



# Strategische Planung von Erdwärmesonden

Schlussbericht

## **IMPRESSUM**

### **Auftraggeberin:**

Stadt Zürich,  
Amt für Hochbauten,  
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik,  
Amtshaus III, Lindenhofstrasse 21  
8021 Zürich

### **Bearbeitung:**

Dr. Joachim Poppei (CSD Ingenieure AG)  
[aaarau@csd.ch](mailto:aaarau@csd.ch)

### **Projektleitung:**

Roland Wagner  
Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik,  
Amt für Hochbauten

### **Projektteam:**

Arthur Huber (Huber Energietechnik AG)  
Dr. Davide Bionda (HSLU)

Download als pdf von  
[www.stadt-zuerich.ch/bauen2000watt](http://www.stadt-zuerich.ch/bauen2000watt)  
> Grundlagen und Studienergebnisse

Zürich, Oktober 2018

# Inhaltsverzeichnis

Präambel .....	4
Zusammenfassung .....	5
1 Anlass und Aufgabenstellung .....	6
1.1 Anlass und Einordnung .....	6
1.2 Aufgabenstellung und Gliederung des Berichts .....	6
2 Charakterisierung des Wärmebedarfs in Bauzonen .....	7
2.1 Beispiele zur Erhebung von Wärmebedarfsdichten .....	7
2.2 Korrelation von Wärmebedarf und Bauzonen .....	7
2.3 Bauzonen in der Schweiz: Definitionsproblem und Stand der Harmonisierung .....	9
2.4 Grundannahmen zur Ressourcenbewertung einer zukünftigen Wärmebedarfsdeckung .....	9
3 Grundstücksflächenbezogener Wärmeentzug .....	11
3.1 Wärmebedarf für Gebäudekategorie .....	11
3.2 Grundstücksflächenbezogener Wärmeentzug $p_{GSF}$ .....	13
3.3 Auswirkung künftiger Nachbarsonden auf die Erdwärmesondentemperaturen .....	14
3.4 Möglichkeiten und Grenzen der Wärmebedarfsdeckung .....	16
4 Strategische Planung .....	20
4.1 Ziele der strategischen Planung für Behörden und Planer .....	20
4.2 Empfehlungen für erhöhte Anforderungen in Zonen mit Wohngebäuden im Bestand .....	20
4.3 Empfehlungen zur Berücksichtigung der Ausnutzung in der Planung .....	21
5 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen .....	24
6 Anhang .....	25

# Präambel

CSD bestätigt hiermit, dass bei der Abwicklung des Auftrages die Sorgfaltspflicht angewendet wurde, die Ergebnisse und Schlussfolgerungen auf dem derzeitigen und im Bericht dargestellten Kenntnisstand beruhen und diese nach den anerkannten Regeln des Fachgebietes und nach bestem Wissen ermittelt wurden.

CSD geht davon aus, dass

- ihr seitens des Auftraggebers oder von ihm benannter Drittpersonen richtige und vollständige Informationen und Dokumente zur Auftragsabwicklung zur Verfügung gestellt wurden
- von den Arbeitsergebnissen nicht auszugsweise Gebrauch gemacht wird
- die Arbeitsergebnisse nicht unüberprüft für einen nicht vereinbarten Zweck oder für ein anderes Objekt verwendet oder auf geänderte Verhältnisse übertragen werden.

Andernfalls lehnt CSD gegenüber dem Auftraggeber jegliche Haftung für dadurch entstandene Schäden ausdrücklich ab.

Macht ein Dritter von den Arbeitsergebnissen Gebrauch oder trifft er darauf basierende Entscheidungen, wird durch CSD jede Haftung für direkte und indirekte Schäden ausgeschlossen, die aus der Verwendung der Arbeitsergebnisse allenfalls entstehen.

# Zusammenfassung

Die zunehmende Verdichtung der Erdwärmenutzung in Ballungsgebieten erfordert strategische Planungen zu einer nachhaltigen und gleichberechtigten Nutzung des Untergrunds.

Im vorliegenden Bericht werden anhand von Erhebungen zum Wärmebedarf in Wohnzonen und Modellrechnungen zur Erdwärmenutzung Möglichkeiten, Grenzen und Regenerationserfordernisse zur Wärmebedarfsdeckung mit Erdwärmesonden aufgezeigt. Während Bauzonen mit Neu- und Umbauten bis zu einem Verhältnis von Energiebezugsfläche zu anrechenbarer Grundstücksfläche von 1 weitgehend ohne Regeneration auskommen, ist dies mit Gebäuden im Bestand nicht möglich. Zudem sind Mindestabstände zwischen den Erdwärmesonden einzuhalten.

Mit der Einführung einer neuen grundstückflächenbezogenen Auslegungskennziffer wird den Planern ein Instrument bereitgestellt, bei der Planung einer neuen Anlage strategische Aspekte zukünftiger Nutzung berücksichtigen zu können. In Bauzonen mit erhöhten Anforderungen, die sich durch den grundstückflächenbezogenen Wärmeentzug klassifizieren lassen, kann diesem Aspekt durch höhere Auslegungstemperaturen und/oder Teilregeneration der Erdwärmesonden Rechnung getragen werden.

Das Verfahren soll Eingang in die anstehende Revision der Norm SIA 384/6 finden und wird hier detailliert beschrieben und begründet.

# 1 Anlass und Aufgabenstellung

## 1.1 Anlass und Einordnung

Die Verdichtung der Erdwärmenutzung in Ballungsgebieten erfordert strategische Planungen zu einer nachhaltigen und gleichberechtigten Nutzung des Untergrunds. Eine solche muss den Besonderheiten der Technologie, der Planungssicherheit von Investoren und Projektbeteiligten und raumplanerischen Aspekten kommunaler Verwaltungen gerecht werden.

In den vergangenen Jahren sind zu dieser Problematik verschiedene Untersuchungen (u.a. energieschweiz 2017a, 2017b, AHB 2017) diskutiert und publiziert worden. Aktuell befasst sich die SIA-Kommission der Norm 384/6 mit der Revision der Norm, um zukünftig auch diesen Anliegen Rechnung zu tragen.

Dieser Bericht fasst verschiedene Überlegungen der CSD Ingenieure AG und der Huber Energietechnik zusammen. Er dient auch als Hintergrundinformation und Begründung aktueller Pläne zur Revision der Norm 384/6.

## 1.2 Aufgabenstellung und Gliederung des Berichts

Die Aufgabenstellung ist zweigeteilt: Einerseits sollen einfache und hinreichende Werkzeuge den Planern bereitgestellt werden, wie sie bei der Planung einer neuen Anlage strategische Aspekte zukünftiger Nutzung berücksichtigen können. Andererseits soll – auf viel höherer Flughöhe kommunaler Siedlungs- bzw. Bauzonen – den Behörden geholfen werden, Aspekte der strategischen Planung und erforderlichenfalls Regulierungen zu erfassen und zu begründen.

Der Bericht befasst sich im Kapitel 2 mit der Charakterisierung des Wärmebedarfs in Bauzonen, definiert in Kapitel 3 den grundstücksflächenbezogenen Wärmeentzug und liefert Empfehlungen zur strategischen Ausrichtung in Kapitel 4. In Kapitel 5 werden Schlussfolgerungen gezogen und weitere Handlungsempfehlungen abgeleitet

## 2 Charakterisierung des Wärmebedarfs in Bauzonen

### 2.1 Beispiele zur Erhebung von Wärmebedarfsdichten

Einige Gemeinden erstellen kommunale Energiepläne. Ein Aspekt dieser Pläne ist die flächenhafte Erfassung und Prognose von Wärmebedarfsdichten zur Ausweisung und Planung von Vorranggebieten für bestimmte Versorgungslösungen. Im Netz einsehbar sind solche Pläne für den Kanton Zürich u.a. für Adliswil (2015), Uster (2012) und Schlieren (2015), sowie auch für Luzern Nord. Diese können hier als charakteristisch für kleine und mittlere Städte (zwischen 10'000 und 30'000 Einwohnern) des Schweizer Mittellandes angesehen werden.

Die genannten Gemeinden haben etwa 0.44 Beschäftigte pro Einwohner, überwiegend im Dienstleistungsbereich (77 - 91%). Der Wärmebedarf pro Arbeitsplatz eines Beschäftigten liegt im Schweizer Mittel bei ca. 10 MWh / a, in Uster bei 8 MWh / a und in Schlieren bei 14 MWh / a. Der mittlere Wärmebedarf pro m<sup>2</sup> Wohnfläche (Uster 152 kWh / (m<sup>2</sup> a)) entspricht dem des Wohnbestandes der 80er Jahre in der Schweiz (151 kWh / (m<sup>2</sup>·a) [AWEL 2014]).

In Bauzonen beträgt die über die Gemeinde gemittelte Wärmebedarfsdichte zwischen ca. 600 MWh / (ha a) (in Adliswil) und 1'100 MWh / (ha a) in Schlieren und Uster.

### 2.2 Korrelation von Wärmebedarf und Bauzonen

Die Dichten des Wärmebedarfs lassen sich klassifizieren. Die Autoren (PLANAR) wählen dazu folgende Klassen:

- < 400 MWh / (ha a)
- 400 - 599 MWh / (ha a)
- 600 - 999 MWh / (ha a)
- 1'000 - 5'000 MWh / (ha a)
- 5'000 MWh / (ha a)

Legt man die kommunalen Bauzonenpläne den Plänen der Wärmebedarfsdichten gegenüber (Beispiel Adliswil und Uster, Abbildung 1 und Abbildung 2), ist eine Korrelation zwischen den Bauzonen und Wärmebedarfsdichten erkennbar.

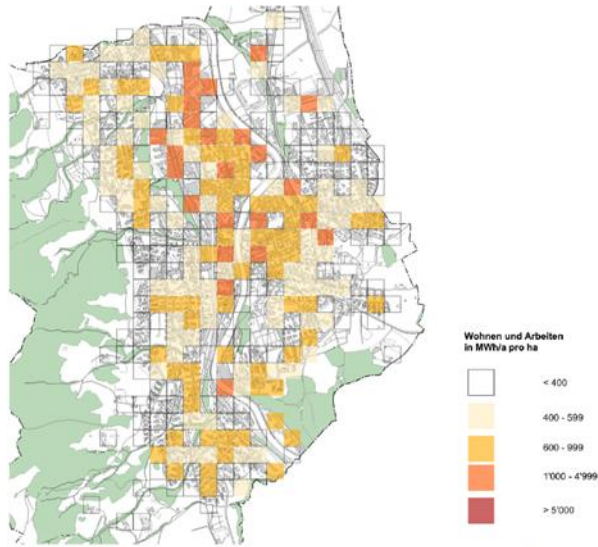


Abb. 4: Wärmebedarfsdichte Wohnen und Arbeiten 2011 im ha-Raster (Quelle: PLANAR)

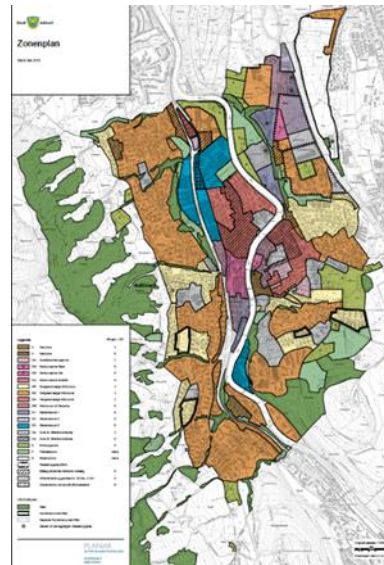


Abbildung 1: Wärmebedarfsdichten in [MWh / (ha a)] und Bauzonenplan in Adliswil [PLANAR 2015, links; [www.adliswil.ch](http://www.adliswil.ch), rechts]

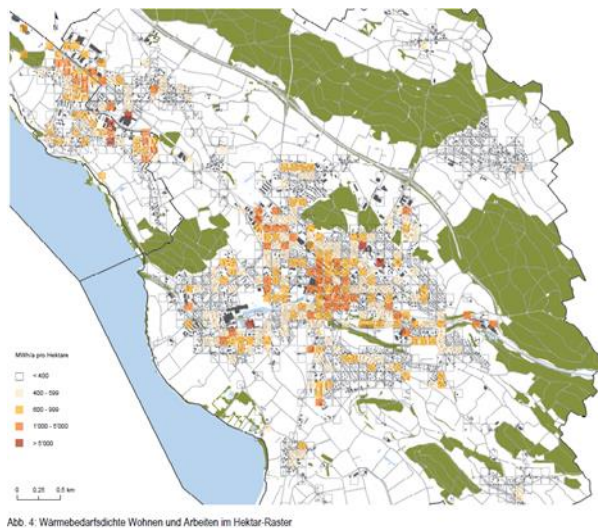


Abb. 4: Wärmebedarfsdichte Wohnen und Arbeiten im Hektar-Raster

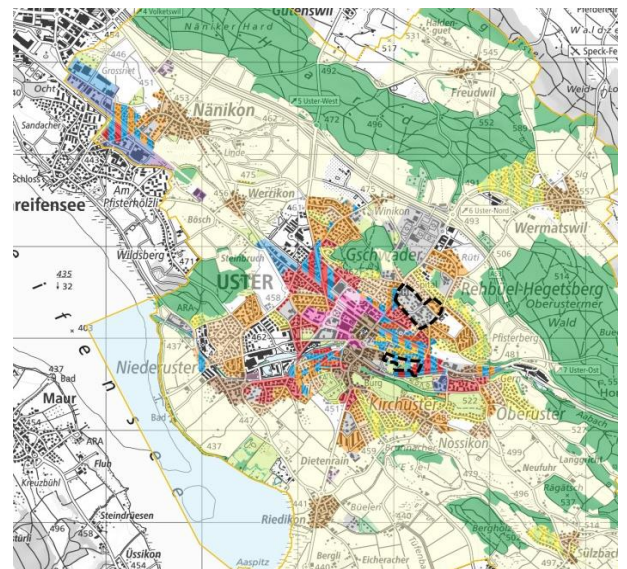


Abbildung 2: Wärmebedarfsdichten in [MWh / (ha a)] und Bauzonenplan in Uster [PLANAR, 2012, links; [webgis.uster.ch](http://webgis.uster.ch), rechts]



In grob vereinfachter Zuordnung lassen sich folgende Korrelationen finden:

Tabelle 1: Zuordnung von Wärmebedarfsdichten zu Bauzonen (Beispiel Uster und Adliswil)

Bauzone	Ge- schosse	Ausnützungsziffer	Wärmebedarfsdichte
		[%]	[MWh / (ha a)]
öffentliche Nutzung (Spital, Schwimmbad)			> 5000
W4/70	4	70	1'000-5'000
W3/70	3	70	1'000-5'000
G4; G3	4, 3		1'000-5'000
W3/60	3	60	600-999
W2/50	2	50	600-999
G3			600-999
Zentrumszone	5		600-999
Kernzone	3, 4		600-999
W2	2	30..45	400-599
G2	2		400-599
öff. Bauten und Anlagen			400-599
W1/20	1	20	<400

### 2.3 Bauzonen in der Schweiz: Definitionsproblem und Stand der Harmonisierung

95% der Schweizer Bevölkerung leben in Bauzonen. Mit 46% haben Wohnzonen den grössten Anteil an Bauzonen, gefolgt von Arbeitszonen (14%) und je 11% Mischzonen, Zentrumszonen und Zonen für die öffentliche Nutzung. 7% sind übrige Zonen (Tourismus-, Freizeit- und Verkehrszonen) [Bauzonenstatistik; ARE 2017].

Eine eindeutige Korrelation zwischen Bauzonen und Wärmebedarf würde die Zuweisung erhöhter Anforderungen bei der Planung von EWS erleichtern. Leider existiert in der Schweiz jedoch derzeit keine allgemein verbindliche Definition der Bauzonen. Die Zoneneinteilung ist eng verknüpft mit der sogenannten „Ausnützungsziffer“. Die Ausnützungsziffer ist das Verhältnis von anrechenbarer Bruttogeschossfläche der Gebäude zu anrechenbarer Landfläche. Welche Flächen „anrechenbar“ sind, ist Sache der Gemeinde und unterliegt aus fiskalischen Gründen andauernder Diskussion verschiedener Interessensvertreter. Hinzu kommen weitere (unterschiedlich definierte) Kennziffern, wie „Überbauungsziffer“ und „Baumassenziffer“.

Zwar existieren aktuell Bestrebungen zur Harmonisierung dieser Begriffe (u.a. vom Bundesamt für Bauwesen ARE als Voraussetzung bundesweiter Statistiken [z.B. ARE 2017]; Revision des Raumplanungsgesetzes RPG1), solange jedoch diese nicht vorliegen, ist keine bundesweit einheitliche Handhabung für Gebiete mit erhöhten Anforderungen auf der Basis von Bauzonenplänen möglich.

### 2.4 Grundannahmen zur Ressourcenbewertung einer zukünftigen Wärmebedarfsdeckung

Für eine modellhafte Bewertung der Ressourcen für eine zukünftige Wärmebedarfsdeckung müssen Modellannahmen getroffen werden.

#### 2.4.1 Modellannahmen zum Wärmebedarf

- Die Bauzone W1/20<sup>1</sup> charakterisiert eine lockere, eingeschossige Dorfrandbebauung. Es kann davon ausgegangen werden, dass die potentiellen Nutzer hinreichend entfernt auseinander liegen (mindestens 20 m), sodass für eine Bedarfsdeckung auch aus strategischer Sicht keine Überlagerung bei der Erdwärmenutzung eingerechnet werden muss.
- Wir unterstellen – hier ohne Berücksichtigung genehmigungsrechtlicher Fragen - eine mono-valente Versorgung des Modellgebietes durch EWS.<sup>2</sup>
- Der Regenerationsbedarf wird für Modellstandorte ermittelt, die durch (gleiche) EWS im Abstand von 20 m den Untergrund erschliessen. Auf einem Hektar sind demnach  $5 \times 5 = 25$  EWS abgeteuft. Bei einer (als regulär angenommenen) Anordnung von  $10 \times 10$  EWS (mit Abständen von 20 m demnach auf 4 ha) können für die regionalen Aussagen Unterschiede zwischen zentralen Sonden und Randsonden im Feld vernachlässigt werden.

#### 2.4.2 Modellannahmen zur Wärmebedarfsdeckung

Für die Berechnungen der Modellstandorte werden gleichermassen folgende Annahmen zugrunde gelegt:<sup>3</sup>

- Doppel – U Sonde, 40 mm
- 20% Monoethylglykol; minimale Sondenrücklauftemperatur -3°C
- Temperaturspreizung Vor- und Rücklauf am Kopf 3 K (daher: minimale mittlere Temperatur ohne Anforderungen: -1.5°C)
- Jahresarbeitszahl der WP: 4.0
- Gesteinsparameter (homogen): Wärmeleitfähigkeit 2.5 W / (m K); Wärmekapazität 2.6 MWs/(m<sup>3</sup> K)
- Jahresmitteltemperatur 9°C; zus. Bodenerwärmung 0.8 K; Temperaturgradient 3 K / 100 m
- Lastprofil mit 2'367 Stunden WP-Laufzeit (max. 12 h / d im Dezember; min. 2 h / d Juni-August)
- Auslegung auf 50 Jahre; Auslegungstool EWS 5.2 (mit Defaultwerten).
- Diese Modellannahmen liegen den Berechnungen zur potentiellen Wärmebedarfsdeckung in Kapitel 3, Abschnitt 3.4, zugrunde.

---

<sup>1</sup> Die Zahl „20“ steht für die Ausnützungsziffer (s. 2.3)

<sup>2</sup> Ausserhalb von Fernwärmegebieten liegt bei Neubauten heute der Anteil bei etwa 2/3 aller Häuser (nach Stellv. Energiebeauftragten der Stadt Zürich, F. Schmid). In fernwärmewürdigen Gebieten dagegen liegt er bei lediglich 10%.

<sup>3</sup> Es wird hier darauf hingewiesen, dass die Modellannahmen nicht repräsentativ sein müssen. Hier geht es lediglich um vergleichende, nicht unrealistische Modellgrundlagen.

# 3 Grundstücksflächenbezogener Wärmeentzug

## 3.1 Wärmebedarf für Gebäudekategorie

Für die maximal erlaubte Ausnutzung auf einem Grundstück gibt es verschiedene Normen und Verordnungen, die zudem einem steten Wandel unterworfen sind (s. dazu 2.3). Da – wie oben ausgeführt - hinter diesen Definitionen immer auch grössere, wirtschaftliche und politische Interessen stehen, ist in absehbarer Zukunft vermutlich keine Vereinheitlichung dieser Definitionen zu erwarten. Da es im vorliegenden Beitrag um eine Grössenordnungsabschätzung geht, seien einzelne Abweichungen in der Definition zu den gültigen Normen und Verordnungen erlaubt. Nachfolgend wird dargestellt, mit welchen Zusammenhängen in diesem Bericht gearbeitet wird.

Der Zonenplan der Gemeinden definiert in der Regel die maximal erlaubte Ausnutzung auf einem Grundstück. Dabei kennt alleine der Kanton Zürich 3 Kennziffern, mit denen die erlaubte Ausnutzung definiert wird: Die Überbauungsziffer, die Baumassenziffer und die Ausnutzungsziffer (AZ). Die häufig angewandte Ausnutzungsziffer ist das Verhältnis von maximal erlaubter Bruttogeschossfläche (BGF) des Gebäudes zur Grundstücksfläche (GSF). Bei Neubauten liegt die Bruttogeschossfläche in der Regel mehrheitlich innerhalb des Wärmedämmperimeters, weshalb für die nachfolgenden Betrachtungen in erster Näherung die Bruttogeschossfläche mit der Energiebezugsfläche (AE), so wie sie auch in der SIA-Norm 380/1:2016 verwendet wird, gleichgesetzt wird:

### Annahmen:

$$\begin{aligned} \text{Bruttogeschossfläche (BGF)} &= \text{Energiebezugsfläche (AE)} \\ \text{Ausnutzungsziffer (AZ)} &= \text{Bruttogeschossfl. (BGF) / Grundstückfl. (GSF)} \\ &= \text{Energiebezugsfläche (AE) / Grundstückfläche (GSF)} \end{aligned}$$

Als Basis für den maximalen Wärmebedarf für Heizung  $Q_{H,li}$  und Warmwasser  $Q_{ww}$  der verschiedenen Gebäudekategorien sollen die Grenzwerte der aktuellen Norm SIA 380/1:2016 dienen. Die Grenzwerte dieser Norm beziehen sich dabei auf die Energiebezugsfläche  $A_E$ , sowie die Gebäudehüllzahl  $A_{th} / A_E$ .

$$Q_{H,li} = [Q_{H,li0} + \Delta Q_{H,li}(A_{th}/A_E)] \cdot f_{cor} \quad \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]$$

Auf die Temperaturkorrektur  $f_{cor}$  der Wetterstation soll der Einfachheit halber verzichtet werden, der Grenzwert nach SIA 380/1:2016 bezieht sich also auf eine mittlere Jahrestemperatur von 9.4°C:

$$f_{cor} = 1.0$$

$Q_{H,li0}$  und  $\Delta Q_{H,li}$  sind in der Norm SIA 380/1:2016 gemäss der nachfolgenden Tabelle definiert:

Tabelle 2:  $Q_{H,li0}$  und  $\Delta Q_{H,li}$  gemäss der Norm SIA 380/1:2016 zur Ermittlung des Grenzwertes für den Heizwärmebedarf.

Gebäudekategorie		Grenzwerte	
		Basis $Q_{H,li0}$ kWh/m <sup>2</sup>	Steigung $\Delta Q_{H,li}$ kWh/m <sup>2</sup>
I	Wohnen MFH	13	15
II	Wohnen EFH	16	15
III	Verwaltung	13	15
IV	Schule	14	15
V	Verkauf	7	14
VI	Restaurant	16	15
VII	Versammlungslokal	18	15
VIII	Spital	18	17
IX	Industrie	10	14
X	Lager	14	14
XI	Sportbaute	16	14
XII	Hallenbad	15	18

Um den maximalen Wärmebedarf  $Q_{H,li}$  für ein durchschnittliches Gebäude zu bestimmen, muss nun nur noch die durchschnittliche Gebäudehüllzahl  $A_{th} / A_E$  bestimmt werden. Dafür wurde von der Arbeitsgruppe MuKE der Konferenz Kantonalen Energiefachstellen (EnFK) freundlicherweise ihre Datenbank von typischen, realen Gebäuden und ihrer Berechnungen nach der Norm SIA 380/1 zur Verfügung gestellt. Daraus resultieren die folgenden Gebäudehüllzahlen:

Tabelle 3: Durchschnittliche Gebäudehüllzahl  $A_{th} / A_E$  gebauter Gebäude, ermittelt aus der Gebäudedatenbank der EnFK

Gebäudekategorie	Anzahl:	Mittelwert
		$A_{th}/A_E$
I: Wohnen MFH	74	1.25
II: Wohnen EFH	73	2.06
III: Verwaltung	60	1.54
IV: Schulen	8	1.54
V: Verkauf	27	2.04
IX: Industrie	38	1.97
X: Lager	18	1.92
	298	

Die so ermittelten Gebäudehüllzahlen sollen für die weitere Verwendung gerundet werden. Für die nicht enthaltenen Gebäudekategorien soll eine mittlere Gebäudehüllzahl von 1.5 verwendet werden. Zur Ermittlung des mittleren Wärmebedarfs soll von einer Neubaurate von 50% über die nächsten 50 Jahre ausgegangen werden. Bei den Bestandsbauten wird davon ausgegangen, dass diese innerhalb der nächsten 50 Jahre durch Verbesserungen an der Gebäudehülle auf den Sanierungs-Grenzwert nach der SIA 380/1:2016 gebracht werden können. Gemäss dieser Norm liegt der Sanierungs-Grenzwert um 50% höher als der Neubau-Grenzwert  $Q_{H,li}$ . Unter diesen Annahmen kann der folgende, durchschnittliche Wärmebedarf ermittelt werden:

Tabelle 4: Wärmebedarf nach SIA 380/1: 2016 bei einem Neubauanteil von 50%

Gebäudekategorie	Datenbank EnDK		SIA 380/1:2016		Neubau	Umbau	50% Neubau		
	Anzahl:	Mittelwert Ath/AE	Rechenwert Mittelwert Ath/AE	$Q_{H,li}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	$\Delta Q_{H,li}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	$Q_{H,li}$ ohne korr. [kWh/m <sup>2</sup> ]		$Q_{H,li}$ ohne korr. [kWh/m <sup>2</sup> ]	$Q_{ww}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]
I: Wohnen MFH	74	1.25	1.25	13	15	31.7	47.6	21	60.7
II: Wohnen EFH	73	2.06	2.00	16	15	46.0	69.0	14	71.5
III: Verwaltung	60	1.54	1.50	13	15	35.5	53.3	7	51.4
IV: Schulen	8	1.54	1.50	14	15	36.5	54.8	7	52.6
V: Verkauf	27	2.04	2.00	7	14	35.0	52.5	7	50.8
VI: Restaurant	0	1.50	1.50	16	15	38.5	57.8	56	104.1
VII: Versammlungslokale	0	1.50	1.50	18	15	40.5	60.8	14	64.6
VIII: Spital	0	1.50	1.50	18	17	43.5	65.3	28	82.4
IX: Industrie	38	1.97	2.00	10	14	38.0	57.0	7	54.5
X: Lager	18	1.92	2.00	14	14	42.0	63.0	1	53.5
XI: Sportbauten	0	1.50	1.50	16	14	37.0	55.5	83	129.3
XII: Hallenbad	0	1.50	1.50	15	18	42.0	63.0	83	135.5
	298								

Um aus dem Wärmebedarf des Gebäudes auf den Wärmeentzug aus den Erdwärmesonden zu gelangen, muss noch ein Wirkungsgrad für die Wärmepumpe angenommen werden. Im vorliegenden Bericht wird für alle Wärmepumpen für Heizung und Warmwasser von einer mittleren Jahresarbeitszahl von 4 ausgegangen. Damit berechnet sich der Wärmeentzug  $Q_c$  aus dem Erdreich wie folgt:

$$Q_c = (Q_{H,li} + Q_w) \cdot \frac{COP - 1}{COP} = (Q_{H,li} + Q_w) \cdot \frac{3}{4} \quad \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]$$

### 3.2 Grundstücksflächenbezogener Wärmeentzug $p_{GSF}$

Die Grundstücksfläche ( $GSF$ ), so wie sie für die Ausnutzungsziffer ( $AZ$ ) gerechnet wird, beinhaltet keine angrenzenden Strassenflächen ( $ASF$ ) und auch keine nicht bebaubare Flächen wie Waldflächen, Freihalteflächen, Waldabstandsflächen etc.

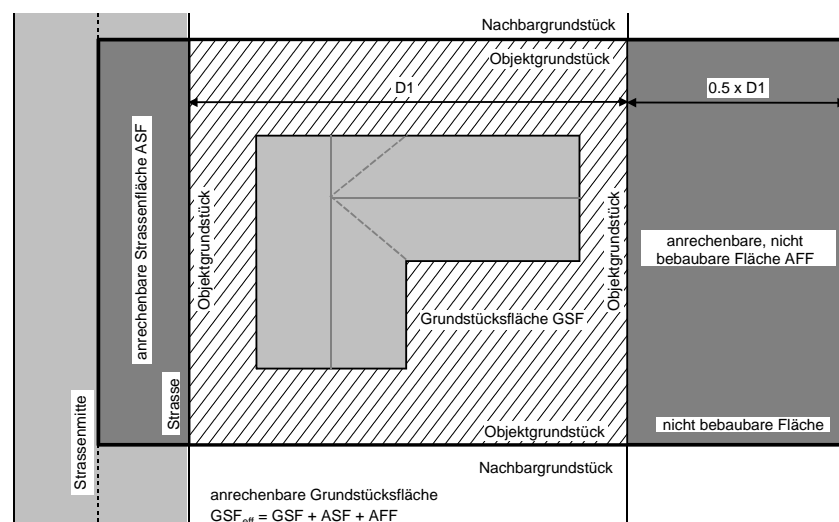


Abbildung 3: Definition der effektiven Grundstücksfläche  $GSF_{eff}$  unter Anrechnung benachbarter Strassen- und Freihalteflächen

Für die langfristige Belastbarkeit von Erdwärmesonden sind nicht nur die Grösse der Grundstückfläche  $GSF$  selbst, sondern auch die angrenzenden Strassenflächen und nicht bebaubaren Flächen einzurechnen. Entsprechend der obigen Abbildung wird so die korrigierte Grundstückfläche  $GSF_{eff}$  definiert:

$$GSF_{eff} = GSF + ASF + AFF \quad [m^2]$$

$GSF$  ... Grundstücksfläche

$ASF$  ... angrenzende Strassenflächen

$AFF$  ...anrechenbare, nicht bebaubare Fläche.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die Summe von  $ASF$  und  $AFF$  mit 15% der Grundstückfläche abgeschätzt:

$$GSF_{eff} = 1.15 \cdot GSF \quad [m^2]$$

Der Grundstückflächenbezogene Wärmeentzug  $p_{GSF}$  ist nun der spezifische Wärmeentzug durch eine Erdwärmesonden pro Jahr pro korrigierter Grundstückfläche  $GSF_{eff}$  und berechnet sich unter den obigen Annahmen aus dem Wärmebedarf des Gebäudes und der Ausnutzungsziffer  $AZ$  wie folgt:

$$\begin{aligned} p_{GSF} &= \frac{Q_c \cdot A_E}{GSF_{eff}} = (Q_{H,li} + Q_W) \cdot \frac{A_E}{GSF_{eff}} \cdot \frac{COP - 1}{COP} \\ &= (Q_{H,li} + Q_W) \cdot AZ \cdot \frac{1}{1.15} \cdot \frac{3}{4} \quad \left[ \frac{kWh}{m^2} \right] \end{aligned}$$

Interessiert nicht der absolute Wärmeentzug, sondern die zusätzliche Abkühlung des Erdreiches durch den zukünftigen Zubau von Erdwärmesonden, so muss zusätzlich die Zubaurate an Erdwärmesonden  $f_{ZB}$  definiert werden<sup>4</sup>. Für die Überlegungen im vorliegenden Bericht wird von einer Zubaurate  $f_{ZB}$  von 40% ausgegangen. Dies bedeutet, dass in einem Quartier in Zukunft 40% aller Gebäude, zusätzlich zu den bereits existierenden Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlagen, ebenfalls mit Erdwärmesonden ausgerüstet werden.

$$\begin{aligned} p_{GSF} &= (Q_{H,li} + Q_W) \cdot \frac{A_E}{GSF_{eff}} \cdot \frac{COP - 1}{COP} \cdot f_{ZB} \\ &= (Q_{H,li} + Q_W) \cdot AZ \cdot \frac{1}{1.15} \cdot \frac{3}{4} \cdot 0.4 \quad \left[ \frac{kWh}{m^2} \right] \end{aligned}$$

Für die konkrete Energieplanung in einem Quartier muss die Zubaurate  $f_{ZB}$  räumlich differenziert betrachtet werden. In Fernwärmegebieten ist zum Beispiel davon auszugehen, dass die Zubaurate  $f_{ZB}$  wesentlich geringer ausfallen wird. Der Wert von 40% dürfte somit eher einem Worst-Case für die Stadt Zürich entsprechen.

### 3.3 Auswirkung künftiger Nachbarsonden auf die Erdwärmesondentemperaturen

Unter den oben beschriebenen Randbedingungen entspricht eine Zubaurate  $f_{ZB}$  von 40% an zukünftigen Erdwärmesonden-Anlagen am Beispiel der Bauzonen der Stadt Zürich der folgenden Tabelle:

<sup>4</sup> Der Begriff «Zubaurate» ist nach der hier verwendeten Definition eigentlich die zu erwartende geothermische Deckungsrate, also der Anteil an Wärmeenergie, der durch wärmepumpengekoppelte EWS zukünftig versorgt werden soll.

Tabelle 5: Grundstücksflächenbezogener Wärmeentzug  $p_{GSF}$  in Abhängigkeit der Bauzonen der Stadt Zürich bei 40% Zubau

Gebäudekategorie nach SIA 380/1	Zonen in der Stadt Zürich:		W2b	W2	W3	W4	W5
	Rechenwert Mittelwert Ath/AE	50% Neubau Qh+Qww [kWh/m2]	$p_{GSF}$ bei $A_E / GSF_{eff} =$ 40%	$p_{GSF}$ bei $A_E / GSF_{eff} =$ 60%	$p_{GSF}$ bei $A_E / GSF_{eff} =$ 90%	$p_{GSF}$ bei $A_E / GSF_{eff} =$ 130%	$p_{GSF}$ bei $A_E / GSF_{eff} =$ 170%
			[kWh/m2]	[kWh/m2]	[kWh/m2]	[kWh/m2]	[kWh/m2]
I: Wohnen MFH	1.25	60.7	6.3	9.5	14.2	20.6	26.9
II: Wohnen EFH	2	71.5	7.5	11.2	16.8	24.2	31.7
III: Verwaltung	1.5	51.4	5.4	8.0	12.1	17.4	22.8
IV: Schulen	1.5	52.6	5.5	8.2	12.4	17.8	23.3
V: Verkauf	2	50.8	5.3	7.9	11.9	17.2	22.5
VI: Restaurant	1.5	104.1	10.9	16.3	24.4	35.3	46.2
VII: Versammlungslokale	1.5	64.6	6.7	10.1	15.2	21.9	28.7
VIII: Spital	1.5	82.4	8.6	12.9	19.3	27.9	36.5
IX: Industrie	2	54.5	5.7	8.5	12.8	18.5	24.2
X: Lager	2	53.5	5.6	8.4	12.6	18.1	23.7
XI: Sportbauten	1.5	129.3	13.5	20.2	30.3	43.8	57.3
XII: Hallenbad	1.5	135.5	14.1	21.2	31.8	46.0	60.1

Wie sich die Erdreichtemperaturen, und somit auch die Sondentemperaturen, durch den Zubau von künftigen Nachbarsonden zusätzlich abkühlen, wurde mit dem Programm EWS<sup>5</sup> durch Variation der Sondenabstände und mit dem Programm EED<sup>6</sup> durch Variation der Sondenbelastung für das Beispiel von 200 m tiefen Erdwärmesonden, bei einer Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs von 2.5 W / (m K), wie folgt berechnet:

<sup>5</sup> EWS, 5.2, Huber Energietechnik AG, Zürich, 2018

<sup>6</sup> Earth Energy Designer (EED), 4.19, Blocon, Sweden, 2017

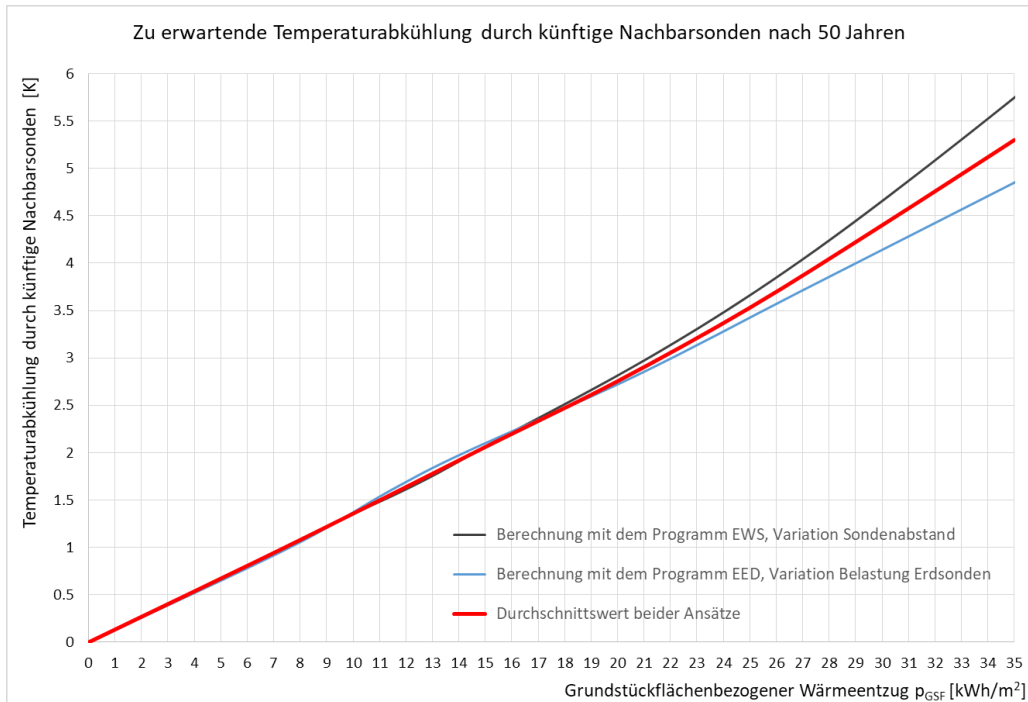


Abbildung 4: Zusätzliche Abkühlung über 50 Jahre durch den Zubau von Nachbarsonden, berechnet für 200 m tiefe Erdwärmesonden.

### 3.4 Möglichkeiten und Grenzen der Wärmebedarfsdeckung

Der oben (in Kap. 2 und 3.1) spezifizierte Wärmebedarf lässt sich unter bestimmten Annahmen – zumindest teilweise – durch EWS decken. Wir legen modellhaft „Standardverhältnisse“ bezüglich Gesteins- und Ausbaudaten, sowie Fahrweise (nach Kap.2.4) zugrunde.

Wenn wir weiterhin annehmen, dass zur Deckung des Wärmebedarfs einer „Zone“ mit vergleichbaren Abnehmern reguläre Raster von EWS mit gleichen Abständen zugrunde gelegt werden können, lässt sich mittels Modellrechnungen zeigen, dass Wärmebedarfsdichten bis zu 600 MWh / (ha a) mit EWS problemlos ohne Regeneration gedeckt werden können.<sup>7</sup>

Wärmebedarfsdichten von 5'000 MWh / (ha a) und mehr lassen sich – auch mit Regeneration – durch EWS im üblichen Tiefenbereich nicht decken. Dazu wären Längen von mehr als 1'000 m erforderlich, die mit Freecooling nicht sinnvoll regeneriert werden können. Abnehmergebiete mit derart hohen Dichten sollten auch der Nah- und Fernwärmeversorgung vorbehalten sein.

Dies grenzt den Rahmen strategischer Überlegungen auch in Hinblick auf potentielle Nutzer automatisch ein.

#### 3.4.1 Erforderliche EWS für einen typisierten Wärmebedarf einer Wohnzone

Wir legen für die nachfolgenden Abschätzungen folgenden Bedarf für Wohnzonen zugrunde:

Tabelle 6: typisierter Wärmebedarf Wohnen

Gebäudekategorie	$Q_n + Q_{WW}$ [kWh / (m <sup>2</sup> EBF a)]		
	Neubau	Umbau	Bestand
I: MFH	52.7	68.6	150
II: EFH	60.8	84.2	150

<sup>7</sup> Um den Wärmebedarf von 600 MWh/(ha·a) zu decken, sind auf einem Hektar 25 EWS mit einer Länge von ca. 250 m erforderlich.



Die typisierten Werte für Neubauten und Umbauten wurden anhand von Tabelle 4 ermittelt. Der Wert von 150 kWh / (m<sup>2</sup> EBF a) für den Bestand entstammt einer AWEL-Auswertung von 2014 für nicht sanierte Gebäude aus dem Zeitraum 1981-90 (Energiekennzahlen für das Jahr 2015, AWEL 2014; genauer 151 kWh / (m<sup>2</sup> EBF a)). Für die hier vorzunehmende Abschätzung dürfte er hinreichend genau und repräsentativ sein.

Wir legen jetzt das Verhältnis von beheizter Geschossfläche (EBF) zur anrechenbaren Landfläche zugrunde. Die nachfolgende Tabelle gibt für verschiedene Verhältnisse („Ausnutzungsziffern“) zwischen 0.2 und 1 den typisierten Wärmebedarf pro ha betrachteter Wohnzonenfläche (mit vergleichbarer Bebauung) wieder, wobei angenommen wird, dass für ein Verhältnis von 0.2 (entspricht mit eingeschossiger Bebauung dem der Bauzone W1) der spezifische Wärmebedarf von EFH (nach Tabelle 6) und für höhere Verhältnisse, der von MFH (nach Tabelle 6) zugrunde gelegt wird.

Tabelle 7: Wärmebedarf der „Zonen“ (rot: > 600 MWh / (ha a))

Verhältnis Wohnfläche / anrechenbare Landfläche („Ausnutzungsziffer“)	Neubau	Umbau	Bestand
	MWh / (ha a)		
0.2	122	168	300
0.3	158	206	450
0.4	211	274	600
0.5	264	343	750
0.6	316	412	900
0.7	369	480	1050
0.8	422	549	1200
0.9	475	617	1350
1.0	527	686	1500

Der ohne zusätzliche Massnahmen bereitzustellende Wärmebedarf von < 600 MWh / (ha a) ist bei Neubauten bis zu einem Verhältnis von 1.0, bei Umbauten bis 0.7 und im Bestand bis 0.3 gewährleistet. Dichten mit einem höheren Bedarf können mit üblichen EWS (Längen bis 250 m) ohne Regeneration nicht gedeckt werden.

Legen wir einen regulären Sondenabstand von 20 m zugrunde (d.h. z.B. 10 x 10 Sonden auf 4 ha) beträgt der spezifische Entzug der EWS 26 – 27 W / m. Die erforderlichen Bohrmeter zur vollständigen Bedarfsdeckung auf einem Hektar für die 3 Kategorien zeigt Abbildung 5. Die Grenze zur möglichen Bedarfsdeckung ohne Regeneration beträgt ca. 6'000 m (Erdwärmesondenlänge auf 1 ha).

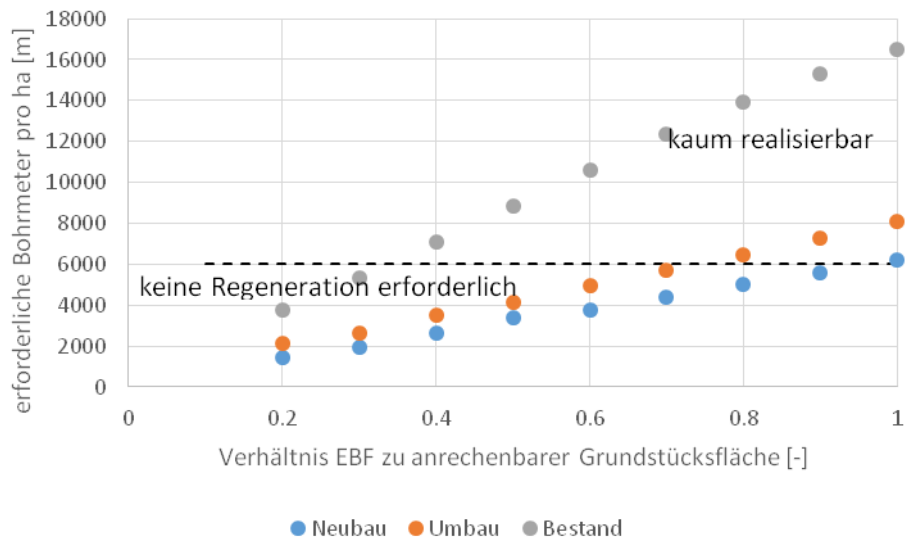


Abbildung 5: erforderliche EWS-Länge (gesamt) bei einem internen Abstand von 20 m zur Wärmebedarfsdeckung auf einem Hektar Wohnbebauung in Abhängigkeit vom Verhältnis beheizter Wohnfläche zu anrechenbarer Landfläche.

Bei einer Verringerung der zulässigen Abstände zwischen den EWS auf 10 m sind entsprechend mehr Sonden (100 EWS pro ha), jedoch mit spezifisch kleineren Längen erforderlich. Die Gesamtlänge ist nur bei kleinen Bedarfsdichten ( $< 200 \text{ MWh} / (\text{ha a})$ ) unabhängig von den Abständen im Sondenfeld (oder der Dichte der Anordnung). Der spezifische Entzug der EWS mit einem Abstand von lediglich 10 m reduziert sich durch die gegenseitige Beeinflussung auf ca.  $21 \text{ W} / \text{m}$  (für Neubauten), ca.  $19 \text{ W} / \text{m}$  (für Umbauten) und ca.  $14 \text{ W} / \text{m}$  für die Bedarfsdeckung im Bestand.

Die erforderliche Gesamtlänge (Bohrmeter pro ha) zeigt Abbildung 6.

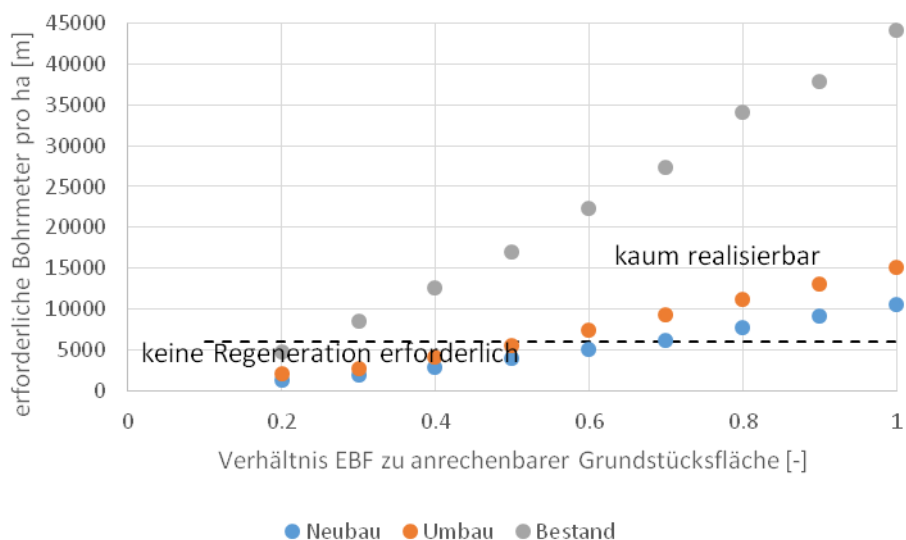


Abbildung 6: Erforderliche EWS-Länge (gesamt) bei einem internen Abstand von 10 m zur Wärmebedarfsdeckung auf einem Hektar Wohnbebauung in Abhängigkeit vom Verhältnis beheizter Wohnfläche zu anrechenbarer Landfläche

Die Verdichtung (von 20 m auf 10 m) erfordert bis zu 70% grössere Längen (im Neubauten) und 170% grössere Längen im Bestand (bei „Ausnutzungsziffer“ = 1), die aber ohne Regeneration nicht realisierbar sind.<sup>8</sup>

### 3.4.2 Einfluss benachbarter EWS auf das Temperaturniveau

Ohne Regeneration führt die Nachbarschaft (gleichartiger) EWS langfristig zu zusätzlicher Temperaturabnahme (s. 3.3). Abbildung 7 zeigt das Ergebnis von Modelrechnungen mit den Parametern aus Kap. 2.4 und den Codes EWS und EED (die Unterschiede sind durch Abweichungen in der hier nicht spezifizierten Parametrisierung begründet). Verhältnisse von mehr als eins (und Abstände von 20 m) führen langfristig zu Temperatureinbussen von 2 K oder mehr.

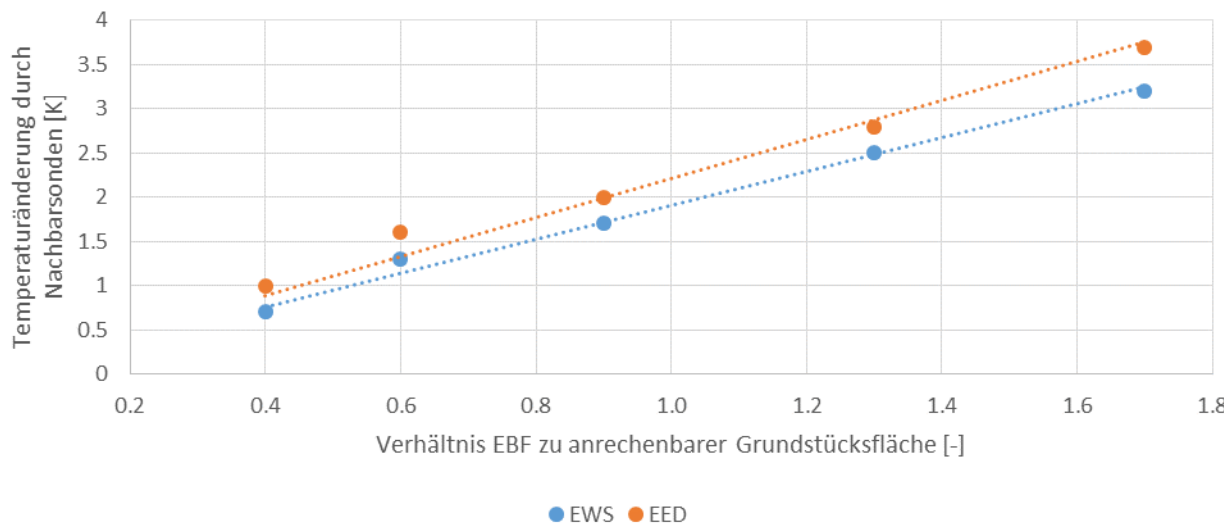


Abbildung 7: Temperaturabnahme durch Verdichtung (im Verhältnis EBF zu anrechenbarer Grundstücksfläche)

<sup>8</sup> Rechnerisch erforderliche Sondenlängen von 374 m pro EWS

# 4 Strategische Planung

## 4.1 Ziele der strategischen Planung für Behörden und Planer

Planer und Behörden haben häufig verschiedene Interessen bzw. Schwerpunkte ihrer Aufgabengebiete: Im Focus der Planer steht, ein funktionsfähiges, zuverlässiges und normgerechtes „Bauwerk“ zu erstellen, das die spezifischen Anforderungen erfüllt. Behörden beurteilen die Genehmigungsfähigkeit unter umweltschutz- (Gewässerschutz) und/oder raumplanerischen Aspekten. Im 2. Fall wollen sie Sorge tragen, dass die Ressourcennutzung gleichberechtigt und nachhaltig erfolgt.

Der Planer erwartet daher (in einer Norm) Auslegungs- und Projektierungsempfehlungen, die eine uneingeschränkte Nutzung der zu planenden Anlage innerhalb der Lebensdauer gewährleisten, die Behörde raumplanerische Hinweise und Empfehlungen, um einer nicht-nachhaltigen oder nicht-gerechten Nutzung vorbeugen zu können.

Aus den in Kap. 3 dargestellten Überlegungen und Berechnungen leiten wir nachfolgend Empfehlungen zum ggf. erforderlichen Regenerationsbedarf in verschiedenen Wohnzonen als Richtwerte für Empfehlungen zur strategischen Planung einer Behörde (4.2) und Planungsgrundlagen zur Auslegung von Anlagen unter Berücksichtigung nachbarschaftlicher Nutzungen für den Planer ab (4.3).

## 4.2 Empfehlungen für erhöhte Anforderungen in Zonen mit Wohngebäuden im Bestand

Bei Wärmebedarfsdichten unter 600 MWh / (ha a) ist keine Regeneration erforderlich. Dies betrifft Zonen mit Neubauten bis zu einem Verhältnis von beheizter Fläche EBF zu anrechenbarer Grundstücksfläche von 1. Zonen mit Umbauten brauchen Regeneration von ca. 5% bei einem Verhältnis EBF zu anrechenbarer Landfläche („Ausnutzungsziffern“) von 0.9 und 15% bei einem Verhältnis von 1.

Zonen im Bestand (mit einem spezifischen Bedarfswert von 150 kWh / (m<sup>2</sup> EBF a)) bedürfen nachfolgender Reperation:

Tabelle 8: Regenerationsbedarf in %

Verhältnis EBF / anrechenbarer Landfläche	Zonen mit Wohngebäuden aus Umbau	Zonen mit Wohngebäuden im Bestand
≤ 0.4	-	-
0.5	-	25
0.6	-	50
0.7	-	75
0.8	-	100
0.9	5	Bedarfsdeckung durch EWS allein nicht möglich
1	15	Bedarfsdeckung durch EWS allein nicht möglich

Zonen mit Wohngebäuden im Bestand mit Verhältnissen EBF/anrechenbarer Landfläche > 0.8 sind durch EWS allein nicht zu versorgen. In diesem Fall bedarf es neben der Regeneration noch alternativer Versorgungslösungen.

Wir können davon ausgehen, dass Zonen mit einer spezifischen Wärmebedarfsdichte von mehr als 1'300 MWh / (ha a) Vorranggebiete für zentralisierte Fern- oder Nahwärmelösungen sind, die in der Regel gesondert beplant werden und/oder andere Wärmequellen nutzen.

### **4.3 Empfehlungen zur Berücksichtigung der Ausnutzung in der Planung**

#### **4.3.1 Notwendige Regeneration zur Vermeidung einer Temperaturabkühlung**

Um den Abkühl-Effekt einer künftigen Zubaurate  $f_{ZB}$  von 40% über 50 Betriebsjahre zu kompensieren, gibt es grundsätzlich 2 Möglichkeiten:

1. Höhere Auslegungstemperaturen der Erdwärmesonden (im Umfang der erwarteten, zusätzlichen Abkühlung der Erdwärmesonden durch die künftigen Nachbarsonden)
2. Teilregeneration der Erdwärmesonden (durch aktives Einbringen von Wärme in die Sonden).

Dabei wurde eine Abstufung bei der zu erwartenden Abkühlung von 1.5 K gewählt. Diese Abstufung entspricht auch der vorgeschlagenen, erhöhten Anforderung für die Erdwärmesonden-Auslegung:

- erhöhte Anforderung: Erdwärmesonden sind um 1.5 K höher auszulegen als in der Norm SIA 384/6:2010 gefordert oder entsprechend zu regenerieren
- stark erhöhte Anforderung: Erdwärmesonden sind um 3 K höher auszulegen als in der Norm SIA 384/6:2010 gefordert oder entsprechend zu regenerieren

In einer weiteren Parameter-Variation mit dem Programm EWS wurde bei 200 m tiefen Erdwärmesonden nun berechnet, wie stark die Erdwärmesonden thermisch regeneriert werden müssen, um eine zusätzliche Abkühlung durch eine Zubaurate  $f_{ZB}$  von 40% an zukünftigen Erdwärmesonden-Anlagen zu vermeiden. Für die Berechnung wurde eine Wärmeleitfähigkeit des Gesteins von 2.5 W / (m K) und eine Volllaststunden-Zahl der Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser von 2'400 h / a angenommen:

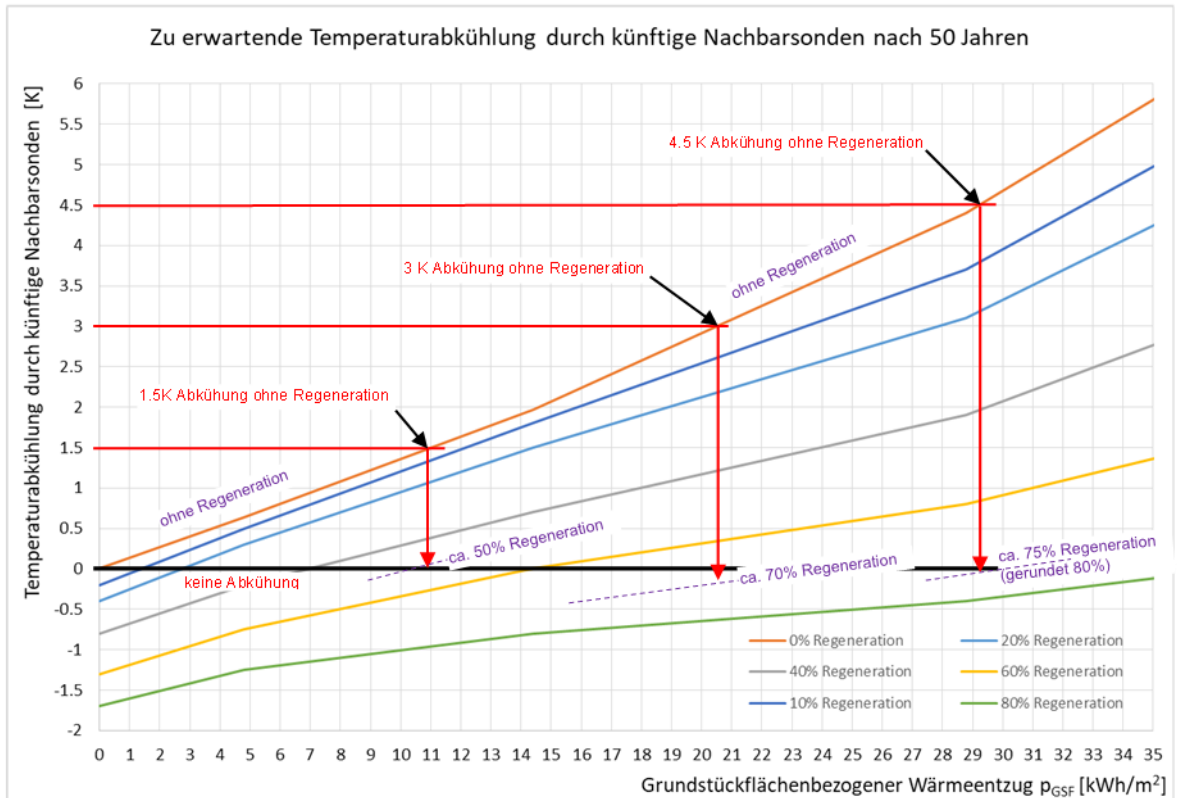


Abbildung 8: Kompensation des Effektes von künftigen Nachbarsonden durch aktive Regeneration der Erdwärmesonden

Gerundet müssen also zur Vermeidung einer Abkühlung von 1.5 K nach 50 Jahren alle Sonden um 50% des Wärmeentzuges regeneriert werden, bei 3 K sind es gerundet 70% und bei 4.5 K gerundet 80%.

Dieses Ergebnis kann nun auch in einer Äquivalenztabelle von erhöhten Anforderungen an die Sondenauslegung und die Sondenregenerationsrate  $f_{EWS}$  dargestellt werden:

Tabelle 9: Äquivalent von Sondenregenerationsraten  $f_{EWS}$  und Sondenauslegungstemperaturen:

	R1 (keine erhöhten Anforderungen)	R2 (erhöhte Anforderung)	R3 (stark erhöhte Anforderung)	R4 (Regenerationspflicht)
Ohne Regeneration	-1.5°C	0°C	+1.5°C	-
Mit Regenerationsrate $f_{EWS} \geq 20\%$	-1.5°C	-0.5°C	+0.8°C	-
Mit Regenerationsrate $f_{EWS} \geq 40\%$	-1.5°C	-1.0°C	0°C	+1.5°C
Mit Regenerationsrate $f_{EWS} \geq 60\%$	-1.5°C	-1.5°C	-1°C	0°C
Mit Regenerationsrate $f_{EWS} \geq 80\%$	-1.5°C	-1.5°C	-1.5°C	-1.5°C

### 4.3.2 Strategische Planung: Zuordnung von Bauzonen zu den erhöhten Anforderungen

Am Beispiel der Bauzonen W2b bis W5 der Stadt Zürich soll nun gezeigt werden, wie bei einer strategischen Planung die Bauzonen Anforderungen R1 (keine erhöhten Anforderungen) den erhöhten Anforderungen (R2 – R4) gemäss der Tabelle 9 zugeordnet werden könnten. Dabei ist zu beachten, dass die gewählte Zuordnung zu einem gewissen Grad eine Ermessensfrage ist, da die Grenzen der Bauzonen nicht immer genau mit der Schnittlinie der Abkühlkurve übereinstimmen:

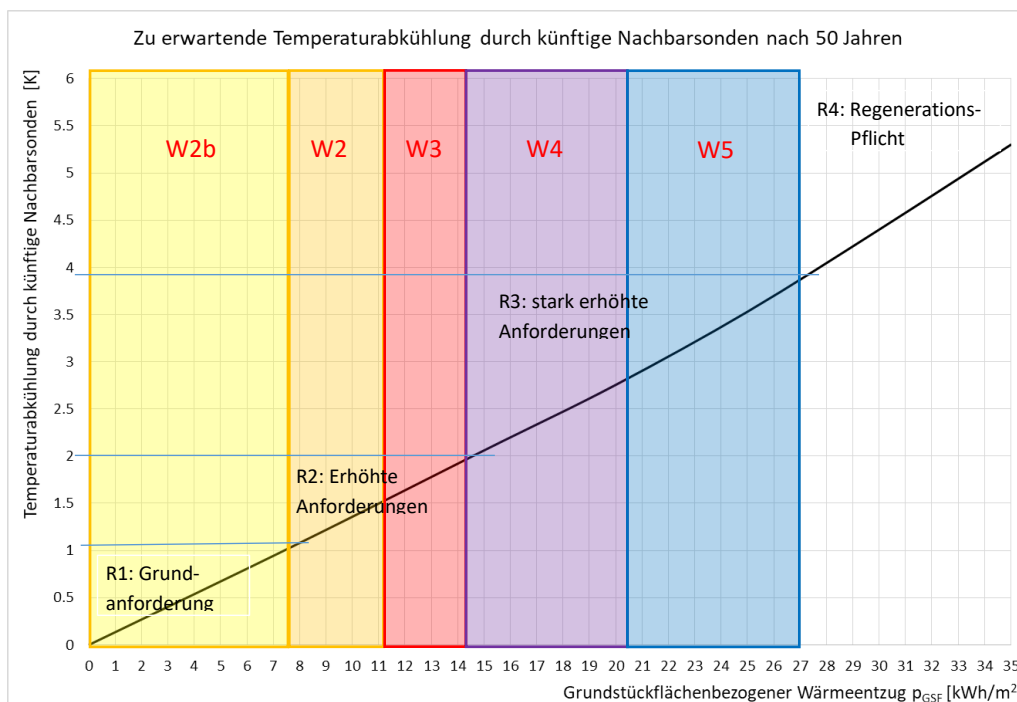


Abbildung 9: Mögliche Zuordnung der Bauzonen zu den erhöhten Anforderungen für die Sondenauslegung in der strategischen Planung am Beispiel der Bauzonen W2b bis W5 der Stadt Zürich.

Zonen der Kategorie W2b bedürfen also keiner erhöhten Anforderungen. Zonen W2 und W3 haben geringfügig erhöhte Anforderungen (R2) nach Tabelle 9 mit um 1.5 K erhöhten Auslegungstemperaturen, die durch Regeneration mit 60% und mehr vollständig kompensiert werden können. Zonen W4 und W5 haben stark erhöhte Anforderungen zur Folge mit bis zu 3 K höheren Auslegungstemperaturen, die mit mindestens 80% Regeneration kompensiert werden können.

Zu beachten ist, dass bei dieser Zonen-Zuteilung eine Zubaurate  $f_{ZB}$  von 40% von neu erstellten Erdwärmesonden-Wärmepumpenanlagen über die nächsten 50 Jahre hinterlegt ist. Da zum Beispiel in Fernwärmegebieten dieser Wert wesentlich geringer ausfallen dürfte, wird auch der grundstückflächenbezogene Wärmeentzug  $p_{GSF}$  entsprechend reduziert und die Zonenzuteilung nach links verschoben, womit die Anforderungen in diesen Gebieten gesenkt werden können.

## 5 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Für eine nachhaltige und gleichberechtigte Nutzung des Untergrundes in den kommenden 50 Jahren sind strategische Planungen erforderlich. Diese umfassen einerseits Planungshilfen zur Auslegung unter Berücksichtigung (ggf. zukünftiger) Nutzungen, andererseits raumplanerische Handlungshilfen für Kommunen zur optimalen Nutzung ihrer Ressourcen. Der hier vorgestellte Vorschlag nimmt beide Aspekte auf: Für Behörden werden Kriterien definiert, die den unregulierten Zubau reglementieren helfen. Diese orientieren sich an spezifischen Wärmebedarfsdichten der Bauzonen (in MWh / (ha a)). In erster Näherung lassen sich diese Wärmebedarfsdichten durch entsprechende Bauzonen (und „Ausnutzungsziffern“) charakterisieren.

Es wurde gezeigt, dass Bauzonen der Kategorie W1 und W2b keiner Regulierung bedürfen. Zonen mit prognostizierten Wärmebedarfsdichten von mehr als 2'000 MWh / (ha a) lassen sich – auch mit Regeneration – durch Erdwärmesonden allein nicht versorgen. Je nach Anteil von Neubau und Umbau in den Bauzonen sind moderate Regenerationsmassnahmen bei Ausnutzungsziffern von mehr als 90% sinnvoll oder erforderlich.

Für den Planer wird mit dem „grundstücksflächenbezogenen Wärmeentzug“ (in kWh / (m<sup>2</sup> a)) eine zusätzliche Auslegungskennziffer zur Verfügung gestellt, die die Berücksichtigung potentieller Nachbarschaftsnutzungen einrechnet. Ist dieser „grundstücksflächenbezogene Wärmeentzug“ grösser als 8 kWh / (m<sup>2</sup> a) sind zur Vermeidung von nachbarschaftlichen Konflikten höhere Auslegungstemperaturen erforderlich. Diese können durch Regenerationsmassnahmen teilweise oder vollständig kompensiert werden. Mit zunehmenden „grundstücksflächenbezogenen Wärmeentzug“ sind – gestaffelt – entweder höhere Auslegungstemperaturen oder höhere Regenerationsanteile erforderlich. Das gibt dem Planer – nach Revision der entsprechenden SIA-Norm 384/6 – die Möglichkeit, zusätzliche Massnahmen zur Vermeidung künftiger Konflikte zu begründen oder solche mit dem Bauherren vertraglich zu regeln.

Für die Stadt Zürich wurde entsprechend der dort geltenden Definition der Wohnzonenkategorien ein gestaffeltes Verfahren (Abbildung 9) zur Kompensation oder Vorsorge nachbarschaftlicher Beeinflussung abgeleitet. Es wird vorgeschlagen, dieses in der Praxis zu prüfen und erforderlichenfalls anzupassen.



## 6 Anhang

AHB 2017: Grenzabstände bei Erdwärmesonden – Untersuchungen zu neuen Bemessungs- und Planungsgrundlagen; Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik, AF Consult Switzerland 03/2017

AWEL 2014: Energiekennzahl Wohnbauten, Baudirektion Zürich, AWEL Abteilung Energie, März 2014

Bauzonenstatistik Schweiz 2017 – Statistik und Analysen (Teil I: Statistik); Bundesamt für Raumentwicklung ARE, 2017

Energieschweiz 2017a: Bericht “EWS-Umfrage” Ergebnisse zu einer Umfrage zum Vorgehen bei der Dimensionierung von Erdwärmesonden bei Beachtung von Nachbarsonden; GeoExplorers AG, Februar 2017

Energieschweiz 2017b: Erdwärmesonden in dicht bebautem Gebiet – Abklärung von Konsequenzen und mindernden Faktoren anhand von Fallbeispielen; AF Consult Switzerland, Juli 2017

PLANAR 2012: Planungsbericht Kommunale Energieplanung der Stadt Uster, PLANAR AG für Raumentwicklung, vom Stadtrat Uster beschlossen 23.10.2012

PLANAR 2015a: Energieplan Adliswil, Revision Kommunale Energieplanung 2015-2035, Erläuterungsbericht; Stadt Adliswil

PLANAR 2015b: Kommunaler Energieplan, Erläuterungsbericht; Stadt Schlieren

PLANAR 2015c: Regionale Energieplanung und Potenziale für die Abwärmenutzung; ENERGIE APÉRO LU-ZERN; Regionale Energieplanung LuzernPlus - zur räumlichen Koordination der Wärmeversorgung; 15. Juni 2015

## **CSD INGENIEURE AG**

<Vorname Name>  
((Funktion))

Joachim Poppei  
Projektleiter

Aarau, den 02.11.2018

### **KOREFERENT**

#### **Dr. Davide Bionda**

Dr. sc. ETH, dipl. geol. UZH, MAS Energieingenieur Gebäude  
Hochschule Luzern - Technik & Architektur  
Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

### **ANDERE BETEILIGTE MITARBEITENDE**

**Arthur Huber**, dipl. Ing. ETH  
Huber Energietechnik AG