

Ergebnisse der Potenzialanalyse für die Kommune(n): Aschersleben

#weilwirzukunftlieben

Ihr Potenzialreport für Aschersleben

Potenzialanalyse – Bericht

- Grundlegende Informationen
- Logik und Parameter
- Potenziale (Einzelbetrachtung)
- Quellen und Glossar



Grundlagen und Informationen

Wärmeplanungsgesetz, § 16:

Im Rahmen der Potenzialanalyse ermittelt die planungsverantwortliche Stelle quantitativ und räumlich differenziert die im beplanten Gebiet vorhandenen Potenziale zur Erzeugung von Wärme aus erneuerbaren Energien, zur Nutzung von unvermeidbarer Abwärme und zur zentralen Wärmespeicherung.

Bekannte räumliche, technische, rechtliche oder wirtschaftliche Restriktionen für die Nutzung von Wärmeerzeugungspotenzialen sind zu berücksichtigen.



Welche Potenzialtypen werden untersucht

Potenziale für
dezentrale
Wärmeversorgung¹



Potenziale für
Wärmenetze



Potenziale für
Wärmespeicherung



Das Potenzial zur Energieeinsparung wurde bereits im Rahmen der Bestandsanalyse diskutiert und wird daher in dieser Unterlage nicht erneut dargestellt

Potenzialanalyse als Grundlage für die Szenarioberechnung

Inhalt des Reports



- Analyse der verfügbaren Potenziale vor Ort
- Erste Abschätzung welcher Anteil der Potenziale realistisch zu erschließen ist
- Aufschlüsselung der Potenziale nach Flächentyp und Eigenschaften

Kein Inhalt des Reports



- Finaler Maßnahmenkatalog
- Wirtschaftlichkeitsanalyse und notwendiger Infrastrukturausbau
- Ein Abgleich zwischen Erzeugungspotenzial und Verbrauch in der Kommune.
- Priorisierung der Maßnahmen

Weiterverwendung der Ergebnisse



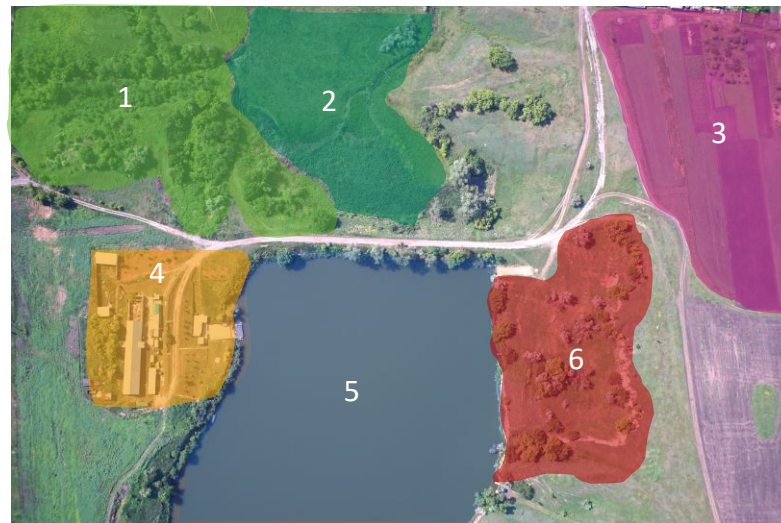
- Input für die Szenarioanalyse
- Validierung der Ergebnisse mit lokalen Partnern
- Grundlage für den Austausch/Bildung von Interessens- und Energiegenossenschaften

Bundesweite Daten werden mit lokalen Daten kombiniert

Datenquellen



Grundlage sind digitale Landschaftsdaten des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie sowie öffentliche Daten zu Geothermie, Grundwasser und Wärmeleitfähigkeit. Ergänzt wird dies durch Informationen aus dem Marktstammdatenregister, durch bereits durchgeführte Studien des Auftraggebers und durch lokale Restriktionen.



Exemplarische Darstellung der verschiedenen Flächentypen

1 Wald, 2 Vegetationslose Fläche, 3 Landwirtschaft,
4 Siedlungsfläche, 5 See, 6 Heide

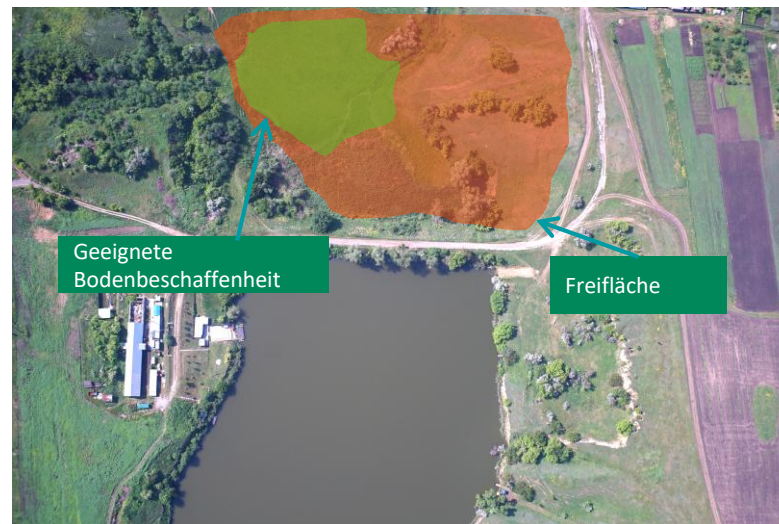
Datenvorbereitung - Flächen werden nach den Potenzialen definiert und angepasst

Datenverschneidung



Für die Ermittlung der möglichen Potenzialflächen für erneuerbare Energien werden im ersten Schritt Flächentypen definiert, welche als mögliche Freifläche betrachtet werden soll.

Dies geschieht in Abhängigkeit des jeweiligen Potenzials: Während für Biomasse fokussiert Acker- und Waldflächen in Betracht gezogen werden, sind für Grundwasserwärmepumpen zusätzlich Siedlungsflächen als mögliches Gebiet freigeschaltet. Neben der Freifläche selbst, müssen je nach Potenzial weitere Bedingungen wie ein geeigneter Untergrund vorliegen.



Datenverschneidung – vereinfachte Darstellung

Datenverarbeitung - Reduktion des Potenzials durch Definition eines Erschließungsgrades

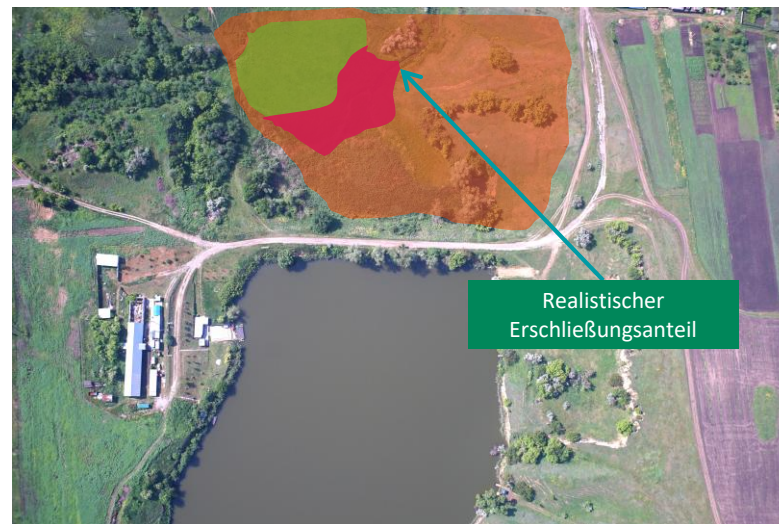
Reduzierung durch Erschließungsgrad



Des Weiteren wird für die jeweiligen Potenziale ein sogenannter Erschließungsgrad definiert, der einen realistischen Anteil des zu nutzenden Potenzials angibt.

Gründe für die Reduzierung der erschließbaren Potenzialfläche können konkurrierende Nutzungen wie beispielsweise Lebensmittelanbau oder thermische Ergiebigkeit des Untergrunds sein.

Durch eine Anpassung der Faktoren können so individuelle Erschließungsszenarien definiert werden.



Erschließungsgrad – vereinfachte Darstellung

Potenzialberechnung - Freiflächen wird gemäß ihrer Typisierung ein Energiepotenzial zugeordnet

Verknüpfung der Freifläche mit Energiedichten



Für die identifizierten Potenzialflächen werden spezifische Ertragswerte angesetzt. Diese basieren auf Literaturwerten oder lokalen Gegebenheiten und werden für jede Potenzialart einzeln definiert.

Der spezifische Ertrag wird anschließend mit der nutzbaren Fläche verrechnet, woraus sich das Gesamtpotenzial für einzelne Gebiete ergibt



Wichtig ist es an dieser Stelle zu betonen, dass die Ergebnisse Möglichkeiten für eine zukünftige Erschließung aufzeigen und keinen Maßnahmenkatalog definieren.

Da insbesondere in ländlicheren Gebieten das Erzeugungspotenzial den lokalen Verbrauch um ein Vielfaches übersteigt, sind elektrische oder thermische Speicher als Option laut Leitfaden zu berücksichtigen.

Übersicht aller untersuchten Potenziale



Umweltwärme

- Stehende Gewässer
- Fließgewässer
- Grundwasser



Abwärme

- Industrie-prozesse
- KWK-Anlagen
- Biogasanlagen
- Kläranlagen



Geothermie

- Oberflächen-nahe Geothermie
- Tiefe Geothermie



Biomasse

- Feste Biomasse



Solarthermie

- Freiflächen
- Dachflächen



Strom aus Erneuerbaren

- Freiflächen PV
- Dachflächen PV
- Windenergie





















Speicher

- Zylindewärme-speicher
- Erdwärme-speicher

Vor- und Nachteile der geprüften Potenziale

	Freiflächen-PV	Freiflächen-ST	Dachflächen-PV	Dachflächen-ST	Oberflächen Geothermie	Biomasse	Grundwasser
Ertragsdichte	 hoch	 hoch	 hoch	 hoch	 mittel	 gering	 mittel
Zuverlässige Verfügbarkeit	 gering	 gering	 gering	 gering	 hoch	 hoch	 mittel
Speichernotwendigkeit	 mittel	 hoch	 mittel	 hoch	 gering	 gering	 gering
Sonstige Vorteile	Skalierbarkeit	Hoher Wirkungsgrad	Keine Flächenversiegelung	Keine Flächenversiegelung	Wetterunabhängig, hohe Lebensdauer	Gut speicherbar, CO ₂ -Neutraler Brennstoff	Hohe Leistungszahlen bei Wärmepumpen möglich
Sonstige Nachteile	Saisonale Schwankungen, Flächenkonkurrenz	Saisonale Schwankungen, Flächenkonkurrenz	Saisonale Schwankungen, begrenzte Dachflächen	Saisonale Schwankungen, begrenzte Dachflächen	Investitionsaufwand, nicht flächendeckend anwendbar	Flächenbedarf	Investitionsaufwand, nicht flächendeckend anwendbar

Vor- und Nachteile der geprüften Potenziale

	Abwasser- thermie	Flussthermie	Seethermie	Tiefe Geothermie	KWK- Anlagen	Industrie- abwärme
Ertragsdichte	 hoch	 hoch	 hoch	 hoch	 mittel	 gering
Zuverlässige Verfügbarkeit	 hoch	 hoch	 hoch	 hoch	 mittel	 mittel
Speichernot- wendigkeit	 gering	 gering	 gering	 gering	 gering	 gering/mittel
Sonstige Vorteile	Erschließungskosten , nahezu konstante Temperatur	Weniger Variation in der Temperatur im Vergleich zur Außenluft	Weniger Variation in der Temperatur im Vergleich zur Außenluft	Hohe thermische Entzugsleistungen möglich	Vorhandene Erzeugungs- infrastruktur	Hohe Wärmemengen verfügbar
Sonstige Nachteile	Kläranlagen meist außerorts, verbraucherfern	Saisonale Schwankungen, Flächenkonkurrenz	Absprache mit Naturschutz und Verbänden notwendig	(Mehrere) Kostenintensive Probebohrung notwendig	Zukünftige Förderlandschaft unklar	Abwärmenutzung konkurriert zur internen Prozess- optimierung

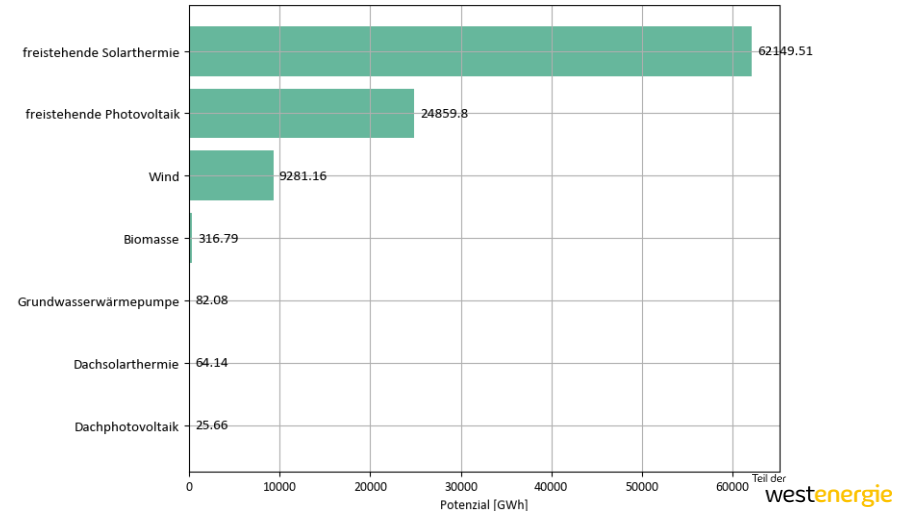


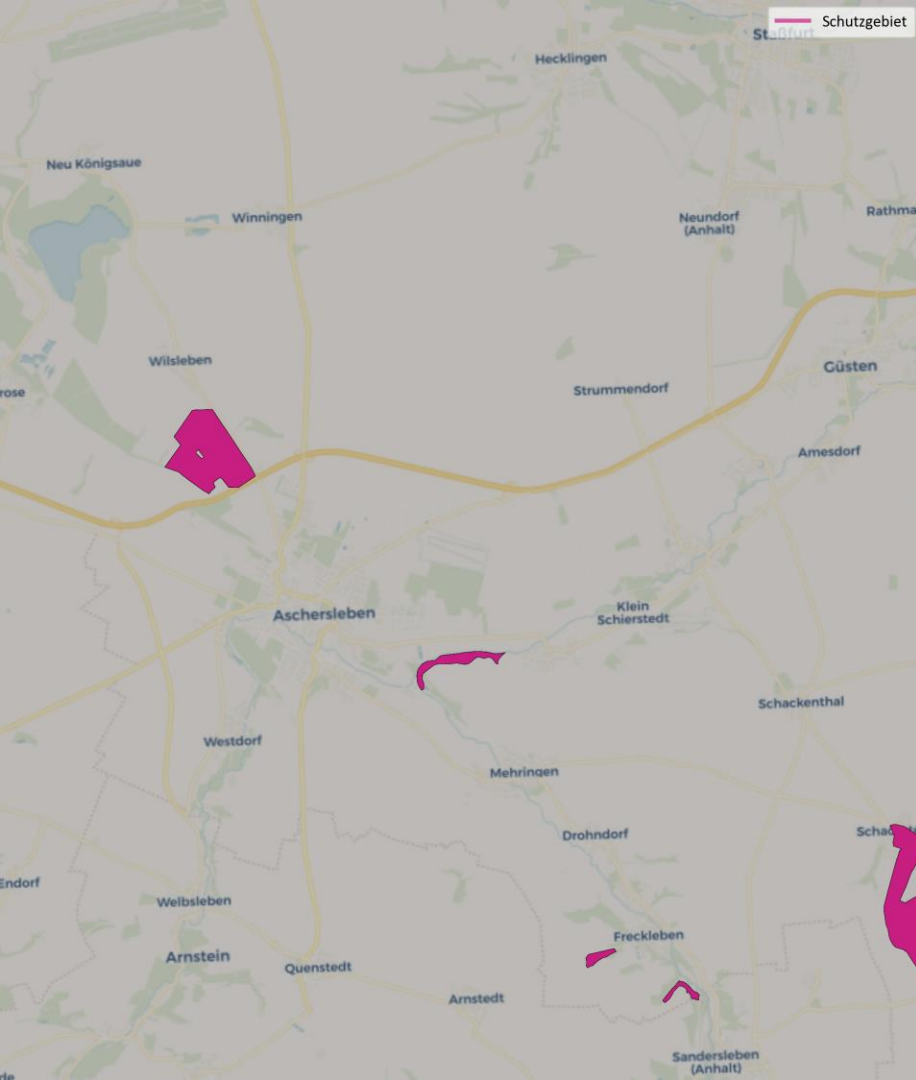
Flächenpotenziale

Übersicht

Im folgenden ist eine Übersicht der identifizierten Flächenpotenziale dargestellt. Die gezeigten Energiemengen dienen als Orientierung, nicht als Ausbauziel oder Prognose.

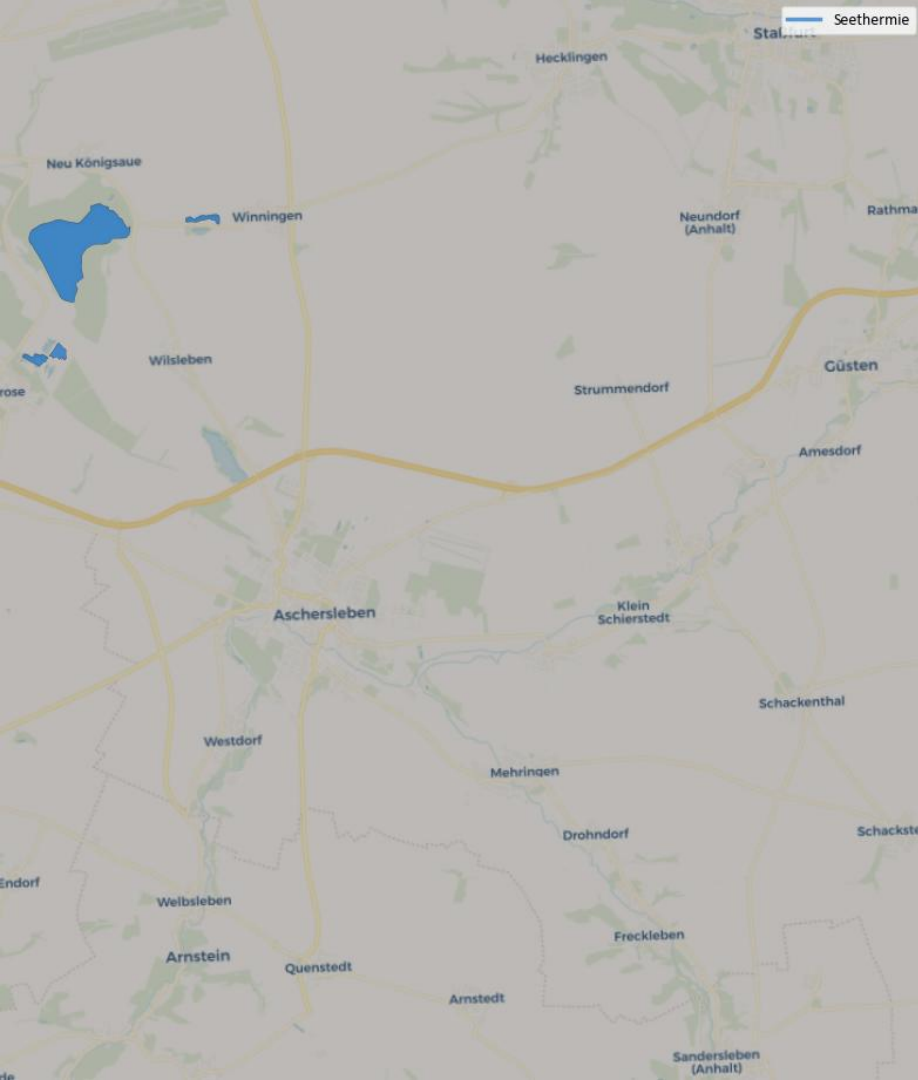
Die Methodik sowie Datenbasis zur Berechnung der Zahlenwerte wird in den folgenden Folien für jedes Potenzial einzeln erläutert. Insbesondere im ländlichen Raum sind die berechneten Energiemengen deutlich höher als der lokale Bedarf. Der wirtschaftlich erschließbare Anteil ist im Anschluss an die Wärmeplanung im Rahmen von Machbarkeitsstudien zu untersuchen.





Flächenpotenziale Schutzgebiete

Für die Bewertung der einzelnen Potenziale werden Schutzgebiete berücksichtigt und von den Potenzialflächen abgezogen. Schutzgebiete umfassten besonders geschützte Räume, wie bspw. Nationalparks, Natur- und Landschaftsschutzgebiete und andere Gebiete mit besonderen Schutzbestimmungen. Eine Übersicht aller relevanten Schutzgebiete im untersuchten Gebiet ist auf der Karte links dargestellt.



Gewässerpotenziale

Seethermie

digikoo

Erläuterung

Bei Seethermie wird das Temperaturniveau des Seewassers genutzt, um mithilfe einer Großwärmepumpe dem Seewasser Wärme zu entziehen und für Wärmenetze bereitzustellen. Für Neubaugebiete kann das resultierende Temperaturniveau bereits ausreichend sein. Bei älteren, unsanierten Gebäuden ist ein Anheben des Temperaturniveaus durch elektrische Heiz- oder erneuerbare Brennstoffe vermutlich notwendig. Ob ein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist, hängt dann von lokalen Faktoren wie notwendiger Leitungslänge, Verbrauchsstruktur sowie den Kosten für zusätzliche Heizelemente ab.

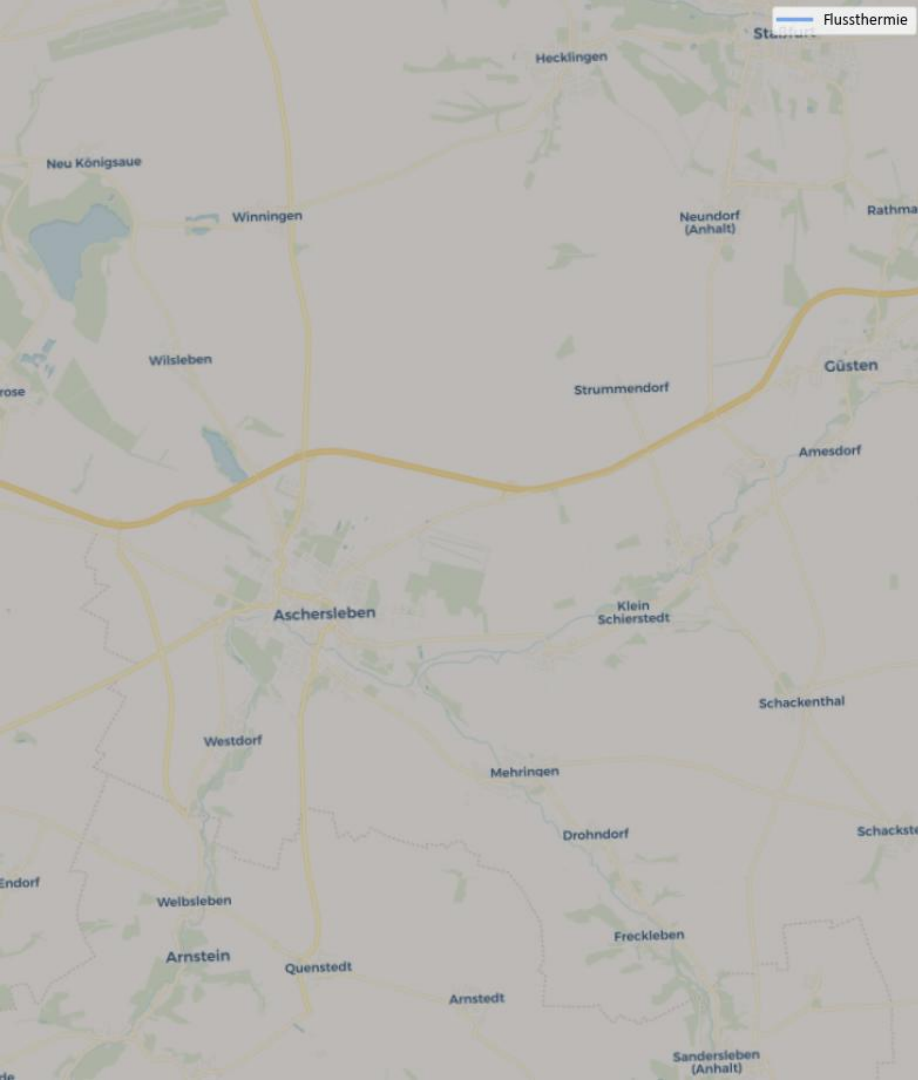
Abschätzung des Potenzials

Das Potenzial wird mit Hilfe der Seefläche sowie einer Abschätzung der Seetiefe durchgeführt. Die Seetiefe wird dabei anhand der Größe der Oberfläche abgeschätzt. Die Annahmen basieren dabei auf vorgestellten Studien des Lanuk NRW^a. Für die Temperaturentnahme wird ein konservativer Ansatz von 1 Kelvin angesetzt, um eine Beeinflussung der ökologischen Gegebenheiten minimal zu halten.

Gesamtpotenzial: 27,80 GWh

^a [Seethermie](#)

Teil der
westenergie



Gewässerpotenziale

Flusstermie

Erläuterung

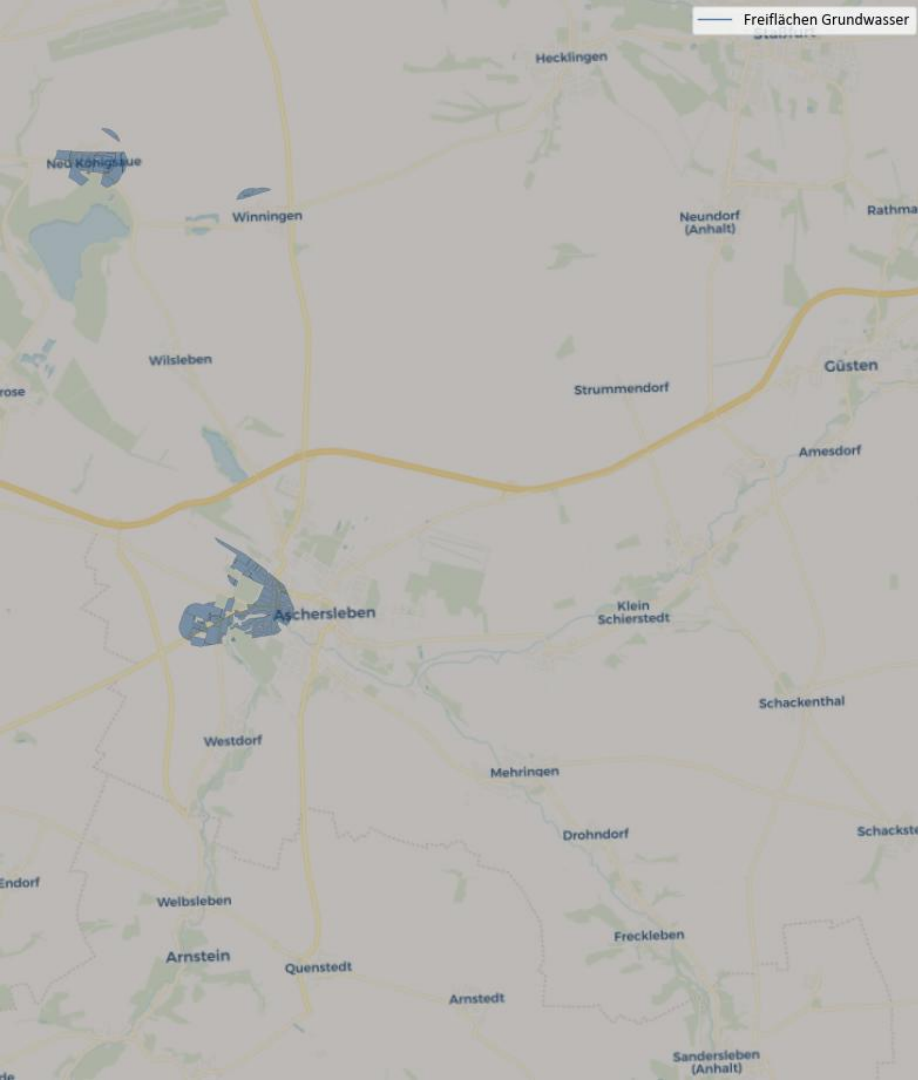
Flüsse bieten ein beträchtliches thermisches Potenzial für den Betrieb von Großwärmepumpen. Entscheidend ist dabei der Volumenstrom, der unter anderem von Flussbreite, -tiefe, Gefälle und Untergrund abhängt. Da Geodaten zu Neigung und Untergrund oft nicht verfügbar sind, werden zur ersten Einschätzung vereinfachte Annahmen getroffen und Flüsse in Potenzialklassen eingeteilt. Eine genauere Bewertung erfolgt anschließend nach der Wärmeplanung über saisonale Daten zum Pegelstand des Flusses sowie des Volumenstroms.

Abschätzung des Potenzials

Analog zur Abschätzung des Potenzials bei Klärwerken wird hier auf Basis des Wasservolumenstroms sowie einer maximalen Temperaturdifferenz gerechnet. Allerdings wird hier kein absoluter Wert sondern eine Größenordnung angegeben, da Trocken- und Nassperioden zu deutlichen Unterschieden führen können. Für die Temperaturentnahme wird ein konservativer Ansatz von 1 Kelvin angesetzt, um eine Beeinflussung der ökologischen Gegebenheiten minimal zu halten.

Formel: $Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot t_{vl}$

Gesamtpotenzial: $\leq 1 \text{ GWh}$



Gewässerpotenziale

Grundwasser

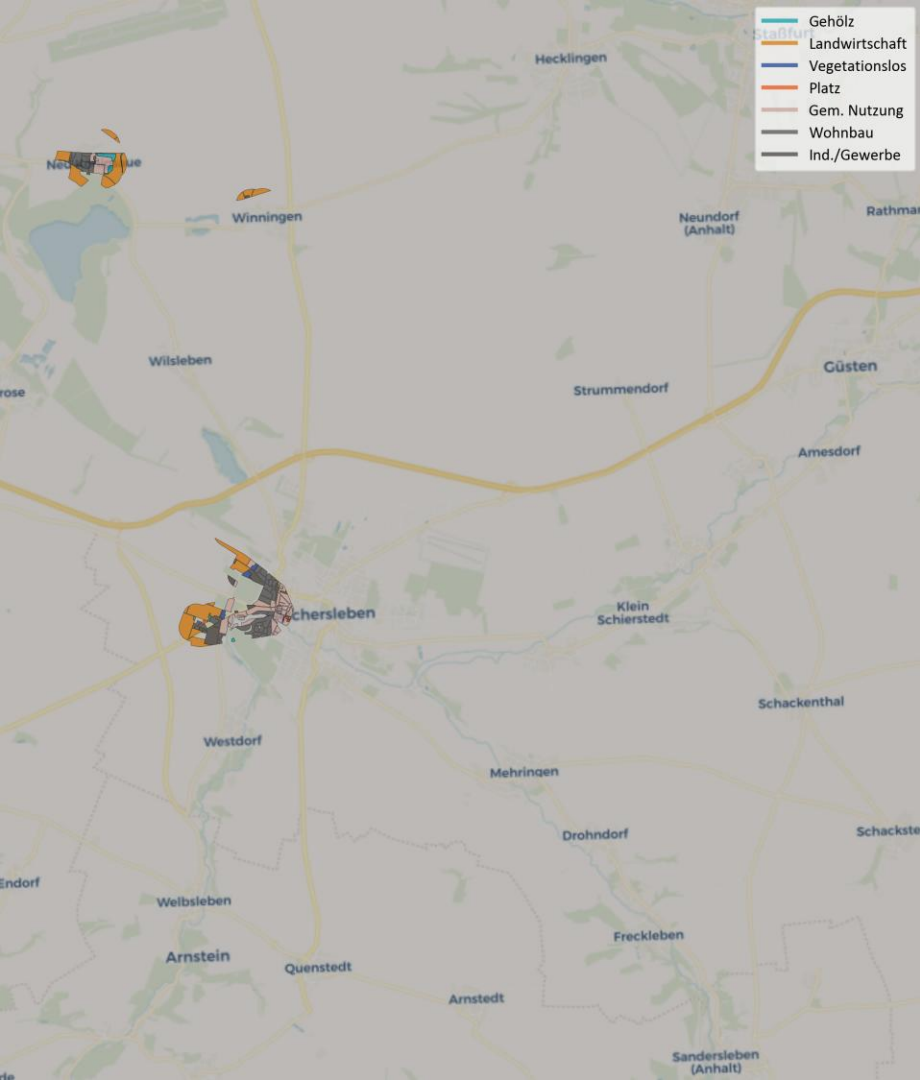
Berechnung

Für die Berechnung des Potenzials für Grundwasserwärmepumpen fließen eine Vielzahl von Einflussfaktoren ein, Ergiebigkeit des Grundwassers, Volumenströme im Untergrund, Trocken- und Nasswetterperioden oder Jahreszeiten. Dementsprechend sind die Vorhersagen hierbei mit großen Unsicherheiten behaftet. Für eine erste Abschätzung wurde eine Grundwasserwärmepumpe für die Deckung des Wärmebedarfs eines Einfamilienhauses mit 15.000 kWh/a angenommen. Mit einer angenommenen Effizienz von 3 ergibt sich eine entzogene Energiemenge von 10.000 kWh. Durch den Mindestabstand von 15m zwischen möglichen Anlagen folgt eine abgerundete Energiedichte von ca. 40 kWh/m² für die Potenzialflächen. Detaillierte Karten zur Ergiebigkeit des Grundwassers in der Region sind im Anhang der Analyse zu finden. Anhaltende Trockenperioden in den letzten Jahren haben fast flächendeckend zu einer Absenkung des Grundwasserpegels geführt, sodass eine umfassende Wärmenutzung auf lokaler Ebene abzustimmen ist.

Formel: $Q_{\max} = A \cdot Q_0$ mit $Q_0 = 40 \text{ kWh/m}^2$

Gesamtpotenzial: 82,08 GWh

Erschließbares Potenzial: 16,42 GWh

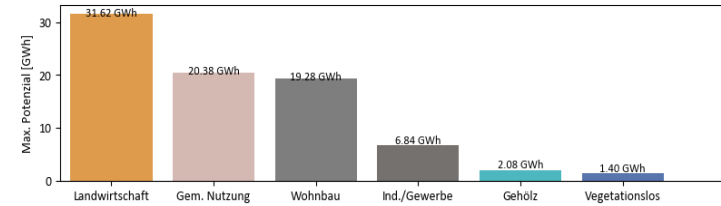


Gewässerpotenziale Grundwasser

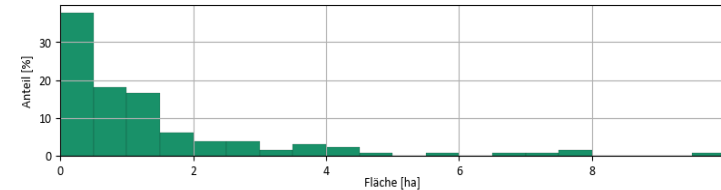
Gewählte Flächen

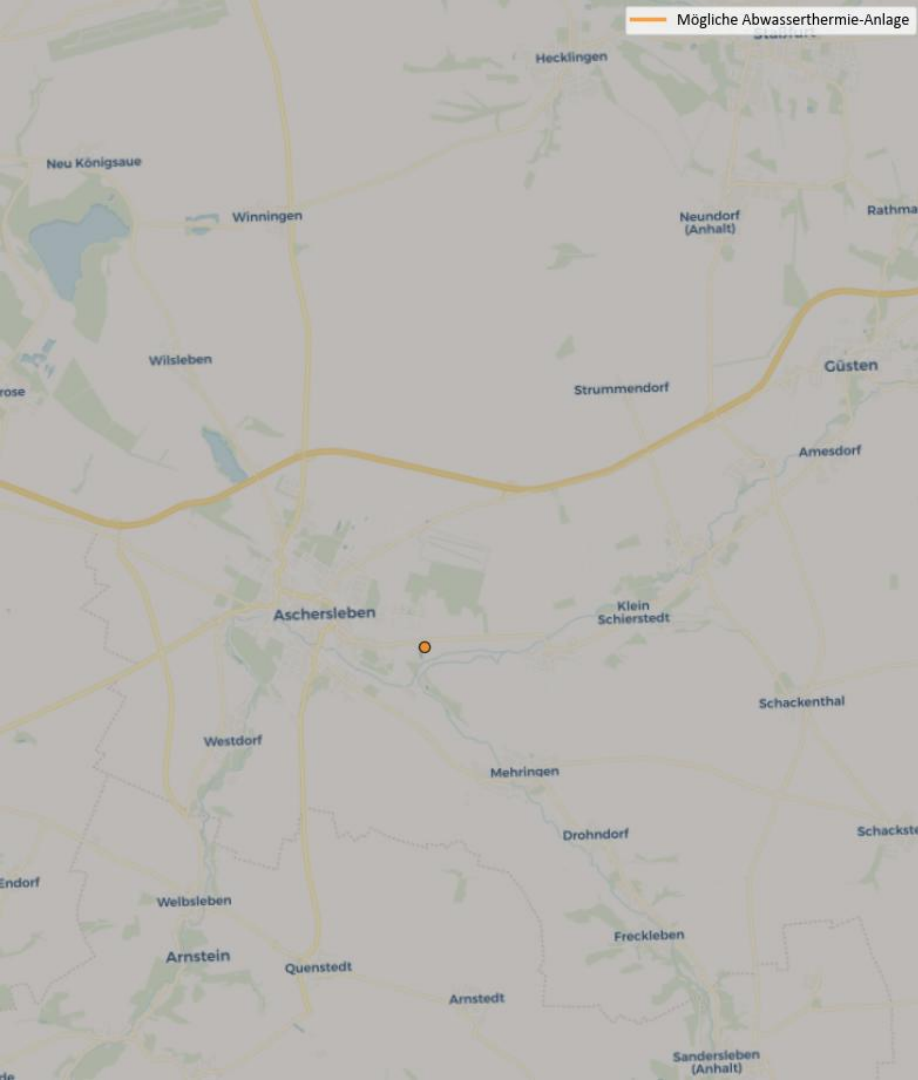
Für die Bestimmung der Potenzialflächen wurden Daten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffen zur Grundwasserergiebigkeit zugrunde gelegt. Diese werden mit den Freiflächen der Kommune und dem Siedlungsgebiet verschnitten. Da davon ausgegangen wird, dass die Nutzung von Grundwasser-Wärmepumpen nur verbrauchernahe wirtschaftlich ist, werden zusätzlich Gebiete außerhalb der unmittelbaren Umgebung zu Siedlungsflächen (250 Meter) nicht berücksichtigt.

Verteilung der Flächen nach Ertrag und Kategorie



Verteilung der Flächen nach Anzahl und Größe





Gewässerpotenziale

Abwasser

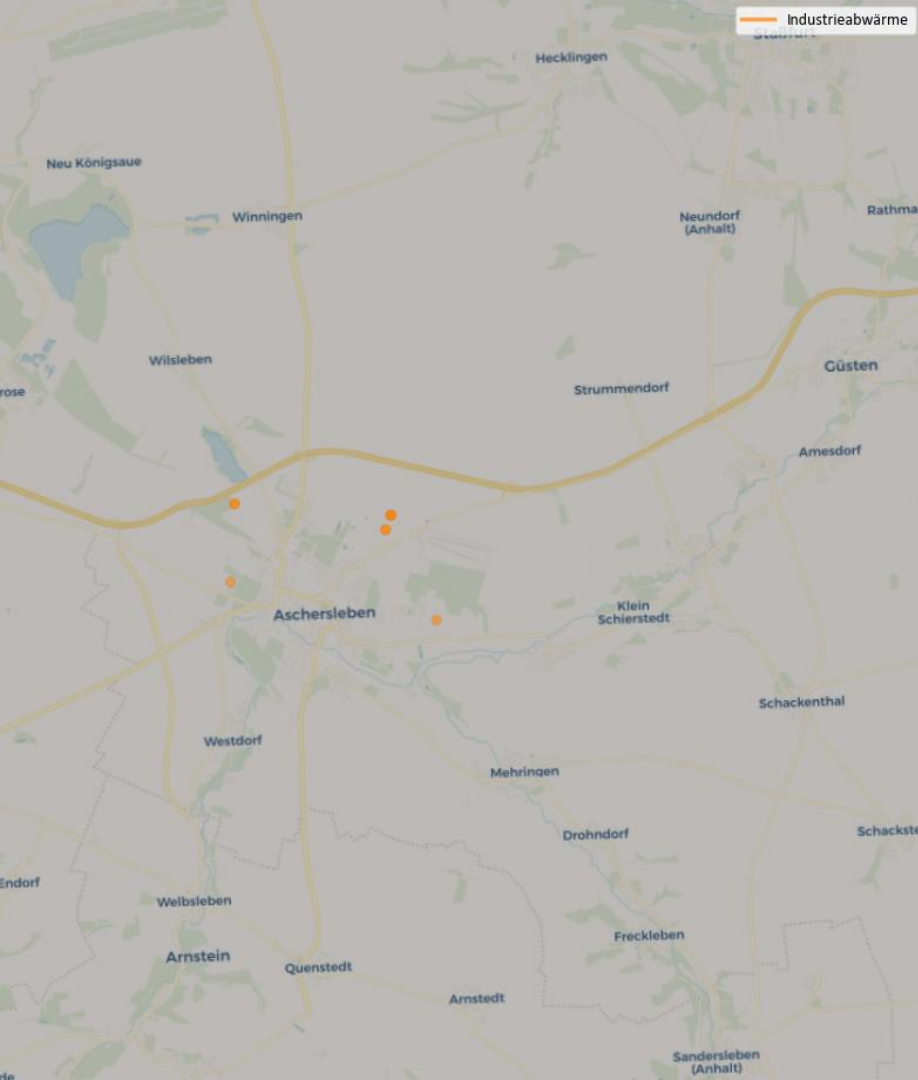
Erläuterung

Das gesammelte Abwasser in Kläranlagen kann als Wärmequelle für eine Großwärmepumpe genutzt werden, welche ein kaltes Nahwärmenetz versorgt oder mit Hilfe einer zusätzlichen Befeuerung durch Heizstäbe oder grüne Brennstoffe für ein konventionelles Hochtemperatur-Wärmenetz genutzt werden kann. Da die Abwassertemperatur im Vergleich zur Umgebungsluft über das Jahr eine geringere Schwankung aufweist, kann eine höhere Wärmepumpeneffizienz im Vergleich zu Luft-Wasser Wärmepumpen erreicht werden.

Abschätzung des Potenzials

Das Potenzial wird mit Hilfe des angegebenen jährlichen Volumenstroms der Kläranlage sowie einer maximalen Temperaturdifferenz des Abwassers abgeschätzt. Hierfür wurde eine maximale Temperaturdifferenz von 5 Kelvin angenommen. Saisonale Schwankungen im Abwassermassenstrom können zu einer reduzierten Leistung führen, dementsprechend ist in einer detaillierten Machbarkeitsstudie zu untersuchen für welche maximale Entzugsleistung die Anlage ausgelegt werden kann. Möglichkeiten bieten hier ebenfalls Speicherlösungen als Ausgleich zwischen den Lasten.

Gesamtpotenzial: 8,00 GWh



Anlagen

Industrieabwärme

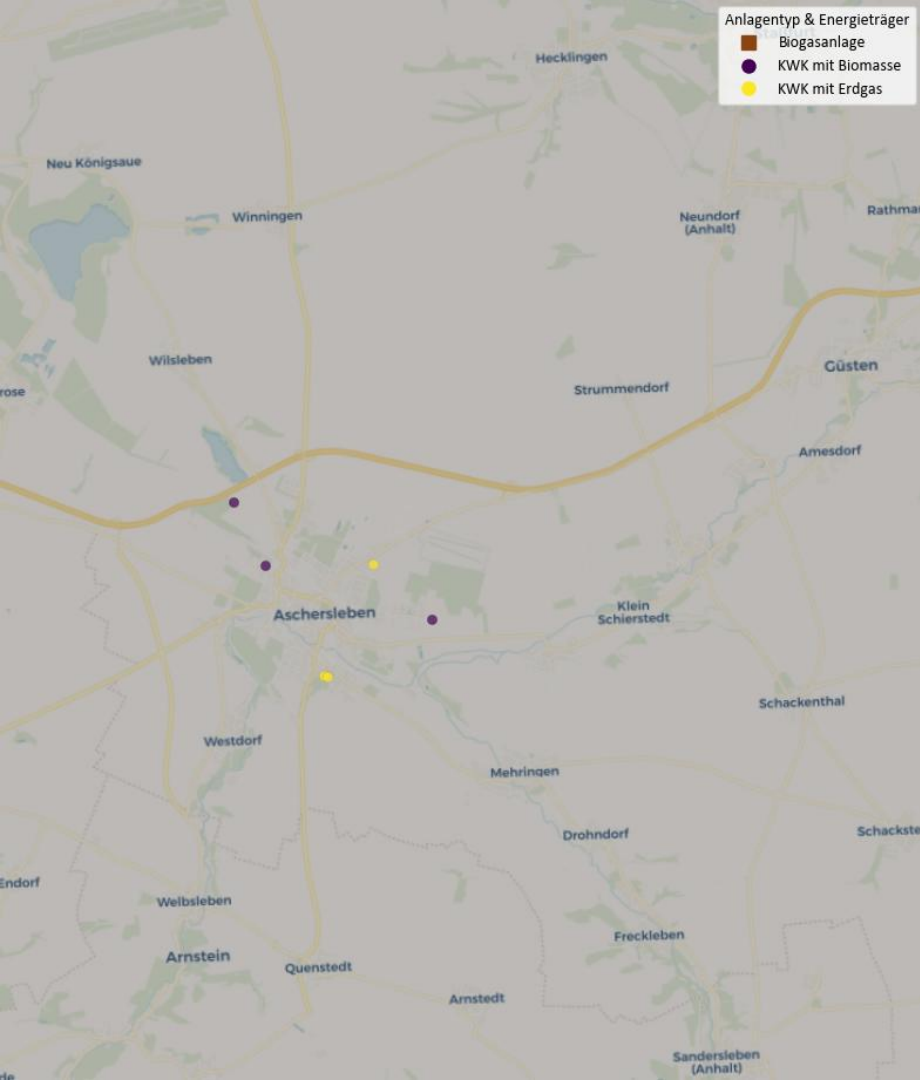
Erläuterung

Industrielle Abwärme kann effizient als Wärmequelle für Wärmenetze und Wärmepumpen genutzt werden. Dabei variieren Umfang und Temperaturniveau der Abwärme deutlich je nach Branche und Betriebsgröße. Die Abwärmeform (z. B. heißes Abgas, Strahlung, erwärmte Kühlmedien) bestimmt die Auslegung der Wärmeübertrager und beeinflusst die Erschließungskosten. Für die Wirtschaftlichkeit sind zudem zeitliche Verfügbarkeit und die räumliche Nähe zu potenziellen Abnehmern entscheidend.

Abschätzung des Potenzials

Als Grundlage für die Darstellung werden die Daten für Abwärme der Bundesstelle für Energieeffizienz (BfEE) genutzt. Sofern sich im Projekt weitere relevante Akteure mit Abwärmepotenzialen ergeben, werden diese mit aufgeführt.

Gesamtpotenzial: 45,20 GWh

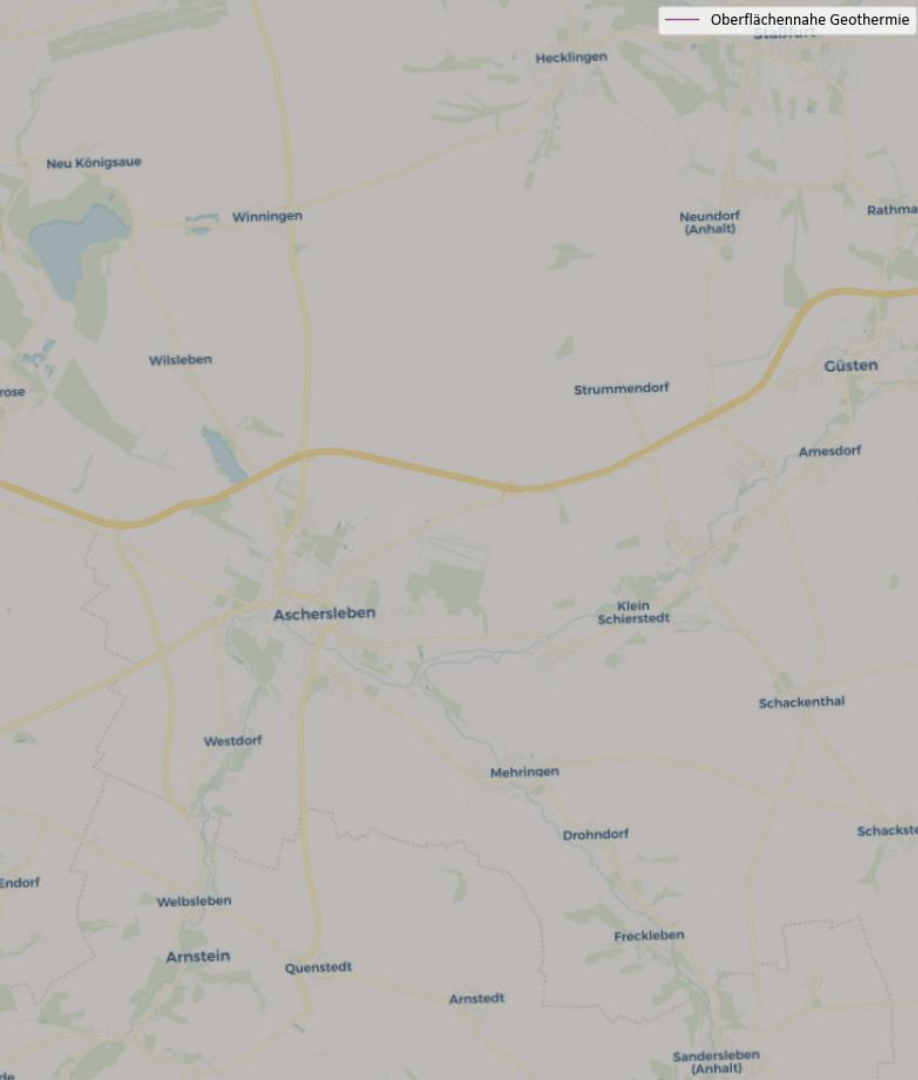


Anlagenpotenziale

KWK- und Biogasanlagen

Erläuterung

Mithilfe des Marktstammdatenregisters und der im Rahmen der Wärmeplanung durchgeführten Akteursbefragung werden bestehende Biogas- und KWK-Anlagen identifiziert und kartographisch visualisiert. Die Befragungen liefern Hinweise zu Ausbauplänen, freien Kapazitäten sowie zur Einspeisebereitschaft in Wärmenetze. Ein konkretes Potenzial ist daher nur in Abstimmung mit den Betreibern zu ermitteln. Konkrete Energiemengen sind ebenso mit den Betreibern zu verifizieren und als grober Richtwert in der Umsetzungsstrategie abzustimmen. Links ist dazu eine Karte der bestehenden KWK- und Biogasanlagen im untersuchten Gebiet dargestellt.



Geothermie

Oberflächennahe Geothermie

Berechnung

Für die Berechnung des Potenzials von oberflächennaher Geothermie wurde ein mittlerer Ertrag W_0 von 28 kWh/m^2 angenommen. Dieser Wert wird aus einer festgelegten mittleren Bohrungstiefe d , einer Volllaststundenzahl t , einem Anlagenplatzbedarf A_{Anlage} sowie einer Wärmeentzugsleistung Q_{geo} berechnet. Die Werte stammen aus typischen Anlagenwerten, können aber deutliche Variationen aufweisen.

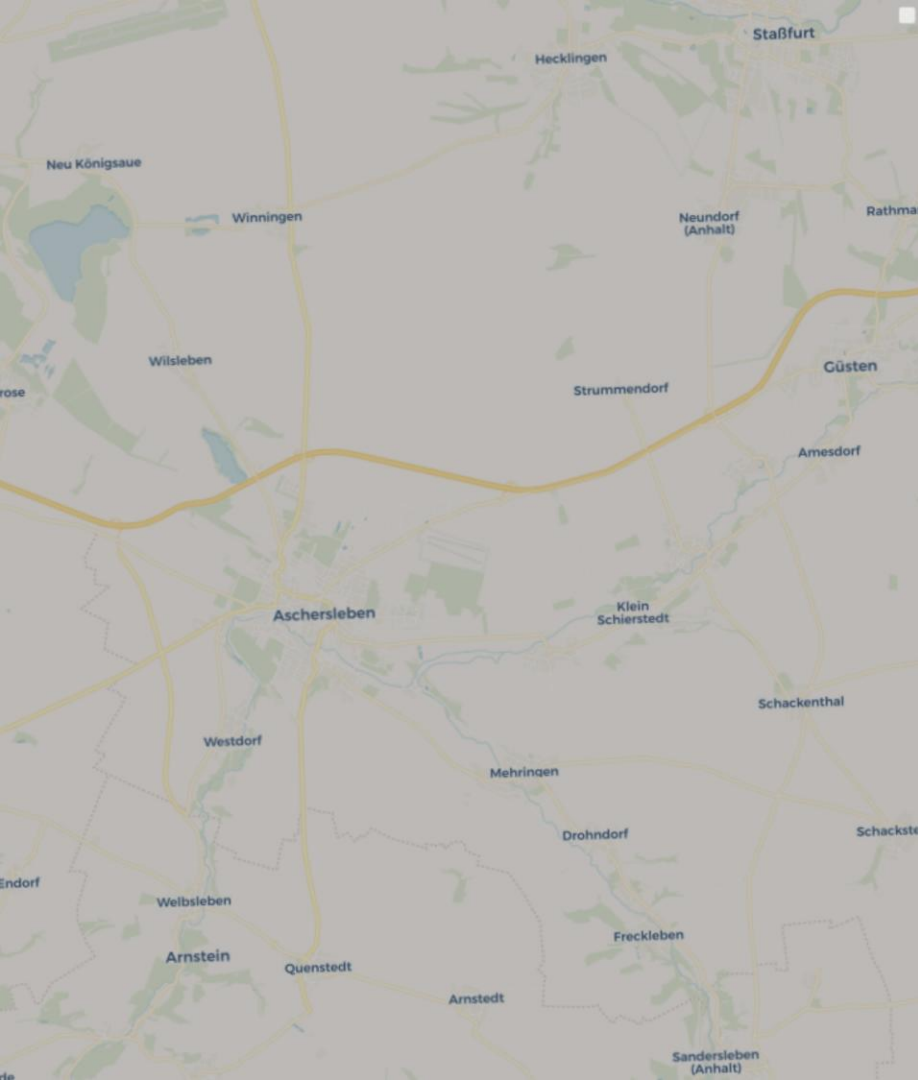
Formel: $Q = A \cdot W_0$ mit $W_0 = t \cdot d \cdot \frac{Q_{\text{geo}}}{A_{\text{Anlage}}}$

- W_0 als mittleren Ertrag und A als Freifläche.
- Weitere Parameter sind: $t = 1800 \text{ h/a}$; $Q_{\text{geo}} = 0,060 \text{ kW/m}$; $d = 60 \text{ m}$ und A_{anlage} (aus Abstand Vor- und Rücklauf) $= 225 \text{ m}^2$.

Gesamtpotenzial: 0,00 GWh

Erschließbares Potenzial: 0,00 GWh

Erschließungsgrad: 0,00



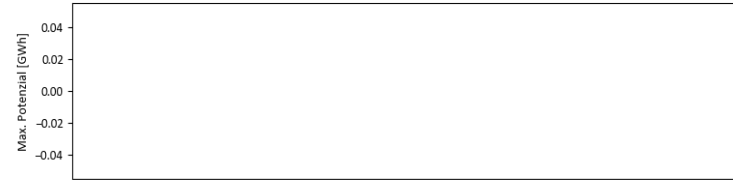
Geothermie

Oberflächennahe Geothermie

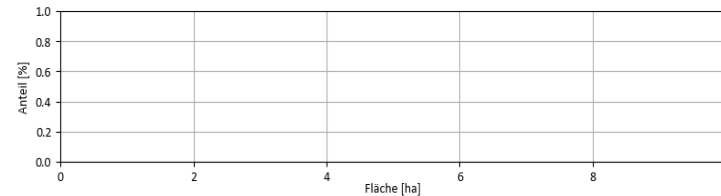
Gewählte Flächen

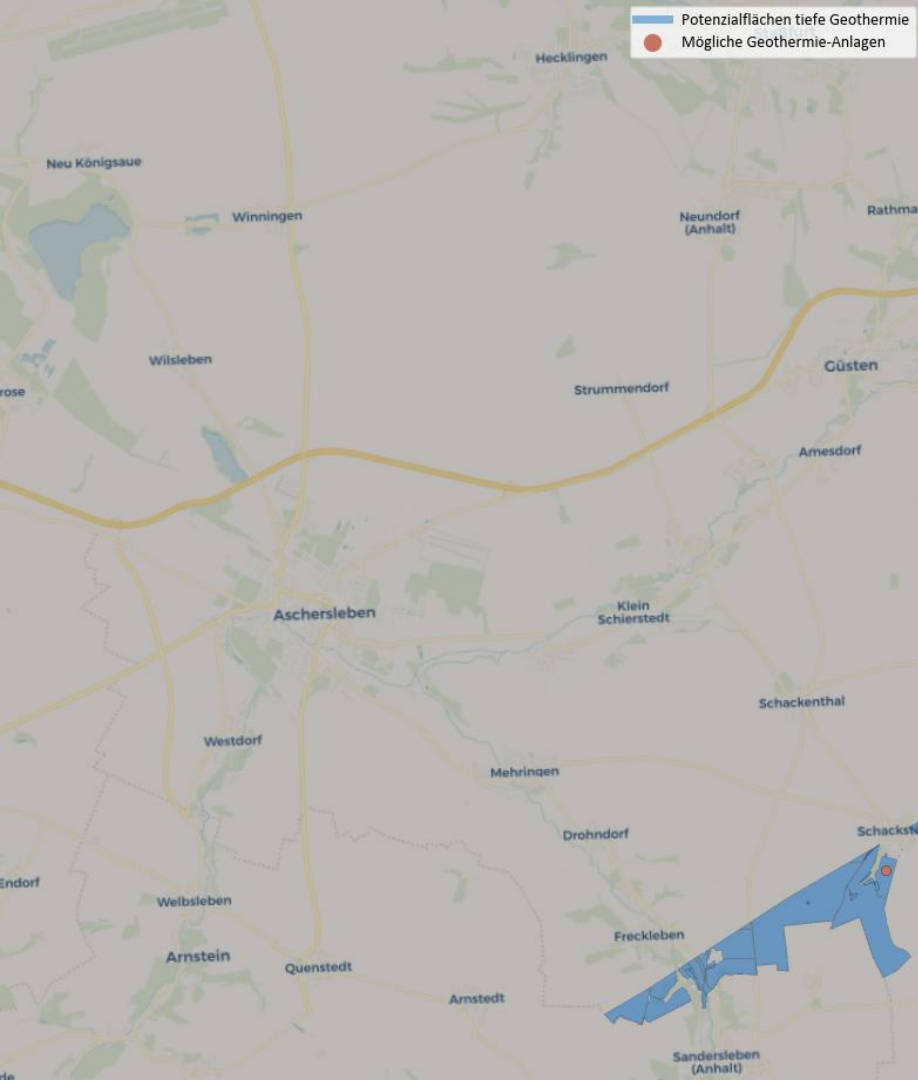
Für die Bestimmung der Potenzialflächen wurde die deutschlandweite Wärmeleitfähigkeit des Bodens als Referenz genommen und Bodenflächen mit einer minimalen mittleren Wärmeleitfähigkeit von $1,5 \text{ W/mK}$ ausgewählt. Diese Grundflächen wurden im Anschluss mit nutzbaren Freiflächen verschnitten. Nutzbare Flächen sind hierbei Siedlungsflächen sowie deren unmittelbare Umgebung (250 Meter), da davon ausgegangen wird, dass oberflächennahe Geothermie verbrauchernahe installiert wird.

Verteilung der Flächen nach Ertrag und Kategorie



Verteilung der Flächen nach Anzahl und Größe





Geothermie

Tiefe Geothermie

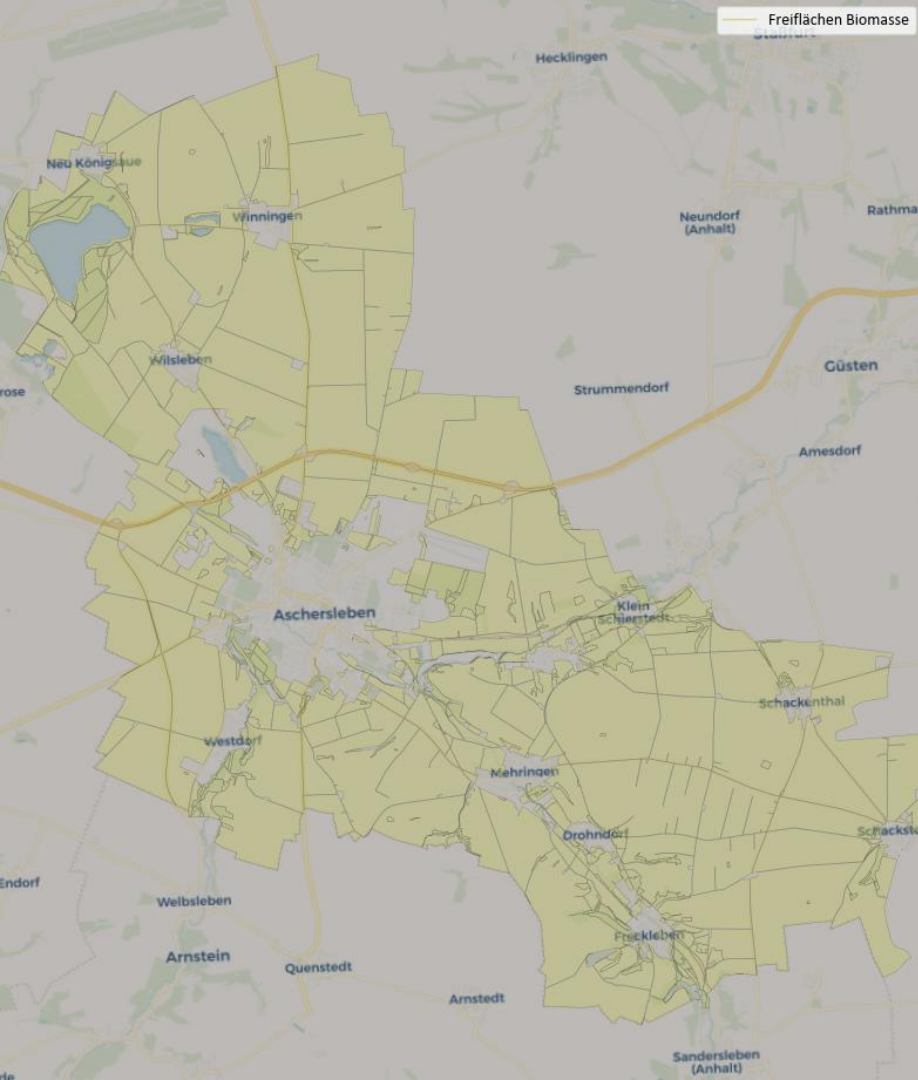
Erläuterung

Für die Potenzialabschätzung tiefer Geothermie werden Karten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) verwendet. Diese zeigen Gebiete mit gesicherter Eignung auf Basis von: Petrothermaler Geothermie (heiße Gesteinsschichten) oder Hydrothermaler Geothermie (heißes Fluid). Je nach vorliegendem Temperaturniveau können eignen sich diese Anlagen ebenfalls für Hochtemperatur-Wärmenetzen. Aufgrund der immensen Investitionskosten ist eine hohe jährliche Auslastung (Volllaststunden) erforderlich. Kraft-Wärme-Kopplung, die im Sommer strom- und im Winter wärmegeführt betrieben wird, ist eine möglich Option.

Abschätzung des Potenzials

Tiefe Geothermieranlagen sind bisher als Projekte mit Pilotcharakter insbesondere im Süden Deutschlands errichtet worden. Auch wenn eine grundlegende Eignung im Gebiet vorliegt müssen gezielte Probebohrungen für die Abschätzung der Entzugsleistung genutzt werden. Daher werden für die Abschätzung grobe Richtwerte genutzt. Für petrothermale Anlagen wurde hier eine Anlagenleistung mit 4 MW bzw. bei hydrothermalen Anlagen, durch den verbesserten Wärmeübergang bei Wasser eine Leistung von 8 MW angenommen. Diese Werte können basierend auf lokalen Studien erweitert und validiert werden. Die möglichen Geothermieranlagen werden mit einem Abstand von 3.000m zueinander gesetzt.

Gesamtpotenzial: 24,00 GWh



Freiflächen Biomasse

Berechnung

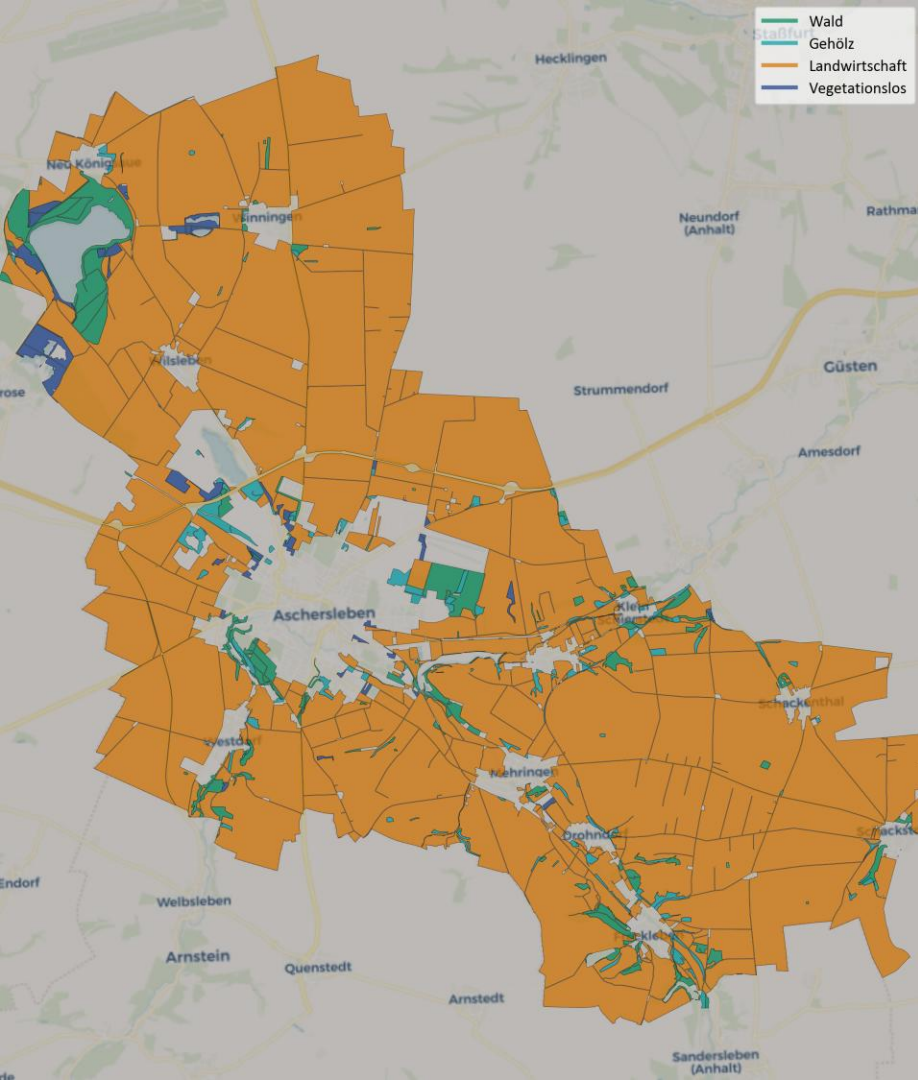
Biomasse Freiflächen wurden basierend auf Daten aus der Literatur mit einem flächenspezifischer Ertrag Q_0 im Bereich von $2,5 \text{ kWh/m}^2$ angenommen. Dieser wird dann mit der Potenzialfläche A multipliziert. Zu beachten ist hierbei insbesondere die Flächenkonkurrenz zwischen Nahrungsmittel- und Brennstoffherzeugung. In Regionen mit besonders fruchtbaren Böden, wird die Fläche präferiert zur Nahrungsmittel/Futterproduktion genutzt. Der Bodenwertzahl (BWZ) ist hierbei eine wichtige Kenngröße. Je nach Bodentyp und Biomasseart (Raps oder biogene Gas) können entsprechende Variationen in den Erträgen auftreten. Diese nehmen grundsätzlich Werte ähnlicher Größenordnung an.

Formel: $Q_{\max} = A \cdot Q_0$

Gesamtpotenzial: 316,79 GWh

Erschließbares Potenzial: 25,81 GWh

Erschließungsgrad: 0,08

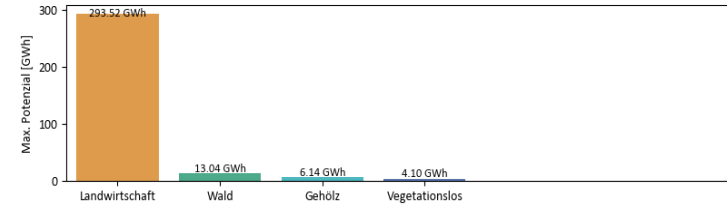


Freiflächen Biomasse

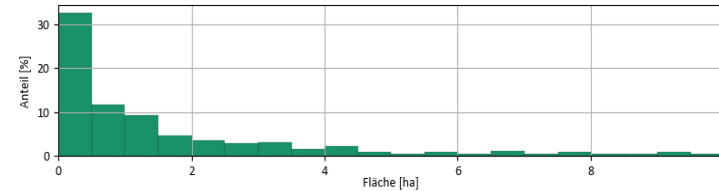
Gewählte Flächen

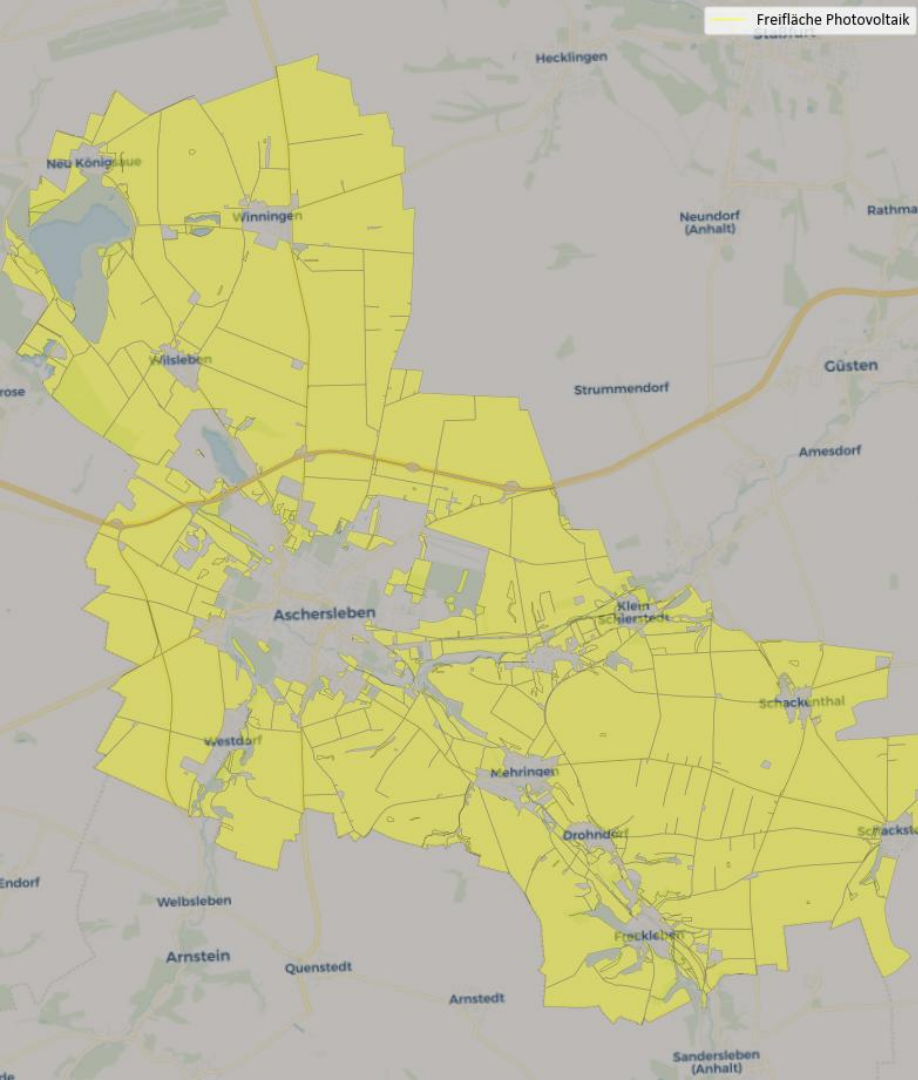
Für die Berechnung des Potenzials wurden sowohl Agrar- als auch Gehölz, Wald und Heideflächen berücksichtigt. Es erfolgte keine weitere Einschränkung dieser Flächen – eine Priorisierung der zu erschließenden Flächen gemeinsam mit der Kommune - und lokalen Verbänden wird dennoch empfohlen. Insbesondere Flächennutzungspläne sowie besonders fruchtbare Böden sind wahrscheinlich Ausschußgebiete.

Verteilung der Flächen nach Ertrag und Kategorie



Verteilung der Flächen nach Anzahl und Größe





Freiflächen Photovoltaik

Berechnung

Als Eingangsgröße für die Abschätzung des Potenzials wird die Globalstrahlung ($G = 1000 \text{ kWh/m}^2$) sowie der Modulwirkungsgrad ($\varepsilon = 20\%$) genutzt. Dies ergibt ca. 200 kWh/m^2 Gesamtertrag pro Jahr und Freifläche. Hierbei wird allerdings keine Aussage zur zeitlichen Verfügbarkeit der Energiemenge getroffen. Insbesondere Themen wie verfügbare Stromnetzkapazität sind im Kontext der Maßnahmen mit den lokalen Netzbetreibern abzustimmen.

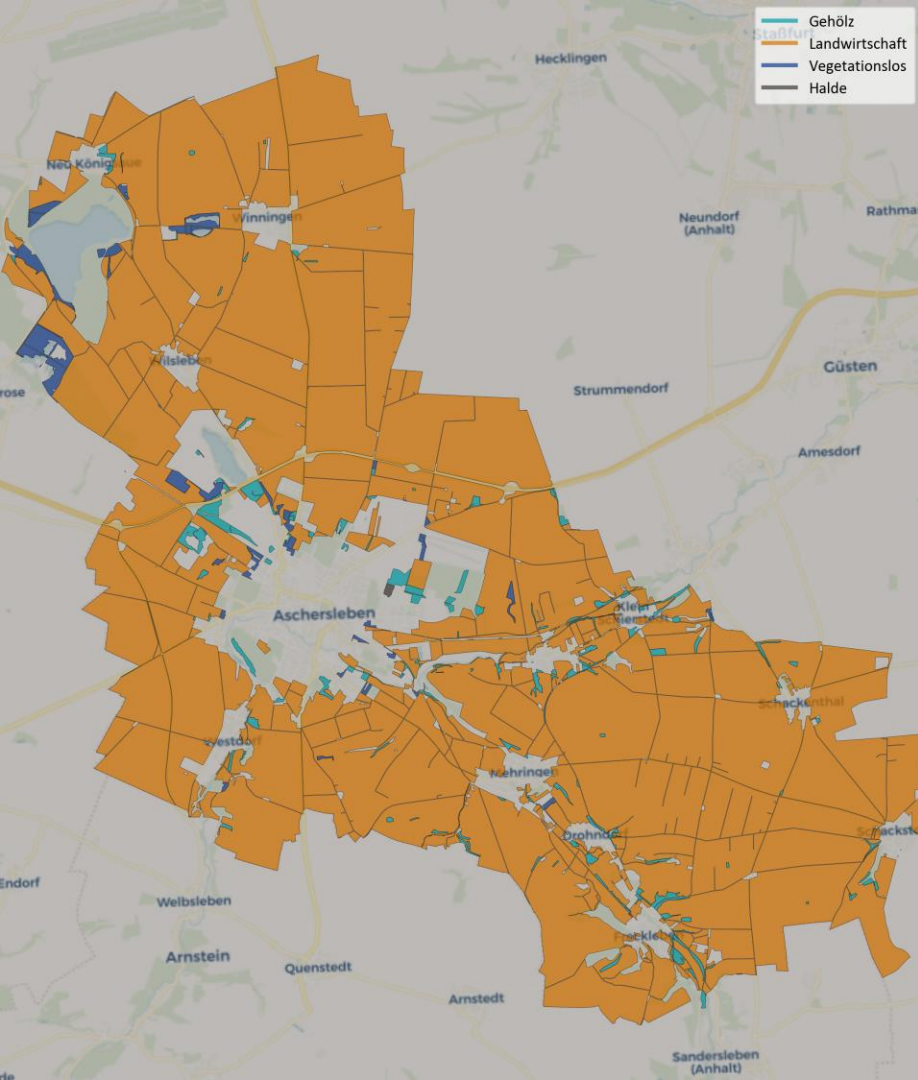
Formel: $Q_{\max} = G \cdot \varepsilon \cdot A$

mit $G = 1000 \text{ kWh/m}^2$ und $\varepsilon = 0.2$

Gesamtpotenzial: 24859,80 GWh

Erschließbares Potenzial: 24856,72 GWh

Erschließungsgrad: 1,00

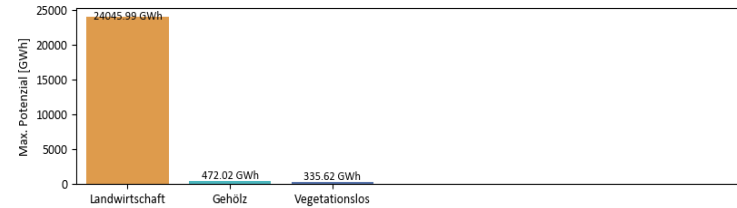


Freiflächen Photovoltaik

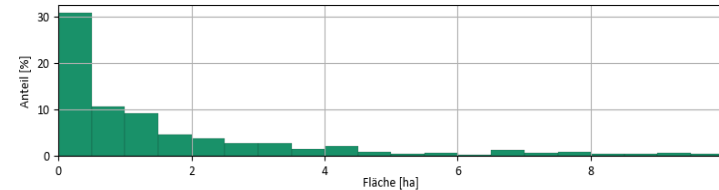
Gewählte Flächen

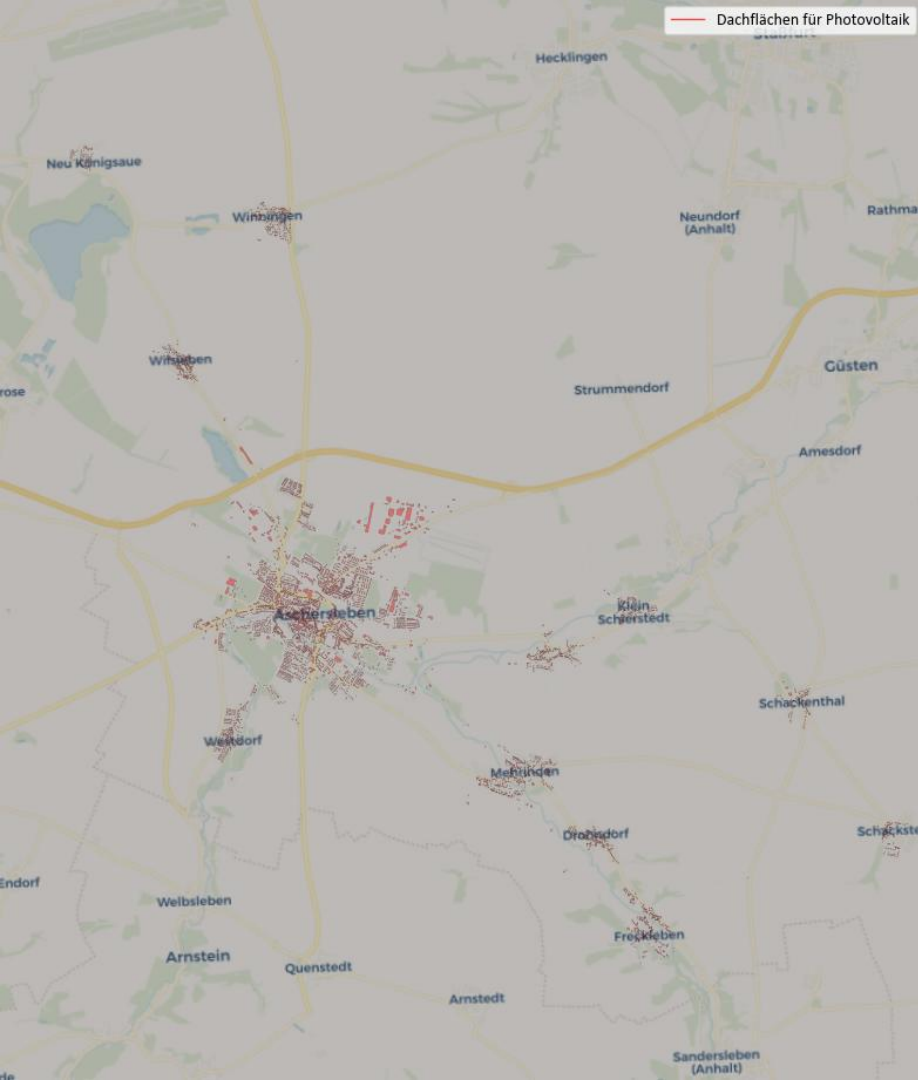
Als verfügbare Fläche wurden die nach 35 Abs. 1 Nr. 8 BauGB privilegierten Freiflächen definiert. Diese beinhalten einen 200 m breiten Streifen zu Autobahnen und Schienen. Flächen außerhalb dieser Gebiete wurden nicht berücksichtigt, da diese in Konkurrenz beispielsweise zum Nahrungsmittel- und Biomasseanbau stehen. Außerhalb dieser Streifen ist Agri-PV als mögliche Alternative zu betrachten.

Verteilung der Flächen nach Ertrag und Kategorie



Verteilung der Flächen nach Anzahl und Größe





Dachflächen Photovoltaik

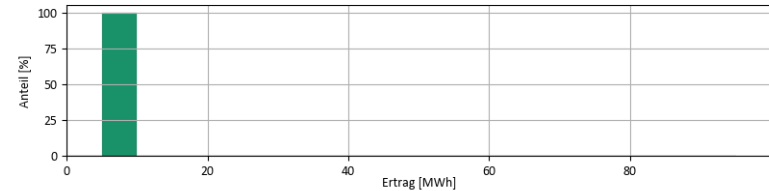
Berechnung

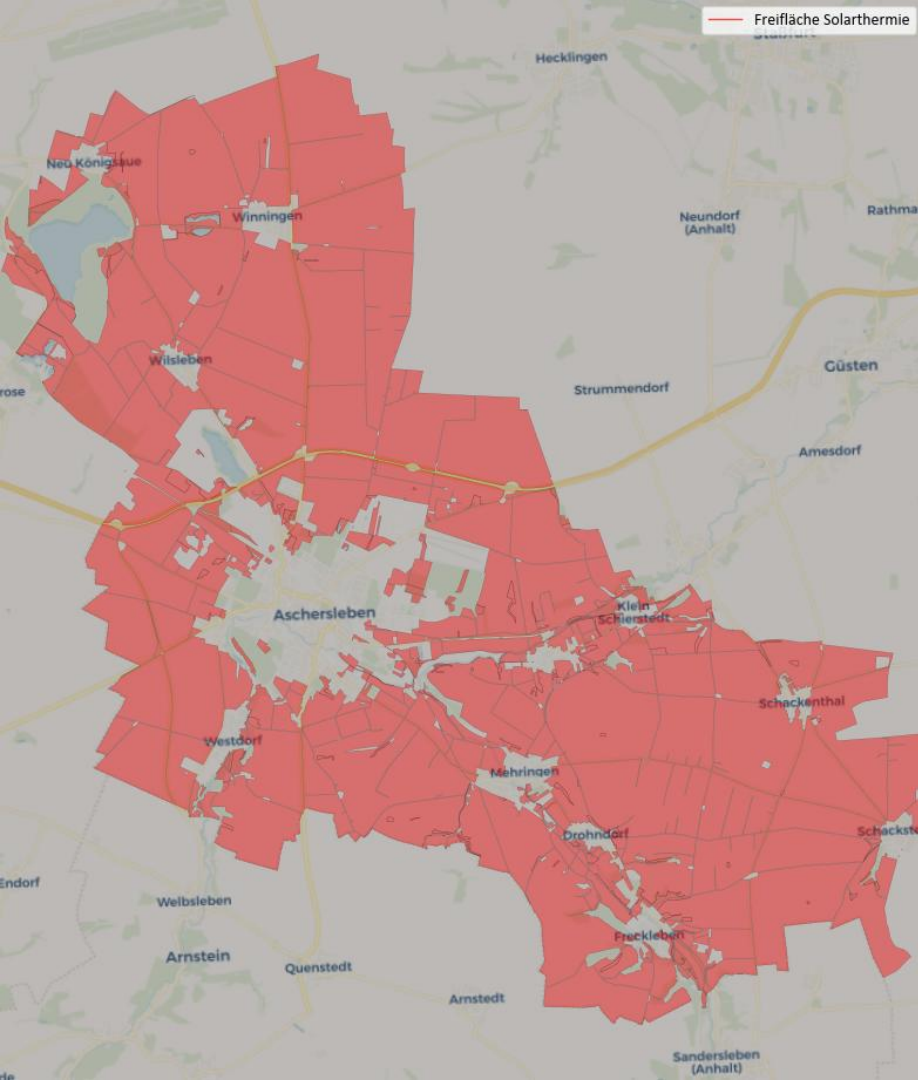
Das Potenzial wurde mithilfe der Dachfläche A , einer Referenzeinstrahlung Q_0 und einem Wirkungsgrad ε_{PV} des Gesamtsystems in Abhängigkeit der Dachneigung und des Azimut-Winkels berechnet. Der Azimut-Winkel gibt die Ausrichtung der Dachfläche bzw. der potenziell verbauten Dachmodule in Bezug auf die Südausrichtung an. Eine Nord-Süd Ausrichtung des Daches ergibt somit die höchsten Erträge über das Jahr. Eine Abweichung von dieser Ausrichtung hat dementsprechend eine Verringerung des Potenzials zur Folge. Für die Dachneigung wurde ein mittlerer Winkel von 35° angenommen.

Formel: $Q_{\max} = A \cdot \varepsilon(\text{Azimut, Dachneigung}) \cdot Q_0$

Mit Q_0 = Referenzwert durchschnittliche Globalstrahlung in der Kommune und ε_{PV} = PV-Effizienz in Abhängigkeit vom Azimut-Winkel und der Dachneigung.

Gesamtpotenzial: 26,00 GWh





Freiflächen Solarthermie

digikoo

Berechnung

Für die Berechnung des Potenzials von Freiflächen-Solarthermie wurde ein analoges Vorgehen wie bei Freiflächen-Photovoltaik gewählt. Allerdings wurde hier der Wirkungsgrad ε auf **50%** gesetzt. Bei einer durchschnittlichen solaren Strahlungsdichte G von 1000 kWh/m^2 ergibt dies abgeschätzt 500 kWh/m^2 Gesamtertrag pro Jahr und Freifläche. Hierbei wird allerdings ebenfalls keine Aussage zur zeitlichen Verfügbarkeit getroffen.

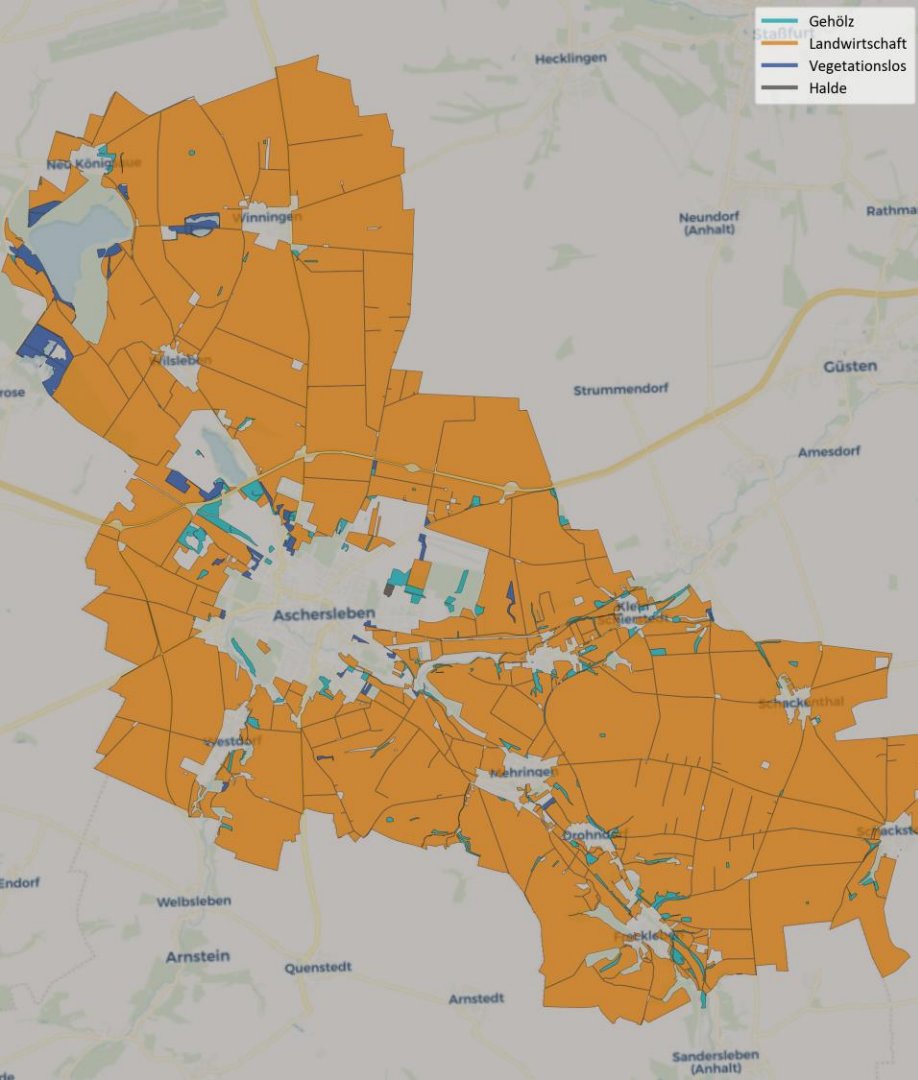
Formel: $Q_{\max} = G \cdot \varepsilon \cdot A$

mit $G = 1000 \text{ kWh/m}^2$ und $\varepsilon = 0.5$

Gesamtpotenzial: 62149,51 GWh

Erschließbares Potenzial: 62141,79 GWh

Erschließungsgrad: 1,00

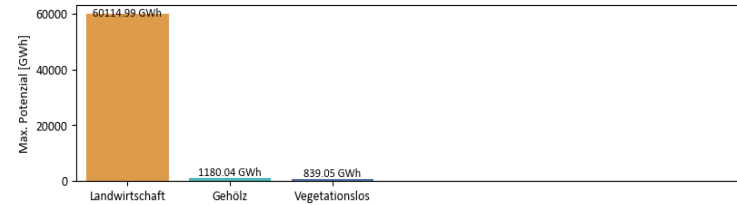


Freiflächen Solarthermie

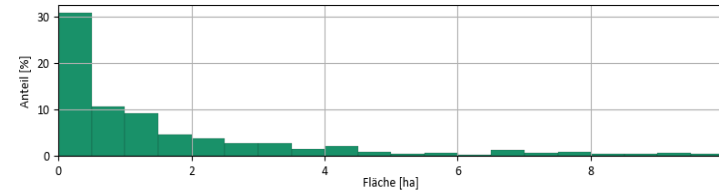
Gewählte Flächen

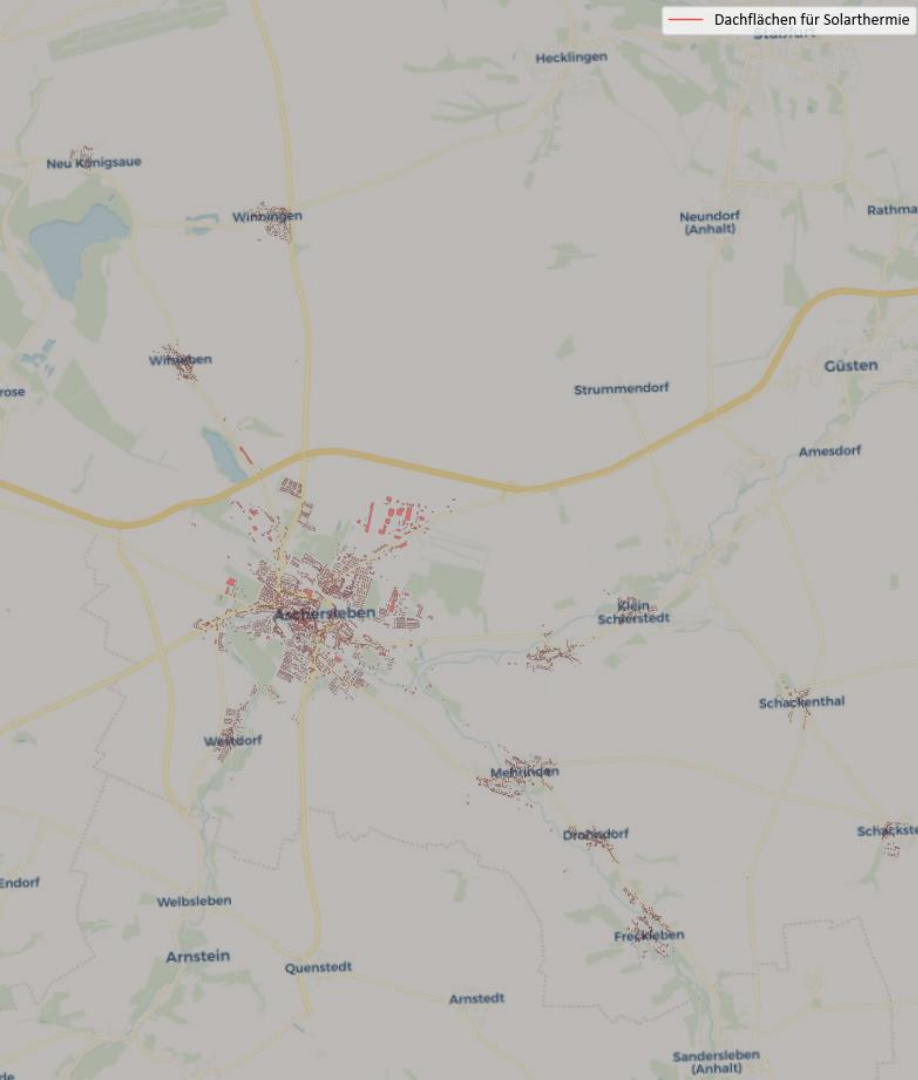
Als verfügbare Fläche wurden die nach 35 Abs. 1 Nr. 8 BauGB privilegierten Freiflächen definiert. Diese beinhalten einen 200 m breiten Streifen zu Autobahnen und Schienen. Flächen außerhalb dieser Gebiete wurden nicht berücksichtigt, da diese in Konkurrenz beispielsweise zum Nahrungsmittel- und Biomasseanbau stehen. Außerhalb dieser Streifen ist Agri-Solarthermie als mögliche Alternative zu betrachten.

Verteilung der Flächen nach Ertrag und Kategorie



Verteilung der Flächen nach Anzahl und Größe





Dachflächen Solarthermie

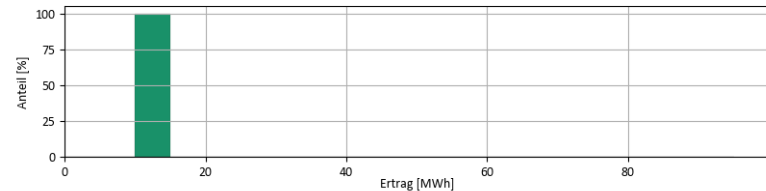
Berechnung

Das Potenzial wurde mithilfe der Dachfläche A , einer Referenzeinstrahlung Q_0 und einem Wirkungsgrad ε berechnet, welcher abhängig vom Azimut-Winkel ist. Der Azimutwinkel gibt die Ausrichtung der Dachfläche bzw. der potenziell verbauten Dachmodule in Bezug auf die Südausrichtung an. Eine Nord-Süd Ausrichtung des Daches ergibt somit die höchsten Erträge über das Jahr. Eine Abweichung von dieser Ausrichtung hat dementsprechend eine Verringerung des Potenzials zur Folge. Für die Dachneigung wurde ein mittlerer Winkel von 35° angenommen. Hinweis: Solarthermie auf Dachflächen eignet sich vorrangig in Kombination mit anderen Heizungstechnologien, bspw. für die Aufbereitung von Trinkwarmwasser.

Formel: $Q_{\max} = A \cdot \varepsilon(\text{Azimut, Dachneigung}) \cdot Q_0$

Mit Q_0 = Referenzwert durchschnittliche Globalstrahlung in der Kommune
und ε = Solar-Effizienz in Abhängigkeit vom Azimut-Winkel und der Dachneigung.

Gesamtpotenzial: 64,00 GWh



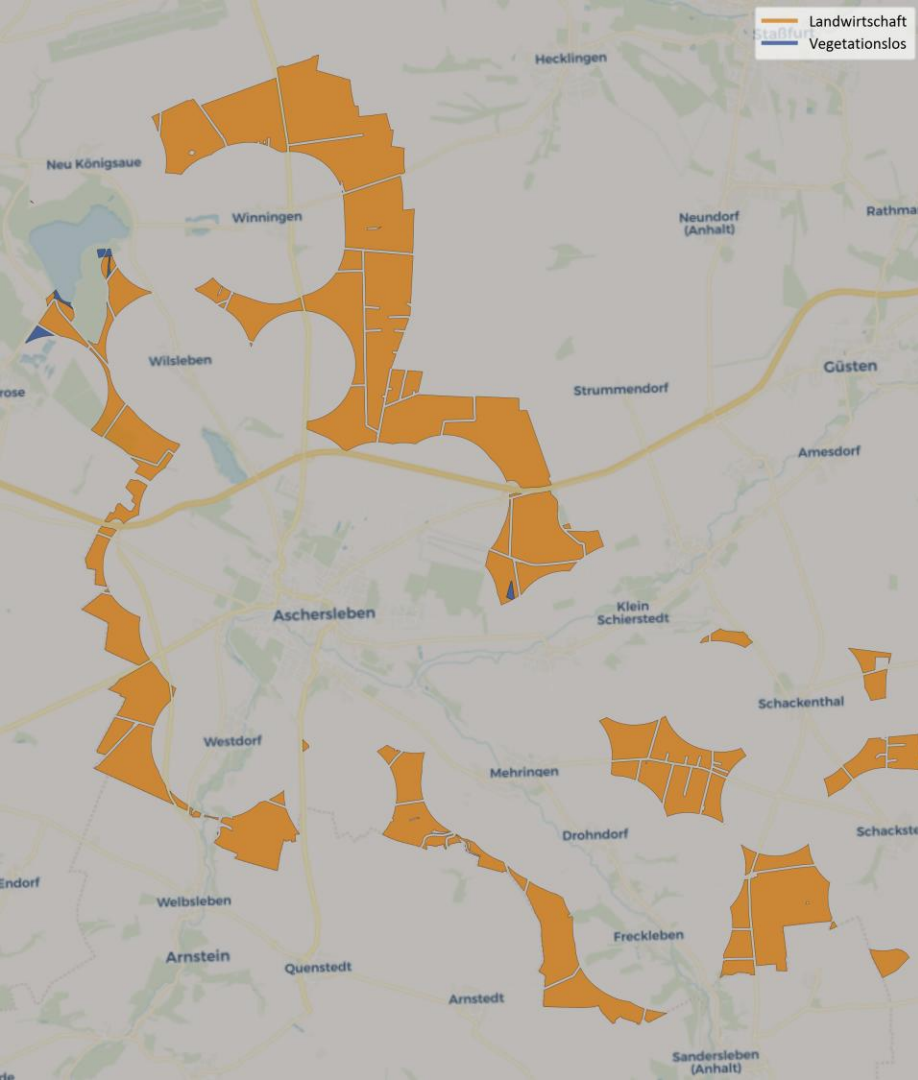
Berechnung

Wie viel Strom eine Windkraftanlage erzeugt, hängt stark vom Standort ab. Besonders wichtig sind die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe und die Anlagengröße; beide Faktoren beeinflussen den Ertrag deutlich. Für eine grobe Einschätzung wird ein bewusst konservativer spezifischer Stromertrag von 270 kWh/m² angesetzt. Diese Näherung basiert auf einer 2,5-MW-Anlage mit 150 m Rotordurchmesser und 2 000 Volllaststunden. Die Energiedichte ist auf die überstrichene Rotorfläche bezogen und konservativ gewählt, um betriebliche Einschränkungen (z. B. Abschaltungen, Netzengpässe) auch bei vermeintlichen Einzelstandorten nicht zu unterschätzen. Aufgrund von Abstandsregeln entstehen häufig nur wenige zusammenhängende Flächen für mehrere Anlagen. Nachlaufeffekte zwischen einzelnen, weiter auseinanderliegenden Anlagen sind dann meist gering.

Bei größeren Flächen beispielsweise für Windparknutzung müssen allerdings Mindestabstände eingehalten werden, um Nachlauseffekte zu reduzieren. Dadurch sinkt die flächenspezifische Energiedichte typischerweise deutlich auf unter 100 kWh/m² (Rotorflächenbezug). Sollten im Rahmen der Planung entsprechend große, zusammenhängende Eignungsflächen identifiziert werden, empfiehlt sich eine standortspezifische Detailstudie im Maßnahmenkatalog.

Formel: $Q_{\max} = A \cdot Q_0$

Gesamtpotenzial: 9281,16 GWh



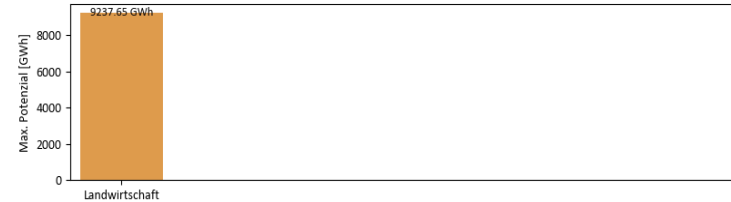
Freiflächen

Wind

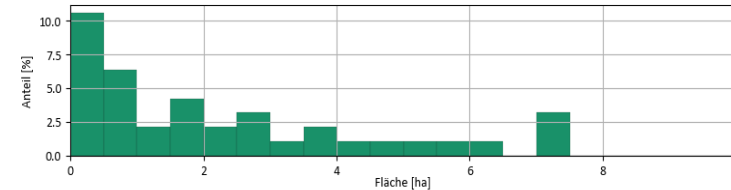
Gewählte Flächen

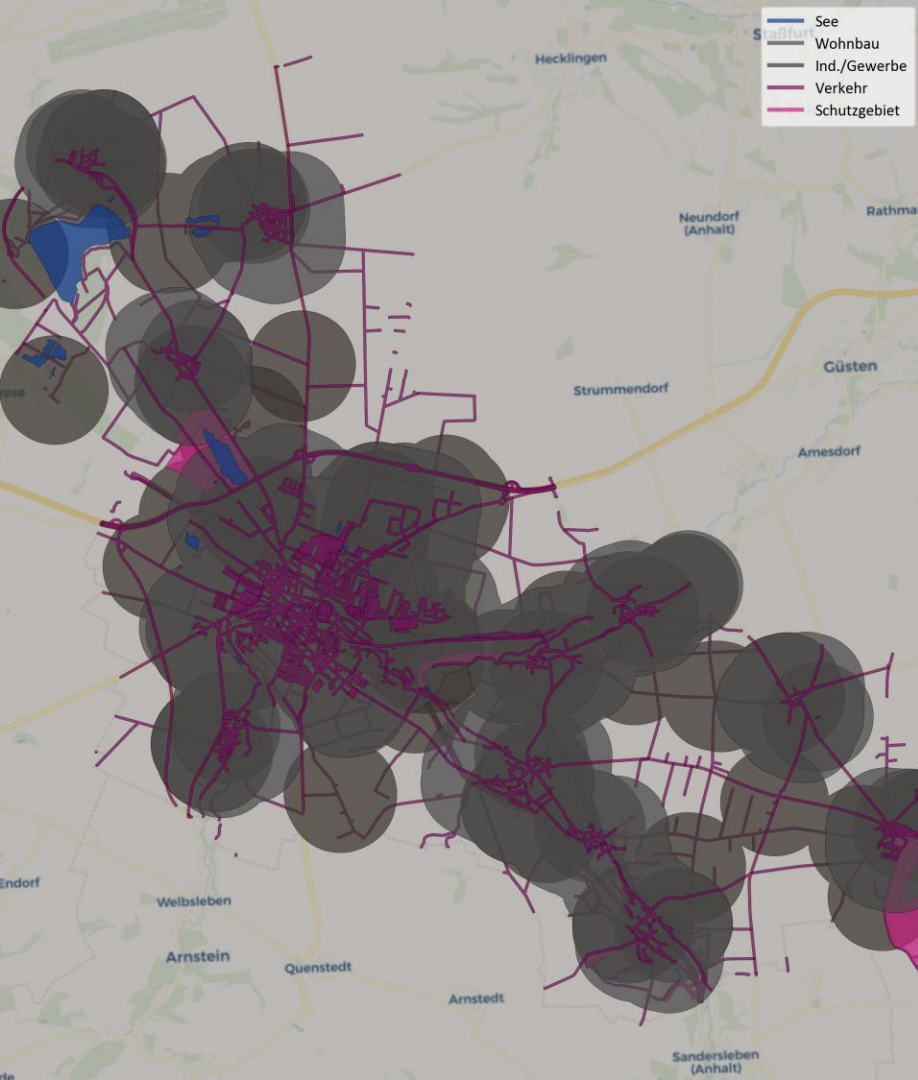
Für die Berechnung wurden unter anderem Agrar, Heide- und vegetationslose Gebiete als Freiflächen definiert. Hierbei wurde ein Mindestabstand von 1000 Metern zu Infrastruktur und Gebäude angenommen und Flächenabschnitte innerhalb dieses Radius aus der Betrachtung entfernt. Entsprechende Analysen sollten allerdings immer mit lokalen Gegebenheiten bzw. bereits ausgeschriebenen Flächen abgeglichen werden. Zu (Militär-) Flughäfen beispielsweise sind sogar wesentlich größere Abstände notwendig.

Verteilung der Flächen nach Ertrag und Kategorie



Verteilung der Flächen nach Anzahl und Größe





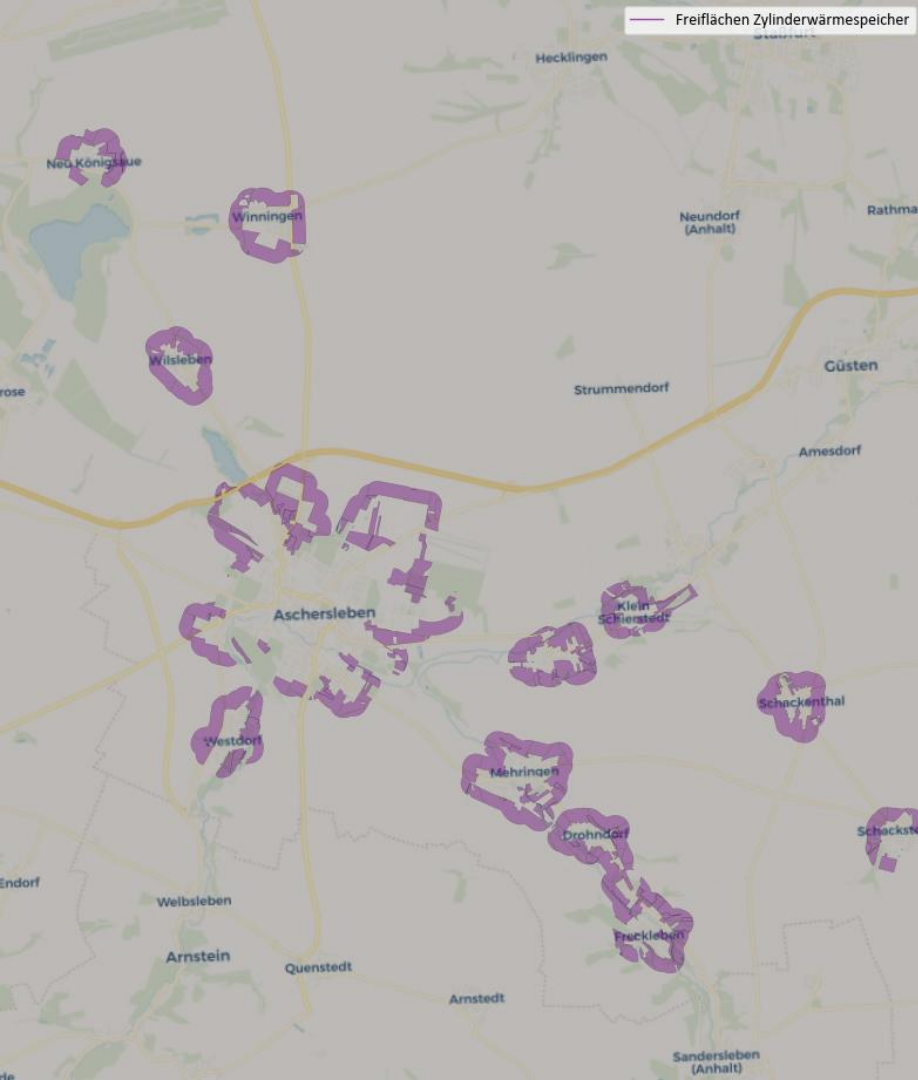
Freiflächen

Wind

Ausgeschlossene Flächen

Alle übrigen Gebiete, die nicht als geeignete Flächen definiert wurden, wurden als Ausschlussgebiet abgezogen. Auf der Karte links sind alle Ausschlussgebiete dargestellt. Dabei wurden auch Schutzgebiete, wie Landschafts- oder Naturschutzgebiete berücksichtigt. Die kreisförmigen Einzugsbereiche entstehen durch die Mindestabstände von Windkraftanlagen zu Siedlungsgebieten.

Für die Bewertung des Potenzials wurden die Ausschlussflächen von dem gesamten Gebiet abgezogen. Nur die noch verbleibenden Flächen werden für die Berechnung des Potenzials herangezogen.



Freiflächen

Zylinderwärmespeicher

Berechnung

Zylinderwärmespeicher bieten die Möglichkeit Überschuss aus Solarthermie, Geothermie oder Power-To-Heat Anlagen zu speichern und zu einem späteren Zeitpunkt abzurufen. Diese Speicher werden in der Regel über Tage realisiert und haben einerseits auf Grund ihrer Form einen geringeren Flächenbedarf als die nachfolgend diskutierten Erdwärmespeicher. Andererseits hat diese Speicherform natürlich einen deutlichen Einfluss auf das Landschaftsbild der Kommune. Im Rahmen der Analyse wird von einer Speicherdichte von 1800 kWh/m² Speicherdichte ausgegangen. Diese ergibt sich aus einer volumetrischen Kapazität von 60 kWh/m³ bei einer angenommenen Höhe von 30 m. Abgeleitet wurden diese Zahlen von bereits realisierten Projekten in Deutschland. Hinsichtlich Ausnutzungsgrad wurden 10% angenommen, da für Projektierung zusammenhängende Freiflächen von mindestens 1-2 ha benötigt werden. Das Histogramm auf der folgenden Folie bietet hierfür eine erste Übersicht. Je nach Kommune können hier mehr oder weniger Freiflächen in dieser Größenordnung vorliegen.

Formel

$$Q_{s,max} = A \cdot s$$

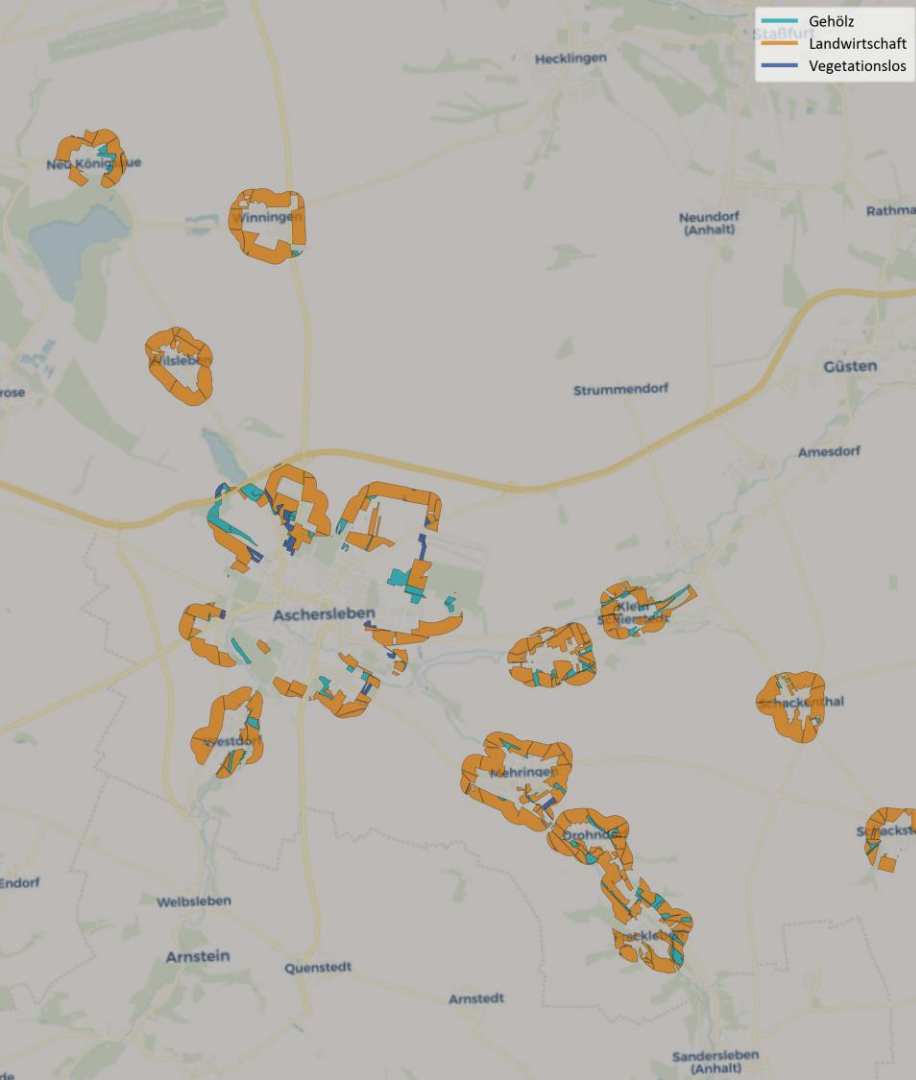
Gesamtpotenzial: 26677,28 GWh

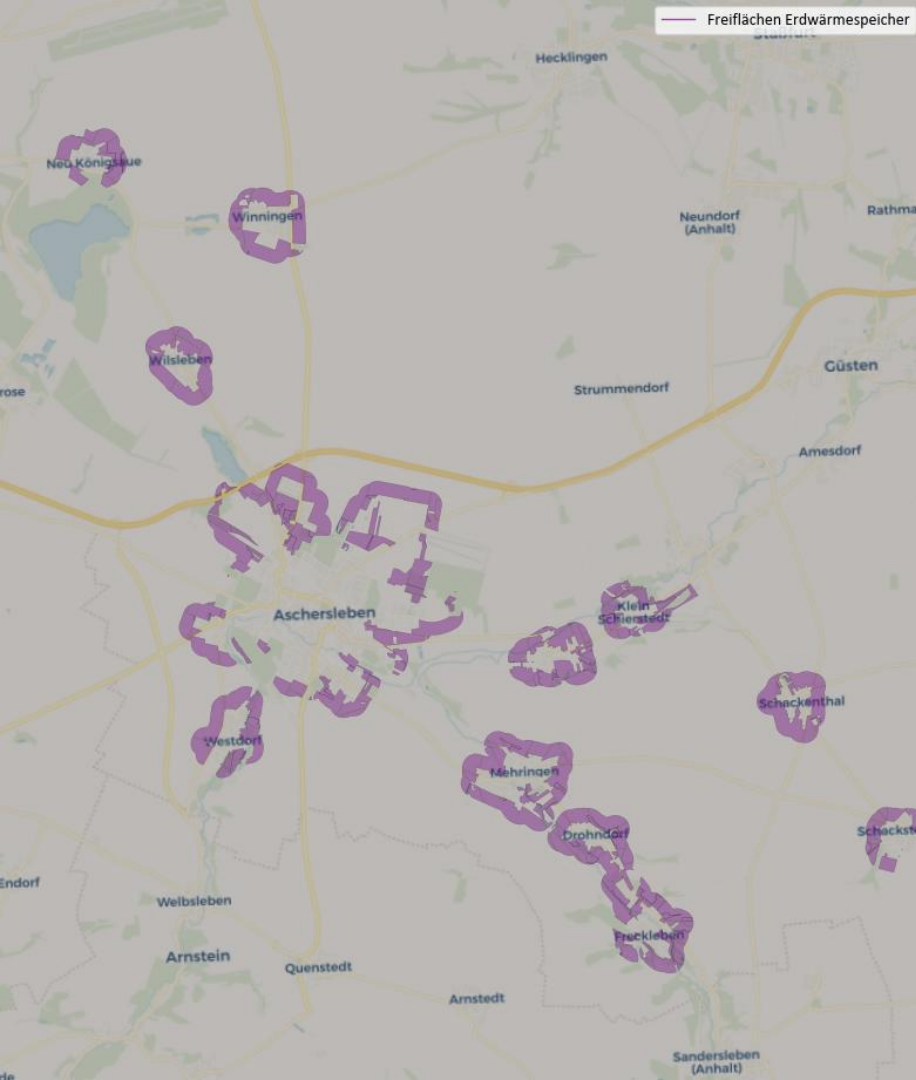
Erschließbares Potenzial: 2667,73 GWh

Erschließungsgrad: 0,10

[Zylinderspeicher BEW Berlin](#)

Teil der
westenergie





Freiflächen

Erdbeckenwärmespeicher

Berechnung

Für die Berechnung des Potenzials zur Speicherung von Wärme wird ebenfalls die Möglichkeit des Einsatzes von Erdwärmespeichern geprüft. Die Berechnungslogik ist analog zu den Freiflächen aufgebaut. Dementsprechend wird ein flächenspezifischer Ertrag mit den jeweiligen Freiflächen multipliziert. Zunächst wird die volumetrische Speicherkapazität konservativ mit 45 kWh/m^3 abgeschätzt. Als Referenz für die Größenordnung wurden technische Daten aus Dänemark mit beispielsweise realisierten Anlagen 638 MWh Speicherkapazität und $10\,000 \text{ m}^3$ Volumen genutzt. Mit der Annahme einer durchschnittlichen Anlagentiefe von 10 Metern ergibt sich aus den oben angenommen Werten eine flächenspezifische Speicherkapazität von 450 kWh/m^2 . Ein Ausnutzungsgrad von ca. 10% wird für die Speicher angenommen, da für Projektierung zusammenhängende Freiflächen von mindestens 1-2 ha benötigt werden. Das Histogramm auf der folgenden Folie bietet hierfür eine erste Übersicht. Je nach Kommune können hier mehr oder weniger Freiflächen in dieser Größenordnung vorliegen.

Formel

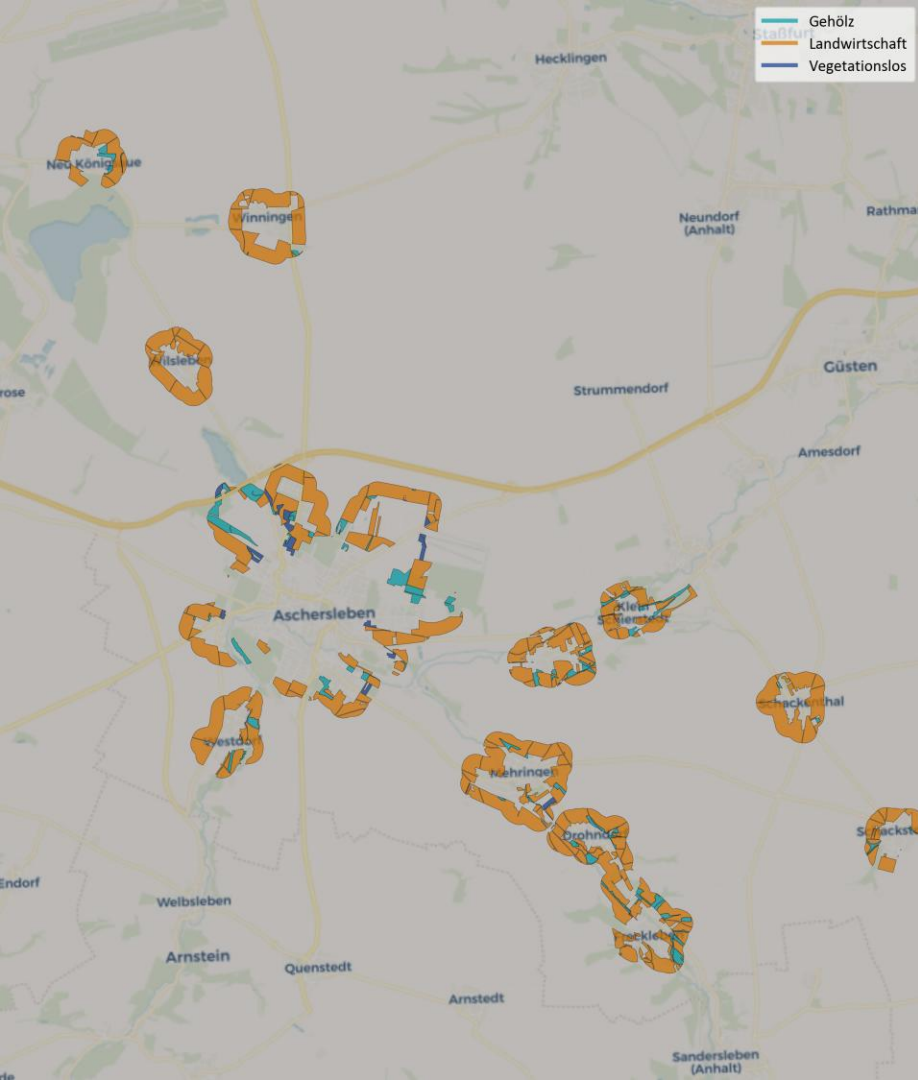
$$Q_{s,\max} = A \cdot s$$

Gesamtpotenzial: 6669,32 GWh

Erschließbares Potenzial: 666,93 GWh

Erschließungsgrad: 0,10

[Beispielprojekt Erdbeckenspeicher](#) [Flächenbedarf Speicher](#)



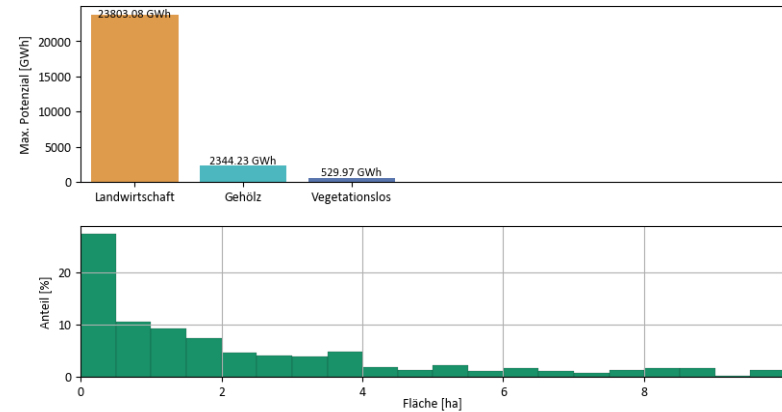
Freiflächen

Erdbeckenwärmespeicher

Gewählte Flächen

Erdwärmespeicher sind in der Regel an Wohngebiete angeschlossen. Daher wird für die Ermittlung ein 250m Radius um bestehende Wohngebiete betrachtet und diese Flächen mit Freiflächen wie Gehölz-, Heide-, Moor-, Landwirtschafts- und vegetationslosen Flächen verschnitten.

Verteilung der Flächen





Ausnutzungsgrad Biomasse

Agrarflächen

Der Ausnutzungsgrad für Agrarflächen wird auf Basis der veröffentlichten Studien der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) abgeschätzt. Veröffentlichte Studien¹ zeigen, dass derzeit ca. 13% der Agrarflächen für Energiepflanzen genutzt werden. Dies beinhaltet Biogas, Biodiesel, Bioethanol sowie Festbrennstoffe. Je nachdem welche Brennstoffe bilanziert werden, werden geringere Flächenanteile erreicht. Basierend auf diesen aktuellen Zahlen sind ca. 10% realistische Flächenanteile.

Waldflächen

Hinsichtlich Waldflächen wird auf die Studien LANUK NRW² zurückgegriffen. Hier wird für verschiedene Naturschutzszenarien (MAX, NATUR 1 und NATUR 2) das Ausbaupotenzial für Wärmeenergiegewinnung in Megawattstunden angegeben. Das Szenario NATUR 2 weist dabei den ambitioniertesten Naturschutz auf, während NATUR 1 einen leicht schwächeren Naturschutz betrachtet. Bezogen auf das abgeschätzte Gesamtpotenzial werden 6,8% bzw. 17,3% maximales Ausbaupotenzial ausgewiesen. Da die Energiemenge proportional zur genutzten Fläche ist, können diese Ergebnisse entsprechend auf die Flächenanteile übertragen werden. Daher werden 10% angenommen.

¹ FNR; ² Lanuk Biomasse Studie

Wald

(kWh/m²)



Acker

(kWh/m²)



Freiflächen

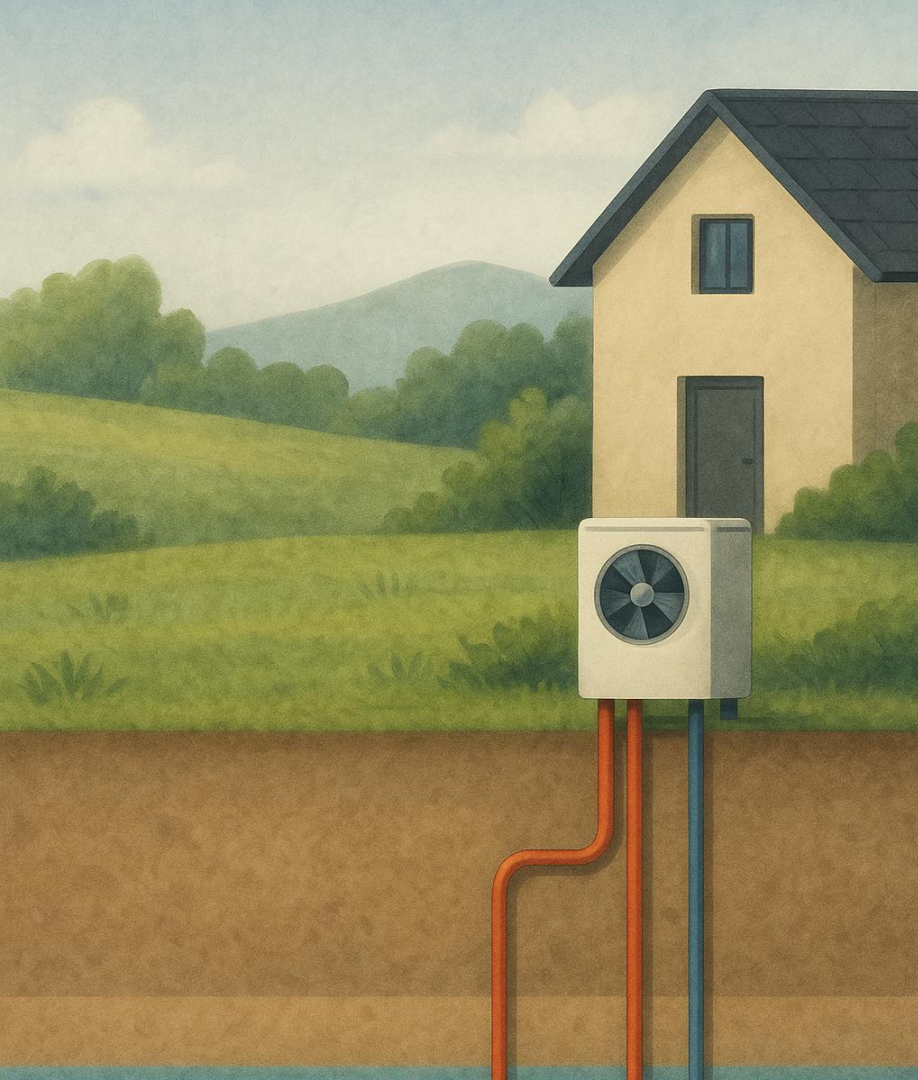
Erträge Biomasse

digikoo

In Abhängigkeit der jeweiligen Flächen wie Wald, Landwirtschaft oder ungenutzte Heide und Wiesenflächen können unterschiedliche Rohstoffe für die Biomasseerzeugung genutzt werden. Während Waldflächen insbesondere die Nutzung des Baumbestandes zur Holzgewinnung genutzt werden, sind auf Agrarflächen verschiedene Erzeugungsprodukte wie Raps oder Mais genutzt und verwertet werden. Im Rahmen des Projekts können die folgende diskutierten Ertragsdichten für die jeweiligen Flächentypen individuell angepasst werden.

Für die Abschätzung der möglichen Energiemenge wird ein einheitlicher Flächenenertrag mit 2,6 kWh/m² für Waldflächen konservativ abgeschätzt. Dieser basiert auf den langjährigen Holzzuwachs der Bundeswaldinventur³ ($\approx 9,4 \text{ m}^3/\text{ha}$)³ in Kombination mit einem typischen Heizwert luftgetrockneten Laubholzes⁴ von ca. 2 800 kWh/m³. Multipliziert ergibt dies einen Wert von 2,63 kWh/m². Der Ertrag für Biogas⁵ variiert in Abhängigkeit der Bodenqualität, liegt insgesamt aber zwischen 5000-7000 m³/ha bei einem Brennwert von 5-7 kWh/m³. Dies führt auf Energiemengen zwischen 2,5 und 4,9 kWh/m². Damit liegen die Erträge zwar höher im Vergleich zu Waldflächen, fallen aber aufgrund nachhaltiger Flächennutzung, Eigenenergieverbrauch durch Verarbeitung jedoch in eine ähnliche Größenordnung wie Waldflächen. Für eine konservative Abschätzung wird daher ebenfalls eine Ertragsdichte von 2,6 kWh/m² gewählt.

³Bundeswaldinventur; ⁴Heizwerttabelle; ⁵Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V



Freiflächen

digikoo

Ausnutzungsgrad Geothermie und Grundwasserwärmepumpe

Oberflächennahe Geothermie

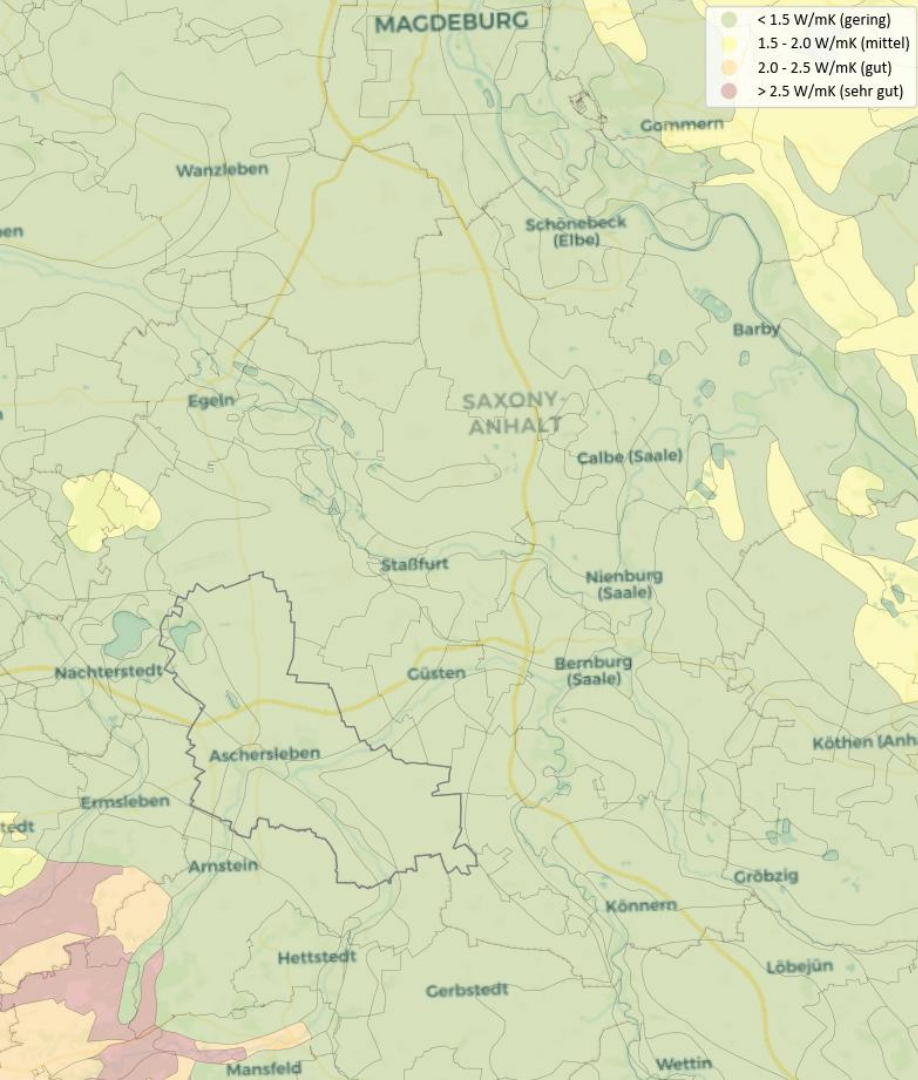
Basierend auf den Studien des LANUK in NRW ist ein technisches Potenzial von 135 TWh möglich⁶. Der Masterplan Geothermie⁷ sieht bis 2045 vor eine Energiemenge von bis 21 TWh durch oberflächennahe Geothermie zu erschließen. Dies entspricht knapp 16% Erschließungsgrad. Zur Kompensation der konservativ abgeschätzten Entzugsleistung (60W/m bei 60m Bohrtiefe) wurde der Erschließungsgrad um einige Prozentpunkte angehoben.

Grundwasserwärmepumpe

Hinsichtlich Grundwasserwärmepumpen gibt es wenige durchgeführte Studien. Durchgeführte Analysen in der Schweiz gehen von einem Anteil von bis zu 23% (17 TWh⁸ Potenzial bei 74 GWh⁹ Gesamtbedarf) aus, während für Bayern ca. 14 TWh¹⁰ abgeschätzt worden. Letzteres entspricht bei einem Gesamtwärmebedarf von 160 TWh¹¹ weniger als 10%. Diese Zahlen verdeutlichen, dass bei Grundwasserwärme in Abhängigkeit der Situation vor Ort starke Unsicherheiten bestehen, die konkret vor Ort analysiert werden müssen.

⁶[Wärmestudie NRW](#); ⁷[Masterplan Geothermie](#); ⁸[Potenzialstudie Schweiz](#); ⁹[Wärmebedarf Schweiz](#);

¹⁰[Geothermiestudie Bayern](#); ¹¹[Gesamtwärmebedarf Bayern](#);



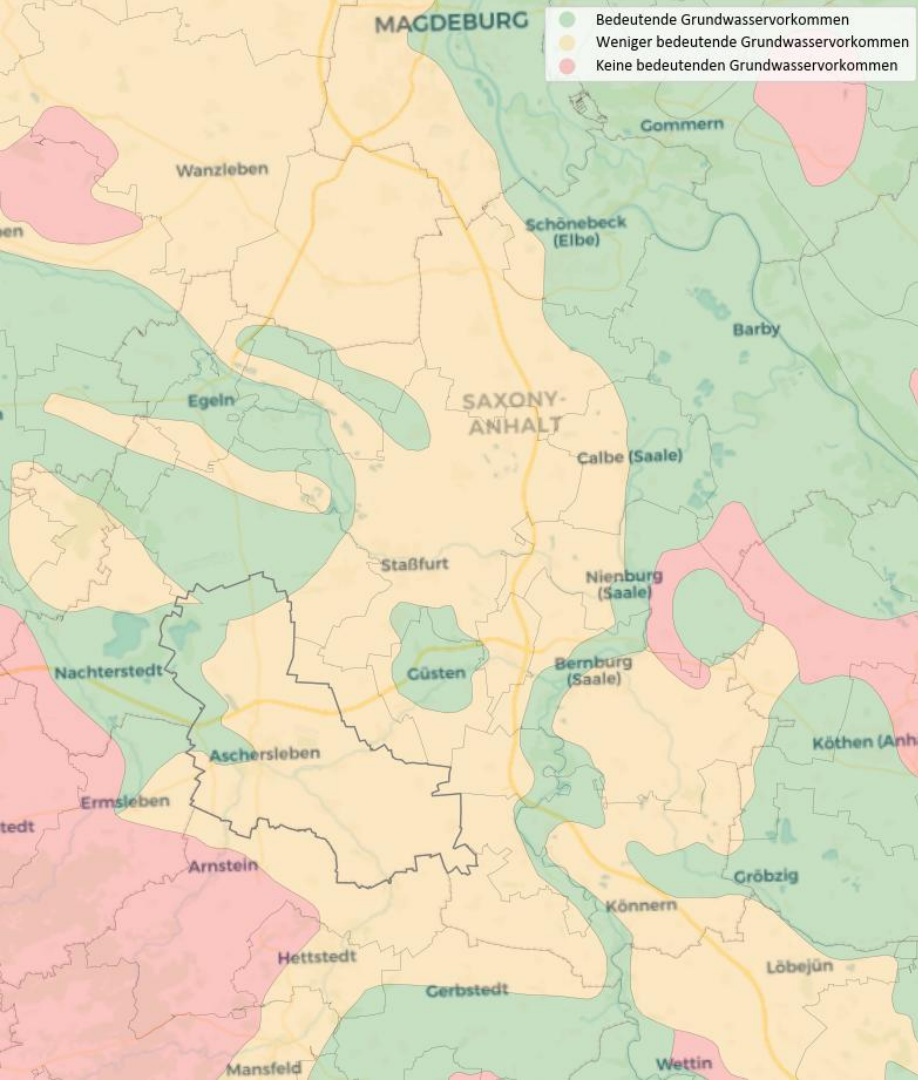
Freiflächen

Wärmeleitfähigkeit Untergrund

Auf der linken Seite ist die thermische Leitfähigkeit des Untergrunds in Watt pro Meter und Kelvin dargestellt. Diese Karte ist auf Landkreisebene dargestellt und zeigt umrandet die untersuchten Kommunen mit einer schwarzen Linie. Die enthaltenen Informationen dienen als Bewertungsgrundlage für die Eignung von oberflächennaher Geothermie. Die Einteilung in die jeweiligen Eignungsstufen erfolgt basierend auf den Kategorien des Lanuk NRW¹².

Aufgrund von Veränderungen im Untergrund z.B. Feuchte können die angegebenen Werte Variationen aufweisen. Daher gibt die Karte einen ersten Anhaltspunkt, welche Regionen grundlegend geeignet sind¹³. Insbesondere in Bereiche, in denen sowohl Werte ober- als auch unterhalb des Grenzwertes (1,5 W/mK) visualisiert sind, werden weitere Studien zur Validierung empfohlen. Dies ist damit zu begründen, dass die vorliegende Karte vermutlich über lokale Messstellen und darauf aufbauend auf räumlicher Interpolation ermittelt wurden.

¹²Kategorien Oberflächennahe Geothermie; ¹³BGR



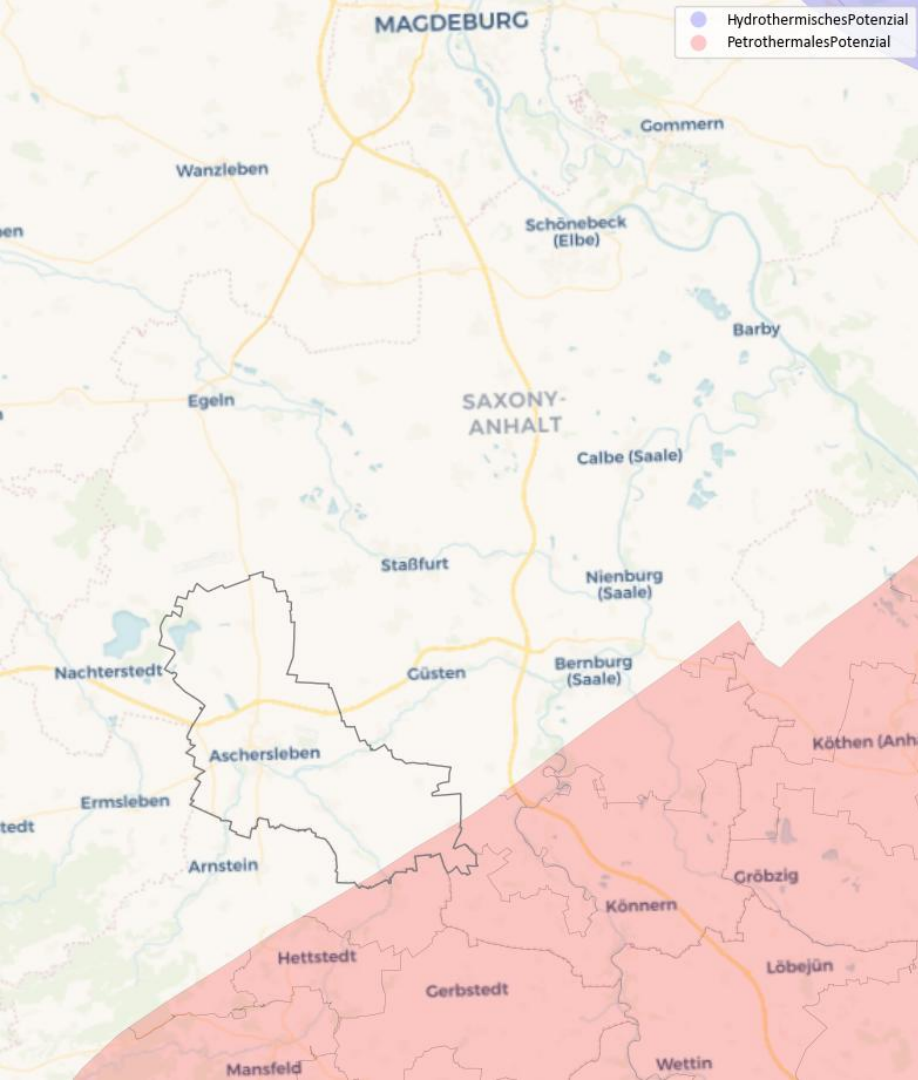
Freiflächen

Grundwasserergiebigkeit

Für die Bestimmung des Potenzials für Grundwasserwärmepumpen wird auf Karten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe zurückgegriffen (BGR)¹⁴. Diese Karte ist links für den Landkreis dargestellt, und zeigt mit der schwarzen Umrandung die untersuchte Kommune. Die Daten zeigen die Ergiebigkeit des Grundwasservorkommens basierend auf wissenschaftlichen Studien aus. Aufgrund anhaltender Trocken- aber auch Nasswetterperioden in den letzten Jahren sind entsprechende Karten mit der aktuellen Nutzung der Wasservorkommen in der Region abzugleichen. Lokale Wasserstände können insbesondere auf den Internetpräsenzen des BGR¹⁵ eingesehen werden und erlauben eine detailliertere saisonale Betrachtung des Grundwasserpegels.

¹⁴[Grundwasserergiebigkeit Daten, Grundwasserergiebigkeit Karte](#)

¹⁵[Saisonale Grundwasserpegel](#)



Freiflächen

Untergrundeignung tiefe Geothermie

Die Eignung von Freiflächen hinsichtlich tiefer Geothermie ist maßgeblich vom Untergrund abhängig. Dementsprechend werden für die Abschätzung des Potenzials weitere Karten mit Untergrundinformationen eingeladen und mit den Freiflächen verschnitten. Diese Karte ist links visualisiert und zeigt Gebiete für petro- bzw. hydrothermale Geothermie. Die Daten basieren auf veröffentlichten wissenschaftlichen Studien auf der Homepage des geothermischen Informationssystems (GeotIs) ¹⁵. Sind auf der Karte links keine Einfärbungen zu erkennen, wurde für das untersuchte Gebiet keine geothermische Eignung nachgewiesen. Dies bedeutet im Umkehrschluss allerdings nicht, dass tiefe Geothermie kategorisch auszuschließen ist. Durch einen Vergleich mit lokalen Studien können die Ergebnisse weiter untersucht werden.

¹⁵[Daten tiefe Geothermie](#)