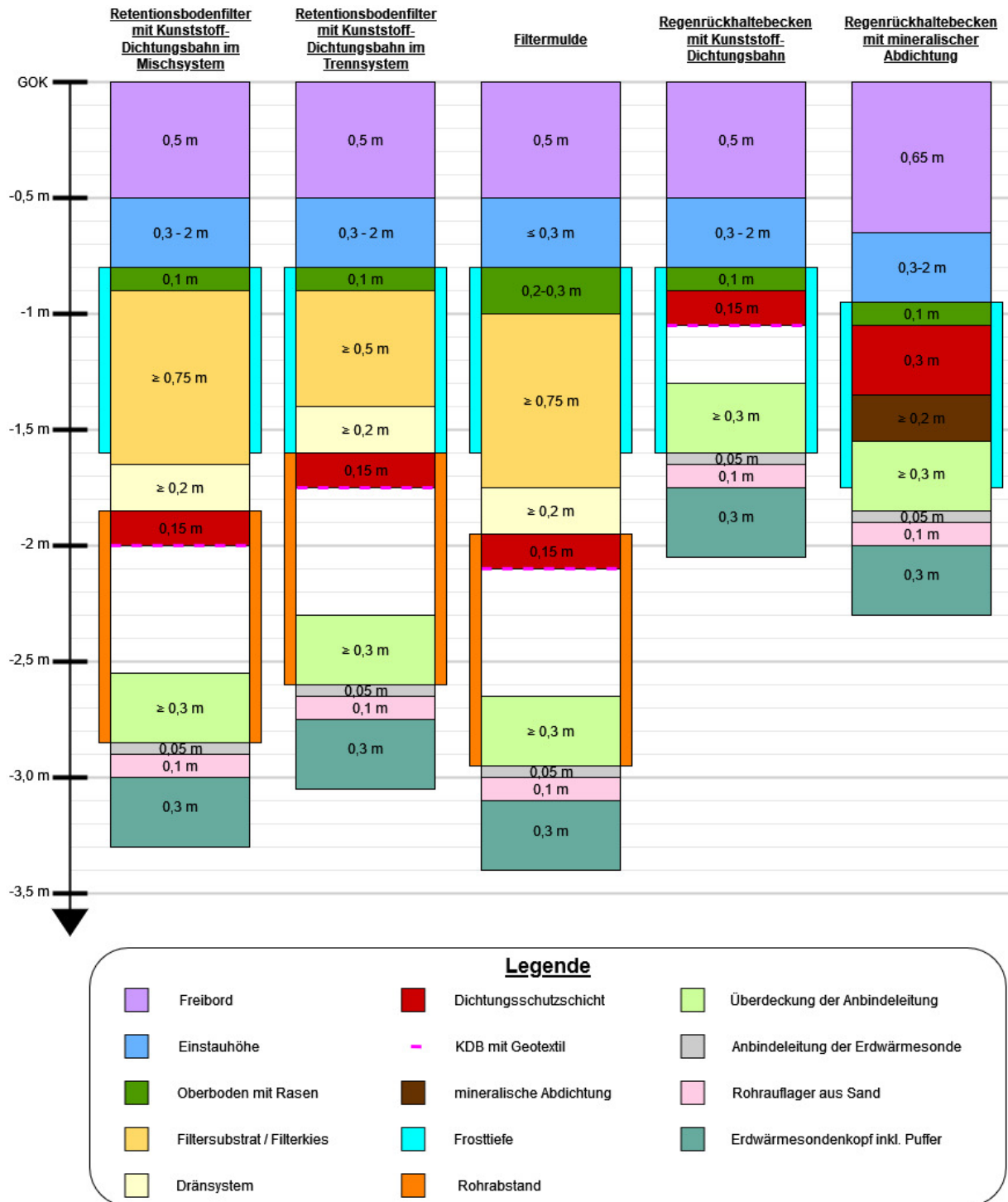


Abb. 20: Anlagentiefen bei Kombinationen von Retentionsanlagen mit Abdichtungen und Erdwärmesonden untereinander von der Geländeoberkante (GOK) aus in m (Eigene Darstellung)

Eine weitere Möglichkeit ist die sich überschneidende Installation. Dadurch ergeben sich andere Anlagentiefen in Kombination, welche in Abb. 21 dargestellt sind. Es wurde darauf geachtet, dass die Installation der EWS unterhalb der durchschnittlichen Frosttiefe beginnt, ausgenommen die Überdeckung der Anbindeleitung. Für die RBF mit KDB im MS und TS sowie das RRB mit KDB ergibt sich eine Anlagentiefe von - 2,05 m. Darauf folgt die Filtermulde mit einer Tiefe von - 2,1 m und das RRB mit mineralischer Abdichtung mit – 2,3 m Tiefe. Zu berücksichtigen ist bei den RBF und der Filtermulde, dass von den Anlagenteilen der EWS

aus ein Abstand von 1 m zu Ver- und Entsorgungsleitungen eingehalten werden muss, wie in der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 beschrieben. In diesem Falle die Einhaltung eines ausreichenden Abstandes zu den Dränrohren.

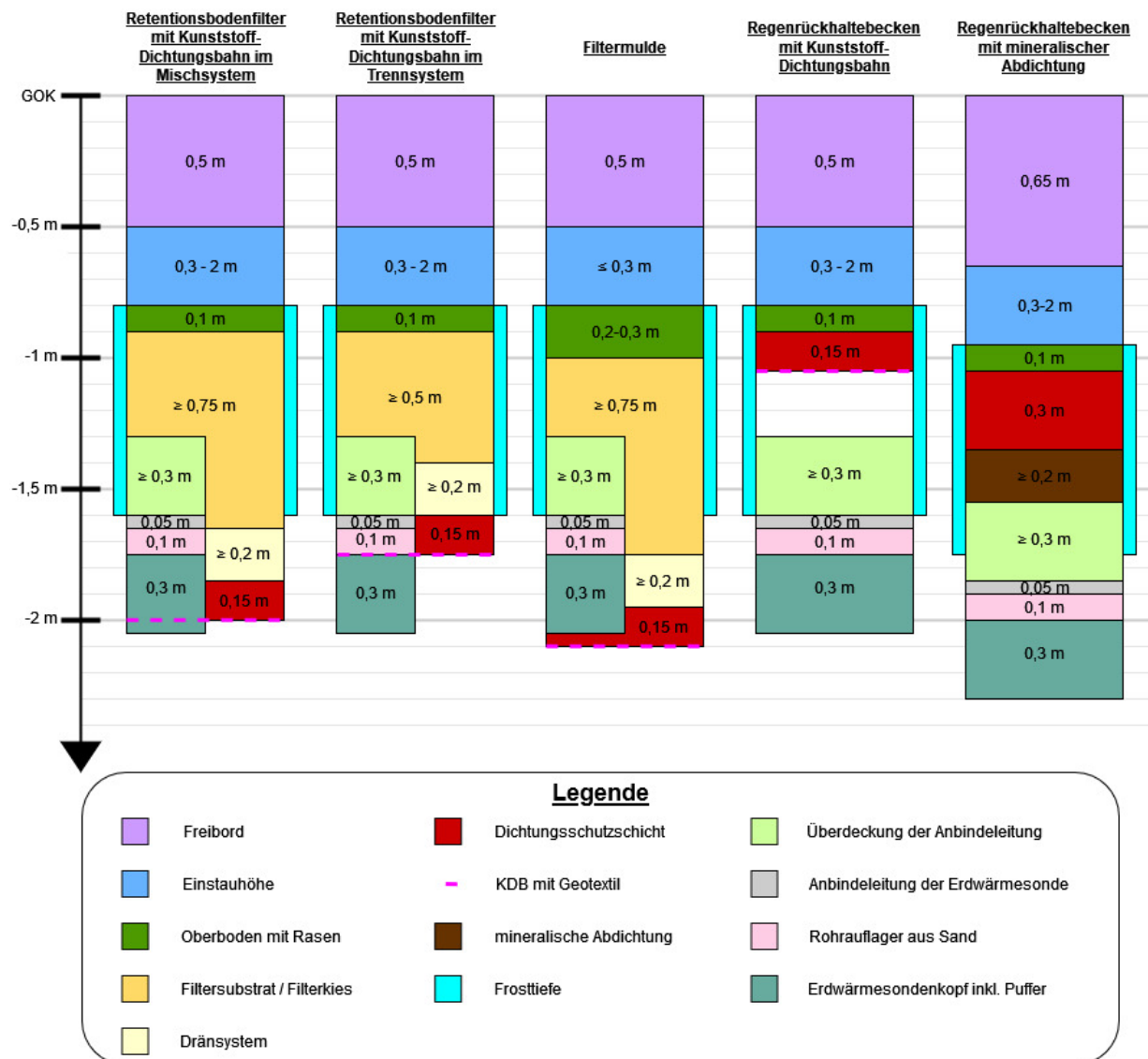


Abb. 21: Anlagentiefen bei Kombinationen von Retentionsanlagen mit Abdichtungen und Erdwärmesonden mit Überschneidungen von der Geländeoberkante (GOK) aus in m (Eigene Darstellung)

Die Tiefen der Anlagenkombinationen sind hinsichtlich des vorliegenden Grundwasserstandes zu betrachten. Sofern der Grundwasserstand einen deutlichen Abstand zur Anlagentiefe aufweist, werden die Bauarbeiten für beide Anlagen erleichtert. Ebenso ist zu berücksichtigen, dass für die Installation von EWS keine Grundwasserstockwerke, hochdurchlässige Grundwasserleiter oder hohe Grundwasserfließgeschwindigkeiten vorliegen dürfen (Stober & Bucher, 2020). Diese Aspekte sind ebenfalls bei einer Kombination beider Anlagen zu berücksichtigen.

Die Größe der verfügbaren Fläche stellt einen entscheidenden Faktor bei der Standortauswahl dar. Es kann keine pauschale Größe für Retentionsanlagen angegeben werden, da die Größe von der angestrebten Speicherkapazität bzw. den angeschlossenen Flächen abhängt. Zudem

spielt das Verhältnis der Einstauhöhe zur Anlagenfläche eine entscheidende Rolle für das Fassungsvermögen der Anlage. Die Böschungsneigung ist ebenfalls zu berücksichtigen. Diese darf bei den genannten Retentionsanlagen maximal 1:3 betragen (Leipziger Wasserwerke, 2019). Wenn dies auf die maximale Anlagentiefe der genannten Retentionsanlagen von - 2,65 m bezogen wird, muss von der vorliegenden Fläche auf jeder Seite 7,95 m abgezogen werden, da hier die Böschung vorzufinden wäre. Letztendlich muss diese Berechnung aber für jeden Fall separat durchgeführt werden, da sie von vielen verschiedenen Faktoren wie der verfügbaren Fläche, anfallenden Wassermenge, Einstauhöhe und Einstaudauer abhängig ist.

### **Standortbedingungen für die Kombination von Erdwärmesonden mit Versickerungsanlagen**

Der Standort für eine multifunktionale Nutzung einer Fläche als Versickerungsfläche und zur Gewinnung von Erdwärmeenergie mittels EWS muss drei Hauptkriterien an die Lage erfüllen. Erstens sollte für die gewonnene Erdwärme mit der EWS in direkter Umgebung ein Bedarf vorliegen. Zweitens sollte die Fläche selbst überflutungsgefährdet sein oder eine andere Fläche indirekt vor Überflutungen durch Starkregenereignisse entlasten. Als drittes Hauptkriterium werden die Bodeneigenschaften und der vorliegende Grundwasserstand angesehen, da diese zwei Faktoren darüber entscheiden, ob eine Versickerung möglich ist.

Um EWS und Versickerungsanlagen auf einer Grünfläche zu kombinieren, muss die Fläche ebenfalls bestimmte Anforderungen erfüllen. Die Anforderungen von EWS und Versickerungsanlagen an die in der Methodik (Kap. 4.1) beschriebenen Kriterien sind im Folgenden beschrieben und sind zusammenfassend in Tab. A. 2 im Anhang dargestellt. Darüber hinaus zeigt Tab. A. 2 restriktive Anforderungen an die Kriterien für eine Grünfläche auf, auf der eine Kombination von EWS und Versickerungsanlagen erfolgen soll.

An den Kriterien an einen Standort für die Installation einer EWS hat sich nichts verändert und ist dem vorherigen Abschnitt oder der Tab. A. 2 im Anhang zu entnehmen. Im folgenden schriftlichen Vergleich werden diese nicht erneut beschrieben, sondern lediglich der Unterschied zu den Anforderungen der Versickerungsanlagen dargestellt.

Im WSG ist das Versickern von gesammeltem Niederschlagswasser nicht gestattet. Ausschließlich in den Schutzzonen III a und III sind laut DWA-A 138-1 Ausnahmen möglich. Deshalb sollte auch hier eine Kombination beider Anlagen, wenn möglich, außerhalb von WSG und TGG erfolgen, außer es liegt ein Ausnahmefall vor. Ebenso ist auf der Grünfläche bei einer multifunktionalen Nutzung durch EWS und Versickerungsanlage sicherzustellen, dass keine Altlasten, geogene Stoffanreicherungen mit hohem Freisetzungspotenzial, Kampfmittel, Leitungen, Salzstrukturen, Gips oder Anhydrite vorliegen (Panteleit & Ortmann et al., 2022;

Stober & Bucher, 2020); DWA-A 138-1). Dies ergibt sich aus den Bedingungen für EWS und Versickerungsanlagen.

Um die Bäume zu schützen, dürfen innerhalb des Wurzelbereichs keine Bauarbeiten stattfinden. Für die Errichtung von Versickerungsanlagen und EWS gilt somit der gleiche Abstand zu Bäumen gemäß DIN 18920, weshalb dieser auch bei der Kombination beider Anlagen eingehalten werden muss. Im Falle einer Rigole als Versickerungsanlage, muss der Abstand zu Bäumen gemäß DWA-A 138-1 auf die Hälfte des möglichen Kronendurchmessers erhöht werden.

Der vorliegende Boden muss je nach Anlagenart gewisse Eigenschaften aufweisen. Um eine Versickerung zu ermöglichen, muss der Boden eine starke bis mittlere Durchlässigkeit aufweisen, wie im DWA-A 138-1 definiert. Sowohl die EWS als auch die Versickerungsanlagen können bei einem Boden mit mittlerer Durchlässigkeit eine gute Funktionalität aufweisen, weshalb ein solcher Boden auch für eine Fläche mit kombinierter Nutzung geeignet wäre.

Bei den Anforderungen an den benötigten Abstand zu Gebäuden und Grundstücksgrenzen muss der maximal benötigte Abstand betrachtet werden, welches der Abstand der EWS (dem vorherigen Abschnitt zu entnehmen) oder auch der Versickerungsanlage sein kann.

Die Tiefe der Versickerungsanlagen in Kombination mit EWS, bei einer Platzierung untereinander, ist in Abb. 22 dargestellt. Das Prinzip der Abbildung entspricht dem der Abb. 20 der vorangegangenen Kombination zwischen EWS und Retentionsanlagen. Die Bedeutung der GOK, die Maße der EWS sowie die angenommene Frostschutzgrenze sind somit dem vorangegangenen Abschnitt zu entnehmen. Es ist ein bestimmter Abstand zwischen der Sohle der Versickerungsanlagen und dem MHGW einzuhalten. Dieser Abstand muss laut DWA-A 138-1 bei den genannten Versickerungsanlagen mindestens 1 m betragen und ist in Abb. 22 durch den Oberboden und die Bodenzone berücksichtigt. Zudem muss die Rigole unterhalb der Frostschutzgrenze errichtet werden. Für die Mächtigkeit der Rigole wurde eine Annahme von 1 m getroffen. Die Tiefe einer Versickerungsanlage variiert in Abhängigkeit von der Anlagenart. Unterhalb der Versickerungsanlage wurde die EWS positioniert. Die geringste Anlagentiefe in Kombination weist die Mulde mit einer Tiefe von - 1,85 m auf. Darauf folgend in Kombination mit EWS das Versickerungsbecken (- 2,6 m Tiefe), die Rigole (- 2,75 m Tiefe) und die Mulden-Rigolen (- 2,95 m Tiefe). Die abgesenkte Platzfläche wurde nicht in Abb. 22 mit integriert, weil davon auszugehen ist, dass die Mächtigkeit mit der des Versickerungsbeckens gleichzusetzen ist.

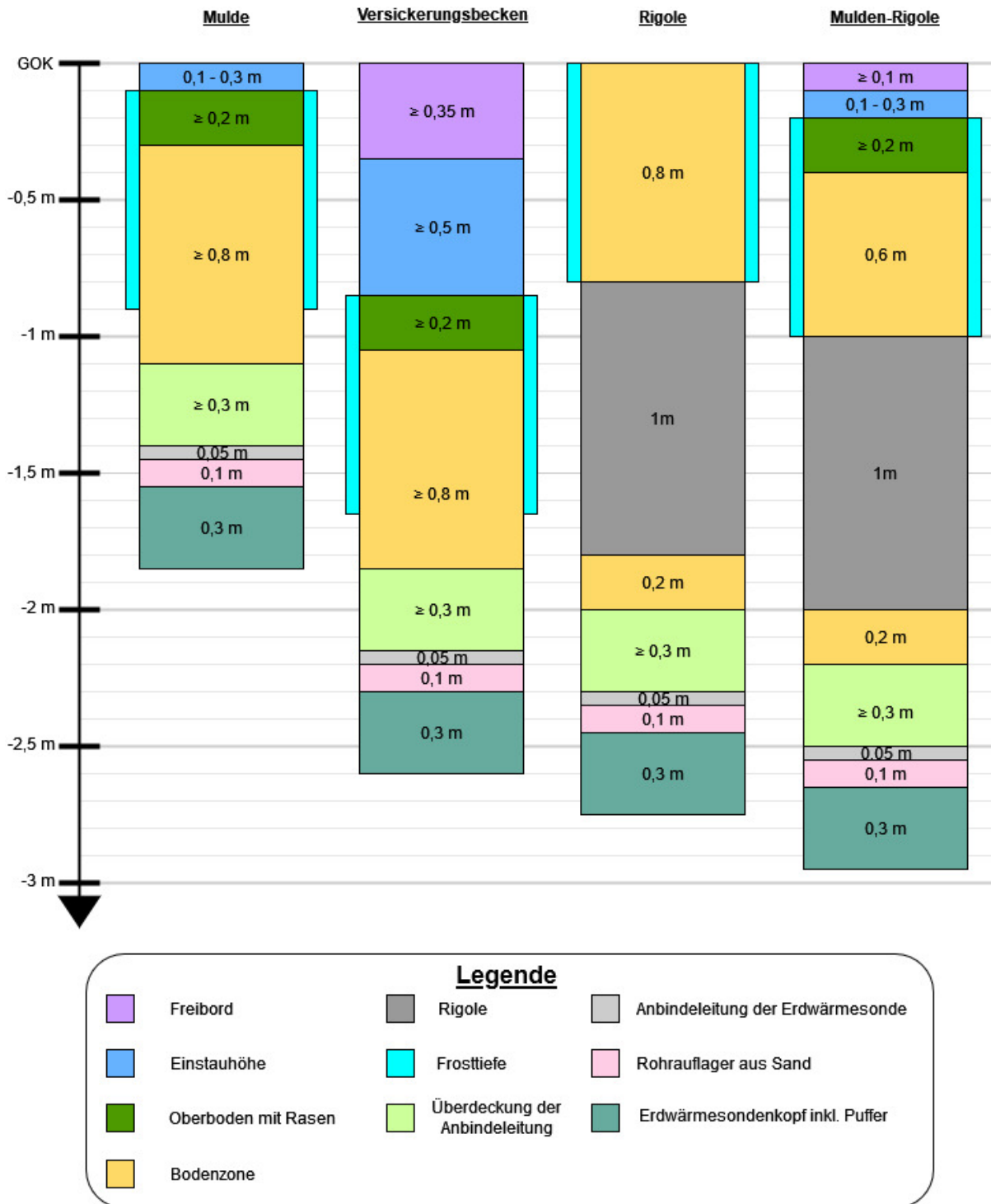


Abb. 22: Anlagentiefen von verschiedenen Kombinationen von Versickerungsanlagen und Erdwärmesonden untereinander von der Geländeoberkante (GOK) aus in Meter (Eigene Darstellung)

Bei der Installation der Versickerungsanlagen und EWS mit Überschneidungen wird die Anlagentiefe reduziert. Die Abb. 23 zeigt die Anlagentiefen bei verschiedenen Kombinationen ohne die Darstellung der Sondenrohre. Die Anlagenkombination mit der geringsten Mächtigkeit von 1,35 m bleibt die Mulde mit der EWS. Daraufhin folgen die Kombinationen von EWS mit Versickerungsbecken (- 2,1 m), mit Rigole (- 2,55 m) und der Mulden-Rigole

(- 2,75 m). In der Abb. 23 ist berücksichtigt, dass die Installation der EWS (hier ohne die Überdeckung der Anbindeleitung) unterhalb der Frostgrenze erfolgt (LfU, 2012).

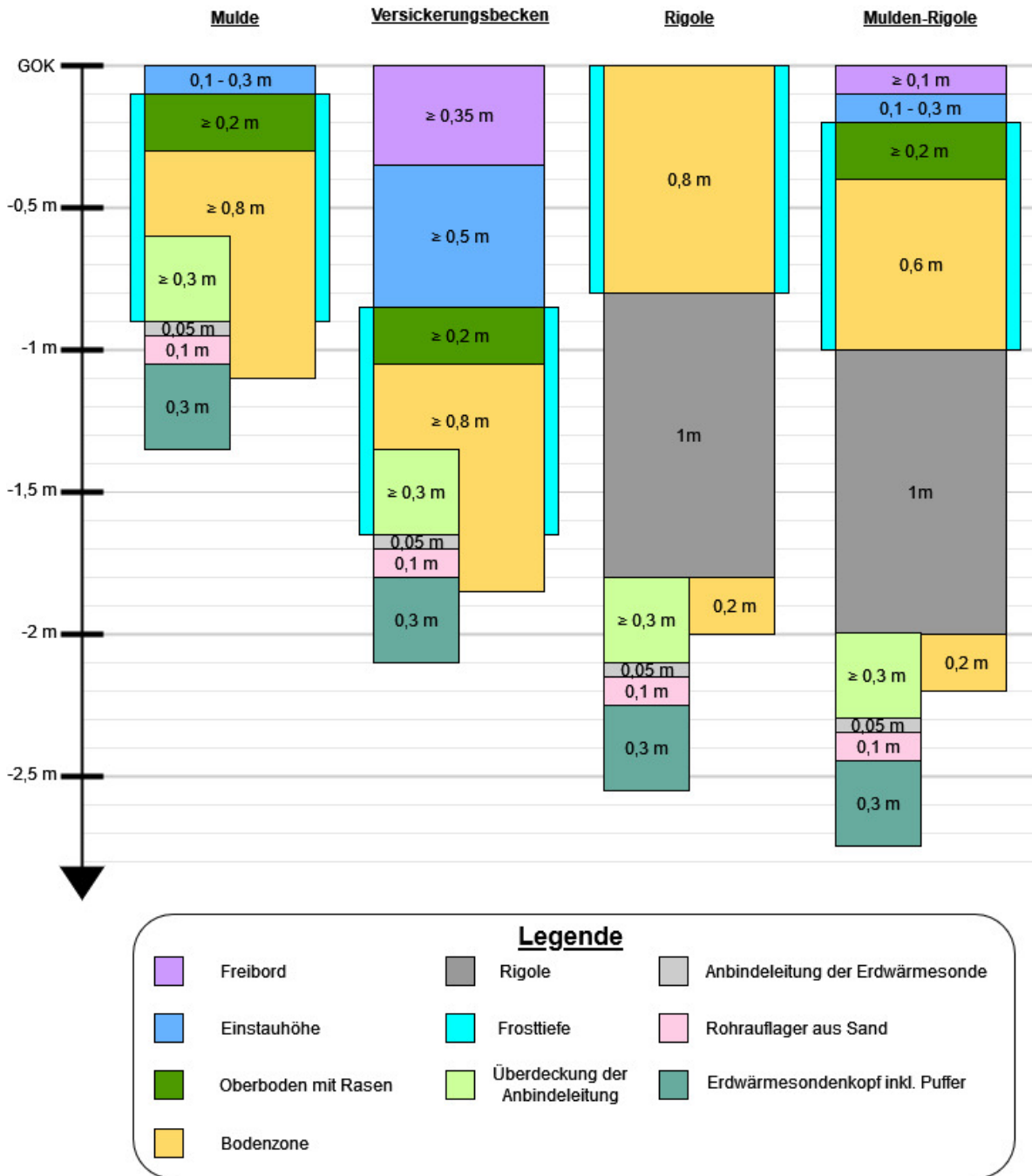


Abb. 23: Anlagentiefen von verschiedenen Kombinationen von Versickerungsanlagen und Erdwärmesonden mit Überschneidungen von der Geländeoberkante (GOK) aus in Meter (Eigene Darstellung)

Die Anlagentiefe ist hinsichtlich der vorliegenden Grundwasserstände zu betrachten. Eine Versickerung kann nur erfolgen, wenn gemäß DWA-A 138-1 mindestens 1 m Abstand zwischen der Sohle der Versickerungsanlage und dem GW liegt. Ebenso würde ein Grundwasserstand deutlich unter dem Erdwärmesondenkopf die Einbringung erleichtern. Es ist zu beachten, dass für die Installation und den Betrieb von EWS keine Grundwasserstockwerke vorliegen sollten, da diese die Tiefe der Einbringung von EWS einschränken (Stober & Bucher, 2020).

Die Dimensionierung der Anlage muss für jeden Einzelfall spezifisch erfolgen. Abhängig ist diese von der vorliegenden Versickerungsoberfläche, der anfallenden Wassermenge, der Versickerungsrate, der Einstauhöhe und Einstaudauer. Die Böschung der Versickerungsanlage muss von der Fläche selbst abgezogen werden, da diese nicht als Versickerungsoberfläche zu betrachten ist. Die maximale Böschungsneigung beträgt bei den genannten Versickerungsanlagen gemäß DWA-A 138-1 1:2. Um eine Beispielrechnung durchzuführen, wurde die minimale Anlagentiefe eines Versickerungsbeckens verwendet, auch wenn die Böschungsneigung von einem Versickerungsbecken steiler ist als die einer Mulde. Bei Verwendung dieser beiden Werte, muss auf jeder Seite eine Breite von 1,7 m abgezogen werden, da auf dieser Fläche die Böschung errichtet werden muss. Die Berechnung muss immer im Einzelfall erfolgen, da sie von einer Vielzahl von ortsbezogenen Faktoren abhängt.

## **5.2 Räumliche Analyse zur Ermittlung einer Beispielfläche**

Das Ergebnis für potenzielle GA, auf denen eine Kombination von EWS mit einer Anlage zur Retention und eventuellen Versickerung von Wasser erfolgen könnte, wurde mithilfe der in Kapitel 4.2 dargestellten Methode der räumlichen Analyse erzeugt. Unter den Begriff potenzielle GA fallen in dieser Arbeit ausschließlich GA in der Unterhaltung des UBB. Durch die Raumanalyse soll eine potenzielle GA ausgewählt werden können, anhand derer die zweite Teilfrage beantwortet werden soll. Das Untersuchungsgebiet stellt die Stadt Bremen mit einer Fläche von 318,2 km<sup>2</sup> dar. Diese ist in Abb. 24 schwarz umrandet. Die in Abb. 24 grün eingefärbten Flächen stellen die GA in der Stadt Bremen dar, die in der Unterhaltung des UBB liegen. Insgesamt stellen diese eine Fläche von 12,65 km<sup>2</sup> dar, welches einem Anteil von 3,98 % des Untersuchungsgebietes entspricht.



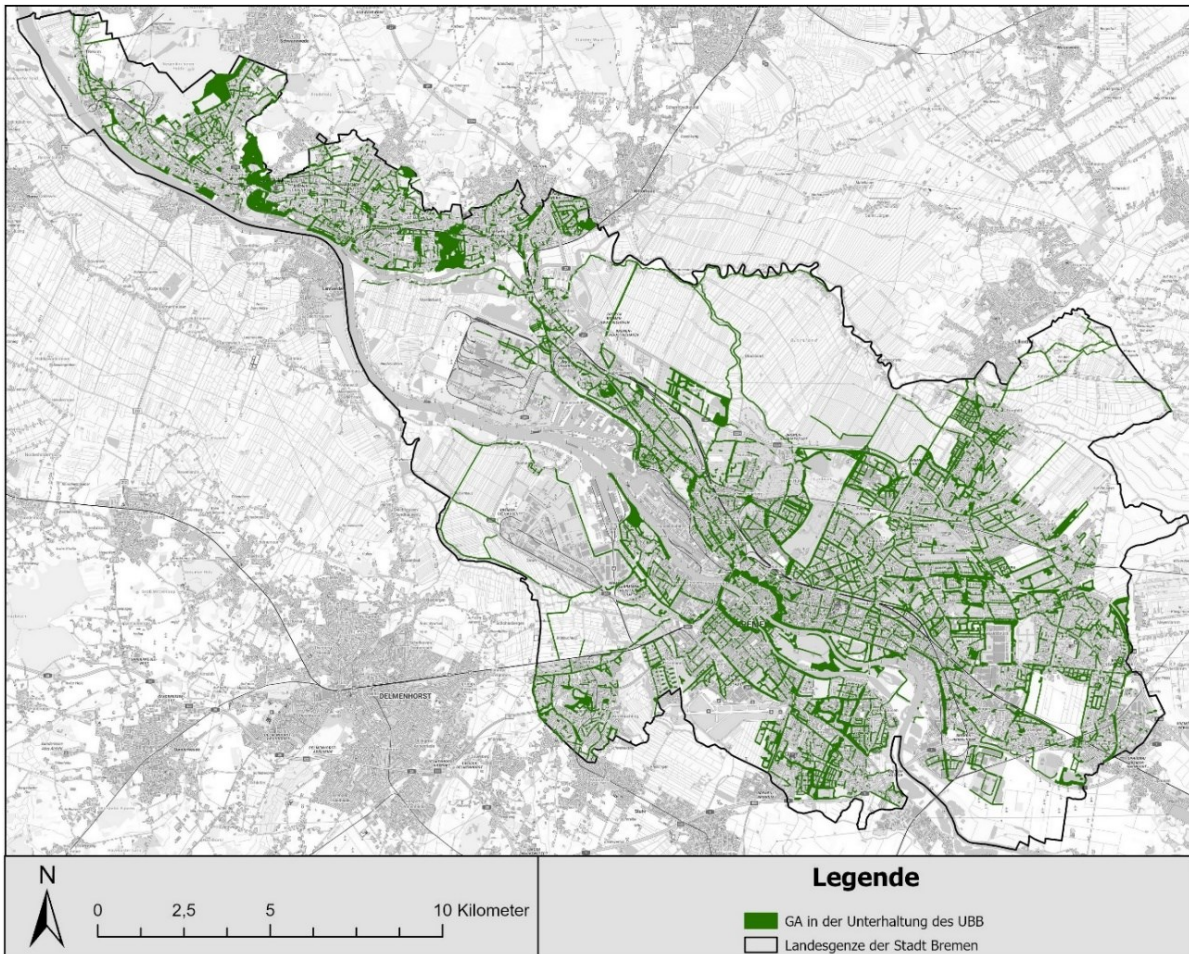


Abb. 24: Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB im Stadtgebiet Bremen (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024))

Im Gebiet der Stadt Bremen gibt es verschiedene Bereiche, in denen Restriktionen für EWS und Retentions- bzw. Versickerungsanlagen bestehen. In diesem Fall wurden die drei Bereiche WSG, Bodenschutzgebiete und Salzstrukturen im Untergrund berücksichtigt. Diese Flächen sind in der Karte in Abb. 25 dargestellt und wurden aufgrund der Restriktionen im Verlauf der Arbeit nicht weiter betrachtet. Zu beachten ist, dass sich eine GA bspw. in einem Bodenschutzgebiet und gleichzeitig in einem Gebiet mit Salzstrukturen im Untergrund befinden kann. Die GA in der Unterhaltung des UBB im WSG weisen eine Fläche von 1,95 km<sup>2</sup>, im Bodenschutzgebiet von 0,51 km<sup>2</sup> und in Gebieten mit Salzstrukturen im Untergrund von 3,34 km<sup>2</sup> auf. Die einzelnen Restriktionsgebiete mit den GA sind im Anhang in Abb. A. 1 (WSG), Abb. A. 2 (Altablagerungen), Abb. A. 3 (Grundwasserverunreinigungen) und Abb. A. 4 (Salzstrukturen) separat dargestellt.

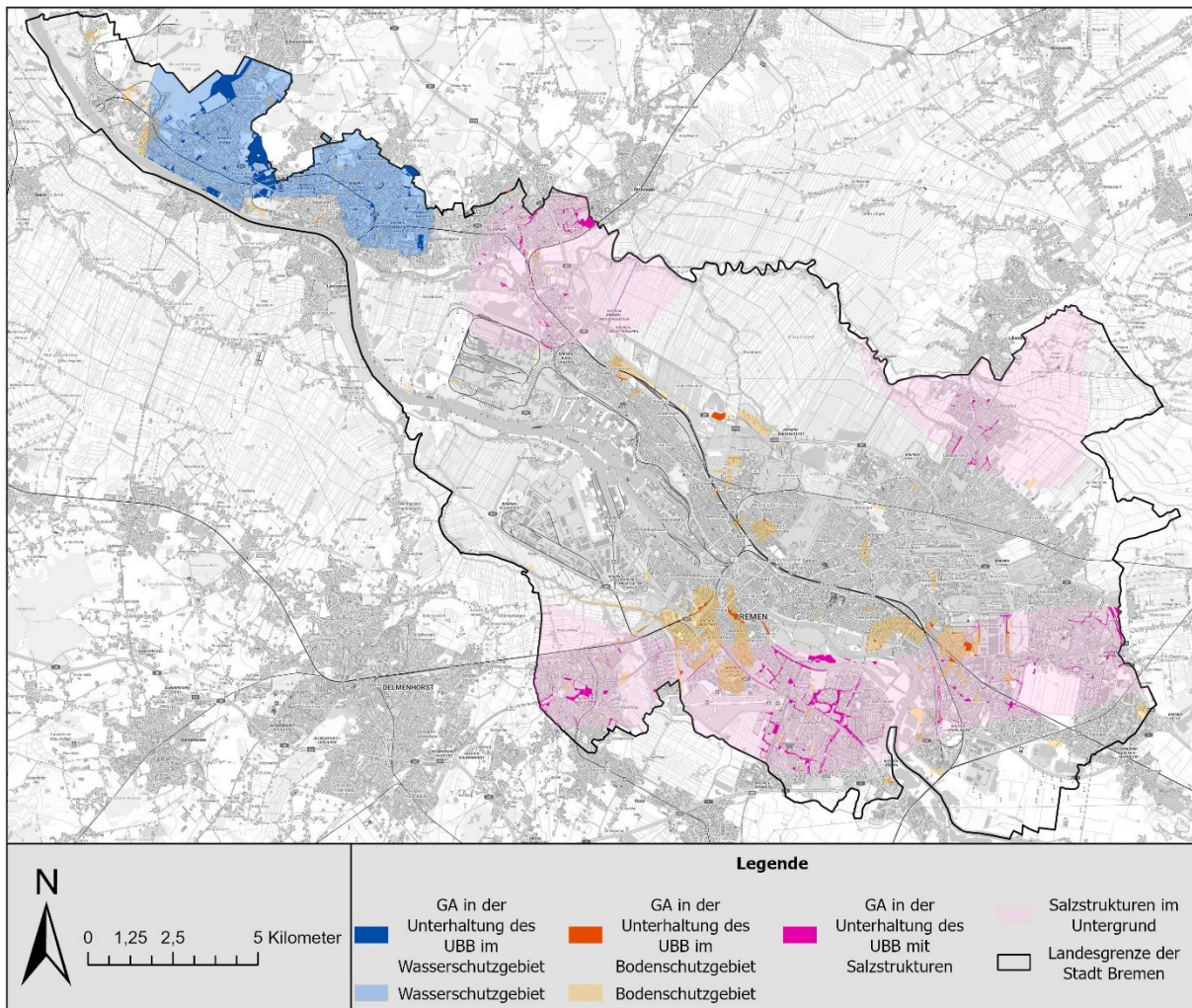


Abb. 25: Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB der Stadt Bremen in Gebieten mit besonderen Einschränkungen für die Nutzung von Erdwärmesonden oder Retentions- bzw. Versickerungsanlagen durch Wasserschutz-, Bodenschutzgebiete oder Salzstrukturen im Untergrund (Eigene Darstellung; Datenquellen: NLWKN (Wasserschutzgebiete), SUKW (Bodenschutzgebiete), GDfB (Salzstrukturen), UBB (Grünanlagen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024))

Die in Abb. 26 dargestellte Karte zeigt ebenfalls das Stadtgebiet Bremen und farblich gekennzeichnet alle GA in der Unterhaltung des UBB. Die in Grün eingefärbten GA mit einer Deklaration Grünanlage als Gebrauchsrasen- oder Wiesenfläche beanspruchen eine Fläche von 3,92 km<sup>2</sup>, welches einem Prozentanteil von rund 31 % der gesamten GA in der Unterhaltung des UBB entspricht. Diese Flächen wurden in diesem Fall als Flächen mit geeigneten Eigenschaften angesehen. Die restlichen 69 % bilden die Flächen mit weniger geeigneten Eigenschaften, mit einer Fläche von 8,72 km<sup>2</sup> ab. Dazu gehören alle Flächen, die nicht der Anlagenart „Grünanlage“ und der Pflegeeinheit „Gebrauchsrasen“, „Wiese“ oder „Wiesen (Blumenwiese)“ angehören.

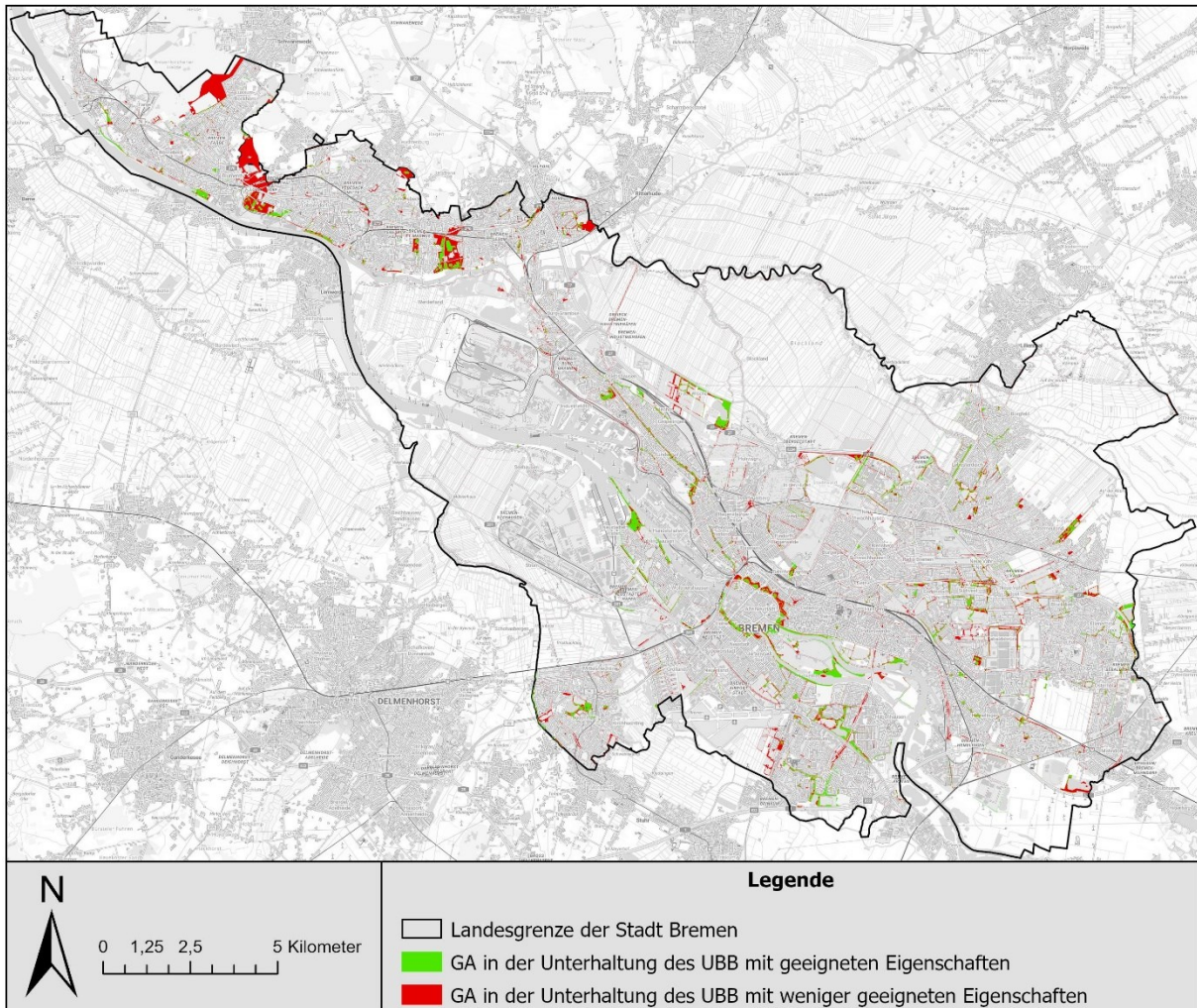


Abb. 26: Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB aufgeteilt in GA mit geeigneten und GA mit weniger geeigneten Eigenschaften für die Installation von Erdwärmesonden, Retentions- oder Versickerungsanlagen (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024))

Die Flächen mit Restriktionen wurden zusammengeführt und als restriktive Fläche von den GA in der Unterhaltung des UBB mit geeigneten Eigenschaften abgezogen. Zudem mussten die Baumflächen von denselben GA abgezogen werden. Verwendet wurden die Baumstandorte des UBB welche im Anhang in Abb. A. 5 dargestellt sind. Die Karte in Abb. 27 zeigt die potenziellen Flächen, welche somit noch verbleiben. Diese stellen insgesamt eine Fläche von 1,57 km<sup>2</sup> dar. Der in Abb. 27 dargestellte Ausschnitt zeigt, dass die Baumflächen bereits von den Flächen abgezogen wurden.

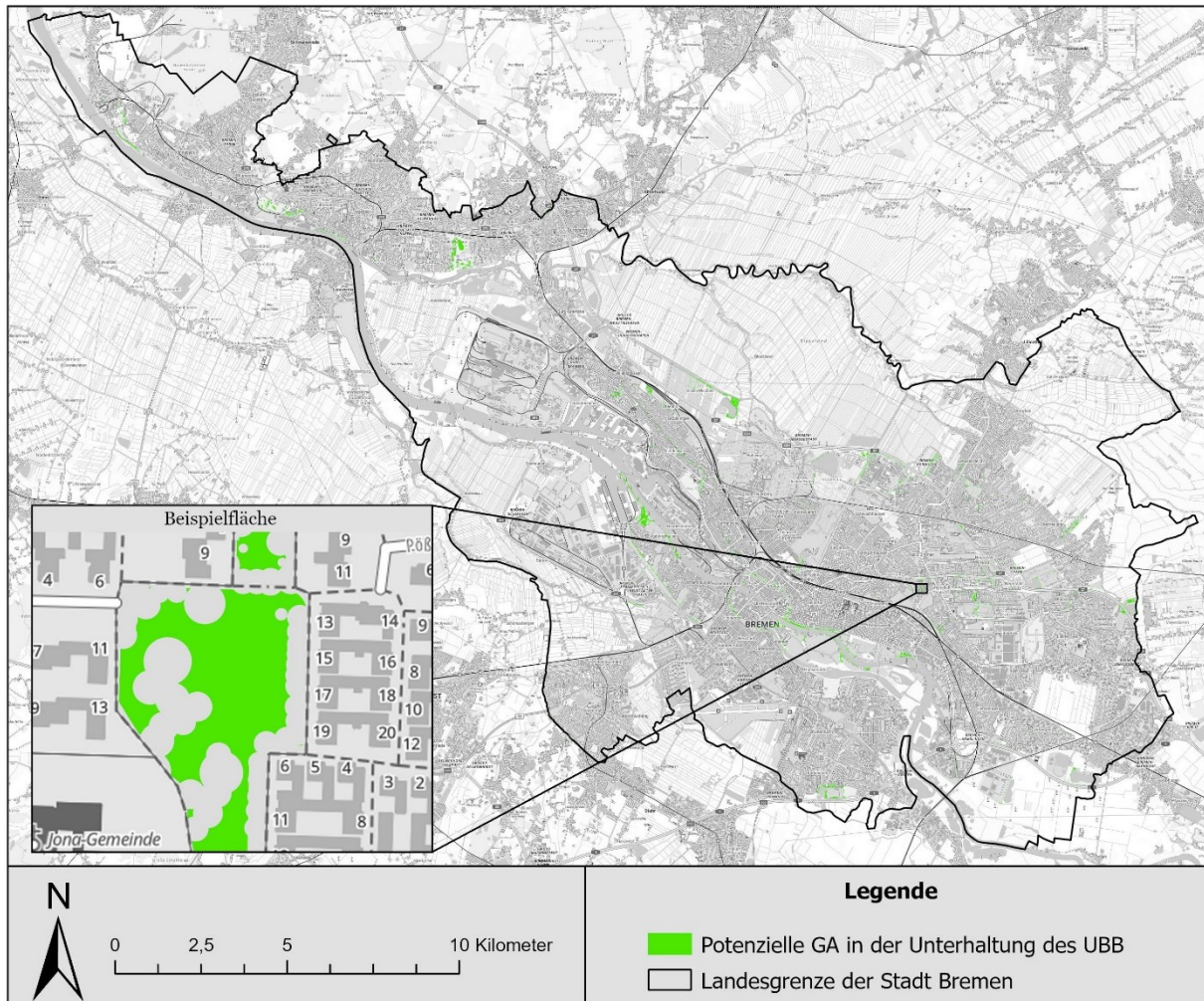


Abb. 27: Potenzielle Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB für die Kombination von Erdwärmesonden mit Retentions- oder Versickerungsanlagen (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen, Baumstandorte), NLWKN (Wasserschutzgebiete), SUKW (Bodenschutzgebiete), GdFB (Salzstrukturen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024))

Diese potenziellen GA wurden mit den Daten der bioklimatischen Bewertung der Grün- und Freiflächen verschnitten. Abgebildet ist die bioklimatische Bewertung der potenziellen GA in Abb. 28. Die bioklimatische Bewertung aller Grün- und Freiflächen der Stadt Bremen ist in Abb. A. 6 im Anhang dargestellt.

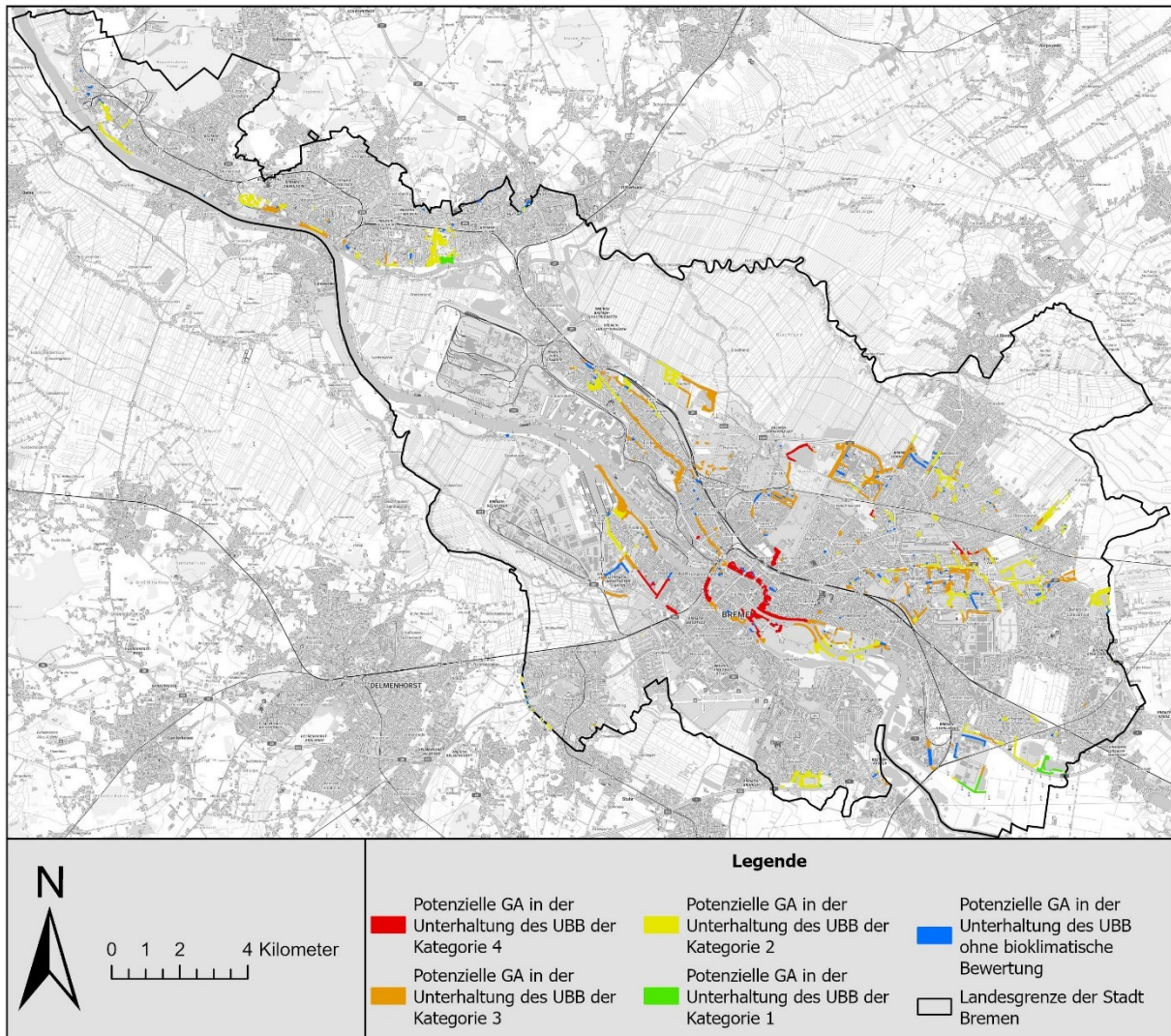


Abb. 28: Bioklimatische Bewertung der potenziellen Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen), NLWKN (Wasserschutzgebiete), SUKW (Bioklimatische Bewertung, Bodenschutzgebiete), GDfB (Salzstrukturen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024))

Von den potenziellen Flächen gehört der geringste Teil der Kategorie 1 an, wie in Tab. 5 dargestellt. Daraufhin folgen Kategorie 4, 3 und 2 nach Anteilsgröße. Im weiteren Verlauf wurden die potenziellen GA der Kategorie 3 und 4 näher betrachtet. Dies sind insgesamt 0,74 km<sup>2</sup>.

Tab. 5: Fläche in km<sup>2</sup> der potenziellen Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB der jeweiligen bioklimatischen Bewertung (Eigene Darstellung)

Bezeichnung	Fläche [km <sup>2</sup> ]
Potenzielle GA in der Unterhaltung des UBB der Kategorie 1	0,06
Potenzielle GA in der Unterhaltung des UBB der Kategorie 2	0,65
Potenzielle GA in der Unterhaltung des UBB der Kategorie 3	0,57
Potenzielle GA in der Unterhaltung des UBB der Kategorie 4	0,17
Potenzielle GA in der Unterhaltung des UBB ohne bioklimatische Bewertung	0,13

Über die Karte der potenziellen GA in der Unterhaltung des UBB der Kategorien 3 und 4 wurde die Starkregengefahrenkarte gelegt, welches in Abb. 29 zu sehen ist.

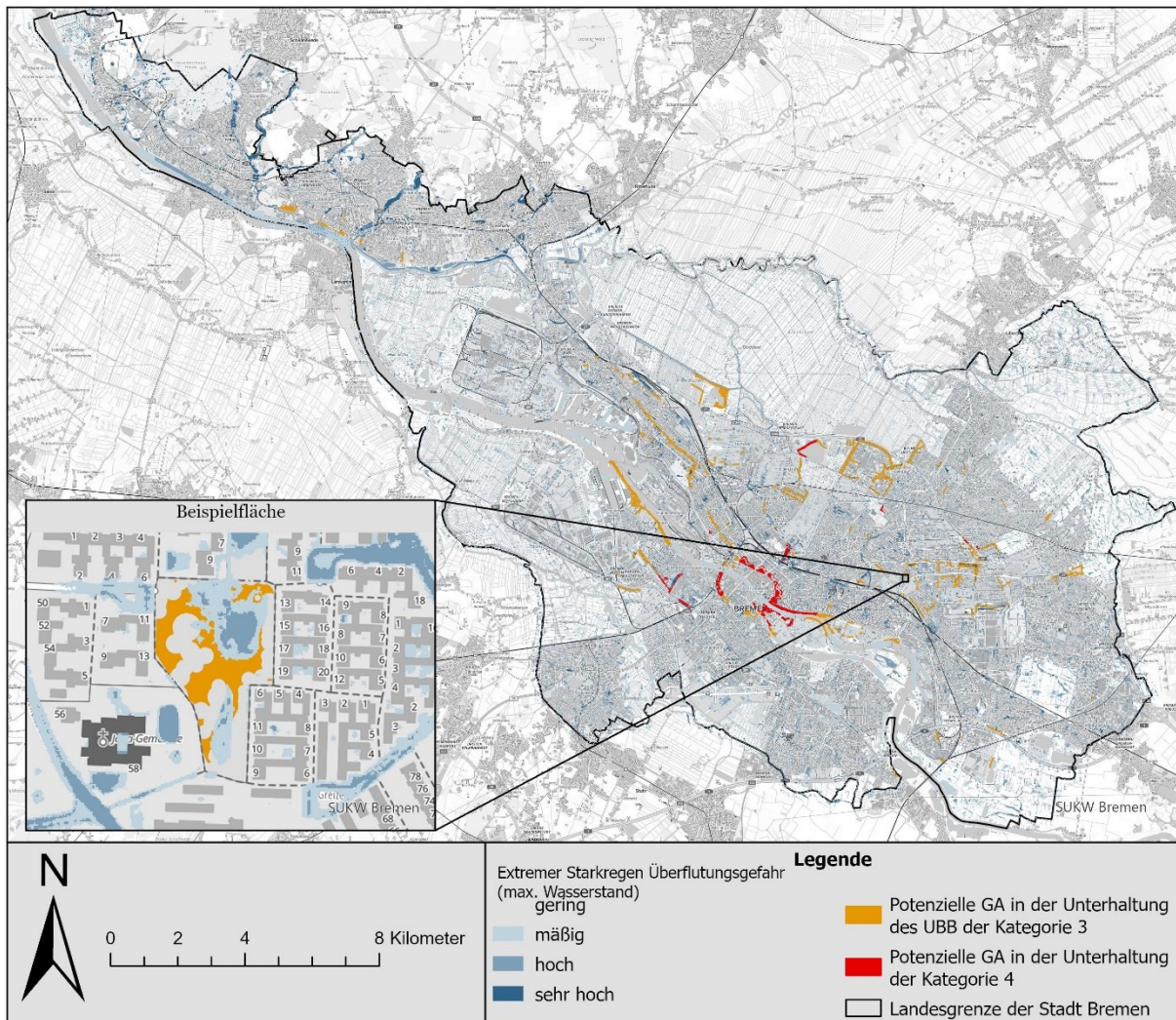


Abb. 29: Potenzielle Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB der bioklimatischen Kategorie 3 und 4 mit den Überschwemmungsgebieten bei extremen Starkregen (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen), NLWKN (Wasserschutzgebiete), SUKW (Starkregenvorsorge, Bioklimatische Bewertung, Bodenschutzgebiete), GdFb (Salzstrukturen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024))

Aus der letzten Karte wurde eine Fläche beispielhaft ausgewählt, die im Folgenden genauer betrachtet wird.

### 5.3 Grünanlage in der Gartenstadt Vahr

Bei der ausgewählten Fläche handelt es sich um eine GA in der Unterhaltung des UBB in der Gartenstadt Vahr. Der Großteil der Fläche gehört mit 81,5 % der Pflegeeinheit „Gebrauchsrasen“ an und der kleinere Anteil mit 18,5 % der Pflegeeinheit „Wiesen (Blumenwiesen)“. Bei der Betrachtung des Luftbildes in Abb. 30 ist zu erkennen, dass es sich um eine mit Rasen bewachsene Grünfläche handelt. Umgeben ist die Fläche von vielen Gebäuden. Durch die vorhergegangene GIS-Analyse wurde ermittelt, dass sich die Fläche außerhalb von WSG, TGG, Bodenschutzgebieten und von Gebieten mit Salzstrukturen im Untergrund befindet. Zudem liegt auf der GA, welche in Abb. 30 als blaue Fläche markiert ist,

eine Baumfreiheit vor und der Sicherheitsabstand zu den Bäumen (hellgrün in Abb. 30) wird eingehalten. Der Abgleich der Baumstandorte auf der erstellten Karte sieht deckungsgleich aus mit dem Luftbild. Die bioklimatische Situation der Fläche wird der Kategorie 3 zugeordnet, welche einer hohen bioklimatischen Bedeutung entspricht. Somit ist die Art der Nutzung der Fläche eingeschränkt, der Grünflächenanteil muss erhalten bleiben und es dürfen keine Erhöhungen durch Bauwerke auf der Fläche entstehen (Etling & Groß, 2013).

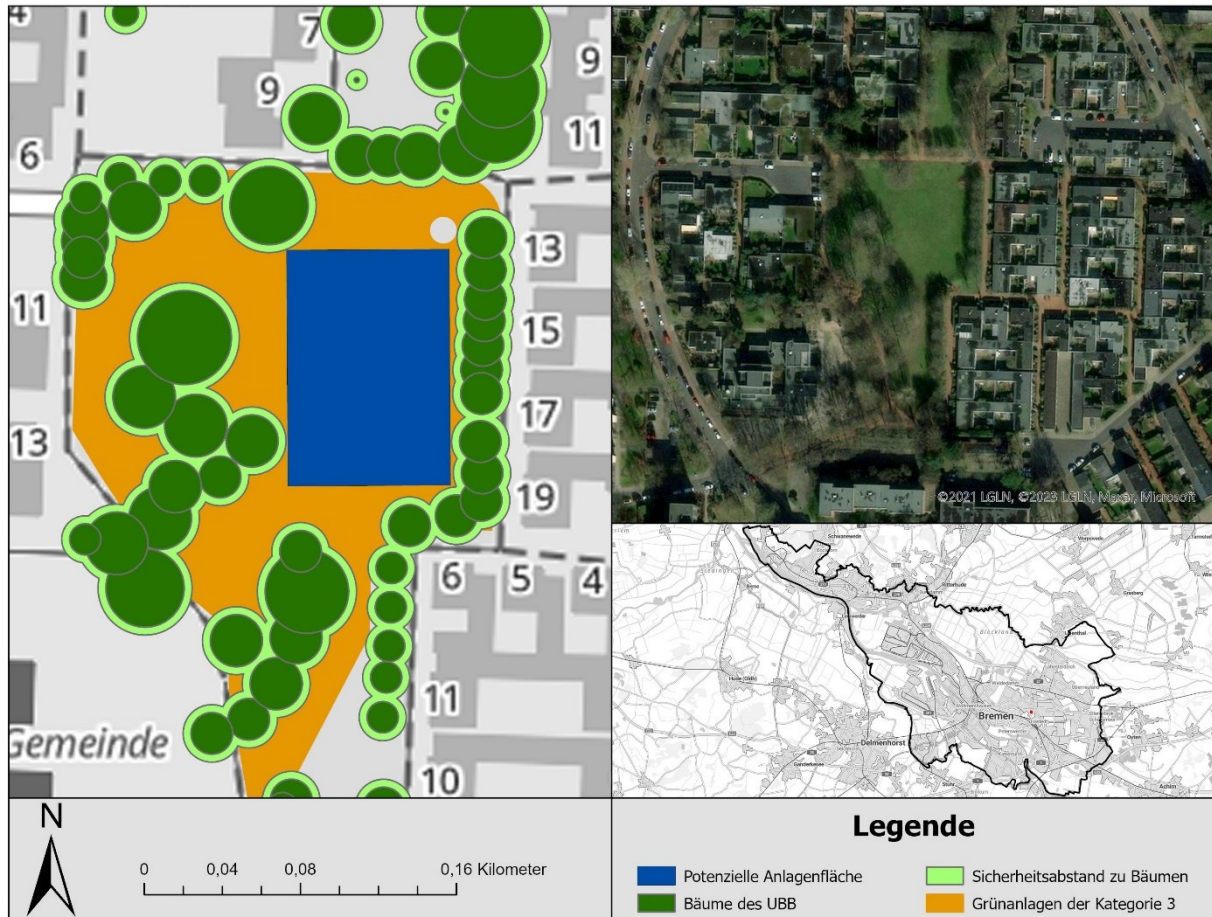


Abb. 30: Darstellung einer potenziellen Anlagenfläche in der Gartenstadt Vahr (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen, Baumstandorte), SUKW (Bioklimatische Bewertung), Landesamt Geoinformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024))

Die ausgewählte Fläche weist eine Größe von insgesamt 1 406,75 m<sup>2</sup> auf. Die begrenzende Nord- und Südseite der Fläche hat jeweils eine Länge von 31,14 m und die West- und Ostseite jeweils eine Länge von 45,81 m. Dabei werden die Baumkronen und der hinzugefügte Sicherheitsabstand von insgesamt 3 m beachtet. Es muss für die Installation von EWS sowie von Retentions- und Versickerungsanlagen ein bestimmter Abstand zu Gebäuden und Geländegrenzen eingehalten werden. Der geringste Abstand der ausgewählten Fläche zur Abgrenzung der eigentlichen GA und somit eventuell einem anschließenden Grundstück liegt am südlichsten Punkt der Ostseite der Fläche vor und beträgt 8 m. Der vorliegende Grundwasserflurabstand befindet sich auf der Fläche bei 2,22 m und die Installation einer allgemeinen geothermischen Anlage ist in dem Gebiet erlaubt. In dem Gebiet Bremens liegt ca. in den oberen 10 m eine bindige und organische Bodenart in Form von Schluff und Ton

vor. Darunter folgt eine nicht bindige Bodenart in Form von Sand und Kies (Freie Hansestadt Bremen, o. D.).

Bei dem Überlagern der Gebiete mit den Überschwemmungsgefahren bei einem extremen Starkregenereignis der Stadt Bremen ist zu erkennen, dass die Fläche bei einem extremen Starkregenereignis durch den entstehenden Oberflächenabfluss überschwemmt wird. Dies gibt keine Auskunft darüber, ob die Fläche zudem von Überschwemmungen durch bspw. Kanalrückstau belastet wird. Es lässt sich aus dieser Karte in Abb. 31 jedoch ableiten, dass die Fläche topografisch niedriger liegt und das Wasser sich somit dort ansammeln würde.

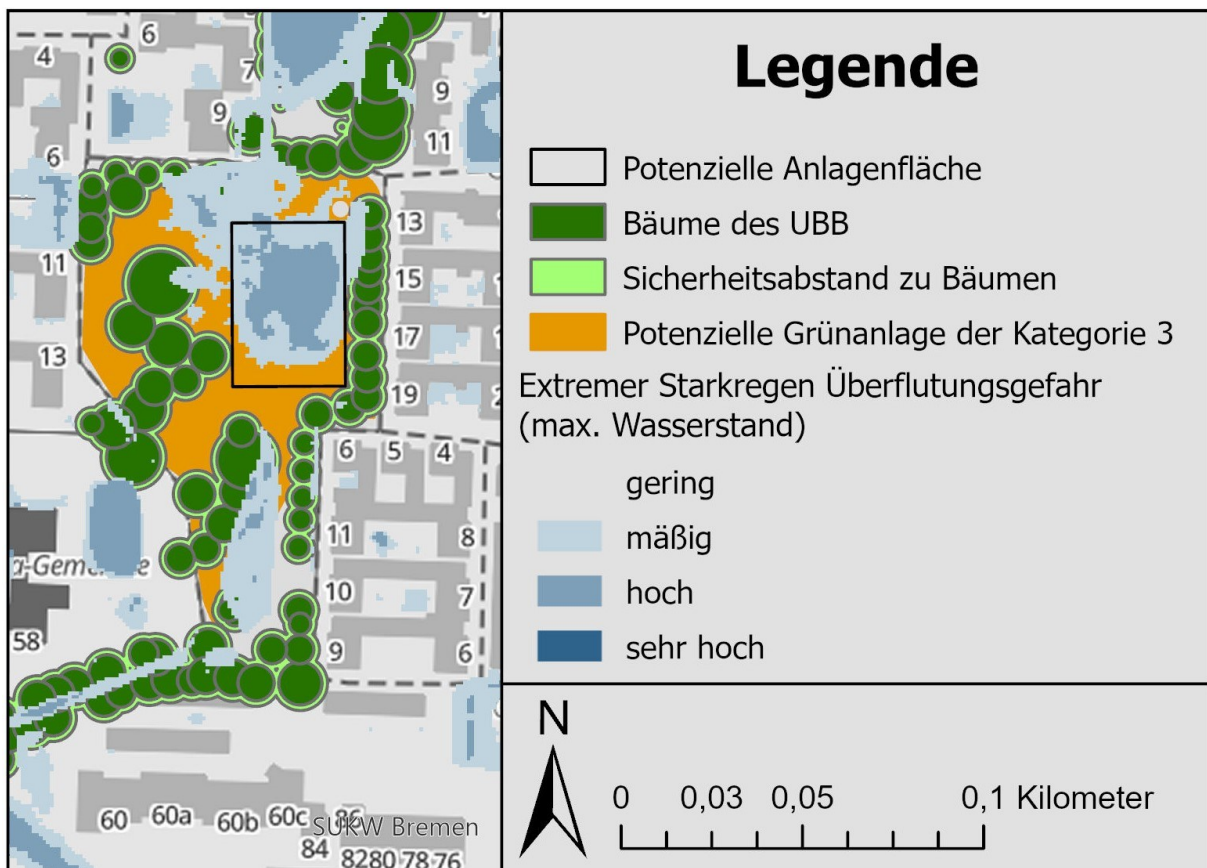


Abb. 31: Darstellung einer potenziellen Anlagenfläche in der Gartenstadt Vahr (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen, Baumstandorte), SUKW (Bioklimatische Bewertung, Starkregenvorsorge), Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024))

Die 1 406,75 m<sup>2</sup> große Fläche verringert sich durch die benötigte Böschung für die Retentions- und Versickerungsanlagen. Bei den Retentionsanlagen konnte davon ausgegangen werden, dass die Böschung auf jeder Seite maximal 7,95 m der Fläche einnimmt. Dies würde zu einer Reduktion der Fläche auf 446,28 m<sup>2</sup> (29,28 m x 15,24 m) führen, welche somit auch für die Installation von EWS verwendet werden kann. Bei den Versickerungsanlagen konnte keine maximal benötigte Breite für die Böschung bestimmt werden. Wenn die Maße der Beispielrechnung aus Kap. 5.1 verwendet werden, wird auf jeder Seite eine Breite von 1,7 m für die Böschung abgezogen. Somit reduziert sich die nutzbare Fläche auf 1 158,98 m<sup>2</sup> (41,78 m x 27,74 m).



## 6. Diskussion

Das Ziel dieser Arbeit war es zu ermitteln, wie eine multifunktionale Nutzung einer öffentlichen Grünfläche in Bremen durch die Klimaschutzmaßnahme oberflächennahe Geothermie mittels EWS in Kombination mit der Klimaanpassungsmaßnahme Wasserretention aussehen könnte und welche Konflikte bzw. Synergien sich daraus ergeben. Im ersten Teil wurde ermittelt, wann sich eine Kombination von EWS mit Retentionsanlagen bzw. Versickerungsanlagen auf einer Grünfläche anbietet. Welche Standorteigenschaften somit gegeben sein müssen, um solch eine multifunktionale Nutzung in Betracht zu ziehen. Im zweiten Teil der Arbeit wurde untersucht, auf welchen Flächen in Bremen eine Kombination der Anlagen möglich wäre und wie dies anhand einer Beispielfläche aussehen könnte.

### 6.1 Standortbedingungen für die multifunktionale Flächennutzung

#### Standortbedingungen für die Kombination von Erdwärmesonden mit Retentionsanlagen

Die Kombination von EWS mit Retentionsanlagen, die eine Abdichtung nach unten aufweisen, ist möglich, wenn der gewählte Standort bestimmte Kriterien erfüllt.

Das Kriterium des Umweltschutzes wird unter Einbeziehung der in Kap. 4.1 benannten Aspekte als neutral bewertet. Die Bewertung basiert darauf, dass sich die Standortauswahl durch die Kombination beider Anlagen auf diejenigen Standorte beschränkt, an denen eine Installation von EWS möglich ist. Mögliche Retentionsanlagen-Standorte sind nicht unbedingt als Standort für EWS geeignet, weil bspw. Salzstrukturen im Untergrund vorliegen. Eine weitere Eingrenzung des Standortes ist in Ausnahmefällen möglich. In dieser Arbeit wurden ausschließlich WSG und TGG als Schutzgebiete berücksichtigt. Weitere Einschränkungen in anderen Schutzgebieten wie bspw. Natur- oder Landschaftsschutzgebieten wurden nicht weiter betrachtet, müssen aber in jedem Fall mit einbezogen werden.

Ein Positivkriterium stellt die erforderliche Baumfreiheit der Fläche dar. Der Grund dafür ist der benötigte Abstand von EWS und Retentionsanlagen zu Bäumen, welcher zu einer Baumfreiheit der gesamten Retentionsfläche führt. Dadurch werden die Anlagen durch die Anforderungen nicht gegenseitig beschränkt. Flächen, die hinsichtlich der Baumfreiheit und des benötigten Abstandes zu Bäumen für die Installation einer Retentionsanlage geeignet sind, sind folglich auch für die Installation von EWS geeignet.

Die vorliegende Bodenart kann ebenfalls als positiv zu bewertendes Kriterium betrachtet werden, weil keine weiteren Einschränkungen des Standortes durch diese vorliegen. Der vorliegende Boden hat lediglich Einfluss auf die Schwierigkeit des Aushubs sowie die Durchführung der Installation von Retentionsanlagen. Jedoch hat die Bodenart Auswirkungen auf die vorliegende Wärmeleitfähigkeit für die EWS. Solange der Standort hinsichtlich der

Bodenart für die Installation und den Betrieb einer EWS geeignet ist, ist dieser auch für die Installation einer Retentionsanlage geeignet.

Neben der Bodenart beeinflusst der Wassergehalt des Bodens die vorliegende Wärmeleitfähigkeit. Da die Wärmeleitfähigkeit eines wassergesättigten Bodens generell höher ist als die eines trockenen Bodens, ist ein feuchter bzw. wassergesättigter Boden als positiv zu vermerken. In Abhängigkeit von den vorliegenden Grundwasserständen kann eine wassergesättigte bzw. feuchte Bodenschicht vorliegen. Wenn ein sehr niedriger Grundwasserstand zu verzeichnen ist, lässt sich vermuten, dass der Boden in einem gewissen Abstand unterhalb der Abdichtung des Retentionsbeckens eher trocken ist. Es wäre zu untersuchen, ob dies Auswirkungen auf die Effizienz der EWS hat. Eine weiterführende Untersuchung dieses Faktors würde über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen. Die Relevanz dieses Faktors müsste jedoch genauer betrachtet werden, um abschätzen zu können, wie groß der Einfluss ist. Aufgrund der spezifischen Eigenschaften der Bodenart, des Wassergehalts und des Grundwasserstandes an den jeweiligen Standorten kann es zudem erforderlich sein, eine projektspezifische Untersuchung dieses Faktors durchzuführen.

Ein weiteres Kriterium sind die vorliegenden Grundwasserverhältnisse. Für die Kombination von Retentionsanlagen mit EWS ist ein Grundwasserstand unterhalb der kombinierten Anlagentiefe vorteilhaft. Sollte der vorliegende Grundwasserstand nicht unterhalb der Sohle der Retentionsanlage liegen, ist eine Errichtung der Retentionsanlage dennoch möglich. Voraussetzung ist eine Grundwasserabsenkung während der Baumaßnahmen sowie Maßnahmen, die einen Auftrieb während des Betriebs verhindern. Dadurch steigen der Aufwand und die Kosten der Anlage. Einzig bei Retentionsanlagen mit einer mineralischen Abdichtung ist die Installation bei einem Grundwasserstand oberhalb der Anlagensohle nicht möglich. Ein zusätzlicher Abstand zwischen dem Grundwasserspiegel und dem Erdwärmesondenkopf unter der Retentionsanlage sollte vorliegen. Dies würde die Installation der EWS vereinfachen und die Gefahr einer Verunreinigung des GW vermindern, da die Gefahr einer Freilegung des GW durch den Abstand minimiert wird. Liegt der vorliegende Grundwasserstand unterhalb der Anlagentiefe inkl. des benötigten Abstands, ist dies als Positivkriterium zu betrachten. Welcher Abstand sich hier eignen würde, wurde im Laufe dieser Arbeit nicht behandelt, muss aber bei detaillierterer Betrachtung genauer ermittelt werden. Zudem müssen Standorte ausgewählt werden, die keine Grundwasserstockwerke in relevanter Tiefe aufweisen, da dies eine Limitierung für die Installation von EWS darstellt. Daraus erfolgt auch eine Limitierung der möglichen Standorte für die Kombination mit Retentionsanlagen.

Bei dem Vergleich der Installationshöhen von EWS in Kombination mit Retentionsanlagen untereinander bzw. mit Überschneidungen ergeben sich verschiedene Vor- und Nachteile. Bei der Installation untereinander liegt eine tiefere Anlagentiefe vor, was zu mehr Bodenaushub

führt. Die Anbindeleitungen verlaufen in diesem Fall unterhalb der Abdichtungen der Retentionsbecken. Sollten die Anbindeleitungen in einen Sammelschacht führen, verläuft dieser ebenfalls unterhalb der Abdichtung. Dies vereinfacht die Installation, da eine aufwendige Durchdringung der Abdichtung nicht notwendig wäre. Außerdem kann die Installation nacheinander und unabhängig voneinander erfolgen. Nachteilig ist die Einbringung untereinander, wenn Reparaturarbeiten anfallen, da die Anbindeleitungen und EWS nur mit großem Aufwand zu erreichen sind. Insbesondere die vorliegende Abdichtung erschwert diese Arbeiten. Bei der Einbringung der Abdichtung und anderer Materialien für die Retentionsfläche ist darauf zu achten, dass die bereits installierten EWS nicht durch schwere Gerätschaften zum Einbringen der Materialien oder das Einbringen selbst beschädigt werden. Wenn eine Installation mit Überschneidung der EWS und Retentionsanlage vorliegt sind mehrere Aspekte zu beachten. Bei der Kombination mit Höhenüberschneidung von EWS mit RRB, die eine geringe Einstauhöhe aufweisen, muss aufgrund der benötigten Installation der EWS unterhalb der Frostgrenze keine Durchdringung der Abdichtung mit der EWS erfolgen. Ausschließlich die Mächtigkeit der Überdeckung der Anbindeleitung müsste etwas niedriger ausfallen. Bei RRB mit höherer Einstauhöhe sowie RBF mit KDB im TS und MS und der Filtermulde in Kombination mit EWS würde es dazu kommen, dass die Abdichtungen mit den EWS durchdrungen werden muss. Dies erfordert spezielle Verfahren und gestaltet die Installation aufwendiger. Sollten die RBF und Filtermulde mit einer mineralischen Schutzschicht nach unten abgedichtet sein, wäre die Durchdringung einfacher. Es muss jedoch gewährleistet sein, dass die Abdichtung um die EWS weiterhin ihren Zweck erfüllt und durch die Einbringung nicht beschädigt wird. Bei der Kombination von RBF im TS und MS mit EWS kommt es bei der höherliegenden Installation der EWS dazu, dass die Dränrohre höhentechisch teilweise direkt an die Anbindeleitungen angrenzen. Die Dränagen und Anbindeleitungen müssten folglich auf der Fläche so verlegt werden, dass der benötigte Abstand von 1 m zueinander trotz relativ gleicher Höhenlage eingehalten werden kann. Dies wäre der Fall, wenn die Dränleitungen von der Definition her als Ver- oder Entsorgeleitung angesehen werden. Diese Definitionsfrage bedarf einer genaueren Untersuchung. Falls Dränleitungen nicht als Ver- oder Entsorgeleitungen definiert werden, wäre genauer zu ermitteln, welcher Abstand eingehalten werden müsste. Zudem wäre zu untersuchen, ob eine Überdeckung der Anbindeleitung erforderlich ist, wenn oberhalb eine Retentionsanlage installiert wird und der benötigte Abstand zu bspw. Ver- und Entsorgungsleitungen eingehalten wird. Dies würde die benötigte Anlagentiefe minimieren und damit die Kosten senken.

### **Standortbedingungen für die Kombination von Erdwärmesonden mit Versickerungsanlagen**

Die Kombination von EWS mit Versickerungsanlagen ist möglich, wenn der gewählte Standort bestimmte Kriterien erfüllt und alle notwendigen Abstände eingehalten werden.

Das betrachtete Kriterium des Umweltschutzes wird hier eher als negativ betrachtet. Gesammeltes Niederschlagswasser darf nicht in WSG versickert werden und ist nur in Ausnahmefällen in den Schutzzonen III a und III möglich. Dasselbe gilt für die Installation und Betreibung von EWS innerhalb von WSG und TGG. Positiv zu vermerken ist, dass bei den EWS sowie den Versickerungsanlagen keine Altlasten und Kampfmittel im Untergrund vorliegen dürfen. Wodurch eine Überschneidung der Anforderungen vorliegt. Zudem dürfen für die Installation von EWS keine Salzstrukturen, Gipse und Anhydrite im Untergrund vorliegen. Dementsprechend wird die Anzahl potenzieller Standorte für eine Kombination auf die Standorte für EWS begrenzt. Zusätzlich dürfen, aufgrund der Versickerungsanlage, im Untergrund keine geogenen Stoffanreicherungen mit hohem Freisetzungspotenzial vorliegen, welches zu einer weiteren Einschränkung der möglichen Standorte führt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden ausschließlich WSG und TGG als Schutzgebiete betrachtet. Es müssen auch andere Schutzgebiete wie Natur- oder Landschaftsschutzgebiete berücksichtigt werden, da hierdurch weitere Einschränkungen erfolgen können.

Die erforderliche Baumfreiheit der Fläche stellt ein Positivkriterium dar, da sie für die Installation von EWS und Versickerungsanlagen benötigt wird. Zudem ist für Versickerungsanlagen sowie EWS der gleiche Abstand zu Bäumen einzuhalten. Somit schränkt das Kriterium die beiden Anlagen nicht gegenseitig ein, weshalb es als positiv anzusehen ist. Eine Ausnahme liegt bei der Installation von Rigolen vor, wo der Abstand zu den vorliegenden Bäumen auf die Hälfte des möglichen Kronendurchmessers vergrößert werden muss.

Die Bodenart wird hier als negatives Standortkriterium angesehen, da sie die Standortmöglichkeiten der beiden Anlagen gegenseitig einschränkt. Für beide Anlagen ist ein Untergrund mit einer mittleren Durchlässigkeit geeignet. Diese erlaubt eine gute Versickerung des Wassers sowie eine gute Hinterfüllung der EWS. Ein Boden mit starker Durchlässigkeit wäre in der Kombination eher als negativ zu bewerten. Die Versickerung des Wassers kann durch einen stark durchlässigen Boden vereinfacht werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die benötigte Reinigungsleistung durch den Boden noch gegeben sein muss. Die starke Durchlässigkeit des Bodens wirkt sich jedoch negativ auf die Installation der EWS aus, da diese die Hinterfüllung erschwert. Für die Hinterfüllung der EWS eignet sich neben einem Boden mit mittlerer Durchlässigkeit auch gut ein Boden mit geringer Durchlässigkeit. Dies ist jedoch als negativ für die Versickerungsleistung zu bewerten. Dadurch beschränken sich die Standortmöglichkeiten auf Standorte mit einer mittleren Durchlässigkeit des Bodens.

Die Versickerung des Wassers könnte sich positiv auf die Effizienz der EWS auswirken, da ein wassergesättigter bzw. feuchter Boden die Wärmeleitfähigkeit des Bodens verbessert. Durch die Versickerung des Wassers liegt ein deutlich feuchterer Boden im Bereich der Versickerungsanlage vor. Somit ist in dem Falle auch eine höhere Wärmeleitfähigkeit zu

erwarten und eventuell auch eine höhere Effizienz der EWS. Um eine genauere Aussage darüber treffen zu können, wie bedeutend sich dieser Faktor auf die Effizienz der EWS auswirkt, ist eine detailliertere Betrachtung erforderlich.

Des Weiteren sind die vorliegenden Grundwasserstände zu berücksichtigen. Bei der Kombination einer Versickerungsanlage mit einer EWS sollte der Grundwasserstand möglichst unterhalb der Anlagentiefe liegen. Zu dieser Anlagentiefe wurde bereits der benötigte Abstand von 1 m zwischen der Versickerungsanlage und dem MHGW hinzugefügt, welcher eine Versickerung überhaupt erst ermöglicht. Zusätzlich sollte unterhalb des Erdwärmesondenkopfes ein Abstand zum GW vorliegen. Wie bei der Kombination mit Retentionsanlagen würde dies die Installation der EWS vereinfachen und die Gefahr der Verunreinigung des GW minimieren. Ein Grundwasserstand unterhalb der gesamten Anlagentiefe inkl. eines hinzugefügten Abstandes wird als positives Kriterium betrachtet. Welchen Betrag der genannte Abstand aufweisen soll, wurde im Laufe dieser Arbeit nicht weiter betrachtet und muss genauer untersucht werden. Ebenso gilt bei dieser Kombination, dass Standorte ausgewählt werden müssen, die keine Grundwasserstockwerke in relevanter Tiefe aufweisen, da dies eine Limitierung für die Installation von EWS darstellt. Daraus würde auch eine Limitierung der möglichen Standorte für die Kombination mit Versickerungsanlagen erfolgen.

Bei dem Vergleich der Installation untereinander und mit Überschneidungen kommt es zu einer geringeren Anlagentiefe bei der Installation mit Überschneidungen. Bei der Installation mit Überschneidungen muss der Abstand zu Rigolen beachtet werden. Wie bei der Kombination von EWS und Retentionsanlagen mit Abdichtung sollte hier genauer untersucht werden, ob die Überdeckung der Anbindeleitung benötigt wird oder verringert werden kann. Der Grund dafür ist, dass die Anbindeleitung bereits von einer mächtigeren Bodenschicht überdeckt wird. So kann auch hier die Anlagentiefe minimiert werden, welches die Kosten der Installation senkt und Reparaturarbeiten erleichtert.

## **6.2 Räumliche Analyse zur Ermittlung einer Beispielfläche**

Die räumliche Analyse hat sich auf GA in der Unterhaltung des UBB beschränkt. Das Ergebnis der Analyse mithilfe des GIS ist eine GA-Fläche von 1,57 km<sup>2</sup>, auf welcher potenziell eine Kombination von EWS mit Retentions- oder Versickerungsanlagen erfolgen kann. Wenn die bioklimatische Bewertung berücksichtigt wird, liegt eine Fläche von 0,74 km<sup>2</sup> als potenzielle GA der Kategorien 3 und 4 vor. Zu beachten ist, dass eine stark reduzierte Betrachtung der Flächen erfolgte, um eine Beispielfläche zu ermitteln. Bei allen Datensätzen wurden die aktuellsten, zur Verfügung stehenden Daten verwendet. Es ist nicht auszuschließen, dass ein Teil der Daten nicht dem jetzigen Stand entspricht und bei einer Detailplanung genauer überprüft werden muss.

Der erste Schritt war das Ausschließen der WSG und Bodenschutzgebiete aus den potenziellen GA. Bei den WSG wurden alle Zonen nicht weiter betrachtet, obwohl in den Zonen III a und III der WSG durch Ausnahmen eine kombinierte Installation von EWS mit Retentions- oder Versickerungsanlagen möglich wäre. Dies würde die potenzielle Fläche erhöhen. Bei den Bodenschutzgebieten kann es sein, dass mithilfe einer Untersuchung der spezifischen Situation festgestellt werden kann, dass eine Installation potenziell möglich wäre. Weil dies aber Ausnahmen in spezifischen Fällen wären, wurden die Bodenschutzgebiete in dieser Arbeit nicht weiter als potenzielle Flächen betrachtet. Der letzte Schritt in der Darstellung der restriktiven Gebiete sind die Salzstrukturen. In diesem Falle wurden alle Gebiete mit Salzstrukturen im Untergrund als nicht potenziell nutzbare Flächen angesehen. Eine Eingrenzung der Gebiete mit Salzstrukturen, bspw. auf Flächen mit Salzstrukturen bis zu 500 m Tiefe im Untergrund, würde zu einer deutlichen Erhöhung der Anzahl der potenziell nutzbaren GA führen. Zudem wurde bei der GIS-Analyse nicht berücksichtigt, ob eine Kampfmittelfreiheit, Leitungsfreiheit, Gipse oder Anhydrite im Untergrund vorliegen. Grund dafür ist der begrenzte Umfang der Arbeit sowie die begrenzten zur Verfügung stehenden Daten.

Der Sicherheitsabstand um die Bäume herum muss berücksichtigt werden, wie es in Abb. 27 in Kap. 5.2 dargestellt ist. Eine Vorortbegehung der Fläche oder die Betrachtung eines aktuellen Luftbildes ist zu empfehlen, um mögliche Abweichungen der vorliegenden Daten zum Ist-Zustand auszuschließen.

Die verwendete bioklimatische Bewertung der Grün- und Freiflächen ist aus dem Jahre 2013. Zum jetzigen Zeitpunkt befindet sich diese in der Überarbeitung. Zum Zeitpunkt dieser Arbeit stehen die neuen Daten noch nicht zur Verfügung, weshalb die Daten aus 2013 verwendet wurden. Deshalb kann es sein, dass sich die Bewertungen der verschiedenen Flächen zu heute verändert haben. Außerdem ist zu beachten, dass 0,13 km<sup>2</sup> der potenziellen GA nicht weiter betrachtet wurden, weil keine bioklimatische Bewertung vorlag.

### **6.3 Grünfläche in der Gartenstadt Vahr**

Die GA befindet sich in der unmittelbaren Nähe von Gebäuden, welches bedeutet, dass ein potenzieller Abnehmer der gewonnenen Erdwärme in unmittelbarer Nähe gegeben wäre. Durch die topografisch niedrigere Lage der Fläche, welche der Starkregenkarte zu entnehmen ist, würde sich die Fläche in Hinsicht der Höhenlagen auch für eine Sammlung und Speicherung von Wasser eignen.

In Bezug auf das Kriterium des Umweltschutzes würde sich die Fläche für die Kombination von EWS mit Retentions- sowie auch Versickerungsanlagen eignen. Berücksichtigt werden muss, dass nur die Aspekte von vorliegenden WSG, TGG, Bodenschutzgebieten und Salzstrukturen betrachtet wurden. Keiner der genannten Aspekte liegt auf der betrachteten

Fläche vor, welches eine Installation und den Betrieb einer Kombination beider Anlagen möglich macht. Um eine genauere Aussage treffen zu können, müsste noch geprüft werden, ob auf der Fläche mögliche Kampfmittel, Gipse, Anhydrite oder Ver- und Entsorgungsleitungen vorliegen. Zudem muss geprüft werden, ob sich die Fläche innerhalb eines anderen Schutzgebietes (wie bspw. Landschafts- oder Naturschutzgebiet) befindet. Das Vorkommen mindestens einer dieser Aspekte kann dazu führen, dass sich die Fläche als potenziell ungeeignet darstellt oder zusätzliche Auflagen bzw. Maßnahmen vor der Errichtung erfolgen müssen.

Wenn die Baumbesiedelung der Grünfläche betrachtet wird, kann diese als sehr positiv für beide Anlagenkombinationen betrachtet werden. Die ausgewählte Fläche selbst ist frei von Bäumen und größeren Gewächsen, da es sich um eine Rasenfläche handelt. Zudem wurde bei der ausgewählten Fläche der benötigte Sicherheitsabstand zu den Bäumen schon integriert und würde die Fläche nicht weiter verkleinern. Lediglich bei der Installation einer Rigole kann es sein, dass sich die Flächengröße weiter verkleinert, da der Abstand auf die Hälfte des möglichen Kronendurchmessers vergrößert werden muss.

Neben den Abständen zu den Bäumen muss der benötigte Abstand zu anliegenden Grundstücken und Gebäuden eingehalten werden. Der Abstand der Fläche zu der Grundstücksgrenze beträgt minimal 8 m und zu benachbarten Gebäuden somit noch mehr. Die Abstandsanforderungen für die EWS, welche in Tab. A. 1 und Tab. A. 2 im Anhang aufgelistet sind, wären somit eingehalten. Um eine Aussage für die Retentions- und Versickerungsanlagen zu treffen, muss eine genauere Untersuchung des Einzelfalls durchgeführt werden, weil der benötigte Abstand zur Grundstücksgrenze in der Einzelfallbetrachtung erfolgen muss. Der Abstand zu den Gebäuden sollte in diesem Falle gegeben sein, wenn von einer dezentralen Versickerungsanlage ausgegangen wird. Wird eine zentrale Versickerungsanlage betrachtet, müsste die Fläche etwas verkleinert werden, um den Mindestabstand zu gewährleisten.

Die Bewertung der bioklimatischen Bedeutung der Grünfläche als „Hoch“ gibt Auskunft darüber, dass die Nutzungsmöglichkeiten der Fläche eingeschränkt sind. Der Grünflächenanteil muss erhalten bleiben und zudem muss darauf geachtet werden, dass wenn eine Bebauung der Fläche erfolgt, die Höhe der Bebauung so gering wie möglich gehalten wird. Durch die Einbringung einer Kombination von EWS und Retentions- bzw. Versickerungsanlagen würde in keinem Falle eine Erhöhung auf der Fläche durch Baumaßnahmen erfolgen und der Grünflächenanteil erhalten bleiben. Lediglich bei der Integrierung eines RRB in Erdbauweise kann es zu einer leichten Versiegelung kommen, da der Sohlgraben oftmals aus bspw. Wassersteinen gebildet wird.

Die ausgewählte Fläche beträgt 1 406,75 m<sup>2</sup>. Diese verringert sich durch die benötigte Böschung für die Retentions- und Versickerungsanlagen. Die genannten Verringerungen der Beckenoberflächen durch die Böschungen basieren auf den zuvor erläuterten Annahmen und sind bei einer realen Planung exakt zu bestimmen. Für die genaue Bestimmung der Böschung müssen je nach Retentions- oder Versickerungsanlage Aspekte berücksichtigt werden wie, anfallende Wassermenge, Einstauhöhe, Einstaudauer und der Ableitungsfluss bzw. die vorliegende Versickerungsrate. Die genaue Anordnung der EWS auf der dafür noch zur Verfügung stehenden Fläche, muss unter Erfüllung aller benötigten Abstände erfolgen.

Die Bodeneigenschaften spielen hauptsächlich für die Versickerungsanlage eine wichtige Rolle. Für die Retentionsanlagen mit Abdichtungen hat dies keine besondere Aussagekraft. Da in den ersten 10 m mit bindigem Boden zu rechnen ist, welcher eher eine schlechte Wasserdurchlässigkeit aufweist und somit auch eine schlechte Versickerungsleistung, ist eine Versickerung auf dieser Fläche erschwert. Darunter liegt ein nichtbindiger Boden aus Sand und Kies vor, welcher wiederum eine bessere Wasserdurchlässigkeit aufweist und somit besser für eine Versickerung geeignet wäre. Der Durchlässigkeitsbeiwert des vorliegenden Bodens und die genaue Mächtigkeit der Bodenschichten muss für die Fläche untersucht werden. Sollte der bindige Boden eine deutlich niedrigere Mächtigkeit aufweisen, wäre eventuell ein Bodenaustausch denkbar.

Zu beachten sind zudem die vorliegenden Grundwassereigenschaften auf der Fläche. Der Flurabstand liegt hier bei 2,22 m. Alle Kombinationen von Retentionsanlagen mit EWS untereinander weisen eine gesamte Anlagentiefe von über 2,22 m auf. Für die Retentionsanlagen selbst wäre es möglich, den Einbau mithilfe einer Grundwasserabsenkung durchzuführen. Außer für Retentionsanlagen mit einer mineralischen Abdichtung. Es müsste weitergehend untersucht werden, ob die Einbringung von EWS mithilfe einer Grundwasserabsenkung möglich ist. Dies konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht genauer betrachtet werden. Wenn eine Installation der EWS und Retentionsanlagen mit Überschneidung erfolgt, liegt die Tiefe bei den meisten betrachteten Anlagen knapp unter den 2,22 m. Bei solch einem geringen Abstand zum Grundwasser ist eine Grundwasserabsenkung höchstwahrscheinlich für den Einbau notwendig. Zu beachten ist, dass diese Tiefen für die Retentionsanlage für die niedrigste Einstauhöhe gelten. Wenn die Einstauhöhe erhöht wird, steigt auch die Überschneidung der Anlagentiefe mit dem vorliegenden Grundwasser. Bei der Betrachtung der hier genannten Versickerungsanlagen befindet sich nur die Anlagentiefe der Mulde oberhalb des vorliegenden Grundwasserflurabstandes. Bei allen anderen Kombinationen von EWS mit Versickerungsanlagen würde die Installation der EWS ungefähr auf der Höhe des Grundwasserstandes erfolgen. Somit müsste betrachtet werden, ob eine Installation der EWS mithilfe einer Grundwasserabsenkung möglich wäre.



Unabhängig von dem vorliegenden Grundwasserstand muss die Art des vorliegenden Grundwassers betrachtet werden. Es muss ermittelt werden, ob ein gespanntes oder ein artesisch gespanntes Grundwasser, Grundwasserstockwerke oder Grundwasser mit hohen Fließgeschwindigkeiten vorliegt, da dies zu Schwierigkeiten bei der Hinterfüllung der EWS führen kann und diese auch ganz verhindern kann.

## 7. Fazit und Ausblick

In dieser Arbeit wurde ermittelt, ob die Kombination von EWS mit Klimaanpassungsmaßnahmen zur Wasserretention auf einer öffentlichen Grünfläche möglich ist. Mithilfe einer Literaturrecherche wurde untersucht, wann eine Kombination von EWS mit Retentionsanlagen inklusive Abdichtung oder Versickerungsanlagen sinnvoll erscheint und wie diese erfolgen kann. Anschließend wurde mithilfe einer GIS-Analyse eine Fläche innerhalb der Stadt Bremen ermittelt, auf der eine Kombination der Anlagen möglich erscheint und diese Fläche näher betrachtet.

Folgende wesentliche Erkenntnisse ergeben sich aus der Literaturrecherche, der anschließenden GIS-Analyse sowie der näheren Betrachtung der Beispielfläche:

- Die Standortauswahl für eine Kombination von EWS mit Retentions- oder Versickerungsanlagen wird durch Umweltschutzkriterien (WSG, TGG, Altlasten, Kampfmittel, Salzstrukturen, Gipse, Anhydrite) auf mögliche EWS-Standorte beschränkt. Bei der Kombination mit Versickerungsanlagen sind zusätzlich Flächen mit geogenen Stoffanreicherungen mit einem hohen Freisetzungspotenzial nicht geeignet.
- Für die Kombination von EWS mit Retentions- oder Versickerungsanlagen muss die Fläche eine Baumfreiheit aufweisen und der Abstand der Anlagen zu Bäumen gemäß DIN 18920 eingehalten werden. Bei Rigolen muss der Abstand zu Bäumen die Hälfte des möglichen Kronendurchmessers betragen, wenn dieser größer ist.
- Für EWS in Kombination mit Retentionsanlagen begrenzen sich die Standorte hinsichtlich der Bodenarten auf mögliche EWS-Standorte. Bei der Kombination mit Versickerungsanlagen eignen sich nur Flächen mit einer mittleren Durchlässigkeit des Bodens.
- Die Installation von EWS unterhalb von Retentionsanlagen ist der Installation mit Überschneidungen vorzuziehen, wenn der vorliegende Grundwasserstand dies erlaubt.
- Von der Fläche der Stadt Bremen über 318,2 km<sup>2</sup> sind 3,92 km<sup>2</sup> als GA in der Unterhaltung des UBB mit „Grünanlage“ als „Gebrauchsrasen“, „Wiese“, oder „Wiese (Blumenwiese)“ deklariert. Davon befinden sich 1,57 km<sup>2</sup> außerhalb der in dieser Arbeit betrachteten restriktiven Gebiete, von welchen 0,74 km<sup>2</sup> bioklimatisch mit der Kategorie 3 oder 4 bewertet wurden.
- Die betrachtete Fläche in der Gartenstadt Vahr eignet sich hinsichtlich der betrachteten Kriterien für die Kombination einer EWS mit Retentionsanlage mit Abdichtung. (Ausgenommen Retentionsanlagen mit mineralischer Abdichtung aufgrund des Grundwasserstandes) Ein Konflikt stellt der geringe Abstand zum GW dar, was eine

Grundwasserabsenkung erfordert, um die Retentionsanlage zu installieren, gefolgt von Maßnahmen zur Verhinderung des Auftriebs. Außerdem kann es zu Einschränkungen der Installation von EWS so dicht an der Grundwasseroberfläche kommen.

- Die betrachtete Fläche in der Gartenstadt Vahr eignet sich aufgrund der oberhalb vorliegenden bindigen Bodenschicht nicht für eine Kombination von EWS mit Versickerungsanlagen, da der Boden voraussichtlich nicht für eine Versickerung geeignet ist. Hinsichtlich der anderen betrachteten Kriterien wäre eine Kombination von EWS mit Versickerungsanlagen auf dieser Fläche möglich.

Die Kombination von Retentions- oder Versickerungsanlagen auf einer öffentlichen Grünfläche stellt ein mögliches multifunktionales Nutzungspotenzial der Flächen dar. Insbesondere auf Flächen mit einer bioklimatischen Bewertung der Kategorien 3 und 4, da diese nicht mit Anlagen bebaut werden dürfen, die eine bauliche Erhöhung aufweisen und der Grünflächenanteil der Fläche erhalten bleiben muss. Aus dieser Arbeit ergeben sich weitere Aspekte, die näher betrachtet werden müssten und interessante Forschungsfelder aufzeigen. Diese werden im Folgenden dargestellt:

- Der bei einer Versickerung vorliegende feuchte Boden kann zu einer höheren Wärmeleitfähigkeit des Bodens führen. Bei Retentionsanlagen kann ein eher trockenerer Boden direkt unterhalb der Abdichtung vorliegen, abhängig vom vorliegenden Grundwasserstand, welches die Wärmeleitfähigkeit des Bodens verringert. Hier wäre zu untersuchen, ob und wie stark sich die Szenarien auf die Effizienz der EWS auswirken.
- Abhängig von der zu installierenden Anlagenkombination liegt eine unterschiedliche Anlagentiefe vor. Die Untersuchung des benötigten Abstands zwischen der Installationsstelle der EWS und dem Grundwasserstand wäre notwendig, um eine sichere Installation zu gewährleisten und zu ermitteln, ob weitere Einschränkungen hieraus resultieren könnten.
- Die Anbindeleitungen der EWS werden bei der Installation überdeckt. Es wäre zu überprüfen, ob die Überdeckung der Anbindeleitung von EWS bei der Kombination mit Retentions- oder Versickerungsanlagen notwendig ist oder verringert werden kann (unter Berücksichtigung des benötigten Abstands zu möglichen Dränagen, Abdichtungen oder Rigolen). Dies ist zu untersuchen, da bereits Schichten oberhalb der Anbindeleitungen bei einer kombinierten Installation vorliegen.
- Zwischen Erdwärmesondenanlagen und Ver- und Entsorgungsleitungen muss ein Abstand von mindestens 1 m vorliegen. Die Definition von Ver- und Entsorgungsleitungen müsste geschärft werden, um zu ermitteln, ob mögliche

Dränsysteme zur Ableitung des Wassers von der Retentionsfläche zu Ver- und Entsorgungsleitungen gehören und ob somit der Abstand von mindestens 1 m zwischen Erdwärmesondenanlage und dem Dränsystem eingehalten werden muss.

- Die Arbeit beschränkt sich auf die Kombination von Klimaanpassungsmaßnahmen zur Wasserretention mit EWS. Eine Erweiterung der Untersuchung um die Kombination mit bspw. Erdwärmekollektoren wäre denkbar.
- In dieser Arbeit wurde nicht untersucht, wie genau die gewonnene Erdwärme der EWS verwendet werden kann (bspw. Anbindung an kalte oder warme Nahwärmenetze) und wie die Anbindung der Retentions- oder Versickerungsanlagen an die vorliegende Wasserinfrastruktur erfolgen kann. Dieser zentrale Aspekt muss detailliert betrachtet werden. Zudem ist die Frage der Zuständigkeit genauer zu erörtern.

## Literaturverzeichnis

**Adrian, L., Bock, S., Bunzel, A., Preuß, T. & Rakel, M. (2018):** *Instrumente zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme. Aktionsplan Flächensparen*. Online verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-05-24\\_texte\\_38-2018\\_reduzierung-flaecheninanspruchnahme.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-05-24_texte_38-2018_reduzierung-flaecheninanspruchnahme.pdf), zuletzt geprüft am 03. Mai 2024

**AEE, Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (2010):** *Erneuerbare Energien in der Fläche. Hintergrundinformationen*. Online verfügbar unter: [https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/129.23\\_Renews\\_Spezial\\_Erneuerbare\\_Energien\\_in\\_der\\_Flaeche\\_jan10\\_online.pdf](https://www.unendlich-viel-energie.de/media/file/129.23_Renews_Spezial_Erneuerbare_Energien_in_der_Flaeche_jan10_online.pdf), zuletzt geprüft am 20. Mai 2024

**AGEE-Stat, Arbeitsgruppe Erneuerbare Energie-Statistik (2024):** *Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2023. Grafiken und Diagramme unter Verwendung aktueller Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistiken (AGEE-Stat)*. Online verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/erneuerbare-energien-in-deutschland-uba-2023\\_02-2024.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/372/dokumente/erneuerbare-energien-in-deutschland-uba-2023_02-2024.pdf), zuletzt geprüft am 20. Mai 2024

**BBSR, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2018):** *Starkregeneinflüsse auf die bauliche Infrastruktur*. Online verfügbar unter: [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2018/starkregeneinfluesse-dl-auflage-2.pdf;jsessionid=B7AFE84CF3C90B0BAA2829D2F72006EE.live11292?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2018/starkregeneinfluesse-dl-auflage-2.pdf;jsessionid=B7AFE84CF3C90B0BAA2829D2F72006EE.live11292?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt geprüft am 21. Mai 2024

**Bussmann, W. (2012):** *Geothermie. Energie aus dem Innern der Erde*. Stuttgart: Fraunhofer IRB

**BVG, Bundesverband Geothermie e.V. (2023):** *Wärmeversorgung mit Oberflächennaher Geothermie. Schritt für Schritt von der Idee bis zum Betrieb*. Online verfügbar unter: [https://www.geothermie.de/fileadmin/user\\_upload/Bibliothek/Downloads/Stellungnahmen\\_und\\_Positionspapiere/20230224\\_BVG-ONG-Broschuere\\_web.pdf](https://www.geothermie.de/fileadmin/user_upload/Bibliothek/Downloads/Stellungnahmen_und_Positionspapiere/20230224_BVG-ONG-Broschuere_web.pdf), zuletzt geprüft am 21. Mai 2024

**DWA, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2006):** *Abwasserableitung. Bemessungsgrundlagen, Regenwasserbewirtschaftung, Fremdwasser, Netzsanierung, Grundstücksentwässerung*. 1. Aufl. Weimar, Hennef: Univ.-Verl.; DWA

**ErdwärmeDich e.V. (o. D.):** *Der Verein ErdwärmeDich e.V. Unser Beitrag zur Klimawende!* Online verfügbar unter: <https://xn--erdwrme-dich-jcb.de/erdwaerme-dich/erdwaermedich-ev-verein/>, zuletzt geprüft am 27. Mai 2024

**Esri (o. D.):** *Räumliche Analyse in ArcGIS Pro*. Online verfügbar unter: <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/latest/help/analysis/introduction/spatial-analysis-in-arcgis-pro.htm>, zuletzt geprüft am 21. Mai 2024

**Etling, C. & Groß, G. (2013):** *Klimaanalyse für das Stadtgebiet der Hansestadt Bremen*. Online verfügbar unter: [https://www.lapro-bremen.de/assets/Lapro-Plan/FB\\_Stadtklima\\_2013/2\\_12\\_013\\_Bremen\\_Klimaanalyse\\_rev02\\_Aug2013.pdf](https://www.lapro-bremen.de/assets/Lapro-Plan/FB_Stadtklima_2013/2_12_013_Bremen_Klimaanalyse_rev02_Aug2013.pdf), zuletzt geprüft am 21. Mai 2024

**Freie Hansestadt Bremen (o. D.):** *GeoPortal Bremen*. Online verfügbar unter: <https://geoportal.bremen.de/geoportal/#>, zuletzt geprüft am 20. Mai 2024

**Geiger, W., Dreiseitl, H. & Stemplewski, J. (2010):** *Neue Wege für das Regenwasser. Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten*. 3. Aufl. München: Oldenbourg Industrieverlag

**Gerodur (2023):** *GEROthem Hosenstücke und Zubehör*. Online verfügbar unter: <https://www.gerodur.de/de/gerootherm-hosenstuecke--zubehoer/>, zuletzt geprüft am 20. Mai 2024

**Gujer, W. (2007):** *Siedlungswasserwirtschaft*. 3. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer

**Gusseck Haus (o. D.):** *Was versteht man unter Frostgrenze*. Online verfügbar unter: <https://www.gusseck-haus.de/newsroom/baulexikon/dictionary/F/Frostgrenze/?cHash=f18adcbc83ef776652636dde747e37d7>

**hanseWasser Bremen GmbH (o. D.):** *Fragen und Antworten rund ums Abwasser. Und: Wie entsorge ich richtig?* Online verfügbar unter: <https://www.hansewasser.de/service/fragen-und-antworten>, zuletzt geprüft am 20. Mai 2024

**LBEG, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (2017):** *Geothermie. Wie viel Platz benötige ich für die Erdwärmesonden - gibt es Grenzabstände?* Online verfügbar unter: <https://www.lbeg.info/?pgId=302&WilmaLogonActionBehavior=Default>, zuletzt geprüft am 21. Mai 2024

**Leipziger Wasserwerke (2019):** *Technisches Regelwerk Abwasserableitung. Technisches Regelwerk Abwasserableitung Teil 2 Sonderbauwerke im Kanalnetz*. Online verfügbar unter: [https://docplayer.org/202120126-Technisches-regelwerk-\\_.html](https://docplayer.org/202120126-Technisches-regelwerk-_.html), zuletzt geprüft am 21. Mai 2024

**LfU, Bayerisches Landesamt für Umwelt (2012):** *Planung und Erstellung von Erdwärmesonden. Sole- oder wasserbetriebene Erdwärmesonden für Wärmepumpenanlagen mit einer Heizleistung bis maximal 30 kW*, zuletzt geprüft am 21. Mai 2024

**MKULV, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2015):** *Retentionsbodenfilter. Handbuch für Planung, Bau und Betrieb*. Online verfügbar unter: <https://www.researchgate.net>

/publication/283088091\_Retentionsbodenfilter\_-\_Handbuch\_fur\_Planung\_Bau\_und\_Betrieb\_Reed\_Bed\_Filters\_retention\_soil\_filters\_-\_Handbook\_fur\_design\_construction\_and\_operation, zuletzt geprüft am 21. Mai 2024

**MUST & DAHLEM, MUST & DAHLEM Beratende Ingenieure (2017):** *MURIEL - Multifunktionale Retentionsflächen. Teil 3: Arbeitshilfe für Planung, Umsetzung und Betrieb.* Online verfügbar unter: [https://www.dahlem-ingenieure.de/fileadmin/content/images/aktuelles/projektnews/MURIEL\\_Teil\\_3\\_Arbeitshilfe.pdf](https://www.dahlem-ingenieure.de/fileadmin/content/images/aktuelles/projektnews/MURIEL_Teil_3_Arbeitshilfe.pdf), zuletzt geprüft am 07. Mai 2024

**Panteleit, B., Ortmann, S. & Langer, S. (2022):** *Leitfaden oberflächennahe Geothermie im Land Bremen.* Online verfügbar unter: <https://www.gdfb.de/wp-content/uploads/2022/10/Leitfaden-Geothermie-Bremen.pdf>, zuletzt geprüft am 14. Januar 2024

**Porth, M. & Schüttrumpf, H. (2017):** *Wasser, Energie und Umwelt. Starkregen und urbane Sturzfluten – Handlungsempfehlungen zur kommunalen Überflutungsvorsorge.* Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden

**Resch, H. & Schatz, R. (2020):** *Abwassertechnik verstehen. Ein kleines 1 x 1 der Abwassertechnik für Einsteiger und Laien.* 2. Aufl. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall

**Sieker, F., Kaiser, M. & Sieker, H. (2006):** *Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung im privaten, gewerblichen und kommunalen Bereich. Grundlagen und Ausführungsbeispiele.* Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl.

**Statistisches Landesamt Bremen (2023):** *Bremen in Zahlen 2023.* Online verfügbar unter: <https://www.statistik.bremen.de/publikationen/bremen-in-zahlen-2056>, zuletzt geprüft am 21. Mai 2024

**StMUV, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2020):** *Wassersensible Siedlungsentwicklung. Empfehlungen für ein zukunftsfähiges und klimaangepasstes Regenwassermanagement in Bayern.* Online verfügbar unter: [https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop\\_app000009?SID=1861095266&ACTIONxSESSxSHOWPIC\(BILDxKEY:%27stmuw\\_wasser\\_018%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27\)](https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000009?SID=1861095266&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%27stmuw_wasser_018%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27)), zuletzt geprüft am 20. Mai 2024

**StMUV, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2024a):** *Wassersensible Siedlungsentwicklung.* Online verfügbar unter: [https://www.stmuw.bayern.de/themen/wasserwirtschaft/abwasser/wassersensible\\_siedlungsentwicklung/index.htm](https://www.stmuw.bayern.de/themen/wasserwirtschaft/abwasser/wassersensible_siedlungsentwicklung/index.htm), zuletzt geprüft am 20. Mai 2024

**StMUV, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2024b):** *Wassersensible Stadt.* Online verfügbar unter: [https://www.stadtklimatur.bayern.de/klimaanpassung/wassersensible\\_stadt/index.html](https://www.stadtklimatur.bayern.de/klimaanpassung/wassersensible_stadt/index.html), zuletzt geprüft am 21. Mai 2024

**Stober, I. & Bucher, K. (2020):** *Geothermie*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum

**SUBV, Senator für Umwelt, Bau und Verkehr (2015):** *Merkblatt für eine wassersensible Stadt- und Freiraumgestaltung. Empfehlungen und Hinweise für eine zukunftsfähige Regenwasserbewirtschaftung und eine Überflutungsvorsorge bei extremen Regenereignissen in Bremen*. Online verfügbar unter: <https://www.transparenz.bremen.de/metainformationen/merkblatt-wassersensible-stadt-und-freiraumgestaltung-druck-pdf-61882>, zuletzt geprüft am 14. Mai 2024

**SUBV, Senator für Umwelt, Bau und Verkehr (2018):** *Klimaanpassungsstrategie Bremen Bremerhaven. Kurzfassung*. Online verfügbar unter: <https://www.klimaanpassung.bremen.de/downloads-links/downloads-20412>, zuletzt geprüft am 21. Mai 2024

**SUKW, Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft (o. D.a):** *Auskunfts- und Informationssystem Starkregenvorsorge*. Online verfügbar unter: <https://gis-hub.bremen.de/portal/apps/sites/#!/starkregenvorsorge>, zuletzt geprüft am 24. Mai 2024

**SUKW, Senatorin für Umwelt, Klima und Wissenschaft (o. D.b):** *KLAS. Extreme Regenereignisse in Bremen*. Online verfügbar unter: <https://www.klas-bremen.de/klas/august-2011-5390>, zuletzt geprüft am 21. Mai 2024

**Thielen, A., Otto, A., Haupt, W., Eckersley, P., Kern, K., Ullrich, S., Hautz, T., Rocker, P., Schulz, R., Sausen, H., Dillenardt, L., Rose, C., Schmidt, K., Huber, B., Sterzel, T., Marken, M. & Miechielsen, M. (2022):** *Urbane Resilienz gegenüber extremen Wetterereignissen*: Universität Potsdam

**UBA, Umweltbundesamt (2024):** *Erneuerbare Energie in Zahlen. Wärme aus erneuerbaren Energien*. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen#wuerme>, zuletzt geprüft am 27. Mai 2024

**WD, Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages (2023):** *Die Wärmewende in Deutschland - Bedeutung, Ziele und Umsetzbarkeit*. Online verfügbar unter: <https://www.bundestag.de/resource/blob/940166/b842d5428e65f5924a17f2d5d66a8a54/WD-5-010-23-pdf-data.pdf>, zuletzt geprüft am 14. Januar 2024

**Wittig, S. (2023):** *Klimaanpassungscheck 2.0. Leitfaden zur Integration der Klimaanpassungsbelange in die städtebauliche Planung*. Online verfügbar unter: <https://www.klimaanpassung.bremen.de/downloads-links/downloads-23573>, zuletzt geprüft am 28. Mai 2024

**WWNW, Wärmewende Nordwest (2022):** *Mit Digitalisierung die Wärmewende im Nordwesten schaffen*. Online verfügbar unter: <https://www.waermewende-nordwest.de/>, zuletzt geprüft am 28. Mai 2024



## Anhang

### A1. Ergänzende Abbildungen

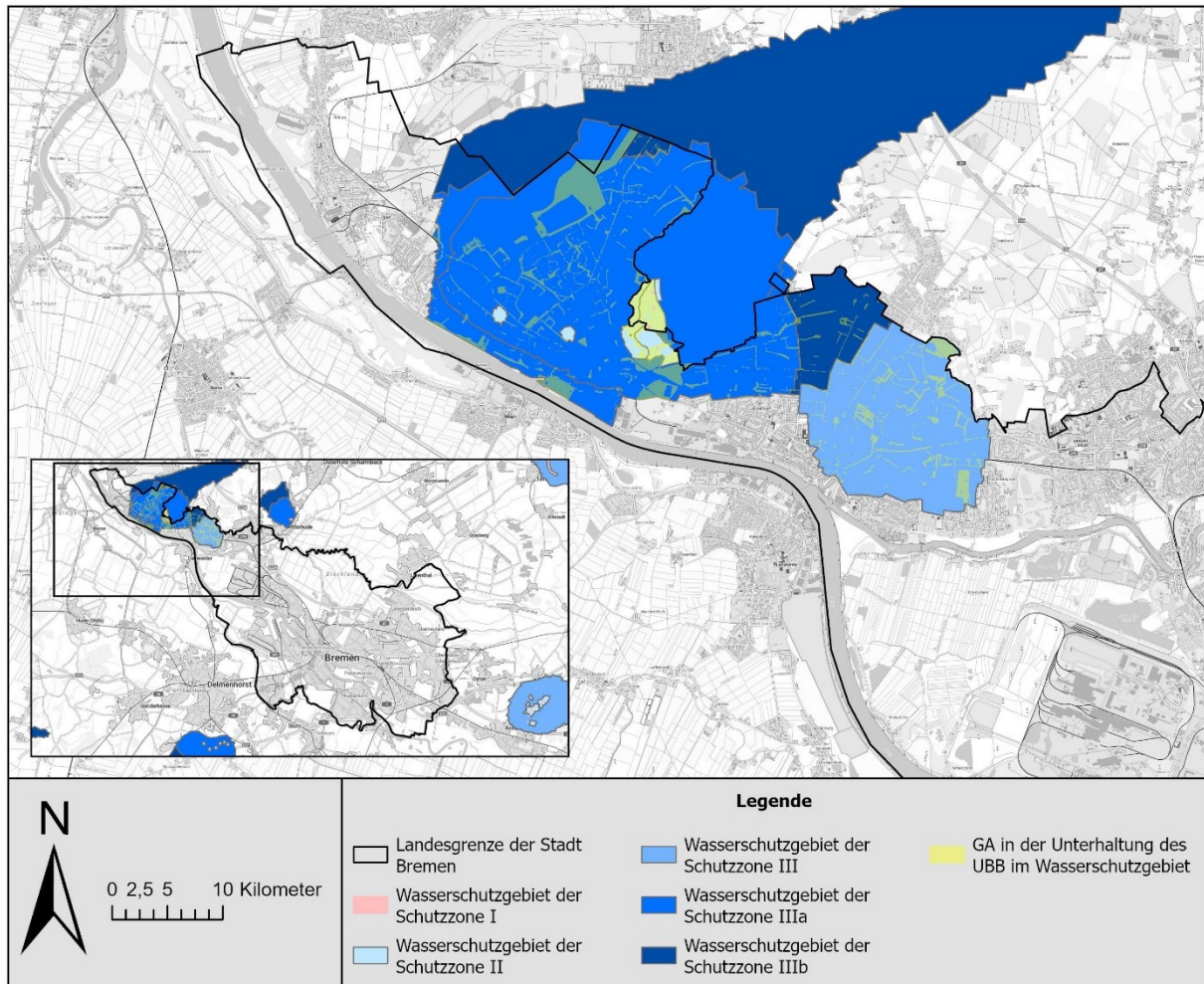


Abb. A. 1: Vorliegende Wasserschutzgebiete im Stadtgebiet Bremen und die innerhalb dieser Gebiete liegenden Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen), NLWKN (Wasserschutzgebiete), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024))

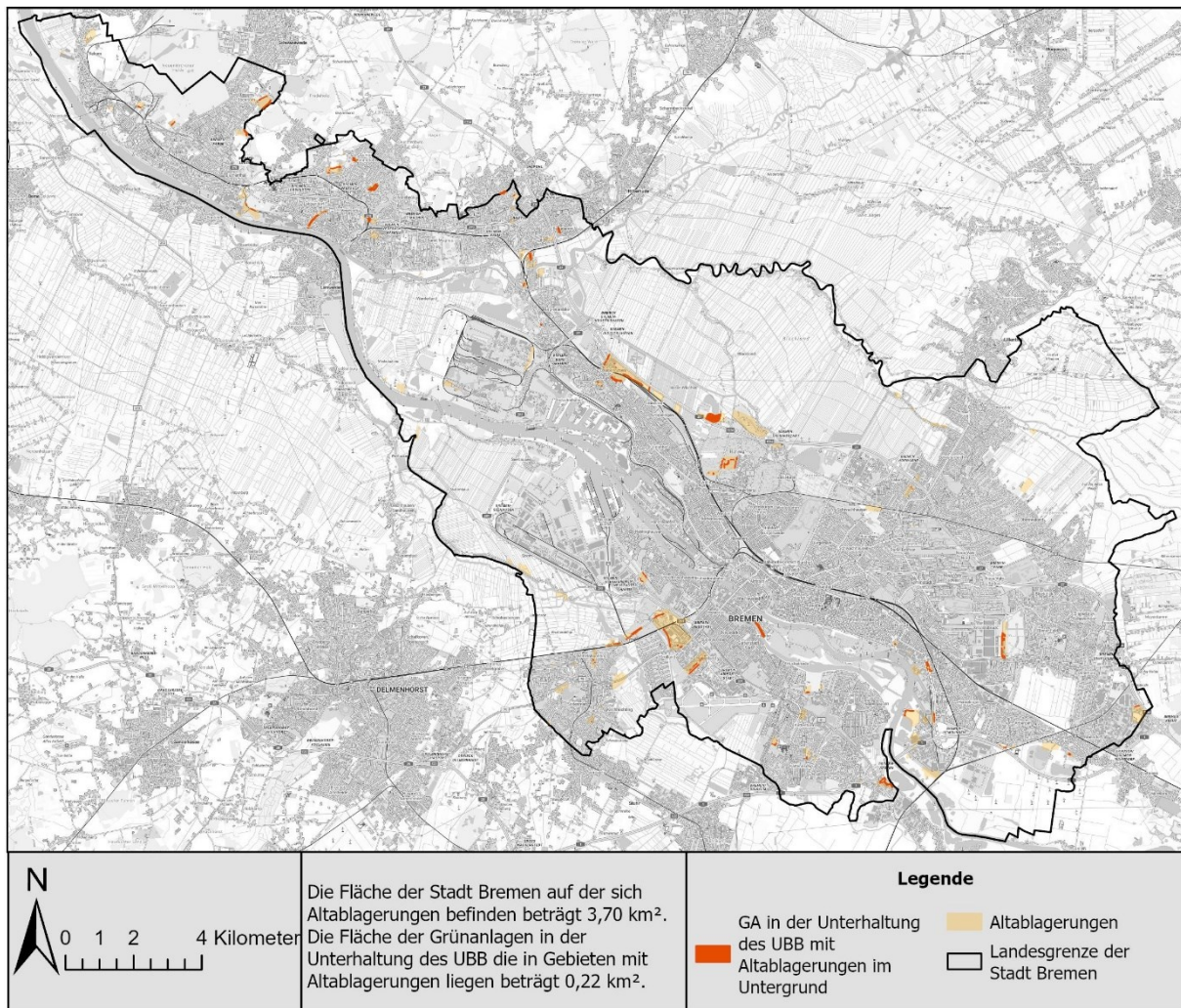


Abb. A. 2: Vorliegende Flächen mit Altablagerungen im Stadtgebiet Bremen mit sich in den Gebieten befindenden Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen), SUKW (Altablagerungen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024))

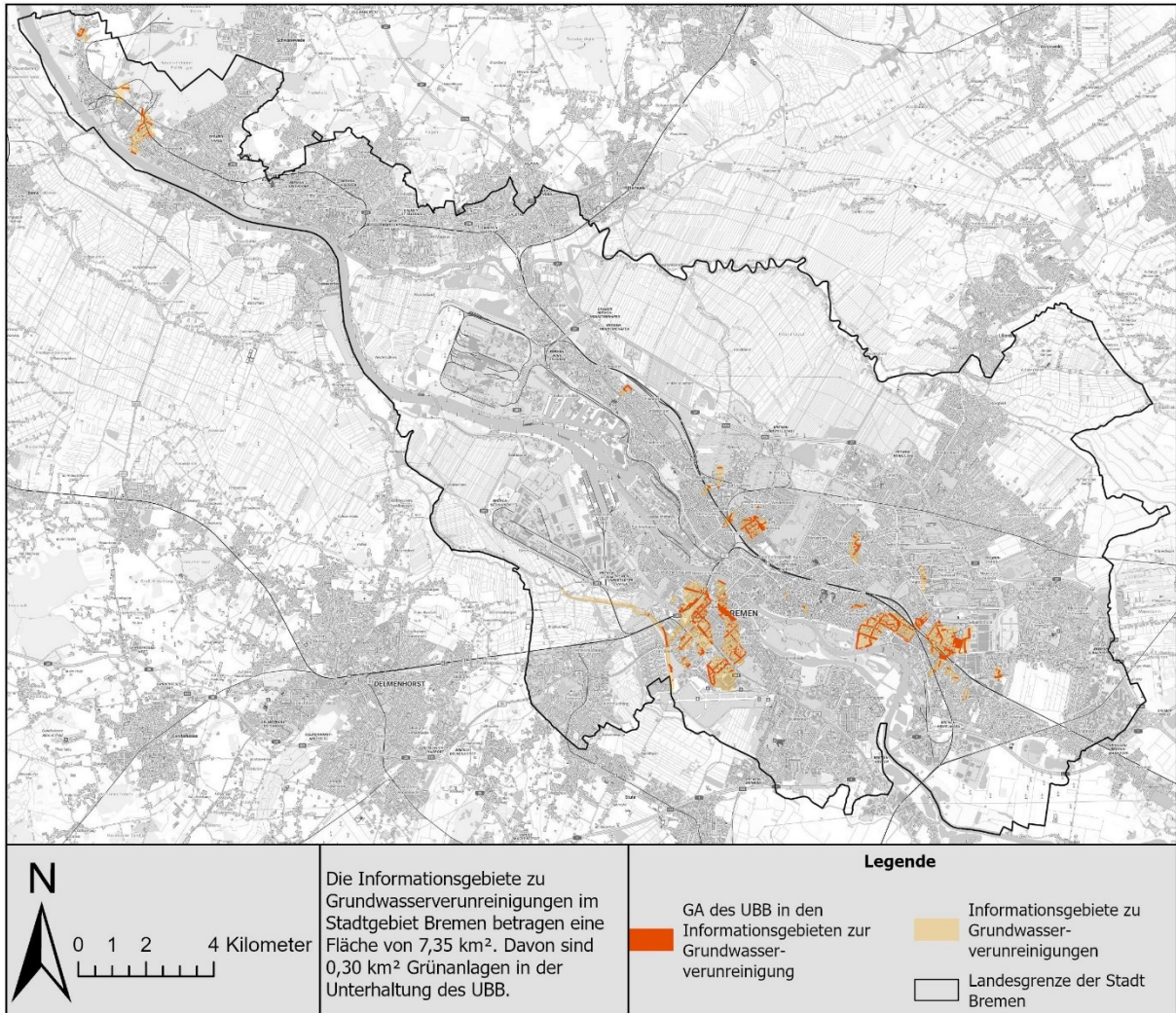


Abb. A. 3: Informationsgebiete zu Grundwasser-  
verunreinigungen innerhalb des Stadtgebiets Bremen und in den Gebieten liegenden Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen), SUKW (Informationsgebiete zu Grundwasser-  
verunreinigungen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024))

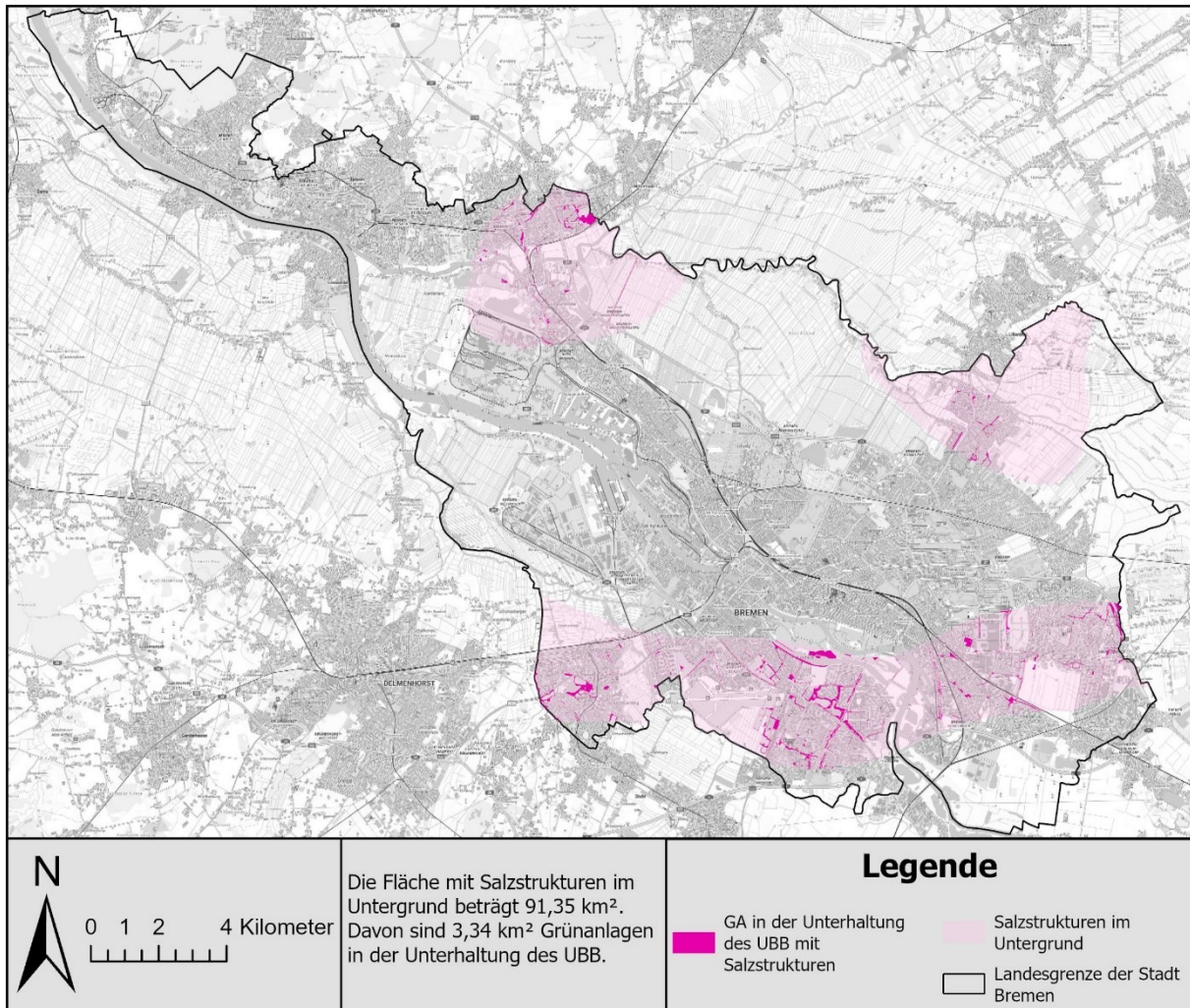


Abb. A. 4: Gebiete mit Salzstrukturen im Stadtgebiet Bremen und die sich in den Gebieten befindenden Grünanlagen (GA) in der Unterhaltung des UBB (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Grünanlagen), GDfB (Salzstrukturen), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024))

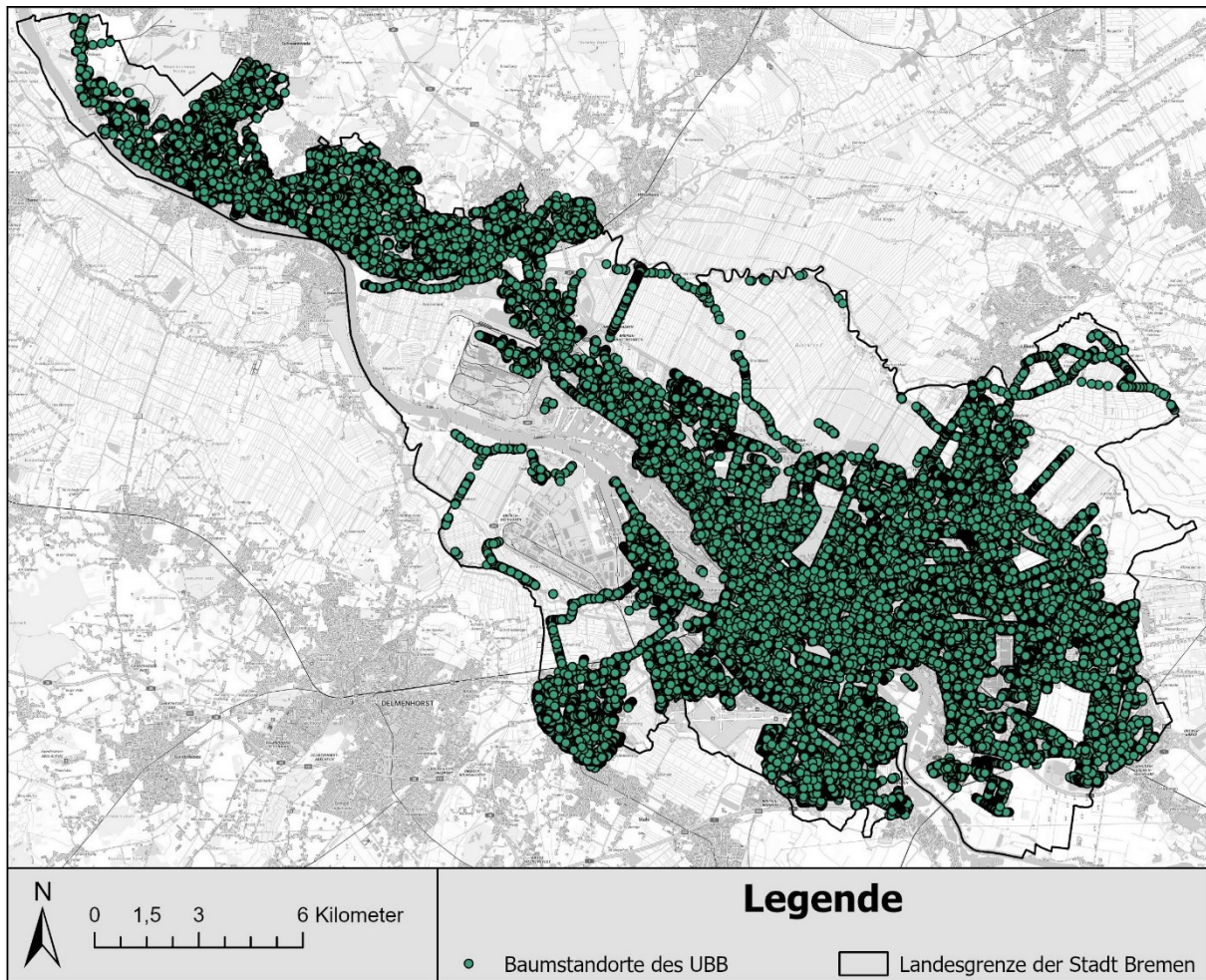


Abb. A. 5: Baumstandorte des UBB im Stadtgebiet Bremen (Eigene Darstellung; Datenquellen: UBB (Baumstandorte), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024))

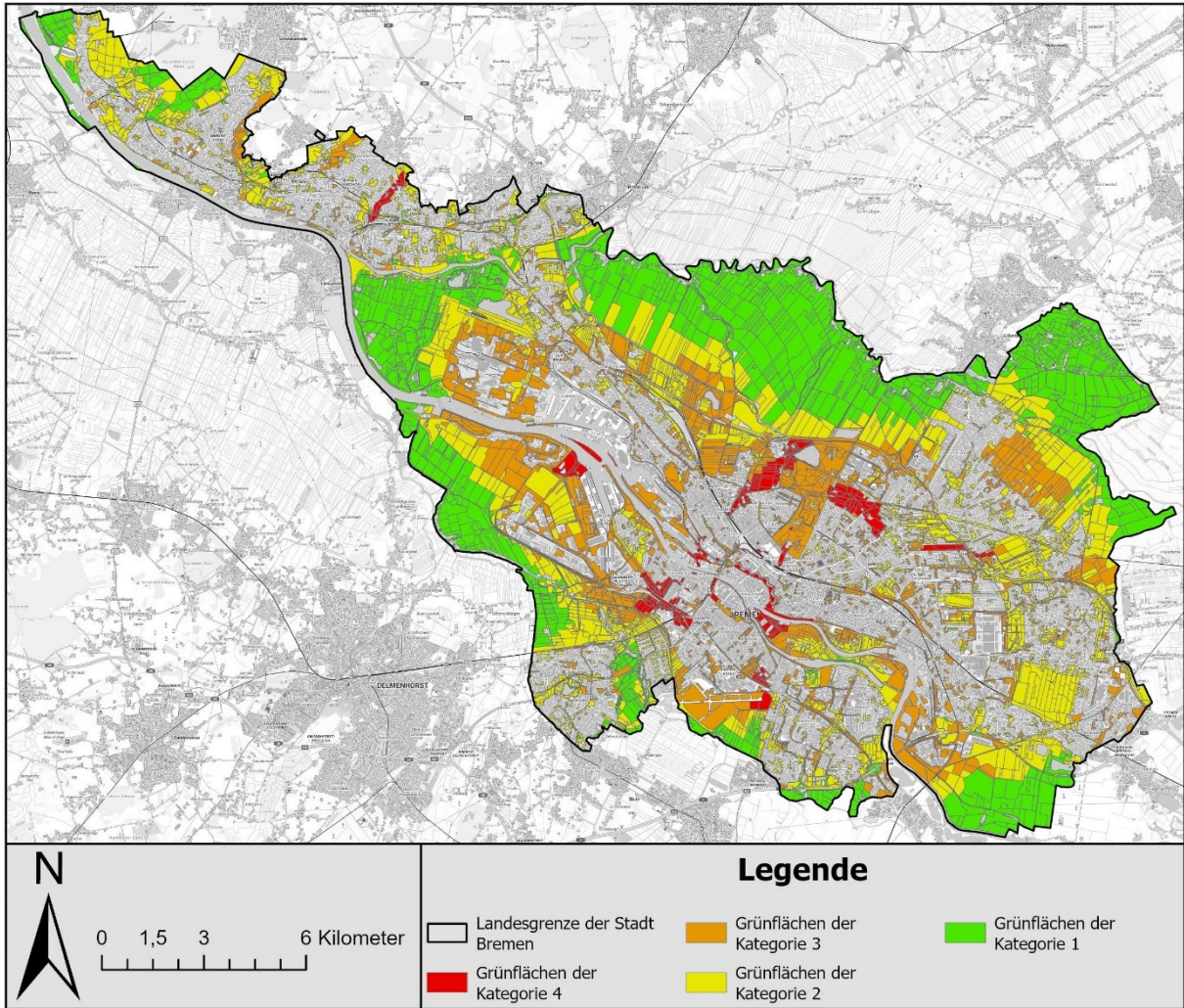


Abb. A. 6: Bioklimatische Bewertung der Grün- und Freiflächen im Stadtgebiet Bremen (Eigene Darstellung; Datenquellen: SUKW (Bioklimatische Bewertung), Landesamt GeoInformation Bremen (Landesgrenze); Hintergrund: © GeoBasis-DE / BKG (2024))

## A2. Ergänzende Tabellen

Tab. A. 1: Anforderung an eine Grünfläche für die Installation einer Erdwärmesonde und Retentionsanlage sowie dessen Kombination auf einer Fläche (Eigene Darstellung)

	<b>Erdwärmesonden</b>	<b>Retentionsanlagen</b>
<b>Umweltschutz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nicht in WSG und TGG (Ausnahmen in Schutzzone III a und III möglich) (Panteleit &amp; Ortmann et al., 2022)</li> <li>• Keine Altlasten, Kampfmittel, Leitungen, Salzstrukturen, Gipse, Anhydrite im Untergrund (Panteleit &amp; Ortmann et al., 2022; Stober &amp; Bucher, 2020)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• In WSG nur mit spezifischer Abdichtung (DWA-A 166)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Installation in WSG bzw. TGG (Ausnahmen sind in Schutzzone III a und III möglich)</li> <li>• Keine Altlasten, Kampfmittel, Salzstrukturen, Gipse, Anhydrite im Untergrund</li> </ul>	
<b>Baumbestand</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wurzelbereich der Bäume nach DIN 18920 schützen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wurzelbereich der Bäume nach DIN 18920 schützen und somit Baumfreiheit der Anlage</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wurzelbereich der Bäume ist nach DIN 18920 zu schützen</li> </ul>	
<b>Boden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mittlere bis geringe Durchlässigkeit (Stober &amp; Bucher, 2020)</li> <li>• Wassergesättigtes Lockergestein weist höhere Wärmeleitfähigkeit auf als trockenes Lockergestein (VDI 4640 Blatt 1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Angaben</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mittlere bis geringe Durchlässigkeit</li> </ul>	
<b>Abstand zu Gebäuden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mindestens 2 m (LBEG, 2017)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Angaben</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mindestens 2 m und Erhöhung auf den benötigten Abstand für die Retentionsanlage</li> </ul>	
<b>Abstand zu Grundstücksgrenzen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bis 100 m Sondenlänge von 3 m und ab 100 m von 5 m (Panteleit &amp; Ortmann et al., 2022)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Angaben</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bis 100 m Sondenlänge von 3 m und ab 100 m von 5 m Abstand</li> <li>• Auf den benötigten Abstand für die Retentionsanlage erhöhen</li> </ul>	

Tab. A. 2: Anforderung an eine Grünfläche für die Installation einer Erdwärmesonde und Versickerungsanlage sowie dessen Kombination auf einer Fläche (Eigene Darstellung)

	<b>Erdwärmesonden</b>	<b>Versickerungsanlagen</b>
<b>Umwelt-schutz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nicht in WSG und TGG (Ausnahmen sind in Schutzzone III a bzw. III möglich) (Panteleit &amp; Ortmann et al., 2022)</li> <li>• Keine Altlasten, Kampfmittel, Leitungen, Salzstrukturen, Gipse und Anhydrite im Untergrund (Panteleit &amp; Ortmann et al., 2022; Stober &amp; Bucher, 2020)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesammeltes Niederschlagswasser nicht in WSG versickern (Ausnahmen sind in Schutzzonen III a und III möglich) (DWA-A 138-1)</li> <li>• Keine Altlasten und geogene Stoffanreicherungen mit hohem Freisetzungspotenzial im Untergrund (DWA-A 138-1)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Installation in WSG und TGG (Ausnahmen sind in Schutzzone III a und III möglich)</li> <li>• Keine vorliegenden Altlasten, geogene Stoffanreicherungen mit hohem Freisetzungspotenzial, Kampfmittel, Salzstrukturen, Gips und Anhydrite</li> </ul>	
<b>Baum-bestand</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wurzelbereich der Bäume nach DIN 18920 schützen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wurzelbereich der Bäume nach DIN 18920 schützen und somit Baumfreiheit der Anlage</li> <li>• Bei Rigolen den Abstand zu Bäumen auf die Hälfte des Kronendurchmessers erhöhen (DWA-A 138-1)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wurzelbereich der Bäume nach DIN 18920 schützen</li> <li>• Bei Rigolen den Abstand zu Bäumen auf die Hälfte des Kronendurchmessers erhöhen</li> </ul>	
<b>Boden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mittlere bis geringe Durchlässigkeit (Stober &amp; Bucher, 2020)</li> <li>• Wassergesättigtes Lockergestein weist höhere Wärmeleitfähigkeit auf als trockenes Lockergestein (VDI 4640 Blatt 1)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Starke bis mittlere Durchlässigkeit (DWA-A 138-1)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mittlere Durchlässigkeit</li> </ul>	
<b>Abstand zu Gebäuden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mind. 2 m (LBEG, 2017)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dezentrale Anlagen: 1,5-fache Baugruben- bzw. Fundamenttiefe und mind. 0,5 m Abstand zum Verfüllungsbereich</li> <li>• Zentrale Anlage: mind. die Größe der mittleren Beckenbreite</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mind. 2 m, wenn der benötigte Abstand zur zentralen oder dezentralen Versickerungsanlage größer ist, dann muss dieser verwendet werden</li> </ul>	
<b>Abstand zu Grund-stücks-grenzen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bis 100 m Sondenlänge von 3 m und ab 100 m Sondenlänge von 5 m (Panteleit &amp; Ortmann et al., 2022)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• In Einzelfallbetrachtung zu ermitteln</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bis 100 m Sondenlänge von 3 m und ab 100 m Sondenlänge von 5 m Abstand</li> <li>• Im Einzelfall ermitteln, ob ein größeren Abstand erforderlich ist</li> </ul>	