



Bildquelle: Google Maps

Masterplanung Wärme Kloten 2030+

Schlussbericht Phase I

Zürich, 29. August 2024

Impressum

Auftraggeber:

Stadt Kloten

Herr Marc Osterwalder, Verwaltungsdirektor Stv.

Kirchgasse 7

Postfach

8302 Kloten

Auftragnehmer:

TBF + Partner AG

Beckenhofstrasse 35

Postfach

8042 Zürich

und

Industrielle Betriebe Kloten (ibk)

Herr Beat Gassmann, Geschäftsführer

Flughafenstrasse 25

8302 Kloten

Kontaktperson:

Daniel Martinelli, Leiter Umwelt / Energie- und Um-
weltberater

Telefon: +41 44 815 16 07

E-Mail: daniel.martinelli@kloten.ch

Kontaktperson:

Marina Mariotto

Telefon: +41 43 555 18 74

E-Mail: mama@tbf.ch

Autoren und Autorinnen:

Jérôme Bommer

Áedán Christie

Nick Seiler

Florian Schürz

Nikola Ihn

Marina Mariotto

Änderungsnachweis

Version	Datum	Bezeichnung der Änderungen	Verteiler
1.0	30.05.2023	Erstversion	Stadt Kloten, ibk AG
2.0	15.03.2024	Abgabeverision	Stadt Kloten, ibk AG
3.0	09.04.2024	Ergänzung Thermalaquifer	Stadt Kloten, ibk AG
4.0	29.05.2024	Anpassung Schlussfolgerung	Stadt Kloten, ibk AG
5.0	29.08.2024	Anpassung Fazit der Potenzialanalyse und Abbildungen 14 & 16	Stadt Kloten, ibk AG

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage und Aufgabenstellung	5
1.1	Energieplan Stadt Kloten	5
1.2	Aufgabenstellung	5
1.3	Vorgehen	6
2	Ermittlung Wärmebedarf	7
2.1	Wärmebedarf Bestand	7
2.2	Wärmebedarfsentwicklung (Prognose 2030)	8
2.3	Potenzielles zentrales Verbundgebiet	9
2.4	Dezentrale Einzellösungen	11
3	Potenzialanalyse	13
3.1	Potenzial für Grundwassernutzung	13
3.2	Potenzial für Erdwärmennutzung	15
3.3	Potenzial tieferliegender Aquifere	18
3.4	Potenzial für Holznutzung	19
3.5	Potenzial für die Nutzung bestehender Abwärme	21
3.6	Potenzial für Solarthermie	22
3.7	Potenzial für Luftwärmepumpen	23
3.8	Potenzial für Biogas / Wasserstoff / Methanol als Energieträger	24
3.9	Erdgas / Spitzenlastabdeckung	24
3.10	Fazit der Potenzialanalyse	24
4	Wärmeversorgung der Stadt Kloten	26
4.1	Versorgung des Stadtkerns mit zentralem Verbundgebiet	26
4.2	Einzellösungen	27
4.3	Regionale Lösungen	27
5	Empfehlungen und weiteres Vorgehen	29
5.1	Bausteine für die Masterplanung Wärme Kloten 2030+	29
5.2	Empfehlungen	30
6	Literaturverzeichnis	31

Anhang

Anhang A	Wärmebedarf je Gebäude in Kloten (Quelle: Daten Geoimpact AG)
Anhang B	Heizungstyp je Gebäude in Kloten (Quelle: Daten Geoimpact AG)
Anhang C	Heizungsbaujahr je Gebäude in Kloten (Quelle: Daten Geoimpact AG)
Anhang D	Energiepotentiale der verschiedenen Energiequellen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Wärmebedarf der Gebäude der Stadt Kloten mit Interessensgebieten für eine zentrale Wärmeversorgung (Quelle Grundlagendaten: Geoimpact AG)	8
Abbildung 2	Fernwärmegebiete Stadt Kloten	10
Abbildung 3	Energiemengen pro Jahr und grobe Produktionsleistung für das zentrale Verbundgebiets im Stadtkern Kloten.	11
Abbildung 4	Vorgeschlagene Versorgung der Gemeinde Kloten mit erneuerbarer Wärme	12
Abbildung 5	Mögliche Energieträger in Kloten	13
Abbildung 6	Schematische Funktionsweise Grundwassernutzung zur Wärmeerzeugung	14
Abbildung 7	Vorhandene Grundwasser Probebohrungen in Kloten	15
Abbildung 8	Schematische Funktionsweise Erdsondenfeld	16
Abbildung 9	Wärmenutzungsatlas Kloten (Quelle: webgis.zh.ch, 27.04.2023)	17
Abbildung 10	Beispielhafte Fläche eines Erdsondenfeld.	18
Abbildung 11	Holzbedarf und Holzverfügbarkeit Kloten	20
Abbildung 12	Holzverfügbarkeit Schweiz	20
Abbildung 13	Funktionsweise Luftwärmepumpe	23
Abbildung 14	Tatsächlich nutzbare Energieträger in Kloten	25
Abbildung 15	Fernwärmebedarf des zentralen Verbundgebiets im Stadtkern Kloten über ein Jahr	26
Abbildung 16	Energieversorgung in Kloten mit Option Anschluss an ein regionales Netz	28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Angenommener Wärmebedarf für verschiedene Gebäudetypen	9
Tabelle 2	Bausteine der Masterplanung Kloten 2030+	29

1 Ausgangslage und Aufgabenstellung

Entlang der nationalen Energiestrategie 2050 strebt die Stadt Kloten an, bis 2050 komplett auf den Einsatz von fossilen Energieträgern für die Wärmeerzeugung zu verzichten. Mit der Annahme des kantonalen Energiegesetzes im November 2021 hat sich der Druck diesbezüglich nochmals erhöht. In den kommenden Jahren muss daher eine deutliche Verschiebung der Wärmeversorgung von Heizöl und Erdgas hin zu erneuerbaren Energieträgern erfolgen. Mit der Ergänzung der Gemeindeordnung um den «Nachhaltigkeitsartikel» per 1. Januar 2022 sieht sich die Stadt in ihren strategischen Bemühungen zur Dekarbonisierung der Wärmeversorgung Kloten zusätzlich bestätigt.

Neben den politischen Entwicklungen zur erneuerbaren Energieversorgung wandelt sich die Stadt Kloten auch immer mehr vom Dorf zu einem gefragten urbanen Zentrum. Die aktuelle städtebauliche Dynamik bietet sich für die Umsetzung von Massnahmen zum Erreichen der gesetzten Energieziele beim Gebäudepark auf dem Stadtgebiet Kloten in idealer Weise an.

1.1 Energieplan Stadt Kloten

Als Grundlage für die Umsetzung von Massnahmen zur erneuerbaren Wärmeversorgung der Stadt Kloten liegt ein durch den Regierungsrat des Kantons Zürich im Jahr 2008 genehmigter Energieplan vor. Dieser wurde für einen Planungshorizont von 10–15 Jahren erstellt. Im Jahr 2020 liess Kloten einen neuen Energieplan [1] erarbeiten. Der Energieplan wird dabei als Teilstück der Gesamt-Energiestrategie [2] verstanden, welche Kloten ebenfalls 2020 entwickelt hat. Der Energieplan 2020 weist 12 Verbundsgebiete aus, welche sich für die Entwicklung eines Nahwärmeverbunds eignen. Für jedes Verbundgebiet ist in einem Massnahmenplan festgehalten, welche Art der Energieversorgung geeignet wäre und welche Schritte für die Umsetzung nötig wären.

1.2 Aufgabenstellung

Die Industriellen Betriebe Kloten (ibk AG) sind grösster Energielieferant für das Stadtgebiet Kloten und betreiben u. a. das bestehende Gasnetz. Aufgrund der Strategie der Stadt Kloten hin zu erneuerbarer Energieversorgung und den dadurch ausgelösten vermehrten Kundenanfragen ist die ibk AG als zukünftige Betreiberin eines oder mehrerer möglicher Fernwärmenetze daran interessiert, die im Energieplan bereits übergeordnet vorhandene Strategie zu technisch umsetzbaren sowie wirtschaftlichen Lösungen zu konkretisieren. Es besteht das gemeinsame Verständnis mit der Stadt Kloten, dass die Strategieentwicklung und die konkrete Massnahmendefinition zum Ausbau der erneuerbaren Energieversorgung zwingend Hand in Hand erfolgen müssen. Aus diesem Grund haben die Stadt Kloten und die ibk AG per Juli 2022

TBF + Partner AG (TBF) beauftragt, auf Basis der bestehenden Energieplanung eine Masterplanung Wärme Kloten 2030+ zu erarbeiten, in welcher die strategische Ausrichtung hin zur erneuerbaren Wärmeversorgung vertieft sowie konkrete Varianten zu deren Umsetzung ausgearbeitet werden.

Ziele der Masterplanung sind:

- die Entwicklung des Wärmebedarfs und Absatzes (2030–2040) im Gemeindegebiet der Stadt Kloten zu eruieren,
- mögliche Energieträger zur Wärmeproduktion zu prüfen und deren Risiken abzuschätzen (Auslegeordnung),
- die Möglichkeiten für regionale Lösungen (Zusammenarbeit mit anderen Stakeholdern) aufzuzeigen,
- potenzielle Standorte für Produktionsanlagen im Gemeindegebiet Kloten sowie der nahen Region grob zu evaluieren,
- verschiedene Varianten zur erneuerbaren Wärmeversorgung aufzuzeigen,
- mögliche kurz- bis mittelfristige Zwischenlösungen aufzuzeigen,
- Chancen und Risiken der Varianten aufzuzeigen und zu bewerten,
- und einen Entscheid über das weitere Vorgehen zu fällen.

1.3 Vorgehen

Die Masterplanung Wärme 2030+ soll in drei Phasen erarbeitet werden:

- **Phase 1:** Ermittlung künftiger Wärmebedarf, Potentialanalyse der Energieträger, technische Machbarkeits- und Standortanalyse inkl. Erstkontakten mit möglichen regionalen Partnern.
- **Phase 2:** Ausarbeitung eines langfristigen Plans zum Ausbau der Produktionsanlagen und Skizzieren eines groben Zielnetzes inkl. Zwischenlösungen. Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Varianten und Entwicklung von Geschäftsmodellen.
- **Phase 3:** Schätzung der Investitionskosten für Varianten inkl. Wärmepreis und Ausarbeitung Terminplan. Erarbeitung Umsetzungskonzept (Politik, Organisation etc.) und konkretisieren der Synergien mit regionalen Partnern («letter of intent»).

Der vorliegende Bericht fasst die **Ergebnisse der Phase I** der «Masterplanung Kloten 2030+» zusammen.

2 Ermittlung Wärmebedarf

2.1 Wärmebedarf Bestand

Der Wärmebedarf der Stadt Kloten liegt heute bei 220 GWh/a

Der bestehende Wärmebedarf der Stadt Kloten wurde durch die Firma Geoimpact AG erhoben und TBF zur Verfügung gestellt (vgl. Anhänge A bis C). Die Daten umfassten den aktuellen Energiebedarf für jedes bestehende Haus in Kloten sowie – wo bekannt – den Typ und das Alter der bestehenden Heizung. Gemäss den vorliegenden Datengrundlagen hat die Stadt Kloten heute einen jährlichen Wärmebedarf von 220 GWh.

Definition potenzieller Verbundsgebiete anhand der Wärmebedarfsdichte

Anhand der Wärmebedarfsdichte können Gebiete identifiziert werden, welche sich aus wirtschaftlicher Sicht für eine zentrale Wärmeversorgung (bspw. durch ein Fernwärmenetz) eignen. Die Angaben zu den bestehenden Heizungstypen zeigen zudem den Erneuerungsbedarf der bestehenden Wärmeversorgung (Heizungsalter und Energieträger) an. Je dichter der Wärmebedarf und je grösser der Anteil an fossiler Versorgung, umso lukrativer und dringlicher ist die Erneuerung der Wärmeversorgung mittels zentraler Lösung.

Abbildung 1 zeigt, dass das Stadtzentrum Kloten eine hohe Wärmebedarfsdichte aufweist (Bereich Nr. 1 in Abbildung 1). Zudem wird die Wärme in diesem Gebiet heute grösstenteils mit Heizöl erzeugt (siehe Anhang B), was es attraktiv für eine zentrale und fossilfreie Wärmeversorgung macht. Weiter weist das Gebiet Bramen / Waldeggweg / Balsberg (Bereich Nr. 2 in Abbildung 1) mit seinen zahlreichen Mehrfamilienhäusern, das Gebiet Händlen / Anflugschneise (Bereich Nr. 3 in Abbildung 1) und das Gebiet Steinacker (Bereich Nr. 4 in Abbildung 1) mit seinen grossen Gebäuden mit hohem Endenergieverbrauch eine hohe Wärmebedarfsdichte auf und sind daher potenziell interessant für eine zentrale Wärmeversorgung.



Abbildung 1 Wärmebedarf der Gebäude der Stadt Kloten mit Interessensgebieten für eine zentrale Wärmeversorgung (Quelle Grundlegendaten: Geoimpact AG)

2.2 Wärmebedarfsentwicklung (Prognose 2030)

Basierend auf den Daten von Geoimpact wurde für das gesamte Gemeindegebiet der Stadt Kloten und für die Gebiete mit hoher Wärmebedarfsdichte (gemäss Kapitel 2.1) im Spezifischen eine Prognose der Wärmebedarfsentwicklung für das Jahr 2030 durchgeführt.

Als Grundlage dienten Angaben zu Wachstumsraten für ausgewiesene Quartiere¹. Diese basierten u. a. auf der Schulraumplanung sowie weiteren Einzelplanungen. Anhand der Wachstumsrate und einem durchschnittlichen Wohnflächenbedarf von 46 m²/Person² wurde eine neue Gesamtheizfläche für die einzelnen Gebiete sowie für die gesamte Stadt Kloten definiert. Es wurde angenommen, dass bis 2030 10 % der Gebäude saniert werden (aktuelle Sanierungsquote der Schweiz liegt bei 1 % pro Jahr³) und 25 % der Neubauten nach Minergie-Standards gebaut werden (schweizweit liegt der Anteil bei 15 %⁴). Die angenommenen Wärmebedarfswerte für den jeweiligen Bautyp (inkl. Warmwasserverbrauch⁵) sind in der Tabelle 1 abgebildet.

¹E-Mail von M. Osterwalder, 25.10.2022

²<https://www.bfs.admin.ch>, 26.10.2022

³<https://www.raiffeisen.ch>, 26.10.2022

⁴<https://www.greenbuilding.ch>, 26.10.2022

⁵<https://energie.ch>; 27.10.2022

Tabelle 1 Angenommener Wärmebedarf für verschiedene Gebäudetypen

Altbau	134 kWh/m ² /a
Sanierung	74 kWh/m ² /a
Neubau	54 kWh/m ² /a
Minergie	34 kWh/m ² /a

Der Gesamtwärmebedarf im Jahr 2030 liegt bei 240 GWh/a

Auf Basis der obigen Annahmen ergibt sich für die Stadt Kloten im Jahr 2030 ein Wärmebedarf von 240 GWh/a. Dies entspricht einer Steigerung um ca. 10 % gegenüber heute (220 GWh/a). Dies widerspricht der Aussage im Bericht zum Energieplan von 2020 [3], welcher festhält, dass der Energiebedarf der Stadt Kloten in Zukunft abnehmen wird. Der Grund dafür ist, dass nach neuester Einschätzung die Bevölkerungsentwicklung in der Stadt Kloten den technischen Fortschritt (energetische Sanierungen, effizientere Neubauten) und die klimatischen Veränderungen (weniger Heiztage) überwiegen werden.

2.3 Potenzielles zentrales Verbundgebiet

Ein zentrales Fernwärmenetz ist aus stadtplanerischer, ökologischer und ökonomischer Sicht interessant

Die Stadt Kloten eignet sich aus verschiedenen Gründen für eine Wärmeversorgung mittels zentralem Fernwärmenetz. Aufgrund der dichten Bebauung besteht im Zentrum der Stadt Kloten nur geringes Potenzial für eine lokale Wärmeproduktion. Ein Fernwärmenetz kann die erneuerbare Energieversorgung für das Stadtzentrum von einer peripheren Produktionsstätte her gewährleisten und somit zu einer raschen Erreichung der Energieziele beitragen. Zudem stellt ein Fernwärmenetz ab einer Wärmebedarfsdichte von 500 MWh/ha/a aus Sicht der Betreiber oftmals die wirtschaftlichste Lösung zur erneuerbaren Wärmeversorgung dar [4]. Für die Wärmebezüger ist eine Netzversorgung deshalb interessant, weil deutlich geringere Investitions- sowie Unterhaltskosten anfallen, keine Brennstoffe beschafft werden müssen (Abhängigkeit) und der Raumbedarf innerhalb des Gebäudes geringer ist.

Anhand des ermittelten Wärmebedarfs 2030 der einzelnen Gebiete (Kapitel 2.2) und unter Berücksichtigung verschiedener Aspekte der Stadtentwicklung wurde daher in Absprache mit der Stadt Kloten und ibk ein potenzielles Fernwärmegebiet ausgewiesen. Als Grundlage dafür dienten die Gebiete mit hoher Wärmedichte gemäss Kapitel 2.1 bzw. 2.2. Diese wurden so erweitert, dass ein möglichst grosses und zusammenhängendes Gebiet für eine potenzielle Fernwärmeversorgung entsteht – immer unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit (Wärmebedarfsdichte von >500 MWh/ha/a).

Wärmebedarf des potenziellen Verbundgebietes liegt 2030 bei 115 GWh/a

Das resultierende Fernwärmegebiet ist in Abbildung 2 ersichtlich und verfügt 2030 über eine Wärmebedarfsdichte von 570 MWh/ha/a und einen Wärmebedarf von ca. 115 GWh/a.

Im Stadtgebiet existieren bereits heute kleinere Nahwärmeverbünde, die – sofern sie im Gebiet des neuen Fernwärmenetzes liegen – über Quartierzentralen an ein neues zentrales Netz angeschlossen werden könnten. Die Nahwärmeverbünde Lägern und Hardacker (Bereich Nr. 1 und 2 in Abbildung 2) liegen nicht im Einzugsgebiet des potenziellen Verbundgebietes und werden daher unabhängig betrachtet.

Im Gebiet Hohrainli (Bereich Nr. 3 auf Abbildung 2) ist bereits ein unabhängiger Nahwärmeverbund in Planung. Dies wird als Drittprojekt betrachtet und derzeit nicht für ein zentrales Verbundgebiet berücksichtigt. Ein künftiger Zusammenschluss ist nicht ausgeschlossen.

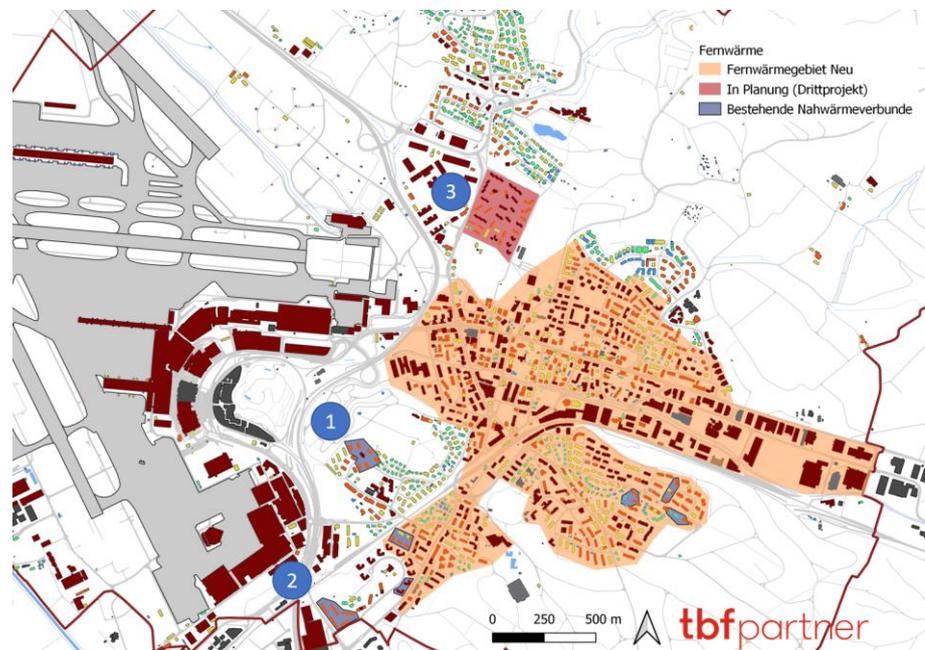


Abbildung 2 Fernwärmegebiete Stadt Kloten

Geschätzte Produktionsleistung für das potenzielle Verbundgebiet liegt bei 31 MW

Ausgehend von den Wärmebedarfsmengen kann auf Basis von Annahmen und Erfahrungswerten auf die notwendige Produktionsleistung geschlossen werden. Die Abbildung 3 zeigt, dass für den Wärmebedarf des Fernwärmegebietes (115 GWh) aufgrund des abgeschätzten Anschlussgrades (-25 %), der erwarteten zeitlichen Verteilung des Bedarfs (genannt Gleichzeitigkeit, -25%) und erwarteten Transportverlusten (+5 %) mit einer ungefähren Produktionsleistung von 31 MW gerechnet werden muss. Dieser Wert soll als Grössenordnung dazu dienen die Leistungswerte in der Potentialanalyse besser einzuordnen.

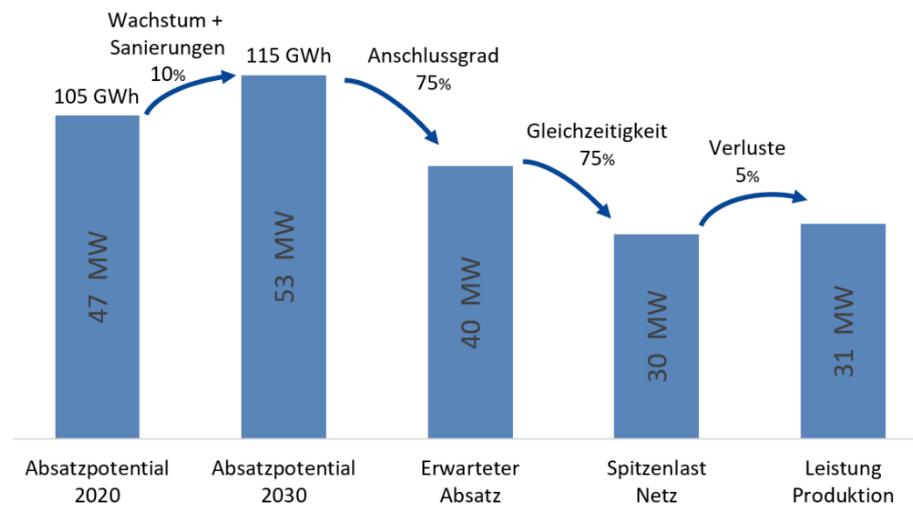


Abbildung 3 *Energiemengen pro Jahr und grobe Produktionsleistung für das zentrale Verbundgebiets im Stadtkern Kloten.*

2.4 Dezentrale Einzellösungen

Für jene Gebiete der Stadt Kloten, welche eine geringe Wärmebedarfsdichte (<500 MWh/ha/a) aufweisen und somit aus wirtschaftlicher Sicht für ein Fernwärmenetz nicht interessant sind, sind dezentrale Lösungen bzw. Einzellösungen für die Umstellung auf erneuerbare Wärmeproduktion vorzusehen.

Der Wärmebedarf für dezentrale Einzellösungen liegt 2030 bei 125 GWh/a

Gesamthaft ergibt sich das Bild gemäss Abbildung 4. Rund die Hälfte des Wärmebedarfs 2030 wird durch Gebäude im potenziellen Verbundgebiet benötigt und könnte daher mittels zentralem Fernwärmenetz abgedeckt werden (ca. 115 GWh/a). Die restlichen Flächen sind über Einzellösungen zu versorgen (ca. 125 GWh/a). Diese können beispielsweise mit einer Erdsonde, mit Solarthermie oder auch mit einer Luft-Luft-Wärmepumpe versorgt werden.

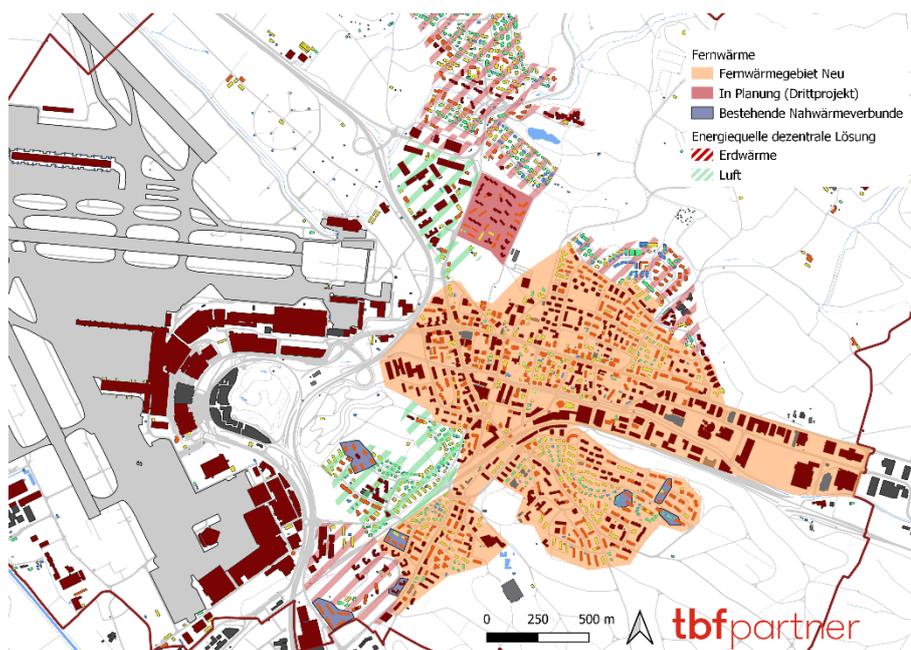


Abbildung 4 Vorgeslagene Versorgung der Gemeinde Kloten mit erneuerbarer Wärme

3 Potenzialanalyse

Die beste Möglichkeit zur Bereitstellung erneuerbarer Wärmeenergie hängt von den örtlichen Begebenheiten ab

Erneuerbare Wärmeenergie kann auf verschiedene Arten zur Verfügung gestellt werden. Einerseits kann diese direkt als Primärenergie gewonnen werden (bspw. Solarthermie). Andererseits ist die sekundäre Produktion aus anderen Energieträgern möglich (bspw. Holzheizwerk). Zudem ist es möglich, Wärmeenergie saisonal zu speichern (Erdsondenfelder mit Regeneration). Die beste Möglichkeit für die Bereitstellung der Wärmeenergie hängt insbesondere von den örtlichen Gegebenheiten ab. Um eine optimale Versorgung der Stadt Kloten bestimmen zu können, ist daher zu Beginn das Potenzial der verschiedenen Möglichkeiten zur Wärmeerzeugung zu analysieren. Das folgende Kapitel hält die Resultate der Potenzialanalyse für die Stadt Kloten fest. Die Analyse unterscheidet jeweils, inwiefern sich eine Lösung für ein zentrales Verteilnetz oder für eine Einzellösung eignet.

In Abbildung 5 ist schematisch dargestellt, welche Energieträger für die Wärmeversorgung in der Stadt Kloten berücksichtigt wurden.

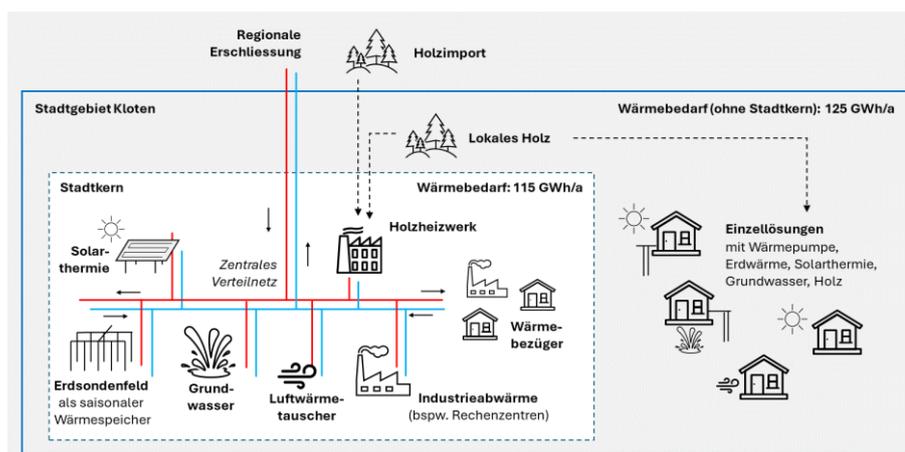


Abbildung 5 Mögliche Energieträger in Kloten

3.1 Potenzial für Grundwassernutzung

Funktionsweise der Wärmegewinnung aus Grundwasser

Unter Grundwasserwärmenutzung versteht man, dass Grundwasser an die Oberfläche gepumpt und dem Grundwasser mittels Wärmetauscher Wärme entzogen wird (vgl. Abbildung 6). Die Temperatur des Grundwassers ist niedrig (rund 10 °C), weshalb die Temperatur des vom Grundwasser erwärmten Mediums zu tief für die direkte Wärmeversorgung ist. Mittels strombetriebener Wärmepumpe wird daher das Grundwasser weiter abgekühlt, d. h. es wird zusätzliche Energie entzogen. Anschliessend wird das abgekühlte Wasser wieder zurück in die Grundwasserschichten geleitet, von wo es entnommen wurde. Die Wärmepumpe nutzt die Energie des Grundwassers und des Stromes, um das Wasser mit der zum Heizen benötigten Temperatur zu produzieren.

Der Wärmebezug von Grundwasser benötigt aufgrund der Wärmepumpe Strom. Je nach Grundwassertemperatur und gewünschter Wärmetemperatur variiert der Stromverbrauch, es kann jedoch grob davon ausgegangen werden, dass ca. $\frac{1}{4}$ der generierten Wärme durch Strom produziert wird⁶.

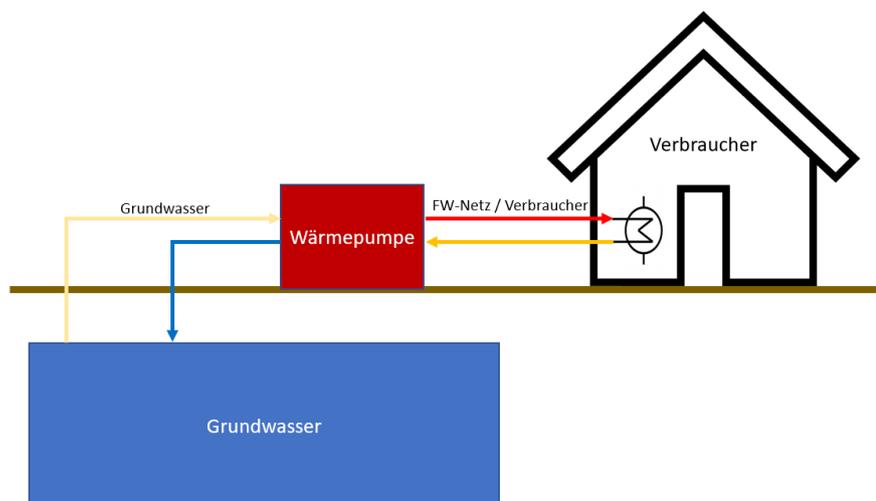


Abbildung 6 Schematische Funktionsweise Grundwassernutzung zur Wärmeerzeugung

Analyse anhand vorhandener Probebohrungen zeigt nur geringes Potenzial

Zur punktuellen Abklärung der Grundwasserverfügbarkeit wurden im Stadtgebiet Kloten in der Vergangenheit bereits mehrere Probebohrungen durchgeführt. Die Analyse der Bohrungen sowie die dazugehörige Berichtverfassung erfolgte durch die Firma Jäckli Geologie AG. Die Berichte wurden durch die Jäckli Geologie AG und das Amt für Abfall, Wald, Energie und Luft des Kantons Zürich (AWEL) zur Verfügung gestellt ([5] bis [15]). Anhand dieser konnte das Potenzial der Grundwasserwärmenutzung in Kloten abgeschätzt werden. Die Probebohrungen, welche zur Auswertung vorlagen, sind in der Abbildung 7 verortet. Die Resultate zeigen, dass das grösste Potenzial zur Grundwassernutzung im Gebiet Hohrainli liegt. In diesem Gebiet ist im Rahmen eines Drittprojekts bereits ein Wärmeverbund mit Grundwasserwärmenutzung geplant. An den übrigen untersuchten Standorten zeigte sich nur geringes Potenzial (<1 MW), weshalb diese für einen grösseren Wärmeverbund bzw. für ein zentrales Verteilnetz uninteressant sind. Anhand der bisherigen Bohrungen wird nach Einschätzung von Jäckli Geologie AG auch in den weiteren Gebieten der Stadt Kloten kein Grundwasserwärme-Nutzungspotenzial von

⁶Gemäss Angaben Johnson Control September 2022 und Ochsner Wärmepumpen Januar 2023

mehr als 1 MW erwartet⁷. Folglich wurde – in Absprache mit den Auftraggebern – auf weitere Probebohrungen verzichtet.

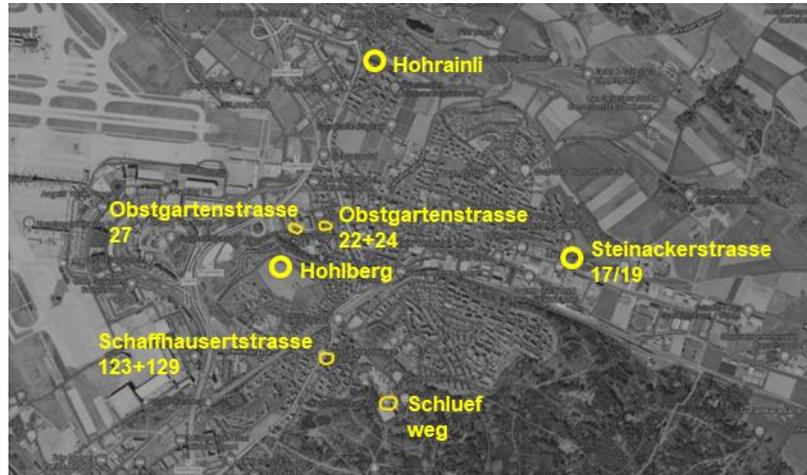


Abbildung 7 Vorhandene Grundwasser Probebohrungen in Kloten

Grundwasser weist nur Potenzial für Einzellösungen auf

Im Wesentlichen ist das Potenzial der Wärmegewinnung aus Grundwasser gemäss vorliegender Untersuchung in Kloten gering. Aus den bestehenden Probebohrungen geht hervor, dass keine nennenswerte Wärmenutzung (> 1 MW) aus dem Grundwasser möglich ist. Die geringen Wärmenutzungswerte sind für einen grösseren Wärmeverbund (zentrales Verteilnetz) uninteressant. Für kleine Wärmeverbünde oder für Einzellösungen kann Grundwasser punktuell als Wärmequelle genutzt werden.

3.2 Potenzial für Erdwärmenutzung

Funktionsweise der Gewinnung von Erdwärme

Erdwärme kann dem Erdreich entzogen werden, indem mittels Bohrung eine Sonde in das Erdreich gesetzt wird (bis zu einer Tiefe von ca. 400 m spricht man von untiefer Geothermie). Die Technologie funktioniert analog zur Grundwasserwärmenutzung (siehe Abbildung 8). Es wird eine Flüssigkeit (Sole) in der Sonde gefördert, welche sich beim Durchfliessen des Erdreiches aufwärmt und diese Wärme an der Oberfläche abgeben kann. Das Temperaturniveau ist allerdings auch hier zu niedrig für die direkte Nutzung, weshalb die benötigte Temperatur nur mittels Wärmepumpe erreicht wird. Der Wärmebezug benötigt aufgrund der Wärmepumpe Strom. Grob kann angenommen werden, dass ca. $\frac{1}{4}$ der generierten Wärme durch Strom produziert wird⁸.

⁷Gemäss Telefonat N. Seiler (TBF) und Andrea Winter (Jäckli Geologie AG) im Dezember 2022

⁸Gemäss Angaben Johnson Control September 2022 und Ochsner Wärmepumpen Januar 2023

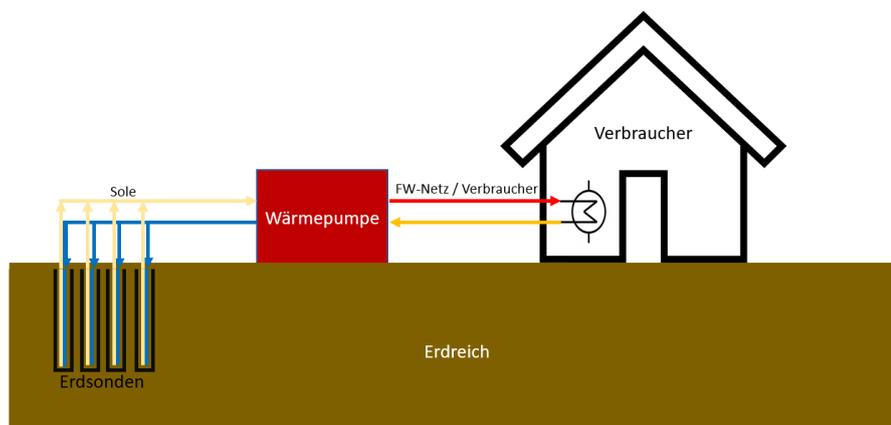


Abbildung 8 Schematische Funktionsweise Erdsondenfeld

Bei Einzelsonden (Abstand >7 m) kann im Erdreich genügend Wärme nachfließen, so dass über die ganze Lebensdauer Wärme entzogen werden kann, ohne dass das Erdreich auskühlt (konstantes Temperaturniveau). Bei einem Sondenfeld (dutzende bis hunderte verbundene, nahe beieinander liegende Sonden, Abstand <7 m) kühlt sich das Erdreich jedoch mit der Zeit aus, weshalb dieses mittels zurückgeführter Wärme zwingend regeneriert werden muss. Für die Regeneration gibt es diverse Möglichkeiten, wie beispielsweise die Nutzung von Abwärme, Luftwärmepumpen, ein Kältenetz oder Solarthermie. Mittels Regeneration kann das Temperaturniveau des Erdreichs verändert werden, welches zwischen -1.5 °C ⁹ und 40 °C ¹⁰ liegen darf. Durch diese grosse Temperaturspannweite erfüllt das Erdreich mittels Erdsondenfeld die Funktion eines Wärmespeichers mit hoher Speicherkapazität. Die Wärme aus den Erdsonden wird mittels Leitung im Boden bis zum Standort des Wärmeentzugs geführt. Nach der Installation der Erdsonden gibt es, ausser der benötigten Wärmepumpe, keine Auswirkungen auf die darüberliegende Oberfläche.

Erdsondenfelder benötigen Regeneration und erfüllen die Funktion eines Wärmespeichers.

Die grundsätzliche Bewilligungsfähigkeit von Erdsonden kann mittels Wärmenutzungsatlas des Kanton Zürich¹¹ geprüft werden. Ein Auszug aus dem Wärmenutzungsatlas für die Stadt Kloten ist in Abbildung 9 dargestellt. Dieser zeigt, dass das Zentrum von Kloten zu grossen Teilen als Grundwasserschutzgebiet (Au, blau) deklariert ist. Erdsonden sind in diesem Gebiet nicht zulässig. Die Erdwärmennutzung beschränkt sich somit auf die Gebiete ausserhalb des Zentrums (grün bzw. farblos). Auf bereits bebauten Flächen sind einzelne Sonden gut umsetzbar, jedoch besteht in diesen Gebieten aufgrund der fehlenden freien Flächen kaum Potenzial zur Erstellung von Erdsondenfeldern (Erdsonden können nicht unter bestehende Gebäude gebaut werden). Rund um das bebauten Stadtgebiet Kloten sind grosse freie Flächen

⁹SIA 324-6 Erdwärmesonden

¹⁰Gemäss Aussage AWEL, April 2023

¹¹[Wärmenutzungsatlas Kanton Zürich](#)

vorhanden (Landwirtschaft, Flughafen), auf welchen Erdsondenfelder aus technischer Sicht umgesetzt werden könnten. Die Ertragsfähigkeit von landwirtschaftlicher Nutzfläche wird durch Erdsonden nicht beeinträchtigt.

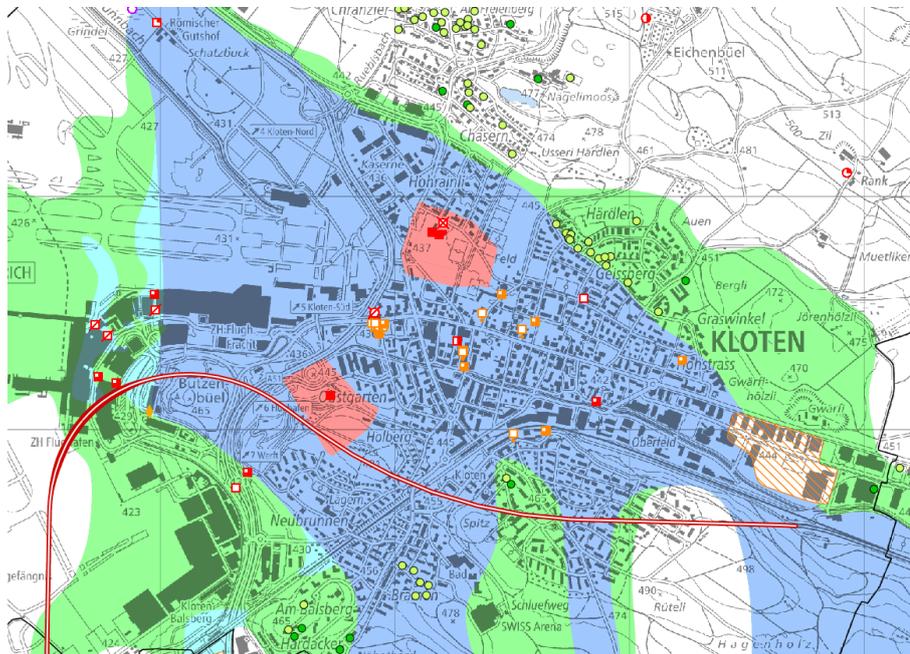


Abbildung 9 Wärmenutzungsatlas Kloten (Quelle: webgis.zh.ch, 27.04.2023)

Beispielhaftes Potenzial von Erdsondenfeldern

Die Abbildung 10 zeigt eine beispielhafte und vereinfachte Fläche für ein Erdsondenfeld von 10 ha. Im Landwirtschaftsgebiet nordöstlich vom Zentrum sind gemäss Wärmenutzungsatlas Erdsonden bis zu 130 m tiefe Sonden erlaubt. Die Wärmeleitfähigkeit des Bodens wurde gemäss Erfahrungswerten aus Referenzprojekten auf 50 W/m betitelt. Mit dem benötigten Abstand von 7 m zwischen Bohrungen ergibt sich eine geschätzte Spitzenleistung für dieses Erdsondenfeld von 20 MW. Dabei ist zu beachten, dass nicht die gesamte Energie aus der Erde kommt, sondern dass das Feld an Wärmepumpen angeschlossen wird. Im Beispiel auf Abbildung 10 wird zusätzlich zu den Sonden noch rund 6.7 MW Strom benötigt, um die Wärme bereitzustellen. Zur genauen Bestimmung des effektiven Potenzials in der Beispielfläche resp. für das Gesamtpotenzial der Stadt Kloten müssen diverse weitere Grundlagen berücksichtigt werden, z. B. die Beschaffenheit des Erdreichs, erlaubtes Temperaturprofil etc., welche bisher in Absprache mit den Auftraggebenden nicht weiter untersucht wurden. Zur Bereitstellung von Regenerationsenergie haben Erstkontakte stattgefunden (Datencenter, Flughafen), das Potenzial wurde noch nicht vertieft untersucht.

Unklare Bewilligungsfähigkeit von Erdsondenfeldern auf Landwirtschaftsland

Aktuell ist die Bewilligung von Erdsondenfeldern ausserhalb von Bauzonen und unterhalb von landwirtschaftlicher Nutzfläche nicht geregelt (fehlende Bewilligungsgrundlage), weshalb die Umsetzung nicht nur die Unterstützung der Grundeigentümer, sondern einen wesentlichen Effort der Politik resp.

der kantonalen Verwaltung bedingt. Die technische Ausgangslage der Stadt Kloten wurde gegenüber den relevanten kantonalen Fachstellen an einer gemeinsamen Besprechung erläutert. Damit aus Sicht der Stadt Kloten zeitnahe Projektsicherheit geschaffen werden kann, ist die regulatorische Lücke auf kantonomer Amts- resp. Direktionsebene zu klären. Ein Anstoss dazu kann von der Stadt Kloten mittels Anfrage an die Baudirektion erfolgen.



Abbildung 10 Beispielhafte Fläche eines Erdsondenfelds.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass das technische Potenzial für Erdwärme in Kloten sowohl für ein zentrales Verteilnetz als auch für Einzellösungen hoch ist, trotz gewisser Einschränkungen aufgrund der Grundwasserschutzzone im Stadtkern. Ein wesentlicher Vorteil eines Erdsondenfelds mit Regeneration ist, dass die Wärme, die im Sommer im Überschuss vorhanden ist, saisonal gespeichert und im Winter zum Heizen zur Verfügung gestellt werden kann. Um klare Angaben zur Umsetzbarkeit auf dem Gemeindegebiet Kloten machen zu können, sind noch weiterführende Untersuchungen notwendig. Dabei ist insbesondere die Bewilligungsfähigkeit von Erdsondenfeldern ausserhalb von Bauzonen zu klären. Technisch ist nebst der Bereitstellung der Regenerationsenergie, die Kombination mit einem Kältenetz zu prüfen. Aufgrund der Klimaerwärmung wird der Kühlbedarf künftig voraussichtlich steigen.

3.3 Potenzial tieferliegender Aquifere

Im Raum Kloten sind tieferliegende wasserführende Gesteinsschichten, sogenannte Aquifere, vorhanden [16]. Diese könnten von der Funktionsweise vergleichbar mit oberflächennahem Grundwasser gemäss Kapitel 3.1 in einem offenen System zur Wärmegegewinnung resp. -speicherung verwendet werden (offenes Aquiferspeicher-System). Die tieferliegenden Aquifere fliesen meist deutlich langsamer als oberflächennahes Grundwasser. Dieses Grundwasser wird aus Tiefen von >300 m an die Oberfläche gepumpt,

abgekühlt (Entzug der Wärme) und wieder in die Entnahmetiefe rückgeführt. Bei einer Nutzung von mehr als 3-5 MW sollte das zurückgeführte Wasser über die Sommermonate bspw. mittel Solarthermie aufgewärmt werden, womit eine saisonale Wärmespeicherung möglich ist.

Das Tiefengrundwasser weist gegenüber oberflächennahem Grundwasser höhere Temperaturen auf, weshalb der Einsatz strombetriebener Wärmepumpen im Vergleich geringer ausfällt. Trotzdem ist zu erwarten, dass im Vergleich zur Nutzung von oberflächennahem Grundwasser oder oberflächennaher Erdwärme die Betriebskosten für die Nutzung der Tiefenaquifere aufgrund der notwendigen grossen Pumpleistung (Druckverluste) deutlich höher ausfallen. Gegenüber von Erdsonden resp. Erdsondenfeldern, welche auf einer bekannten und lang erprobten Technik basieren, hätte ein Aquiferspeicher-System Pilotcharakter. Diese Neuartigkeit, sowie das offene System bringen verschiedene Risiken mit sich (Geologie, technische Umsetzung, mineralogische Effekte etc.).

Das Wärmepotential für die Nutzung der tieferliegenden Aquifere ist gemäss aktuellem Untersuchungsstand nicht bekannt, es ist aber davon auszugehen, dass es grundsätzlich vorhanden ist. Insbesondere aufgrund der Risikoabschätzung, aber auch aufgrund der erwarteten hohen Betriebskosten empfiehlt TBF dennoch die Wärmenutzung aus Tiefenaquiferen zum jetzigen Zeitpunkt nicht weiter zu verfolgen. Falls sich die Weiterverfolgung weiterer in diesem Bericht abgehandelten Energieträger als nicht sinnvoll erachtet wird, könnte der Energieträger wieder vertieft werden (3. Priorität).

3.4 Potenzial für Holznutzung

*Funktionsweise der
Wärmegewinnung
aus Holz*

Grundsätzlich gilt Holz dann als erneuerbare Energiequelle, wenn es nachhaltig aufgeforstet wird, sprich jeder gefällte Baum nachgepflanzt wird. Die Nutzung von Holz zur Wärmeproduktion ist auf verschiedene Weise möglich, im Mittelpunkt steht aber meist die Holzverbrennung. Dabei wird das Holz in einem Ofen verbrannt und die entstehenden heissen Rauchgase werden genutzt, um Dampf zu produzieren oder Wasser zu erhitzen. Eine weitere, weniger verbreitete Technologie ist die Holzvergasung. Dabei wird das Holz in einem Vergaser – aufgrund des vorhandenen Sauerstoffdefizits – nur teilweise verbrannt, das restliche Holz wird aufgrund der hohen Temperatur vergast. Das entstehende synthetische Gas kann analog zum Gaskessel verbrannt und für die Wärmeproduktion benutzt werden oder in einem Blockheizkraftwerk zur Stromproduktion verwendet werden. Die Wärmegewinnung aus Holz ist eine bereits langjährig etablierte Produktionsmöglichkeit und bisher ist man stets von einer günstigen und ausreichenden Verfügbarkeit von Holz ausgegangen. Aus diesen Gründen wurde die Wärmeproduktion mit Holz im Zusammenhang mit den definierten Energiezielen oftmals prioritär betrachtet, was die Nachfrage nach Holz in der Schweiz sowie im europäischen Raum stark gesteigert hat.

Holzverfügbarkeit in Kloten

In Abbildung 11 ist aufgezeigt, dass im Gebiet Kloten rund 6 GWh lokales Holz für zusätzliche Nutzungszwecke vorhanden sind [17]. Dies entspricht nur knapp 2.5 % des gesamten Wärmebedarfs der Stadt Kloten im Jahr 2030.

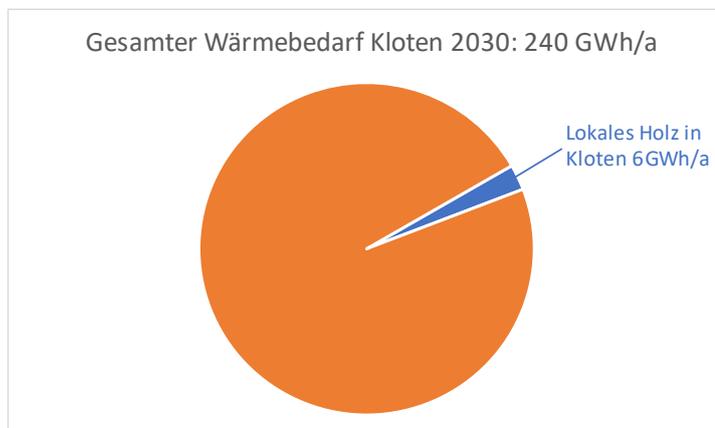


Abbildung 11 Holzbedarf und Holzverfügbarkeit Kloten

Holzverfügbarkeit in der Region Zürich

Die neuste Studie zur Holzverfügbarkeit im Kanton Zürich hält zudem fest, dass die Energieholznachfrage im Kanton Zürich das Angebot aus Zürcher Wäldern bereits deutlich übersteigt [18]. In umliegenden Kantonen bestehen teilweise noch Holzreserven, diese sind jedoch zu einem Grossteil bereits für andere Versorgungsprojekte eingeplant.

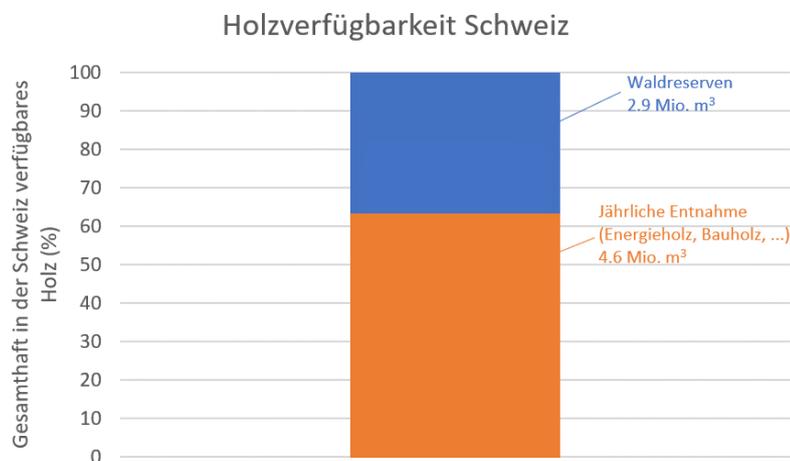


Abbildung 12 Holzverfügbarkeit Schweiz

Holzverfügbarkeit in der Schweiz

In Abbildung 12 ist die Holzverfügbarkeit in der Schweiz dargestellt. Es ist ersichtlich, dass noch ca. 2.9 Mio. m² Waldreserven vorhanden sind, welche zusätzlich aus Schweizer Wäldern entnommen werden könnten. Auch hier ist jedoch anzunehmen, dass ein Grossteil des vorhandenen Potenzials bereits für andere Projekte verplant ist [18]. Zudem können die Waldreserven nicht ausschliesslich für die Energienutzung verwendet werden, sondern werden beispielsweise auch für Bauholz benötigt.

Holzimport wird als risikobehaftet eingeschätzt – lokales Holz für Einzellösungen

Das Holz aus dem Gemeindegebiet Kloten sowie das noch verfügbare Energieholz im Kanton Zürich reichen bei weitem nicht aus, um den Energiebedarf der Stadt Kloten 2030 zu decken. Da Holz auch in der Schweiz sowie im nahen Ausland bereits knapp ist, wird in neueren Studien generell empfohlen, die Planung von grösseren Holzheizwerken nicht prioritär zu verfolgen. Die Holzenergieposition der Stadt Zürich hält beispielsweise fest, dass Holz als Energieträger nur verwendet werden soll, wenn andere Energieträger technisch oder wirtschaftlich nicht tragbar eingesetzt werden können, damit ein Netzverbund gespiesen wird [19]. Aufgrund der Holzknappheit ist ausserdem mit einem Preisanstieg für Holz zu rechnen (aktueller Marktpreis liegt bei ca. CHF 50/MWh), was der Wirtschaftlichkeit von Holzanlagen stark zusetzen würde. Für den Betrieb einer wirtschaftlich lukrativen Anlage wäre die Stadt Kloten auf Holzimport angewiesen. Dies würde jedoch risikobehaftete Abhängigkeiten generieren. Aufgrund der angespannten Nachfragesituation empfiehlt TBF, von Holzimporten abzusehen und die beiden Risiken Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit, insbesondere als verhältnismässig kleiner Marktplayer, als hoch einzuschätzen. Diese Risiken können einzig durch die Zusammenarbeit mit regionalen Partnern reduziert werden, welche die notwendigen Holz mengen vertraglich über mehrere Jahre zusichern können. Es kann empfohlen werden, das auf dem Gemeindegebiet Kloten vorhandene Energieholz zur Wärmegewinnung zu verwenden. Dies kommt jedoch nur für Einzellösungen in Frage.

Der Stadtrat Kloten ist mit dem Entscheid vom 23. Mai 2023 den obigen Empfehlungen gefolgt und will von einer zentralen Wärmeproduktion mittels Holz absehen.

3.5 Potenzial für die Nutzung bestehender Abwärme

Funktionsweise der Nutzung von bestehender Abwärme

Mögliche nutzbare Abwärme entstehen insb. bei Datacenter und Industriebetrieben. Letztere sind grundsätzlich Wärmeabnehmer. Im Verlauf gewisser industrieller Prozesse kann jedoch Restwärme entstehen, welche oftmals ungenutzt bleibt. Bei Datacentern entstehen bekanntlich ebenfalls grosse Mengen an Abwärme. Diese Abwärme aus Datacentern und Industrie kann mittels Wärmepumpe für einzelne Verbraucher, Wärmeverbunde oder Fernwärmenetze nutzbar gemacht werden. Zudem kann diese Abwärme auch für die Regeneration von Erdsondenfeldern genutzt werden.

Situation in Kloten noch nicht beurteilbar

Im Stadtgebiet Kloten konzentriert sich die Industrie vor allem auf das Gebiet Steinacker. Um das Potenzial für Industrieabwärme in Kloten zu erheben, wurde ein Fragebogen erstellt und via Hans Jörg Brun, dem stellvertretenden Geschäftsführer der Interessengemeinschaft (IG) Steinacker an die Grundeigentümer:innen verteilt. Bis zum Abschluss dieses Berichts gingen nur zwei Rückmeldungen zum Fragebogen ein. Aus diesem Grund kann das Potenzial zur Nutzung von Industrieabwärme nicht beurteilt werden, es wird aufgrund der vorhandenen Betriebe auch eher als gering eingeschätzt. Da es sich bei

Industrieabwärme jedoch um «kostenlose Energie» handelt, ist diese Möglichkeit vertieft zu prüfen. Datacenter sind im Stadtgebiet Kloten heute keine vorhanden, jedoch im Gebiet des Bahnhofs Glattbrugg und damit im regional nahen Umfeld der Stadt Kloten. Das Leistungspotential aus diesen Datacentern kann nach erfolgtem Erstkontakt mit den Betreibern grob mit 13 MW angegeben werden (Stand Ende 2023), was etwas weniger als der Hälfte der notwendigen Produktionsleistung für das potentielle Verbundsgebiet entspricht.

3.6 Potenzial für Solarthermie

Funktionsweise der Gewinnung Wärme mittels Solarthermie

Solarthermie macht Sonnenenergie mittels Sonnenkollektoren nutzbar und produziert Wärme (im Gegensatz zu Photovoltaik, wo Strom produziert wird). Der Vorteil einer Solarthermieanlage im Vergleich zur Photovoltaik ist der erhöhte Wirkungsgrad. Der Energieertrag pro Jahr ist ca. dreimal so hoch wie mit Photovoltaik, zudem sind die CO₂-Emissionen mit ca. 10–20 g CO₂-Äq./kWh deutlich tiefer bei der Photovoltaik (30–50 g CO₂-Äq./kWh)¹².

Solarthermie-Kollektoren können, wie Photovoltaikmodule, auf Dächern installiert werden. Das Potenzial der Solarthermie hängt unter anderem von der politischen Priorisierung der beiden Systeme ab.

Der Wärmeertrag von Solarthermie beträgt in unseren Breitengraden ca. 450 kWh/m²/a

Für die Berechnung der Leistung und des Energieertrags von Solarthermieanlagen gibt es einfache Faustregeln. Die nutzbare Fläche in m² multipliziert mit 0.7 ergibt die mögliche Leistung einer solchen Anlage¹³. Die nutzbare Fläche auf einem Dach entspricht ca. der effektiven Dachfläche, wenn die Kollektoren nicht geneigt werden müssen. Auf einem Feld müssen die Kollektoren zur Sonne geneigt werden, die nutzbare Fläche ist deshalb nur noch ca. halb so gross wie die effektive Bodenfläche. 75 % der Energie fällt zudem über die 6 Sommermonate an. Der Wärmeertrag pro Jahr ist ausserdem abhängig vom Standort und den Wetterbedingungen. In unseren Breitengraden kann gemäss unserer Simulation mit dem Tool Polysun grob mit ca. 450 kWh_{th}/m²/a gerechnet werden.

Für die Berechnung des Potenzials in der Stadt Kloten wurden für eine erste Schätzung nur die Dächer potenzieller Gebäude im Gebiet Steinacker in Betracht gezogen. Dort beläuft sich das Potenzial für Solarthermie auf mehr als 3 GWh/a. Es ist davon auszugehen, dass sich weitere Dachflächen für Solarthermie-Kollektoren eignen würden. Ebenfalls könnte die Möglichkeit bestehen, landwirtschaftliche Flächen oder andere ungenutzte Flächen zu nutzen. Hier muss allerdings die Bewilligungsfähigkeit abgeklärt werden.

¹²Gemäss Einschätzung Viessmann Group (Januar 2023)

¹³Gemäss Einschätzung Viessmann Group (Januar 2023)

Die Wärmegestehungskosten für Solarthermie betragen ca. 50 CHF/MWh¹⁴ ohne Subventionen. Die Investitionskosten sind jedoch stark abhängig von der Anlagengrösse.

Das Potenzial von Solarthermie in Kloten ist weiter abzuklären

Erste grobe Abklärungen ergeben ein nutzbares Potenzial für Solarthermie in der Stadt Kloten, für konkrete Angaben sind weiterführende Untersuchungen vorzunehmen. Eine Anlage könnte in das zentrale Fernwärmenetz eingebunden werden und beispielsweise zur Regeneration von Erdsondenfeldern genutzt werden. Aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht ist daher eine möglichst grosse Nutzung von Solarthermie anzustreben.

3.7 Potenzial für Luftwärmepumpen

Funktionsweise der Gewinnung Wärme mittels Luftwärmepumpe

Die Luftwärmepumpe funktioniert analog zur Grundwasserwärmenutzung oder dem Erdsondenfeld (siehe Abbildung 13). Bei der Grundwasserwärmenutzung entzieht die Wärmepumpe die Energie dem Grundwasser und beim Erdsondenfeld dem Erdreich. Bei der Luftwärmepumpe wird die Energie der Luft entzogen. Mittels Wärmetauscher wird meist Wasser (Wärmeträgerflüssigkeit) durch die Luft erwärmt (Luft-Wasser-Wärmetauscher). Dem erwärmten Wasser wird dann mit einer Wärmepumpe Energie entzogen respektive das Wasser wird abgekühlt. Das abgekühlte Wasser erwärmt sich dann wieder im Luft-Wasser-Wärmetauscher. Da die Lufttemperatur im Winter niedriger ist als die Grundwasser- oder Erdreichtemperatur, verschlechtert sich der Wirkungsgrad der Wärmepumpe, sprich es wird mehr Strom gebraucht, um die gleiche Wärmemenge zu produzieren. Bei tiefen Temperaturen kann der Stromanteil an der gesamten Wärmemenge mehr als 50 % betragen.

Luftwärmepumpen eignen vor allem für Einzellösungen oder als Regenerations-technologie für Erdsondenfelder.

Luftwärmepumpen eignen sich aufgrund ihrer – besonders im Winter – geringeren Effizienz im Vergleich zu den anderen Wärmepumpen hauptsächlich für Einzellösungen und werden nur dort empfohlen, wo Erdwärme- und Grundwassernutzung nicht umsetzbar sind. Wenn Luftwärmepumpen im grösseren Massstab eingesetzt werden, dann in der Regel als Regenerations-technologie für Erdsondenfelder, da sich so die Effizienz durch den Betrieb im Sommer verbessern lässt.

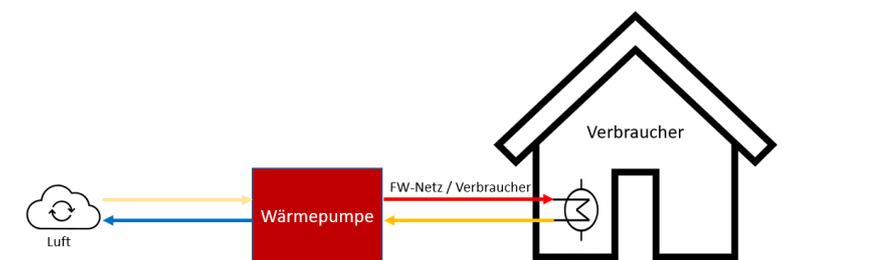


Abbildung 13 Funktionsweise Luftwärmepumpe

¹⁴Gemäss Einschätzung Viessmann (Januar 2023)

3.8 Potenzial für Biogas / Wasserstoff / Methanol als Energieträger

Neben den bisher diskutierten Energieträgern gibt es weitere Möglichkeiten zur erneuerbaren Energieerzeugung. Zu den Vielversprechendsten gehören Biogas, Wasserstoff und Methanol. Diese Energieträger können in Blockheizkraftwerken (BHKW), welche Strom und Wärme produzieren, verwertet werden. Die Verwertung in einem Kessel analog zur Verwertung von Gas ist ebenfalls möglich.

Biogas, Wasserstoff und Methanol werden für Kloten nicht empfohlen

Für die Stadt Kloten wird momentan nicht empfohlen, auf diese Energieträger zu setzen. Biogas ist als Erdgas-Ersatz äusserst gefragt und die Produktion wegen der limitierten Menge an Substraten (organische Abfälle oder nachwachsende Rohstoffe) begrenzt. Die Verfügbarkeit ist deshalb analog zur Holzverfügbarkeit nicht gegeben. Alternative erneuerbare Brennstoffe wie Wasserstoff und Methanol werden zurzeit nur in äusserst geringen Mengen produziert und sind deshalb praktisch gar nicht verfügbar.

3.9 Erdgas / Spitzenlastabdeckung

Die Spitzenlastabdeckung erfolgt mit Gas

Bei einem zentralen Fernwärmenetz würde die Spitzenlast nur wenige Stunden im Jahr anfallen. Diese Spitzenlast ist mit den meisten erneuerbaren Energieträgern nicht wirtschaftlich zu decken, weshalb meist mit Gas betriebene Spitzenlastkessel zu empfehlen sind. Die Kosten für Gas sind sehr variabel, aktuell beträgt der Gaspreis ca. CHF 50/MWh¹⁵.

3.10 Fazit der Potenzialanalyse

Umweltwärme und Solarthermie haben das grösste Potenzial zur Versorgung eines zentralen Fernwärmenetzes

Die Untersuchungen zeigen, dass für die Versorgung eines zentralen Verbundgebietes weder Holz noch Grundwasser in Frage kommen. Die Nutzung von Grundwasserwärme in grösseren Mengen ist in Kloten aufgrund der geringen Verfügbarkeit keine Option. Holz ist aufgrund der knappen Holzverfügbarkeit im Gemeindegebiet Kloten und in der Schweiz für eine zentrale Produktion ebenfalls nicht lukrativ. Auch alternative Brennstoffe wie Biogas, Wasserstoff oder Methanol sind momentan aus Verfügbarkeitsgründen nicht zu empfehlen. Für ein zentrales Fernwärmenetz kommt daher hauptsächlich die Nutzung bestehender Abwärme, Wärme aus Solarthermie, sowie Wärme aus Luftwärmetauscher in Frage. Bisher konnte kein Zugang zu bestehender Abwärme gesichert werden, daher ist bis auf weiteres davon auszugehen, dass kein Potenzial besteht. Das Potenzial von Wärme aus Solarthermie ist mit 3 GWh/a relativ klein. Das Potenzial sollte aber trotzdem genutzt werden. Da Luftwärmetauscher besonders im Winter eine tiefe Effizienz aufweisen, kann die Produktion durch eine saisonale Speicherung mittels Erdsondenfeldern

¹⁵Angaben Betreiber Fernwärmenetze April 2023

optimiert werden. Für die Umsetzung von Erdsondenfeldern, welche für den Betrieb des potenziellen Verbundgebietes notwendig sind, bestehen heute aber noch grosse Unsicherheiten bezüglich Bewilligungsfähigkeiten.

TBF empfiehlt, aufgrund des hohen Potenzials zur Optimierung der Produktion, die konkrete technische Umsetzung von Erdsondenfeldern zu vertiefen und gleichzeitig die notwendigen amtlichen Schritte einzuleiten, um Sicherheit in der Bewilligungsfähigkeit bei der Umsetzung ausserhalb von Bauzonen zu gewinnen.

Einzellösungen sind mit Erdwärme, Solarthermie, Grundwasser, Luftwärmepumpen und lokalem Holz möglich

Für Einzellösungen kann neben Erdwärme und Solarthermie für gewisse Standorte auch noch die Nutzung von Grundwasser in Betracht gezogen werden. Falls keine der oben genannten Energieträger technisch umsetzbar sind, können Luftwärmepumpen verwendet werden. Ausserdem ist es möglich, das lokale Holz in Kloten für Einzellösungen zu nutzen.

In Abbildung 14 ist schematisch dargestellt, wie die verfügbaren Energieträger zur Deckung des Energiebedarfs in Kloten eingesetzt werden könnten.

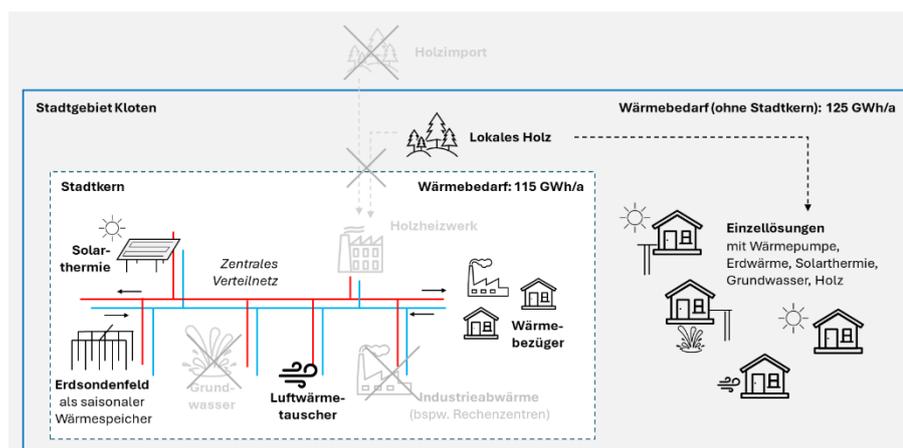


Abbildung 14 Tatsächlich nutzbare Energieträger in Kloten

4 Wärmeversorgung der Stadt Kloten

Die Abklärungen in Kapitel 3 beziehen sich auf das grundsätzlich vorhandene Potenzial der Energieträger in der Stadt Kloten unabhängig vom genauen Standort und der benötigten Wärmemenge. In diesem Kapitel werden nun konkrete Vorschläge zur Wärmeversorgung der Stadt Kloten vorgestellt.

4.1 Versorgung des Stadtkerns mit zentralem Verbundgebiet

Der Wärmebedarf des zentralen Fernwärmenetzes beträgt ca. 115 GWh/a (siehe Kapitel 2.3). Möchte die Stadt Kloten diesen Bedarf autark – d.h. es wird auf dem eigenen Gemeindegebiet produziert – decken, sind gemäss Kapitel 3.10 Umweltwärme (Luftwärmetauscher) und Solarthermie zu berücksichtigen. Zur Optimierung der Wärmeproduktion kann ein Erdsondenfeld eingesetzt werden.

Die Abbildung 15 zeigt, welche Leistung für wie viele Stunden im Jahr im zentralen Fernwärmenetz abzudecken ist. Die Maximalleistung ist aufgrund der Spitzenlasten mit 45 MW höher als im Kapitel 2.3 angegeben. Auf eine beispielhafte Produktionsdeckung des Wärmebedarfs wird aufgrund der einseitigen Lösungsmöglichkeit (Erdsondenfelder) verzichtet. In einem nächsten Arbeitsschritt ist die technische Umsetzung von Erdsondenfelder für die notwendige Produktionsleistung zu eruieren.

Zur 100 %igen Erneuerbarkeit ist ein Spitzenlastkessel mit Biogas oder die Kompensation mit Zertifikaten nötig

Eine wirtschaftliche Spitzenlastabdeckung mit Holz, Solarthermie oder Erdwärme ist nicht möglich, weshalb zur Erreichung der hundertprozentigen Erneuerbarkeit entweder die Betreibung der Spitzenlastkessel mit Biogas oder die Kompensation mittels Zertifikateinkauf nötig ist. Von Gesetzes wegen wird keine hundertprozentige Erneuerbarkeit vorgeschrieben, weshalb die Spitzenlast heute meist mit Erdgas abgedeckt wird. Wird nur die Spitzenlast mit Erdgas abgedeckt, so liegt die Erneuerbarkeit normalerweise über 80 %.

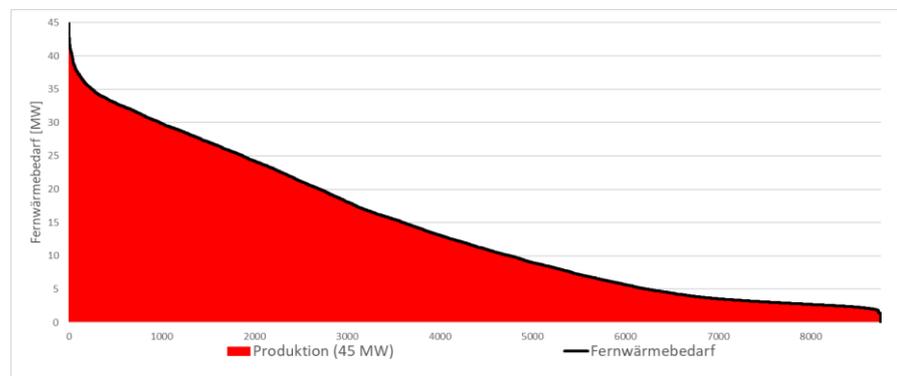


Abbildung 15 Fernwärmebedarf des zentralen Verbundgebiets im Stadtkern Kloten über ein Jahr

4.2 Einzellösungen

Der Einsatz von Einzellösungen hängt von lokalen Gegebenheiten ab

In Kloten besteht zusätzlich rund 125 GWh/a Wärmebedarf, welcher nicht im Einzugsgebiet des zentralen Fernwärmenetzes gemäss Kapitel 2.3 liegt. Für diese Bezüger sind dezentrale Einzellösungen nötig. Gemäss der Potenzialanalyse in Kapitel 3 stehen folgende Energieträger zur Verfügung, deren Priorisierung von lokalen Gegebenheiten abhängig ist:

- Erdwärme
- Solarthermie
- Grundwasser
- Luftwärmepumpe
- Lokales Holz (6 GWh)

Bezüglich Solarthermie ist zu beachten, dass aufgrund eines begrenzten Flächenangebots eine Konkurrenzsituation zur Photovoltaik, dem Heimatschutz oder auch zum Landschaftsschutz bzw. der Landwirtschaft besteht. Je nach Standort ist daher allenfalls ein anderer Energieträger zu priorisieren.

Im Gegensatz zu Holz und Solarthermie arbeiten die übrigen aufgezählten Energieträger mit Strom (Erdwärme, Grundwasser, Luftwärmepumpe). Diese Lösungen weisen üblicherweise einen «Coefficient of Performance» (COP, entspricht dem Verhältnis Strombedarf zu Wärmeproduktion) von 3 bis 5 auf. Würde der Wärmebedarf des Gebiets, welches nicht im Bereich des zentralen Verbundgebiets liegt (125 GWh/a), vollständig durch diese Energieträger gedeckt werden, würde die Stadt Kloten zusätzlich 25 bis 40 GWh Strom pro Jahr für dessen Versorgung benötigen. Dies bringt die Stadt in eine kaum beeinflussbare und nicht wünschenswerte Abhängigkeit der Stromverfügbarkeit.

Das lokale Holz kann für Einzellösungen verwendet werden, ist jedoch nur sehr begrenzt verfügbar. Gemäss Beschluss des Stadtrats Kloten vom 22. Mai 2023 soll kein zusätzliches Holz importiert werden.

Luftwärmepumpen weisen mit einem typischen COP 2 eine geringere Effizienz auf als die anderen Lösungen. Der Einsatz wird daher nur empfohlen, wenn andere Energieträger aufgrund örtlicher Begebenheiten nicht möglich sind.

4.3 Regionale Lösungen

Sollte Kloten die in Kapitel 4.1 angedachte autarke Energieversorgung des zentralen Fernwärmenetzes nicht umsetzen können oder wollen (bspw. aufgrund zu geringen Potenzials für Umweltwärme, Wirtschaftlichkeit, Produktionsstandorten etc.), stellt sich die Frage nach der Einbindung an ein regionales Versorgungsnetz. In Abbildung 16 ist dies schematisch dargestellt.

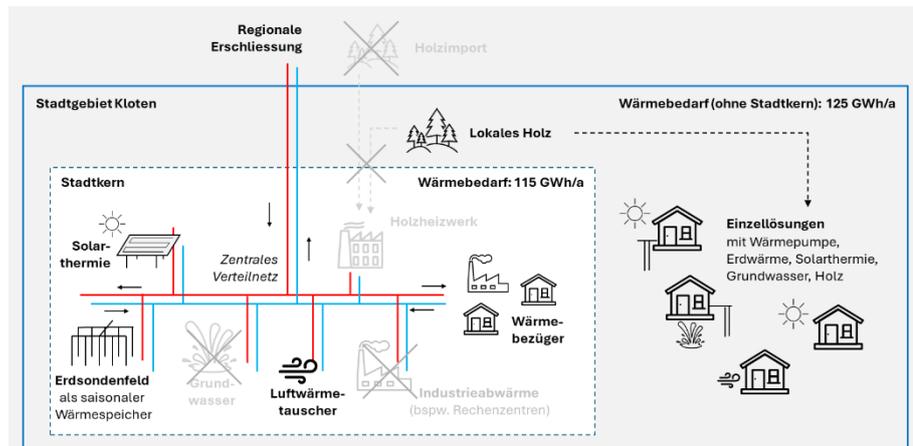


Abbildung 16 Energieversorgung in Kloten mit Option Anschluss an ein regionales Netz

Ein solches regionales Netz wurde durch eine Arbeitsgruppe, bestehend aus regionalen Partnern (Flughafen, ERZ, Gemeinde Opfikon, Gemeinde Basersdorf, Gemeinde Kloten), verfolgt. Die Projektidee beinhaltete den Bau eines neuen Holzheizkraftwerks (HHW Dorfnäscht) am Rande der Stadt Kloten, welches verschiedene Wärmenetze mit erneuerbarer Energie versorgen sollte.

Ein regionales HHW in Kloten wurde durch den Stadtrat abgelehnt

Der Stadtrat Kloten hat am 22. Mai 2023 die Erstellung einer Machbarkeitsstudie für das «HHW Dorfnäscht» abgelehnt, da die Stadt Kloten in Anbetracht der neusten Entwicklungen zur Holzverfügbarkeit diese Möglichkeit nicht weiterverfolgen möchte.

Verschiedene Erstkontakte der Stadt Kloten ausserhalb der oben genannten Arbeitsgruppe haben stattgefunden (Flughafen, Datacenter in Glattbrugg), an welchen die Bemühungen, Ziele und der aktuelle Stand der Abklärungen der Stadt Kloten erläutert werden konnten. Diese Erstkontakte haben ergeben, dass verschiedene Partner ähnlichen Problemstellungen gegenüberstehen und daher ebenfalls Projekte mit unterschiedlichem Arbeitsständen aufgelegt haben. Eine mögliche Zusammenarbeit mit den kontaktierten Partnern wurde bisher offengelassen, jedoch sollte diese – hinsichtlich der eingeschränkten Möglichkeiten auf Klotener Gemeindegebiet – zeitnah weiter vertieft und konkretisiert werden.

5 Empfehlungen und weiteres Vorgehen

5.1 Bausteine für die Masterplanung Wärme Kloten 2030+

Bausteine der Masterplanung Wärme Kloten 2030+

Die Potenzialanalyse (Kapitel 3) sowie die möglichen Wärmeversorgung (Kapitel 4) haben gezeigt, dass zur Deckung des Energiebedarfs der Stadt Kloten 2030+ ein Mix verschiedener Versorgungslösungen sowie Energieträger nötig ist. Die Masterplanung Wärme Kloten 2030+ setzt sich daher aus verschiedenen Bausteinen zusammen, die in Tabelle 2 zusammengefasst sind.

Tabelle 2 Bausteine der Masterplanung Kloten 2030+

Baustein	Vorteile	Nachteile
Zusammenarbeit mit regionalen Partnern zur gemeinsamen Wärmeversorgung	<ul style="list-style-type: none"> - Synergien nutzen (Produktion, Redundanz etc.) - Unkomplizierte Lösung zur erneuerbaren Energieerzeugung in Kloten - Energieziele werden zeitnah erreicht 	<ul style="list-style-type: none"> - Koordinationsaufwand mit regionalen Playern - Ohne Holzimport ist die regionale Wärmeversorgung neu zu denken (Chance)
Planung eines eigenen, wirtschaftlich attraktiven Fernwärmenetzes zur zentralen Wärmeversorgung des Stadtkerns Kloten	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Abhängigkeit von anderen Playern - Wirtschaftliches, zukunftsfähiges Geschäftsfeld für künftige Wärmeversorger - Kontrollierbare, einfache Umsetzung statt viele kleine Verbünde - Geringere Abhängigkeit von Holzverfügbarkeit durch Einsatz alternativer Energiequellen - Energieziele werden zeitnah erreicht 	<ul style="list-style-type: none"> - Vermutlich hohe Investitionskosten zur Realisierung alternativer Energieträger - Bewilligungsfähigkeit für Umweltwärme unklar
Einzellösungen für Gebiete ausserhalb des zentralen Verbunds	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Abhängigkeit von anderen Playern - Nutzen von lokalen Energieträgern je nach Standort flexibel möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - Hoher Planungs- und Koordinationsaufwand, möglicherweise hohe Kosten - Energieziele werden langsamer erreicht

Die drei Bausteine sind nicht unabhängig voneinander zu betrachten, vielmehr ist davon auszugehen, dass sie miteinander kombiniert werden müssen, um eine optimale Lösung zur erneuerbaren Wärmeversorgung in Kloten zu erhalten. Dementsprechend ist es zwingend, alle Bausteine weiterzuverfolgen.

5.2 Empfehlungen

*Es wird empfohlen,
alle Bausteine zu
vertiefen*

Die bisherigen Abklärungen haben einen Überblick über das Potenzial für eine erneuerbare Wärmeversorgung in Kloten gegeben. Es hat sich dabei herausgestellt, dass es nicht *die* optimale, allumfassende Lösung gibt. Vielmehr sind verschiedene Bausteine weiterzuverfolgen, um die optimale Kombination zur Masterplanung Wärme Kloten 2030+ zu finden. Es wird daher empfohlen, für alle Bausteine konkretere, vertieftere Abklärungen durchzuführen.

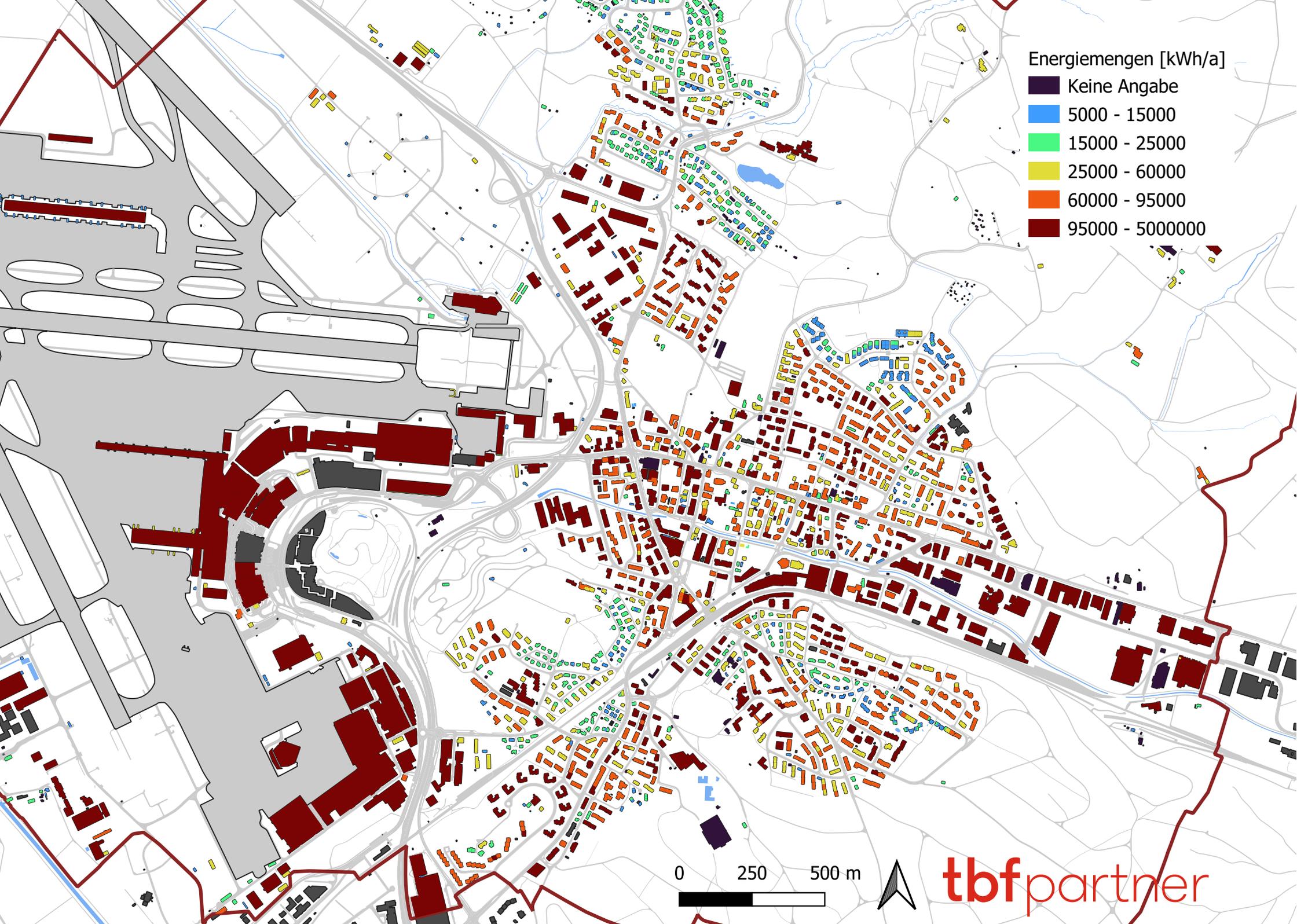
Konkret werden folgende nächste Schritte empfohlen:

- Kostenvergleich aus Sicht Bürger/-in zwischen Einzellösung und zentraler Lösung
- Projektentwicklung der Energiezentrale zur Erzeugung der Wärme
- Technische Lösung der Regeneration von Erdsondenfeldern vertiefen und konkretisieren (Luftwärmetauscher und Solarthermie).
- Klärung der Bewilligungsfähigkeit von Erdsondenfelder ausserhalb von Bauzonen mit den kantonalen Ämtern
- Projektentwicklung eines groben Zielnetzes im Stadtkern
- Vertiefung und Konkretisierung der Zusammenarbeit mit regionalen Partnern (bspw. Flughafen Zürich)
- Erstellung grober Wirtschaftlichkeitsrechnungen / Entwicklung möglicher Geschäftsmodelle

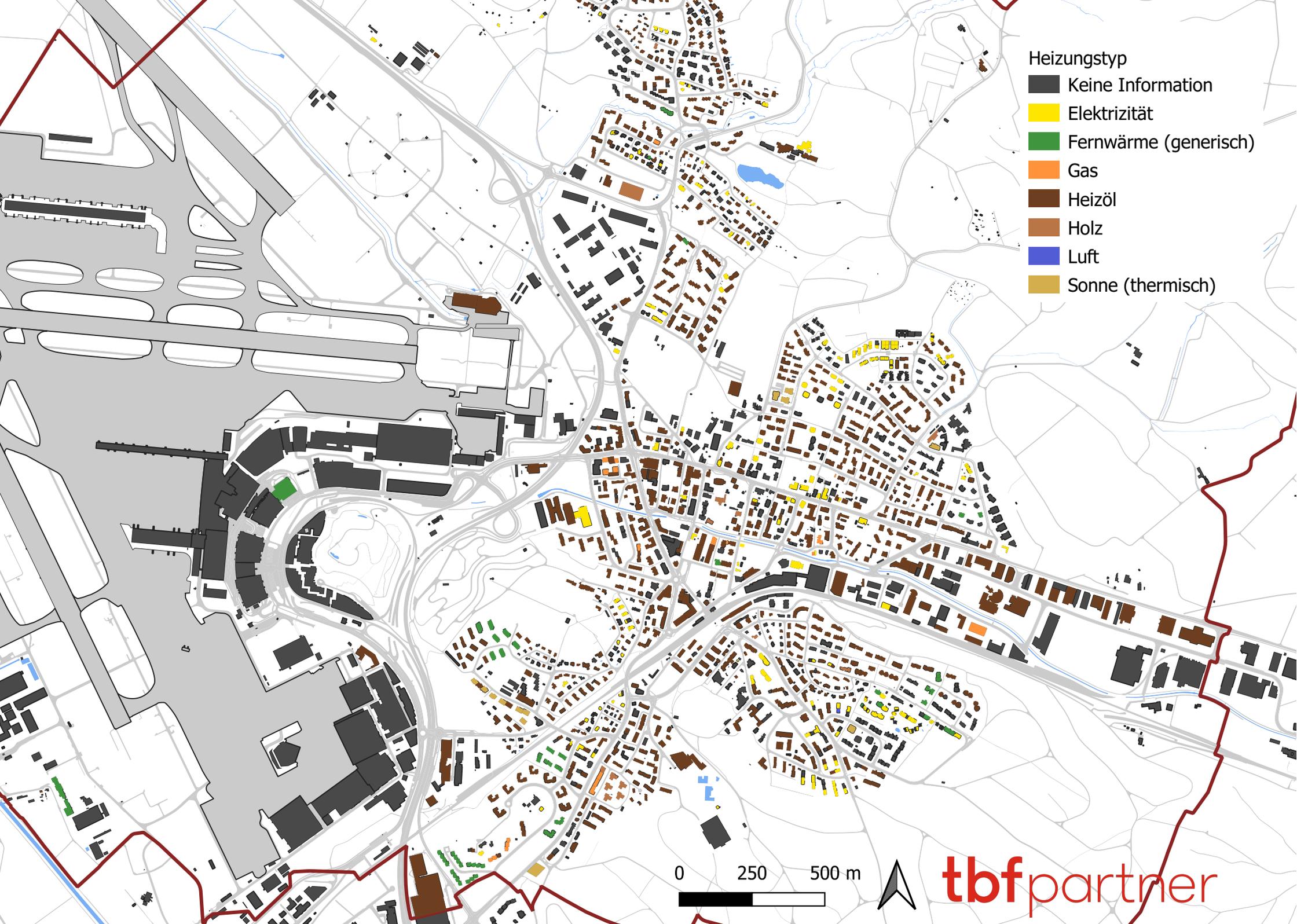
6 Literaturverzeichnis

- [1] Kommunale Energieplanung Stadt Kloten 2020, 18. August 2020, econcept AG
- [2] Schlussbericht «Ziele Gesamtenergiestrategie», 28. September 2020, econcept AG
- [3] Bericht zum Energieplan der Stadt Kloten 2020, 10. November 2020, econcept AG
- [4] Planungshandbuch Fernwärme Version 1.3, Kapitel 6.4.4, 03. Mai 2021, EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE
- [5] Bericht Hydrologische Beurteilung Quellenrecht auf Kat.-Nr. 4207, Lufigerstrasse, Kloten / ZH, 11. Februar 2015, Jäckli Geologie AG
- [6] Präsentation «Grundwasser-Wärmenutzung Hohrainli – Trinkwassergewinnung PW Thal» vom 08. Februar 2018, Jäckli Geologie AG
- [7] Bericht Abschätzung der thermischen Auswirkungen Grundwassernutzung Areal Hohrainli, Kloten / ZH, 06. Oktober 2016, Jäckli Geologie AG
- [8] Bericht Hydrologische Abklärungen Grundwasser-Wärmenutzung Areal Hohrainli, Kloten / ZH, 12. Dezember 2017, Jäckli Geologie AG
- [9] Kurzbericht Überprüfung / Erhöhung der konzessionierten Wasserentnahmemenge Grundwasserpumpwerk Holberg (GWR I 8-49), Kloten / ZH, 27. Juli 2021, Jäckli Geologie AG
- [10] Konzept für Testbetrieb Grundwasserpumpwerk Holberg (GWR I 8-49), Kloten / ZH, 14. Oktober 2019, Jäckli Geologie AG
- [11] Bericht Hydrologische Beurteilung Grundwasserpumpwerk Holberg (GWR I 8-49), Kloten / ZH, 11. September 2018, Jäckli Geologie AG
- [12] Hydrologischer Bericht Liegenschaft Steinackerstrasse 17/19, Kat.-Nr. 3830, Kloten / ZH, 25. März 2022, Jäckli Geologie AG
- [13] Bericht Geologische und geothermische Untersuchungen, Bericht NR. EWS 1211, 22. August 2022, Dr. U. Schärli
- [14] Schlussdokumentation Untersuchungen für eine Grundwassernutzung Liegenschaft Obstgartenstrasse 27, Kloten / ZH, 3. Juni 2022, Jäckli Geologie AG
- [15] Geologisch-technischer Bericht, Überbauung Schaffhauserstrasse 123 / 129, Kloten / ZH, 17. Mai 2017, Jäckli Geologie AG
- [16] Geothermiebohrung Bassersdorf, Artikel aus Bulletin für angewandte Geologie, Heft 1, Band 1, 1996, Seiten 77-93, Nik Sieber
- [17] Kommunale Energieplanung Stadt Kloten 2020, 18. August 2020, econcept AG
- [18] Potenzial Energieholz Kanton & Stadt Zürich, 21. Februar 2023, AWEL
- [19] Holzenergieposition der Stadt Zürich, September 2022, Umwelt- und Gesundheitsschutz Stadt Zürich (UGZ)

Anhang A Wärmebedarf je Gebäude in Klotten (Quelle: Daten Geoimpact AG



Anhang B Heizungstyp je Gebäude in Klotten (Quelle: Daten Geoimpact AG)



- Heizungstyp
- Keine Information
 - Elektrizität
 - Fernwärme (generisch)
 - Gas
 - Heizöl
 - Holz
 - Luft
 - Sonne (thermisch)

0 250 500 m

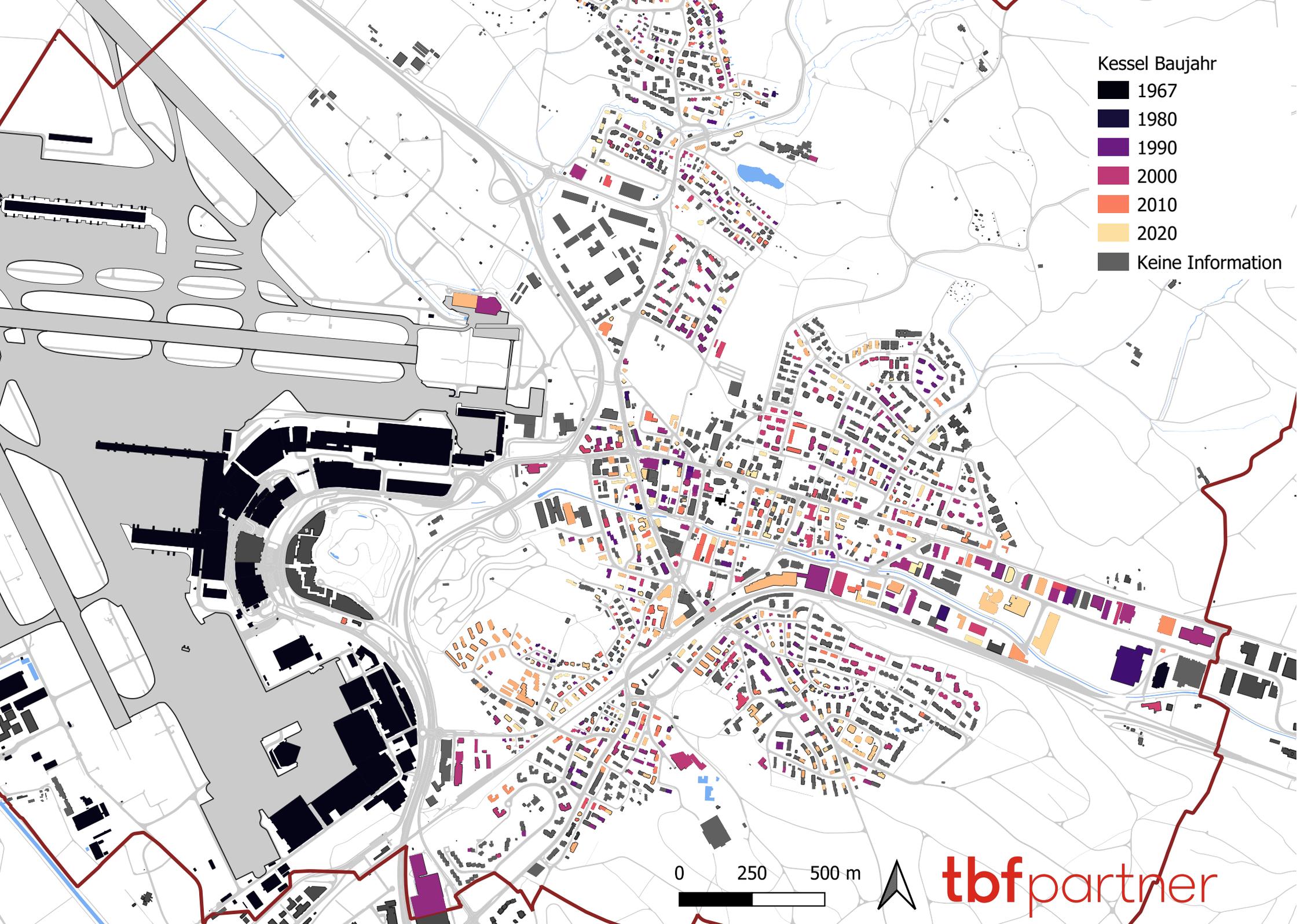


tbf partner

Anhang C Heizungsbaujahr je Gebäude in Kloten (Quelle: Daten Geoimpact AG)

Kessel Baujahr

- 1967
- 1980
- 1990
- 2000
- 2010
- 2020
- Keine Information



0 250 500 m

tbf partner

Anhang D Energiepotentiale der verschiedenen Energiequellen

Energiequellen gem. Kap. 3	Potential*	Bemerkungen
3.1 Grundwassernutzung	< 1 MW	Keine nennenswerte Wärmenutzung neben der bereits bestehenden Nutzung
3.2 Erdwärmennutzung	Potenzial > Netzbedarf (30 MW und 115 GWh/a)	Geschätzte Spitzenleistung eines Erdsondenfeldes mit 10 ha gemäss Kapitel 3.2 ist 20 MW. Zur Erreichung der 30 MW sind genügend nutzbare Flächen vorhanden. Energie zur Regeneration der Sondenfelder sowie zum Betrieb der Wärmepumpen muss berücksichtigt werden.
3.3 tieferliegende Aquifere	Potenzial ungewiss	Hierfür wären vertiefte Abklärungen notwendig.
3.4 Holznutzung	6 GWh/a lokales Holz	Kommt aufgrund politischen Entscheids nur für Einzellösungen in Frage.
3.5 Nutzung bestehender Abwärme	13 MW von Datacentern beim Bahnhof Glattbrugg in den Sommermonaten	Abklärungen im Jahr 2023 vorgenommen, Ausbau des Datacenter war zu diesem Zeitpunkt in Vorbereitung
3.6 Solarthermie	3 GWh/a	Dachflächen im Steinacker. Das Potenzial in ganz Kloten wäre grösser.
3.7 Luftwärmepumpen	Potenzial > Netzbedarf (30 MW und 115 GWh/a)	Stromverbrauch muss hier in Betracht gezogen werden.
3.8 Biogas / Wasserstoff / Methanol als Energieträger	Potenzial > Netzbedarf (30 MW und 115 GWh/a)	Aufgrund der Verfügbarkeiten und des Preises der Energieträger grossflächige Anwendung nicht empfohlen.
3.9 Erdgas / Spitzenlastabdeckung	Potenzial > Netzbedarf (30 MW und 115 GWh/a)	Niedrige Erneuerbarkeit, ist als günstige Möglichkeit zur Deckung der Spitzenlast möglich

* Genauere Abschätzung der Potenziale erfolgt in den Folgephasen