

TEXTE

03/2026

Bodenschutz bei Erdwärmekollektoren

von:

Dr. Irabella Fuhrmann, Dr. Norbert Feldwisch
Ingenieurbüro Feldwisch, Bergisch Gladbach

Herausgeber:

Umweltbundesamt

TEXTE 03/2026

Projektnummer 192953

FB001981

Bodenschutz bei Erdwärmekollektoren

von

Dr. Irabella Fuhrmann, Dr. Norbert Feldwisch
Ingenieurbüro Feldwisch, Bergisch Gladbach

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

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

Durchführung der Studie:

Ingenieurbüro Feldwisch
Karl-Philipp-Straße 1
51429 Bergisch Gladbach

Abschlussdatum:

August 2025

Redaktion:

Fachgebiet II 2.7 Bodenmonitoring und Bodenzustand
Marc Marx, Stefanie Stöckhardt

DOI:

<https://doi.org/10.60810/openumwelt-8220>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Januar 2026

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

Kurzbeschreibung: Bodenschutz bei Erdwärmekollektoren

Der vorliegende Bericht zeigt auf, wie die Belange des vorsorgenden Bodenschutzes beim Bau und Betrieb von Erdwärmekollektoren bestmöglich berücksichtigt werden können. Dazu werden die rechtlichen und fachlichen Anforderungen an Bau und Betrieb von Erdwärmekollektoren zusammengestellt. Nachdem alle Beeinträchtigungsmöglichkeiten erfasst und bewertet sind, kann das Ausmaß und die Erheblichkeit von Auswirkungen auf Böden abgeschätzt werden. Abschließend werden geeignete Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen aufgezeigt.

Die wesentlichen Beeinträchtigungen auf den Boden ergeben sich während des Baus durch den Aushub, der Zwischenlagerung und der Wiederverfüllung des Bodens. Im Bereich des Anlagestandortes kann es durch die Nutzung von Baustellenfahrzeugen zu Verdichtungen kommen. Bei der Rückverfüllung kann es zur Vermischung unterschiedlicher Bodenschichten kommen. Die technischen Anlagenteile einschließlich der erforderlichen Bettungsmaterialien innerhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht beeinträchtigen ebenfalls die Ausprägung der natürlichen Bodenfunktionen. Zur Reduzierung der Eingriffsintensität müssen bodenschonende Maßnahmen eingesetzt werden. Dazu zählen Strategien zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen und Substratvermischungen, die durch Maßnahmen zur Wiederherstellung voll funktionstüchtiger durchwurzelbarer Bodenschichten ergänzt werden. Nicht alle Auswirkungen lassen sich anhand des derzeitigen Kenntnisstandes abschließend beurteilen; dies gilt insbesondere für potenzielle Auswirkungen auf das Bodenleben. Insofern bedarf es weiterer gezielter Untersuchungen zu den Umweltauswirkungen von Erdwärmekollektoren.

Abstract: Soil protection for geothermal collectors

This report shows how the concerns of preventive soil protection can best be taken into account in the construction and operation of geothermal collectors. For this, the legal and technical requirements for the construction and operation of geothermal collectors are first compiled. Once all potential adverse effects have been identified and assessed, the extent and significance of the impact on soils can be estimated. Finally, suitable prevention and mitigation measures are identified.

The main adverse effects on the soil arise during construction due to excavation, temporary storage and backfilling of the soil. In the area of the system, compaction may occur due to the use of construction vehicles. During backfilling, different soil layers may become mixed. The technical system components, including the necessary bedding materials within the rootable soil layer, also impair the natural soil functions. Soil-conserving measures must be used to reduce the intensity of the intervention. These include strategies to avoid soil compaction and substrate mixing, supplemented by measures to restore fully functional rootable soil layers. Not all impacts can be conclusively assessed based on the current state of knowledge; this applies in particular to potential impacts on soil life. Further targeted studies on the environmental impacts of geothermal collectors are therefore needed.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	9
Zusammenfassung.....	10
Summary	12
1 Einleitung.....	14
1.1 Hintergrund.....	14
1.2 Zielsetzungen	14
2 Rechtliche und fachliche Anforderungen an Bau und Betrieb von Erdwärmekollektoren.....	15
2.1 Darstellung des geltenden rechtlichen Rahmens	15
2.2 Standortauswahl	16
2.3 Bodenschutzfachliche Anforderungen an Bau und Rückbau.....	18
2.3.1 Bodenschutzfachliche Anforderungen an den Bau	18
2.3.2 Bodenschutzfachliche Anforderungen an den Rückbau.....	19
3 Abschätzung des Ausmaßes und der Erheblichkeit von Auswirkungen auf Böden	21
3.1 Erdwärmekollektor-Typen und -Bauweisen	21
3.2 Baubedingte Auswirkungen	23
3.3 Anlagenbedingte Auswirkungen	24
3.3.1 Leckagen	25
3.3.2 Grundwasserneubildung.....	26
3.4 Betriebsbedingte Auswirkungen.....	27
3.4.1 Absenkung der Bodentemperatur	27
3.4.2 Erhöhung der Bodentemperatur	32
3.5 Beispiele aus der Praxis.....	33
3.5.1 +Eins: Energieoptimiertes Bauen: Plusenergiesiedlung Landshut (2010-2014)	34
3.5.2 EnVisaGe – Plusenergiesiedlung „Vordere Viehweide“- Kalte Nahwärme & Agrothermie (2012-2017)	35
3.5.3 ErdEisII: Eisspeicher und oberflächennahe Geothermie (2019-2022).....	35
3.5.4 KNW-Opt: Kalte Nahwärme mit oberflächennahem Großflächenkollektor in Bad Nauheim (2020-2024/25)	37
3.5.5 MultiSource – Nutzung multipler Wärmequellsysteme im urbanen Quartierskontext am Beispiel des Lagarde Campus in Bamberg (2022-2026)	38
3.5.6 Agrogeothermie Radolfzell	38
3.6 Absatzzahlen und Entwicklung	39

4	Geeignete Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	41
4.1	Maßnahmen zur Reduzierung von baubedingten Auswirkungen	41
4.1.1	Reduzierung der Eingriffsfläche	41
4.1.2	Reduzierung der Eingriffsintensität	42
4.2	Maßnahmen zur Reduzierung von anlagebedingten Auswirkungen.....	43
4.3	Maßnahmen zur Reduzierung von betriebsbedingten Auswirkungen	43
4.4	Weitere Maßnahmen.....	44
5	Quellenverzeichnis	45
A	Anhang	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schema einer Wärmepumpe mit Erdwärmekollektor	21
Abbildung 2:	Beispiele eines Erdwärmekorbes (links) und eines Grabenkollektors (rechts).....	22
Abbildung 3:	Mittlere Luft- und Bodentemperaturen einer Erdwärmekollektoranlage aus der Wohnbauforschung in Niederösterreich (Versuchsanlage 7, Ziersdorf).....	29
Abbildung 4:	3-Jahresverläufe aller Varianten (zentrale Fühler direkt an den Kollektoren) aus dem Projekt „+Eins“	34
Abbildung 5:	Unterste Ebene (ca. 160 m ²) des Erdispeichers 5 m unter Geländeoberkante	36
Abbildung 6:	Einbau der Großkollektoranlage in Bad Nauheim.....	37
Abbildung 7:	Einpflegen der Kollektorrohre durch ein Rohrpflug auf der Agrothermie-Anlage in Radolfzell.....	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Überblick über die von den Kartenportalen zur Verfügung gestellten Informationen zur Nutzung von Erdwärmekollektoren der jeweiligen Bundesländer (Stand 05.08.2025).....	17
Tabelle 2:	Ausschnitt aus der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 (Tabelle A2): Horizontale Erdwärmekollektoren, Maximalwerte der flächenspezifischen Entzugsleistung und Entzugsenergie für PE-Rohr 32 mm × 3,0 mm.	23
Tabelle 3:	Vergleich der Eckdaten von Grundstücken mit Erdwärmekollektoren aus der Wohnbauforschung in Niederösterreich (Em et al. 2006)	28
Tabelle 4:	Haushalte in Gebäuden mit Wohnraum (ohne Wohnheime) 2022 nach überwiegend verwendeter Energieart der Beheizung und Bundesland	39

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
5GDHC	Wärmenetze der 5. Generation (englisch: 5 th generation district heating and cooling)
AwSV	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
BauGB	Baugesetzbuch
BWP	Bundesverband Wärmepumpe e.V.
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBodSchV	Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung
C	Kohlenstoff
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V.
FK	Förderkennzeichen
GeolDG	Geologiedatengesetz
K	Kelvin
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LLUR SH	Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein
O	Sauerstoff
PB	Polybutylen
PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
W	Watt
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WSG	Wasserschutzgebiet

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht zeigt auf, wie die Belange des vorsorgenden Bodenschutzes beim Bau und Betrieb von Erdwärmekollektoren bestmöglich berücksichtigt werden können. Dazu werden zuerst die rechtlichen und fachlichen Anforderungen an Bau und Betrieb von Erdwärmekollektoren zusammengestellt. Nachdem alle Beeinträchtigungsmöglichkeiten erfasst und bewertet sind, kann das Ausmaß und die Erheblichkeit von Auswirkungen auf Böden abgeschätzt werden. Abschließend werden geeignete Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen aufgezeigt.

In der Vollzugspraxis unterliegt die Errichtung von Erdwärmekollektoren maßgeblich dem Wasserrecht. Es besteht je nach Lage vielerorts eine Anzeige- bzw. Genehmigungspflicht, insbesondere wenn das Grundwasser erreicht wird. In Wasserschutzgebieten oder anderen wasserwirtschaftlich sensiblen Gebieten kann es zu Einschränkungen oder Verboten kommen. Die Lage bestimmt somit, welche standörtlichen Risiken aus Sicht des Gewässer-, aber auch des Bodenschutzes bestehen. Die potenzielle Standorteignung hängt zudem von der jährlichen Energiezufuhr durch Einstrahlung, Niederschläge und der Wärmeleitfähigkeit des Bodens ab. In einigen Bundesländern stehen Kartenportale zur Verfügung, welche Informationen zu Nutzungspotenzialen von Erdwärmekollektoren bereitstellen.

Erdwärmekollektoren sind im Boden verlegte Rohrsysteme. Sie nutzen die im Boden gespeicherte Energie als Wärmequelle für Erdwärmepumpen. Sie stellen somit eine nachhaltige Heizalternative zu fossilen Heizsystemen dar. Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren und Grundwasserbrunnen zählen zur oberflächennahen Geothermie. Im Gegensatz zu Erdwärmesonden, welche im privaten Wohnungsbau Tiefen von etwa 100 m erreichen, entziehen Erdwärmekollektoren die Wärme aus nur 1 bis 2 m Tiefe. Der Bau von Erdwärmekollektoren beansprucht im Vergleich zu Erdwärmesonden deutlich mehr Fläche.

Es gibt eine Vielzahl an Bautypen: Flächenkollektoren, Spiralkollektoren, Grabenkollektoren und Erdwärmekollektoren. Die meisten Rohre bestehen aus Polyethylen. Durch diese fließt das Wärmeträgermedium hin zur Erdwärmepumpe. Die Dimensionierung der Anlage richtet sich nach dem Wärmebedarf und der spezifischen Wärmetransportleistung des Bodens. Zudem sind die Jahresbetriebsdauer und die Abstände der Kollektorrohre entscheidend.

Die bodenschutzfachlichen Anforderungen an den Bau beinhalten insbesondere die Vermeidung von Bodenschadverdichtungen durch zu schwere Arbeitsmaschinen und durch Arbeiten auf zu feuchten, nicht tragfähigen Böden. Beim Aushub und der Zwischenlagerung muss auf eine strikte Trennung zwischen Ober- und Unterboden geachtet werden, um Substratvermischungen zu vermeiden. Der Bodenaushub muss entsprechend seines Ausgangszustands geschützt werden. Bei der Rückverfüllung muss der Boden entsprechend seines ursprünglichen Bodenaufbaus und seiner ursprünglichen Lagerungsdichte eingebracht werden. Durch die Erstellung eines vorhabenbezogenen Bodenschutzkonzepts nach DIN 19639 werden die erforderlichen und geeigneten Maßnahmen zur Vermeidung und Minderung potenzieller Beeinträchtigungen von Böden aufgezeigt. Auch beim Anlagenrückbau sind bodenschutzfachliche Anforderungen zu berücksichtigen. Die Wärmeträgerflüssigkeit muss in jedem Falle fachgerecht entsorgt werden.

Die anlagenbedingten Auswirkungen ergeben sich durch die Verdrängung des natürlichen Bodenmaterials in der Verlegetiefe, so dass die Durchwurzelbarkeit und nutzbare Feldkapazität verändert werden können. Im Falle einer Leckage bestehen noch Unsicherheiten hinsichtlich potenzieller Umweltauswirkungen, insbesondere im Hinblick auf potenzielle Grundwasserbeeinträchtigungen durch die Tiefenverlagerung von Kältemitteln. Die Grundwasserneubildung ist bei korrekt dimensionierten Anlagen nicht beeinträchtigt, da bei diesen keine dauerhafte Vereisungsflächen entstehen und folglich die Versickerung weiterhin gewährleistet ist.

Durch den Betrieb von Erdwärmekollektoren kommt es zu einem geänderten Wärmehaushalt in unmittelbarer Nähe der Kollektoren. Anhand weniger empirischer Studien kann angenommen werden, dass die Umweltauswirkungen durch Abkühlung während der Heizperiode oder gegebenenfalls Erwärmung während der Kühlung von Gebäuden gering sind. Bislang konnte bei der Vegetation teilweise eine verzögerte Entwicklung insbesondere am Anfang der Vegetationsperiode beobachtet werden. Bodenmikroorganismen sind wahrscheinlich nur lokal und vorübergehend von den schwankenden Bodentemperaturen betroffen. Für gesicherte Aussagen fehlt bisher ein Langzeitmonitoring zu möglichen Auswirkungen auf das Bodenleben.

Beispiele aus der Praxis zeigen eine Vielfalt verschiedener Erdwärmekollektortypen. Im Bereich der Kalten Nahwärme, welche Wärmequellen aus der Umgebung nutzt und somit niedrige Betriebstemperaturen aufweist, entstehen immer mehr großflächig angelegte Kollektoranlagen. Auch an alternativen Einbauverfahren wird geforscht und weiterentwickelt. So können in landwirtschaftlich genutzten Feldern die Kollektorrohre direkt eingepflügt werden, um den Bodeneingriff möglichst gering zu halten.

Der Großteil der Heizungen in Deutschland wird mit fossilen Energieträgern betrieben. Obwohl es in den letzten Jahren eine Steigerung bei den Wärmepumpen gab, ist der Anteil an Erdwärmepumpen sehr gering. Die deutschlandweite Flächeninanspruchnahme von Erdwärmekollektoren ist somit ebenfalls gering. Durch einen Anstieg im Bereich Kalter Nahwärme könnte diese Fläche steigen.

Zur Minderung baubedingter Auswirkungen kann versucht werden, die Eingriffsfläche insgesamt zu verkleinern. Dies kann durch eine geeignete Standortwahl, durch die Wahl des Systems und durch die Gestaltung der Baumaßnahme realisiert werden. Die Eingriffsintensität kann durch bodenschonende Maßnahmen reduziert werden. Dazu zählen Strategien zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen und Substratvermischungen, sowie Maßnahmen bei der Rückverfüllung und geeigneter Maßnahmen zur Wiederherstellung durchwurzelbarer Bodenschichten.

Im Gegensatz zu den baubedingten Maßnahmen kann aus bodenschutzfachlicher Sicht zur Reduzierung anlagenbedingter Auswirkungen wenig angepasst bzw. verändert werden. Zur Reduzierung betriebsbedingter Auswirkungen kann an empfindlichen Standorten versucht werden, dass Kleinklima zu verbessern. So können beispielsweise windexponierte Lagen durch Hecken oder Mauern geschützt werden.

In Zukunft sollten die Umweltauswirkungen von Erdwärmekollektoren weiter erforscht werden. Dazu zählen vor allem Auswirkungen auf die Vegetation und das Bodenleben. Eine Sensibilisierung aller Beteiligten während der Planung und des Baus kann zu einem verbesserten Bodenschutz beitragen.

Summary

This report shows how the concerns of preventive soil protection can best be taken into account in the construction and operation of geothermal collectors. For this, the legal and technical requirements for the construction and operation of geothermal collectors are first compiled. Once all potential adverse effects have been identified and assessed, the extent and significance of the impact on soils can be estimated. Finally, suitable prevention and mitigation measures are identified.

In practice, the installation of geothermal collectors is largely subject to water law. Depending on the location, there is often a notification or approval requirement, especially if groundwater is reached. In water protection areas or other water-sensitive areas, restrictions or bans may apply. The location therefore determines the local risks from the perspective of water and soil protection. The potential suitability of a location also depends on the annual energy supply from solar radiation, precipitation and the thermal conductivity of the soil. Some federal states have map portals that provide information on the potential uses of geothermal collectors.

Geothermal collectors are pipe systems laid in the ground. They use the energy stored in the ground as a heat source for geothermal heat pumps. They therefore represent a sustainable heating alternative to fossil fuel heating systems. Geothermal probes, geothermal collectors and groundwater wells are classified as near-surface geothermal energy. Unlike geothermal probes, which reach depths of around 100 m in private residential construction, geothermal collectors extract heat from a depth of only 1 to 2 m. The construction of geothermal collectors requires significantly more space than geothermal probes.

There are a variety of types of systems: flat-plate collectors, spiral collectors, trench collectors and geothermal collectors. Most pipes are made of polyethylene. The heat transfer medium flows through these pipes to the geothermal heat pump. The dimensions of the system depend on the heat demand and the specific heat extraction capacity of the ground. The annual operating time and the spacing of the collector pipes are also decisive factors.

The soil protection requirements for construction include, in particular, the avoidance of soil compaction caused by heavy machinery and by working on soil that is too wet and unstable. During excavation and temporary storage, strict separation between topsoil and subsoil must be ensured in order to prevent substrate mixing. Excavated soil must be protected in accordance with its original condition. During backfilling, the soil must be replaced in accordance with its original soil structure and original storage density. The creation of a project-specific soil protection concept in accordance with DIN 19639 identifies the necessary and appropriate measures to prevent and mitigate potential damage to soil. Soil protection requirements must also be taken into account during system decommissioning. The heat transfer fluid must be disposed of properly in all cases.

The impact of the system is caused by the displacement of natural soil material at the installation depth, which can alter root penetration and usable field capacity. In the event of a leak, there are still uncertainties regarding potential environmental impacts, particularly with regard to potential groundwater contamination due to the deep migration of refrigerants. Groundwater recharge is not impaired in correctly dimensioned installations, as these do not create permanent frozen areas and therefore ensure that infiltration continues to take place.

The operation of geothermal collectors causes a change in the heat balance in the immediate vicinity of the collectors. Based on a few empirical studies, it can be assumed that the environmental impact of cooling during the heating period or, if applicable, warming during the cooling of buildings is low. To date, delayed development has been observed in some vegetation, particularly at the beginning of the growing season. Soil microorganisms are likely to be affected by

fluctuating soil temperatures only locally and temporarily. Long-term monitoring of possible effects on soil life is currently lacking, so no definitive conclusions can be drawn.

Practical examples show a wide variety of different types of geothermal collectors. In the field of cold local heating, which uses heat sources from the surrounding area and therefore has low operating temperatures, more large-scale collector systems are being built. Research and development are also being carried out into alternative installation methods. For example, in agricultural fields, collector pipes can be ploughed directly into the ground to minimize soil disturbance.

The majority of heating systems in Germany are powered by fossil fuels. Although there has been an increase in heat pumps in recent years, the proportion of geothermal heat pumps is very low. The use of geothermal collectors across Germany is therefore also low. This area could increase due to a rise in the use of cold district heating.

To mitigate construction-related impacts, attempts can be made to reduce the overall area affected. This can be achieved by selecting a suitable location, choosing the right system and designing the construction project accordingly. The intensity of the impact can be reduced by taking measures to protect the soil. These include strategies to prevent soil compaction and substrate mixing, as well as measures for backfilling and suitable measures for restoring rootable soil layers.

In contrast to construction-related measures, little can be adapted or changed from a soil protection perspective to reduce system-related impacts. To reduce operational impacts, attempts can be made to improve the microclimate at sensitive locations. For example, wind-exposed areas can be protected by hedges or walls.

In future, further research should be conducted into the environmental impact of geothermal collectors. This includes, above all, the impact on vegetation and soil life. Raising awareness among all parties involved during the planning and construction phases can contribute to improved soil protection.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

In Deutschland ist die Heizung der mit Abstand größte Erzeuger von CO₂-Emissionen im Haushalt. Etwa 35 % der Energie werden in Deutschland eingesetzt, um Gebäude zu beheizen. Das verursacht rund 25 % der CO₂-Emissionen. Um die langfristigen energie- und klimapolitischen Ziele umsetzen zu können, muss das Heizen nachhaltiger gestaltet werden. Im Gegensatz zu Heizungssystemen, die mit fossilen Energieträgern arbeiten, stellen Wärmepumpen und Umgebungswärme eine nachhaltige Alternative dar. Grundwasser und Erdwärme bieten gerade während der Heizperiode konstant höhere Temperaturen als Außenluft. Doch im Gegensatz zu Luft-Wärmepumpen muss bei einer Erdwärmepumpe die Wärmequelle zuerst erschlossen werden.

Erdwärmekollektoren und -sonden sind im Boden verlegte Rohrsysteme. Die Kollektoren entziehen dem Boden Wärme, mit der der Wärmebedarf von Gebäuden gedeckt werden kann. Oberflächennahe Erdwärme wird in Einzelanlagen zur Beheizung und Warmwasserversorgung von Ein- und Zweifamilienhäusern genutzt. Mehrere gekoppelte Anlagen eignen sich zur Wärme- und Warmwasserversorgung größerer Gebäudekomplexe.

Die Bodeneingriffe zum Bau und Betrieb derartiger Anlagen sind vergleichsweise groß. Bei klassischen Erdwärmekollektoren ist von einer etwa doppelt so großen Anlagenfläche im Verhältnis zur zu beheizenden Wohnfläche auszugehen. Die oberflächennahen Erdwärmekollektoren werden in Tiefen zwischen ca. 1 bis 2 m unter Geländeoberfläche verlegt. Je Wohneinheit mit einer beheizten Wohnfläche von 150 m² wird bei der Anlageninstallation ein Bodenvolumen von ca. 300 bis 600 m³ bauzeitlich ausgehoben, zwischengelagert und wieder rückverfüllt. Im Betrieb wird zumindest dieses Bodenvolumen durch den Wärmeentzug funktional beeinflusst. Zur Bettung der Anlage werden zumeist externe mineralische Bettungssubstrate verwendet, so dass der natürliche Bodenaufbau verändert wird. Im Falle von Leckagen können sowohl der Boden als auch das Grundwasser durch eingesetzte Frostschutz- und/oder Kältemittel beeinträchtigt werden.

1.2 Zielsetzungen

Angesichts der im Zuge der Energiewende zu erwartenden steigenden Anzahl von Erdwärmekollektoren stellen sich Fragen zum vorsorgenden Bodenschutz. Dabei ist von zentraler Bedeutung, wie die Energiewende, speziell der Bau und Betrieb von Erdwärmekollektoren, mit den Anforderungen des vorsorgenden Bodenschutzes zu vereinbaren ist.

Um diese zentrale Zielsetzung bestmöglich zu erreichen, bedarf es einer objektiven Betrachtung der Beeinträchtigungsmöglichkeiten und angepasster Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen. Ein Baustein für die bodenschutzfachliche Bewertung von Erdwärmekollektoren ist die systematische Erfassung der Beeinträchtigungsmöglichkeiten.

Aufbauend auf den zu recherchierenden bodenfunktionalen Auswirkungen von Erdwärmekollektoren werden die drei Schwerpunkte des Vorhabens in den folgenden Kapiteln bearbeitet:

- Rechtliche und fachliche Anforderungen an Bau und Betrieb von Erdwärmekollektoren
- Abschätzung des Ausmaßes und Erheblichkeit von Auswirkungen auf Böden
- Geeignete Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.

2 Rechtliche und fachliche Anforderungen an Bau und Betrieb von Erdwärmekollektoren

2.1 Darstellung des geltenden rechtlichen Rahmens

Die wesentlichen Rechtsgrundlagen und Normen werden nachfolgend zusammengefasst. Weitere Anforderungen zur Nutzung der Erdwärme durch Erdwärmekollektoren werden in den Leitfäden und Broschüren der Bundesländer beschrieben.

Bei der Erschließung von Erdwärmequellen müssen Bohrungen, die tiefer als 100 m in den Untergrund eindringen, nach dem Bundesberggesetz vor Durchführung der Bergbehörde angezeigt werden. Dies kann beispielsweise bei Erdwärmesonden der Fall sein. Erdwärmekollektoren sind aufgrund ihrer flachen Verlegung von dieser Regel nicht betroffen. Das Geologiedatengesetz (GeolDG) regelt die Erfassung, Speicherung und Weitergabe geologischer Daten, welche beispielsweise bei Vorerkundungen der Flächen anfallen können. Geologische Untersuchungen müssen der zuständigen Behörde angezeigt und geologische Daten übermittelt werden (§§ 8 bis 10 GeolDG). Abweichende Regelungen für den Tiefenbereich 0 bis 10 m können in den Regelungen der Länder auftreten (§ 2 Abs. 5 GeolDG).

Besteht Kontakt zum Grundwasser oder liegt die Fläche innerhalb von Wasser- und Heilquellenschutzgebieten, gelten die Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) in Verbindung mit den Wassergesetzen der Länder. Ein Anzeige- bzw. Erlaubnisverfahren läuft über die jeweilige untere Wasserbehörde. Auch wenn sich die Arbeiten mittelbar oder unmittelbar auf die Bewegung, die Höhe oder die Beschaffenheit des Grundwassers auswirken, besteht mindestens einen Monat vor Beginn der Bauarbeiten eine Anzeigepflicht (§ 49 WHG). Wird während der Bauphase unvorhergesehener Weise das Grundwasser erschlossen, muss dies der Wasserbehörde angezeigt werden und die Baumaßnahmen vorerst gestoppt werden. Durch Landesrecht können abweichende Regelungen getroffen werden, so dass beispielsweise in Nordrhein-Westfalen die Anzeigepflicht entfallen kann (§ 34 Landeswassergesetz Nordrhein-Westfalen).

In wasserwirtschaftlich sensiblen Gebieten ist besondere Vorsicht geboten, so dass beim Bau ggf. gesonderte Anforderungen gestellt werden können und es zu einem Verbot kommen kann. Dazu zählen Wasserschutz- und Heilquellenschutzgebiete, Gebiete zur Trinkwassergewinnung, Gebiete mit bestehenden Boden-/Grundwasserverunreinigungen, Standorte mit (aktivem) Bergbau, Überschwemmungsgebiete oder überschwemmungsgefährdete Gebiete.

Trinkwasserschutzgebiete sind in verschiedene Schutzzonen gegliedert: Der Fassungsbereich (Zone I) soll vor unmittelbaren Gefahren schützen. In der engeren Schutzzone (Zone II) sollen Verunreinigungen durch pathogene Mikroorganismen (zum Beispiel Bakterien) verhindert werden. Die weitere Schutzzone (Zone III) dient dem Schutz vor weitreichenden Beeinträchtigungen, insbesondere vor chemischen oder radioaktiven Verunreinigungen. Letztere kann in die Teilzonen III A und III B unterteilt werden, wobei III A näher an der Wassergewinnung und III B weiter entfernt liegt. Der Schutz des Grundwassers steht über der Nutzung der Erdwärme, so dass die Nutzung von Erdwärme in den Wasserschutzgebietszonen I und II grundsätzlich verboten ist. In den Zonen III/III A/III B können Erdwärmekollektoren unter bestimmten Voraussetzungen, wie etwa der fehlende Kontakt zum Grundwasser oder das Einbringen von Dichtschichten, zugelassen werden. Es gelten die jeweiligen Schutzgebietsverordnungen und sind bei der jeweiligen Wasserbehörde zu erfragen.

Für Erdwärmekollektoren, in denen wassergefährdende Stoffe im Bereich der gewerblichen Wirtschaft oder im Bereich öffentlicher Einrichtungen verwendet werden, gelten gesonderte Anforderungen (§ 35 Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV)). Alle anderen Erdwärmeanlagen unterliegen den allgemeinen Sorgfaltspflichten gemäß § 5 WHG und müssen so eingebaut und betrieben werden, dass mit der nach den Umständen erforderlichen Sorgfalt keine nachteilige Gewässerveränderung besteht.

Neben Wasser oder nicht wassergefährdenden Stoffen dürfen nur Wärmeträgermedien aus der Positivliste¹ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) verwendet werden. Diese Liste wird fortlaufend aktualisiert. Für eine korrekte Auslegung, einer geeigneten Materialwahl und richtigen Ausführung von Bohrungen, Installation und Systemeinbindung von Anlagen zur thermischen Nutzung des Untergrunds beinhaltet die Richtlinie des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) 4640 Hinweise, Informationen und Angaben (VDI 4640, Blatt 1 und Blatt 2).

Allgemein sind die bodenschutzrechtlichen Anforderungen im Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) festgelegt. Das BBodSchG enthält die Pflicht zur nachhaltigen Sicherung der Bodenfunktionen und zur Abwehr schädlicher Bodenveränderungen (§ 1 BBodSchG), zur Sanierung schädlicher Bodenveränderungen (§ 4 BBodSchG) und die Vorsorgepflicht zur Verhinderung des Entstehens von schädlichen Bodenveränderungen (§ 7 BBodSchG). Dies bedeutet für den Ausbau von Erdwärmekollektoren, dass Böden nach Beendigung der Baumaßnahmen ihre natürlichen Bodenfunktionen wieder möglichst vollständig übernehmen sollen. Weitergehende rechtliche Anforderungen an den unschädlichen Umgang mit Bodenmaterial während Baumaßnahmen, also auch während der Errichtung von Erdwärmekollektoren, ergeben sich aus der BBodSchV. Nach § 4 Abs. 3 BBodSchV müssen Vorkehrungen getroffen werden, um während Baumaßnahmen die physikalischen Einwirkungen zu vermeiden oder wirksam zu vermindern. Bei den erforderlichen Bodenarbeiten im Zuge der Errichtung von Erdwärmekollektoren sind Verdichtungen, Vernässungen und sonstige nachteilige Einwirkungen auf den Boden durch geeignete Maßnahmen zu vermeiden oder wirksam zu vermindern (§ 6 Abs. 9 BBodSchV). Die entsprechenden Anforderungen der DIN 19639, der DIN 19731 und der DIN 18915 sind zu beachten. Darüber hinaus ist bei Bodenarbeiten auf einen guten Bodenaufbau und ein stabiles Bodengefüge zu achten (§ 6 Abs. 10 BBodSchV). Die verwendeten Bodenmaterialien müssen geeignet sein, die für den Standort erforderlichen Bodenfunktionen sowie die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens zu sichern oder wieder herzustellen.

Konkretisiert werden die gesetzlichen Vorgaben zur Verhinderung schädlicher Bodenveränderungen bei Baumaßnahmen in der DIN 19639 – Baubegleitender Bodenschutz. Diese Vorgaben gelten insbesondere, wenn die Erdwärmekollektoren nach Bauabschluss unter Landwirtschafts- oder Gartenbauflächen im Außenbereich sowie unter Vegetationsflächen im Siedlungsbereich liegen, da diese Flächen wieder ihre natürlichen Bodenfunktionen erfüllen sollen.

2.2 Standortauswahl

Die Standortauswahl bestimmt maßgeblich die Anlagengröße, die Wärmeergiebigkeit des Untergrunds und mögliche Risiken bzw. Einschränkungen durch die Lage. Zur Dimensionierung der Anlage sind gemäß VDI-Richtlinie 4640 zwei Standortfaktoren wesentlich: die jährliche Energiezufuhr durch Einstrahlung und Niederschläge und die Wärmeleitfähigkeit des Bodens.

¹ <https://www.lawa.de/Publikationen-363-Waermetraeger,-Erdwaerme-.html> (22.08.2025).

Informationen zur oberflächennahen Geothermie stehen in jedem Bundesland zur Verfügung. In den Leitfäden bzw. Broschüren der Bundesländer werden Hinweise und Anforderungen zur Nutzung von Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren im Bereich Ein- bis Mehrfamilienhäuser zusammengefasst. Zusätzlich stehen Hilfsmittel wie Kartenportale in jedem Bundesland zur Verfügung, welche auch Informationen zur Geothermie beinhalten. Allerdings liegt der Fokus meist auf Erdwärmesonden. In unterschiedlichen Maßstäben kann die Wärmeleitfähigkeit bis 100 m Tiefe und ggf. Zulassungsbeschränkungen dargestellt werden. Abfragen zu Erdwärmekollektoren stehen nicht in jedem Bundesland zur Verfügung. Teilweise sind jedoch auch genaueste Standortabfragen möglich. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die von den Kartenportalen zur Verfügung gestellten Informationen.

Tabelle 1: Überblick über die von den Kartenportalen zur Verfügung gestellten Informationen zur Nutzung von Erdwärmekollektoren der jeweiligen Bundesländer (Stand 05.08.2025).

Bundesland	EWK	Parameter
Baden-Württemberg	ja	Geothermisches Potenzial: Spezifische Wärmeleitfähigkeit ($W/(m \cdot K)$) für Einbautiefe 1 - 2 m Einschränkungen/Risiken: WSG und andere sensible Gebiete, Grabbarkeit, Grundwasserstand (< 1 m)
Bayern	ja	Nutzungsmöglichkeit (WSG, Gewässer), Hangneigung, Exposition, Grabbarkeit, Sickerwasserrate, Spezifische Wärmeleitfähigkeit ($W/(m \cdot K)$) für Einbautiefe 0 - 2 m
Berlin	nein	
Brandenburg	(ja)	Flächenbedarf hoch/niedrig
Bremen ¹⁾	nein	
Hamburg ¹⁾	nein	
Hessen	nein	
Mecklenburg-Vorpommern	nein	
Niedersachsen ¹⁾	ja	Nutzungsbedingungen für EWK: WSG, Gefährdungsbereiche, geringer Grundwasserstand Potenzielle Standorteignung (spez. Wärmeentzugsleistung (W/m^2) für Einbautiefe 1,2 – 1,5 m, ungeeignet: Fels/Felsgestein)
Nordrhein-Westfalen	ja	Spezifische Wärmeleitfähigkeit ($W/(m \cdot K)$) für Einbautiefe 0 - 2 m, ungeeignet: Lockergestein < 1 m, Grundwasser 0 - 1 m
Rheinland-Pfalz	ja	Potenzielle Eignung von Böden für EWK: Eignung des Bodens: Tiefgründigkeit, Staunässe, Grundwasser, Erlaubnisfähigkeit Spezifische Wärmeleitfähigkeit ($W/(m \cdot K)$) für Einbautiefe 0 - 2 m
Saarland	nein	
Sachsen	nein	
Sachsen-Anhalt	nein	
Schleswig-Holstein ¹⁾	ja	Potenzielle Standorteignung
Thüringen	nein	

1) Anzeige über Norddeutsche Bohranzeige möglich.

EWK: Anzeige von Erdwärmekollektoren im Kartenportal. WSG: Wasserschutzgebiete.

Die genutzten Parameter zur Standortauswahl beziehen sich zum einen auf das geothermische Potenzial und zum anderen auf Nutzungseinschränkungen. Das geothermische Potenzial wird meist über die spezifische Wärmeleitfähigkeit ($W/(m \cdot K)$) des Bodens definiert. Sie gibt an, wie viel thermische Energie in Form von Wärme durch den Boden fließen kann und wird für die Nutzung von Erdwärmekollektoren für die obersten 2 m angegeben. Parameter zur Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit sind der Wassergehalt, die Trockenrohdichte und die Bodenart. Eine potenzielle Standorteignung wird teilweise über die spezifische Wärmeentzugsleistung (W/m^2) definiert, welche abhängig von der Wärmeleitfähigkeit des Standortes ist und mit der Bodenart und dem Wassergehalt variiert. Als ungünstig gelten trockene, sandige Böden mit großem Grundwasserflurabstand. Aufgrund der kleinräumigen Heterogenität der Böden kann eine zumeist detaillierte Standortuntersuchung mittels Bohrungen nicht durch eine ausschließlich auf Kartenmaterial basierte Untersuchung ersetzt werden. Die Ad-hoc-AG Boden zeigt ebenfalls in ihrer Methodendokumentation auf, welche Informationen herangezogen werden müssen, um die Eignung des Bodens für die geothermische Nutzung beurteilen zu können sowie Verfahren darzustellen.²

Nutzungseinschränkungen ergeben sich durch eine erschwerte Grabbarkeit des Bodens oder durch die Lage an sich (Gewässer, Wasserschutz- und Heilquellengebiete). Hinweise zum Grundwasserstand, wie sie sowohl den bodenkundlichen Kartenwerken der Geologischen Dienste der Bundesländer als auch Bohrungsdaten entnommen werden können, sind wertvolle Informationen zur Planung von Erdwärmekollektoren. Eine Abstimmung mit den zuständigen Behörden wird in jedem Falle empfohlen.

Das Forschungsvorhaben „WärmeGut“³ hat als Ziel einen bundesweiten einheitlichen Überblick über die Oberflächennahe Geothermie zu geben. Hierfür werden Ampelkarten erstellt, welche im Geothermischen Informationssystem GeotIS4 abrufbar sind. Diese zeigen auf wo die Technologien der Oberflächennahen Geothermie eingesetzt werden können (Erdwärmesonden und -kollektoren). Die Seite befindet sich derzeit für Erdwärmekollektoren noch im Aufbau.

2.3 Bodenschutzfachliche Anforderungen an Bau und Rückbau

Der vorsorgende Bodenschutz zielt primär darauf ab, die Funktionen des Bodens nachhaltig zu sichern oder wiederherzustellen. Hierzu sind schädliche Bodenveränderungen abzuwehren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen. Bei Einwirkungen auf den Boden sollen Beeinträchtigungen seiner natürlichen Funktionen sowie seiner Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte so weit wie möglich vermieden werden. Auf diesen Grundsätzen lassen sich folgende Anforderungen in Bezug auf Erdwärmekollektoren erstellen.

2.3.1 Bodenschutzfachliche Anforderungen an den Bau

Um die wesentlichen Beeinträchtigungen auf den Boden während des Baus von Erdwärmekollektoranlagen zu reduzieren, sollte die Fläche vorab erkundet werden, um entsprechend der Lage der Baumaßnahme, des vorhandenen Bodens und des Bodenaufbaus Maßnahmen zur Vermeidung und Minderung der Auswirkungen ergreifen zu können.

² https://www.infogeo.de/Infogeo/DE/PDF_Pool/bod_meth_erdwaermekollektoren_9_1.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (10.11.2025).

³ <https://www.waermegut.de/> (22.08.2025).

⁴ <https://www.geotis.de/geotisapp/geotis.php> (22.08.2025).

Um eine schädliche Bodenverdichtung durch Baufahrzeuge zu vermeiden, müssen zum einen die standörtliche Verdichtungsempfindlichkeit, die im Wesentlichen anhand der Feinbodenkörnung, des Grobboden- und Humusgehalts sowie des Vernässungsgrades durch Grund- und Stauwassernässe beeinflusst wird, und zum anderen die Witterungseinflüsse berücksichtigt werden. Die aktuelle Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens kann entsprechend ihrer aktuellen Konsistenz oder der Wasserspannung eingestuft und bewertet werden (DIN 19639, Tabelle 2). Mit Hilfe eines Nomogramms kann der maximal zulässige Kontaktflächendruckes von Maschinen auf Böden ermittelt werden (DIN 19639, Bild 2). Sollen schwerere Arbeitsmaschinen zum Einsatz kommen, die den maximal zulässigen Kontaktflächendruck überschreiten, müssen entweder zusätzliche lastverteilende Maßnahmen ergriffen werden oder der Maschineneinsatz muss so lange ausgesetzt werden, bis der Boden entsprechend abgetrocknet und wieder ausreichend tragfähig ist.

Während des Aushubs muss der Oberboden getrennt vom Unterboden erfolgen. Die Mieten dürfen gemäß DIN 19639 beim Oberboden nicht höher als 2 m und beim Unterboden nicht höher als 3 m sein. Liegt ein deutlicher Wechsel der vertikalen Abfolge der Bodeneigenschaften vor, muss eine Mehrfachtrennung des Unterbodens erfolgen. Bei der Zwischenlagerung muss auf eine strikte Trennung geachtet werden und vorab das entsprechende Platzangebot zur Zwischenlagerung einkalkuliert werden. Da bei der Verlegung von Erdwärmekollektoren meistens eine rasche Rückverfüllung erfolgt, bedarf es i.d.R. keiner aktiven Begrünung und Mietenpflege. Wird von der Regel abgewichen, muss eine Zwischenbegrünung durchgeführt werden, wenn eine Lagerungsdauer von mehr als zwei Monaten zu erwarten ist. Es muss bei der Zwischenlagerung darauf geachtet werden, den Bodenaushub entsprechend des Ausgangszustands zu schützen; Befahrungen der Bodenmieten oder das Ablagern von Baumaterialien sind zu unterlassen. Bei der Rückverfüllung muss der Boden entsprechend seines ursprünglichen Bodenaufbaus und seiner ursprünglichen Lagerungsdichte eingebracht werden. Fallen Überschussmassen an, müssen diese entsprechend den Anforderungen nach DIN 19731 und BBodSchV (§§ 6 bis 8) möglichst hochwertig verwendet werden.

Je nach Folgenutzung der Erdwärmekollektor-Flächen kann eine Zwischenbewirtschaftung mit intensiv den Boden durchwurzelnden Saatgutmischungen sinnvoll sein, um die Regeneration des Bodengefüges und Bodenlebens zu fördern.

Wenn die Erdwärmekollektoren auf Böden unter landwirtschaftlicher, gärtnerischer Nutzung oder unter sonstigen Vegetationsflächen errichtet werden, insbesondere bei der Inanspruchnahme von Böden mit hoher Funktionserfüllung, bei besonders empfindlichen Böden oder bei einer Eingriffsfläche über 5.000 m², sollte ein vorhabenbezogenes Bodenschutzkonzept nach DIN 19639 erstellt werden. In § 4 Abs. 5 BBodSchV wird bereits ab 3.000 m² die Möglichkeit eröffnet, eine Bodenkundliche Baubegleitung durch die zuständige Behörde einzufordern. Durch eine bodenkundliche Baubegleitung, die ein solches Bodenschutzkonzept anhand der Standortrespektive Bodeneigenschaften aufstellt und die bauliche Durchführung fachlich begleitet, kann ein hohes Schutzniveau für die beanspruchten Böden erreicht werden.

2.3.2 Bodenschutzfachliche Anforderungen an den Rückbau

Gemäß VDI 4640, Blatt 2, Abschnitt 13.3.2 wird beim Rückbau der Wärmepumpen gefordert, dass das Wärmepumpenarbeitsmittel und das Kältemaschinenöl fachgerecht zu entsorgen sind. Aus den Erdwärmekollektoren muss die Wärmeträgerflüssigkeit mit Frischwasser vollständig ausgespült werden und fachgerecht entsorgt werden. Ein tatsächlicher Ausbau von Erdwärmekollektoren ist aus wasserwirtschaftlicher Sicht nur dann zwingend erforderlich, wenn das Rohrmaterial die Anforderungen von VDI 4640 Blatt 1, Abschnitt 9.1 nicht erfüllt. Demnach sol-

len Anlagen ausgebaut werden, welche aus anderen Materialien als Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) oder Polybutylen (PB) bestehen. Giftige oder nicht korrosionssichere Materialien sollen erst gar nicht in den Untergrund eingebaut werden. Eine Stilllegung und ein Rückbau sind der zuständigen Genehmigungsbehörde anzuzeigen. Die LAWA empfiehlt, dass Erdwärmekollektoren möglichst aus dem Untergrund entfernt werden sollten.

Aus Sicht des Bodenschutzes ist ein Ausbau der Erdwärmekollektoren generell anzustreben und eine Wiederherstellung der ursprünglichen standortgerechten Bodeneigenschaften einzufordern. Allerdings ist ein vollständiger Rückbau unter bestimmten Bedingungen nicht immer sinnvoll, insbesondere dann, wenn sich während der Anlagenlaufzeit ein gut durchwurzelbarer Bodenaufbau ohne bedeutsame physikalische und sonstige Beeinträchtigungen oberhalb der Anlagenteile eingestellt haben sollte. Durch einen vollständigen Ausbau findet ein erneuter intensiver Eingriff in den Boden statt, wodurch die Bodenfunktionen und das Bodenleben erneut gestört werden. So könnte es u. a. zu einer potenziellen Verdichtung des Bodens und zu einer Änderung des Bodengefüges kommen.

Das am häufigsten verwendete Material bei Erdwärmekollektoren sind Kunststoffrohre, die etwa aus PE, PP oder PB bestehen. Insbesondere werden PE-Rohren eine sehr lange Lebensdauer von etwa 50 bis 100 Jahre nachgesagt (Chen et al. 2023; Hessel 2007). Neben mechanischer Belastung trägt die UV-Strahlung wesentlich zum Alterungsprozess von den genannten Kunststoffen bei, so dass eine sachgemäße Lagerung vor dem Einbau bereits zu einer verlängerten Lebensdauer der Rohre beiträgt. Wissenschaftliche Langzeituntersuchungen, die explizit die Lebensdauer von Erdwärmekollektoren behandeln, gibt es nicht, so dass die Ergebnisse anderer Studien übertragen und extrapoliert werden müssen. Falls Kollektoren im Boden verbleiben, ist ein Zerfall nicht ausgeschlossen, so dass Kunststoffrückstände bzw. -abbauprodukte und letzten Endes Mikroplastik im Boden verbleiben können. Ein vollständiger Rückbau aller Bauteile einschließlich des Bettungsmaterials würde die Wiederherstellung des ursprünglichen Bodenaufbaus ermöglichen; Voraussetzung dafür ist die Beschaffung von standorttypischen Bodenmaterial als Ersatz für das ausgebaute Volumen für Anlagenteile und Bettungsmaterial.

Zusammenfassend sollte aus Sicht des vorsorgenden Bodenschutzes der vollständige Rückbau aller Anlagenteile einschließlich des Bettungsmaterials angestrebt werden. Ein Belassen von Erdwärmekollektoren und Bettungsmaterial im Boden kann im Einzelfall sinnvoll sein, wenn folgende Abwägungskriterien zutreffen sollten:

- ▶ hohe bis sehr hohen Verdichtungsempfindlichkeit der Bodenschicht oberhalb der Kollektoren
- ▶ gut bis sehr gut ausgeprägte Gefügemerkmale bzw. natürliche Bodenfunktionen, wie u. a. die Funktionen im Wasser- und Stoffhaushalt oder die Puffer- und Filterfunktionen zum Schutz des Grundwassers
- ▶ bei einem wertvollen Vegetationsbestand.

Die Entscheidung, ob das Belassen der Anlage bodenschutzfachlich vertretbar ist, sollte im Zuge einer sachverständigen bodenschutzfachlichen Begutachtung oder einer Entscheidung der örtlichen Bodenschutzbehörde gefällt werden.

3 Abschätzung des Ausmaßes und der Erheblichkeit von Auswirkungen auf Böden

Das Ausmaß und die Erheblichkeit der Auswirkungen von Erdwärmekollektoren auf Böden werden anhand von Wirkfaktoren systematisch beurteilt. Es ist zwischen folgenden potenziellen Auswirkungen, denen spezifische Wirkfaktoren zugeordnet werden können, zu differenzieren:

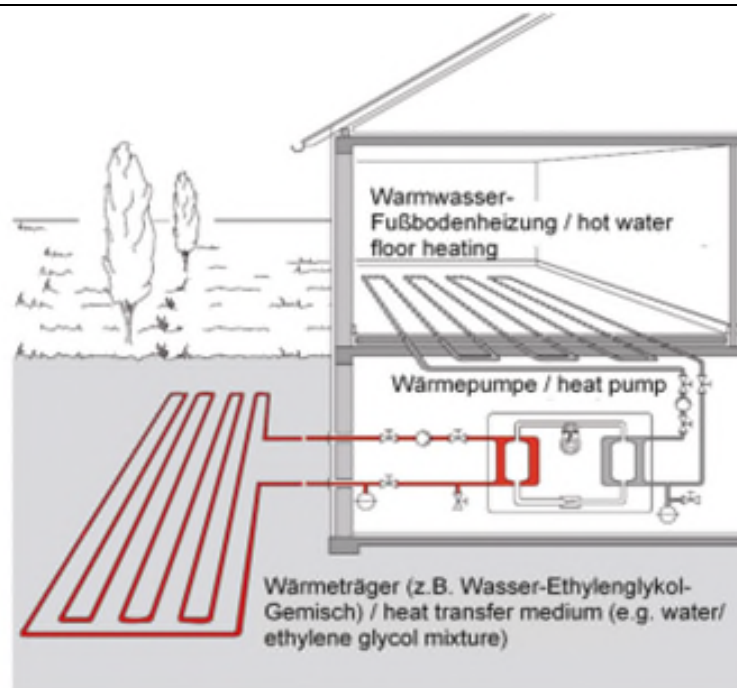
- Baubedingte Auswirkungen
- Anlagenbedingte Auswirkungen
- Betriebsbedingte Auswirkungen.

Um die Dimensionen und Heterogenität von Erdwärmekollektoranlagen zu veranschaulichen, stellen wir Beispiele verschiedener Großprojekte vor. Außerdem stellen wir die aktuellen Absatzzahlen und Entwicklung von Erdwärmekollektoren dar, um das Ausmaß und die Erheblichkeit abschätzen zu können, und kombinieren diese mit den Auswirkungsmaßen.

3.1 Erdwärmekollektor-Typen und -Bauweisen

Es gibt verschiedene Varianten von Erdwärmekollektoren, welche unterschiedlich in den Boden installiert werden können. Das Prinzip des Wärmeentzugs aus dem Boden ist bei allen gleich: in den Kollektorrohren fließt ein Wärmeträgermedium, die Sole oder eine andere geeignete Flüssigkeit, und entzieht dem umliegenden Boden Wärme. Die gängigsten Varianten stellen horizontal ausgelegte Flächen- oder Flachkollektoren dar (siehe Abbildung 1). Diese werden mäander- oder schlangenförmig ausgelegt.

Abbildung 1: Schema einer Wärmepumpe mit Erdwärmekollektor



Quelle: VDI 4640 Blatt 2, S. 19.

Werden die Rohre spiralförmig ausgelegt, bezeichnet man diese als Spiralkollektoren. Diese können horizontal oder vertikal in den Boden verbaut werden. Kompaktabsorber sind Flachkollektoren, welche aus Kapillarrohrmatten bestehen. Dabei bestehen die einzelnen Stränge aus vielen

kleinen vernetzten Rohren. Durch eine langsamere Strömungsgeschwindigkeit und einen dadurch verbesserten Wärmeentzug kann sich der Flächenbedarf deutlich reduzieren. Darüber hinaus können Kollektoren auch in Gräben oder als Korb verlegt werden. Grabenkollektoren werden an den Wänden von offenen Gräben befestigt. Erdwärmekörbe werden vertikal in den Boden eingebracht. Die Einbautiefe ist etwas tiefer als bei Erdwärmekollektoren. Werden zwei Kollektoren übereinander gebaut, nennt man dies „Sandwichbauweise“.

Abbildung 2: Beispiele eines Erdwärmekorbes (links) und eines Grabenkollektors (rechts)



Quellen: Links – BetaTherm GmbH & Co. KG (Erdwärmekorb). Rechts – energie-experten.org (Grabenkollektor).

Bei den Bautypen kann zwischen Anlagen mit Wärmeträgerkreislauf und mit Direktverdampfung unterschieden werden. Bei der Anlage mit Wärmeträgerkreislauf strömt das Wärmeträgermedium (Sole) durch meist Polyethylen-(PE-)Rohre zum eigentlichen Wärmepumpenkreislauf (Kältemittel). Hierfür benötigt man eine Sole-Umwälzpumpe. Bei einer Anlage mit Direktverdampfung wird der Kollektor vom Kältemittel des Wärmepumpenkreislauf durchströmt. Bei diesen Anlagen werden meist Kupferrohre mit einer PE-Beschichtung verwendet. Alle erlaubten Rohrmaterialien werden in der VDI-Richtlinie 4640 aufgelistet (Blatt 2, Abschnitt 12).

Eine Sonderform bilden Eisspeicher. Eisspeicher bestehen aus unterirdischen Wassertanks, in denen Spiralleitungen verlegt sind. In diesen Leitungen fließt das Wärmeträgermedium und entzieht dem Wasser die Wärmeenergie und führt diese zur Wärmepumpe. Durch das Gefrieren des Wassers wird einerseits latente Wärme freigesetzt und andererseits kann das vorhandene Eis zur passiven Gebäudekühlung im Sommer genutzt werden. Eine erweiterte Form bilden Erdeisspeicher (Kapitel 3.5.3).

Die Größe der Anlage richtet sich einerseits nach dem Wärmebedarf und der technischen Effizienz des zu versorgenden Gebäudes und andererseits nach der spezifischen Wärmeentzugsleistung des Bodens. Die Wärmeentzugsleistung eines nicht-bindigen, sandigen Bodens ist beispielsweise bei terrestrischen, nicht vernässten Standorten geringer als bei grundnassen Standorten (Dehner et al. 2007). Auch die Jahresbetriebsdauer und die Abstände der Kollektorrohre sind

entscheidend. Die VDI-Richtlinie 4640 gibt Auslegungswerte für Erdwärmekollektoren an. Hierbei wurden die maximale flächenspezifische Entzugsleistung und die maximale flächenspezifische Jahresentzugsenergie abhängig von der Bodenart (Sand, Lehm, Schluff, sandiger Ton) und der Klimazone (nach DIN 4710) bestimmt, bei der weder die Umwelt negativ beeinflusst noch die Wärmepumpenanlage beschädigt werden sollen (Beispiel in Tabelle 2). Ramming (2007) stellt in seiner Dissertation ein numerisches und analytisches Rechenmodell vor, welches die wichtigsten Einflussfaktoren berücksichtigt. Die VDI-Richtlinie 4640 beruft sich bei der Darlegung der Auslegungskriterien auf diese Untersuchungen.

Tabelle 2: Ausschnitt aus der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 (Tabelle A2): Horizontale Erdwärmekollektoren, Maximalwerte der flächenspezifischen Entzugsleistung und Entzugsenergie für PE-Rohr 32 mm × 3,0 mm.

Klimazone 4	Sand	Lehm	Schluff	Sandiger Ton
Entzugsleistung (W/m ²)	23	30	33	36
Entzugsenergie (kWh/(m ² ·a))	34	45	49	54
Volllaststunden (h/a)	1500	1500	1500	1500
Rohrabstand (m)	0,25...0,35	0,5...0,6	0,5...0,6	0,5...0,6

3.2 Baubedingte Auswirkungen

Im Vergleich zu alternativen Wärmequellen für Wärmepumpen ist die Verlegung von Flächenkollektoren zur Warmegewinnung aufwendig und stellt einen intensiven Eingriff in den Boden dar. Um die Kollektorfläche vorzubereiten, muss in den meisten Fällen der Ober- und Unterboden bis in eine Tiefe von bis zu 2 m auf der gesamten Kollektorfläche abgetragen werden. In der VDI-Richtlinie 4640 ist die korrekte Auslegung thermischer Anlagen zur Nutzung des Untergrundes nach dem neuesten Stand der Technik dargestellt. So soll die Einbautiefe 1,2 m bis 1,5 m betragen. Dabei ist zu beachten, dass die Tiefe mindestens 30 cm unter der Frosttiefe liegen muss.

Zur Vorbereitung der Rohrverlegung muss die Fläche von größeren Steinen und Wurzeln befreit werden. Als Bettungsmaterial soll Sand verwendet (VDI 4640). Zur Optimierung der Wärmeleitfähigkeit könnte das sandige Bettungsmaterial ähnlich dem zeitweise fließfähigen und selbsterdichtenden Verfüllbaustoffen, wie sie bei der Erdverkabelung⁵ eingesetzt werden, u. a. mit Tonmineralen, Kalk und Zement aufbereitet werden (FGSV 2025).

Zum Teil erfolgt ein zusätzliches Einschlämmen der Rohre, um Hohlräume im Bettungsmaterial zu vermeiden. Die Installation des Verteilers erfolgt in Beton- oder Kunststoffschächten. Dann kann das Leitungssystem mit einem Wärmeträgermedium befüllt werden. Nach einer erfolgreichen Druckprüfung der Anlage kann der Boden rückverfüllt werden.

Die Verlegung von Erdwärmekörpern gleicht der Verlegung von Erdwärmekollektoren. Allerdings werden diese etwas tiefer verlegt. Während Erdwärmekollektoren in 1 bis 2 m Tiefe ver-

⁵ <https://bi-medien.de/fachzeitschriften/umweltbau/leitungsbau/stromtrasse-a-nord-fluessigboden-fuer-energiewende-haupt-schlagader-u20392> (17.09.2025).

legt werden, werden Erdwärmekörbe in einer Tiefe von 2,5 bis 4 m verlegt. Für Grabenkollektoren wird ein Graben mit einer Tiefe von 3 m oder tiefer ausgehoben. Die VDI-Richtlinie 4640 gibt auch Auslegungswerte für Kapillarrohrmatten, Erdwärmekörbe und Grabenkollektoren an.

Die wesentlichen Beeinträchtigungen auf den Boden ergeben sich somit durch den Aushub, der Zwischenlagerung und der Wiederverfüllung des Bodens. Im Bereich des Anlagestandortes kann es durch die Nutzung von Baustellenfahrzeugen zu Verdichtungen kommen. Bei der Rückverfüllung kann es zur Vermischung unterschiedlicher Bodenschichten kommen. Insbesondere durch das Bettungsmaterial (Bettungsmächtigkeit etwa 20 cm) kann es zu Einmischungen mineralischer Fremdbestandteile sowie Störstoffen in den Boden kommen. Die natürlichen Lagerungsverhältnisse und physikalischen Eigenschaften des Bodens verändern sich. Durch den temporär intensiven mechanischen Eingriff wird die Vegetation beschädigt und der Lebensraum der Bodenlebewesen kann stark eingeschränkt werden, da sich durch den Eingriff das Porensystem verändert und somit die Versorgung der Bodenlebewesen mit Sauerstoff und Wasser gestört werden kann.

Der Luft- und Wasserhaushalt der Böden wird insbesondere durch Feinbodenart, Grobbodengehalt, Humusgehalt, Vernässungsmerkmale, Bodenschichtung und Lagerungsdichte beeinflusst. Oberhalb der technischen Kollektorschicht wird zumeist der ausgehobene, ursprünglich anstehende Boden wieder zurückverfüllt. Insofern kann unterstellt werden, dass sowohl Feinbodenart als auch Grobbodengehalt der rückverfüllten Bodenschichten den Ausgangsbedingungen entsprechen. Auch die ursprüngliche Bodenschichtung (Oberboden, Unterboden und – bei geschichteten Unterböden – auch unterschiedliche Unterbodenschichten) kann bei sorgfältiger Bauausführung nahezu wiederhergestellt werden. Dazu sind die Bodenschichten getrennt auszuheben, getrennt zwischenzulagern und lagegerecht wieder einzubauen. Verbleibt noch die Lagerungsdichte als möglicher Einflussfaktor auf den Luft- und Wasserhaushalt. Wenn die Wiederverfüllung des Bodenaushubs keine schädlichen Bodenverdichtungen verursacht, können die natürlichen Ausprägungen des Luft- und Wasserhaushaltes wiederhergestellt werden, sodass die Infiltration, Speicherung und Versickerung von Niederschlagswasser nicht dauerhaft und erheblich beeinträchtigt werden, mithin die natürlichen Bodenfunktionen wiederhergestellt werden können. Erfahrungen aus dem Leitungsbau zeigen, dass bei einer schonenden Bauausführung die wesentlichen Bodeneigenschaften für die Ausprägung der natürlichen Funktionen, wie insbesondere Bodenschichtung, Trockenrohdichte, nutzbare Feldkapazität und Porengrößenverteilung, innerhalb einer Zeitspanne von 1 bis 3 Jahren wiederhergestellt werden können (Feldwisch et al. 2023). Neben der Beeinträchtigung der natürlichen Bodenfunktionen hätte eine gestörte Versickerung des Niederschlags zu den Kollektoren eine verzögerte Regeneration der Bodentemperaturen zur Folge, wodurch sich die Wärme-Entzugsleistung verschlechtern würde. Insofern ist es sowohl aus bodenschutzfachlicher als auch aus technischer Sicht erforderlich, die natürlichen Bedingungen des Luft- und Wasserhaushaltes von Böden mit seinem Porensystem so wenig wie möglich zu beeinträchtigen.

3.3 Anlagenbedingte Auswirkungen

Die Erdwärmekollektoren und das verwendete Bettungsmaterial verdrängen in der Verlegetiefe den natürlich anstehenden Boden. Dadurch werden natürliche und standorttypische Eigenschaften des Bodens verändert. Hierzu zählen die Durchwurzelbarkeit und nutzbare Feldkapazität. Somit können wesentliche Veränderungen im Wasser- und Stoffkreislauf stattfinden. In Ausnahmefällen kann auf die Verfüllung eines Sandbettes verzichtet werden, z.B. bei Rohren aus vernetztem PE und PE 100-RC und unter Einhaltung der Vorgaben des Deutschen Vereins des Gas-

und Wasserfaches e.V. (DVGW W 400-2). Etwa 30 cm oberhalb der Kollektorrohre ist ein Warnband einzulegen. Entsprechend der späteren Oberflächennutzung ist der Untergrund gemäß geltenden Richtlinien zu verdichten (DVGW W 400-2, DIN EN 1610).

Ist die Kollektoranlage korrekt dimensioniert, entstehen lediglich kleinere Vereisungen rund um die Kollektorrohre. Kleinere Vereisungen bieten den Vorteil, dass die Wärme besser geleitet werden kann als durch Wasser. Außerdem wird die freiwerdende Energie beim Phasenwechsel von flüssig zu fest als Energiereservoir genutzt. Ist die Gesamtgröße der Kollektoranlage zu klein und /oder Rohre zu dicht gelagert, können die Vereisungen zu groß werden und es entsteht eine Vereisungsfläche. Auch wenn die Kollektorrohre nicht unter der Frostgrenze verlaufen, können sich die Vereisungsringe der Rohre und der Oberfläche zu einem großen Eiskörper verbinden. Ein großflächig auftretender Eiskörper behindert die Versickerung des Regen- und Schmelzwassers. Zusätzlich verzögert sich die Regenerationsfähigkeit des Bodens. Die Soletemperatur insgesamt kann absinken, so dass die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe sinkt und im schlimmsten Fall eine Vereisung der Umwälzpumpe droht (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein – LLUR SH 2011). Insgesamt kann es zu einer Expansion beim Gefrieren kommen, so dass sich der gesamte Boden hebt (Ramming 2007).

3.3.1 Leckagen

Gemäß VDI 4640 Blatt 1, Abschnitt 9.1 dürfen nur Wasser oder nicht wassergefährdende Wärmeträgermedien in Erdwärmeeinrichtungen verwendet werden. Außerdem können Wärmeträgermedien mit Additiven eingesetzt werden, die in der Positivliste der LAWA enthalten sind. Für Wasserschutz- und Einzugsgebiete der öffentlichen Wasserversorgung gelten strengere Vorschriften. Hier dürfen nur Wasser, nicht wassergefährdende Wärmeträgermedien sowie Wärmeträgermedien der LAWA-Positivliste ohne zugesetzte Additive eingesetzt werden.

Die VDI-Richtlinie 4640 beschreibt in Abschnitt 13.1 das Verhalten in Störfällen. So soll bei ordnungsgemäß erstellten Anlagen Undichtigkeiten des Leitungssystems am Manometer der Anlage sichtbar und bei weiterem Druckabfall über die Lecküberwachungseinrichtung gemeldet werden. In diesem Fall wird die Anlage einschließlich der Umwälzpumpe der Wärmequellenanlage abgeschaltet und eine akustische und/oder optische Störmeldung erzeugt. Eine solche Lecküberwachung wird empfohlen, wenn eine Druckabsicherung nicht bereits durch die Sicherheitsfunktionen der Wärmepumpe abgedeckt ist. In Schadensfällen ist die zuständige Untere Wasserbehörde unverzüglich zu benachrichtigen.

Wissenschaftliche Untersuchungen zur potenziellen Gefährdung durch Leckagen bei Erdwärmekollektoren gibt es kaum. Im Projekt ErdEis II wurde eine Leckage-Simulation durchgeführt (Ohlsen et al. 2023). Ziel der Leckage-Simulation war es, die potenzielle Umweltgefährdung von Wärmeträgermedien im Falle einer Leckage unter verschiedenen Temperaturniveaus („Sommer“ und „Winter“) festzustellen. Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede zwischen einzelnen Wärmeträgermedien. Die meisten Wärmeträgermedien enthielten Substanzen, die nicht angegeben waren, da die Hersteller meist nur die Hauptkomponenten angeben. Wegen der fehlenden Volldeklaration der Inhaltsstoffe verbleibt eine Risikounsicherheit hinsichtlich potenzieller Umweltauswirkungen im Falle von Leckagen. Aus bodenschutzfachlicher Sicht als auch zum Schutz des Grundwassers sollte eine Volldeklaration bei Wärmeträgermedien eingeführt werden. Die Autoren des Projektes sehen weiteren Forschungsbedarf zur ökotoxikologischen Wirkung unter realen Bedingungen und exaktere Quantifizierungsmethoden.

Ebenfalls im Projekt ErdEis II wurde eine Prüfung der Systemdichtheit an Rohrverbindungen durchgeführt. Es zeigt sich, dass die Rohre an sich meist die Schwachstellen waren und nicht die

Verbindungen. Dies konnte auf Materialfehler oder zu hohe Drücke bei der Prüfung zurückgeführt werden. Die Material-/Einbaufehler könnten frühzeitig – spätestens bei der Druckprüfung – erkannt und behoben werden. Doch auch hier sei nach Ohlsen et al. (2023) für eine genauere Aussage eine deutliche höhere Anzahl an Versuchskörpern notwendig.

3.3.2 Grundwasserneubildung

Bei einem technisch fachgerechten und bodenschonenden Einbau der Erdwärmekollektoren ist im Regelfall davon auszugehen, dass die Infiltration des Niederschlags und die Grundwasserneubildung nicht erheblich beeinflusst wird. In Ausnahmefällen kann es zu größeren Vereisungen kommen. Wenn die Eisradialen so groß werden, dass sich ein flächiger Eiskörper bildet, könnte dies die Infiltration und Grundwasserneubildung beeinträchtigen. Allerdings wird hier eine zu klein dimensionierte Anlage vorausgesetzt, bei der der Wärme-Entzugsbedarf die verfügbare Entzugsenergie der Fläche übersteigt. Bei Erdwärmekörben beispielsweise kann es zur Bildung solcher flächenhafter Eiskörper kommen. Diese haben durch ihre vergleichsweise kleine Oberfläche eine schlechtere thermische Kopplung an den umliegenden Boden, so dass hier besonders auf die Dimensionierung und Abstandseinhaltung zwischen den Körben geachtet werden muss, um den Vereisungen entgegenzuwirken.

Bei der speziellen Anlagentechnik der Eisspeicher ist die Vereisung größerer Bodenkörper systemimmanent. Bei Eisspeichern ist die Infiltration durch das Bauwerk (den Wassertank) an sich gestört. Beim Erdeisspeicher (siehe Kapitel 3.5.3) entwickelt sich in der untersten Ebene eine flächige Eisschicht, die über einen längeren Zeitraum im Jahr bestehen kann. Im Sommer kann die untere Schicht zum Kühlen der Gebäude verwendet werden. Die undurchlässige Fläche, welche beim Bau und Betrieb eines Eisspeichers (bis 20 m²) und eines Erdeisspeichers (untere Ebenen etwa 200 m²) entstehen, sind an dieser Stelle gleichzusetzen mit einer versiegelten Fläche, vergleichbar der Betondecke einer Tiefgarage.

Wärmekollektoranlagen haben auch einen Einfluss auf die generelle Nutzungsmöglichkeit dieser Fläche. Laut VDI 4640 soll die Fläche generell nicht überbaut oder versiegelt werden. Allerdings können Wärmekollektoranlagen unter gut durchlässigen Oberflächenbefestigungen, z. B. von Parkplätzen oder Wegeflächen, installiert werden. Dabei muss die Wasserdurchlässigkeit während der gesamten Betriebsphase aufrechterhalten werden, damit die Regeneration des Bodewärmehaushaltes über das versickernde Niederschlagswasser gewährleistet ist.

Auch eine Beschattung der Bodenoberfläche oberhalb von Erdwärmekollektoren kann eine nicht vollständige Regeneration der Bodentemperatur auslösen, so dass die Wärmeerträge der Anlage reduziert werden.

Über Erdwärmekollektoren sollten keine tiefwurzelnden Bäume gepflanzt werden (Bundesverband Wärmepumpe e.V. –BWP⁶). Baumwurzeln und andere Wurzeln, die in den Einzugsbereich der Kollektoren wachsen, können die technische Sicherheit der Kollektoren beeinträchtigen (Em et al. 2006).

⁶ <https://www.waermepumpe.de/waermepumpe/erdwaerme/> (22.08.2025).

3.4 Betriebsbedingte Auswirkungen

3.4.1 Absenkung der Bodentemperatur

Durch den Betrieb von Erdwärmekollektoren kommt es zu einem geänderten Wärmehaushalt in unmittelbarer Nähe der Kollektoren. Die Bodentemperatur wirkt sich auf die chemischen und biologischen Prozesse im Boden aus. Sie ist somit maßgeblich an der Aktivität des Bodenlebens sowie Länge der Vegetationsperiode beteiligt und beeinflusst die Bereitstellung von Nährstoffen. In der Regel entziehen Erdwärmekollektoren dem Boden Wärme, so dass die Böden im Einwirkungsbereich der Erdwärmekollektoren niedrigere Temperaturen im Vergleich zum natürlichen Temperaturhaushalt aufweisen. In Folge der niedrigeren Bodentemperaturen werden u. a. Nährstoffe nicht oder im geringeren Ausmaß mobilisiert, so dass alle nährstoffabhängigen Prozesse wie die Biomassebildung respektive des Pflanzenaufwuchses reduziert werden. Auch das Bodenleben ist bei niedrigeren Temperaturen weniger aktiv (Blume et al. 2016).

Der Einfluss der Temperatur auf Bodenorganismen ist von zentraler Bedeutung, da diese maßgeblich u. a. für den Umsatz von Nährstoffen und den Abbau von Schadstoffen verantwortlich sind. Insbesondere Mikroorganismen erschließen Stoffe, die für das Pflanzenwachstum notwendig sind und wandeln diese in pflanzenverfügbare Formen um.

Gemäß VDI-Richtlinie 4640 besteht die Annahme, dass der Einfluss „bei korrekter Dimensionierung von Erdwärmekollektoren“ auf die Bodentemperatur gering sei. Abkühlungen des Bodens seien nur „vorübergehend“ und es erfolgt „allenfalls eine Verzögerung der Erwärmung“ (VDI 4640 Blatt 1). Es seien inzwischen zahlreiche Messungen der Bodentemperaturen vorhanden. Quellen werden an dieser Stelle allerdings nicht genannt.

Konkrete Messungen stammen aus Deutschland, Schweden und Österreich und sprechen insgesamt ebenfalls für einen geringen Einfluss auf die Temperaturabsenkung. In einer Untersuchung aus Schweden wurde die Auswirkung des Wärmeentzugs auf die Bodentemperatur, die Frosttiefe und Vegetationsperiodenlänge in verschiedenen Böden und an drei verschiedenen Standorten in Schweden simuliert (Jansson und Lundin 1984, zitiert in Em et al. 2006). Laut den Autoren sinkt die Regenerierfähigkeit des Bodens mit zunehmender Tiefe, da dort der Wärmeintrag durch Sonneneinstrahlung und Niederschlag abnimmt. Mit zunehmendem Wärmeentzug verschiebt sich die Vegetationsperiode nach hinten.

Torf eignet sich wegen seiner geringeren Wärmeleitfähigkeit schlecht für einen effektiven Wärmeentzug (VDI 4640 Blatt 1, Tabelle 1). Lehmige und sandige Böden hingegen zeigen bei einem Wärmestrahlung aus dem Boden weit weniger Auswirkungen auf den Temperaturverlauf und die Vegetationsperiode. Eine Untersuchung in Wermelskirchen (Nordrhein-Westfalen) zeigte, dass bei korrekter Dimensionierung des Kollektors die Auswirkungen auf die Bodentemperaturen vernachlässigbar gering waren. Die Temperaturunterschiede zwischen gestörtem (Boden mit Wärmeentnahme) und ungestörtem Boden waren maximal 5 °C. In einer Tiefe von 0,65 m betrug während der Wachstumsphase (Frühjahr bis Herbst) der Temperaturunterschied lediglich 1 °C (Ginschel 1977, zitiert in Em et al. 2006). Die im Winterhalbjahr durch den Wärmeentzug angesenkten Temperaturen können sich in der Regel bis zum Sommer wieder vollständig regenerieren und gleichen sich dem normalen Verlauf in ungestörten Böden an (Specht 1979, zitiert in Em et al. 2006).

Die ökologischen Auswirkungen von Erdwärmekollektoren wurden in einem Forschungsprojekt in Niederösterreich untersucht (Bauer 1992). Ziel des Projekts war es, die Auswirkungen des Wärmeentzugs auf die Bodentemperatur und die Vegetation zu quantifizieren. Die Messungen deuteten auf keinen negativen Einfluss auf die ökologischen Verhältnisse hin. Größere Temperaturabnahmen traten nur im „unmittelbaren Bereich“ der Kollektorrohre auf. Bei der Vegetation konnte keine Auswirkung des Wärmeentzugs festgestellt werden. Berücksichtigt wurde die

Wuchsleistung, der Zeitpunkt des Austriebs und der Blühbeginn bzw. die Belaubung. Untersucht wurden einjährige Pflanzen wie Winterweizen und Luzerne und mehrjährige Pflanzen wie Schwarzföhre (Schwarzkiefer – *Pinus nigra*), Rotföhre (Rotkiefer – *Pinus sylvestris*), Apfelbaum, Birnbaum, Ölweide, Tamariske und Walnussbaum⁷. Begründet wurde der geringe Einfluss durch die rasche Angleichung der Bodentemperatur. Im Hauptwurzelbereich wies die Testflächen ab Anfang April das gleiche Temperaturniveau auf wie die Referenzfläche.

Ebenfalls aus Niederösterreich entstammt ein umfangreiches Forschungsprojekt, welches die Auswirkungen von Erdwärmekollektoren auf die Garten- und Wohnqualität untersucht (Em et al. 2006). Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde ein Vergleich von acht Wärmepumpenanlagen durchgeführt, welche an Erdwärmekollektoren angeschlossen waren. Einen Überblick über die Versuchsanlagen mit weiteren Daten befindet sich in Tabelle 3.

Tabelle 3: Vergleich der Eckdaten von Grundstücken mit Erdwärmekollektoren aus der Wohnbauforschung in Niederösterreich (Em et al. 2006)

Ver-suchsanlage	Boden-art	Wohn-fläche [m ²]	Kollek-torfläche [m ²]	Kollektor-tiefe [cm]	In Betrieb seit	Spezifische Entzugsleistung [W/m ²]	Entzugsleistung je Jahr [kWh/m ² a]
1	Us	265	600	120	1997	24,30	40,35
2	Su	130	350	145	1999	24,39	55,27
3	Su	320	400	155	2001	23,14	25,36
4	Us	159	240	100	1986	23,04	49,25
5	S	230	390	105	2000	22,69	56,03
6	S	240	360	105	1999	30,39	40,71
7	U	180	310	100	1994	25,95	21,57
8	Sl	180	300	120	1998	43,50	30,83

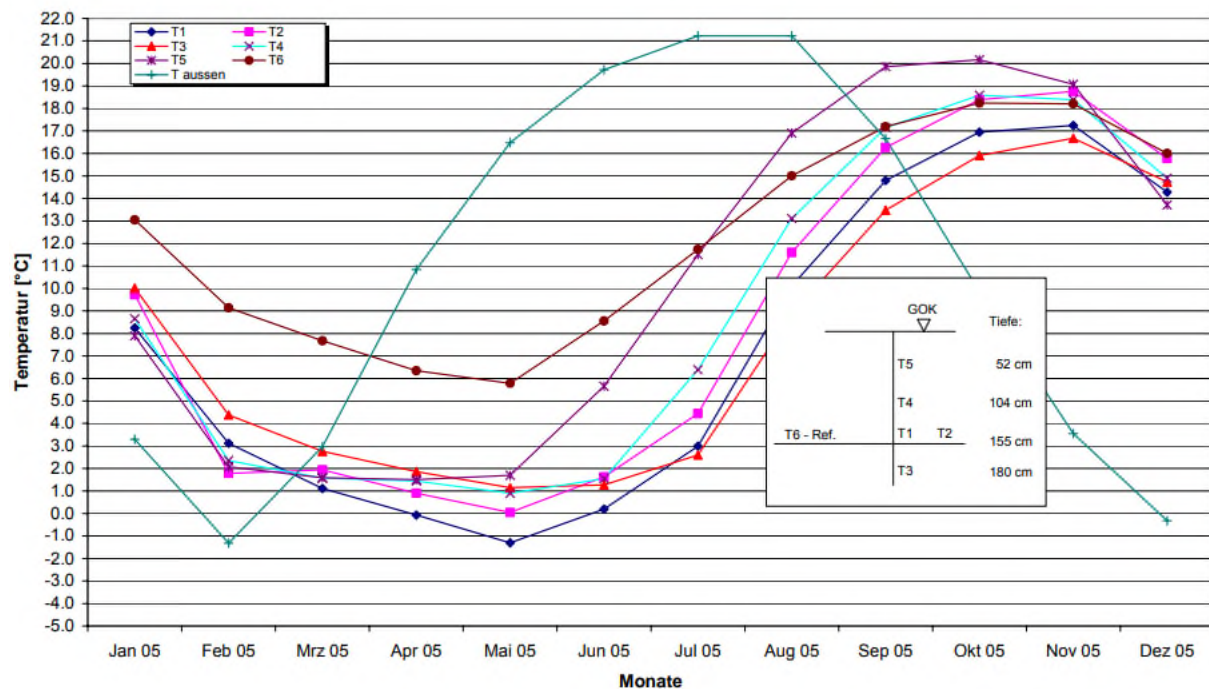
Us: sandiger Schluff. Su: schluffiger Sand, S: Sand, U: Schluff, Sl: lehmiger Sand. Anlage 7 war eine Sole-Anlage, alle restlichen Anlagen nutzten eine Direktverdampfungsanlage. Anlagen 1, 4 und 6 nutzten die Wärmepumpe auch zur Warmwasserbereitung.

Verglichen wurde die Wirkungsweise und Effizienz von Erdwärmekollektoren. Von Herbst 2004 bis Herbst 2005 wurden in mehreren Tiefen die Bodentemperaturen am und über den Kollektoren sowie im Boden ohne Kollektoreinfluss (mindestens 3 m entfernt) gemessen.

Die gemessenen Temperaturen zeigten insgesamt ähnliche Verläufe. Insgesamt sieht man den Unterschied zwischen den Bodentemperaturen mit und ohne Kollektoreinfluss (T₆). Mit steigenden Lufttemperaturen (T außen) nehmen mit zeitlichen Verzögerungen auch die Bodentemperaturen zu. Zur Veranschaulichung wird hier nur der Temperaturverlauf einer Versuchsanlage dargestellt (Versuchsanlage 7).

⁷ Bemerkenswert ist, dass in der Studie Gehölze über Erdwärmekollektoren gepflanzt worden sind, was den allgemeinen Empfehlungen widerspricht.

Abbildung 3: Mittlere Luft- und Bodentemperaturen einer Erdwärmekollektoranlage aus der Wohnbauforschung in Niederösterreich (Versuchsanlage 7, Ziersdorf)



T aussen = Lufttemperatur.

Quelle: Em et al. (2006).

Bei allen Versuchsanlagen der Studie betrug die Bodentemperatur direkt am Kollektorrohr während der Heizperiode -1 bis +1 °C. Kurzfristig sank diese auf -4 °C ab. Ab ca. 30 cm Entfernung vom Kollektor war die Bodentemperatur generell 1 bis 2 °C höher. Die größten Temperaturunterschiede auf Kollektorebene betrugen 2 bis 6 °C im Winter. Die Bodentemperaturen um den Kollektor und darüber glichen sich am Ende der Heizperiode schnell an die der Referenzflächen an. Nur in einem Beispiel (Versuchsanlage 2, siehe Anhang Abbildung A. 1) konnte sich die Bodentemperatur nicht vollständig regenerieren. Begründet wurde dies mit einer ungeplant höheren Entzugsleistung, so dass sich der Boden stärker abkühlte als bei den anderen Versuchsanlagen. Die Ergebnisse insgesamt zeigen eine vollständige Regeneration der Bodentemperaturen bei korrekter Dimensionierung der Kollektoranlage, da sich die Bodentemperaturen wieder angleichen.

Da die Bauart keinen nennenswerten Einfluss auf den Verlauf der Bodentemperaturen im Jahresgang hat, kann davon ausgegangen werden, dass bei Erdwärmekörpern oder Grabenkollektoren ähnliche Temperaturverläufe vorzufinden sind. Bei Kapillarrohrmatten sind die Bodentemperaturen etwas höher (Glück 2007).

Im gleichen Forschungsprojekt wurde der Einfluss von Erdwärmekollektoren auf Gärten und ihre Nutzung untersucht (Em et al. 2006). Der Einfluss der Erdwärmekollektoren auf die Vegetation wurde visuell nach Länge der Vegetationsperiode und Pflanzengesundheit überprüft. Die Bodentemperaturen wurden aus den zuvor beschriebenen Untersuchungen genutzt. Die Gartenpflanzen zeigten insgesamt eine anfängliche verzögerte Vegetationsentwicklung von einigen Tagen bis zu 2,5 Wochen. In den meisten Gärten wurde ein späterer Blühbeginn der Pflanzen oberhalb der Kollektorflächen verzeichnet. Bei den Sträuchern und Bäumen gab es ebenfalls Verzögerungen im Austrieb, deutlich waren diese jedoch nur bei der zuvor aufgeführten Versuchsanlage mit tieferen Bodentemperaturen (Versuchsanlage 2). Die Rasenflächen über den Kollektoren zeigten anfängliche Entwicklungsverzögerungen im Frühjahr. In den meisten Fällen glich

sich die Entwicklung aber nach einigen Wochen der übrigen Rasenfläche an. In der bereits aufgeführten Versuchsanlage 2 waren die Unterschiede am deutlichsten, da sich auch die Zusammensetzung der Arten änderte. So dominierte der Gewöhnliche Rot-Schwingel (*Festuca rubra*) die Rasengesellschaft, während sich das Deutsche Weidelgras (*Lolium perenne*) an windgeschützte Randbereiche der Fläche zurückzog. Schäden an der Vegetation konnten in der Studie nicht beobachtet werden.

Im letzten Teil des Forschungsprojekts wurde der Einfluss der Erdwärmekollektoren auf die Entwicklung der ober- und unterirdischen Biomasse von Pflanzen sowie auf die Quantität der mikrobiellen Biomasse untersucht (Em et al. 2006).

Zur Untersuchung der ober- und unterirdischen Biomasse von Pflanzen wurden Rhizoboxversuche mit gekühlter Bodenschicht durchgeführt. Hierzu wurde in vier Versuchsboxen Trockenboden aus den Profilgruben gefüllt und mit Kätzchenweide (*Salix caprea*) bepflanzt. Die Messungen wurden auf vier Tiefenstufen mit absteigenden Temperaturbereichen durchgeführt (11 – 13 °C, 7 – 9 °C, 3 – 6 °C und 0 – 2 °C). Nach zwei Monaten wurde die ober- und unterirdischen Pflanzenmasse bestimmt. Insgesamt entwickelten sich die Weiden in allen Varianten nach Aussagen der Autoren gut. Allerdings zeigten die Weiden mit zurückgehenden Bodentemperaturen niedrigere ober- und unterirdische Pflanzenmassen sowie verkürzte Seitenwurzeln im Vergleich zur Referenz.

Zur Untersuchung der mikrobiellen Biomasse im Boden wurden von Em et al. (2006) aus acht Gartenflächen Bodenproben innerhalb und außerhalb der Kollektorflächen (Referenzflächen) genommen (Eckdaten zu den Versuchsflächen vgl. Tabelle 3). Zur Überprüfung der Vergleichbarkeit der Bodenproben von Kollektor- und Referenzfläche wurden die pH-Werte und die maximale Wasserhaltekapazitäten bestimmt. In nur drei Flächen (Anlage 3, 4, 6) stimmten die pH-Werte und Wasserhaltekapazität überein, so dass vergleichbare Bodenbedingungen zur Referenz vorlagen (siehe Anhang, Abbildung A.2). In den anderen Flächen waren die Unterschiede zur Referenz bei den erfassten Parametern pH-Wert und Wasserhaltekapazität größer, was möglicherweise auf Vermischungen unterschiedlicher Bodenschichten während der Erdbauarbeiten oder auf den Einsatz von Fremdboden zurückgeführt werden kann. Dazu gibt die Studie keine weitergehenden Informationen. Insofern sind die Ergebnisse zur mikrobiellen Biomasse wahrscheinlich nicht ausschließlich auf die Temperatureffekte zurückzuführen, sondern können durch die abweichenden Bodeneigenschaften bedingt sein, ohne dass die Effekte anhand der Veröffentlichungsdaten getrennt bewertet werden können.

Em et al. (2006) erfassten die mikrobielle Biomasse mit Hilfe der Fumigations-Extraktionsmethode. Die mikrobielle Biomasse war insbesondere in 0 bis 20 cm Bodentiefe der Kollektorfläche niedriger (- 43 %, siehe Anhang, Abbildung A.3). In den Bodentiefen unterhalb von 20 cm waren die Unterschiede weniger deutlich.

Aufgrund der geringen Anzahl direkter Messungen anderer Studien gibt die vorgestellte Studie aus Niederösterreich einen wichtigen Einblick in die Auswirkungen von Erdwärmekollektoren auf die mikrobielle Gemeinschaft. Da es sich nur um die Messung der gesamten mikrobiellen Biomasse handelt und es sich nur um eine Momentaufnahme mit einer kleinen Anzahl von Stichproben handelt, muss die Auswirkung auf die mikrobielle Gemeinschaft von anderen Studien hergeleitet werden, welche abnehmende Temperaturen im Boden thematisierten.

Für gewöhnlich laufen Stoffwechselumsätze und andere Aktivitäten von Mikroorganismen unter wärmeren Bedingungen schneller ab als unter kühleren, wenn genügend Wasser zur Verfügung steht. So würde man von einer Hochzeit im Sommer und von einer Ruhezeit im Winter der mikrobiellen Gemeinschaft im Boden ausgehen, wie man beispielsweise an Umsetzungsprozessen von Kohlenstoff (C) sehen kann (Žifčáková 2017). Doch es gibt auch Studien, die einen Anstieg der mikrobiellen Biomasse im Winter beobachten, welche im Frühling wieder abnimmt (Isobe et

al. 2018; Jefferies et al. 2010). Zudem hat jede Mikroorganismenart ihr eigenes Temperaturoptimum und eigenen Temperaturtoleranzbereich. Außerdem kann sich die Temperatur nicht nur direkt, sondern auch indirekt auf die Lebensgemeinschaft auswirken, wenn sich etwa andere Bodenparameter (Verfügbarkeit von Nährstoffen und Wasser) durch die Temperatur ändern.

In einer Laborinkubationsstudie von Schnecker et al. (2023) wurde die Atmung und das Wachstum von Mikroorganismen untersucht, ebenso die mikrobielle Glukoseaufnahme und die Aufteilung der Kohlenstoffressourcen als Reaktion auf eine Bodenabkühlung. Hierfür wurden Bodenproben aus einem gemäßigten Buchenwald und Ackerlandsystem entnommen und abgekühlt (von 11 °C auf 1 °C). Anschließend wurde das mikrobielle Wachstum anhand des Sauerstoffeinbaus (^{18}O) in die DNA nach den ersten zwei Tagen der Abkühlung und nach einer Akklimatisierungsphase von neun Tagen bestimmt. Darüber hinaus wurde ^{13}C -markierte Glukose ausgebracht und in der mikrobiellen Biomasse, im veratmeten C in Form von Kohlenstoffdioxid (CO_2) und in Phospholipid-Fettsäuren (PLFAs) bestimmt.

Die Ergebnisse zeigten eine starke Reaktion der untersuchten Gemeinschaften auf die Bodenabkühlung. Die ^{18}O -Daten zeigten ein reduziertes Wachstum und Zellteilung. Die Gesamtatmung war ebenfalls reduziert, aber die Glukoseaufnahme und die durch Glukose abgeleitete Atmung blieben unverändert. Die Mikroorganismen erhöhten die Investition von aus Glukose gewonnenem C in ungesättigte PLFAs bei kälteren Temperaturen. Da ungesättigte Fettsäuren bei niedrigeren Temperaturen flüssiger bleiben im Vergleich zu gesättigten, vermuten die Autoren, dass dies eine Vorsichtsmaßnahme bei niedrigen Temperaturen sein könnte. Aufgrund der aufrechterhaltenen Glukoseaufnahme und der verringerten Zellteilung zeigen die Ergebnisse eine sofortige Reaktion der Bodenmikroorganismen auf eine Bodenabkühlung auf 1 °C, welche sich möglicherweise auf Gefriervorgänge vorbereiten. Die Diskrepanz zwischen der C-Aufnahme aus Glukose und Zellteilung könnte die zuvor beobachtete hohe mikrobielle Biomasse in Böden gemäßigten Klimas im Winter erklären.

Die Autoren eines weiteren Bodenabkühlungsexperiments konzentrierten sich auf die Temperaturrempfindlichkeit von Bodenmikroorganismen (Auffret et al. 2016). In der Studie wurde zwischen der Reaktion der mikrobiellen Gemeinschaft und den Folgen der Substratverknappung unterschieden. Die Temperatursenkung orientierte sich nach der mittleren Jahrestemperatur des ursprünglichen Landes der jeweiligen Bodenprobe und wurde dann um 3 °C gesenkt. Die anfängliche Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft bewirkte unterschiedliche Atmungsreaktionen auf Abkühlung. Weder die mikrobielle Biomasse noch die enzymatische Kapazität wurden durch die Kühlung wesentlich beeinflusst. Die Autoren unterstreichen die Bedeutung der Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft.

Bei der Ableitung der Ergebnisse aus Bodenabkühlungsexperimenten muss bedacht werden, inwiefern sich Erdwärmekollektoren auf die mikrobielle Gemeinschaft überhaupt auswirken können. Zum einen kommt es saisonal zu einer Absenkung der Bodentemperaturen, insbesondere in der Tiefe der Kollektorebene. Fraglich ist, ob der direkte Temperatureinfluss größer ist als der indirekte. Bei einem indirekten Einfluss werden die Bodenorganismen durch eventuell geringere C- oder organische Exsudat-Gehalte beeinflusst, welche durch geringere Wachstumsleistungen in entsprechenden Tiefen auftreten können. Die Bodenabkühlungsexperimente von Schnecker et al. (2023) und Auffret et al. (2016) fügen in ihren Experimenten Glukose hinzu. Fehlen durch die Kälteeinwirkung der Kollektoren jedoch Wurzeln, fehlen den Mikroorganismen die von den Wurzeln abgegebenen Stoffe in der Rhizosphäre. Neben verschiedensten Zuckern gehören zu den Wurzelexsudaten viele weitere organische Verbindungen wie Aminosäuren, organische Säuren, Hormone und Vitamine. Das Fehlen oder die Bereitstellung von Glukose kann somit nicht das Fehlen oder Vorhandensein von Wurzeln imitieren. Da auf Kollektorflächen im besten Falle Gras gesät werden soll, ist es ohnehin fraglich, wie groß der Einfluss eines eventuell verzögerten

Wurzelwachstums auf die Bodenmikroorganismen ist. Die Grasarten von Gartenflächen bestehen überwiegend aus Unter- und Mittelgräsern mit einem Hauptwurzelbereich bis maximal 50 cm, überwiegend sogar nur 20 bis 30 cm. Somit liegt der Hauptwurzelbereich erheblich oberhalb des deutlichen Einwirkungsbereiches der tiefliegenden Kollektoranlagen.

Die zitierten Veröffentlichungen gehen davon aus, dass die Abkühlung der Böden durch Erdwärmekollektoren nur lokal und vorübergehend einen Effekt auf das Bodenleben ausübt. Gleiches gilt für die Vegetationsentwicklung. Allerdings muss konstatiert werden, dass die Veröffentlichungen keine umfassenden Untersuchungsansätze zu bodenbiologischen Auswirkungen beinhalten und insofern keine abschließende Beurteilung zulassen. Für gesicherte Aussagen zu Auswirkungen auf das Bodenleben und die Vegetation fehlen Studien, welche explizit die langjährigen, über die gesamte Betriebsdauer der Anlagen ausgelösten Temperatúrauswirkung von Erdwärmekollektoren auf das Bodenleben und die unter- und oberirdische Biomasseentwicklung mit repräsentativen und fachlich ausreichend validen Methoden analysieren.

3.4.2 Erhöhung der Bodentemperatur

Das Umweltbundesamt widmete sich im UFOPLAN Projekt „Auswirkungen thermischer Veränderungen infolge der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Beschaffenheit des Grundwassers und seiner Lebensgemeinschaften – Empfehlungen für einen umweltverträgliche Nutzung (UBA 2015) auf mögliche Temperaturänderungen im Grundwasser durch oberflächennahe Geothermie. Auch hier halten die Autoren fest, dass geringe Temperaturschwankungen vernachlässigbar sind. Allerdings seien auch schon geringe Temperaturerhöhungen kritisch, wenn das Grundwasser belastet ist (Belastungen durch Nährstoffe oder organische und anorganische Schadstoffe). Hier wurde vor allem der Einfluss von Erdwärmesonden betrachtet. Erdwärmesonden können zur Kühlung als Mittel- bis Hochtemperaturspeicherverfahren im Boden eingesetzt werden und erreichen dann Temperaturen von 20 bis 90 °C. Auch Erdwärmekollektoren können im Sommer zur Gebäudekühlung genutzt werden, so dass sich die Bodentemperaturen erhöhen können. Allerdings ist deren Kühlleistung begrenzt, weil die Bodenschichten bis ca. 2 m Tiefe stärker und schneller auf den Jahresgang der Lufttemperatur reagieren, so dass die technisch realisierbare Kühlleistung entsprechend absinkt.

Im Bereich der Ein- bis Zweifamilienhäuser sind die Auswirkungen von Temperaturerhöhungen im Sommer wahrscheinlich gering. In einer unveröffentlichten Diplomarbeit wurde die Temperaturänderung durch einen vertikal eingesetzten Spiral-Erdwärmekollektorsystem („Helix“) auch in den Sommermonaten untersucht, wenn das System zur Kühlung eines Gebäudes genutzt wurde (Burkart 2014). Es zeigte sich bereits in einem Abstand von 0,7 m zur Kollektoranlage kein signifikanter Einfluss auf die Bodentemperatur. Da jedoch auch hier wenige empirische Studien vorliegen, muss die Auswirkung steigender Bodentemperaturen von anderen Studien hergeleitet werden.

Weit umfassendere Untersuchungen liegen im Bereich Temperatúrauswirkungen von Erdkabeln vor, die Anhaltspunkte für mögliche Einflüsse auf Böden durch Erdkolektoren, die auch zum Kühlen verwendet werden, geben können. Das Gutachten von Trüby (2020) stützt sich auf Laboruntersuchungen und Freilandtests der Amprion GmbH. Es wird zum einen von einer Normallast und einer Auslegungslast der Übertragungsleistung von Erdkabeln ausgegangen. Unter Normallast liegen die berechneten Kupferleitertemperaturen bei ca. 36 °C und unter Auslegungslast ca. 61 °C. Die am Kabelschutzrohr auftretenden Temperaturen waren 33 bis maximal 50 °C. Dies waren auch die maximalen Temperaturen, die im Kontakt zum Boden bzw. zum Bettungsmaterial liegen. Die Erdkabel liegen vergleichbar den Erdwärmekollektoren zwischen 1 und 2 m Tiefe, zumeist zwischen 1,6 und 1,8 m Tiefe. Die höchsten Temperaturzunahmen im

Vergleich zur Referenz werden im Nahbereich der Erdkabel gemessen. Oberhalb der Erdkabel nimmt die Erwärmung durch die Erdkabel kontinuierlich ab. In den oberen Bodenschichten waren nur noch vergleichsweise geringe Temperaturerhöhungen im Vergleich zum Referenzfeld nachzuweisen, die bis zu 3 °C (Auslegungslast) betragen konnten. Die Vegetation zeigte schwache Unterschiede zwischen der Erdkabelvariante und der Referenz. Es zeigte sich teilweise ein früheres Abreifen, jedoch keine Ertragseinbußen. In einem Gewächshausexperiment von Uhlig et al. (2023) wurde der Wärmefluss in Böden mit natürlicher Zusammensetzung und Dichte mit vollständiger Fruchtfolge untersucht. In 1,4 m hohen Gefäßen wurden die Unterseiten mit 50 °C beheizt, um die Abwärme eines Erdkabels zu simulieren. Im Vergleich zu den unbeheizten Varianten wurden einerseits Ertragseinbußen und Beeinträchtigungen des Wurzelwachstums bei Sommergerste festgestellt. Andererseits konnten teilweise höhere Erträge bei Zuckerrüben durch die Wärmeabgabe festgestellt werden. Feldwisch et al. (2023) konnten auf einer HGÜ-Erdkabeltrasse keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen Kabelgraben und Referenz nachweisen.

Zur mikrobiellen Aktivität wurden von Trüby (2020) Laborstudien durchgeführt. Ein langfristiges Monitoring steht noch aus. Der Autor resümiert, dass es wahrscheinlich zu keiner gesteigerten mikrobiellen Aktivität im Oberboden über den Erdkabeln kommt. Bezüglich des Regenwurmbestands zeigte sich eine rasche Erholung. Der Eingriff, die anschließende Behandlung des Bodens und die Bewirtschaftungsform waren nach Einschätzung des Autors weitaus schwerwiegender als der Temperatureinfluss der Erdkabel.

Andere Studien zeigten ebenfalls moderate Temperatursteigerungen und kaum Auswirkungen von Erdkabeln auf die Bodenfeuchtigkeit (Emmerling et al. 2024). Allerdings könnte es auch durch einen sehr geringen Temperaturanstieg zu einem vermehrten Humusabbau kommen (Marschner et al. 2023). Mikrobiologische Untersuchungen zeigten eine Erhöhung der mikrobiellen Biomasse und der Stoffwechsel- und Enzymaktivität insbesondere im Unterboden. Da der Anteil der mikrobiellen Biomasse im Unterboden jedoch vergleichsweise gering ist, scheint der Betrieb von Erdkabeln keine kritischen Auswirkungen auf Bodenmikroorganismen und deren Stoffwechselaktivitäten zu haben (Emmerling et al. 2025).

Die genannten Studien lassen vermuten, dass die Erwärmung der Böden durch Erdwärmekollektoren nur lokal und vorübergehend einen Effekt auf das Bodenleben ausübt. Gleiches gilt für die Vegetationsentwicklung. Gegenwärtig gibt es keine Veröffentlichung zu Kollektoren, welche überhaupt die Auswirkungen von Temperaturerhöhungen auf Böden untersucht. Eine abschließende Beurteilung zu bodenbiologischen Auswirkungen ist somit nicht möglich. Für gesicherte Aussagen zu Auswirkungen auf das Bodenleben und die Vegetation fehlen auch hier Studien, welche explizit die langjährigen, über die gesamte Betriebsdauer der Anlagen ausgelösten Temperaturabnahmen und -anstiege von Erdwärmekollektoren auf das Bodenleben und die unter- und oberirdische Biomasseentwicklung mit repräsentativen und fachlich ausreichend validen Methoden analysieren.

3.5 Beispiele aus der Praxis

Das Temperaturniveau herkömmlicher Erdwärmekollektoren liegt bei etwa -2 °C bis 20 °C. Auch bei größeren Erdwärmeeinrichtungen liegen die Temperaturen in diesem Bereich. Beispiele für größere Anlagen, die mehrere Wohneinheiten mit Erdwärme versorgen, liegen insbesondere aus Großprojekten im Bereich Kalte Nahwärme vor (Wirtz et al. 2022). Kalte Nahwärme beschreibt Wärmenetze mit niedrigen Betriebstemperaturen (ca. 5-35 °C). Wärmenetze der 5. Generation,

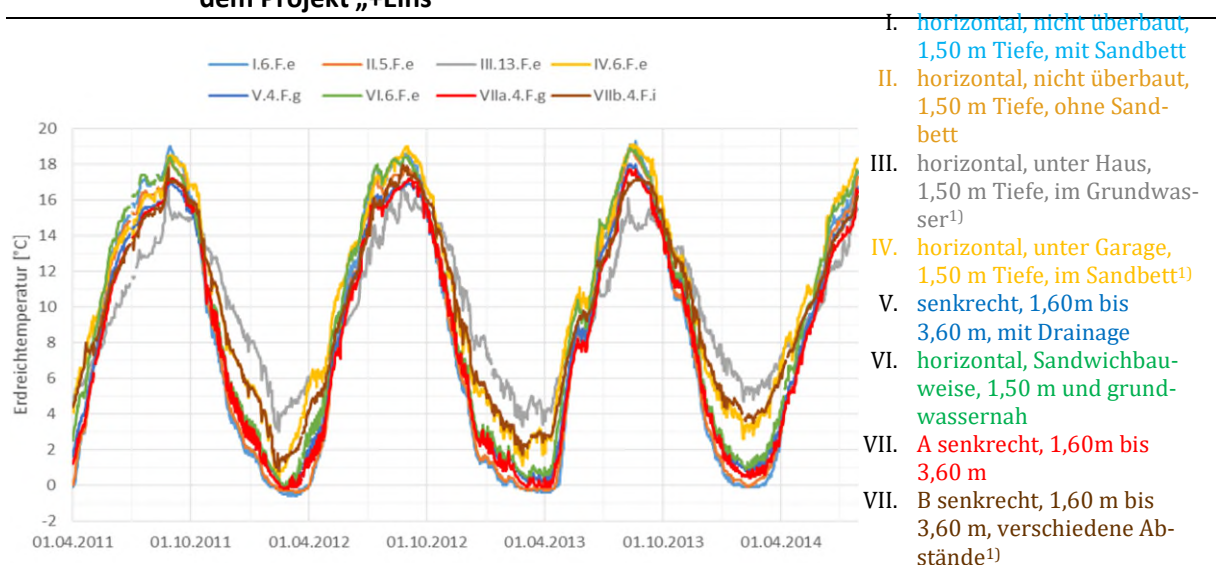
im englischen 5th generation district heating and cooling (5GDHC), bezeichnen in der internationalen Energieforschung Wärmenetze mit Vorlauftemperaturen nahe der Umgebungstemperatur und umfassen damit auch kalte Nahwärmenetze. Als Wärmequellen können neben oberflächennaher Geothermie auch beispielsweise Abwärme aus Abwasserkanälen, Fluss- oder Seewasser dienen. Nachfolgend werden einige Großprojekte der Kalten Nahwärme und andere Großprojekte, die wissenschaftlich begleitet wurden, vorgestellt, um die Dimensionen dieser Erdwärmekollektoren und deren Einbau darstellen zu können. Anhand dieser Untersuchungen lassen sich Auswirkungen auf Böden ableiten.

3.5.1 +Eins: Energieoptimiertes Bauen: Plusenergiesiedlung Landshut (2010-2014)

Im Rahmen des Projekts „+Eins: Energieoptimiertes Bauen: Plusenergiesiedlung in Landshut“ (Förderkennzeichen (FK) 0327431) wurde im Ludmilla-Wohnpark eine Plusenergiesiedlung in der realen Umsetzung wissenschaftlich begleitet (Stockinger 2015). Das Forschungsvorhaben gibt einen Einblick zu Erdwärmekollektoren im Bereich Einfamilienhäuser. Neben energetischen und sozialen Fragestellungen wurden ein Messfeld oberhalb einer oberflächennahen Geothermie mit acht unterschiedlichen Einbringungsvarianten von Erdkollektoren und mehr als 200 Messfühlern aufgebaut sowie hygrothermische Bodengutachten durchgeführt. Die Einbringungsvarianten der Erdkollektoren waren Folgende: mit oder ohne Sandbett, überbaut oder nicht überbaut, im oder über dem Grundwasser, horizontal oder senkrecht, einlagig oder zweilagig („Sandwichbauweise“).

Die Bodentemperatur im Bereich der Erdwärmekollektoren sank im Winter erwartungsgemäß bei allen Varianten ab und stieg im Sommer wieder (Abbildung 4). Die Tiefsttemperatur lag im Frühjahr bei -1 °C, während die Höchsttemperatur im Sommer bei etwa 20 °C lag. Die Temperaturstreuung wurde bei den Erdwärmekollektoren mit Grundwassereinfluss gedämpft. Eine vollständige Regeneration der Bodentemperaturen oberhalb von Erdwärmekollektoren in Sandwichbauweise ist möglich. Als Voraussetzung gilt, dass die untere Matte im Grundwasser liegen muss. Ein Sandbett begünstigt die Regeneration des Bodentemperaturhaushaltes und sorgt für eine bessere Vereisungsfähigkeit, wodurch die Effizienz gesteigert werden kann.

Abbildung 4: 3-Jahresverläufe aller Varianten (zentrale Fühler direkt an den Kollektoren) aus dem Projekt „+Eins“



¹⁾ Kollektoren versorgen die gleiche Wärmepumpe.

Quelle: Verändert nach Stockinger (2015).

3.5.2 EnVisaGe – Plusenergiesiedlung „Vordere Viehweide“- Kalte Nahwärme & Agrothermie (2012-2017)

Das Forschungsprojekt EnVisaGe (FK 03ET1465) verfolgte die Umsetzung verschiedener Maßnahmen für eine klimaneutrale Kommune, wozu auch eine regenerative Energieerzeugung zählt (Pietruschka et al. 2017). Für das Neubaugebiet in Wüstenrot mit 23 Wohngebäuden wurden zwei Agrothermiefelder errichtet und an das Kalte Nahwärmenetz eingebunden. Die Agrothermiefelder waren insgesamt ca. 1,5 ha (1,06 ha und 0,4 ha) groß. Die Erdwärmekollektoren wurden in einer Tiefe von 2 m eingepflügt⁸. Erstmals wurde hier der „Kollektorweber“ der Firma Doppelacker GmbH in der Praxis getestet, der als „Pflug“ vergleichbar den Kabelpflügen bei der halbgeschlossenen Erdkabelverlegung bezeichnet werden kann.

Im Forschungsprojekt „KollWeb 4.0 – Erschließung ungenutzter Wärmepotentiale. Teilvorhaben: Mobile Arbeitsmaschine zur Fertigung von Erdwärmetauschern“ (2017-2021, FK 03ET1427) wurde die Arbeitsmaschine entwickelt und ausgetestet. Im Anschlussvorhaben „HuKmeN – Heizen und Kühlen mit einem Netz – Technik für geothermische Infrastruktur (Kollektorweber)“ (2021-2025, FK 03EE4028) sollte die Arbeitsmaschine für verschiedene Boden- und Einsatzbedingungen erprobt werden. Eine Marktreife wird für 2026 angestrebt. Der Kollektorweber soll so minimalinvasiv Erdwärmekollektoren auf beispielsweise landwirtschaftlich genutzten Flächen einbringen können. Im Forschungsprojekt „EnVisaGe“ werden die Felder seit der Installation als Futterwiese genutzt.

Die Agrothermieflächen und das Kaltwärmenetz wurden mit einem Wasser-Glykol-Gemisch befüllt, um die Betriebssicherheit im gesamten Jahresverlauf zu gewährleisten. Das Kaltwärmenetz selbst besteht aus ungedämmten Rohren der Trinkwassertechnik und versorgt die angeschlossenen Häuser mit Wärme (Wärmepumpe) oder Kälte (Kältemaschine). Das Temperaturmonitoring des Kalten Nahwärmenetz ergab, dass die Systemtemperaturen jahreszeitlich und lastabhängig zwischen 17 °C im Sommer und 1 - 2 °C Ende Februar schwankten. Die Bodentemperaturen wurden nicht systematisch aufgearbeitet.

3.5.3 ErdEisII: Eisspeicher und oberflächennahe Geothermie (2019-2022)

Das Forschungsprojekt ErdEis untersucht die Nutzung eines Erdeisspeichers in Kombination mit einer Großkollektoranlage. Bei einem Eisspeicher liegen mehrere Erdwärmekollektorebenen übereinander, so dass der Boden zwischen den Ebenen durch den Wärmeentzug kontrolliert eingefroren wird. Die Untersuchungen sind mittlerweile in der dritten Phase angekommen. In der ersten Phase (2016 – 2019, FK 03ET1382) ging es um die prinzipielle Umsetzbarkeit. In der zweiten Phase (FK 03ET1634) erfolgte die Realisierung in einem Pilotprojekt in Schleswig. In der dritten Phase (2023 – 2027, Förderkennzeichen 03EN3068) wird das System in den Vollbetrieb überführt. Eine ausführlichere Analyse der Auswirkungen auf den Boden ist nicht geplant. Im Folgenden wird insbesondere auf den Abschlussbericht der zweiten Phase (Ohlsen et al. 2023) eingegangen.

⁸ Hinweis zum Einpflügen von Kabel und Leitungen:

Im Gegensatz zum landwirtschaftlichen Pflug, der den Boden wendet, öffnen die Pflugmaschinen zum Einarbeiten von Kabeln oder Leitungen einen Verlegeschat, in dem das Medium verlegt wird. Dabei wird der Boden nicht gewendet und es kommt lediglich zu geringen, unvermeidbaren Bodenvermischungen, wenn in den geöffneten Verlegeschat Bodenmaterial der oberen Bodenschichten einbrechen.

Die wissenschaftlichen Untersuchungen erfolgten an einem Erdeisspeicher mit einer Gesamtkollektorfläche von 1.000 m² und an einer Kollektoranlage von 1.250 m². Der Erdeisspeicher besteht aus vier Lagen, läuft mit der Tiefe konisch zusammen und erreicht eine Tiefe von 4,5 m (Abbildung 5). Die oberste Lage nimmt eine Fläche von knapp über 500 m² ein. Die oberen zwei Lagen und die unteren zwei Lagen sind an zwei separate Vor- und Rückläufe angeschlossen, damit die untere Ebene separat eingefroren werden kann. Das Prinzip gleicht dem herkömmlicher Erdwärmekollektoren, nur dass die Temperaturen wesentlich tiefer absinken können (Temperaturbereich des Wärmeträgermediums -5 bis 15 °C). Es entsteht ein Eiskörper, der wesentlich länger im Boden verbleibt. Im Herbst kühlt sich das gesamte System durch die beginnende Heizperiode ab. Die Wärmeleitung erfolgt über ein Kaltes Nahwärmenetz zu den Gebäuden. Durch den fortlaufenden Wärmeentzug im Winter bildet sich Eis. Ab dem Frühling beginnt die Regeneration der oberen Schicht durch Sonneneinstrahlung und Niederschläge. Im Sommer kann die untere Schicht zum Kühlen der Gebäude verwendet werden. Der Erdeisspeicher steht unter einer Freifläche. Die teils zweilagige Kollektoranlage steht unter einem Regenrückhaltebecken.

Abbildung 5: Unterste Ebene (ca. 160 m²) des Erdeisspeichers 5 m unter Geländeoberkante



Quelle: FAU Erlangen

Die potenziellen Umweltauswirkungen konnten in der zweiten Phase des Projekts nur aus Literaturrecherchen abgeleitet werden. Die Autoren mutmaßen, dass die Auswirkungen insgesamt gering seien. Die tieferen Temperaturen seien beispielsweise für Mikroorganismen nur gering wirksam, da der Erdeisspeicher sich in einer Tiefe im Boden befindet, in welcher ohnehin weniger Mikroorganismen vorzufinden sind.

3.5.4 KNW-Opt: Kalte Nahwärme mit oberflächennahem Großflächenkollektor in Bad Nauheim (2020-2024/25)

In Bad Nauheim wurde 2019 Deutschlands größter Erdwärmekollektor gebaut. Er versorgt 400 Wohneinheiten, die einen jährlichen Gesamtwärmebedarf von ca. 3 GWh haben. Der Kollektor wurde in Sandwichbauweise gebaut: in einer Tiefe von 1,5 m und 3 m wurden 352 Boden-Klima-Tauscher®⁹ (7 m x 2 m) auf einer Fläche von 11.200 m² verlegt (Abbildung 6). Für den Einbau wurden ca. 35.000 m³ Erde bewegt. Seit Abschluss der Arbeiten wird die Fläche landwirtschaftlich bewirtschaftet. Die Kollektoranlage ist über eine Energiezentrale an das 6 km lange aktive 5GDHC Netz angeschlossen.

Abbildung 6: Einbau der Großkollektoranlage in Bad Nauheim.



Quelle: Stadtwerke Bad Nauheim.

Für das Forschungsprojekt (FK: 03EN3020) wurde ein umfangreiches Messungssystem an der Kollektoranlage, dem 5GDHC-Netz, der Energiezentrale und auf Gebäudeebene etabliert. Im Bereich der Kollektoren wurden Temperatur und Feuchtigkeitssensoren eingebaut; die Messergebnisse sind bisher nicht veröffentlicht worden. Außerdem wurden Messstellen zur Überprüfung der Grundwassertemperatur und -höhe installiert.

Es zeigte sich, dass die 5GDHC-Netz-Anbindungsleitungen selber als Kollektoren funktionieren, da die Temperatur an den Gebäude-Wärmepumpen während der Heizperiode immer höher ist

⁹ Der Boden-Klima-Tauscher® ist ein von der Firma Steinhäuser GmbH & Co. KG entwickeltes und patentiertes System aus Erdwärme-Registern, bei denen die Kunststoffrohre auf Holzträgern vormontiert sind.

als an der geothermischen Kollektoranlage (+2 °C). So entziehen die ungedämmten Rohre auf dem Weg zu den Gebäuden dem umliegenden Boden Wärme (Zeh und Stockinger 2022).

Die Großkollektoranlage beeinflusst die Grundwassertemperatur: Die maximale Abkühlung der Grundwassertemperatur im unmittelbaren Abstrombereich betrug in den ersten zwei Jahren 4,2 bis 5,2 K bei einer Mindesttemperatur von 5,2 °C (Rammler und Bertermann 2025). Es konnte eine Temperaturfahne nachgewiesen werden. Dies könnte auch Einfluss auf andere Kollektoranlagen haben, wenn etwa benachbarte Kollektoren gegenseitigen Einfluss üben, insbesondere wenn diese im Grundwasser liegen. Die Autoren diskutierten außerdem den Einfluss des Klimawandels. In Zukunft könnte der Wärmebedarf im Winter sinken. Dafür könnte sich der Kühlbedarf im Sommer erhöhen. Niedrigere Grundwasserstände und weniger Niederschläge könnten die Regeneration verlangsamen.

3.5.5 MultiSource – Nutzung multipler Wärmequellsysteme im urbanen Quartierskontext am Beispiel des Lagarde Campus in Bamberg (2022-2026)

Auf einem ehemaligen Militärgelände in Bamberg entstehen Wohn- und Geschäftseinheiten, die mit einem innovativen Wärmeversorgungskonzept aus- und umgebaut werden. Das Versorgungsgebiet wird in zwei Netzbereiche aufgeteilt: ein warmes Wärmenetz für die denkmalgeschützten und nicht sanierungsfähigen Bestandsbauten (ca. 70 °C) und ein kaltes Nahwärmenetz: für sämtliche Neubauten und die sanierten Bestandsbauten mit Netztemperaturen von 0 bis 20 °C. Neben Abwasserwärmetauscher und Erdwärmesonden dienen Erdwärmekollektoren als Wärmequelle. Insgesamt beträgt die Erdwärmekollektorfläche 32.000 m². Davon liegen 40 % in der Freifläche und 60 % unter Gebäuden. Im Forschungsprojekt soll das Zusammenspiel und die Wechselwirkungen der unterschiedlichen Wärmequellsysteme und mögliche saisonale Verschiebung von Wärmeenergie untersucht werden. Eine Analyse der Entzugsleistung von Erdwärmekollektoren unter Gebäuden soll zeigen, ob diese Variante eine mögliche Einbauoption anbietet, da gemäß VDI 4640 Erdwärmekollektoren nicht überbaut werden sollen. Außerdem findet eine Validierung der Wärmequellenauslegung und die Weiterentwicklung von Simulationsprogrammen zum Zusammenspiel der Energiequellen statt. Mögliche Auswirkungen auf den Boden werden nicht untersucht.

3.5.6 Agrogeothermie Radolfzell

Für die Wärmeversorgung eines Gewerbegebietes in der Stadt Radolfzell im Landkreis Konstanz wird neben Solaranlagen eine Geothermie-Anlage genutzt. Die Geothermie-Anlage wurde im Sommer 2022 auf einem extensiv genutzten Grünland errichtet. Die Kollektoren wurden in einer Tiefe von 1,5 m auf einer Fläche von ca. 26.000 m² eingepflügt (Zum Begriff „Einpflügen“ siehe Fußnote 8 auf Seite 35). Da die Fläche ein Feuchtstandort ist und unmittelbar an einen anmoorigen Bereich grenzt, sollten die Kollektoren möglichst bodenschonend eingebracht werden. So sollten negative Einflüsse auf den Boden (vorrangig Verdichtungen) nebst sichtbaren Flurschäden (Vegetationsdecke) minimiert werden. Zudem wurde ein Bodenschutzkonzept erstellt. Die Kollektoren konnten durch ein Rohrpfug eingebracht werden, welcher an einem Windenfahrzeug mit Doppelbereifung angeschlossen war (Abbildung 7). Aus Sicht der Bodenschutzbehörde wurde das Projekt sehr positiv bewertet und das Bodenschutzkonzept vollumfassend umgesetzt.

Abbildung 7: Einpflügen der Kollektorrohre durch ein Rohrflug auf der Agrothermie-Anlage in Radolfzell.



Quelle: Landkreis Konstanz.

3.6 Absatzzahlen und Entwicklung

Da der Bau von Erdwärmekollektoren nicht überall anzeige- bzw. genehmigungspflichtig ist, können die Zahlen nur indirekt über abgesetzte Wärmepumpen geschätzt werden. Die Zahl der Erdwärmepumpenanlagen im Bestand lag Ende 2024 bei etwa 507.000 in Deutschland (Absatzstatistiken des BWP und nach Born et al. 2022). Von diesen Erdwärmepumpen beziehen ca. 10 % ihre Wärme über Brunnen direkt aus dem Grundwasser und die restlichen 90 % aus dem Boden. Hierbei ist die Erdwärmesonde (ca. 80 %) weiterverbreitet als Erdwärmekollektoren (Born et al. 2022).

Insgesamt ist der Anteil der bereitgestellten Wärmeenergie aus Erdwärmekollektoren in Deutschland derzeit als gering zu bezeichnen. Etwa 72 % der Heizungen in Deutschland werden mit Öl oder Gas betrieben (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, 2023). Laut dem Statistischen Bundesamt liegt der Anteil an „Erd- und andere Umweltwärme, Abluftwärme“ bundesweit bei 2,7 %. Je nach Bundesland schwankt der Anteil zwischen 1,0 % (Berlin) und 3,7 % (Baden-Württemberg, Bayern, Rheinland-Pfalz) (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Haushalte in Gebäuden mit Wohnraum (ohne Wohnheime) 2022 nach überwiegend verwendeter Energieart der Beheizung und Bundesland

Nicht dargestellt: Fernwärme, Gas, Elektrizität, (Strom), Heizöl, Briketts/Braunkohle, Koks/Steinkohle, Holz/Holzpellets, Biomasse ((außer Holz), Biogas, Sonnenenergie

Bundesland	Insgesamt	Erd- und andere Umweltwärme, Abluftwärme	Anteil (%)
Baden-Württemberg	5 032 000	188 000	3,7
Bayern	6 144 000	227 000	3,7
Berlin	1 887 000	19 000	1,0

Bundesland	Insgesamt	Erd- und andere Umweltwärme, Abluftwärme	Anteil (%)
Brandenburg	1 244 000	43 000	3,5
Bremen	336 000	/	/
Hamburg	926 000	10 000	1,1
Hessen	2 891 000	71 000	2,5
Mecklenburg-Vorpommern	825 000	19 000	2,3
Niedersachsen	3 562 000	76 000	2,1
Nordrhein-Westfalen	8 528 000	217 000	2,5
Rheinland-Pfalz	1 884 000	69 000	3,7
Saarland	474 000	/	/
Sachsen	2 035 000	51 000	2,5
Sachsen-Anhalt	1 094 000	25 000	2,3
Schleswig-Holstein	1 420 000	34 000	2,4
Thüringen	1 037 000	18 000	1,7
Deutschland	39 318 000	1 076 000	2,7

Angaben nach Zusatzprogramm des Mikrozensus 2022, Statistisches Bundesamt.

Mehr als die Hälfte aller Haushalte, die mit „Erd- und andere Umweltwärme, Abluftwärme“ heizen, sind freistehende Einfamilienhäuser (55,3 %). Davon wurde der überwiegende Teil nach 2011 gebaut. Auch verfügt der überwiegende Anteil über Wohnflächen von über 140 m² (46 %) und 120 bis 140 m² (16,5 %). Einfamilienhäuser hatten im Jahr 2020 durchschnittlich eine Wohnfläche von 152 m² und freistehende Einfamilienhäuser 157 m² (Zusatzprogramm des Mikrozensus 2022, Statistisches Bundesamt; siehe Anhang, Tabelle A. 1).

Geht man von einer etwa doppelt so großen Anlagenfläche im Verhältnis zur zu beheizenden Wohnfläche aus, wird deutschlandweit eine Fläche von über 1.500 ha von Erdwärmekollektoren in Anspruch genommenen. Die erforderliche Kollektorfläche im Bereich Ein- bis Mehrfamilienhäuser ist also insgesamt nicht sehr groß. Wesentlich größer sind die in Anspruch genommenen Flächen von Großprojekten, wie sie beispielsweise in Projekten mit Kalter Nahwärme gebaut werden. Diese versorgen ganze Neubaugebiete und Gebäudekomplexen mit oberflächennaher Wärme und erreichen Größen von über 1 ha je Einzelvorhaben.

Laut BWP stieg der Absatz von Heizungswärmepumpen und mit ihnen auch der Anteil an Erdwärmepumpen bis 2023 rasant an. Im Jahr 2024 kam es jedoch zu einem starken Einbruch der Absatzzahlen. Statt den von der vorigen Bundesregierung angestrebten 500.000 Wärmepumpen wurden im Jahr 2024 nur 193.000 Wärmepumpen verkauft. Der Anteil an Erdwärmepumpen ohne Grundwasser als Wärmequelle lag bei 13.000. Die weitere Entwicklung wird stark von den Entscheidungen der Politik abhängig sein.

4 Geeignete Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

Die baubedingten Auswirkungen durch Aushub, Zwischenlagerung und Wiederverfüllung des Bodenmaterials sind sehr bedeutsam für das Schutzgut Boden. Hier können Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen ergriffen werden, wie sie auch bei anderen Vorhabentypen zum Einsatz kommen (vgl. dazu u. a. BVB 2013).

Das Ausmaß und die Erheblichkeit möglicher Bodenbeeinträchtigungen durch Erdwärmekollektoren ist im privaten Sektor bundesweit wegen der vergleichsweise geringen Flächeninanspruchnahmen im Vergleich zu anderen Vorhabentypen als gering zu bewerten. Da jedoch ein weiterer Zuwachs, insbesondere durch Großprojekte im Bereich „Kalte Nahwärme“, wahrscheinlich ist, müssen Rahmenbedingungen geschaffen werden, die den Boden insbesondere bei der Bauausführung schützen.

Die anlagen- und betriebsbedingten Auswirkungen sind weitgehend systemimmanent und lassen sich nur eingeschränkt vermeiden oder mindern. Zudem sind diese Auswirkungen anhand der vorliegenden Untersuchungen auch noch abschließend bodenschutzfachlich zu bewerten, so dass gezielte Vermeidungs- und Minderungsstrategien noch nicht abgeleitet werden können. Technische und Bauart bedingte Maßnahmen zum Schutz der Böden und ihrer Funktionen sollten anhand weitergehender Untersuchungen zu anlagen- und betriebsbedingten Wirkungen abgeleitet werden.

4.1 Maßnahmen zur Reduzierung von baubedingten Auswirkungen

4.1.1 Reduzierung der Eingriffsfläche

Zur Minderung baubedingter Auswirkungen kann versucht werden, die Eingriffsfläche insgesamt zu verkleinern. Die Wahl des Standortes kann dies beeinflussen, da bei einem weniger geeigneten Standort die Anlage entsprechend größer dimensioniert werden muss. Je geringer die jährliche Energiezufuhr durch Niederschläge und/ oder Sonneneinstrahlung und je schlechter die Wärmeleitfähigkeit des Bodens ist, desto größer muss die Anlage sein. Auch andere Faktoren wie der Wärmebedarf, das Heizsystem, die Wärmepumpe (Kälteentzugsleistung), Warmwasserbedarf etc. haben einen Einfluss auf die Dimensionierung. Da die Standortauswahl für einen Erdwärmekollektor in Bezug zu einem konkreten Bauvorhaben nur geringe vernachlässigbare Freiheitsgrade aufweist, sind die standortbezogenen Einflussfaktoren letztendlich unerheblich. Wichtiger ist die generelle Entscheidung im Hinblick auf die Auswahl eines geeigneten Wärme- bzw. Heizungssystems angesichts der Standorteigenschaften.

Ist eine generelle Entscheidung für den Bau von Erdwärmekollektoren gefallen, dann kann die Wahl des Rohrsystems die benötigte Gesamtfläche deutlich reduzieren, beispielsweise durch Kompaktabsorber. Auch der doppelagige Anlagenaufbau (Sandwichbauweise) reduziert den Flächenbedarf, wenngleich tiefer gegraben werden muss, also das betroffene Bodenvolumen nicht gleichgerichtet reduziert wird.

Die Gestaltung der Baumaßnahme kann den Eingriff deutlich reduzieren. Wenn beispielsweise nicht der gesamte Boden abgetragen werden muss, sondern die Kollektorverlegung durch halb-offene Verlegeverfahren wie Schlitzfräsen oder Einpflügen (Agrothermie) erfolgt, kann der Eingriff weit weniger intensiv erfolgen. Solche Alternativen sollten bei der Planung nach Möglichkeit bevorzugt gewählt werden.

4.1.2 Reduzierung der Eingriffsintensität

Die zu erwartenden Auswirkungen auf Böden bei der Installation von Erdwärmekollektoren können durch bodenschonende Maßnahmen reduziert werden. Dazu bietet es sich an, im Zuge der Planung ein standortbezogenes Bodenschutzkonzeptes nach DIN 19639 zu erstellen und die Baumaßnahme durch eine Bodenkundliche Baubegleitung zu unterstützen.

Die Strategien zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen und Substratvermischungen, sowie Vorsichtsmaßnahmen bei der Rückverfüllung und einer eventuellen Nachbereitung, sind in Kapitel 2.3.1 beschrieben. Im Wesentlichen sind folgende Maßnahmen im Sinne der DIN 19639 zu ergreifen:

- ▶ Im Zuge der technischen Planung sollte ein Baustelleneinrichtungsplan erstellt werden, damit die erforderlichen Flächen für Baueinrichtung, Baustraßen, Bodenzwischenlagerung, Lagerung von Baumaterial etc. realistisch eingeplant sind. Ansonsten drohen Baubehinderungen und Kostensteigerungen bei der Ausführung.
- ▶ Die geschuldeten Leistungen zum Schutz der Böden während der Bauausführung müssen in geeigneter und ausreichend präziser Form in die Baubeschreibung und das Bau-Leistungsverzeichnis aufgenommen werden. Andernfalls wird die bauliche Umsetzung durch mögliche Behinderungsanzeigen und Nachträge der beauftragten Baufirmen erschwert (vgl. Feldwisch 2024).
- ▶ Erfassung und Bewertung der Bodeneigenschaften und insbesondere der Empfindlichkeiten gegen Verdichtungen und Vermischungen unterschiedlicher Substratschichten im Zuge der Erstellung eines Bodenschutzkonzeptes inkl. eines vorhabenbezogenen Bodenschutzplans.
- ▶ Beachtung der aktuellen, witterungsabhängigen Verdichtungsempfindlichkeiten; keine Bodenarbeiten und Befahrungen ungeschützter Böden oberhalb der Konsistenzstufe 3 (steifplastisch).
- ▶ Befestigung von Baustraßen und Baueinrichtungsflächen mittels mineralischer Schüttungen auf reißfesten Geovliesen oder mittels geeigneter Lastverteilungsplatten.
- ▶ Fachgerechte Trennung unterschiedlicher Bodenschichten (Ober- und Unterboden sowie Untergrund) beim Aushub und der Zwischenlagerung. Bei geschichteten Unterböden sind ggf. mehrere Unterbodenmieten vorzusehen.
- ▶ Bei der Zwischenlagerung von Aushubboden länger als 2 Monate ist eine unmittelbare Begrünung der Bodenmieten, insbesondere der Oberbodenmieten, vorzunehmen, um den Boden in einem möglichst trockenen Zustand zu erhalten. Alternativ können Bodenmieten auch mit reißfesten Folien oder Ähnlichem abgedeckt werden, um einer Vernässung der Miete vorzubeugen. Darüber hinaus verhindert bzw. mindert eine dichte Mietenbegrünung oder Abdeckung das Erosionsrisiko und die Verunkrautung.
- ▶ Schichtgerechte Rückverfüllung der zwischengelagerten Bodenmaterialien entsprechend der ursprünglichen Lagerung und Normalverdichtung. Ziel ist die Wiederherstellung durchwurzelbarer Bodenschichten (vgl. dazu u. a. HMKLV 2017), so dass massive Verdichtungen mittels vibrierenden Einbaumaschinen wie z. B Walzenzüge nicht ausgelöst werden dürfen.
- ▶ Falls bei der Rückverfüllung der Bodenschichten oberhalb der Anlage bzw. der Bettungsschicht dennoch erhebliche Verdichtungen aufgetreten sein sollten, muss eine Tieflockerung mit geeigneter Technik erfolgen. Dabei ist die technische Anlagesicherheit zu gewährleisten, so dass der Tiefgang der Lockerung ausreichend Abstand zur Anlage einhalten muss.

- ▶ Nach Erforderlichkeit kann auch nach Wiederherstellung der Bodenoberfläche eine Zwischenbegrünung im Sinne der DIN 19639 zielführend sein, um die natürlichen Bodenfunktionen im Bereich der aufgetragenen Bodenschichten oberhalb der Anlage bzw. der Bettungsschicht bestmöglich zu regenerieren (vgl. auch DIN 18915 zu Begrünungsmöglichkeiten bzw. geeigneten Ansaatmischungen).
- ▶ Bei der Beanspruchung von Böden unter landwirtschaftlicher, gärtnerischer Nutzung oder unter sonstigen Vegetationsflächen, insbesondere bei der Inanspruchnahme von Böden mit hoher Funktionserfüllung oder bei besonders empfindlichen Böden oder bei einer Eingriffsfläche über 3.000 m², sollte eine bodenkundliche Baubegleitung nach § 4 Abs. 5 BBodSchV in Erwägung gezogen werden.

4.2 Maßnahmen zur Reduzierung von anlagebedingten Auswirkungen

Durch das Bettungsmaterial und das eingebaute Rohrsystem an sich wird der natürliche Bodenaufbau gestört. Dadurch ändert sich die Durchwurzelbarkeit und die nutzbare Feldkapazität. Bei einem bodenschonenden Einbau werden die Bodeneigenschaften wenig beeinträchtigt, wie bodenschutzfachliche Untersuchungen nach Bauabschluss anderer Vorhabentypen zeigen (Feldwisch et al. 2023).

Bei einer korrekt dimensionierten Anlage, die beispielsweise nicht zu einer Vereisungsfläche führt, wird auch die Infiltration des Niederschlags nicht beeinträchtigt. Aus Sicht des Bodenschutzes kann die Anlage als solche nicht angepasst bzw. verändert werden, so dass die konkrete Bauausführung und die Eingriffsintensität von entscheidender Bedeutung sind; mögliche Maßnahmen zur Minderung und Vermeidung sind in Kap. 4.1.2 aufgeführt.

4.3 Maßnahmen zur Reduzierung von betriebsbedingten Auswirkungen

Im Frühjahr kann sich durch den Wärmeentzug der Kollektoren im Boden die oberste Bodenschicht ebenfalls abkühlen, so dass es zu einer verzögerten Entwicklung der Vegetation kommen kann. Insbesondere bei frühblühenden Pflanzen könnte eine Verbesserung des Kleinklimas eine Verzögerung des Aufwuchses verringern. Für die Gartennutzung lassen sich aus der Wohnbauforschung aus Niederösterreich (Em et al. 2006) folgende Maßnahmen entnehmen, die allerdings nicht die Auswirkungen an sich mindern oder vermeiden, sondern Anpassungen an den geänderten Wärmehaushalt sind:

- ▶ Windschutz in windexponierten Lagen durch Hecken oder Flechtzäune
- ▶ Einbau von (Süd)Mauern als Wärmespeicher
- ▶ Pflanzen von vorgezogenen Setzlingen statt Direktsaat ins Beet
- ▶ Verwendung von kälteunempfindlichen Arten und Sorten
- ▶ gegebenenfalls Erhöhung des Beetes (mehr Raum und Wärme für die Wurzeln)
- ▶ Arbeiten mit Hochbeeten

Für den Bereich Landwirtschaft und Gartenbau könnte das regelmäßige Zuführen organischer Substanz (Festmist, Komposte oder auch Mulchmaterial) den Einfluss einer verringerten mikro-

biellen Biomasse infolge geringerer Bodentemperaturen vermutlich kompensiert bzw. die Aktivität der mikrobiellen Biomasse könnte stimuliert und gefördert werden. Dazu fehlen allerdings empirische Untersuchungsergebnisse.

4.4 Weitere Maßnahmen

Da noch Wissenslücken und Unsicherheiten bezüglich der Umweltauswirkungen von Erdwärmekollektoren für das Schutzgut Boden bestehen, müssen wissenschaftliche Untersuchungen bodenschutzfachliche Aspekte zukünftig stärker in den Fokus ziehen. Dabei sollten anlagen- und betriebsbedingte Wirkungen in den Fokus genommen werden.

Ein bodenschutzfachliches Monitoring wäre bei vielen Großprojekten ohne großen Mehraufwand möglich. Dabei sollten die Auswirkungen auf die Vegetationsentwicklung (ober- und unterirdische Biomasse, Ernteerträge und -qualität) und das Bodenleben vertiefter untersucht werden. Neben Regenwurmerfassungen sollte ein Fokus auf die Aktivität und Zusammensetzung der Bodenbakterien gelegt werden. Die Aktivität der Bodenbakterien sollte über die Basalatemung (Messung CO₂-Freisetzung) und die Zusammensetzung mittels quantitativer Polymerase-Kettenreaktion (qPCR)¹⁰ in einem Langzeitexperiment ermittelt werden.

Um mögliche Gefahren bei Leckagen eindämmen zu können, bedarf es einer Volldeklaration bei dem Wärmeträgermedien. Hinzu muss die ökotoxikologische Wirkung der Wärmeträgermedien und deren Additiven unter realen Bedingungen weiter erforscht und exaktere Quantifizierungsmethoden entwickelt werden.

Zur Stärkung des Bodenschutzes kann eine Bodenkundliche Baubegleitung bereits im Bebauungsplan festgesetzt werden. Dies kann über § 9 Abs. 1 Nr. 20 Baugesetzbuch (BauGB) „Maßnahmen zum Schutz, zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft“ und/ oder § 202 BauGB „Schutz des Mutterbodens“ realisiert werden. Andernfalls könnte im Zuge von genehmigungspflichtigen Erdwärmekollektoren, im Rahmen der Genehmigung eine Bodenkundliche Baubegleitung nach § 4 Abs. 5 BBodSchV eingefordert werden.

Für den Privatsektor sollten Hinweise zu den bodenschutzfachlichen Anforderungen im Zuge der Anzeige-/Genehmigungsverfahren stärker kommuniziert werden, um das Bewusstsein für einen bodenschonenden Umgang zu fördern. Dazu bietet sich ein kurzer Maßnahmensteckbrief zu den wesentlichen Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen an, der den Akteuren bereitgestellt werden kann.

¹⁰ qPCR ist eine Methode zur Messung und Quantifizierung von DNA/RNA in einer Bodenprobe. Nach dem die DNA aus Bodenproben isoliert wird, können spezifische Arten oder Sequenzen detektiert und quantifiziert werden.

5 Quellenverzeichnis

- Bauer B. (1992): Ökologische Auswirkungen beim Betrieb von Wärmepumpen. Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft (ÖZE), 45, 5, Springer Verlag / Wien – New York, S. 145 – 150.
- Blume, H.-P.; Brümmer G. W.; Horn, R.; Kandeler, E.; Kögel-Knabner, I. (2016): Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde, Springer, Berlin.
- Born, H.; Bracke, R.; Eicker, T.; Rath M. (2022): Roadmap oberflächennahe Geothermie. Frauenhofer IEG. DOI: 10.24406/publica-70.
- BVB – Bundesverband Boden e. V. (2013): Bodenkundliche Baubegleitung BBB – Leitfaden für die Praxis. ESV, Berlin.
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2023): „Wie heizt Deutschland?“ 2023 - Neuberechnung der Studienergebnisse. https://www.bdew.de/media/documents/Wie_heizt_Deutschland_2023_aktualisierte_Fassung_-_BDEW_1.pdf (10.11.2025).
- Bundesverband Geothermie. <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/l/leckage> (16.04.2025).
- Bundesverband Wärmepumpe (BWP). <https://www.waermepumpe.de/presse/pressemitteilungen/> (15.04.2025).
- Burkart, T. (2014): Analyse des thermischen Verhaltens von Erdwärmekörpern zur Beheizung und Kühlung von Gebäuden; Fachhochschule Gießen; unveröffentlichte Diplomarbeit.
- Chen, Y.-C.; Li, Y.-F.; Xi, Y.; Li, Q.; Lu, Q.; Yang, J. (2023): Natural aging mechanism of buried polyethylene pipelines during long-term service. Petroleum Science 20, S. 3143-3156. DOI: 10.1016/j.petsci.2023.03.001.
- Dehner, U.; Müller, U.; Schneider, J. (2007): Erstellung von Planungsgrundlagen für die Nutzung von Erdwärmekollektoren. GeoBerichte 5. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Niedersachsen. DOI: 10.48476/geober_5_2007.
- DIN 18915 (2018): Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Bodenarbeiten. Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN 19639 (2019): Bodenschutz bei Planung und Durchführung von Bauvorhaben. Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN 19731 (2023): Bodenbeschaffenheit – Verwertung von Bodenmaterial und Baggergut. Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN 4710 (2003): Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland. Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN EN 1610 (2015): Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen. Beuth-Verlag, Berlin.
- Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. - DVGW W 400-2 (2022): Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen - Teil 2: Bau und Prüfung.
- Em, G.; Haage, U.; Huber, H.; Köfinger, C.; Rieberer, R.; Studer, H.; Wenzel, W.W.; Wieshammer, G.; Zivkovic, M. (2006): Wohnbauforschung Niederösterreich (2006): Wärmepumpen, Erdkollektoren, Garten- und Wohnqualität Endbericht. Download unter: <https://www.noegv.at/noegv/Wohnen-Leben/2127.pdf> (05.12.2024).
- Emmerling, C.; Hoffmann, C.; Herzog, M.; Schieber, B.; Stöckhert, F.; Koschel, S.; Kurtenacker, M.; Trüby, P. (2024): Soil warming by electrical underground transmission lines impacts temporal dynamics of soil temperature and moisture. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 1 - 11. DOI: 10.1002/jpln.202400052.
- Emmerling, C.; Herzog, M.; Hoffmann, C.; Schieber, B. (2025): Operational Soil Warming by Underground Transmission Lines Impacts on Soil Microorganisms and Related Metabolic Activities. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 0: 1 – 9. DOI: 10.1002/jpln.202400554.

Feldwisch, N.; Thies, C.; Koumans, C.; Herzog, M.; Sperl, D.; Koschel, S. (2023): Bodeneigenschaften und landwirtschaftliche Erträge auf der ALEGrO-Erdkabeltrasse. ZBOS 01-2023, S. 6-11. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

Feldwisch, N. (2024): Ausschreibung von Leistungen des Bodenschutzes bei Bauvorhaben. ZBOS 2-2024. S. 50-56. ESV, Berlin.

FGSV – Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (2025): Merkblatt für die Herstellung und Verwendung von zeitweise fließfähigen, selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen (ZFSV) im Erdbau. Technisches Regelwerk M ZFSV. FGSV Verlag GmbH, Köln.

Ginschel, J. (1977): Betriebsergebnisse einer Erdreich-Wasser-Wärmepumpe. Elektrowärme im Technischen Ausbau, 35, 6, S. 332-337.

Glück, B. (2007): Simulationsmodell "Erdwärmekollektor" zur wärmetechnischen Beurteilung von Wärmequellen, Wärmesenken und Wärme-/Kältespeichern.

Hessel, J. (2007): 100 Jahre Nutzungsdauer von Rohren aus Polyethylen. 3R international (46) Heft 4/2007.

HMULKV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.) (2017): Rekultivierung von Tagebau- und sonstigen Abgrabungsflächen – Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht. Bodenschutz in Hessen. https://landwirtschaft.hessen.de/sites/landwirtschaft.hessen.de/files/2024-07/arbeitshilfe_rekultivierung_von_tagebau-und_sonstigen_abgrabungsflaechen-herstellung_einer_durchwurzelbaren_bodenschicht.pdf (20.08.2025).

Ingwersen, J.; Bidlingmeier, C. (2024): Felduntersuchungen zum Einfluss von HöCHstspAnnungs-GleichstRom-ÜbertraGungs (HGÜ) Erdkabeln auf Böden und landwirtschaftliche Kulturpflanzen - CHARGE. Projektvorstellung – Agrarbündnis Fachgespräch Stromnetzausbau. https://agrarbuendnis.de/fileadmin/Daten_AB/Projekt_Klima_und_multifunktionale_Landwirtschaft/Agrarbundnis_Stromnetzausbau_2024_Bidlingmaier_Ingwesen.pptx_-_Schreibgeschuetzt.pdf (Stand: 20.08.2025).

Isobe, K.; Okaa, H.; Watanabe, T.; Tatenno, R.; Urakawa, R.; Liang, C.; Snoo, K.; Shibata, H. (2018): High soil microbial activity in the winter season enhances nitrogen cycling in a cool-temperate deciduous forest. Soil Biology and Biochemistry 124, S. 90 - 100. DOI: 10.1016/j.soilbio.2018.05.028.

Jansson, PE.; Lundin, LC. (1984): Fysikaliska effekter av ytjordvärmeuttag – Simulerade uttag för olika marker och klimat (Physikalische Effekte eines Wärmeeustrags aus dem Boden). Spångbergs Tryckerier AB, Stockholm 1984, R50.

Jefferies, R. L.; Walker, N.A.; Edwards, K. A.; Dainty, J. (2010): Is the decline of soil microbial biomass in late winter coupled to changes in the physical state of cold soils? Soil Biology and Biochemistry 42, S. 129 - 135. DOI: 10.1016/j.soilbio.2009.10.00.

LAWA - Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2018): Empfehlungen der LAWA für wasserwirtschaftliche Anforderungen an Erdwärmesonden und -kollektoren. Beschlossen auf der 157. LAWA-Vollversammlung am 03./04.04.2019 in Gotha

Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR SH) (2011): Leitfaden zur geothermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes. Schriftenreihe: LLUR SH – Geologie und Boden; 18.

Marschner, B.; König, C.; Schröder, S. (2023): Abschätzung der Bodenerwärmungen durch Erdkabel und deren Auswirkungen auf den Humusumsatz. Bodenschutz 02/2023. DOI: 10.37307/j.1868-7741.2023.02.04.

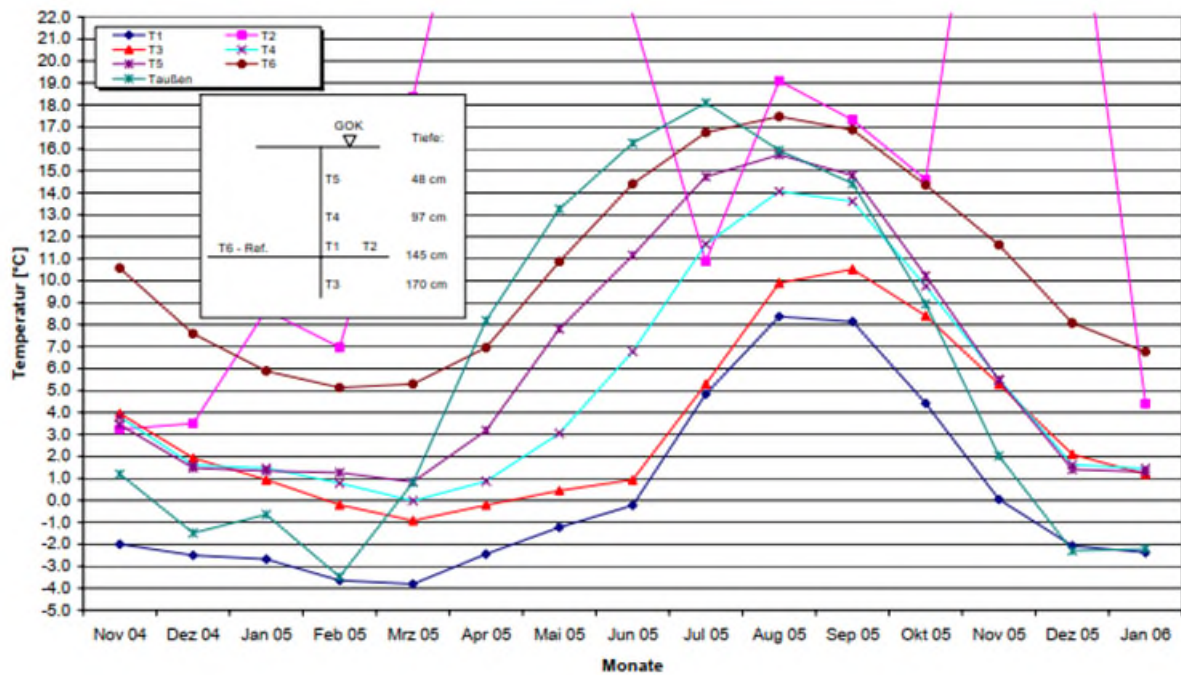
Ohlsen, B.; Horzella, J.; Bock, T.; Lucki, P.; Bertermann, D.; Wagner, J.; Grunewald, J.; Perzuold, H.; Müller, D.; Schreiber, T.; Stockinger, V. (2023): Abschlussbericht ErdEis II Erdeisspeicher und oberflächennahe Geothermie. ISBN 978-3-910814-00-4.

Pietruschka, D.; Pietzsch, U. (2017): Abschlussbericht EnEff:Stadt-Projekt EnVisaGe - Kommunale netzgebundene Energieversorgung - Vision 2020 am Beispiel der Gemeinde Wüstenrot.

- Rammler, M.; Bertermann, D. (2025): Groundwater temperatures downstream from a large-scale geothermal collector system (LSC) in Bad Nauheim, Germany. *Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie* (2025) 30:37–48. DOI: 10.1007/s00767-024-00580-x.
- Schnecker, J.; Spiegel, F.; Li, Y.; Richter, A.; Sandén, T.; Spiegel, H.; Zechmeister-Boltenstern, S.; Fuchslueger, L. (2023): Microbial responses to soil cooling might explain increases in microbial biomass in winter. *Biogeochemistry*, 164, S. 521–535. DOI: 10.1007/s10533-023-01050-x."
- Specht, O. (1979): Technik der Erschließung der Wärmequelle Erdreich: Wärmeentzugsdichten in der Praxis, *Elektrowärme im Technischen Ausbau*, 37, 4-5, S. 249-254.
- Statistisches Bundesamt (Destatis; 2024): Pressemitteilung Nr. N 015 vom 25. Februar 2021. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/02/PD21_N015_44.html (07.11.2024).
- Statistisches Bundesamt (Destatis; 2024): Wohnen in Deutschland. Zusatzprogramm des Mikrozensus 2022. (Februar 2024).
- Stockinger, V. (2015): Abschlussbericht Forschungsvorhaben +Eins - Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut. https://mediapool.hm.edu/mediapool/media/fk05/fk05_lokal_1/fk05vs/forschung_und_entwicklung/publikationen_dr__volker_stockinger/150708_Endbericht_Eins_Gesamt.pdf (05.12.2024).
- Trüby, P. (2022): Auswirkungen der Wärmeemission von Höchstspannungserdkabeln auf den Boden und auf landwirtschaftliche Kulturen. Gutachten zur 110-/380-kV Höchstspannungsleitung Wehrendorf - Gütersloh (EnLAG, Vorhaben 16). Abschnitt: Pkt. Hessel - Pkt. Königsholz (Landesgrenze NRW/NDS) im Auftrag der Amprion GmbH.
- UBA - Umweltbundesamt (2015): Auswirkungen thermischer Veränderungen infolge der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Beschaffenheit des Grundwassers und seiner Lebensgemeinschaften – Empfehlungen für eine umweltverträgliche Nutzung. *Texte 54/2015*. ISSN 1862-4804.
- Uhlig, K.; Rücknagel, J.; Macholdt, J. (2023): 2023: a soil odyssey—HeAted soil-Monoliths (HAL-MS) to examine the effect of heat emission from HVDC underground cables on plant growth. *Plant Methods* 20:162. DOI: 10.1186/s13007-024-01283-3.
- VDI-Richtlinie 4640 (2010): Thermische Nutzung des Untergrunds. Blatt 1: Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte. Blatt 2: Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. Beuth-Verlag, Berlin.
- Wirtz, M.; Schreiber, T.; Müller, D. (2022): Survey of 53 Fifth-Generation District Heating and Cooling (5GDHC) Networks in Germany. *Energy Technology* 10. DOI: 10.1002/ente.202200749.
- Zeh, R.; Stockinger, V. (2022): Monitoring of a large-scale geothermal collector system and a 5GDHC in Bad Nauheim. Tagungsbericht. European Geothermal Congress 2022.
- Žifčáková, L.; Větrovský, T.; Lombard, V.; Henrissat, B.; Howe, A.; Baldrian, P. (2017): Feed in summer, rest in winter: microbial carbon utilization in forest topsoil. *Microbiome*, 5, mS. 122. DOI: 10.1186/s40168-017-0340-0.

A Anhang

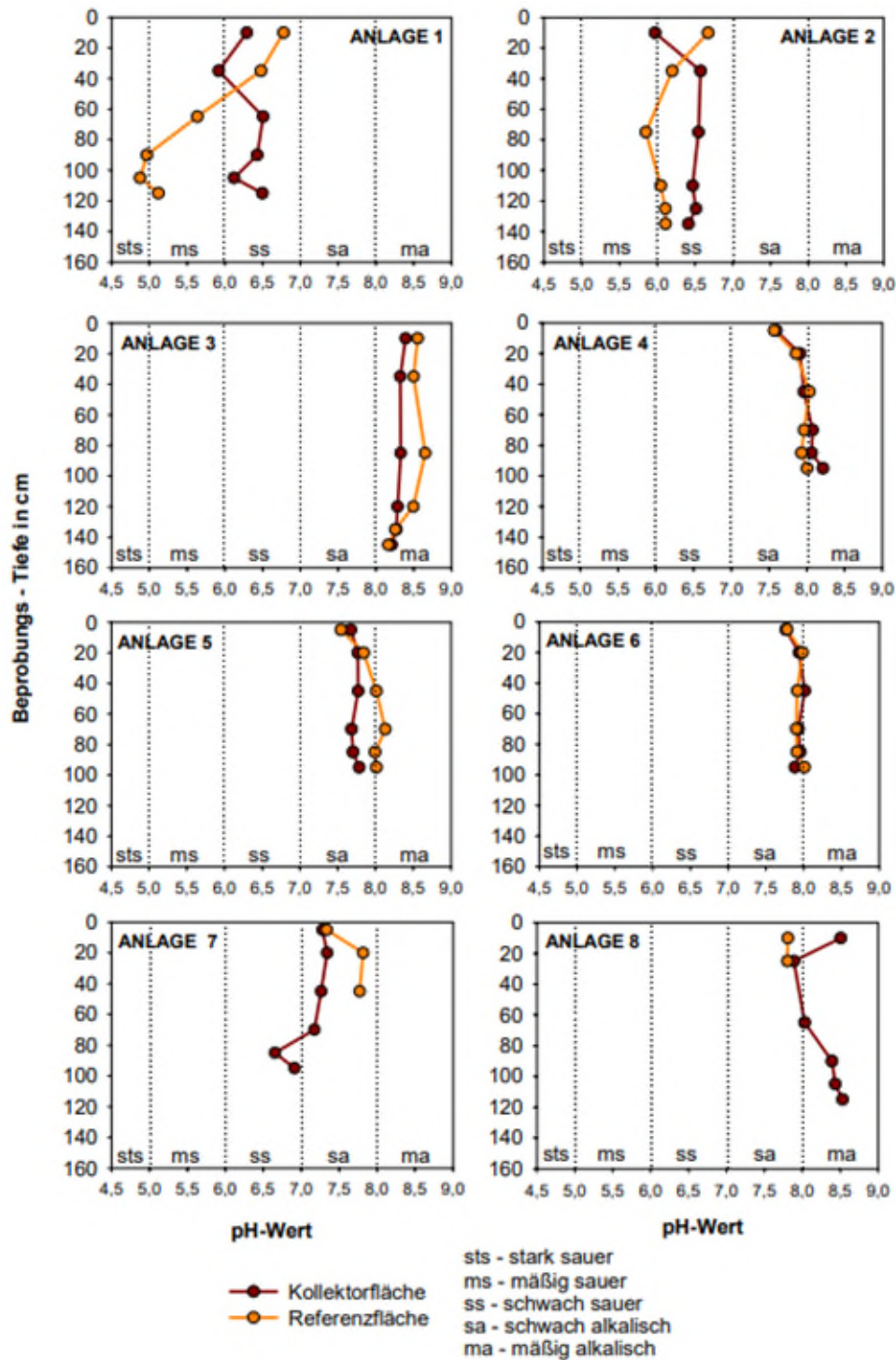
Abbildung A. 1 Mittlere Luft- und Bodentemperaturen einer Erdwärmekollektoranlage aus der Wohnbauforschung in Niederösterreich (Versuchsanlage 2).



Bei dieser Versuchsanlage gab es einen ungeplant höheren Wärmeentzug durch den Kollektor, so dass sich die Bodentemperaturen nicht wieder angleichen konnten. Der Temperaturfühler T2 (pinke Linie) war defekt.

Quelle: Em et al. (2006).

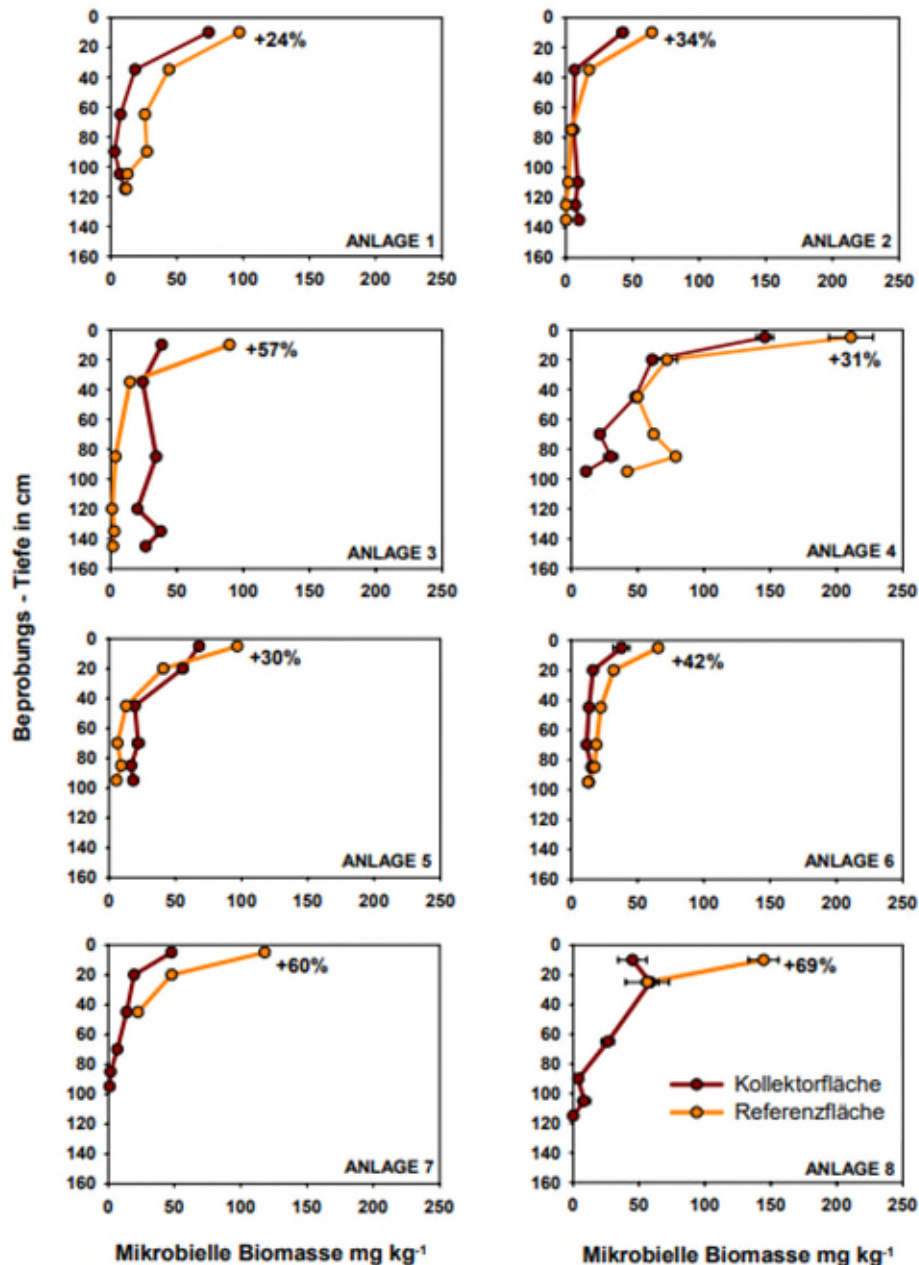
Abbildung A. 2 Vergleich der Boden pH-Werte auf den Kollektor- und Referenzflächen aus der Wohnbauforschung in Niederösterreich.



Der Vergleich der Boden pH-Werte auf den Kollektor- und Referenzflächen diente zur Überprüfung, ob ortsfremdes Bodenmaterial beim Einbau der Kollektorrohre verwendet wurde. Neben dem pH-Wert wurde auch die maximale Wasserhaltekapazität bestimmt und hinsichtlich Homogenität von Kollektor- und Referenzfläche geprüft. Nur die Referenzflächen der Versuchsanlagen 3, 4 und 6 konnten hinsichtlich der pH-Werte und der maximalen Wasserhaltekapazitäten als mit den Kollektorflächen homogen eingestuft werden.

Quelle: Em et al. (2006).

Abbildung A. 3 Mikrobielle Biomasse im Boden der Kollektorfläche im Vergleich zur Referenzfläche (Prozentangaben beziehen sich auf die mikrobielle Biomasse in Tiefenstufe 1 der Referenzfläche relativ zur mikrobiellen Biomasse in Tiefenstufe 1 der Kollektorfläche)



Die Analysen zur Bestimmung der mikrobiellen Biomasse wurden nach der Fumigations-Extraktionsmethode durchgeführt. Die größten Unterschiede in der Quantität der mikrobiellen Biomasse zwischen Kollektor- und Referenzfläche waren in der Tiefenstufe 1 zu finden. Durchschnittlich war die mikrobielle Biomasse in der obersten Bodenschicht der Referenzflächen um 43 % höher als in der gleichen Tiefenstufe der. In den unteren Tiefenstufen waren die Unterschiede zwischen Kollektor- und Referenzflächen durchwegs undeutlicher. Die geringere mikrobielle Biomasse auf den Kollektorflächen kann zumindest auf den homogenen Anlagen 3, 4 und 6 mit hoher Wahrscheinlichkeit auf einen Einfluss geringerer Bodentemperatur und/oder verkürzter Perioden optimaler Bodentemperatur zurückgeführt werden.

Quelle: Em et al. (2006)

Tabelle A. 1 Haushalte in Gebäuden mit Wohnraum (ohne Wohnheime) 2022 nach überwiegend verwendeter Energieart der Beheizung und Wohnungs- und Gebäudemerkmalen

Nicht dargestellt: Fernwärme, Gas, Elektrizität, (Strom), Heizöl, Briketts/Braunkohle, Koks/Steinkohle, Holz/Holzpellets, Biomasse ((außer Holz), Biogas, Sonnenenergie

Haushalte	Insgesamt	Erd- und andere Umweltwärme, Abluftwärme
Haushalte insgesamt	3.9318.000	1.076.000
Beheizt mit...		
1 Energieart	3.2333.000	707.000
2 Energiearten	6.389.000	336.000
3 oder mehr Energiearten	561.000	33.000
darunter Gebäudetyp		
Einfamilienhaus	1.4904.000	730.000
freistehend	10.176.000	595.000
Doppelhaushälfte	2.566.000	102.000
gereiht	2.163.000	33.000
Mehrfamilienhaus	24.211.000	341.000
freistehend	10.922.000	250.000
gereiht	13.289.000	91.000
Baujahr		
bis 1948	8.483.000	65.000
1949 - 1978	16.006.000	127.000
1979 - 1990	5.517.000	70.000
1991 - 2000	4.543.000	54.000
2001 - 2010	2.226.000	218.000
2011 und später	2.316.000	540.000
darunter 2020 und später	490.000	145.000
Wohnfläche von ... bis unter ... m ²		
unter 40	1.623.000	15.000
40 - 60	6.198.000	50.000
60 - 80	9.041.000	97.000
80 - 100	6.688.000	113.000
100 - 120	4.789.000	124.000
120 - 140	4.400.000	178.000
140 und mehr	6.475.000	495.000

Quelle: Zusatzprogramm des Mikrozensus 2022, Statistisches Bundesamt.