

# Hochschule Bremen

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

## Bachelorthesis

---

### **Mögliche Konflikte zwischen Klimaanpassung und Klimaschutz bei Mehrfachnutzung von Grünflächen im städtischen Raum am Beispiel der Geothermie**

Possible conflicts between climate adaptation and climate mitigation in  
the case of multiple use of green areas in urban regions, using geothermal  
energy as an example

---

Vorgelegt von: Lotte Antonia Höfler

Matrikelnummer: 5094266

Erstprüfer: Prof. Dr. Jürgen Knies

Zweitprüferin: Stefanie Langer

Bremen, 04.05.2023



## Erklärung über das eigenständige Erstellen der Arbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen wurden, sind durch Angaben der Herkunft kenntlich gemacht.

Diese Erklärung erstreckt sich auch auf in der Arbeit enthaltene Grafiken, Skizzen, bildliche Darstellungen sowie auf Quellen aus dem Internet. Die Arbeit habe ich in gleicher oder ähnlicher Form auch auszugsweise noch nicht als Bestandteil einer Prüfungs- oder Studienleistung vorgelegt.

Ich versichere, dass die eingereichte elektronische Version der Arbeit vollständig mit der Druckversion übereinstimmt.

Lotte Antonia Höfler

Matrikelnummer: 5094266

---

(Ort, Datum)

---

(Unterschrift)

## Kurzfassung

Aufgrund der voranschreitenden Klimakrise gewinnen Klimaschutz und Klimaanpassung immer mehr an Bedeutung. Eine mögliche Klimaschutzmaßnahme ist der Ausbau der Geothermie, um die Wärmewende voranzutreiben. Da die dafür verfügbaren Flächen knapp sind, soll untersucht werden, auf welchen öffentlichen Grünanlagen eine Erdwärmenutzung möglich wäre. Dabei wird folgende Forschungsfrage beantwortet: Welche möglichen Konflikte bestehen zwischen Klimaanpassung und Klimaschutz bei Mehrfachnutzung von Grünflächen im städtischen Raum am Beispiel der Geothermie mittels Erdwärmesonden?

Auf der Basis einer qualitativen Literaturlauswertung werden Anforderungen an Erdwärmenutzung mittels Sonden und Klimaanpassungsfunktionen von Grünflächen im städtischen Raum herausgearbeitet. Darauf aufbauend folgt eine Analyse der Grünanlagen in Bremen mit einem Geographischen Informationssystem (GIS). Dabei werden Flächen identifiziert, auf denen Restriktionen für eine Erdwärmenutzung bestehen. Außerdem folgt die Bewertung von Grünanlagen hinsichtlich bioklimatischer Bedeutung, Überflutungsgefahr und Baumstandorte.

Die Ergebnisse zeigen, dass auf 57,3 % der öffentlichen Grünfläche eine Erdwärmenutzung wegen Restriktionen durch rechtliche, geologische und ökologische Faktoren nur bedingt möglich ist. Von den 42,7 % der Grünfläche ohne Restriktionen haben 46 % eine sehr hohe bis hohe bioklimatische Bedeutung. Die Betrachtung dreier Einzelflächen ergibt, dass es zu möglichen Zielkonflikten zwischen Erdwärmenutzung und Anpassungsfunktionen der Grünanlagen kommen kann. Dabei handelt es sich um die Klimaanpassungsziele, mit weiteren Baumstandorten das Stadtklima zu kühlen und mit Versickerungselementen die Überflutungsgefahr durch Starkregenereignisse zu minimieren.

Die Untersuchung stellt eine Grundlage für die Ausbauplanung der Erdwärmenutzung auf öffentlichen Flächen in Bremen dar. Anknüpfend an dieses Projekt wäre eine weitere Eingrenzung des geothermischen Potenzials und eine detaillierte Untersuchung von Einzelflächen sinnvoll.

**Schlagwörter:** Klimaanpassung, Klimaschutz, Geothermie, Mehrfachnutzung, städtisches Grün, Grünanlagen, Erdwärmesonde, Wärmepumpe

## Abstract

Due to the advancing climate crisis, climate mitigation and climate adaptation are becoming more important. One possible climate protection measure is the expansion of geothermal energy to promote the heat transition. Since there is a shortage of available land, the project will investigate which public green areas could be used for geothermal energy. The following research question will be answered: What are the possible conflicts between climate adaptation and climate mitigation in the case of multiple use of green spaces in urban areas, using geothermal energy by means of borehole heat exchangers as an example?

On the basis of a qualitative literature analysis, requirements for geothermal use by means of probes and climate adaptation functions of green spaces in urban areas were elaborated. This is followed by an analysis of the green spaces in Bremen using a Geographic Information System (GIS). Here, areas where geothermal energy use is prohibited and limited are identified. In addition, an evaluation follows with regard to bioclimatic significance, flood risk, tree locations and heat demand of the surrounding buildings.

The results show that geothermal use is prohibited on 6.5 % of the public green space and restricted on 50.8 % due to legal, geological and environmental factors. The percentage of the remaining green areas, which have a very high to high bioclimatic significance, is 46%. The independent consideration of three individual areas shows that there can be possible conflicts of objectives between the use of geothermal energy and the adaptation functions of the green spaces. These are mainly the climate adaptation function of the green space with additional tree locations to cool the urban climate and with infiltration elements to minimize the risk of flooding from heavy rain events.

The study provides an optimal basis for the expansion planning of geothermal energy use on public areas in Bremen. The project could thus be followed up with a further delimitation of the geothermal potential and a more detailed investigation of individual areas.

**Keywords:** Climate adaptation, climate mitigation, geothermal, multiple use, urban green, green space, geothermal probe, heat pump

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1. Problemstellung und Zielsetzung .....	1
1.2. Projektkontext.....	2
<b>2. Hintergrund zu Klimaanpassung und Klimaschutz .....</b>	<b>3</b>
2.1. Auswirkungen und Relevanz des Klimawandels .....	3
2.2. Darstellung der deutschen Strategien zur Klimaanpassung .....	5
2.3. Klimaschutzpolitik in Deutschland .....	6
2.4. Zusammenspiel von Klimaschutz und Klimaanpassung.....	9
<b>3. Theoretischer Hintergrund der betrachteten Maßnahmen .....</b>	<b>10</b>
3.1. Öffentliche Grünflächen als Klimaanpassungsmaßnahme .....	10
3.2. Oberflächennahe Geothermie als Klimaschutzmaßnahme .....	14
<b>4. Methodik.....</b>	<b>21</b>
4.1. Allgemeines methodisches Vorgehen.....	21
4.2. Verwendete Daten .....	21
4.3. Datenverarbeitung .....	23
<b>5. Ergebnisse Potenzialermittlung und Flächenbewertung .....</b>	<b>30</b>
5.1. Ergebnisse der Potenzialanalyse .....	30
5.2. Ergebnisse der Flächenbewertung und Einzelbetrachtung .....	35
<b>6. Diskussion der Potenzialermittlung und Bewertung .....</b>	<b>43</b>
6.1. Bewertung und Interpretation der Analyseergebnisse.....	43
6.2. Diskussion der Flächenbewertung und Einzelflächenbetrachtung.....	46
6.3. Einordnung des Projekts und mögliche Fortführung .....	48
<b>7. Fazit und Ausblick .....</b>	<b>50</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>53</b>
<b>A. Ergänzendes Material zum theoretischen Hintergrund.....</b>	<b>XIII</b>
<b>B. Ergänzendes Material zur Potenzialanalyse .....</b>	<b>XVI</b>

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 2.1:</b> absehbare klimatische Veränderungen in den verschiedenen Klimaraumtypen in Deutschland bis Mitte des Jahrhunderts (UBA 2022) .....	4
<b>Abbildung 3.1:</b> Funktionsweise von Flurwinden zur Abkühlung von Städten (Blankenburger und Berliner (WIR SIND) 2020) .....	10
<b>Abbildung 3.2:</b> Auswirkungen der Vegetation auf den Windwiderstand (Etiling und Groß 2013) .....	11
<b>Abbildung 3.3:</b> Klassifikation geothermischer Systeme nach Tiefe (Bauer et al. 2018) .....	14
<b>Abbildung 3.4:</b> Beispielhafte Darstellung einer Erdwärmeanlage mit einer Erdwärmesonde (Stober und Bucher 2014) .....	15
<b>Abbildung 3.5:</b> Funktionsprinzip einer Wärmepumpe (BWP 2023) .....	16
<b>Abbildung 3.6:</b> Funktionsprinzip von Fernwärme mit Großwärmepumpen und kalter Nahwärme mit Wärmepumpen (BWP 2018) .....	17
<b>Abbildung 4.1:</b> Schematische Darstellung der Beziehung zwischen theoretischem, technischem wirtschaftlichem und realisierbarem Potenzial (Peters 2020) .....	23
<b>Abbildung 4.2:</b> Exemplarisches Vorgehen der technischen Potenzialanalyse (Peters 2020) .....	24
<b>Abbildung 4.3:</b> Geoverarbeitungs-Workflow zur Ermittlung von Grünanlagen auf denen Restriktionen für die Erdwärmenutzung bestehen (Eigene Darstellung) .....	27
<b>Abbildung 4.4:</b> Geoverarbeitungs-Workflow zur Bewertung der Fläche, auf der Erdwärmenutzung uneingeschränkt erlaubt ist, hinsichtlich der bioklimatischen Bedeutung (Eigene Darstellung) .....	28
<b>Abbildung 5.1:</b> Karte des Untersuchungsgebiets des Projekts (Eigene Darstellung) .....	30
<b>Abbildung 5.2:</b> Karte der Grünanlagen in Bremen mit und ohne Restriktionen für Geothermie (Eigene Darstellung) .....	31
<b>Abbildung 5.3:</b> Lage der Grünanlagen (GA) bezüglich Restriktionen für Geothermie (Eigene Darstellung) .....	33
<b>Abbildung 5.4:</b> Karte über die bioklimatische Bewertung der Grünanlagen im gesamten Untersuchungsgebiet, auf denen Erdwärmenutzung möglich ist (Eigene Darstellung) .....	35
<b>Abbildung 5.5:</b> Karte über die bioklimatische Bewertung der Grünanlagen, auf denen Erdwärmenutzung möglich ist (Eigene Darstellung) .....	37

<b>Abbildung 5.6:</b> Karte der Detailansicht des Nelson-Mandela-Parks mit Baumstandorten (Eigene Darstellung).....	38
<b>Abbildung 5.7:</b> Auszüge aus dem GeoPortal Bremen und dem Auskunfts- und Informationssystem Starkregenvorsorge für die Position des Nelson-Mandela-Parks (Stand 2021) (Landesamt Geoinformationen Bremen 2023; SKUMS 2021) .....	39
<b>Abbildung 5.8:</b> Karte der Detailansicht der Sportanlage Grundschule am Baumschulenweg mit Baumstandorten (Eigene Darstellung).....	40
<b>Abbildung 5.9:</b> Auszüge aus dem Geoportal Bremen und dem Auskunfts- und Informationssystem Starkregenvorsorge für die Position der Sportanlage Grundschule am Baumschulenweg (Stand 2021) (Landesamt Geoinformationen Bremen 2023; SKUMS 2021).....	41
<b>Abbildung 5.10:</b> Karte der Detailansicht des Hilde-Adolf-Parks (Eigene Darstellung).....	42
<b>Abbildung 5.11:</b> Auszüge aus dem Geoportal Bremen und dem Auskunfts- und Informationssystem Starkregenvorsorge für die Position des Hilde-Adolf-Parks (Stand 2021) (Landesamt Geoinformationen Bremen 2023; SKUMS 2021) .....	42
<b>Abbildung A.1:</b> Planungshinweiskarte Stadtklima aus der Klimaanalyse für das Stadtgebiet der Hansestadt Bremen von 2013 (Etiling und Groß 2013).....	XIII
<b>Abbildung A.2:</b> Wärmedichtekarte des Wärmebedarfs in Bremen mit Wärmeverbrauchsdaten bis 2016 (Rastergröße 100 m) (Eikmeier et al. 2021) .....	XIV
<b>Abbildung A.3:</b> Übersicht des Fernwärmeausbaus bis 2040 und bestehende Fern- und Nahwärmenetze in Bremen (Stand 2023) (Herbe 2023) .....	XV
<b>Abbildung B.1:</b> Karte von Grünanlagen mit der Nutzungskategorie Friedhof im Untersuchungsgebiet (Eigene Darstellung) .....	XVI
<b>Abbildung B.2:</b> Karte mit Wasserschutzgebieten (Schutzzonen II, IIIa und IIIb) in Bremen (Eigene Darstellung).....	XVII
<b>Abbildung B.3:</b> Karte mit Restriktionsbereichen für die Erdwärmennutzung aufgrund von Salzstrukturen (Eigene Darstellung) .....	XVIII
<b>Abbildung B.4:</b> Karte mit geschützten Biotopen, Landschaftsschutzgebieten, Naturschutzgebieten und Schutzgebieten nach Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Eigene Darstellung) .....	XIX
<b>Abbildung B.5:</b> Karte Bodenschutzinformationen (Nutzungseinschränkung aufgrund Grundwasser- verunreinigungen und Lage von Altbelastungen) in Bremen (Eigene Darstellung) .....	XX



**Abbildung B.6:** Karte von Grünanlagen mit der Nutzungskategorie Dauerkleingarten im  
Untersuchungsgebiet (Eigene Darstellung)..... XXI

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 2.1:</b> CO <sub>2</sub> -Emissionen verschiedener Verbrauchergruppen im Jahr 2020 nach Energieträgern im Land Bremen (ohne Stahlindustrie) (HB 2020) .....	7
<b>Tabelle 2.2:</b> Endenergieverbrauch für die Wärmeversorgung von Gebäuden in den Jahren 1990 und 2020 im Land Bremen (ohne Stahlindustrie) (HB 2020) .....	8
<b>Tabelle 3.1:</b> Darstellung der vier Kategorien der bioklimatischen Bedeutung von Grünflächen mit Kriterium, Bedeutung der Empfindlichkeit und Hinweisen zu Maßnahmen (Etiling und Groß 2013). .....	13
<b>Tabelle 4.1:</b> Übersicht aller verwendeten Datensätze mit datenhaltender Institution, Erstellungsdatum und Datum der letzten Änderung (Eigene Darstellung) .....	22
<b>Tabelle 4.2:</b> Übersicht aller verwendeten Werkzeuge mit Namen, Funktion und Funktionsschema (ArcGIS Pro 2023) .....	25
<b>Tabelle 5.1:</b> Fläche in km <sup>2</sup> und Flächenanteil in % der Grünanlagen bezüglich ihrer Lage in Restriktionsbereichen (Eigene Darstellung) .....	32
<b>Tabelle 5.2:</b> Fläche in km <sup>2</sup> und Flächenanteil in % der Grünanlagen (GA) abhängig von ihrer Lage bezüglich Restriktionen für Geothermie (Eigene Darstellung) .....	34
<b>Tabelle 5.3:</b> Flächengröße in km <sup>2</sup> und Anteil an bewerteter Fläche in % der Flächen mit unterschiedlicher bioklimatischer Bewertung (sehr hoch, hoch, mittel, gering und keine Bewertung) (Eigene Darstellung) .....	36

## Abkürzungsverzeichnis

APA .....	Aktionsplan Anpassung
DAS .....	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel
FFH.....	Schutzgebiet nach Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie
GA .....	Grünanlagen
GdFB.....	Geologischer Dienst für Bremen
GIS.....	Geographisches Informationssystem
IPCC.....	Intergovernmental Panel on Climate Change
KWRA.....	Klimawirkungs- und Risikoanalyse für Deutschland
LSG .....	Landschaftsschutzgebiet
NSG .....	Naturschutzgebiet
SDG .....	Sustainable Development Goals
THG .....	Treibhausgas
UBA.....	Umweltbundesamt
UBB .....	Umweltbetrieb Bremen
UNFCCC.....	United Nations Framework Convention on Climate Change
ÜvP .....	Übereinkommen von Paris
WWNW.....	Wärmewende Nordwest

## Rechtsgrundlagenverzeichnis

Bremer Wassergesetz vom 22.12.2015 (Brem.GBl. 2011, S. 26) mit Gültigkeit 22.12.2015 bis 20.12.2018, außer Kraft, das durch Artikel 6 Nummer 5 des Gesetzes vom 24.11.2020 (Brem.GBl. S. 1486, 1581) geändert worden ist - <b>BremWG</b> .....	18
Bremisches Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege vom 27. April 2010 (Brem.GBl. 2010, S. 315), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 01. März 2022 (Brem.GBl. S. 149) - <b>BremNatG</b> .....	19
Bremisches Klimaschutz- und Energiegesetz vom 27.03.2015 (Brem.GBl. 2015, S. 124) mit Gültigkeit von 27.03.2015 bis 10.11.2019, außer Kraft, das durch Gesetz vom 22. November 2022 (Brem.GBl. S. 826) geändert worden ist - <b>BremKEG</b> .....	7 02.05.2023
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 - <b>BBergG</b> .....	18
Gebührenordnung für die Sondernutzung von öffentlichen Grünanlagen nach dem Bremischen Naturschutzgesetz in der Stadtgemeinde Bremen (Sondernutzungsgebührenordnung für öffentliche Grünanlagen) vom 30.06.2009 (Brem.GBl. 2009, S. 225) - GrünAnlSoNGebO BR.....	12
Geologiedatengesetz vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1387) - <b>GeoidG</b> .....	18
Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 905), die durch Artikel 256 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist - <b>AwSV</b> .....	18
Verordnung über die Festsetzung eines Wasserschutzgebietes für das Wasserwerk Langen/Leherheide der swb Netze Bremerhaven GmbH & Co. KG vom 1. Dezember 2008, Aufgrund der §§ 47 und 48 in Verbindung mit § 151 Abs. 3 des Bremischen Wassergesetzes in der Fassung der Bekanntmachung vom 24. Februar 2004 (Brem.GBl. S. 45 – 2180-a-1), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 27. November 2007 (Brem.GBl. S. 489), und der §§ 19 und 41 des Wasserhaushaltsgesetzes in der Fassung vom 19. August 2002 (BGBl. I S. 3245), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 10. Mai 2007 (BGBl. I S. 666) – <b>WSG-VO</b> .....	18
Verordnung über die Festsetzung eines Wasserschutzgebietes für die Trinkwasserbrunnen des Wasserwerkes Blumenthal der wesernetz Bremen GmbH in Bremen-Vegesack im Land Bremen vom 5. März 2023 (Brem.GBl. 2023, S. 225)– <b>WSG-VO</b> .....	18

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**..... 18

Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 4. August 2016 (BGBl. I S. 1972) geändert worden ist - **WHG**..... 18



# 1. Einleitung

## 1.1. Problemstellung und Zielsetzung

In den letzten Jahren hat sich das Klima erwärmt. Die Klimaveränderungen sind auf von Menschen verursachte Emissionen von Treibhausgasen ([THG](#)) zurückzuführen. Der verstärkte Ausstoß von [THG](#) führt nicht nur zu der Erwärmung von Atmosphäre, Ozean und Landfläche, sondern hat noch andere Folgen: Der Klimawandel verstärkt die Häufigkeit von Wetter- und Klimaextremen. Je nach Zukunftsszenario werden diese Extreme häufiger und intensiver, entsprechend der steigenden Emissionen und einem daraus folgenden Anstieg der Durchschnittstemperatur auf der Erde. Außerdem sind viele klimatische Veränderungen irreversibel (Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle 2022b). Die immer häufiger werdenden Hitzewellen stellen vor allem in städtischen Gebieten eine gesundheitliche Gefahr für die Menschen dar. Die Hitzeextreme verstärken sich in Städten und es bilden sich sogenannte städtische Wärmeinseln (Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle 2022a; Hiller 2018). Durch verschiedene Klimaanpassungsmaßnahmen kann dem Hitzeeffekt durch Abkühlung entgegengewirkt werden. Eine effektive Maßnahme im städtischen Raum ist dabei der Erhalt und das Anlegen von Grünflächen.

Neben der Klimaanpassung spielt auch der Klimaschutz eine tragende Rolle. Dazu hat die deutsche Bundesregierung das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2045 in § 3 (2) des Bundes-Klimaschutzgesetzes ([KSG](#)) verankert. Da die Wärmeerzeugung für einen großen Teil der Treibhausgasemissionen verantwortlich ist, müssen klimaneutrale Alternativen zum Heizen mit fossilen Brennstoffen gefördert und umgesetzt werden. Eine mögliche Lösung stellt dabei die Nutzung von Erdwärme dar, die in dieser Arbeit betrachtet wird.

Da sich Klimaschutz und Klimaanpassung thematisch überschneiden, werden sie in Planung und Umsetzung idealerweise gemeinsam betrachtet. Dabei stehen die Maßnahmen mit einigen Faktoren in Konkurrenz, können aber auch Synergieeffekte haben. Beispielhaft dafür soll die Mehrfachnutzung von öffentlichen Grünanlagen mit Erdwärmesonden untersucht werden. Dabei soll geklärt werden, welche technischen, rechtlichen und ökologischen Anforderungen an eine geothermische Nutzung gestellt werden. Außerdem sollen die Funktionen der Grünanlagen hinsichtlich der Klimaanpassung genauer betrachtet werden. Nachdem die Anforderungen für beide Maßnahmen identifiziert wurden, können Grünanlagen gefunden werden, die sich für eine Erdwärmennutzung eignen. Dabei soll genauer auf Faktoren eingegangen werden, die einen Konflikt einer Mehrfachnutzung darstellen.

Um die beschriebene Zielsetzung zu erreichen, soll in dieser Arbeit die zentrale Forschungsfrage beantwortet werden:

**Welche möglichen Konflikte bestehen zwischen Klimaanpassung und Klimaschutz bei Mehrfachnutzung von Grünflächen im städtischen Raum am Beispiel der Geothermie mittels Erdwärmesonden?**

Die Frage kann mithilfe der folgenden Unterfragen beantwortet werden:

- F1: Welche Anforderungen bestehen an eine Erdwärmennutzung mittels Sonden als Klimaschutzmaßnahme?
- F2: Welche Funktionen haben öffentliche Grünanlagen für die Klimaanpassung?
- F3: Welche Grünanlagen kommen in Bremen für eine Erdwärmennutzung mittels Sonden infrage, und wie könnte eine mögliche Umsetzung dieser Mehrfachnutzung aussehen?
- F4: Welche möglichen Konflikte bestehen bei einer Erdwärmennutzung auf öffentlichen Grünanlagen?

Im ersten Teil der Arbeit werden die erste und zweite Teilfrage auf Basis einer Literaturrecherche beantwortet. Danach folgt die Beantwortung der dritten und vierten Teilfrage mittels der Datenauswertung und [GIS](#)-basierten Potenzialanalyse.

## **1.2. Projektkontext**

Diese Bachelorarbeit ist in das Forschungsprojekt „Wärmewende Nordwest“ (WWNW) eingebettet. Im Projekt WWNW steht die Digitalisierung der Wärmewende im Vordergrund. Außerdem wird untersucht, wie eine solche Wärmewende für Gebäude, Campus, Quartiere und Kommunen im Nordwesten Deutschlands umgesetzt werden kann. Das Forschungsprojekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und hat eine Laufzeit von April 2021 bis November 2025. Die Arbeit wird von der [WWNW](#) mit der Bereitstellung von Datensätzen und durch wichtige Impulse für eine Erschließung von geothermischen Potenzialen unterstützt (WWNW 2022; HSB Hochschule Bremen 2023). Das Untersuchungsgebiet wurde dabei auf öffentliche Grünanlagen der Stadt Bremen eingegrenzt.



## 2. Hintergrund zu Klimaanpassung und Klimaschutz

### 2.1. Auswirkungen und Relevanz des Klimawandels

Laut des sechsten Intergovernmental Panel on Climate Change ([IPCC](#)) Berichts gab es zwischen dem Zeitraum 1850-1900 und 2011-2020 einen Anstieg der globalen Oberflächentemperatur von 1,09 °C. Im Laufe des 21. Jahrhunderts wird die globale Erwärmung den Wert von 1,5 °C bis 2 °C überschreiten. Dabei ist der Klimawandel auf die erhöhten Treibhausgasemissionen zurückzuführen. Die Beziehung zwischen der globalen Erwärmung und der vom Menschen verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen wird vom [IPCC](#) als linear beschrieben. Genauer erwärmt sich die globale Oberflächentemperatur pro 1.000 Gigatonnen CO<sub>2</sub> um 0,45 °C. Die Folgen des Klimawandels sind zahlreich: Auswirkungen auf Wetter- und Klimaextreme, Zunahme des durchschnittlichen Niederschlags, Erhöhung der Temperatur der Ozeane, Rückgang der Gletscher und des Sauerstoffgehalts der Ozeane. Außerdem werden Hitzeextreme (und Hitzewellen), extreme Regenereignisse, tropische Wirbelstürme und Dürren häufiger, während Kälteextreme und Kältewellen weniger werden. Durch die thermische Ausdehnung und das Schmelzen der Gletscher war ein Anstieg von 0,2 m des globalen mittleren Meeresspiegels zwischen 1901 und 2018 zu beobachten. Mit weiter steigender globaler Oberflächentemperatur werden die Änderungen von Extremen größer und die Arktis wird bis 2050 frei von Meereis sein. Dabei sind die klimabedingten Veränderungen wie Sauerstoffgehalt oder Temperatur der Ozeane, Tauen der Permafrostböden und globaler Meeresspiegelanstieg irreversibel und werden sich für die nächsten Jahrzehnte bis Jahrhunderte weiter fortführen (Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle 2022b). Diese Veränderungen wirken sich negativ auf Mensch und Natur aus und übersteigen ihre Anpassungsfähigkeiten. Die Folgen sind unter anderem eine steigende hitzebedingte Sterblichkeit, verschlechterte Nahrungs- und Wasserversorgung, Zunahme übertragbarer Krankheiten, vermehrte Waldbrände, Artenverluste und Massensterben verschiedener Ökosysteme, Verschärfung humanitärer Krisen und Zunahme von Vertreibung und unfreiwilliger Migration. Dabei sind besonders städtische Gebiete und die dort lebenden sozioökonomisch schwachen Gruppen von Hitzeextremen, Hitzewellen und Luftverschmutzung betroffen (Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle 2022a). Diese Auswirkungen sind auch in der Bundesrepublik Deutschland zu beobachten. Laut der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 für Deutschland ([KWRA](#)), die alle sechs Jahre im Rahmen der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel ([DAS](#)) veröffentlicht wird, ist Deutschland wie in Abbildung 2.1 von Veränderungen durch den Klimawandel betroffen (UBA 2022).

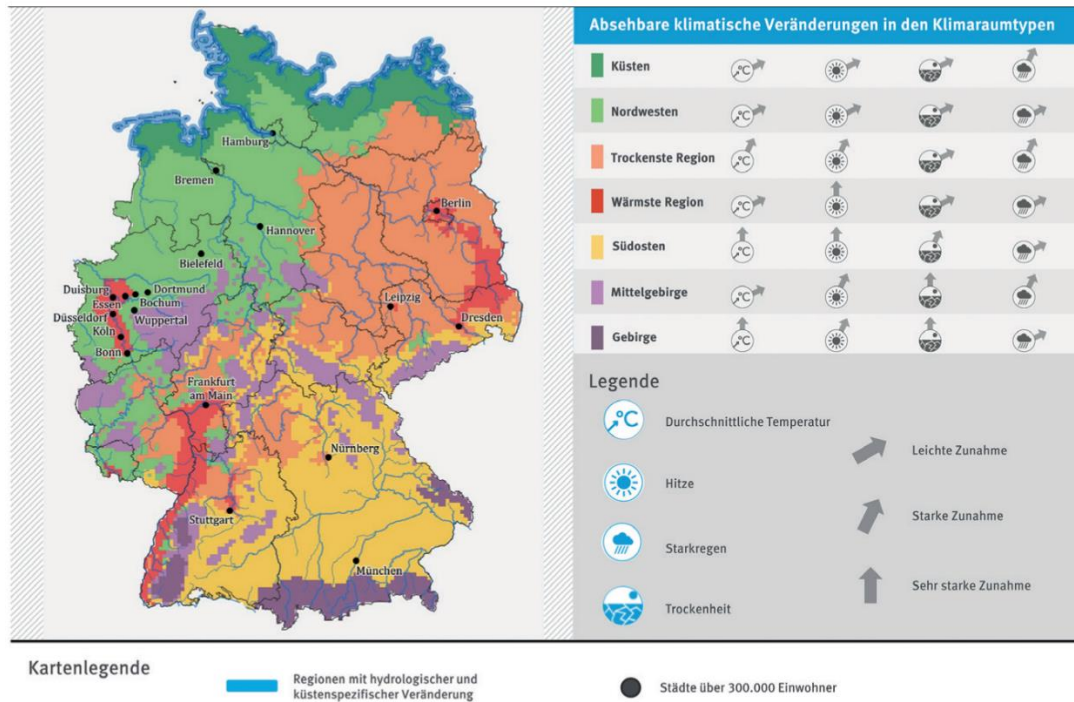


Abbildung 2.1: absehbare klimatische Veränderungen in den verschiedenen Klimaraumtypen in Deutschland bis Mitte des Jahrhunderts (UBA 2022)

In einer Studie des Deutschen Wetterdienstes werden die Veränderungen von Wetter und Klima im Land Bremen beschrieben. Dabei ist von 1881 bis 2016 das Jahresmittel der Lufttemperatur um ca. 1,3 °C und das Jahresmittel des Niederschlags um ca. 100 mm gestiegen. Außerdem haben sich im Trend der letzten 50 Jahre (Stand 2016) die Anzahl der Sommertage und der heißen Tage erhöht, während sich die Anzahl der Frost- und Eistage verringert hat. Für den Anstieg des mittleren Meeresspiegels kann zukünftig ein Anstieg um etwa 2 bis 4 mm pro Jahr an der gesamten Nordseeküste angenommen werden (DWD und Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr 2018).

Die klimatischen Verhältnisse in städtischen Gebieten unterscheiden sich von ihrer Umgebung. Neben einer geringeren Luftfeuchtigkeit besteht im Vergleich zu ländlichen Regionen eine höhere mittlere Temperatur. Diese Hitzebelastung in Städten wird auch Wärmeinseleffekt genannt. Dabei wird die städtische Wärmeinsel von Faktoren wie Bebauungshöhe, Größe, Dichte und Baumaterialien von Gebäuden, Grünflächenanteil und Wolken- und Windverhältnissen beeinflusst (Hiller 2018; UBA 2019).

## 2.2. Darstellung der deutschen Strategien zur Klimaanpassung

Das politische und öffentliche Bewusstsein für Klimafolgen und -risiken ist laut des sechsten [IPCC](#)-Berichts gestiegen. Eine Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist in Anbetracht der Auswirkungen auf Natur und Mensch unumgänglich. Dabei steht die Verringerung von Schäden im Vordergrund. Folgende Hauptanpassungsoptionen werden beschrieben: effiziente Nutzung von Wasser und Strom, Maßnahmen zum Schutz, zur Erhaltung und Wiederherstellung verschiedener Ökosysteme und eine resiliente Ausrichtung der Infrastruktur (Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle 2022a). Bei der Entwicklung von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel ist dabei zu beachten, dass diese nicht in Konkurrenz mit Sustainable Development Goals ([SDG](#)) stehen, sondern eine Klimagerechtigkeit anstreben (Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle 2022c).

Die Deutsche Anpassungsstrategie ([DAS](#)) wurde im Dezember 2008 von der Bundesregierung beschlossen. In ihr werden Risiken bewertet und die daraus folgenden Anpassungsmaßnahmen beschrieben. Ziel der [DAS](#) ist dabei, die Verwundbarkeit gegenüber den Klimawandel bedingten Folgen zu mindern. Es ist dabei wichtig zu beachten, dass die Anpassung mit einer Minderung der [THG](#)-Emissionen zusammenhängt (BReg 2008). Mit der [DAS](#) als Grundlage wurde im August 2011 der Aktionsplan Anpassung ([APA](#)) beschlossen, in dem einzelne Maßnahmen zur Anpassung genauer beschrieben sind. Die derzeitige Bundesregierung beschreibt in ihrem Koalitionsvertrag, dass ein Klimaanpassungsgesetz und ein Sofortprogramm erarbeitet werden sollen. Damit sollen ein gesetzlicher Rahmen, messbare Ziele, konkrete Maßnahmen und Finanzierung festgelegt werden (BUMV 2022; Hoffmann et al. 2020; SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021).

Im Land Bremen wurde 2018 die Klimaanpassungsstrategie Bremen/Bremerhaven veröffentlicht. Sie definiert spezifische Anpassungsmaßnahmen in zwölf Sektoren und vier Querschnittssektoren. Die Maßnahmen wurden dabei entsprechend der lokalen Betroffenheit von Bremen entwickelt. Schlüsselmaßnahmen sind Überflutungsvorsorge, naturnaher Umgang mit Regenwasser, der Ausbau von Dach- und Flächenbegrünung, die Bereitstellung von Trinkwasser und das Einrichten verschiedener Informationssysteme zur Starkregenvorsorge oder zum Stadtklima. Ein wichtiges Hilfsmittel, um Überflutungsgefahren durch Starkregen in Bremen zu identifizieren, ist das Auskunft- und Informationssystem Starkregen der Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau ([SKUMS](#)). Mittels der Onlineanwendung können Überstauhöhen bei verschiedenen starken Extremregeneignissen ermittelt werden. Dies hilft bei der Planung von Maßnahmen zur Stadtentwässerung (SKUMS 2021).

Um die Maßnahmen umzusetzen, wurde außerdem das Klimaanpassungsmanagement eingerichtet, welches die Vorhaben koordiniert und einen jährlichen Umsetzungsstand veröffentlicht (SKUMS und Umweltschutzamt 2018).

### 2.3. Klimaschutzpolitik in Deutschland

Etwa 34 % der gesamten anthropogenen Netto-Treibhausgasemissionen kommen aus dem Energieversorgungssektor, 24 % aus der Industrie, 22 % aus Land- und Forstwirtschaft sowie sonstiger Landnutzung, 15 % aus dem Verkehrssektor und 6 % aus dem Gebäudesektor. Dabei besteht der Energieversorgungssektor aus Wärme- und Stromerzeugung. In Anbetracht der Auswirkungen der Klimaveränderungen wird im sechsten [IPCC](#)-Bericht eine Senkung aller [THG](#) in allen Sektoren gefordert. Eine Erderwärmung von 3,2 °C bis zum Jahr 2100 kann dabei nur verhindert werden, wenn die politischen Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels verstärkt werden. Um eine Treibhausgasemissionssenkung zu erreichen, müssen anstatt fossiler Energiequellen kohlenstoffarme oder kohlenstofffreie Energiequellen genutzt werden. Außerdem muss der Energiesektor elektrifiziert werden und Einsparungen und Effizienz von Energie verbessert und gesteigert werden (Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle 2022c).

Der erste weltweite völkerrechtlich bindende Vertrag zur Eindämmung des Klimawandels war das Kyoto-Protokoll, welches 1997 unter der [UNFCCC](#) (United Nations Framework Convention on Climate Change) verhandelt wurde und 2005 in Kraft trat. Auf der 21. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen wurde im Dezember 2015 das Übereinkommen von Paris ([ÜvP](#)) verabschiedet (UBA 2021). Das [ÜvP](#) trat im November 2016 in Kraft und hatte das Ziel, die Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen und bis spätestens 2050 Treibhausgasneutralität zu erreichen. Dabei gibt es keine Sanktionsmechanismen, sollten die Staaten, die das Übereinkommen unterzeichnet haben, ihre Ziele nicht erreichen (BMUB Dezember 2015). Im Koalitionsvertrag 2021-2025 zwischen der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands (SPD), dem Bündnis 90 / Die Grünen und den Freien Demokraten (FDP) wird unter anderem eine Ausrichtung der Klimapolitik an dem im [ÜvP](#) definierten 1,5-Grad-Pfad beschrieben (SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021). Außerdem wird das Ziel der Klimaneutralität bis spätestens 2045 festgesetzt, welches mithilfe des Bundes-Klimaschutzgesetzes ([KSG](#)) umgesetzt werden soll. Erneuerbare Energien sollen im Jahr 2030 einen Anteil von 80 % ausmachen. Dabei soll der dezentrale Ausbau von erneuerbaren Energien verstärkt werden. Neben dem Potenzial von Solar- und Windenergie soll auch das der Geothermie stärker

genutzt werden. Bis 2030 soll dementsprechend 50 % der Wärme klimaneutral erzeugt werden (SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021).

Die Bremer Klimaziele wurden vom Senat im Dezember 2009 in einem Klimaschutz- und Energieprogramm beschlossen und festgelegt. Es handelt sich dabei um das Ziel bis 2020 mindestens 40 % weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen zu verursachen als 1990. Die rechtliche Umsetzung dieser Ziele erfolgte im Bremer Klimaschutz- und Energiegesetz ([BremKEG](#)), das am 27. März 2015 in Kraft trat. Die Bremer Zielsetzung orientiert sich darin an dem Leitziel, die Treibhausgasemissionen der Industrieländer bis 2050 um 80 bis 95 % gegenüber 1990 zu senken. Um auch für die Jahre bis 2050 Zwischenziele festzulegen und den Erfolg zu messen, veröffentlicht das Land Bremen Folgeberichte des Klimaschutz- und Energieprogramms und Monitoring-Berichte über die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Diesem ist zu entnehmen, dass das Land Bremen abweichend seines Ziels von einer 40 Prozentigen Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen nur 31 % erreicht hat. Betrachtet man dabei die Emissionen aus dem Jahr 2020 in Tabelle 2.1 fällt auf, dass 48,7 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Herstellung und Verbrauch von elektrischem Strom verursacht wurden. Der restliche Anteil stammt hauptsächlich aus der Wärmeversorgung von Gebäuden mit Erdgas und leichtem Heizöl (HB 2020).

Tabelle 2.1: CO<sub>2</sub>-Emissionen verschiedener Verbrauchergruppen im Jahr 2020 nach Energieträgern im Land Bremen (ohne Stahlindustrie) (HB 2020)

	<b>CO<sub>2</sub>-Emissionen in 1000 t</b>	<b>Anteil in %</b>
<b>Elektrischer Strom</b>	1.055	48,7
<b>Erdgas</b>	618	28,5
<b>Leichtes Heizöl</b>	349	16,1
<b>Fernwärme</b>	62	2,9
<b>Kraftstoffe</b>	46	2,1
<b>Sonstige Wärmelieferungen</b>	23	1,1
<b>Flüssiggas</b>	10	0,5
<b>Kohlen</b>	1	0,1
<b>Summe ohne Strom</b>	1.109	51,3
<b>Insgesamt</b>	2.164	100,0

Betrachtet man die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Wärmesektor zwischen 1990 und 2020 in Tabelle 2.2, fällt ein Umstieg vom leichtem Heizöl zu Erdgas als Energieträger auf (HB 2020).

Tabelle 2.2: Endenergieverbrauch für die Wärmeversorgung von Gebäuden in den Jahren 1990 und 2020 im Land Bremen (ohne Stahlindustrie) (HB 2020)

	Energieverbrauch in Terajoule		Anteile in %	
	1990	2020	1990	2020
<b>Heizöl (leicht)</b>	15.864	4.714	48,7	23,3
<b>Erdgas</b>	11.381	11.068	35	54,6
<b>Fernwärme</b>	1.872	2.454	5,7	12,1
<b>Sonstige Energieträger</b>	3.440	2.031	10,6	10
<b>Insgesamt</b>	32.557	20.267	100	100

Um die Klimaziele zu erreichen, möchte Bremen die Energieversorgung komplett aus erneuerbaren Energiequellen bereitstellen. Dafür sollen die Stromerzeugung durch Wind- und Wasserkraft sowie Photovoltaik und Biomasse ausgebaut werden. Neben der Minderung von [THG](#)-Emissionen aus der Stromversorgung soll außerdem die der Wärmeversorgung reduziert werden. Das Land Bremen will hierfür den Ausbau des Fernwärmenetzes auf Basis von Kraft-Wärme-Kopplung und Abwärme erwirken. Zudem sollen bestehende Nahwärmenetze umgerüstet und Solarthermie sowie Erdwärmenutzung beworben werden. Auch die Reduzierung des Wärmebedarfs durch effizientere Nutzung, Gebäudesanierung und Dämmung ist eine der Hauptaufgaben (SKUMS 2010). Als Grundlage für eine geplante Wärmewende in Bremen wurde ein Wärmeatlas erstellt, in dem eine Ist-Analyse des Wärmebedarfs durchgeführt wurde. Ergebnis der Studie ist eine digitale Wärmebedarfskarte, die sich im Anhang A in Abbildung A.2 befindet. Auf Basis dieser Karten können Strategien zur Reduktion des Wärmebedarfs und zum Ausbau der Fernwärme vorgenommen werden (Eikmeier et al. 2021).

Da die Elektrifizierung des Wärmesektors ausgebaut werden soll, ist die Bereitstellung von Strom aus erneuerbaren Energien für eine klimaneutrale Versorgung Grundlage dessen (SKUMS 2010). Hauptpunkte der kommunalen Wärmeplanung sind dabei der Ausbau von Fernwärme, kalten Nahwärmenetzen, Einzelhaus-Umweltwärmepumpen, Weserwasser-Großwärmepumpen und Wärme aus Biomasse (Stanislawski 2023). Der bis 2040 geplante Fernwärmeausbau der swb AG ist im Anhang A in Abbildung A.3 zu sehen. Beim Ausbau soll die Fernwärmeleistung in Bremen und Bremerhaven innerhalb der nächsten 17 Jahre von 745 MW (1.100.000 MWh) auf 1.087 MW (1.613.000 MWh) ausgebaut werden (Herbe 2023).

## 2.4. Zusammenspiel von Klimaschutz und Klimaanpassung

Zwischen Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung können sowohl Synergien als auch Zielkonflikte entstehen. Daher ist es wichtig, ein Gleichgewicht zwischen Maßnahmen herzustellen und eine gemeinsame Nutzung von Flächen anzustreben. Ein Beispiel für eine gegenseitige positive Beeinflussung von Klimaschutz und Klimaanpassung ist der Schutz und die Wiederherstellung von Mangroven zur Kohlenstoffbindung, welche außerdem den natürlichen Überflutungsschutz begünstigen. Ein Beispiel für einen Zielkonflikt ist das Bestreben, die Dichte von Städten zu erhöhen, um die Verkehrsnachfrage zu verringern, und die Energieeffizienz zu verbessern. Eine solche Maßnahme verstärkt jedoch die Hitzebildung und Überflutungsgefahren in der Stadt (Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle 2022c).

In Deutschland leben 86 % der Menschen in Städten mit über 5.000 Einwohner\*innen. Somit sind Städte nicht nur für den größten Teil der [THG](#)-Emissionen verantwortlich, sondern auch am stärksten von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Städtische Wärmeinseln sind hierbei ca. 3 bis 10 °C wärmer als ihr Umland. In den stark wachsenden Metropolregionen entsteht ein steigender Siedlungsdruck, wobei die Ressource Boden immer knapper wird. Um das Konfliktpotenzial der Maßnahmen in der Flächenknappheit zu minimieren, müssen Klimaschutz und Klimaanpassung als Querschnittsaufgabe verstanden und zusammen angegangen werden (BMI 2021).

### 3. Theoretischer Hintergrund der betrachteten Maßnahmen

#### 3.1. Öffentliche Grünflächen als Klimaanpassungsmaßnahme

##### 3.1.1. Funktionen von Grünflächen im städtischen Raum

Urbanes Grün besitzt sowohl soziale als auch ökologische Funktionen. Unter urbanem Grün versteht man dabei nicht nur städtische Grünräume, sondern auch Elemente an Gebäuden. Beispiele dafür können Parks, Gärten, Friedhöfe, Alleen, Stadtwälder, Gemeinschaftsgärten oder Dach- und Fassadenbegrünung sein. Da diese Flächen einen Raum für Begegnung, Sport, Freizeit, Erholung und gärtnerische Aktivitäten bieten, verbessern sie die Lebensqualität der Stadtbewohner\*innen. Neben dieser sozialen Funktion stellt urbanes Grün außerdem die wichtigste Maßnahme dar, das Stadtklima zu verbessern. Durch Belüftung, die Herstellung von Kaltluftschneisen und eine Verbesserung der Verdunstung, kann der Wärmeinsel-Effekt verringert werden. Abbildung 3.1 stellt dabei die Funktionsweise der Abkühlung durch Flurwinde dar. Die Luft, die in sogenannten Kaltluftentstehungsgebieten generiert wird, gelangt durch Kaltluftschneisen ins Stadtinnere. Dabei wird der Luftfluss durch die Dichte und Höhe der Bebauung beeinflusst. Am günstigsten für einen optimalen Luftaustausch sind dabei Grünflächen und Gewässer. Durch die Herstellung und Bewahrung von Kaltluftschneisen und Kaltluftentstehungsgebieten kann eine städtische Hitzeinsel und die Feinstaubbelastung minimiert werden (Maurus und Roder 2021).

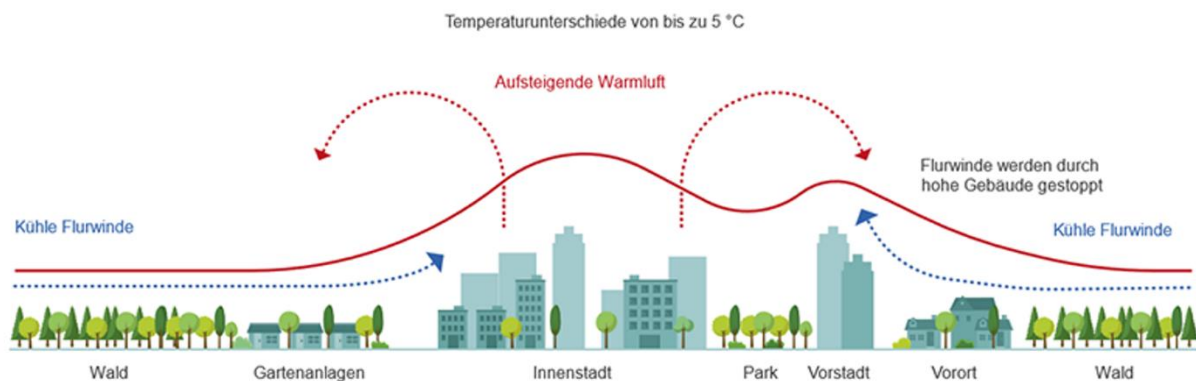


Abbildung 3.1: Funktionsweise von Flurwinden zur Abkühlung von Städten (Blankenburger und Berliner (WIR SIND) 2020)

Auch die Dichte des Baumbestands hat eine Auswirkung auf den Windwiderstand und somit die Kaltluftzufuhr in dicht besiedelten Gebieten. Für eine optimale Kaltluftschneise müssen Strömungshindernisse vermieden werden. Darunter fallen eine Bebauung der Fläche und ein dichter



Baumbestand. Abbildung 3.2 zeigt eine verdeutlichende Darstellung dieses Phänomens. (Etiling und Groß 2013).

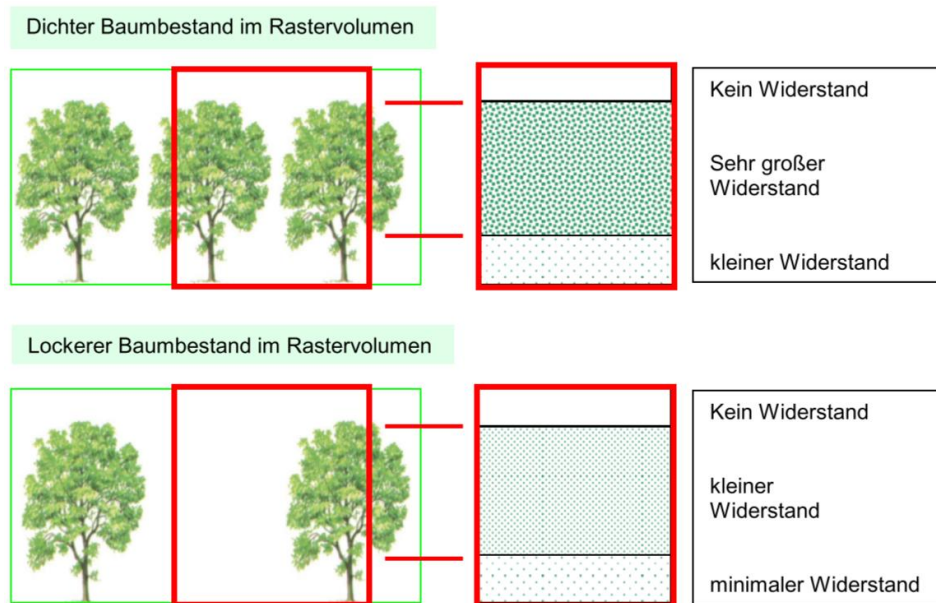


Abbildung 3.2: Auswirkungen der Vegetation auf den Windwiderstand (Etiling und Groß 2013)

Städtisches Grün ist ein wichtiger Bestandteil des naturnahen Regenwasserhaushalts, wodurch Versickerung, Speicherung und Verdunstung begünstigt werden sollen. Elemente nach dem Schwammstadtprinzip können dabei beispielsweise Räume für die Zwischenspeicherung von Regenwasser oder Versickerung auf entsiegelter Fläche, in Versickerungsmulden oder Versickerungsrigolen sein.

Die grüne Infrastruktur stellt einen Lebensraum für Flora und Fauna dar und spielt eine große Rolle für die Biodiversität und die Artenvielfalt im städtischen Raum. Eine weitere Funktion ist die Reduktion von Luftverschmutzung, Staub- und Lärmbelästigung. Da Pflanzen als natürlicher CO<sub>2</sub>-Speicher dienen, tragen sie zum Klimaschutz bei. Daher kann der Erhalt und die Entstehung urbanen Grüns als Querschnittsaufgabe von Klimaschutz, Klimaanpassung, Umweltschutz und Luftreinigung verstanden werden. Besonders in Städten mit starkem Wachstum stehen Grün- und Freiflächen unter einem Flächennutzungsdruck. Aufgrund des Ziels, mehr bezahlbaren Wohnraum zu schaffen und einem steigenden Verkehrsaufkommen, werden Städte baulich immer mehr verdichtet und versiegelt. Wegen dieser Ziel- und Nutzungskonflikte gewinnt eine Mehrfachnutzung von Grünflächen immer mehr an Bedeutung. Dabei muss darauf geachtet werden, dass eine solche Mehrfachnutzung nicht zur Belastung der Grünanlage wird (Willen 2020; BMI 2021).

### 3.1.2. Bioklimatische Analyse der Grünflächen in Bremen




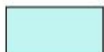
In der Bremer Klimaanpassungsstrategie sind verschiedene Schlüsselmaßnahmen definiert, bei denen Grünflächen eine wichtige Rolle einnehmen. So sind diese beispielsweise Teil eines naturnahen Umgangs mit Regenwasser. Durch Entsiegelung und Installation von Versickerungselementen soll dabei möglichst der größte Anteil des Regenwassers versickern und verdunsten. Außerdem soll mittels einer Begrünungsstrategie in den jeweiligen Stadtteilen die Dach- und Freiflächenbegrünung vorangetrieben werden. Dabei sollen vor allem ihre stadtklimatische Relevanz und ihre Bedeutung für Frischluftbahnen hervorgehoben werden (SKUMS und Umweltschutzamt 2018).

In Bremen liegt der Grünflächenanteil bei ca. 70 %, was eine Fläche von 400 m<sup>2</sup>/EW darstellt. Damit gehört Bremen neben Hamburg, Dortmund, Stuttgart und Dresden zu den deutschen Großstädten mit den meisten Grünflächen. Diese Zahlen haben jedoch keine Aussagekraft über Zugänglichkeit und Qualität der Grünflächen (Willen 2020).

Im Flächennutzungsplan der Stadt Bremen werden die definierten Grünanlagen in die fünf Nutzungskategorien Badeplatz, Sportanlage, Parkanlage, Friedhof und Dauerkleingarten aufgeteilt. Je nach Kategorie werden der Fläche verschiedene Funktionen zugeschrieben. Dazu kommen die folgenden denkmalgeschützten oder historisch öffentlichen Grünanlagen, an die gesonderte Anforderungen gestellt werden und die in der Gebührenordnung für die Sondernutzung von öffentlichen Grünanlagen nach dem Bremischen Naturschutzgesetz in der Stadtgemeinde Bremen ([GrünAnlSoNGebO BR](#)) aufgelistet sind: Andersons Park / Hesse Park, Gut Landruhe (Menke-Park), Haus Blomendal Grünanlagen, Heinekens Park, Höpkens Park, Knoops Park, Muhles Park, Oslebshauer Park, Park Holdheim, Schlosspark Sebaldsbrück, Stadtgarten Vegesack, Wätjens Park, Wallanlagen (Altstadtwallanlagen und Neustadtwallanlagen) und Waller Park.

Im August 2013 wurde die Klimaanalyse für das Stadtgebiet der Hansestadt Bremen vom Senator für Umwelt, Bau und Verkehr in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. G. Gross veröffentlicht. In der gesamtstädtischen Analyse über Klimaökologie und Lufthygiene wurden die bioklimatische Belastung der Siedlungsräume (Wirkungsräume) und die bioklimatische Bedeutung von Grün- und Freiflächen (Ausgleichsräume) bewertet. Grundlage der Bewertung stellen Informationen zu Geländennutzung, Wetter/Klima, Gebäudehöhen, Vegetationsstrukturen, Temperaturen, Windgeschwindigkeiten und Kaltluftvolumen dar. Ein Ergebnis der Klimaanalyse ist eine Planungshinweiskarte, die sich im Anhang A befindet (siehe Abbildung A.1). Darin ist die bioklimatische Bedeutung der Grün- und Freiflächen in vier Bewertungsklassen eingeteilt, die in Tabelle 3.1 beschrieben sind (Etiling und Groß 2013).

Tabelle 3.1: Darstellung der vier Kategorien der bioklimatischen Bedeutung von Grünflächen mit Kriterium, Bedeutung der Empfindlichkeit und Hinweisen zu Maßnahmen (Etiling und Groß 2013).

Bioklimatische Bedeutung	Kriterium	Beurteilung der Empfindlichkeit	Hinweise zu Maßnahmen
<b>Sehr hohe Bedeutung</b> 	Leitbahnen: Hoher Luftaustausch zwischen Kaltluftentstehungsgebieten 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 Baumbepflanzung 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>

### 3.2. Oberflächennahe Geothermie als Klimaschutzmaßnahme

#### 3.2.1. Technischer Hintergrund der oberflächennahen Geothermie

Geothermie ist eine klimafreundliche Alternative zu fossilen Wärmequellen wie Erdgas oder Erdöl. Bei der Erdwärmegewinnung wird Wärme genutzt, die im oberflächennahen Teil der Erdkruste gespeichert ist. Die Temperatur ist im Erdkern am höchsten und nimmt zur Erdoberfläche hin ab. Dabei ist der Wärmestrom in Richtung Erdoberfläche kontinuierlich (Bauer et al. 2018). Auch die solare Strahlung liefert einen Teil der thermischen Energie nahe der Erdoberfläche. Daher schwankt die Temperatur in den ersten Metern unter der Erdoberfläche. In einer Tiefe von 15 bis 20 m besitzt das Gestein über das gesamte Jahr hinweg eine konstante Temperatur von ca. 10 °C. In größerer Tiefe nimmt die Temperatur kontinuierlich zu (Panteleit et al. 2022). Dabei wird ein geothermischer Gradient von einer mittleren Temperaturzunahme von etwa 3 °C pro 100 m Tiefe angesetzt. Die Geothermie ist somit eine Energie, die ununterbrochen zur Verfügung steht und nicht tages- und jahreszeitenabhängig ist. Daher ist die geothermische Energie nach Herstellung und Installation der Anlage zur Energiegewinnung grundlastfähig, emissionsfrei und in Deutschland lokal vorhanden. In der lokalen Versorgung kann sie somit als klimaneutrale Energiequelle für Raumwärme, Warmwasser oder Kühlung genutzt werden (Bauer et al. 2018).

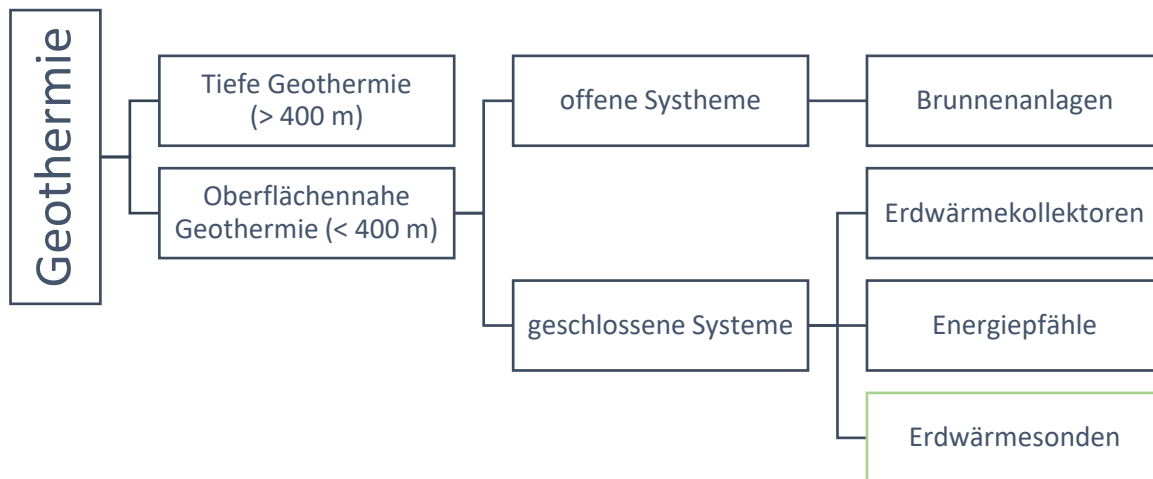


Abbildung 3.3: Klassifikation geothermischer Systeme nach Tiefe (Bauer et al. 2018)

Die Nutzung von Geothermie kann, wie in Abbildung 3.3 dargestellt, nach Tiefe klassifiziert werden. Bei der oberflächennahen Geothermie werden Bohrungen bis zu 400 m Tiefe vorgenommen. Bei der oberflächennahen geothermischen Nutzung unterscheidet man weiter zwischen offenen und geschlossenen Systemen. Während offene Systeme mittels Brunnenanlagen das geförderte warme

Grundwasser selbst nutzen, wird in geschlossenen Systemen nur die Wärmeenergie gefördert. Dabei kann die Nutzung mittels Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren oder Energiepfählen geschehen. Erdwärmesonden sind Rohre, die sich in senkrechten Bohrungen befinden und in denen eine Wärmeträgerflüssigkeit zirkuliert. Bei Erdwärmekollektoren werden die aus Rohren bestehenden Wärmetauscher horizontal ca. 1 bis 1,5 m unter der Geländeoberfläche verlegt. Energiepfähle bestehen aus vorhandenen Unterbauten, wie Betonpfählen eines Hauses, in die ein Rohrnetz zur Wärmeübertragung installiert wird (Panteleit et al. 2022; Bauer et al. 2018). Da Erdwärmesonden aufgrund technischer und wasserwirtschaftlicher Anforderungen für eine Nutzung geothermischer Energie auf öffentlichen Grünflächen in Bremen besonders geeignet sind, werden andere technische Möglichkeiten der Geothermie im Folgenden nicht berücksichtigt (siehe Abbildung 3.3).

Erdwärmesonden bestehen aus geschlossenen, meist U-förmigen Polyethylen-Rohren (PE-Rohren), die mittels einer Bohrung senkrecht im Boden installiert werden. Diese dienen, wie in Abbildung 3.4 dargestellt, als Wärmetauscher. In der Erdwärmesonde zirkuliert als Wärmeträgerflüssigkeit vorwiegend Wasser oder ein Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel. Mehrere Erdwärmesonden können zu einem größeren Sondenfeld zusammengeschlossen werden (Stober und Bucher 2014).

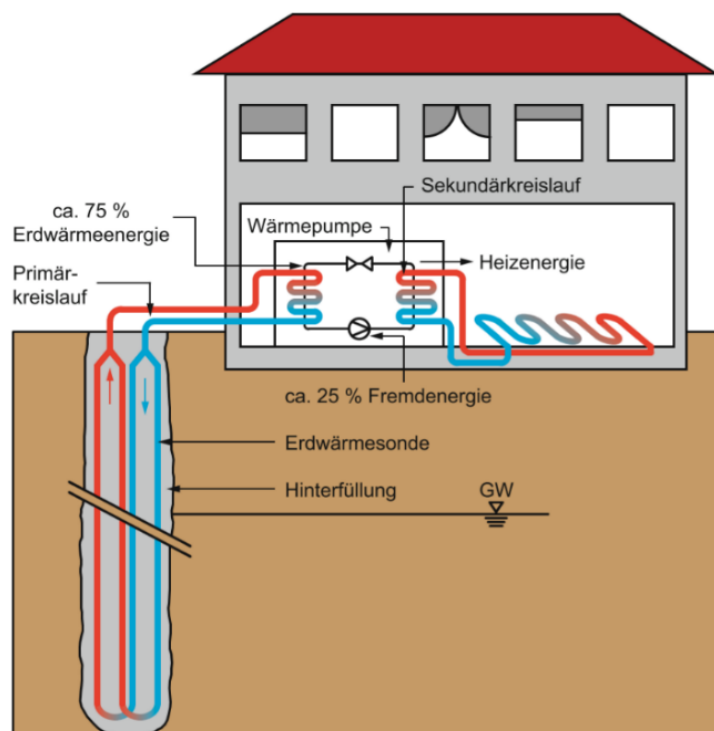


Abbildung 3.4: Beispielhafte Darstellung einer Erdwärmeanlage mit einer Erdwärmesonde (Stober und Bucher 2014)

Bei der Nutzung oberflächennaher Geothermie können nur niedrige Temperaturen von ca. 10 °C gefördert werden. Daher braucht es den Einsatz von Wärmepumpen, um die Temperatur auf das gewünschte Niveau anzuheben. Die Funktionsweise einer Wärmepumpe ist in Abbildung 3.5 dargestellt. In einem sekundären Kreislauf zirkuliert eine Flüssigkeit, die mittels eines Wärmetauschers von der Erdwärme erwärmt und anschließend mithilfe eines elektrisch betriebenen Verdichters auf die Vorlauftemperatur des entsprechenden Heizkreislaufs gehoben wird. Durch den zweiten Wärmetauscher kann die Energie nun an den Wärmeverteilungskreislauf des Gebäudes abgegeben werden. Wird die Wärmepumpe mit erneuerbarem Strom betrieben, ist auch dieser Schritt klimaneutral (Panteleit et al. 2022).

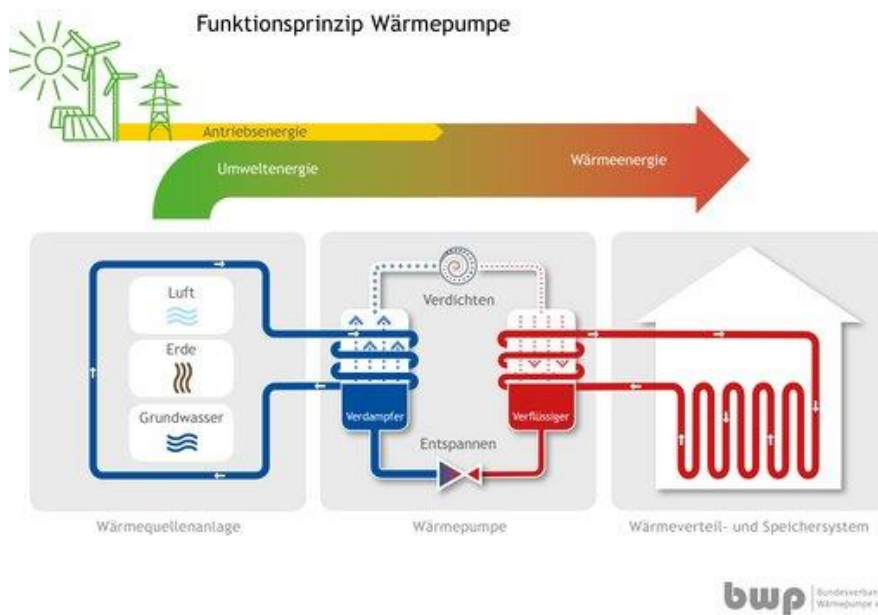


Abbildung 3.5: Funktionsprinzip einer Wärmepumpe (BWP 2023)

Um die Wärme von der Energiequelle zum Gebäude zu transportieren, gibt es verschiedene Netzlösungen. Bei der Fernwärme wird warmes Wasser über wärmeisolierte Rohrleitungen von der Wärmeerzeugung zu den Verbraucher\*innen transportiert. Wärmelieferanten können dabei fossile Brennstoffe und Biomasse-, Müll- oder Blockheizkraftwerke sein. Zudem gibt es Fernwärme mit Großwärmepumpen, bei denen industrielle Abwärme, geothermische Energie oder solarthermische Energie als Wärmequelle dienen. Wie in Abbildung 3.6 zu sehen, besteht der Unterschied zum kalten Nahwärmenetz darin, dass hier jedes Gebäude über eine eigene Wärmepumpe verfügt. Außerdem kann dem Netz Wärme aus mehreren Wärmequellen zugeführt werden. Im kalten Nahwärmenetz zirkuliert dabei ein Wärmeträgermedium, welches meistens aus einem Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel besteht und eine Temperatur von 10 bis 12 °C aufweist. Im Netz werden meist

ungedämmte Ringleitungen aus PE-Rohren eingesetzt, die zusätzlich als Erdkollektoren dienen. Die niedrige Temperatur führt außerdem zu einer hohen Systemeffizienz, da Wärmeverluste vermieden werden (BWP 2018; Bauer et al. 2018).

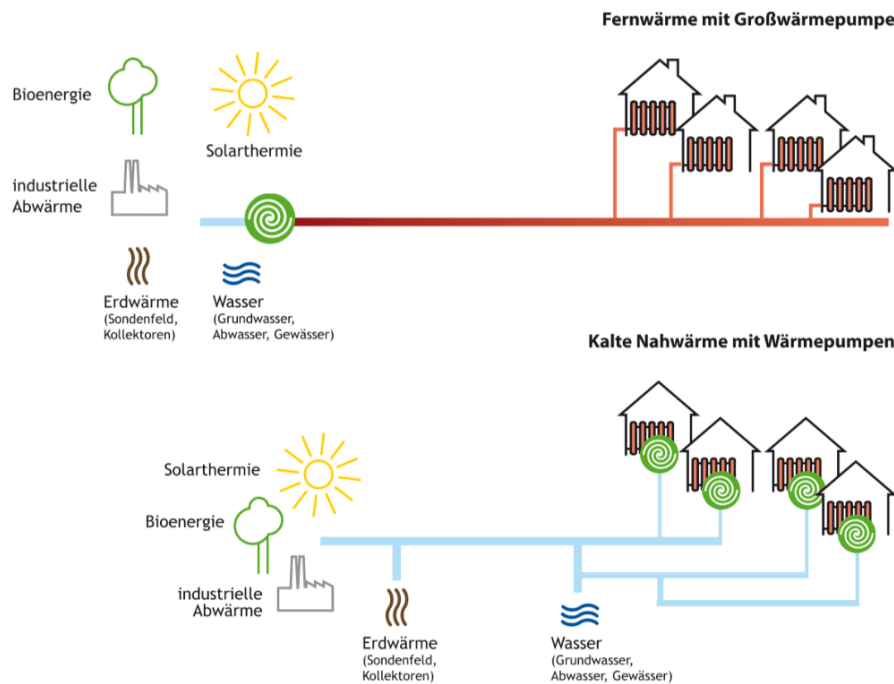


Abbildung 3.6: Funktionsprinzip von Fernwärme mit Großwärmepumpen und kalter Nahwärme mit Wärmepumpen (BWP 2018)

Erdwärmesonden können neben der Speisung von Nahwärmenetzen außerdem zur saisonalen Wärmespeicherung genutzt werden. Dies funktioniert, indem das System neben dem Heizen im Winter zusätzlich zur Kühlung im Sommer genutzt wird. Die passive Kühlung funktioniert dabei so, dass das kühlere Wärmeträgermedium ohne Einsatz der Wärmepumpe in den Heizkreislauf geleitet wird. Dabei nimmt es die Wärme aus dem Raum auf und kann dann zur Sonde geführt werden. Hier wird die Wärme dann über einen Wärmetauscher an den Boden abgegeben. Eine passive Kühlung kann dabei die Raumtemperatur um 2 bis 3 °C senken. Bei der aktiven Kühlung wird die Wärmepumpe als Kältemaschine genutzt. Das Kühlen führt zu einer künstlichen Regeneration des Sondenfelds und einer saisonalen Wärmespeicherung (BWP 2018; Bauer et al. 2018; Born et al. 2022).

Zu den technischen Anforderungen bei der Nutzung von geothermischer Energie mittels Sonden gehört eine nachvollziehbare Dimensionierung aufgrund der vorliegenden Wärmeleitfähigkeit im Boden. Außerdem gibt es die allgemeinen Abstandsregelungen von 5 m zu Grundstücksgrenzen, 0,5 m zu öffentlichen Straßenflächen und 6 m zu einer zweiten Sonde (Panteleit et al. 2022). Da es sich beim Untersuchungsgebiet um eine öffentliche Fläche handelt, wird als Abstandsregel zu einem anliegenden

Grundstück nicht 5 m, sondern 3 m angesetzt, um den Abstand zweier Sonden zueinander nicht zu überschreiten. Zudem wird ein Mindestabstand von 1 m zu Ver- und Entsorgungsmedien im Untergrund gemäß der VDI-Richtlinien (Verein Deutscher Ingenieure) vorgeschrieben.<sup>1</sup>

Da der Wurzelbereich von jeglicher Bautätigkeit freizuhalten ist, wie in den Vorschriften zum Schutz der Bäume (siehe DIN 18920 oder die RAS-LP 4) vermerkt ist, entstehen dementsprechend Einschränkungen für das Setzen von Erdwärmesonden. Konkret ist die Fläche des Wurzelbereiches eines Baumes, die mit Kronendurchmesser plus 3 m definiert ist, für die Erdwärmenutzung auszuschließen.<sup>2</sup> Für die Ausgangstemperatur der Wärmepumpe gilt ein Toleranzbereich von -3 bis 28 °C (Panteleit et al. 2022). Weitere Anforderungen beziehen sich auf Bohrarbeiten, eingesetztes Material, Hinterfüllung des Ringraums und Betrieb der Anlage, auf die in dieser Arbeit nicht näher eingegangen wird, da nur eine grobe Planung im Vordergrund stehen soll. Die meisten technischen Probleme treten bei der Bohrung auf. Hierfür sind Genehmigungen erforderlich, um diese zu minimieren (Bauer et al. 2018).

### **3.2.2. Rechtliche und wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen der Geothermie**

Das bundesweite Wasserhaushaltsgesetz ([WHG](#)) und das auf Landesebene geltende Bremer Wassergesetz ([BremWG](#)) stellen den rechtlichen Rahmen bei der Installation und dem Betrieb oberflächennaher Geothermie dar. Außerdem greifen die Verordnungen über die Wasserschutzgebiete im Land Bremen ([WSG-VO](#)), das Bundesberggesetz ([BBergG](#)) und die Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen ([AwSV](#)). Bei der Bohrung wird auf das Geologiedatengesetz ([GeolDG](#)) verwiesen. Die Hauptgefahren für das Grundwasser bestehen während der Bohrung, durch Eintrag von Substanzen und Temperaturveränderungen. Um diesen Gefahren vorzubeugen und den Schutz des Grundwassers zu gewährleisten, sind Erdwärmeanlagen erlaubnispflichtig (siehe § 49 Abs. 1 Satz 2 i. V. m. § 8 Abs. 1 und § 9 Abs. 2 Nr. 2 [WHG](#)). Nach der Beantragung und Prüfung kann eine wasserrechtliche Erlaubnis erteilt werden. Nach [BBergG](#) zählt die Erdwärme als „bergfreier Bodenschatz“ (siehe § 3 Abs. 3 Nr. 2b [BBergG](#)). Daher bedarf es zur Energiegewinnung mit und ohne Wärmepumpe einer Erlaubnis oder Bewilligung (siehe § 7 [BBergG](#)

---

<sup>1</sup> Information aus einem Gespräch mit Benjamin Ghoroghy aus dem Referat 33 (qualitative Wasserwirtschaft) der Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau vom 23.03.2023.

<sup>2</sup> Information aus einem Austausch mit Thomas Knode aus dem Referat 25 (Grünordnung) der Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau vom 12.04.2023.



bzw. § 8 [BBergG](#)). In Bremen bestehen besondere wasserwirtschaftliche Rahmenbedingungen aufgrund der vorliegenden Geologie und Hydrologie. Allgemein bestehen die Grundwasserleiter in Bremen aus sandigen Sedimenten mit auftretenden Elementen aus Ton und Geschiebelehm. Gebietsweise treten Salzstrukturen und Lehmschichten auf. Bei der Beantragung der Erlaubnis zum Bau einer geothermischen Anlage prüfen der Geologische Dienst für Bremen ([GDfB](#)) und die Bremer Wasserbehörde, ob eine mögliche Grundwassergefährdung vorliegt. Kriterien dafür, dass eine Erlaubnis nicht erteilt wird, können sein, dass sich der geplante Standort in einer Schutzzone I oder II (Nahbereich der Trinkwasserfassung) befindet. Bei der Lage in einer Schutzzone III a bzw. III ist in einem Radius von 2 km um die Trinkwasserfassung die Bohrtiefe beschränkt. Auch bei erhöhtem Mineralgehalt des Grundwassers, einer hoch liegenden Salzstruktur, zwei getrennt voneinander vorliegenden Grundwasserleitern und bei Verdacht von Altlastvorkommen oder Kampfmitteln gibt es Beschränkungen bei Bohrvorhaben. In solchen Fällen bedarf es einer Sonderprüfung (Panteleit et al. 2022; Eisele et al. 2018). Werden Flächen betrachtet, die sich in Schutzgebieten befinden, so ist eine Einzelprüfung notwendig. So muss nach Bremischem Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege ([BremNatG](#)) überprüft werden, inwiefern die Anforderungen an Landschaftsschutzgebiete ([LSG](#)), Naturschutzgebiete ([NSG](#)), Schutzgebiete nach Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie ([FFH](#)) und geschützte Biotop verletzt werden könnten.

Durch den besonderen Fall der Erdwärmenutzung auf öffentlichem Grund entstehen zusätzliche rechtliche Fragestellungen zu Verantwortlichkeit und Mitbenutzungsbegründung. Bisher gibt es kein allgemeingültiges Verfahren zur Bereitstellung öffentlicher Flächen für private Erdwärmegewinnung. Für die verschiedenen Arten öffentlicher Flächen (Straßen, Grundstücke und Grünflächen) gibt es unterschiedliche Belange und somit verschiedene rechtliche Bedingungen. Aufgrund einer Projektidee, welche in 3.2.3 genauer beschrieben wird, wurde mit dem Klärungsprozess eines rechtlichen Verfahrens für den Bereich Straßen begonnen. Falls eine Flächenart grundsätzlich für eine private Erdwärmegewinnung bereitgestellt werden würde, ist eine standortbezogene technische Prüfung notwendig. Diese ist einer vertraglichen oder anderen rechtlichen Regelung vorgeschaltet.<sup>3</sup> Welche technische Ausführung der oberflächennahen Geothermie eingesetzt wird, hängt stark von den vorliegenden Bedingungen ab. In Bremen können dabei offene Systeme direkt ausgeschlossen werden, da das Grundwasser einen hohen Eisen- und Mangangehalt aufweist. Daher würde die Höchstkonzentration von 1 mg/l für Wärmepumpen überschritten werden. Erdwärmekollektoren

---

<sup>3</sup> Information aus einem Austausch mit Katja Stanislawski aus dem Referat 41 (Wärmewende) der Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau vom 12.04.2023.

dürfen nicht überbaut oder überschattet werden, da die Wärme, welche sie dem Boden entziehen, unter anderem von der Sonneneinstrahlung kommt. Außerdem besitzen sie einen relativ hohen Flächenbedarf von 25 bis 50 m<sup>2</sup>/kW. Da es sich bei städtischen Grünflächen meist um beschattete kleine Flächen handelt, werden Erdwärmekollektoren nicht weiter betrachtet. Auch Energiepfähle werden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da sie eine gebaute Struktur voraussetzen und solche auf öffentlicher Grünfläche nicht vorhanden sind. Aus diesen Gründen werden die Erdwärmesonden als die am besten geeignete Ausführung der oberflächennahen Geothermie bewertet (Panteleit et al. 2022).

### **3.2.3. Erdwärmenutzung in Bremen**

Die geothermische Nutzung beschränkt sich in Bremen aktuell auf privat betriebene Einzelanlagen und ein paar größere Anlagen, die als Sondenfelder unter einzelnen Gebäuden installiert sind. Gebäude, die eine solche Großanlage betreiben, sind beispielsweise die Sparkasse Bremen und das City-Gate Bremen. Nun soll das erste Pilotprojekt zur gemeinschaftlichen Nutzung von Erdwärme auf den Weg gebracht werden. Der Impuls stammt von Nachbarschaftsinitiativen und dem Verein „Erdwärme dich“. Am 23.02.2023 wurde dazu von Prof. Thomas Giel der Hochschule Mainz eine Studie zur Machbarkeit eines solchen Projektes in der Humboldtstraße in der Östlichen Vorstadt in Bremen vorgestellt. Darin geht es um das erdwärmebasierte Wärmeversorgungskonzept der Humboldtstraße, welches Teil des Projektes „Quartiere klimafreundlich gestalten“ ist. Die Planung des Projekts in der 900 m langen Straße beinhaltet die Versorgung von 50 Immobilien mit 63 jeweils 300 m tiefen Erdwärmesonden, die in 6 m Abstand voneinander über den Straßenverlauf verteilt sind. Die Sonden sind in einem kalten Nahwärmenetz als Ringnetz miteinander verbunden. Ungedämmte Leitungen dienen dabei als zusätzlicher Erdwärmekollektor. In ihnen zirkuliert als Wärmeträgermedium ein Ethanol-Wasser-Gemisch. Die dezentralen Wärmepumpen in den Gebäuden übernehmen die Drucküberwachung und die Aufzeichnung weiterer Systemparameter. Im Sommer können die Gebäude dann ohne den Betrieb der Wärmepumpen passiv gekühlt werden. Es wird eine deutliche CO<sub>2</sub>-Einsparung gegenüber einer Gasheizung hervorgehoben. Da sich Bohrungen und Ringleitung auf öffentlichem Grund befinden, müssen rechtliche Rahmenbedingungen und haftungsrechtliche Fragen noch abschließend geklärt werden. Dennoch kommt die Studie zu dem Schluss, dass eine Wärmegewinnung mittels Erdwärmesonden in der Humboldtstraße geotechnisch und genehmigungsrechtlich realisierbar ist (Giel 2022; Theiner 2023).

## 4. Methodik

### 4.1. Allgemeines methodisches Vorgehen

Im Rahmen dieser Arbeit wurde im ersten Teil eine Literaturlauswertung durchgeführt, um die Anforderungen an die Nutzung oberflächennaher Geothermie, sowie die Anforderungen an öffentliche Grünflächen für die Klimaanpassung zu erfassen. Die Literaturrecherche erfolgte sowohl in Fachzeitschriften, als auch in wissenschaftlichen Büchern, grauer Literatur und Online-Quellen. Es wurde nicht nur in allgemeiner, sondern auch in spezifische Literatur zu den Themen Klimaschutz und Klimaanpassung, oberflächennaher Geothermie und öffentliche Grünflächen recherchiert. In diesem Teil wurden die erste und zweite Teilfrage F1 und F2 beantwortet.

Nach Abschluss der Literaturrecherche wurden die erarbeiteten Kriterien verwendet und mit dem Geographischen Informationssystem ([GIS](#)) ArcGIS Pro der Firma ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.) in der Version 3.0.3 eine Potenzialanalyse durchzuführen. Mithilfe von Verschneidungs-, Analyse- und Verknüpfungsfunktionen in [GIS](#), gingen aus primären Daten Ergebnisse hervor. Dabei wurde ein Anforderungskatalog entwickelt, aus dem sich nach Anwendung das technische Potenzial ergab. Die Ergebnisse der Potenzialanalyse lieferten dabei Lösungen für Teilfrage F3 der Forschungsfragen. Nach der Analyse erfolgte eine Kategorisierung und Bewertung des ermittelten Flächenpotenzials. Hierfür wurde eine Bewertungsgrundlage entwickelt und angewendet. Dabei sollten die Anlagen in ihrer Gesamtheit und anschließend Einzelflächen genauer betrachtet werden. In diesem Teil wurde die letzte Teilfrage F4 beantwortet.

### 4.2. Verwendete Daten

Als Grundlage der Potenzialanalyse diente der Flächennutzungsplan, welches von der Hochschule Bremen im Rahmen des Projektes [WWNW](#) zur Verfügung gestellt wurde. Alle weiteren Daten wurden auf Nachfrage oder durch freien Download bei den jeweiligen datenhaltenden Institutionen zusammengetragen. Eine Übersicht aller verwendeten Datensätze ist in Tabelle 4.1 dargestellt. Bei der Auswahl der Daten wurde darauf geachtet, dass die Informationen immer vom gesamten Untersuchungsgebiet vorliegen und dass Angaben zum Datum der Erfassung und der letzten Änderung gegeben wurden. Außerdem wurden aktuellere Informationen älteren vorgezogen. Dabei liegen die Daten der letzten Änderungen zwischen 2018 und 2023.

Tabelle 4.1: Übersicht aller verwendeten Datensätze mit datenhaltender Institution, Erstellungsdatum und Datum der letzten Änderung (Eigene Darstellung)

<b>Bezeichnung</b>	<b>Datenhaltende Institution</b>	<b>Erstellungsdatum</b>	<b>Letzte Änderung</b>
<b>Bioklimatische Bewertung</b>	Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau (Referat 26)	2013	05.03.2021
<b>Bodenschutzinformationen (Altablagerung und Informationsgebiete)</b>	Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau (Referat 24)	03.03.2023	17.04.2023
<b>Flächennutzungsplan</b>	Landesamt für Geoinformationen Bremen	10.12.2013	08.02.2023
<b>Geschützte Biotope</b>	Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau (Referat 26)	1992-1998	04.07.2022
<b>Landschaftsschutzgebiete (LSG)</b>	Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau (Referat 26)		22.08.2022
<b>Naturschutzgebiete (NSG)</b>	Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau (Referat 26)		22.08.2022
<b>Digitale Orthophotos der Stadt Bremen</b>	Landesamt für Geoinformationen Bremen	07.09.2017	19.05.2022
<b>Restriktionsgebiete aufgrund von Salzstrukturen</b>	Geologischer Dienst für Bremen		März 2022
<b>Schutzgebiet nach Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH)</b>	Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau (Referat 26)		22.08.2022
<b>Starkregenereignis (Überflutungsgefahr)</b>	Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau (Referat 33)	02.09.2021	02.09.2021
<b>Straßenbäume in Bremen</b>	Umweltbetrieb Bremen	23.11.2022	12.04.2023
<b>Verwaltungsgrenzen Land Bremen</b>	Landesamt für Geoinformationen Bremen	20.02.2013	19.05.2022
<b>Wasserschutzzonen</b>	Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau (Referat 33)	13.02.2023	24.03.2023

## 4.3. Datenverarbeitung

### 4.3.1. Methodisches Vorgehen der Potenzialanalyse

Es gibt verschiedene Arten der Potenzialanalyse. Wie in Abbildung 4.1 zu sehen, kann ein theoretisches Potenzial erst zu einem technischen, dann wirtschaftlichen und zuletzt zu einem realisierbaren Potenzial eingegrenzt werden. Dabei kommt es darauf an, welche restriktiven Anforderungen gesetzt werden. Das technische Potenzial stellt dabei das maximale Potenzial dar, welches unter technischen Kriterien möglich ist.

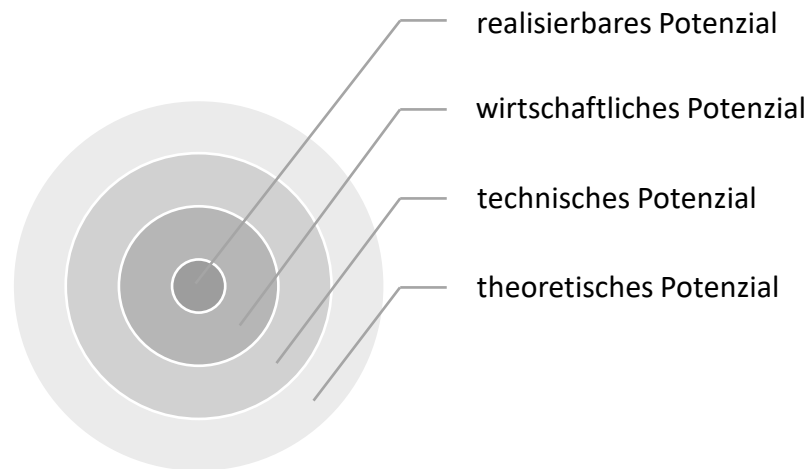


Abbildung 4.1: Schematische Darstellung der Beziehung zwischen theoretischem, technischem wirtschaftlichem und realisierbarem Potenzial (Peters 2020)

Bei der Potenzialanalyse wurden zunächst die Grünanlagen identifiziert, auf denen Restriktionen für eine Erdwärmenutzung bestehen. Ergebnis dieser Eingrenzung ist das technische Potenzial der öffentlichen Grünanlagen, die sich zur Mehrfachnutzung mit Erdwärmeanlagen eignen würden. Eine beispielhafte Darstellung für dieses Vorgehen zeigt Abbildung 4.2. Durch Anwendung verschiedener Kriterien werden die geeigneten Flächen immer präziser abgebildet.

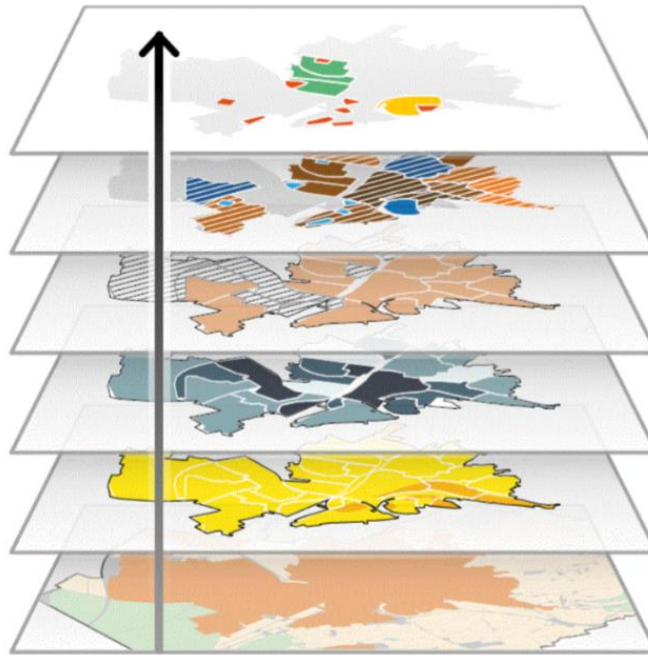


Abbildung 4.2: Exemplarisches Vorgehen der technischen Potenzialanalyse (Peters 2020)

Um das Potenzial zu ermitteln, wurden die restriktiven Rahmenbedingungen definiert. Dabei handelt es sich um objektive und subjektive Grenzwerte, Regeln und gesetzliche und wasserwirtschaftliche Anforderungen. Grundlage der Entwicklung des Anforderungskatalogs war der theoretische Hintergrund, der in Kapitel 3 dieser Arbeit erläutert wurde. Daraus ergab sich der folgende Anforderungskatalog an eine Mehrfachnutzung der Flächen:

#### **Basis der Analyse: Einschränkung des Untersuchungsgebiets**

- a. Fläche der Stadtgemeinde Bremen
- b. Flächen, die als Grünanlagen ([GA](#)) im Flächennutzungsplan definiert sind

#### **Analyse: Grünanlagen, auf denen Restriktionen für Erdwärmenutzung bestehen**

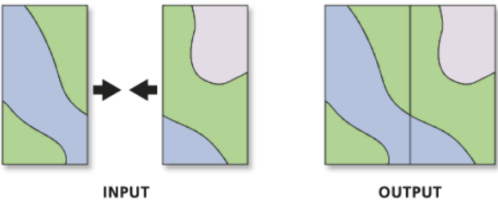
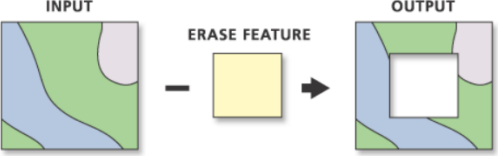
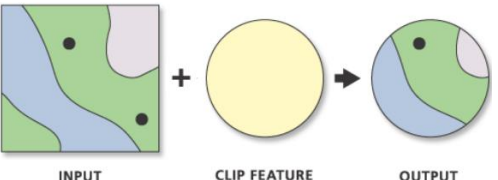
- a. Grünanlagen mit der Nutzungskategorie Friedhof
- b. Flächen in einer Trinkwasserschutzzone I und II
- c. Flächen in einer Trinkwasserschutzzone III, III a und III b
- d. Flächen im Restriktionsbereich aufgrund von Salzstrukturen
- e. Flächen in folgenden Schutzgebieten: Landschaftsschutzgebiete, Naturschutzgebiete, Schutzgebiete nach Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie und geschützte Biotope
- f. Flächen mit Altablagerungen und Grundwasserverunreinigungen
- g. Grünanlagen mit der Nutzungskategorie Dauerkleingärten

Die Position von Kampfmitteln war eine Anforderung, die aufgrund der unzureichenden Datenlage nicht in der GIS-basierten Potenzialanalyse berücksichtigt werden konnte.

Um diese Datenverarbeitung zu modellieren und zu automatisieren, wurde die visuelle Programmiersprache ModelBuilder des Programms ArcGIS Pro verwendet. Der Verarbeitungsprozess wurde dabei als Schema visualisiert. Beim Erstellen des Geoverarbeitungs-Workflows wurden zunächst die Eingangsdaten hinzugefügt, die als blaue runde Felder dargestellt sind. Diese wurden mit Werkzeugen, die als gelbe rechteckige Felder zu erkennen sind, zu Zwischen- und Endergebnissen weiterverarbeitet, die als grüne runde Felder dargestellt sind.

Um das Vorgehen nachvollziehen zu können, sind alle verwendeten Werkzeuge (Tools) in Tabelle 4.2 dargestellt. Dabei werden Name, Funktion, benötigte Daten und Funktionsschema abgebildet.

Tabelle 4.2: Übersicht aller verwendeten Werkzeuge mit Namen, Funktion und Funktionsschema (ArcGIS Pro 2023)

Name (deutsch/englisch)	Funktion	Funktionsschema
<b>Feature-Layer erstellen</b>	Mit diesem Werkzeug kann ein Feature-Layer erstellt werden. Eine Bedingung wird festgelegt und vom Programm angewendet.	
<b>Zusammenführen/ Merge</b>	Mit diesem Werkzeug können aus mehreren Eingabe-Datasets ein neues Ausgabe-Dataset hergestellt werden.	
<b>Radieren</b>	Mit diesem Werkzeug wird das Eingabe-Feature mit dem Radieren-Feature überlagert und der Bereich, welcher außerhalb des Radieren-Features liegt, als Ausgabe-Feature dargestellt.	
<b>Ausschneiden/ Clip</b>	Mit diesem Werkzeug kann das Eingabe-Feature wie mit einer „Ausstechform“ ausgeschnitten werden.	

Zur Darstellung des Untersuchungsgebiets wurden der Basiskarte (OpenStreetMap) die Landesgrenzen Bremens und der Flächennutzungsplan hinzugefügt. Angezeigt wurden dabei nur die als Grünanlagen ausgezeichneten Flächen und somit die im Anforderungskatalog gelisteten Kriterien bezüglich des Untersuchungsgebiets angewendet.

Der Geoverarbeitungs-Workflow der Analyse ist in Abbildung 4.3 zu sehen. Es handelt sich dabei um folgende Eingangsdaten: Grünanlagen ([GA](#)); Wasserschutzgebiete: Schutzzone II, III a und III b; Schutzgebiete: geschützte Biotope, Landschaftsschutzgebiete, Naturschutzgebiete und Schutzgebiete nach [FFH](#)-Richtlinie; Bodenschutzgebiete: Grundwasserverunreinigungen und Altablagerungen und Lage der Salzstrukturen. Im ersten Schritt wurden einige Eingangsdaten nach Eigenschaften aufgeteilt. Es wurde nach Grünanlagen, aus denen ein Grafik-Layer mit Friedhöfen und ein Grafik-Layer mit Dauerkleingärten entstand, unterschieden. Außerdem wurden die jeweiligen Informationen zu Wasserschutzgebieten, Schutzgebieten und Bodenschutzgebieten zusammengeführt. Mit dem Verschneiden der vorbereiteten Eingangsdaten mit den Grünanlagen des Untersuchungsgebiets entstanden folgende Zwischenergebnisse: [GA](#) Dauergarten, [GA](#) Friedhof, [GA](#) in Schutzzone II, [GA](#) in Schutzgebieten, [GA](#) in Bodenschutzgebieten, [GA](#) auf Salzstrukturen und [GA](#) in Schutzzonen III a und III b. Im letzten Schritt wurden alle Grünanlagen, die in Restriktionsgebieten lagen, zusammengeführt und von der Fläche aller Grünanlagen radiert. Das Ergebnis der Analyse sind Grünanlagen mit Restriktionen und Grünanlagen ohne Restriktionen.



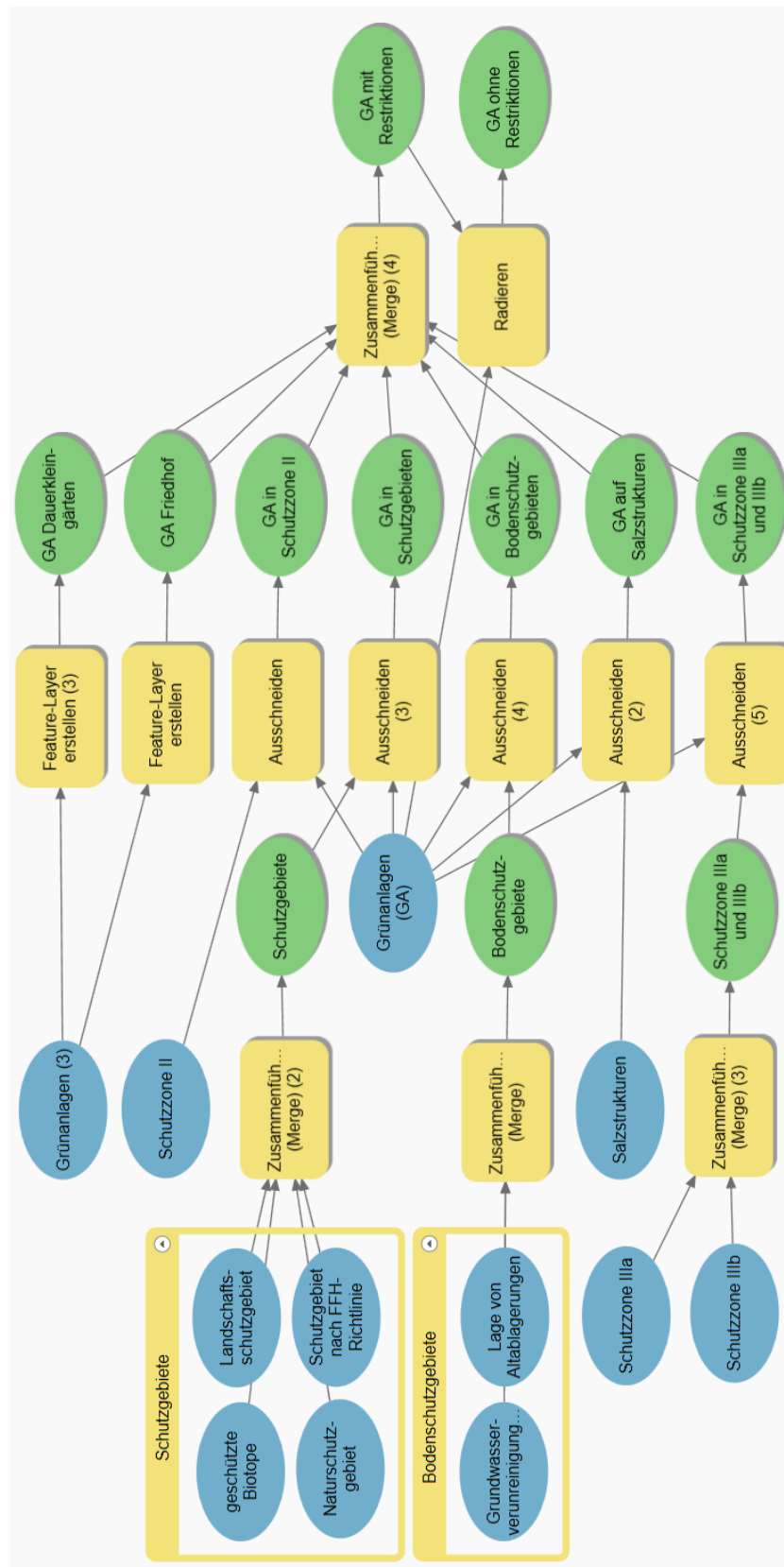


Abbildung 4.3: Geoverarbeitungs-Workflow zur Ermittlung von Grünanlagen auf denen Restriktionen für die Erdwärmenutzung bestehen (Eigene Darstellung)

### 4.3.2. Methodisches Vorgehen der Flächenbewertung

Nach Ermittlung des Flächenpotenzials zur Mehrfachnutzung wurden die Flächen weiter kategorisiert und priorisiert, um die am besten geeigneten Flächen und mögliche Konflikte zu identifizieren. In der Gesamtbetrachtung wurden den Grünanlagen, auf denen keine Restriktionen vermutet wurden, in die vier bioklimatischen Bedeutungskategorien eingeteilt:

- Geringe bioklimatische Bedeutung
- Mittlere bioklimatische Bedeutung
- Hohe bioklimatische Bedeutung
- Sehr hohe bioklimatische Bedeutung

Um die bioklimatische Bedeutung der Flächen darzustellen, wurden alle Grünflächen mithilfe des Tools „Feature-Layer erstellen“ in die vier Bewertungskategorien zerlegt und anschließend mit der ermittelten Fläche frei von Restriktionen verschnitten (siehe Tool „Ausschneiden“). Der Geoverarbeitungs-Workflow ist in Abbildung 4.4 zu sehen.

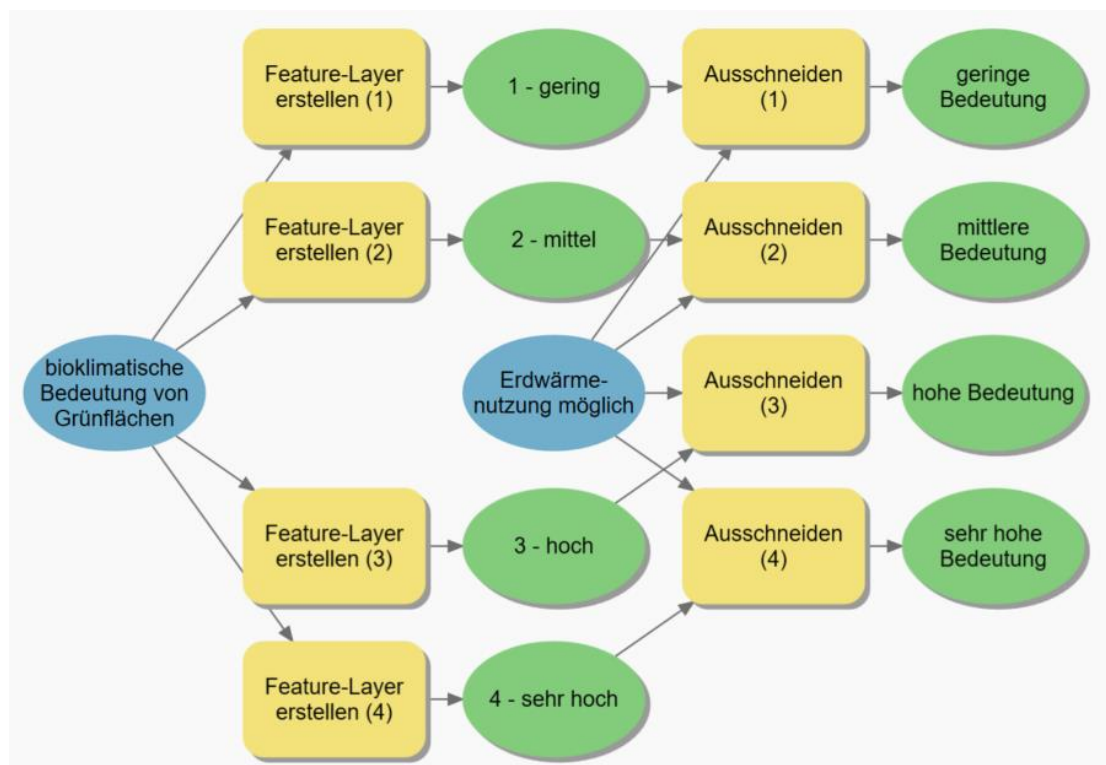


Abbildung 4.4: Geoverarbeitungs-Workflow zur Bewertung der Fläche, auf der Erdwärmee-nutzung uneingeschränkt erlaubt ist, hinsichtlich der bioklimatischen Bedeutung (Eigene Darstellung)

Nachdem die bioklimatische Bedeutung der Grünanlagen ermittelt wurde, wurden im letzten Schritt drei Einzelflächen betrachtet und verglichen. Kriterien der Auswahl waren dabei der Flächentyp und die bioklimatische Bedeutung. Demnach wurden Parkflächen mit und ohne Bäumen und eine Sportanlage ausgewählt. Alle drei Flächen besitzen eine hohe oder sehr hohe bioklimatische Bedeutung. Da sich alle Flächen in dicht besiedelten Gebieten befinden, wurde der Wärmebedarf nicht als Vergleichskriterium herangezogen, da er gemäß der Wärmedichtekarte vergleichbar hoch ist. Um die Fläche noch weiter einzugrenzen und den Mindestabstand zu Baumstandorten einzuhalten, wurden die Baumkronendurchmesser um 3 Meter vergrößert. Datengrundlage stellten hierbei die Baumstandorte dar, die vom Umweltbetrieb Bremen ([UBB](#)) bereitgestellt wurden. Zur weiteren Bewertung wurde untersucht, wie sich eine mögliche Erdwärmenutzung auf die bioklimatische Bedeutung auswirken würde. Außerdem wurden die Standorte mit einem Luftbild aus dem Geoportal Bremen verglichen. Um auf die Bedeutung der Grünfläche für weitere Anpassungsfunktionen schließen zu können, wurden Daten des Auskunfts- und Informationssystem Starkregenvorsorge herangezogen. Verantwortliche Stellen dieses Systems sind dabei das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, das Landesamt GeoInformation Bremen, der Geologische Dienst für Bremen, das Vermessungs- und Katasteramt, Magistrat Bremerhaven und die Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau, Freie Hansestadt Bremen. Mithilfe des Auskunfts- und Informationssystem Starkregenvorsorge wurde die Überflutungsgefahr bei Starkregen ermittelt, um eine Aussage bezüglich einer möglichen Entwässerungsfunktion der Fläche treffen zu können. Im letzten Schritt der Bewertung wurden Überlegungen angestellt, wie eine geothermische Anlage zur Wärmeversorgung des Gebiets beitragen könnte.

## 5. Ergebnisse Potenzialermittlung und Flächenbewertung

### 5.1. Ergebnisse der Potenzialanalyse

Die Ergebnisse der Potenzialanalyse wurden mithilfe der im Kapitel 4.3 abgebildeten Geoverarbeitungs-Workflows erzeugt. Mithilfe der Analyseergebnisse wird dabei eine Antwort auf Teilfrage F3 nach geeigneten Flächen für eine Mehrfachnutzung geliefert. Grundlage der Analyse stellt dabei das Untersuchungsgebiet dar (siehe Abbildung 5.1). Die Landesfläche Bremens besitzt eine Größe von 318,2 km<sup>2</sup>. Die im Flächennutzungsplan als Grünanlagen definierte Fläche ist 41,8 km<sup>2</sup> groß. Die Fläche der Grünanlagen stellt somit einen Anteil von 13,1 % der Gesamtfläche Bremens dar. Dabei beinhaltet sie folgende Nutzungskategorien: Badeplatz, Sportanlage, Parkanlage, Friedhof und Dauerkleingarten.

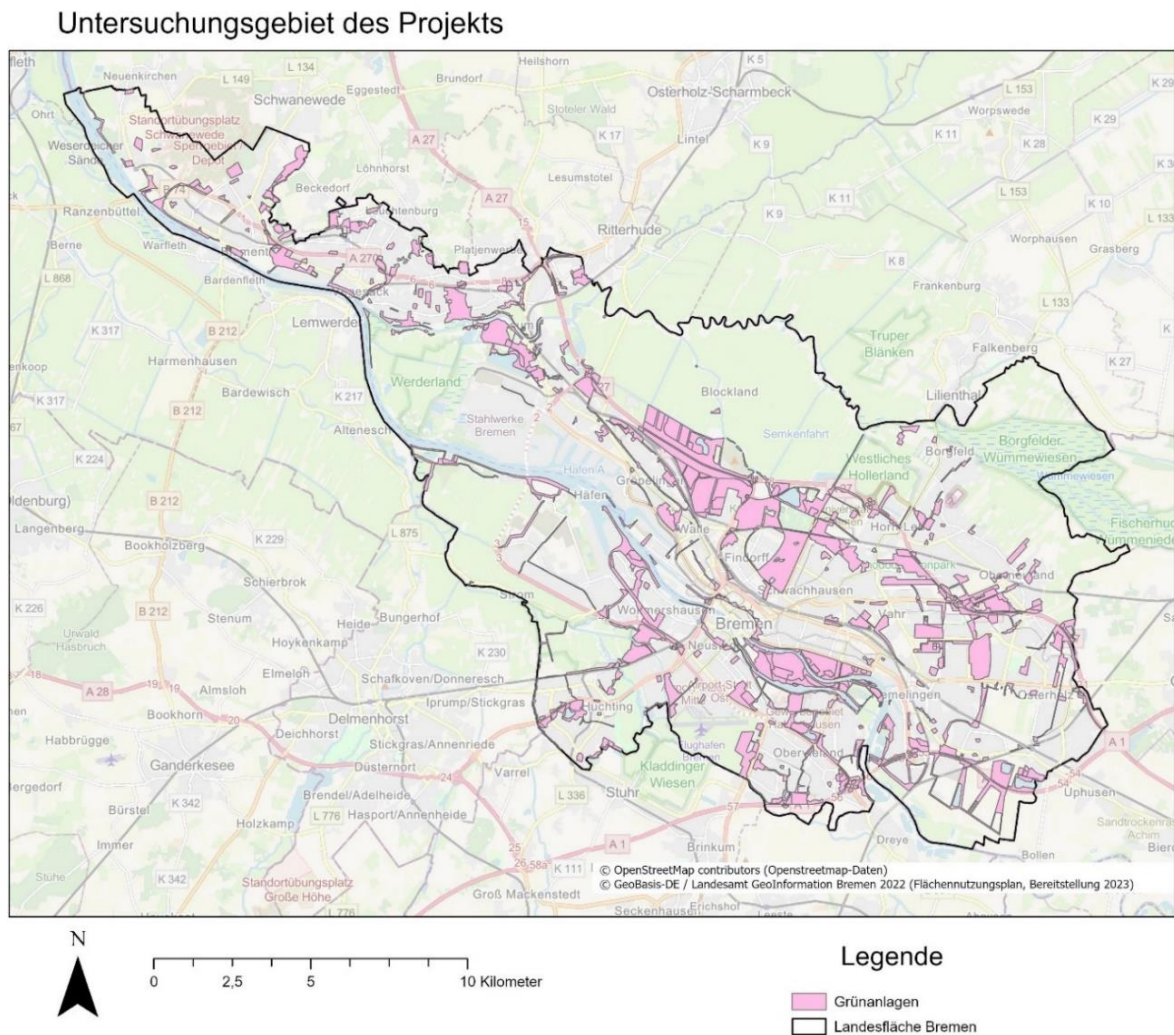


Abbildung 5.1: Karte des Untersuchungsgebiets des Projekts (Eigene Darstellung)

Das Ergebnis der durchgeführten Analyse ist in Abbildung 5.2 zu sehen. Dabei sind die Grünanlagen, auf denen Restriktionen bestehen, grau abgebildet.

### Grünanlagen (GA) mit und ohne Restriktionen für Geothermie

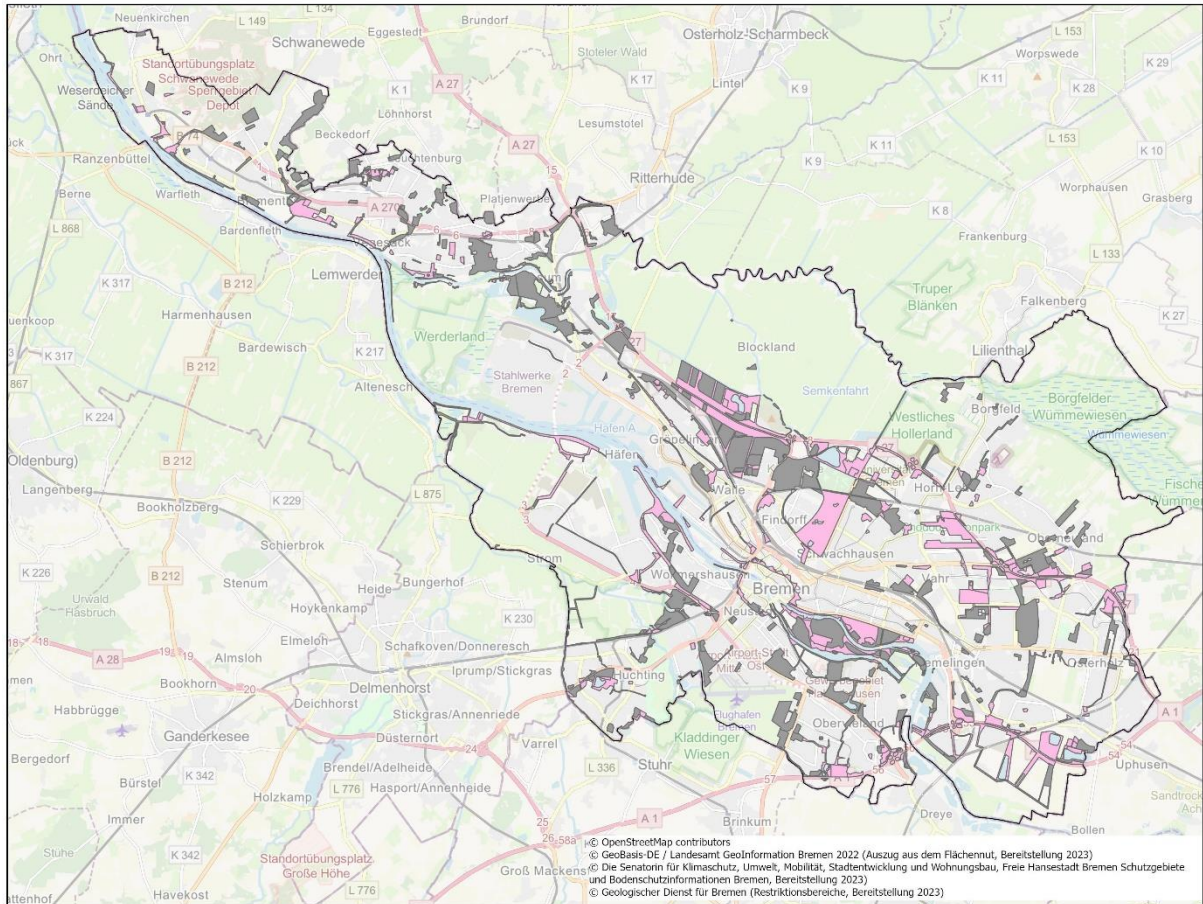


Abbildung 5.2: Karte der Grünanlagen in Bremen mit und ohne Restriktionen für Geothermie (Eigene Darstellung)

Außerdem sind Angaben zur Größe und Flächenanteil der restriktiven Flächen und der Fläche frei von Restriktionen in Tabelle 5.1 dargestellt. Die Fläche der Grünanlagen mit Restriktionen für eine geothermische Nutzung ist 24 km<sup>2</sup> groß und macht einen Flächenanteil von 57,3 % der untersuchten Grünflächen aus.

Tabelle 5.1: Fläche in km<sup>2</sup> und Flächenanteil in % der Grünanlagen bezüglich ihrer Lage in Restriktionsbereichen (Eigene Darstellung)

	<b>Fläche in km<sup>2</sup></b>	<b>Flächenanteil in %</b>
<b>Grünanlagen (GA)</b>	41,79	100
<b>GA ohne Restriktion</b>	17,84	42,7
<b>GA mit Restriktion</b>	23,96	57,3

Um welche Einschränkungen für die Erdwärmenutzung es sich auf den einzelnen Grünanlagen handelt, wird aus der Karte der Zwischenergebnisse ersichtlich (siehe Abbildung 5.3). Das Zwischenergebnis wurde dabei gemäß Geoverarbeitungs-Workflow in Abbildung 4.3 generiert. Um das Ergebnis zu erstellen, wurden die folgenden Daten, die sich im Anhang B befinden, verwendet: Grünanlagen mit der Nutzungskategorie Friedhof (siehe Abbildung B.1), Wasserschutzgebiete (siehe Abbildung B.2), Restriktionsbereiche durch Salzstrukturen (siehe Abbildung B.3), Lage verschiedener Schutzgebiete (siehe Abbildung B.4), Informationen zum Bodenschutz (siehe Abbildung B.5) und Darstellung der Grünanlagen mit Nutzungskategorie Dauerkleingarten (siehe Abbildung B.6).

### Lage der Grünanlagen (GA) bezüglich Restriktionen für Geothermie

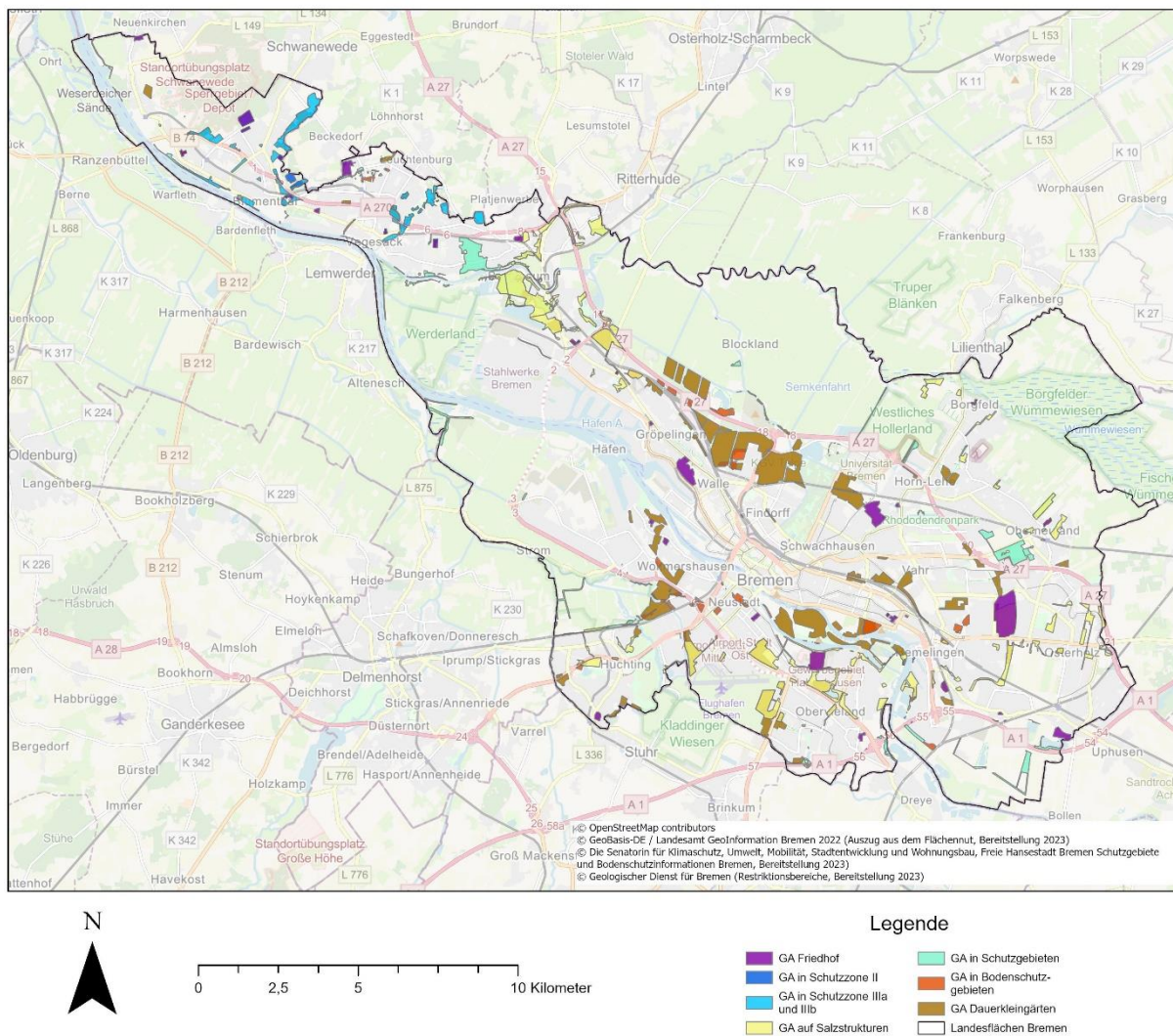


Abbildung 5.3: Lage der Grünanlagen (GA) bezüglich Restriktionen für Geothermie (Eigene Darstellung)

Eine Fläche von 3,13 km<sup>2</sup> liegt in Wasserschutzgebieten. Darunter befindet sich ein Flächenanteil der Grünanlagen von 0,5 % in Schutzzone II und 8,4 % in Schutzgebieten III a und III b (blaue Farbgebung). Die Restriktionsbereiche für Erdwärmenutzung durch Salzstrukturen befinden sich im südlichen, nördlichen und westlichen Bereich von Bremen. Da sie somit eine relativ große Fläche abdecken, haben sie eine deutliche Überschneidung mit Grünanlagen in Bremen und grenzen die mögliche Fläche zur Geothermie weiter ein. Grünanlagen, die in einem solchen Restriktionsbereich liegen, machen eine Fläche von 8,27 km<sup>2</sup> und einen Flächenanteil von 34,5 % aus (gelbe Farbgebung). Die geschützten Biotop, Landschaftsschutzgebiete, Naturschutzgebiete und Schutzgebiete, nach [FFH-Richtlinie](#), befinden sich nicht in dicht besiedelten Gebieten. Oft gibt es Überschneidungen der einzelnen Schutzgebiete. Der Flächenanteil der Grünflächen in Schutzgebieten liegt bei 21,9 % (hellgrüne

Farbgebung). Die Bodenschutzinformationen beschreiben die Lage von Altablagerungen (zur Definition vgl. §2, Abs. 5 Nr. 1 [BBodSchG](#)) im Land Bremen. Dabei ist nur ein Ausschnitt der Altablagerungstatbestände abgebildet. Informationen über das gegebene Schadstoffinventar fehlen. Zudem sind Bereiche, die mit einer Nutzungsbeschränkung aufgrund von Grundwasserverunreinigungen gekennzeichnet wurden, in der Karte markiert. Die Grünflächen, auf denen dies der Fall ist, sind 1,78 km<sup>2</sup> groß (orange Farbgebung). Eine weitere Einschränkung der Nutzung von Erdwärme ist auf Grünanlagen mit der Nutzungskategorie Dauerkleingärten gegeben (braune Farbgebung). Mit einer Fläche von 10,55 % und einem Flächenanteil von 44,1 %, stellen sie dabei einen größeren Anteil dar als die Fläche der Friedhöfe, die nur bei 2,62 km<sup>2</sup> liegt (lila Farbgebung). Da sich einige Restriktionsgebiete überschneiden, liegen auf einer Fläche von 27,7 % mehrfache Einschränkungen vor.

Tabelle 5.2: Fläche in km<sup>2</sup> und Flächenanteil in % der Grünanlagen (GA) abhängig von ihrer Lage bezüglich Restriktionen für Geothermie (Eigene Darstellung)

	<b>Fläche in km<sup>2</sup></b>	<b>Flächenanteil in %</b>
<b>GA mit Restriktion</b>	23,96	100
<b>GA Friedhof</b>	2,62	10,9
<b>GA in Schutzzone II</b>	0,11	0,5
<b>GA in Schutzzone III a und III b</b>	2,02	8,4
<b>GA über Salzstrukturen</b>	8,27	34,5
<b>GA in Schutzgebieten</b>	5,25	21,9
<b>GA in Bodenschutzgebieten</b>	1,78	7,4
<b>GA Dauerkleingärten</b>	10,55	44,1
<b>GA mit mehrfachen Restriktionen</b>	6,64	27,7



## 5.2. Ergebnisse der Flächenbewertung und Einzelbetrachtung

Nach der Potenzialanalyse folgt die Flächenbewertung und Einzelbetrachtung. In diesem Teil und der anschließenden Diskussion wird unter anderem die Forschungsfrage F4 „Welche möglichen Konflikte bestehen bei einer Erdwärmenutzung auf öffentlichen Grünanlagen?“ beantwortet.

Die ermittelten Grünanlagen, auf denen keine Restriktionen für die Erdwärmenutzung bestehen, wurden gemäß ihrer bioklimatischen Bedeutung eingefärbt. Die Karte des gesamten Untersuchungsgebiets ist in Abbildung 5.4 dargestellt.

Bioklimatische Bewertung der Grünanlagen, auf denen Erdwärmenutzung möglich ist

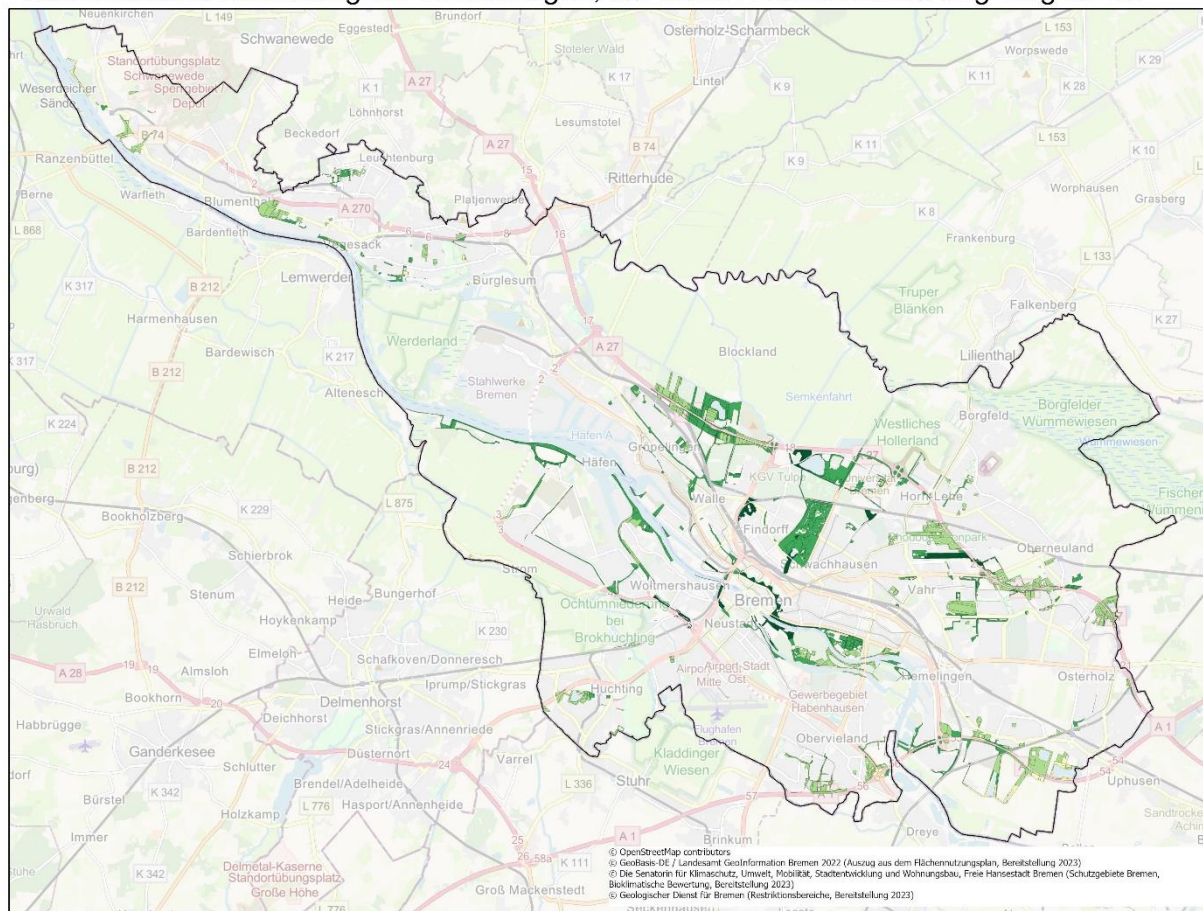


Abbildung 5.4: Karte über die bioklimatische Bewertung der Grünanlagen im gesamten Untersuchungsgebiet, auf denen Erdwärmenutzung möglich ist (Eigene Darstellung)

Flächengröße und Anteil an bewerteter Fläche der jeweiligen Kategorien sind in Tabelle 5.3 aufgelistet. Flächen mit hoher und mittlerer bioklimatischer Bedeutung machen dabei mit 75,1 % den größten Anteil der bewerteten Fläche aus. Grünanlagen mit einer Gesamtfläche von 2,6 km<sup>2</sup> wurden nicht nach ihrer bioklimatischen Bedeutung bewertet. Mit einer Gesamtfläche von 8,2 km<sup>2</sup> machen Grünanlagen mit einer sehr hohen oder hohen bioklimatischen Bedeutung 19,6 % der Fläche aller Grünanlagen im Untersuchungsgebiet aus.

Tabelle 5.3: Flächengröße in km<sup>2</sup> und Anteil an bewerteter Fläche in % der Flächen mit unterschiedlicher bioklimatischer Bewertung (sehr hoch, hoch, mittel, gering und keine Bewertung) (Eigene Darstellung)

<b>Bioklimatische Bedeutung</b>	<b>Größe der Fläche in km<sup>2</sup></b>	<b>Anteil an bewerteter Fläche in %</b>
<b>sehr hoch</b>	1,2	6,7
<b>hoch</b>	7,0	39,3
<b>mittel</b>	6,4	35,6
<b>gering</b>	0,7	3,7
<b>keine Bewertung</b>	2,6	14,6

Auf dem Ausschnitt der Gesamtbetrachtung in Abbildung 5.5 sind drei Einzelflächen markiert. Bei der detaillierten Betrachtung wurden die Grünanlagen Nelson-Mandela-Park, die Sportanlage Grundschule am Baumschulweg und der Hilde-Adolf-Park untersucht.

Lage der untersuchten Einzelflächen und ihre bioklimatische Bedeutung

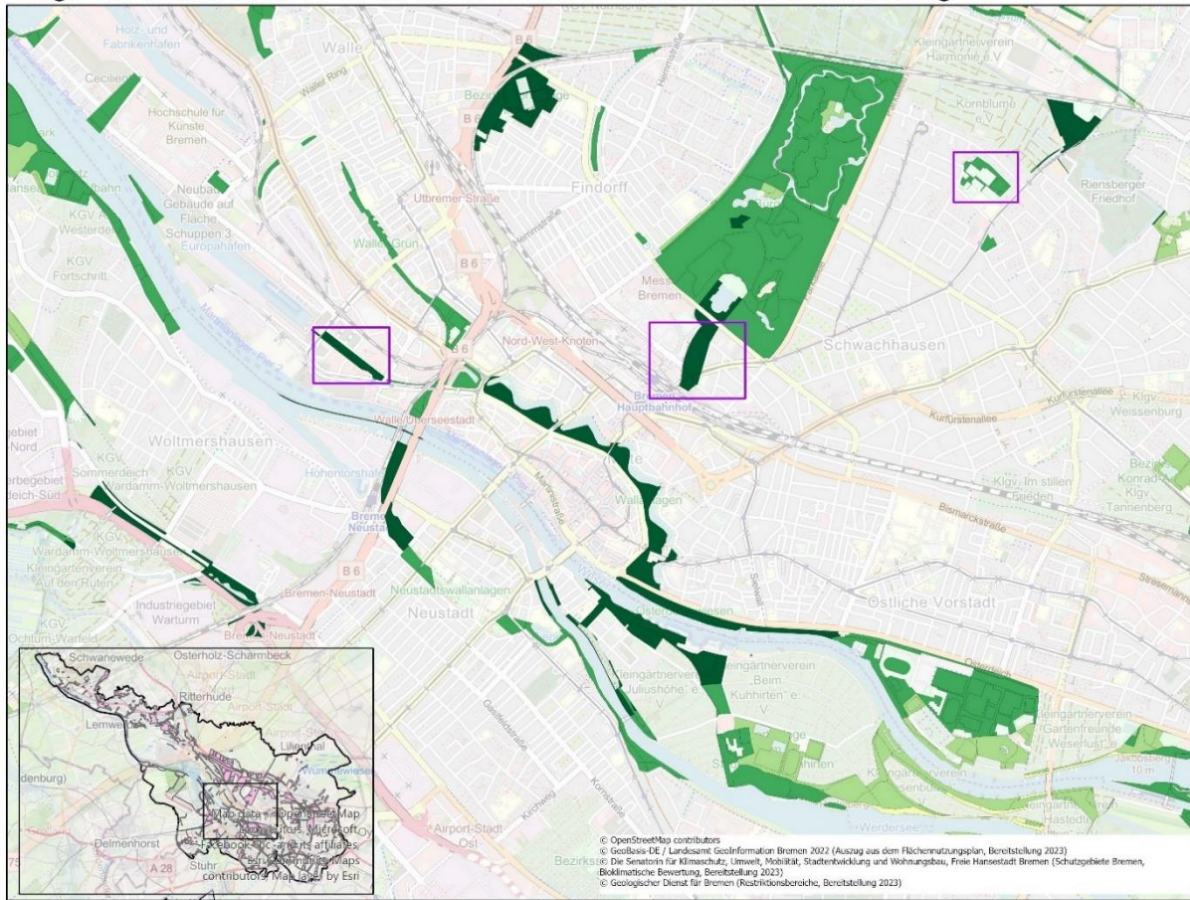


Abbildung 5.5: Karte über die bioklimatische Bewertung der Grünanlagen, auf denen Erdwärmennutzung möglich ist (Eigene Darstellung)

Die Detailansicht des Nelson-Mandela-Parks befindet sich in Abbildung 5.6. Der Park liegt im Stadtteil Schwachhausen und hat eine Fläche von 5.065 m<sup>2</sup>. Die dunkelgrüne Färbung zeigt die sehr hohe bioklimatische Bedeutung der Anlage. Gemäß der Planungshinweiskarte der Klimaanalyse liegt diese hohe Bedeutung an der Lage in einem klimatisch belasteten Stadtteil, aber auch daran, dass sich der Park in einer Kaltluftschneise befindet (siehe Abbildung A.1). Außerdem sind die Baumstandorte abgebildet. Die Größe der Kreise entsprechen dabei dem Kronendurchmesser mit einem Puffer von 3 m. Wie auf der Karte zu sehen, sind die Bäume vor allem am Rand des Parks angeordnet und lassen mittig und im nördlichen Teil Platz für eine geothermische Anlage.

### Detailansicht des Nelson Mandela Parks

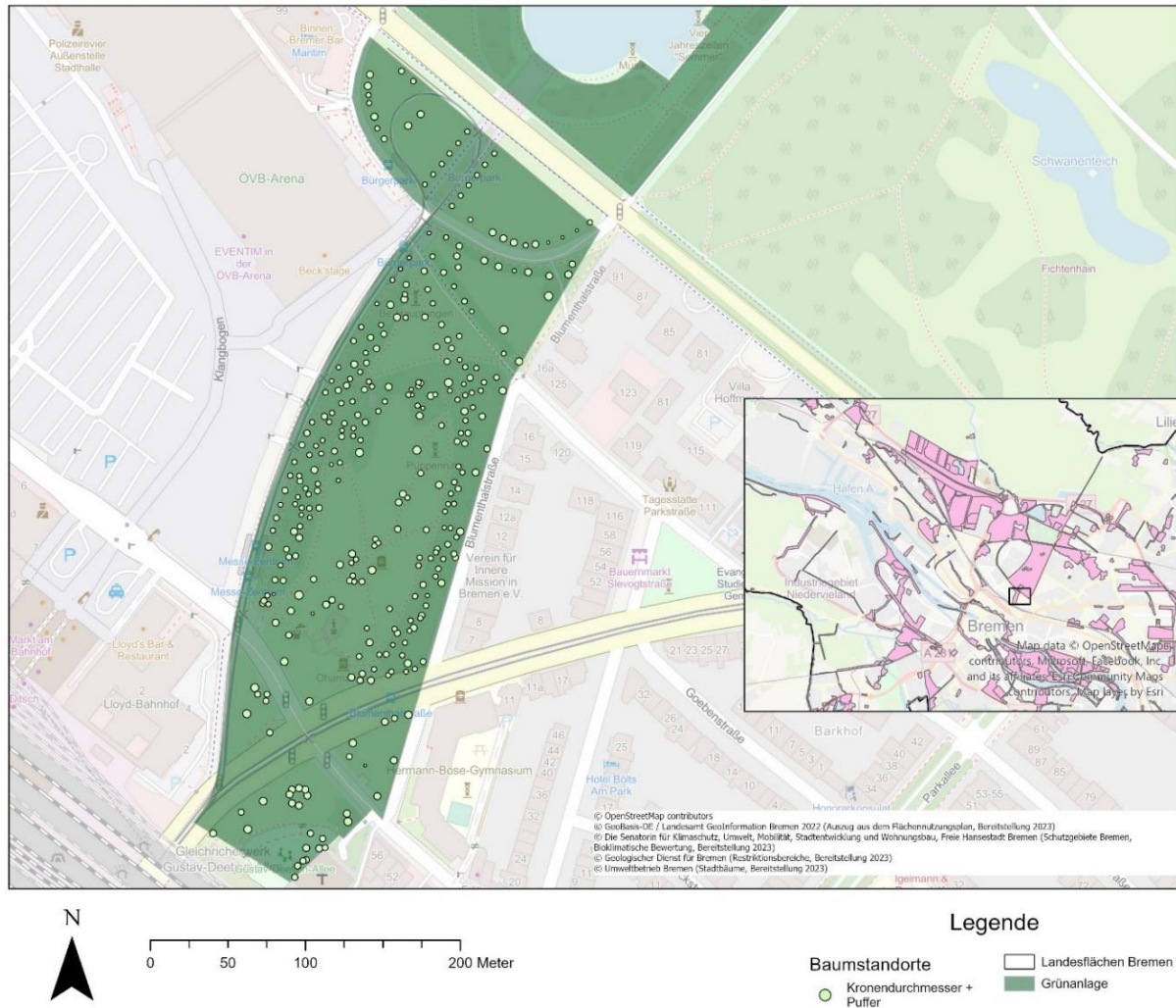


Abbildung 5.6: Karte der Detailansicht des Nelson-Mandela-Parks mit Baumstandorten (Eigene Darstellung)

Vergleicht man die Karte aus Abbildung 5.6 mit dem Luftbild aus dem GeoPortal Bremen von 2021, können die Lage der Grünfläche und die Position der Bäume bestätigt werden. Betrachtet man den entsprechenden Auszug aus dem Auskunft- und Informationssystem Starkregenvorsorge, fällt auf, dass es im südlichen und nördlichen Teil des Parks zu Überflutungen aufgrund von Starkregenereignissen kommen kann. Der Karte zur Fernwärmeplanung im Anhang A ist zu entnehmen, dass die Ausbauplanung noch nicht abgeschlossen ist (siehe Abbildung A.3).



### Detailansicht der Sportanlage Grundschule am Baumschulenweg

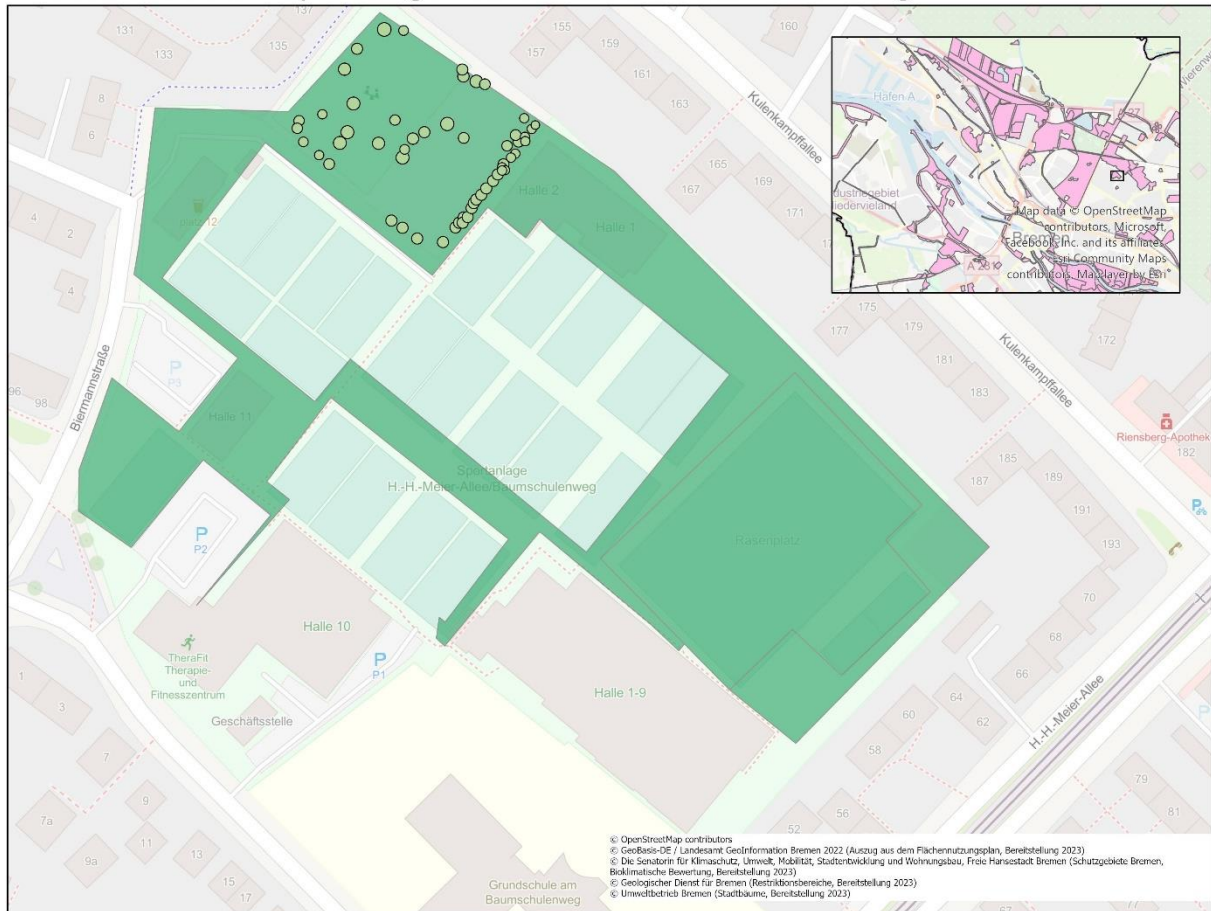


Abbildung 5.8: Karte der Detailansicht der Sportanlage Grundschule am Baumschulenweg mit Baumstandorten (Eigene Darstellung)

Vergleicht man die Karte aus Abbildung 5.8 mit dem Luftbild aus Abbildung 5.9, fällt auf, dass einige Baumstandorte in der Karte nicht abgebildet werden. Im Auszug des Auskunft- und Informationssystem Starkregen ist die untersuchte Fläche teilweise blau eingefärbt. Somit liegt auf der Grünanlage eine mittlere Überflutungsfahr bei Starkregenereignissen vor (siehe Abbildung 5.9). Außerdem ist der Ausbau des Fernwärmenetzes in diesem Stadtgebiet nicht geplant (siehe Abbildung A.3).



Abbildung 5.9: Auszüge aus dem Geoportal Bremen und dem Auskunft- und Informationssystem Starkregenvorsorge für die Position der Sportanlage Grundschule am Baumschulenweg (Stand 2021) (Landesamt Geoinformationen Bremen 2023; SKUMS 2021)

Als dritte Fläche wurde der Hilde-Adolf-Park gewählt. Er befindet sich in der Überseestadt und besitzt eine längliche Form. Außerdem ist die bioklimatische Bedeutung der Anlage sehr hoch. Diese hohe bioklimatische Bedeutung ist der Lage in einem stark klimatisch belasteten Gebiet geschuldet. Die Grünanlage befindet sich jedoch nicht in einer Kaltluftschneise, wie der Planhinweiskarte aus Anhang A zu entnehmen ist (siehe Abbildung A.1)

In der Karte in Abbildung 5.10 sind keine Baumstandorte vermerkt. Dies stimmt jedoch nicht mit den Baumstandorten im Luftbild des Geoportals in Abbildung 5.11 überein. Die Baumstandorte im Luftbild beschränken sich auf die Ränder des Parks und lassen die mittlere Fläche frei für eine mögliche Erdwärmenutzung. Der Auszug aus Auskunft- und Informationssystem Starkregenvorsorge zeigt keine blaue Färbung des Parks. Daher kann eine Überflutungsgefahr bei Starkregenereignissen ausgeschlossen werden. Außerdem ist, wie in der Karte in Abbildung A.3 ersichtlich, kein Fernwärmeanschluss vorgesehen.

Detailansicht des Hilde-Adolf-Parks

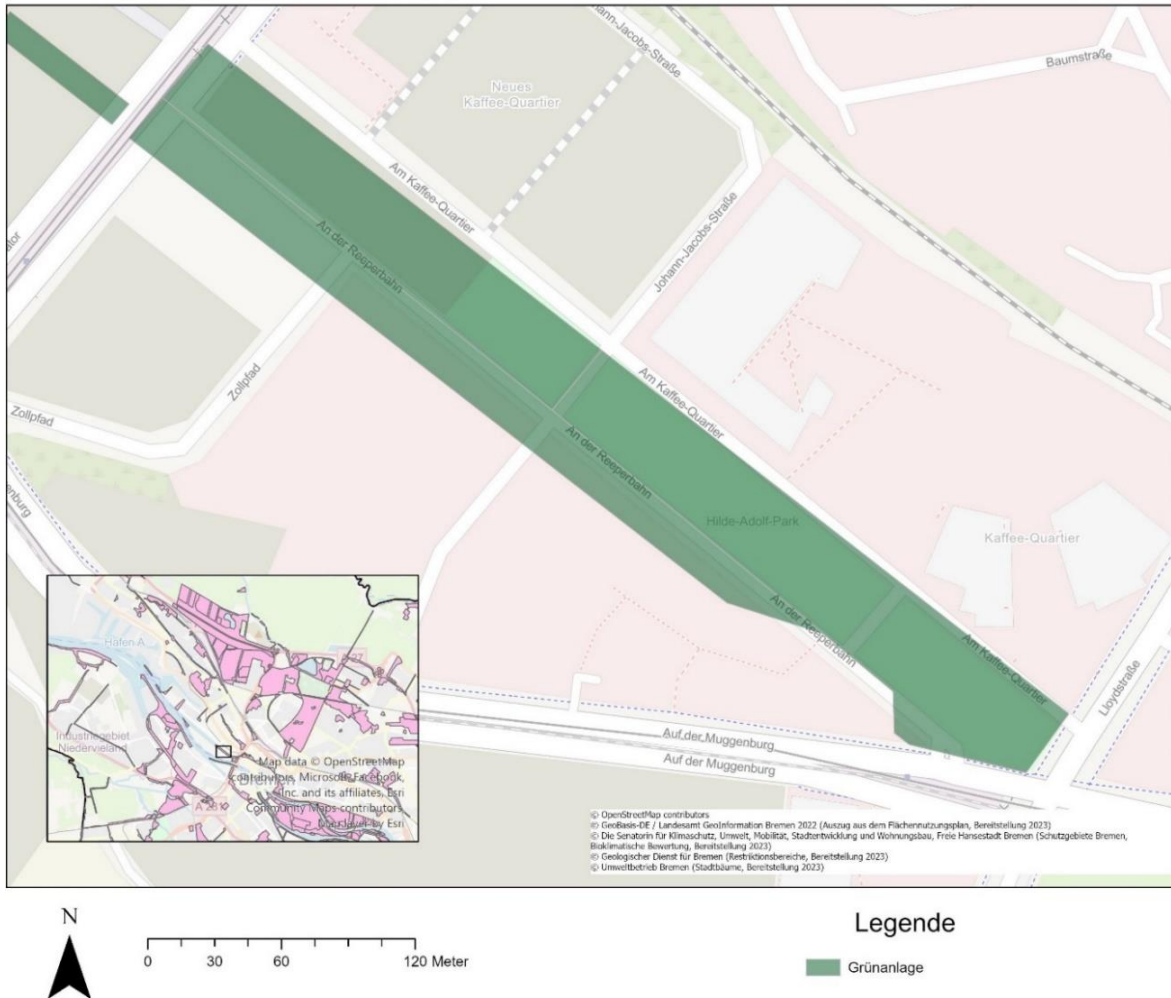


Abbildung 5.10: Karte der Detailansicht des Hilde-Adolf-Parks (Eigene Darstellung)



Abbildung 5.11: Auszüge aus dem Geoportal Bremen und dem Auskunft- und Informationssystem Starkregenvorsorge für die Position des Hilde-Adolf-Parks (Stand 2021) (Landesamt Geoinformationen Bremen 2023; SKUMS 2021)



## 6. Diskussion der Potenzialermittlung und Bewertung

### 6.1. Bewertung und Interpretation der Analyseergebnisse

Ziel dieser Arbeit war es zu ermitteln, welche öffentlichen Grünanlagen in Bremen potenziell zur Erdwärmenutzung geeignet sind. Dabei sollte genauer auf mögliche Konflikte zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung eingegangen werden. Um die Forschungsfragen zu beantworten, wurde eine [GIS](#)-basierte Potenzialanalyse mit anschließender Flächenbewertung durchgeführt. Es wurden Grünanlagen identifiziert, auf denen Restriktionen für eine Erdwärmenutzung bestehen. Alle übriggebliebenen Grünanlagen wurden hinsichtlich ihrer bioklimatischen Bedeutung bewertet. Dabei wurden drei Einzelflächen im Detail betrachtet und hinsichtlich der Baumstandorte, Überflutungsgefahr durch Starkregen und Fernwärmeanschluss untersucht.

Dabei ist zu beachten, dass die Ergebnisse mithilfe des Programms ArcGIS pro erstellt wurden. Beim Umgang mit digitalen Daten kann es zu einer unkritischen Haltung gegenüber den Ergebnissen kommen. Um dies zu vermeiden, wird überprüft, ob die verwendeten Daten aktuell sind und für das gesamte Untersuchungsgebiet vorliegen. Um mögliche Fehler der Ergebnisse zu identifizieren, werden der Abgleich mit aktuellen Fotos oder Vorortbegehungen empfohlen. Die verwendeten Daten unterscheiden sich in datenhaltender Institution, Erfassungsdatum und Datum der letzten Änderung. Ein Großteil der Daten wurde von der Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau ([SKUMS](#)) gestellt. Da die letzte Änderung aller Daten nicht mehr als zwei Jahre zurückliegt, kann davon ausgegangen werden, dass auch die entstandenen Ergebnisse aktuell sind. Jedoch ist nicht definiert, inwiefern die Daten am Datum der letzten Änderung überarbeitet oder nur ergänzt wurden. Die Bedingung, dass alle Datensätze über das gesamte Untersuchungsgebiet vorliegen, kann von den meisten Datensätzen erfüllt werden. Es wurden nur Straßenbäumen betrachtet die vom Umweltbetrieb Bremen unterhalten werden. Zu anderen Baumstandorten liegen keine Daten vor. Außerdem sind die Informationen zu Altablagerungsbeständen vereinfacht dargestellt und müssten bei einer weiteren Analyse ergänzt werden.

Basis der Analyse stellt der Flächennutzungsplan dar, der vom Forschungsprojekt [WWNW](#) bereitgestellt wurde. Dieser markiert die vorgesehene Nutzung der Flächen, zeigt aber nicht präzise, bei welchen Flächen es sich um tatsächliche Grünflächen handelt. Dies wird deutlich, wenn man die als Grünanlagen eingefärbten Flächen mit der darunterliegenden Basiskarte vergleicht. Straßenflächen oder Gebäudeflächen werden dementsprechend auch als Grünanlage markiert und fließen somit in die Flächenberechnung ein. Daher spiegeln die Flächengrößen nicht die tatsächliche Grünfläche, sondern die Angaben des Flächennutzungsplans wieder. Außerdem kann es sich bei Flächen, die als

Grünanlagen im Flächennutzungsplan definiert sind, teilweise auch um private Flurstücke handeln. Daher ist ein Abgleich mit Informationen zu öffentlichen Flurstücken, die im Geoportal Bremen zu finden sind, notwendig. Bei der Darstellung des Untersuchungsgebiets wurde eine Fläche von 13,1 % der Gesamtfläche Bremens als Grünanlagen identifiziert. Dieser Wert beschreibt jedoch die Flächen, welche im Flächennutzungsplan als Grünanlage definiert sind, und stellt damit nur einen kleinen Anteil der Grünfläche dar, der in Bremen bei ca. 70 % liegt (Willen 2020).

Die restriktiven Anforderungen an eine Mehrfachnutzung, welche im Anforderungskatalog erarbeitet wurden, definieren die Flächen, auf denen Restriktionen für eine Erdwärmennutzung bestehen. Gründe, warum die geothermische Nutzung auf der Fläche eingeschränkt möglich ist, variieren je nach Lage der Grünanlage.

Auf Grünanlagen mit der Nutzungskategorie „Friedhof“ ist eine Erdwärmennutzung nur bedingt möglich, da auf Grabstätten keine Bohrung möglich ist. Es könnte auf diesen Grünanlagen weiter untersucht werden, ob es Freiflächen innerhalb der Friedhofsanlage gibt, auf denen sich keine Gräber befinden. Dennoch würden das Verlegen eines Wärmenetzes und die Verbindung zwischen den einzelnen Sonden schwierig sein. Die Grünanlagen der Friedhöfe können demnach bei einer weiteren Untersuchung außer Acht gelassen werden, da sie außerdem mit einem Flächenanteil von 10,9 % aller Grünanlagen mit Restriktionen nur einen geringen Teil ausmachen.

Grünanlagen, die in Wasserschutzgebieten liegen, sind aus Gründen der Grundwassergefährdung für eine Erdwärmennutzung wenig geeignet. Dabei liegt die Gefahr bei einem möglichen Eintrag von wassergefährdenden Substanzen aus Frostschutzmitteln, welches dem Wärmeübertragungsmedium beigemischt ist, oder Temperaturveränderungen. Im Nahbereich der Trinkwassererfassung, welcher durch die Schutzzonen I und II gekennzeichnet ist, wird keine Erlaubnis für eine geothermische Anlage erteilt (Panteleit et al. 2022; Eisele et al. 2018). Dementsprechend können Grünanlagen in Schutzzonen II (0,5 % Flächenanteil) als möglicher Anlagenstandort ausgeschlossen werden. In der 2,02 km<sup>2</sup> großen Fläche von [GA](#) in Schutzzonen III a und III b gilt ein Mindestabstand von 2 km von der Trinkwassererfassung, eine beschränkte Bohrtiefe sowie die Beschränkung eines Wärmeübertragungsmediums aus Wasser oder Stoffen aus der LAWA-Liste (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser). Genauere Restriktionen müssen mittels einer wasserrechtlichen Prüfung ermittelt werden.

Grünanlagen, die sich auf Salzstrukturen nahe der Geländeoberfläche befinden, und Grünanlagen, bei denen ein Verdacht von Altlastvorkommen vorliegt, machen einen Flächenanteil von 41,9 % aus. Diese Faktoren beschränken das Bohrvorhaben bezüglich Genehmigung und Bohrtiefe. Sollte dennoch eine

geothermische Anlage auf den ermittelten Flächen geplant sein, bedarf es einer Sonderprüfung. Dies gilt auch bei Verdacht auf Kampfmittel im Untergrund (Panteleit et al. 2022; Eisele et al. 2018).

In Schutzgebieten kann die Sondenbohrung für eine mögliche Störung von geschützten Tier-, Landschafts- und Pflanzenarten sorgen. Dies gilt für einen Flächenanteil von 21,9 % aller [GA](#) mit Restriktionen. Die Restriktionen bestehen demnach auf Grünanlagen in einem Schutzgebiet eher bei der Installation als beim Betrieb einer Anlage. Dies muss jedoch in einer Einzelprüfung spezifiziert werden. Zudem liegen die meisten Schutzgebiete nicht in dicht besiedelten Gebieten, was eine geothermische Nutzung auch aus Gründen des fehlenden Wärmebedarfs unattraktiv macht.

Fast die Hälfte der Grünanlagen mit Restriktionen besitzt die Nutzungskategorie „Dauerkleingarten“. Auf diesen Flächen kann es zu möglichen rechtlichen Einschränkungen aufgrund von Pachtverhältnissen kommen. Da diese Flächen mit 44,1 % fast die Hälfte der Fläche von Grünanlagen mit Restriktionen ausmachen, sollte hier genauer untersucht werden, inwiefern der Interessenkonflikt zwischen gärtnerischem und geothermische Nutzen besteht. Generell schließen sich eine solche Mehrfachnutzung nicht aus. Jedoch ist der Aufwand einer Anlagenplanung und Umsetzung größer, da Pachtverträge bestehen, die gegebenenfalls nicht ohne triftigen Grund aufgelöst werden können.

In der Visualisierung der Ergebnisse wurden alle Restriktionen ohne Wertung in einer Fläche zusammengefasst, obwohl das tatsächliche Ausmaß der Einschränkung je nach Standort variiert. Im Falle einer konkreten Anlagenplanung muss auf allen Flächen eine rechtliche und technische Prüfung durchgeführt werden. Außerdem bezieht sich die Kategorisierung nur auf die technische Ausführung der Geothermie von Erdwärmesonden. Einige Grünanlagen, die nicht für eine Erdwärmenutzung infrage kommen, aber dennoch als solche angezeigt werden, wurden von den angesetzten Anforderungen nicht erfasst. Ein Beispiel hierfür ist ein Grünstreifen in der Weser, welcher auf der Karte zur Flächenbewertung zu sehen ist und aufgrund ihrer Lage und Größe nicht in Frage kommt (siehe Abbildung 5.5). Ein weiteres Beispiel sind Grünanlagen wie der Rhododendron Park und der davon südlich gelegene Golfplatz. Beide Flächen werden in Abbildung 5.5 als geeignete Grünanlagen markiert. Bei einem Vergleich mit Informationen zu öffentlichen Flurstücken aus dem Geoportal Bremen wird jedoch deutlich, dass es sich nicht um öffentliche Flächen handelt. Daher kommen die Grünanlagen nicht für eine öffentliche geothermische Anlage infrage, können jedoch für eine private Erdwärmenutzung von Bedeutung sein. Dies verdeutlicht, dass alle Grünanlagen weiter auf ihre Eignung geprüft werden müssen.

## 6.2. Diskussion der Flächenbewertung und Einzelflächenbetrachtung

Die klimatische Bewertung der Grünanlagen basiert auf der Frei- und Grünflächenanalyse von [SKUMS](#) aus dem Jahr 2013. Flächen mit einer hohen und sehr hohen bioklimatischen Bedeutung liegen in klimatisch stark belasteten Stadtbereichen und/oder in einer Kaltluftschneise. Die Erfassung der Daten liegt ca. zehn Jahre zurück, während die letzte Aktualisierung am 05.03.2021 stattfand. Eine Teilfläche von 2,6 km<sup>2</sup> (14,6 %) von Grünanlagen wurde nicht in der Grünflächenbewertung erfasst. Dies liegt daran, dass die Kennzeichnung von öffentlichen Grünanlagen im Flächennutzungsplan nicht genau gleich der Flächen ist, die in der Grünflächenbewertung untersucht wurden. Der Verschnitt stellt dementsprechend die nicht bewertete Fläche dar. Flächen mit hoher und sehr hoher bioklimatische Bedeutung stellen einen Anteil der bewerteten Fläche von 46 % dar. Dabei wird einerseits gefordert, auf diesen Anlagen den Baumbestand zu optimieren, um mit mehr Verschattung und Verdunstung für eine Abkühlung zu sorgen. Andererseits wird darauf verwiesen, dass die Kaltluftzufuhr nicht gestört werden soll, wenn sich die Fläche in einer Kaltluftschneise befindet (siehe Tabelle 3.1). Daraus ergibt sich das Klimaanpassungsziel einer lockeren Bepflanzung (Etiling und Groß 2013). Dies wäre zwar kompatibel mit einer geothermischen Anlage, doch könnte nicht das volle Potenzial der Erdwärme genutzt werden, da die Anlage kleiner dimensioniert werden müsste. Außerdem sollten Flächen mit hoher und sehr hoher bioklimatischer Bedeutung bestehen bleiben. Die Installation einer geothermischen Anlage würde eine Bebauung verhindern und somit verstärkt dafür sorgen, dass die Grünanlage nicht versiegelt wird.

Die Entwicklung der Bewertungskriterien für Einzelflächen geschah mit dem Ziel, mögliche Konflikte genauer zu untersuchen. Dabei stehen Kriterien wie Wärmeabnehmer einer zukünftigen Anlage im Hintergrund. Die Bewertungsgrundlagen waren: Informationen zu Baumstandorten des Umweltbetriebs Bremen, das Luftbild aus dem Geoportal Bremen von 2021, die Überflutungskarte aus dem Auskunft- und Informationssystem Starkregen von 2021 und die Karte zum Fernwärmeausbau von [SKUMS](#). Anhand der drei ausgewählten Flächen soll ein mögliches weiteres Vorgehen einer konkreten Planung aufgezeigt werden.

Die detaillierte Betrachtung des Nelson-Mandela-Parks ergibt eine hohe Überflutungsgefahr durch Starkregen im Norden und Süden des Parks. Obwohl die Fläche selbst nicht von einer Überflutungsgefahr betroffen ist, wird die Bedeutung der Fläche für die Stadtentwässerung als hoch eingestuft. Das Regenwasser könnte zur Speicherung oder zum Versickern auf den Park geleitet werden. Dies stellt einen möglichen Konflikt zur Erdwärmenutzung auf dieser Grünanlage dar. Da es sich beim Park um eine Fläche von 5.065 m<sup>2</sup> handelt, würden Versickerungselemente vermutlich nur

einen kleinen Teil des Parks einnehmen. Der Park befindet sich in einer Kaltluftschneise, somit ist davon auszugehen, dass keine neuen Bäume gepflanzt werden. Die Hinweise zu Maßnahmen aus Tabelle 3.1 geben dabei vor, eine dichte Bepflanzung zu vermeiden (Etiling und Groß 2013). Dementsprechend ist damit zu rechnen, dass die freien Rasenflächen bestehen bleiben. Diese Fläche bietet Platz für ein Sondenfeld. Dem Ausbauplan für Fernwärme in Anhang A ist zu entnehmen, dass die Ausbauplanung noch nicht abgeschlossen ist. Dies bietet die Möglichkeit, eine geothermische Anlage im Nelson-Mandela-Park mit in die Wärmeplanung einzubeziehen. Die Anlage könnte dabei mittels einer Großwärmepumpe das geplante Wärmenetz speisen und somit bei der Versorgung des Stadtteils mit Wärme im Winter und Kälte im Sommer unterstützen.

In einer zweiten Untersuchung wurde die Sportanlage der Grundschule am Baumschulenweg betrachtet. Trotz ihrer hohen bioklimatischen Bedeutung und Position außerhalb einer Kaltluftschneise, wird eine Planung neuer Baumstandorte ausgeschlossen, da dies der Nutzung als Sportanlage widerspricht. Demnach entsteht auf dieser Fläche kein Zielkonflikt einer Bepflanzung. Beim Vergleich der Karte mit dem Luftbild fallen fehlende Baumstandorte auf. Grund dafür ist vermutlich, dass die Informationen zu Baumstandorten nur über Bäume vorliegen, die vom Umweltbetrieb Bremen unterhalten werden. Auf der Anlage besteht eine mittlere Überflutungsgefahr (SKUMS 2021). Daher könnte weiter untersucht werden ob sich die Fläche zur Versickerung oder Zwischenspeicherung eignet. Da es sich um eine Sportanlage handelt und Oberflächenstrukturen bestehen bleiben sollen, sind dabei Versickerungselemente wie Sickermulden oder Rigolen eher ungeeignet. Elemente wie versickerungsfähiger Bodenbelag oder die Installation eines Regenrückhaltebeckens würde keine Flächenkonkurrenz zu einer geothermischen Anlage darstellen. Die Ergebnisse zeigen also, dass auf dieser Fläche weder ein Zielkonflikt mit Abkühlung, noch mit Entwässerung besteht. Da es sich um eine Sportanlage handelt, liegt auf Teilen der Fläche ein geschlossener Bodenbelag vor. Auf versiegelten Flächen wäre der Bauaufwand einer Sonde höher als bei einer Freifläche. Der Belag müsste für eine Bohrung entfernt und neu angelegt werden. Daher stellt der Rasenplatz die am besten geeignete Stelle für die Erdwärmennutzung dar. Beim südlich angrenzenden Gebäude handelt es sich um die Grundschule am Baumschulenweg. Damit kommen öffentliche Gebäude als Wärmeabnehmer für diesen Standort infrage. Eine geothermische Anlage könnte dementsprechend auch für einen öffentlichen Betrieb interessant sein und dabei der Grundschule Wärme und Kälte liefern. Je nach Dimensionierung der Anlage könnte sie außerdem mittels eines Nahwärmenetzes auch umliegende Haushalte versorgen.

Als dritte Fläche wurde der Hilde-Adolf-Park untersucht. Obwohl keine Baumstandorte in der Karte verzeichnet sind, werden Bäume im Luftbild gezeigt. Dies liegt vermutlich an der Unvollständigkeit des

Datensatzes zu Baumstandorten. Der Park befindet sich in einem Neubaugebiet und ist umgeben von Bürogebäuden. Die sehr hohe bioklimatische Bedeutung ist nicht aufgrund der Lage in einer Kaltluftschneise, sondern der Position in einer klimatisch stark belasteten Umgebung gegeben (siehe Abbildung A.1). Den Hinweisen zu Maßnahmen aus Tabelle 3.1 ist in einem solchen Fall zu entnehmen, dass der Baumbestand optimiert werden sollte. Dabei sollte es sich um einen lockeren Baumbestand mit durchströmbarem Stammraum handeln (Etiling und Groß 2013). Es ist zu klären, ob es sich bei der Bepflanzung schon um einen optimalen Baumbestand handelt oder ob dieser noch weiter verdichtet werden kann. Weitere Baumstandorte würden die geeignete Fläche für Erdwärmesonden allerdings weiter einschränken. Dies hätte Auswirkungen auf die Dimensionierung der Anlage und würde somit einen Zielkonflikt zwischen maximaler Abkühlung durch Bäume und maximaler Leistung der Anlage darstellen. Eine geothermische Anlage auf dem Hilde-Adolf-Park könnte die umliegenden Bürogebäude im Winter heizen und im Sommer kühlen und in die Wärmeplanung des Quartiers einfließen. Da kein Fernwärmenetz vorgesehen ist, würde sich ein Nahwärmenetz eignen. Ein weiterer Vorteil des Gebietes ist, dass es sich bei den umliegenden Gebäuden um Bürogebäude handelt. Das Wärmenetz hätte somit weniger und dafür größere Wärmeabnehmer, als in einem Wohngebiet. Bei einem kalten Nahwärmenetz würde sich auch die Anzahl der Hausanschlüsse und Wärmepumpen reduzieren.

Durch die Einzelbetrachtung der Flächen ist deutlich geworden, dass es Zielkonflikte zwischen Erdwärmennutzung und Anpassungsfunktionen der Grünfläche geben kann. Genauer handelt es sich dabei um die Funktionen der Abkühlung und Entwässerung von Bremen. Die Forschungsfrage konnte mithilfe der Ergebnisse beantwortet werden. Die erste und zweite Teilfrage nach Anforderungen einer Mehrfachnutzung konnte mithilfe der Literaturanalyse und Austausch mit Einzelpersonen beantwortet werden. Zudem wurde Teilfrage F3 beantwortet. Die Grünanlagen in Bremen, auf denen eingeschränkt und uneingeschränkt Erdwärmennutzung möglich ist, wurden identifiziert. Anhand der Einzelbetrachtungen wurden mögliche Konflikte ermittelt. Es bleibt jedoch die Frage, ob diese Zielkonflikte zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung auch auf anderen Grünanlagen in Bremen bestehen, wie die Interessen bei einer Lösung des Konflikts gewichtet werden und ob dennoch eine Mehrfachnutzung auf den Anlagen möglich ist.

### **6.3. Einordnung des Projekts und mögliche Fortführung**

Die Ergebnisse dieser Arbeit stellen eine Basis für die weitere Planung des Ausbaus von Geothermie in Bremen dar. Erarbeitete restriktive Anforderungen können außerdem verwendet werden, um

geeignete Flächen zur Mehrfachnutzung mit Geothermie in anderen Städten zu identifizieren. Die ermittelte Fläche, die für eine Erdwärmenutzung geeignet ist, erleichtert eine weitere Auswahl. Die grobe [GIS](#)-Analyse ermittelt nur potenziell geeignete Flächen für eine Mehrfachnutzung von Grünanlagen. Dieses Potenzial kann jedoch bei der Planung und Realisierung einer Anlage weiter eingeschränkt werden. Vorher sollte eine weitere Eingrenzung des technischen Potenzials vorgenommen werden. Danach könnte die Ermittlung des wirtschaftlichen und schließlich des realisierbaren Potenzials folgen. Daraus entstehen folgende Anknüpfungspunkte an diese Arbeit:

- Um die Konflikte zwischen Erdwärmenutzung und Funktionen der Grünfläche für die Klimaanpassung zu konkretisieren, sollten die Handlungsempfehlungen aus der Klimaanalyse von 2013 aktualisiert werden. Darunter fallen Spezifizierungen der Hinweise zu einem dichten oder lockeren Baumbestand.
- Das Pilotprojekt und die damit verbundene Machbarkeitsstudie der gemeinschaftlichen Nutzung von Erdwärme in der Humboldtstraße Bremen versprechen wichtige Erkenntnisse über eine geothermische Anlage auf öffentlichem Grund. Die Ergebnisse sollten ausgewertet und hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf andere Standorte untersucht werden.
- Alle Grünanlagen in Restriktionsgebieten wurden gleichwertig untersucht. In einer Bewertung der Restriktionen könnten Handlungsempfehlungen bezüglich einzelner Einschränkungen entwickelt werden, um ein weiteres Vorgehen zu erleichtern.
- Aufgrund der vorliegenden Datenlage konnten einige Faktoren bei der Potenzialanalyse nicht mit einbezogen werden. Bei Fortführung der Analyse könnten die folgenden Daten eingearbeitet werden: Position von Versorgungsmedien im Untergrund und der vorgeschriebene Mindestabstand von 0,5 m, Abstand zu Grundstücken von 3 m, Position von Kampfmitteln, Wärmeleitfähigkeit des Bodens und Wärmebedarf der umliegenden Gebäude.
- Nachdem die Untersuchung der drei Einzelflächen begonnen wurde, kann sie mit einer konkreten Planung fortgeführt werden. Bei der Dimensionierung und Positionierung der geothermischen Anlagen sind dabei folgende Kriterien zu beachten: Anzahl, Art und Tiefe der Erdwärmesonden; zu versorgende Gebäude und Hausanschlüsse; Größe und Dauer der Baustelle; Position von Leitungen, Revisionsschächten und oberirdischen Anlagen; betriebsbedingte Anforderungen wie Wartung und ob die Anlage mit dem Fahrzeug angefahren werden muss.

## 7. Fazit und Ausblick

Um die Wärmewende voranzutreiben, werden Lösungen gesucht, erneuerbare Energien im Wärmesektor auszubauen. Eine Möglichkeit der Emissionsreduktion ist dabei der Ausbau von geothermischen Anlagen. Da die Fläche der Stadt Bremen dafür jedoch begrenzt ist, müssen Flächen, darunter auch Grünanlagen, mehrfach genutzt werden. Welche Grünanlagen sich für eine Erdwärmenutzung in Bremen eignen, wurde in dieser Arbeit analysiert. Außerdem wurde untersucht, welche möglichen Konflikte bei einer solchen Mehrfachnutzung zwischen Klimaanpassung und Klimaschutz entstehen könnten.

Die durchgeführte Analyse und anschließende Bewertung führte zu folgenden Kernerkenntnissen:

- Alle öffentlichen Grünanlagen in Bremen besitzen eine Fläche von 41,8 km<sup>2</sup>, Grünanlagen mit Restriktionen für die Erdwärmenutzung sind dabei 23,96 km<sup>2</sup> groß und machen somit einen Anteil von 57,3 % aus.
- Grünanlagen mit einer Fläche von 17,84 km<sup>2</sup> und einem Flächenanteil von 42,7 % sind für eine geothermische Nutzung geeignet, wobei bei einer konkreten Anlagenplanung eine technische und rechtliche Prüfung erfolgen muss.
- Restriktive Faktoren für die Erdwärmenutzung auf öffentlichen Grünanlagen bestehen auf: Grünanlagen mit der Nutzungskategorie „Friedhof“ (Fläche von 2,62 km<sup>2</sup>), Flächen in einer Trinkwasserschutzzone I, II, III a und III b (Fläche von 2,12 km<sup>2</sup>), Flächen im Restriktionsbereich aufgrund von Salzstrukturen (Fläche von 8,27 km<sup>2</sup>), Flächen in den Schutzgebieten: Landschaftsschutzgebieten, Naturschutzgebieten, Schutzgebieten nach Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie und geschützten Biotopen (Fläche von 5,25 km<sup>2</sup>), Flächen mit Altablagerungen und Grundwasserverunreinigungen (Fläche von 1,78 km<sup>2</sup>) und Grünanlagen mit der Nutzungskategorie „Dauerkleingarten“ (Fläche von 10,55 km<sup>2</sup>).
- Gründe der Restriktion variieren je nach Lage der Grünanlage: So liegt in Trinkwasserschutzgebieten eine mögliche Grundwassergefährdung vor und eine wasserrechtliche Prüfung sollte durchgeführt werden. Beim Vorkommen von Salzstrukturen oder Altlasten muss in einer Sonderprüfung unter anderem die beschränkte Bohrtiefe ermittelt werden. In Schutzgebieten muss in Einzelprüfungen festgestellt werden, inwiefern eine Erdwärmenutzung zu Störungen führen kann. In Dauerkleingärten erschweren Pachtverhältnisse eine Planung von geothermischen Anlagen.



- Nach der bioklimatischen Bewertung besitzen 46 % der geeigneten Fläche eine hohe bis sehr hohe Bedeutung. Dies kann an der Lage in einem klimatisch ungünstigen Siedlungsgebiet und/oder der Lage in einer Kaltluftschneise liegen.
- Im Nelson-Mandela-Park wurde eine Freifläche in der Mitte des Parks als geeignete Fläche für eine Erdwärmenutzung identifiziert. Dabei könnte die Anlage in das geplante Wärmenetz eingebunden werden. Es könnte ein Konflikt mit dem Ziel, den Park zum Speichern und Versickern von Regenwasser auszubauen, bestehen.
- Auf der Sportanlage der Grundschule am Baumschulenweg bestehen keine Konflikte zwischen Erdwärmenutzung und Baumstandorten oder Entwässerungselementen. Eine mögliche geothermische Anlage könnte auf dem Rasenplatz installiert werden, wäre zum Heizen der anliegenden Grundschule geeignet und könnte mit überschüssiger Wärme ein Nahwärmenetz speisen.
- Der Hilde-Adolf-Park eignet sich als Standort für die Erdwärmenutzung. Installierte Erdwärmesonden könnten die umliegenden Bürogebäude mit Wärme versorgen. Da sich der Park in einem klimatisch belasteten Siedlungsgebiet befindet, besteht das Klimaanpassungsziel eines lockeren Baumbestands. Weitere Baumstandorte würden die mögliche Fläche einer geothermischen Anlage verkleinern.
- Die Einzelbetrachtung der drei Grünanlagen zeigt mögliche Konflikte zwischen Erdwärmenutzung und der Funktion der Grünfläche auf. Die Schaffung von Elementen zur Stadtentwässerung und neuen Baumstandorten grenzt dabei die mögliche Fläche und Dimensionierung einer geothermischen Nutzung ein.

Die Ergebnisse der Analyse und Bewertung stellen eine Grundlage für den Ausbau von Geothermie auf öffentlichen Grünflächen in Bremen dar, auf die mit konkreter Planung aufgebaut werden kann. Beim Ausbau kann sich auf die Grünanlagen fokussiert werden, auf denen in der Analyse keine Restriktionen ermittelt wurden. Der Ausbau von Geothermie auf öffentlichen Flächen stellt eine bedeutende Chance im Übergang von Wärme aus fossilen Brennstoffen zu Wärme aus erneuerbaren Energien dar. Die Ergebnisse der durchgeführten Potenzialanalyse bieten einen optimalen Startpunkt eines Teils der Wärmewende in Bremen.

Aus den Ergebnissen der Arbeit lassen sich die folgenden weiterführenden Fragestellungen, sowie Vorschläge für weitere Forschungsvorhaben und Handlungsempfehlungen ableiten:

- In der Analyse wurde die technische Ausführung der oberflächennahen Geothermie mittels Erdwärmesonden auf öffentlichen Grünflächen untersucht. Es bleibt dabei offen, wie ein

Ausbau einer anderen technischen Ausführung wie Erdwärmekollektoren oder tiefe Geothermie aussehen könnte.

- Das Ermitteln von Funktionen einer Grünanlage hat gezeigt, dass die Fläche neben einer Anpassungsfunktion an die Folgen des Klimawandels auch soziale Funktionen erfüllen muss. Wie sich eine Erdwärmenutzung dabei auf den Aufenthaltscharakter auswirkt oder wie die Akzeptanz einer solchen Anlage von Anwohner\*innen ist, bildet Anlass für eine weiterführende Untersuchung.
- Es wurden vor allem Vorteile der Geothermie hinsichtlich des Klimaschutzes betrachtet. Daraus lassen sich weiterführende Forschungsfragen ableiten: Welche Vorteile hätte eine geothermische Anlage hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Versorgungsunabhängigkeit, Lokalität und Wartungsaufwand für Wärmeabnehmer\*innen? Was sind Nachteile einer solchen Nutzung?
- Aus dem Interesse heraus, eine Wärmewende voranzutreiben, sollte neben der Untersuchung der Erdwärmenutzung auf öffentlichen Grünanlagen das Untersuchungsgebiet auf weitere Flächen wie private Flurstücke oder den Straßenraum ausgeweitet werden.
- Die Analyse lässt offen, wie die Erdwärmenutzung am besten in ein Wärmenetz integriert werden kann. Um dies beurteilen zu können, sollten Effizienz und Anwendungsvoraussetzungen für kalte und warme Nahwärmenetze und die Einspeisung in ein Fernwärmenetz miteinander verglichen und bewertet werden.
- Zukünftige Studien sollten ermitteln, wie viel Wärmeenergie aus geothermischen Anlagen gewonnen werden kann und zu welchem Anteil sie den Wärmebedarf in Bremen decken kann. Außerdem sollte als Teil der kommunalen Wärmeplanung untersucht werden, wie die Geothermie mit anderen Wärmequellen wie Solarthermie und/oder Wasserstoff kombiniert werden kann.

## Literaturverzeichnis

**ArcGIS Pro. Referenz für ArcGIS Pro-Geoverarbeitungswerkzeuge-Dokumentation (2023).** Online verfügbar unter <https://pro.arcgis.com/de/pro-app/latest/tool-reference/main/arcgis-pro-tool-reference.htm>, zuletzt aktualisiert am 19.03.2023, zuletzt geprüft am 23.04.2023.

**Bauer, Mathias; Freeden, Willi; Jacobi, Hans; Neu, Thomas (2018):** Handbuch Oberflächennahe Geothermie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-50307-2>, zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**Blankenburger und Berliner (WIR SIND) (2020):** Kaltluftaustauschgebiet - [WIR SIND] Blankenburger und Berliner. Online verfügbar unter <https://wir-sind-blankenbourg.com/kaltluftaustauschgebiet-blankenbourg/>, zuletzt aktualisiert am 30.11.2020, zuletzt geprüft am 20.03.2023.

**BMI, Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat (Hg.) (2021):** Stadtentwicklungsbericht der Bundesregierung 2020. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/2021/04/stadtentwicklungsbericht-2020.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/2021/04/stadtentwicklungsbericht-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**BMUB, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Dezember 2015):** Übereinkommen von Paris. Paris. Online verfügbar unter [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019\(01\)&from=DE](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:22016A1019(01)&from=DE), zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**Born, Holger; Bracke, Rolf; Eicker, Timm; Rath, Michael (2022):** Roadmap Oberflächennahe Geothermie. Erdwärmepumpen für die Energiewende - Potenziale, Hemmnisse und Handlungsempfehlungen. Unter Mitarbeit von Fraunhofer-Gesellschaft. Bochum. Online verfügbar unter <https://www.ieg.fraunhofer.de/content/dam/ieg/deutsch/dokumente/pressemitteilungen/Roadmap%20Oberfl%C3%A4chennahe%20Geothermie%20FhG%2009062022.pdf>, zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**BReg, Die Bundesregierung (2008):** Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Online verfügbar unter [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaanpassung/das\\_gesamt\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaanpassung/das_gesamt_bf.pdf), zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**BUMV, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2022):** Sofortprogramm Klimaanpassung. Förderung und Kompetenzaufbau – Beratung vor Ort – bessere Vernetzung. Online verfügbar unter

[https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/sofortprogramm\\_klimaanpassung\\_bf.pdf](https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/sofortprogramm_klimaanpassung_bf.pdf), zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**BWP, Bundesverband Wärmepumpe e.V. (Hg.) (2023):** Funktion & Wärmequellen | Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. Online verfügbar unter <https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/funktion-waermequellen/>, zuletzt aktualisiert am 27.02.2023, zuletzt geprüft am 27.02.2023.

**BWP, Bundesverband Wärmepumpe e.V. (Hg.) (2018):** Siedlungsprojekte und Quartierslösungen mit Wärmepumpe. Überblick, Anregung und Referenzobjekte. Online verfügbar unter [https://www.waermepumpe.de/verband/publikationen/imagepublikationen/?tx\\_bcpagflip\\_pi1%5Baction%5D=show&tx\\_bcpagflip\\_pi1%5Bbook%5D=56&tx\\_bcpagflip\\_pi1%5Bcontroller%5D=Book&type=1107386203&cHash=3d57cea5dfa783a2904b249847813e68](https://www.waermepumpe.de/verband/publikationen/imagepublikationen/?tx_bcpagflip_pi1%5Baction%5D=show&tx_bcpagflip_pi1%5Bbook%5D=56&tx_bcpagflip_pi1%5Bcontroller%5D=Book&type=1107386203&cHash=3d57cea5dfa783a2904b249847813e68), zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle (2022a):** Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Sechsten IPCC-Sachstandsbericht, Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung. Online verfügbar unter [https://www.de-ipcc.de/media/content/AR6-WGII-SPM\\_deutsch\\_barrierefrei.pdf](https://www.de-ipcc.de/media/content/AR6-WGII-SPM_deutsch_barrierefrei.pdf), zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle (2022b):** Beitrag von Arbeitsgruppe I zum Sechsten IPCC-Sachstandsbericht, Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung. Online verfügbar unter [https://www.de-ipcc.de/media/content/AR6-WGI-SPM\\_deutsch\\_barrierefrei.pdf](https://www.de-ipcc.de/media/content/AR6-WGI-SPM_deutsch_barrierefrei.pdf), zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle (2022c):** Klimawandel 2022 Minderung des Klimawandels Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung. Beitrag der Arbeitsgruppe III zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Online verfügbar unter [https://www.de-ipcc.de/media/content/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_SPM\\_de\\_vorlaeufiges-Layout.pdf](https://www.de-ipcc.de/media/content/IPCC_AR6_WGIII_SPM_de_vorlaeufiges-Layout.pdf), zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**DWD, Deutscher Wetterdienst; Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr (Hg.) (2018):** Anpassungsstrategie Bremen.Bremerhaven. Begleitstudie: Wetter und Klima im Land Bremen. Bremen. Online verfügbar unter <https://www.transparenz.bremen.de/metainformationen/wetter-und-klima-im-land-bremen-118270>, zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**Eikmeier, Bernd; Janßen, Karen; Wassermann, Timo; Meyer, Benedikt (2021):** Erstellung eines Wärmeatlas für Bremen und Bremerhaven. Bericht ist Analyse. Fraunhofer-Institut für

Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung, Universität Bremen. Online verfügbar unter <https://www.wesernetz.de/fuer-mein-zuhause/nachhaltiges-zuhause/fernwaerme/fernwaermenetz-bremen/waermeatlas>, zuletzt geprüft am 19.04.2023.

**Eisele, Michael; Hellstern, Ute; Holl, Claudia; Hörmann, Ulrike; Jensen, Holger; Landgraf, Carla (2018):** Empfehlungen der LAWA für wasserwirtschaftliche Anforderungen an Erdwärmesonden und -kollektoren. Hg. v. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. Online verfügbar unter [https://www.lawa.de/documents/lawa-empfehlungen-anforderungen-erdwaermeanlagen\\_umlauf\\_umk\\_2\\_1559634462.pdf](https://www.lawa.de/documents/lawa-empfehlungen-anforderungen-erdwaermeanlagen_umlauf_umk_2_1559634462.pdf), zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**Etiling, Christina; Groß, Günter (2013):** Klimaanalyse für das Stadtgebiet der Hansstadt Bremen. Online verfügbar unter <https://www.klimaanpassung.bremen.de/klimainformationen/klimawandel-in-bremen/das-stadtklima-1473>, zuletzt geprüft am 28.09.2023.

**Giel, Thomas (2022):** Kaltes Nahwärmenetz in der Humboldtstraße, Bremen Machbarkeitsstudie. Online verfügbar unter <https://erdwaerme-dich.de/sie-ist-da-die-machbarkeitsstudie/>, zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**HB, Freie Hansestadt Bremen (Hg.) (2020):** Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Land Bremen (Berichtsjahr 2020). Bericht nach § 5 des Bremischen Klimaschutz- und Energiegesetzes (BremKEG). Bremen. Online verfügbar unter <https://www.bauumwelt.bremen.de/klimaschutz/klima-energie/klimaschutz-in-bremen/entwicklung-co2-emissionen-im-land-bremen-2145542>, zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**Herbe, Peer (2023):** Fernwärmeausbau 2023-2040. Wärmewende im Land Bremen: Ausbaupläne und Strategien zu Fernwärme und kalten Nahwärmenetzen. swb AG. Bremer Energie-Konsens GmbH. Bremen, 22.02.2023.

**Hiller, Angelika (2018):** Die Stadt und ihre urbanen Hitzeinsel. Ein Vergleich internationaler Strategien zur Reduktion des Phänomens. Masterarbeit. Fachhochschule FH Campus Wien. Online verfügbar unter <https://pub.fh-campuswien.ac.at/obvfcwhsacc/download/pdf/2848402?originalFilename=true>, zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**Hoffmann, Esther; Harnisch, Richard; Rupp, Johannes; Grothmann, Torsten; Lühr, Klemens (2020):** Kooperation und Beteiligungsprozess zur Weiterentwicklung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Anpassungsstrategie an den Klimawandel - Abschlussbericht. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-02\\_cc\\_16-2020\\_beteiligungsprozess-das\\_abschlussbericht\\_fkz\\_3714\\_48\\_102\\_0\\_final\\_barrierefrei.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-02_cc_16-2020_beteiligungsprozess-das_abschlussbericht_fkz_3714_48_102_0_final_barrierefrei.pdf), zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**HSB Hochschule Bremen (2023):** Verbundvorhaben Wärmewende Nordwest: Digitalisierung zur Umsetzung von Wärmewende- und Mehrwertanwendungen für Gebäude, Campus, Quartiere und Kommunen im Nordwesten. Hg. v. Freie Hansestadt Bremen HB. Online verfügbar unter <https://www.hs-bremen.de/forschen/forschungs-und-transferprofil/forschungsprojekt/verbundvorhaben-waermewende-nordwest-digitalisierung-zur-umsetzung-von-waermewende-und-mehrwertanwendungen-fuer-gebaeude-campus-quartiere-und-kommunen-im-nordwesten-teilprojekte-potentiale-fuer-eine-stadtweite-und-quartiersbezogene-transformation-sowie-bildungsformate-fuer-nachhaltige-entwicklung/>, zuletzt aktualisiert am 27.03.2023, zuletzt geprüft am 27.03.2023.

**Landesamt Geoinformationen Bremen (Hg.) (2023):** GeoPortal Bremen. Online verfügbar unter <https://geoportal.bremen.de/geoportal/#>, zuletzt aktualisiert am 11.04.2023, zuletzt geprüft am 24.04.2023.

**Maurus, Jasmine; Roder, Amelie (2021):** Kaltluftschneisen und Renaturierung im städtischen Raum. In: Exkursionsreader 2021 - Global City Frankfurt, S. 53–69. Online verfügbar unter [https://www.wigeo.uni-bayreuth.de/pool/dokumente/Exkursionsreader\\_Frankfurt-2021\\_final\\_small.pdf#page=53](https://www.wigeo.uni-bayreuth.de/pool/dokumente/Exkursionsreader_Frankfurt-2021_final_small.pdf#page=53), zuletzt geprüft am 28.09.2023.

**Panteleit, Björn; Langer, Stefanie; Ortmann, Silvia (2022):** Leitfaden oberflächennahe Geothermie im Land Bremen. Hg. v. Geologischer Dienst für Bremen (GDfB). Bremen (Bremer Geowissenschaftliche Berichte des GDfB). Online verfügbar unter <https://www.gdfb.de/wp-content/uploads/2022/10/Leitfaden-Geothermie-Bremen.pdf>, zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**Peters, Max (2020):** Kommunale Wärmeplanung. Handlungsleitfaden. Hg. v. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/348818329\\_Kommunale\\_Warmeplanung\\_Handlungsleitfaden](https://www.researchgate.net/publication/348818329_Kommunale_Warmeplanung_Handlungsleitfaden), zuletzt geprüft am 23.04.2023.

**SKUMS, Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr; Umweltschutzamt (Hg.) (2018):** Klimaanpassungsstrategie Bremen Bremerhaven. Bremen. Online verfügbar unter [https://www.bremerhaven.de/sixcms/media.php/94/Anpassungsstrategie\\_2018\\_BILDSCHIRMANSICHT%2520ZWEISEITIG\\_klein.pdf](https://www.bremerhaven.de/sixcms/media.php/94/Anpassungsstrategie_2018_BILDSCHIRMANSICHT%2520ZWEISEITIG_klein.pdf), zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**SKUMS, Der Senator für Umwelt, Bau, Verkehr und Europa (2010):** Klimaschutz- und Energieprogramm 2020. Zugleich Vierte Fortschreibung des Landesenergieprogramms gemäß § 13 des Bremischen Energiegesetzes. Hg. v. Freie Hansestadt Bremen. Bremen. Online verfügbar unter <https://www.bauumwelt.bremen.de/klimaschutz/klima-energie/klimaschutz-und-energieprogramm-2020-24317>, zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**SKUMS, Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau (Hg.) (2021):** Auskunftssystem Starkregenvorsorge. Online verfügbar unter <https://gis-hub.bremen.de/portal/apps/sites/#/starkregenvorsorge>, zuletzt aktualisiert am 16.10.2021, zuletzt geprüft am 24.04.2023.

**SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP (2021):** Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP. Mehr Fortschritt wagen - Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/1f422c60505b6a88f8f3b3b5b8720bd4/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1>, zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**Stanislawski, Katja (2023):** Arbeitsstand Kommunale Wärmeplanung Stadt Bremen. Referat 41 - Wärmewende. Wärmewende im Land Bremen: Ausbaupläne und Strategien zu Fernwärme und kalten Nahwärmenetzen. Die Senatorin für Klimaschutz, Umwelt, Mobilität, Stadtentwicklung und Wohnungsbau. Bremer Energie-Konsens GmbH. Bremen, 22.02.2023.

**Stober, Ingrid; Bucher, Kurt (2014):** Geothermie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-41763-4>, zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**Theiner, Jürgen (2023):** Erdwärme-Pioniere wollen loslegen. Humboldtstraße könnte den Anfang machen ö Genossenschaft vor der Gründung. In: *Weser-Kurier*, 06.03.2023.

**UBA, Umweltbundesamt (2019):** Monitoringbericht 2019 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das\\_monitoring\\_bericht\\_2019\\_barrierefrei.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das_monitoring_bericht_2019_barrierefrei.pdf), zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**UBA, Umweltbundesamt (2021):** Übereinkommen von Paris. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/internationale-eu-klimapolitik/uebereinkommen-von-paris#ziele-des-ubereinkommens-von-paris-uvp>, zuletzt aktualisiert am 02.05.2023.

**UBA, Umweltbundesamt (Hg.) (2022):** Die Risiken des Klimawandels für Deutschland. Ergebnisse der Klimawirkungs- und Risikoanalyse 2021 sowie Schlussfolgerungen der Interministeriellen Arbeitsgruppe „Anpassung an den Klimawandel“. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/2022\\_fachbroschüre\\_die\\_risiken\\_des\\_klimawandels\\_fur\\_deutschland\\_220218.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/2022_fachbroschüre_die_risiken_des_klimawandels_fur_deutschland_220218.pdf), zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**Willen, Luise (2020):** E.7 Urbanes Grün – der Wert von Stadtgrün. In: Ingrid Breckner, Albrecht Göschel und Ulf Matthiesen (Hg.): Stadtsoziologie und Stadtentwicklung: Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG, S. 719–728. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/346986367\\_E7\\_Urbanes\\_Grun\\_-\\_der\\_Wert\\_von\\_StadtgrunLuise\\_Willen](https://www.researchgate.net/publication/346986367_E7_Urbanes_Grun_-_der_Wert_von_StadtgrunLuise_Willen), zuletzt geprüft am 02.05.2023.

**WWNW (2022):** Startseite - WWNW. WärmewendeNordwest – das Projekt. Online verfügbar unter <https://www.waermewende-nordwest.de/>, zuletzt aktualisiert am 09.11.2022, zuletzt geprüft am 13.02.2023.





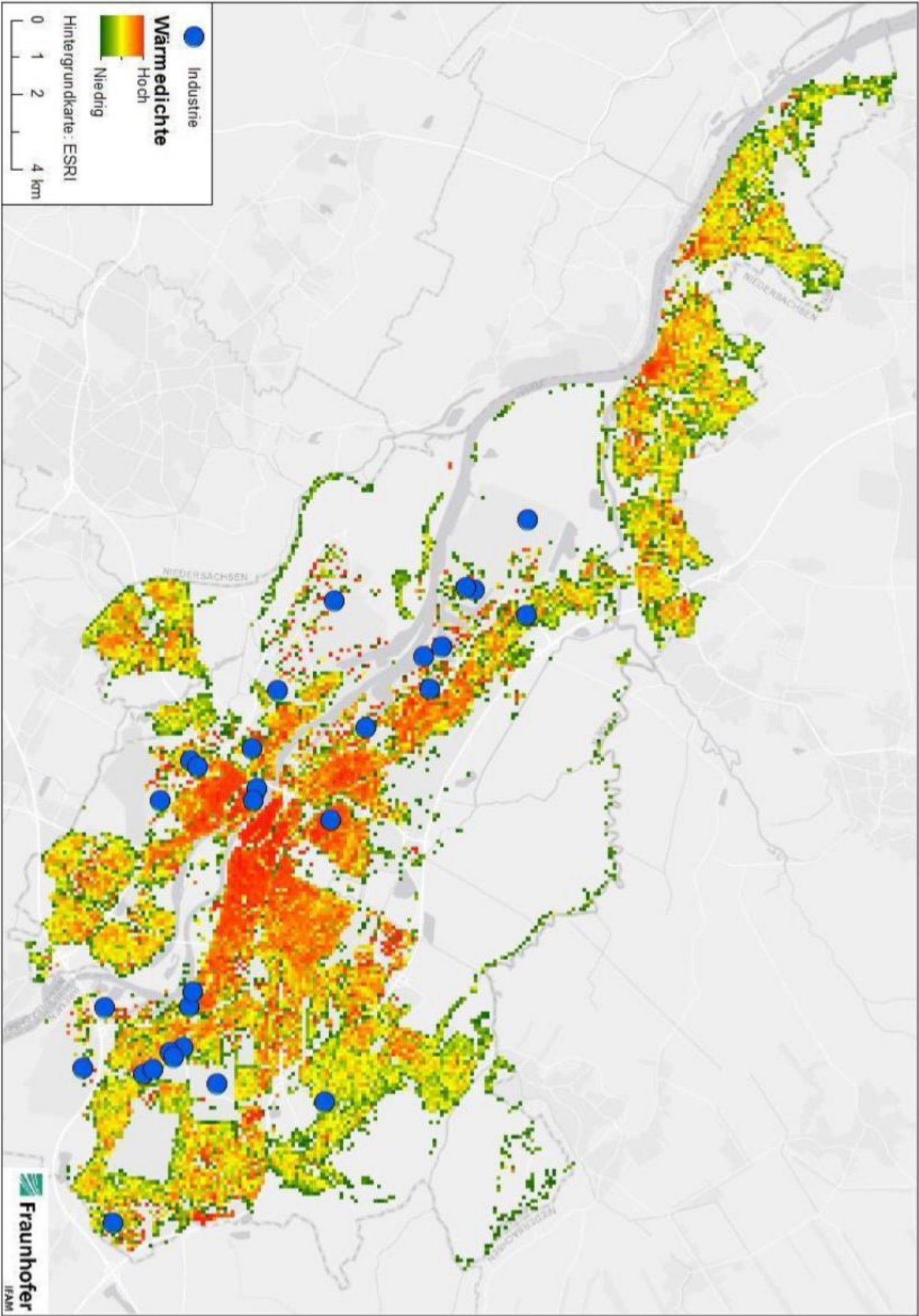


Abbildung A.2: Wärmedichtekarte des Wärmebedarfs in Bremen mit Wärmeverbrauchsdaten bis 2016 (Rastergröße 100 m) (Eikmeier et al. 2021)

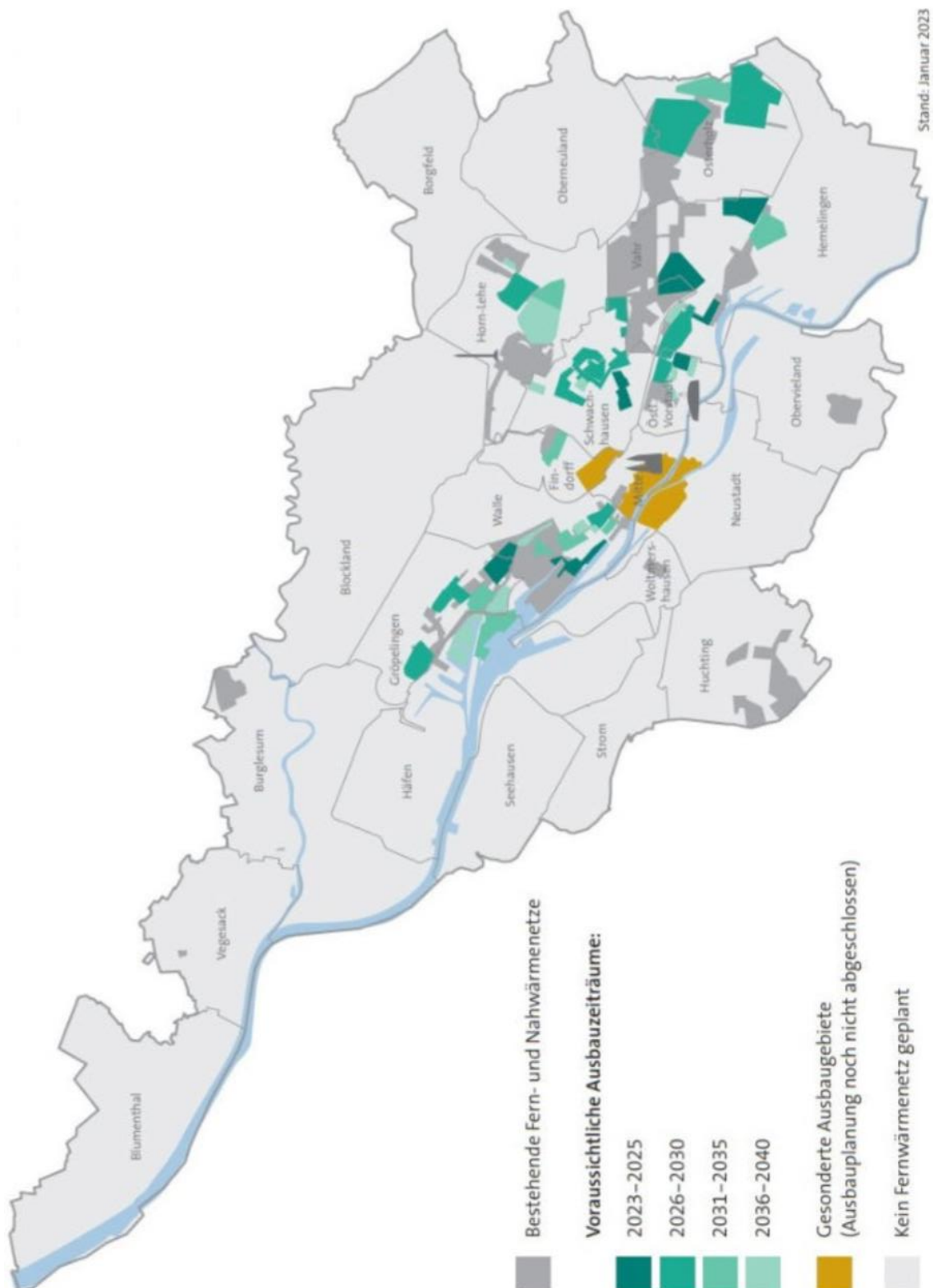


Abbildung A.3: Übersicht des Fernwärmeausbaus bis 2040 und bestehende Fern- und Nahwärmenetze in Bremen (Stand 2023) (Herbe 2023)

## B. Ergänzendes Material zur Potenzialanalyse

Friedhöfe in Bremen

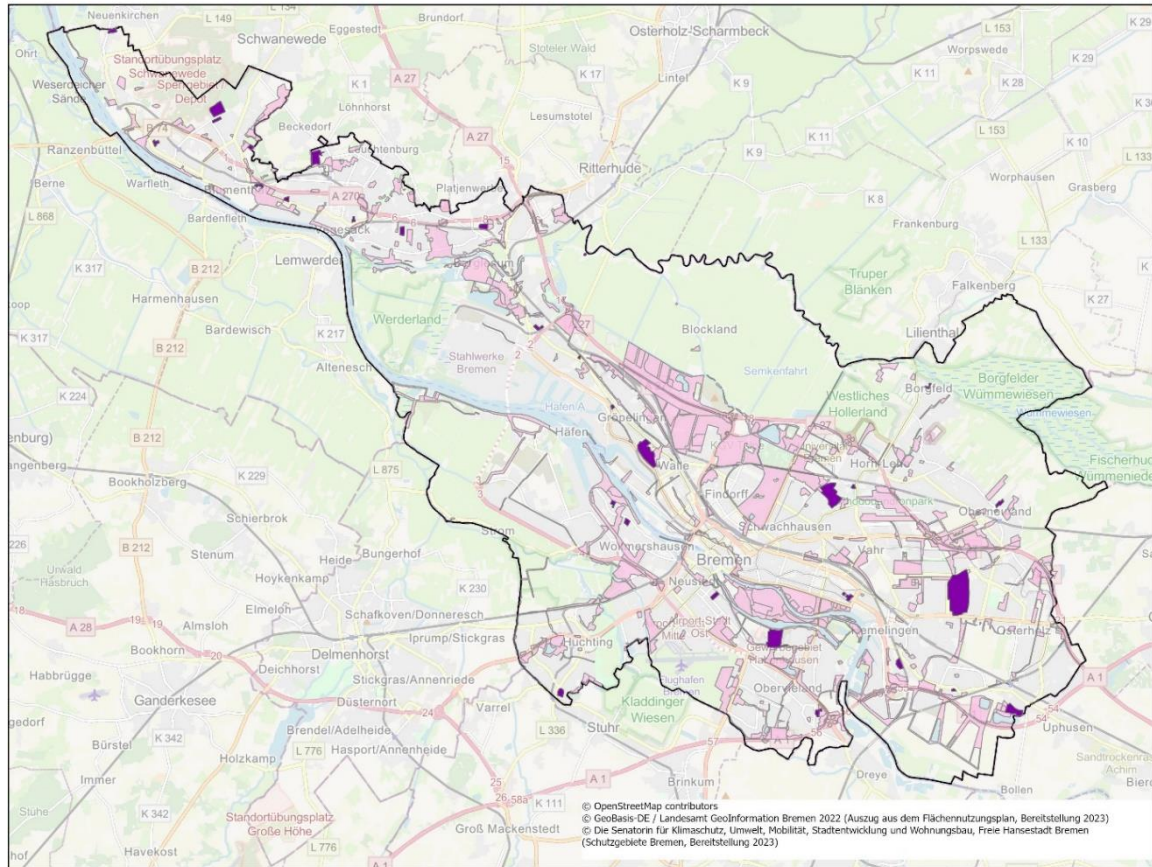


Abbildung B.1: Karte von Grünanlagen mit der Nutzungskategorie Friedhof im Untersuchungsgebiet (Eigene Darstellung)

### Wasserschutzgebiete in Bremen

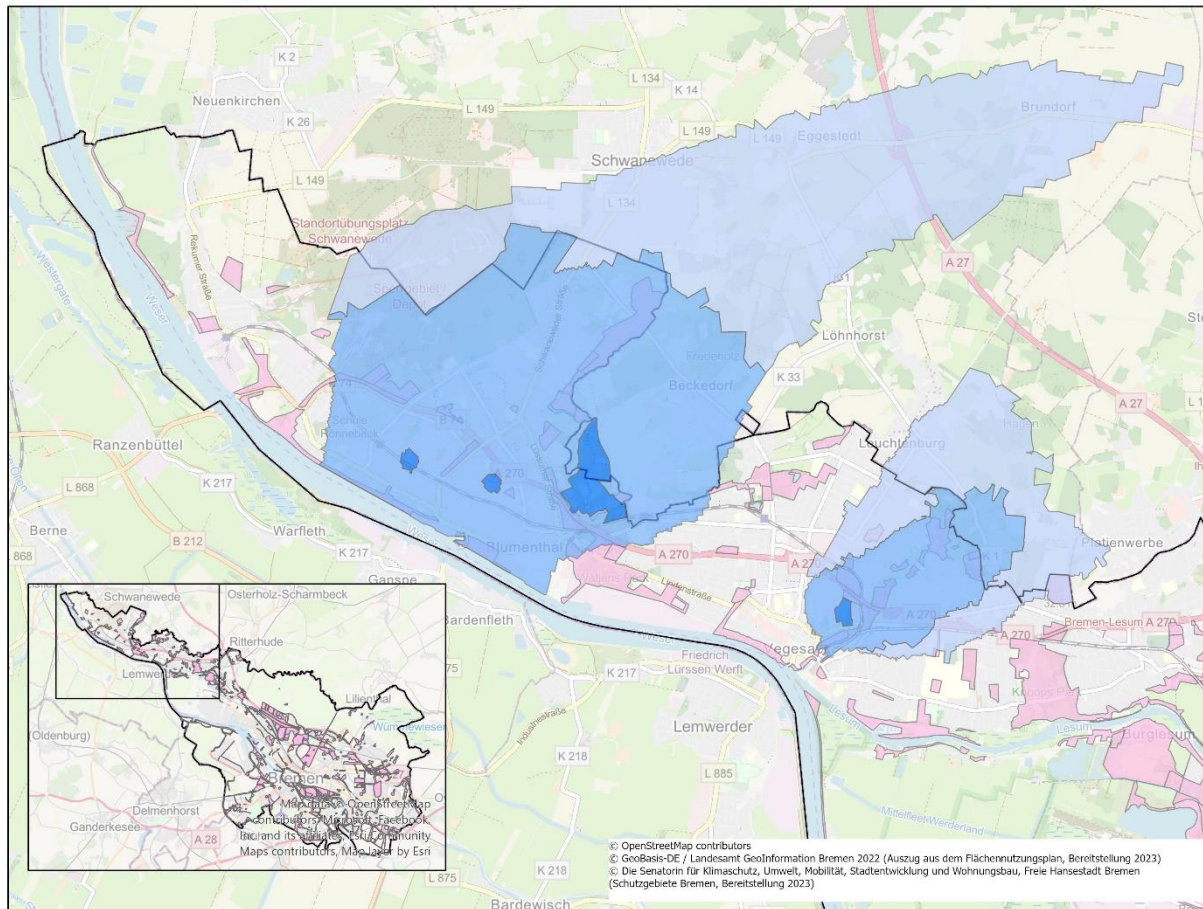


Abbildung B.2: Karte mit Wasserschutzgebieten (Schutzzone II, IIIa und IIIb) in Bremen (Eigene Darstellung)

### Restriktionsbereiche durch Salzstrukturen in Bremen

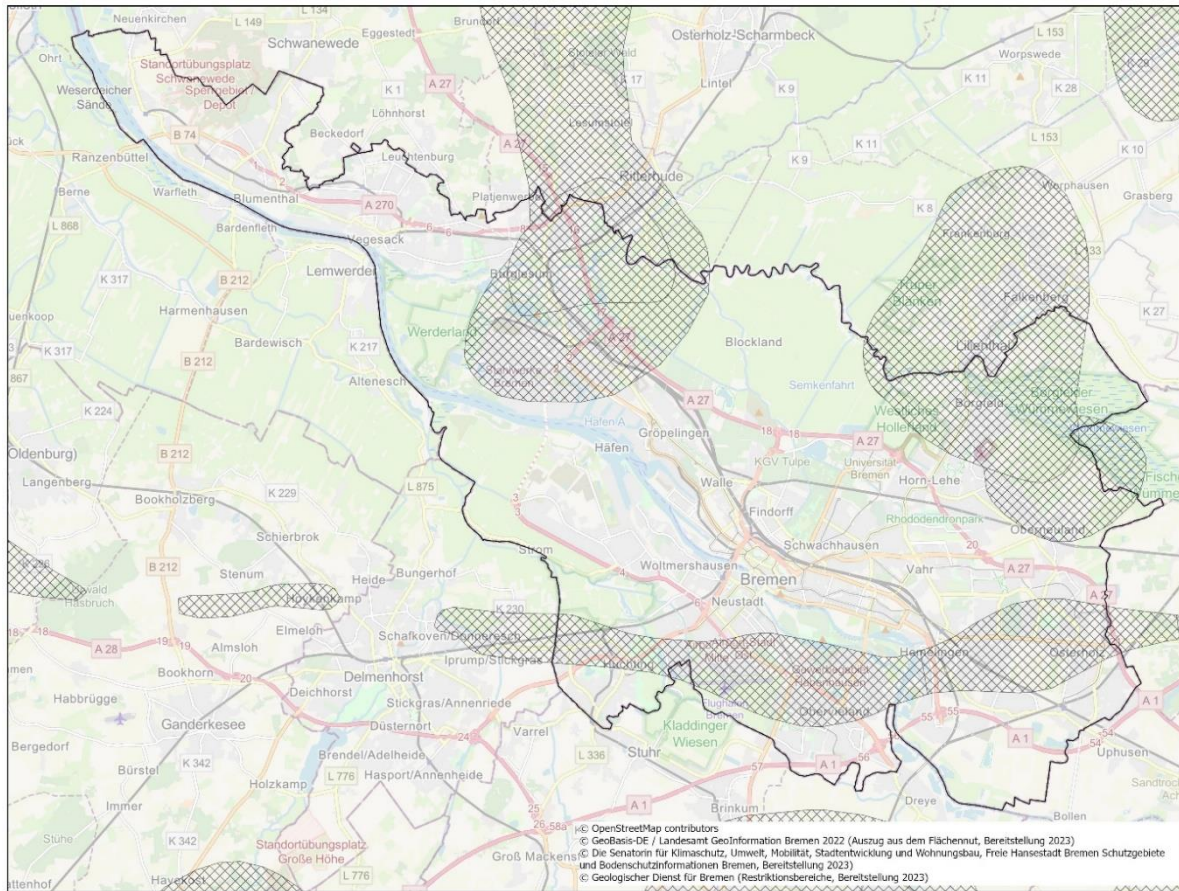


Abbildung B.3: Karte mit Restriktionsbereichen für die Erdwärmenutzung aufgrund von Salzstrukturen (Eigene Darstellung)

### Schutzgebiete in Bremen

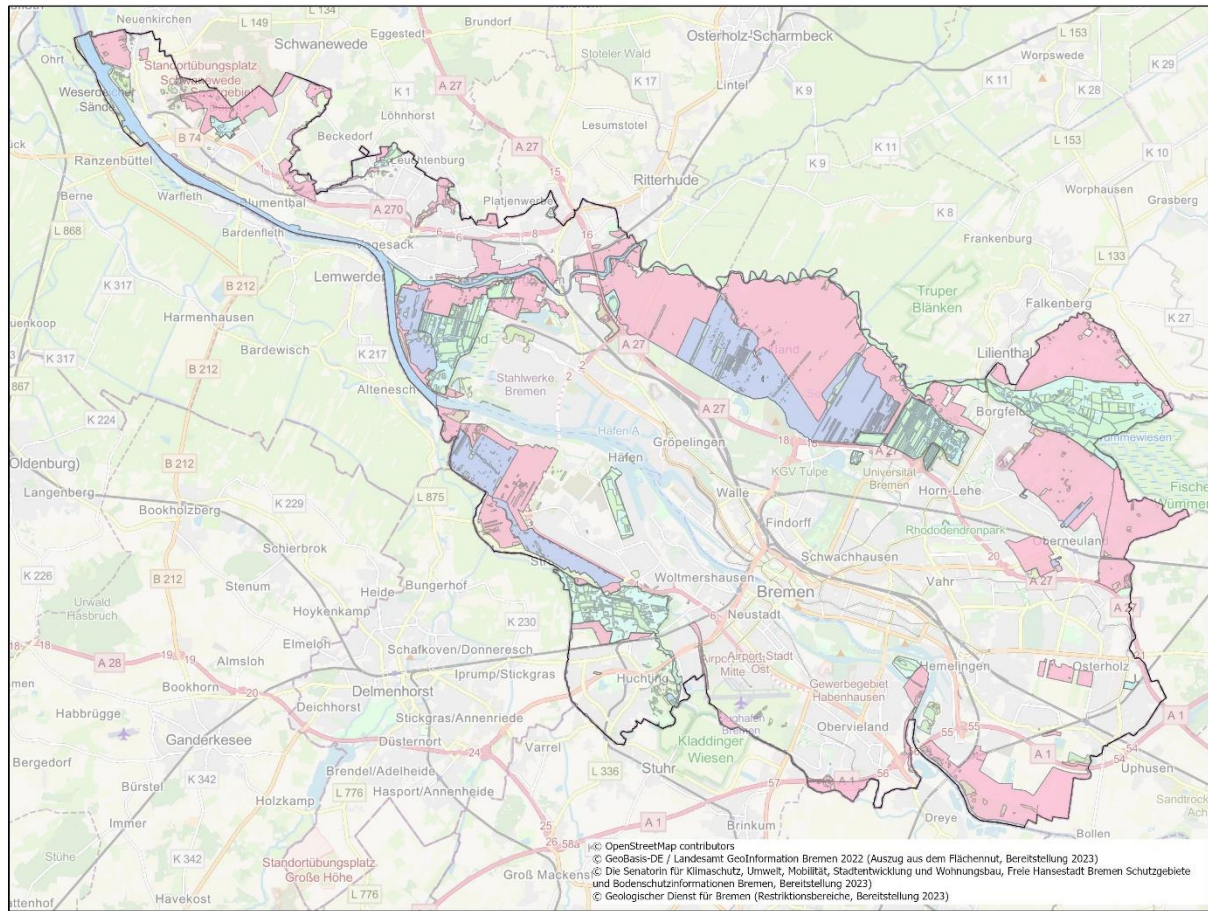
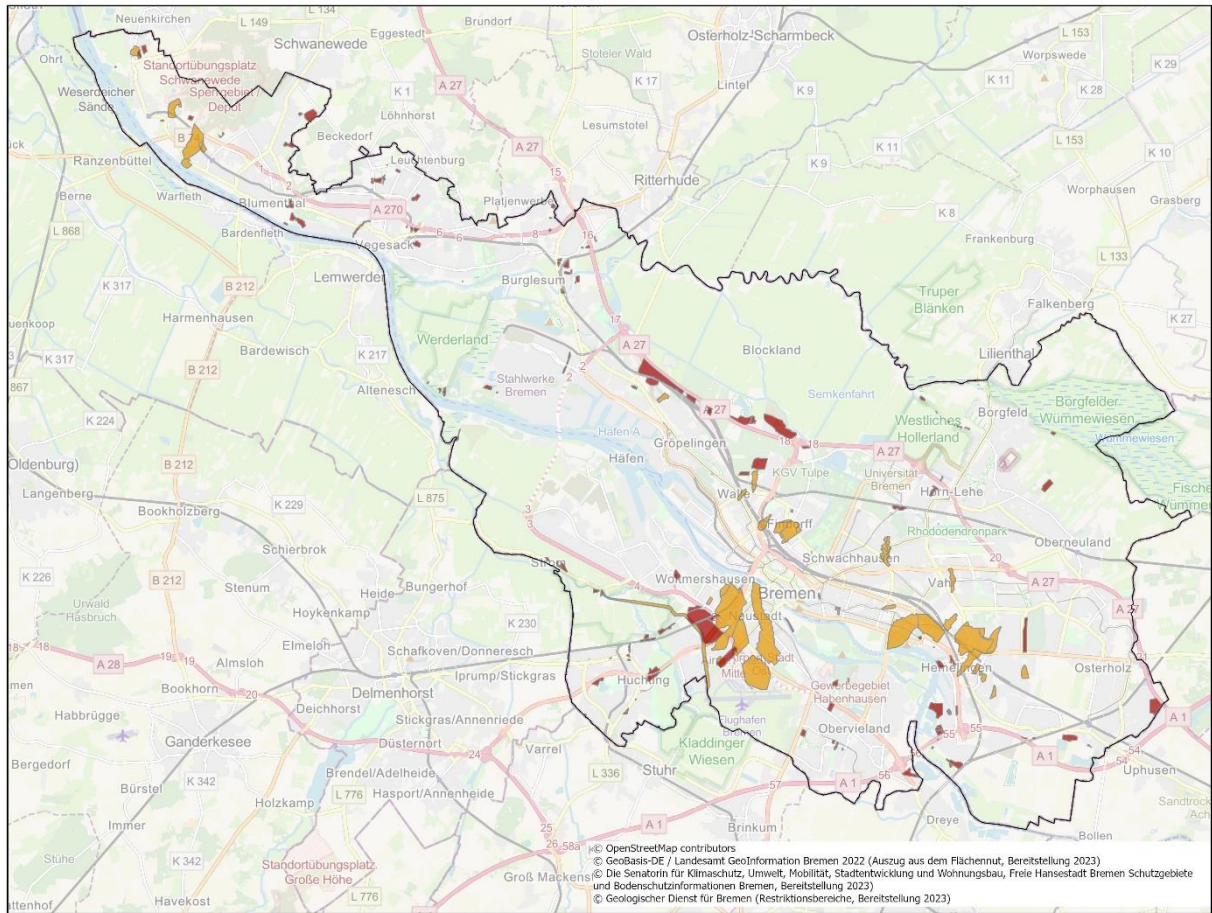


Abbildung B.4: Karte mit geschützten Biotopen, Landschaftsschutzgebieten, Naturschutzgebieten und Schutzgebieten nach Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Eigene Darstellung)

### Bodenschutzinformationen in Bremen



0 2,5 5 10 Kilometer

#### Legende

- Nutzungseinschränkung aufgrund Grundwasser-  
verunreinigungen
- Lage von  
Altablagerungen
- Landesflächen Bremen

Abbildung B.5: Karte Bodenschutzinformationen (Nutzungseinschränkung aufgrund Grundwasser-  
verunreinigungen und Lage von Altbelastungen) in Bremen (Eigene Darstellung)



### Dauerkleingärten in Bremen

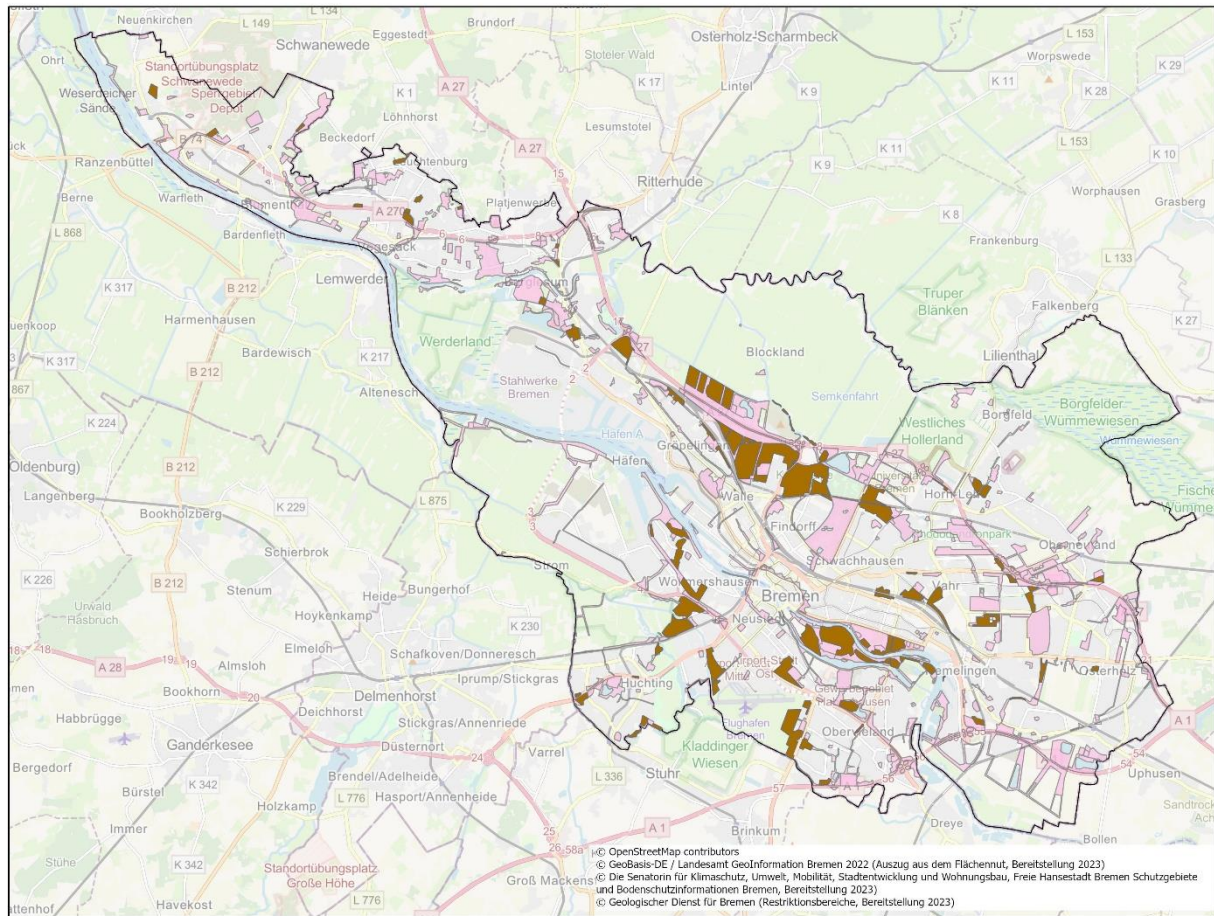


Abbildung B.6: Karte von Grünanlagen mit der Nutzungskategorie Dauerkleingarten im Untersuchungsgebiet (Eigene Darstellung)