

Grund- und Oberflächenwassernutzung für Fernkälteanlagen

—

Fallbeispiel Stadt Linz

Masterarbeit zum Erwerb des
Akademischen Titels Diplomingenieurin der
Studienrichtung Bauingenieurwissenschaften

Petra Braunegger

Verfasst am Institut für
Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau
der Technischen Universität Graz

Begutachterin der Masterarbeit:

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Daniela Fuchs-Hanusch

Betreuer der Masterarbeit:

DI Stefan Krakow

Graz, Mai 2014

Kontakt:

Petra Braunegger, BSc.

Schirka 3, 8403 Lebring

Tel.: +43-664-5175189

petra.braunegger@gmx.at

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, am

.....

(Petra Braunegger)

Kurzfassung

Aufgrund stark gestiegenen Komfortansprüchen und insbesondere der Klimaerwärmung ist seit Jahren ein erheblicher Anstieg des Kühlbedarfs zu beobachten. So wurden neben den klassischen Kompressionskältemaschinen auch andere Möglichkeiten der Kälteerzeugung entwickelt, wie beispielsweise Sorptionskältemaschinen. Vor allem beim sogenannten Free Cooling wird bevorzugt Grund- und Oberflächenwasser zur Kälteerzeugung verwendet. Neben der Entwicklung von umweltfreundlichen Kältemaschinen, wurden in einigen Städten bereits Fernkältesysteme installiert. Diese sind mit den allseits bekannten Fernwärmenetzen vergleichbar, nur dass diese die Kunden anstatt mit Wärme eben mit Kälte versorgen.

Die thermische Nutzung von Grund- und Oberflächenwasser hat erhebliche Auswirkungen auf die Wassertemperatur und damit auch auf zahlreiche chemische Parameter sowie der Biozönose. Um auch für künftige Generationen die Trinkwasserversorgung zu sichern und reine Oberflächengewässer zu bieten, wurden bereits rechtliche Einschränkungen getroffen.

Für den Donauuferbereich der Stadt Linz, wo bereits zahlreiche Kältenutzer das Grundwasser erheblich erwärmen, wurden in dieser Arbeit Berechnungsmethoden zur Quantifizierung der Temperaturanomalien der verschiedenen Grundwassernutzer angewandt. Basierend auf den Ergebnissen der Berechnung wurden in einer parallel laufenden Studie Fernkälteszenarien entwickelt, welche in dieser Masterarbeit wiederum mittels Energiebilanzen überprüft wurden.

Abstract

Due to steeply increased comfort requirements - in particular global warming - a significant augmentation in cooling demand has been observed for years. Thus, in addition to classic compression chillers, other possibilities of refrigeration were developed, such as sorption. Especially with the so-called "free-cooling" the use of ground and surface water is preferred for refrigeration. Further to the development of environment friendly chillers, already district cooling systems have been installed in some cities. These are similar to the well-known district heating networks, except that they provide the customer with cold instead of heat.

The thermal use of groundwater and surface water has significant effects on the water temperature and therefore also on numerous chemical parameters and biological communities. To secure the drinking water supply for future generations and to provide pure surface waters, legal restrictions have already been taken.

For the bank area of the Danube in the City of Linz, where numerous cold users already heat the groundwater significantly, calculation methods for the quantification of the temperature anomalies of the different groundwater users have been applied in this work. Based on the results of the calculation, district cooling scenarios were developed in a parallel study, which in turn were checked in this thesis by energy balances.

Gleichheitsgrundsatz

Aus Gründen der Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit darauf verzichtet, geschlechtsspezifische Formulierungen zu verwenden. Jedoch möchte ich ausdrücklich festhalten, dass die bei Personen verwendeten maskulinen Formen für beide Geschlechter zu verstehen sind.

Inhalt

Kurzfassung	II
Abstract	III
Gleichheitsgrundsatz	IV
Abkürzungen	IX
1 Einleitung	1
2 Erderwärmung und Kühlbedarf	4
2.1 Erderwärmung nach IPCC	5
2.2 Entwicklung des Kühlbedarfes	8
3 Möglichkeiten der Kälteerzeugung	14
3.1 Kompressionskältemaschinen.....	14
3.1.1 Verdampfer	15
3.1.2 Verdichter.....	16
3.1.3 Kondensator.....	17
3.1.4 Expansionsventil	17
3.2 Sorptionskältemaschinen	17
3.2.1 Kältemittelkreislauf	18
3.2.2 Lösungsmittelkreislauf.....	18
3.2.2.1 Absorptionskältemaschinen.....	18
3.2.2.2 Adsorptionskältemaschinen.....	20
3.3 Free Cooling.....	22
3.4 Nutzung von Wasser für die Kühlung.....	22
3.5 Einsatz der verschiedenen Kälteerzeugungen	23
3.6 Energieeffizienz verschiedener Anlagen	24
3.7 Fernkälte	26
3.7.1 Kältespeicher	26
3.7.2 Kältebereitstellung.....	27
3.7.2.1 Zentrale Fernkälteerzeugung.....	27
3.7.2.2 Dezentrale Fernkälteerzeugung	27
3.7.3 Vor- und Nachteile von zentraler und dezentraler Kälteerzeugung	27
3.7.4 Ausführungsbeispiele.....	28
3.7.4.1 Toronto	28

3.7.4.2	Wien	29
4	Grund- und Oberflächenwassernutzung und wasserwirtschaftliche Auswirkungen.....	33
4.1	Arten der Wassernutzung.....	33
4.1.1	Nutzung als Trinkwasser	33
4.1.2	Nutzung als Brauchwasser.....	33
4.1.2.1	Nutzung als Kühlwasser	34
4.2	Auswirkungen der thermischen Wassernutzung	35
4.2.1	Quantitative Auswirkungen.....	36
4.2.1.1	Auswirkungen im Gebäudebereich.....	37
4.2.1.2	Auswirkungen auf Oberflächengewässer und auf die Vegetation....	38
4.2.2	Qualitative Auswirkungen.....	39
4.2.2.1	Änderung der Biozönose	40
4.2.2.2	Temperaturabhängigkeit der Dichte	40
4.2.2.3	Temperaturabhängigkeit der Viskosität	41
4.2.2.4	Temperaturabhängigkeit des Lösungsverhalten.....	42
4.2.2.5	Fouling.....	45
5	Rechtliche Grundlagen	47
5.1	Wasserrechtsgesetz.....	47
5.2	Abwasseremissionsverordnung Kühlsysteme und Dampferzeuger.....	50
5.3	Verordnung der Verbesserung der Wassergüte der Donau und ihrer Zubringer (Donauverordnung).....	51
5.4	Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer.....	52
5.5	Gewässerzustandsüberwachungsverordnung - GZÜV	53
5.6	Richtlinie 2006/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen	53
5.6.1	Erster Energieeffizienzaktionsplan der Republik Österreich	54
5.6.2	Zweiter Energieeffizienzaktionsplan der Republik Österreich	54
5.6.3	Dritter Energieeffizienzaktionsplan der Republik Österreich	54
5.7	ÖWAV-Regelblatt 207: Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds – Heizen und Kühlen	55

6	Fallbeispiel Linz.....	57
6.1	Grundwasserverhältnisse in Linz.....	57
6.2	Ist – Stand Donauuferbereich.....	66
6.2.1	Auswirkungen auf die Grundwassertemperatur	69
6.2.1.1	Berechnungsmethode nach INGERLE	69
6.2.2	Vorgehensweise bei der Berechnung	74
6.2.2.1	Erstellen einer Datenbank	74
6.2.2.2	Berechnen der Fahnenlängen	78
6.2.2.3	Darstellung der Ergebnisse	79
6.2.2.4	Überprüfung der Ergebnisse.....	83
6.2.2.5	Bewertung der Ergebnisse	84
6.3	Lösungsansätze	85
6.3.1	Kühlleistungsbetrachtung Einzelnutzungen	86
6.3.2	Kühlleistungsbetrachtung gemäß Szenario 6.....	87
6.3.3	Kühlleistungsbetrachtung Szenario 3.....	90
6.3.4	Kühlleistungsberechnung Großnetz mit Abwärmenutzung	92
6.4	Bewertung der Alternativen	94
6.4.1	Bewertungsgruppe Wasserwirtschaft / Umwelt.....	95
6.4.1.1	Einfluss auf den Grundwasserstand.....	95
6.4.1.2	Einfluss auf die Grundwassertemperatur.....	95
6.4.1.3	CO ₂ -Emissionen	96
6.4.1.4	Energiebedarf	96
6.4.2	Wasserrechte / fremde Rechte.....	97
6.4.2.1	Konfliktpotential mit vorhandenen Grundwassernutzungen.....	97
6.4.2.2	Einfluss auf andere Grundwassernutzungen	97
6.4.3	Beitrag zur Sicherung des Wirtschaftsstandortes.....	98
6.4.3.1	Sichere Versorgung vorhandener Kältenutzer.....	98
6.4.3.2	Stabilisierung und Verbesserung der Kühlleistung	98
6.4.3.3	Erweiterung von Kältenutzungen / zusätzliche Kältenutzer	98
6.4.4	Umsetzbarkeit	99
6.4.4.1	Synergie mit geplanter Straßenbahntrasse	99
6.4.4.2	Mögliche Temperaturspreize	99
6.4.5	Ergebnisse der Nutzwertanalyse.....	99

7	Diskussion der Ergebnisse	102
8	Zusammenfassung.....	104
	Tabellenverzeichnis	106
	Abbildungsverzeichnis	107
	Literaturverzeichnis	111
	Anhang 1	119
	Anhang 2	121
	Anhang 3	123
	Anhang 4	125

Abkürzungen

COP	Coefficient of Performance. Wärmeverhältnis einer Absorptionskälteanlage
KWKK	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung
müA	Meter über Adria
PJ	Petajoule. Ein PJ entspricht 10^{15} Joule beziehungsweise 278 GWh.
Q _{95%}	Durchfluss der an einer bestimmten Stelle oder in bestimmten Abschnitt eines Fließgewässers in einer mittleren Jahresdauerlinie an 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird (Abwasseremissionsverordnung Kühlsysteme und Dampferzeuger, 2013)

1 Einleitung

In rund 50 Prozent aller europäischen Gebäude und in 80 Prozent der Gebäude in Asien und Amerika sind derzeit Kälteanlagen installiert. Obwohl diese Zahlen bereits sehr hoch erscheinen ist der Bedarf an Gebäudekühlung auch weiterhin stark steigend.

Abbildung 1 zeigt die gekühlte Fläche je Einwohner in den sogenannten EU-15-Staaten für das Jahr 2002 und schätzt den Kühlbedarf für das Jahr 2020.

Im europaweiten Durchschnitt wurden 2002 rund drei Quadratmeter pro Person gekühlt. Bis 2020 sehen die Prognosen einen Anstieg auf sechs Quadratmeter vor, was einer Verdoppelung entspricht. In Österreich sind die Zahlen etwas niedriger. So waren 2002 rund zwei Quadratmeter pro Einwohner gekühlt und für 2020 wird eine gekühlte Fläche von rund 3,5 Quadratmeter pro Person erwartet.

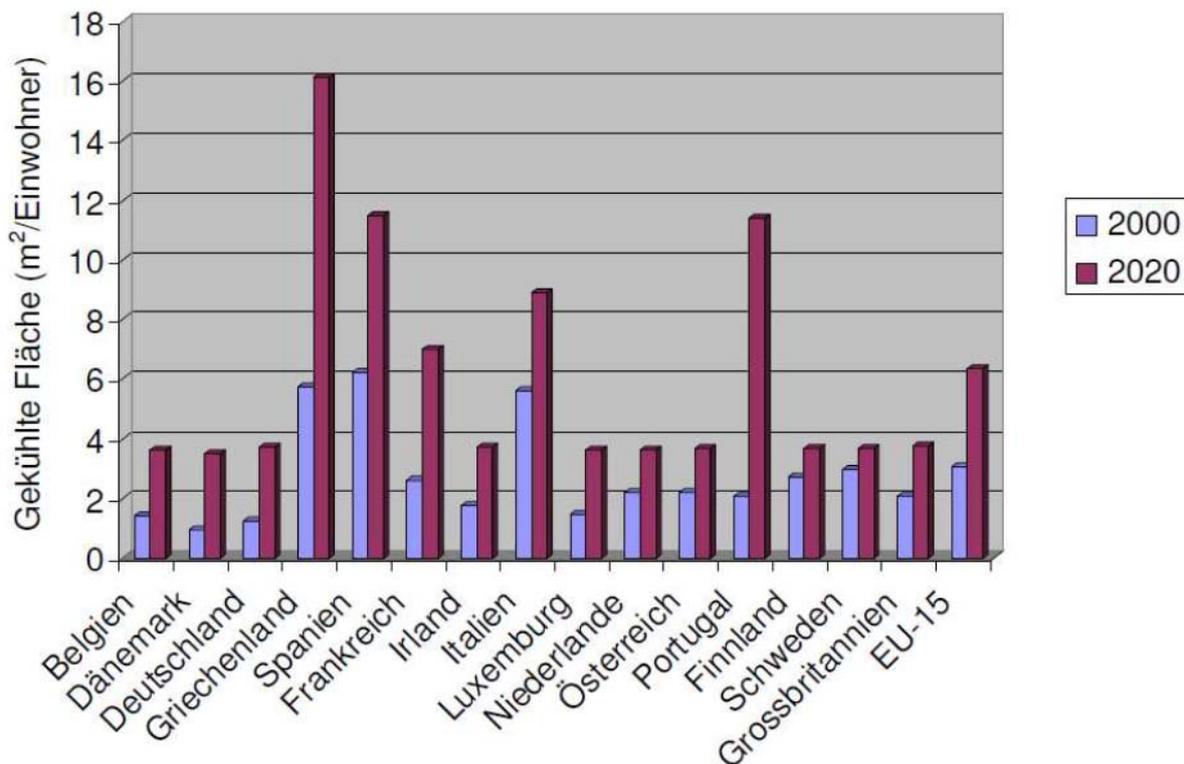


Abbildung 1: Gekühlte Fläche je Einwohner in den EU-15-Staaten (Artmann, Manz, & Heiselberg, 2008, S. 3)

Die Gründe für den ständigen steigenden Bedarf an Gebäudekühlung sind sehr vielfältig. So hat sich in den vergangenen Jahrzehnten die Bauweise stark verändert und auch die Zahl der technischen Installationen ist in Gebäuden stark angestiegen. Vor allem bei Bürogebäuden treiben wärmeisolierte Wände in Kombination mit aufheizenden Glasfassaden, sowie die Abwärme von Computern und anderen technischen Einrichtungen den Kühlbedarf stark in die Höhe. Aber auch erhöhte Ansprüche an Komfort sind neben dem wichtigsten Einfluss, der Klimaerwärmung, weitere Aspekte. Der Anstieg des Klimatisierungsbedarfs ist sowohl von den verschiedenen Klimaszenarien als auch vom Gebäudetyp abhängig.

Ein versorgungssicherer, möglichst umweltverträglicher und hygienisch einwandfreier Betrieb von konventionellen Klimaanlage bedeutet für den Betreiber einen erheblichen Arbeits- und Kostenaufwand. So weisen konventionelle Klimageräte (Kompressionskältemaschinen) neben einem großen Platzbedarf auch einen hohen Wartungsaufwand auf. Da die eingesetzten Kühlmittel als klimaschädigend gelten, wurden gesetzliche Bestimmungen, wie die EU-Verordnung EG 842/2006 (2006), erlassen, welche für den Betrieb von Klimaanlage mit mindestens drei Kilogramm Kühlmittel umfassende Überprüfungs- und Aufzeichnungspflichten vorsehen.

Aufgrund der zahlreichen Probleme bei der Verwendung von Kompressionskältemaschinen, haben in den vergangenen Jahren regenerative Energieformen, dabei vor allem die Nutzung von Grund- und Oberflächenwasser für Kühlzwecke, einen Boom erlebt. Bei dieser Kühlvariante wird kaltes Wasser entweder über einen sogenannten Saugbrunnen dem Grundwasseraquifer oder mittels Pumpen dem Oberflächengewässer entnommen. Über Wärmetauscher wird dann die Kälte abgenommen. Das erwärmte Wasser wird abschließend über sogenannten Schluckbrunnen wieder dem Grundwasserkörper zugeführt oder in das Oberflächengewässer rückgeführt.

Neben der Wassernutzung zur Gebäudekühlung haben sich auch andere Möglichkeiten entwickelt, wie Absorptionskältemaschinen. Aufbauend auf den Erfolg der Fernwärme wurde Ende der 1980er-Jahre in Gebieten hoher Energiebedarfsdichte mit der Entwicklung von Fernkältenetzen begonnen.

Da das Grundwasser für künftige Generationen als Trinkwasser nach wie vor verwendbar sein soll, und auch Oberflächengewässer sich nicht negativ verändern sollen, muss man sich auch über möglichen Auswirkungen durch eine Wassererwärmung im Klaren sein.

Bei der Auswahl der Gebäudekühlung muss eine Vielzahl an rechtlicher Rahmenbedingungen beachtet werden. Besonders bei der Nutzung von Grundwasser für Kühlzwecke ist ein flächendeckender Grundwasserschutz zu beachten.

Der Trend zur Klimatisierung mittels Grund- und Oberflächenwassernutzung hat sich auch in der Stadt Linz durchgesetzt. Mit der Zunahme an Kältenutzern hat sich jedoch die Grundwassertemperatur erheblich verändert.

Da der Kühlbedarf auch in den kommenden Jahrzehnten steigen wird und bereits jetzt immer öfter Probleme bei der Neu- und Wiederverleihung von Wasserrechten zur Grundwasserentnahme für Kühlzwecke gesehen werden, sollen Alternativen, mit besonderer Rücksichtnahme auf die Grundwassersituation, geschaffen werden. (Schwetz, Steinmair, & AUWR-WPLO, 2011)

Um überhaupt Alternativen zu finden, muss zunächst eine umfassende Analyse der aktuellen Situation geschehen. Dies erfolgte mittels einer Berechnung der Temperaturanomalien nach INGERLE. Diese Ergebnisse flossen anschließend in die Studie von KRAKOW und FUCHS-HANUSCH (2013) ein. In dieser Studie wurden mittels Grundwasserbilanzen verschiedene Szenarien entwickelt. In der vorliegenden Arbeit wurde anhand der Vorzugsvariante von KRAKOW und FUCHS-HANUSCH eine Energiebilanzierung angewendet, welche schließlich auf zwei weitere Varianten ausgeweitet wurde.

2 Erderwärmung und Kühlbedarf

Wie bereits einleitend erwähnt, hat vor allem die Erderwärmung einen wesentlichen Einfluss auf den steigenden Kühlbedarf. Zahlreiche Forschungseinrichtungen beschäftigen sich mit der gegenwärtigen Klimaerwärmung und den verschiedenen Entwicklungsmöglichkeiten. Der Weltklimarat IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) ist eine Institution der Vereinten Nationen, bei der Wissenschaftler aus der ganzen Welt den aktuellen Wissensstand zur Klimaerwärmung zusammenfassen. Anhand der Erkenntnisse des IPCC können für jedes Land die Veränderungen im Kühlbedarf ermittelt werden.

Die Klimaentwicklung basiert auf den sogenannten Familien A1, A2, B1 und B2 welche vom IPCC entwickelt wurden. (vgl. Böhm, 2008 und Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, o.J.)

- A1-Familie

Diese Szenarien gehen von einem schnellen Wirtschaftswachstum aus. Das führt zu einer mobilen, global stark vernetzten und immer mehr zusammenhängenden Welt. Durch diese Umstände verringern sich Einkommensunterschiede. Das schnelle Wirtschaftswachstum führt weltweit zu Fortschritten in Bildung und Wissenschaft sowie im Energiesektor. Die Lebenserwartung und Gesundheit steigen, doch die Weltbevölkerung steigt nur bis 2050 und fällt danach wieder ab.

Die A1-Familie besteht aus drei Gruppen:

- A1B ausgeglichene Nutzung von fossilen und nicht-fossilen Energieträgern
- A1FI intensive Nutzung fossiler Energieträger
- A1T keine Nutzung fossiler Energieträger

- A2-Familie

Die A2-Familie ist weniger optimistisch als die A1-Familie. Sie rechnet mit einer weniger global vernetzten Welt bei der regionale Unterschiede erhalten bleiben. Dies hätte zur Folge, dass sich Wirtschaftswachstum, Lebenserwartung und Bildung nicht so stark wie in A1 entwickeln. Die Weltbevölkerung würde bis 2100 auf 15 Milliarden stei-

gen. Aufgrund all dieser Umstände würde sich auch die Energieeffizienz weniger weiterentwickeln und die regionale Verfügbarkeit von Energiequellen würde im Vordergrund stehen.

- B1-Familie

Das Szenario B1 basiert auf eine weltweit koordinierte nachhaltige Entwicklung mit sehr hohem Umwelt- und Sozialbewusstsein. Man würde gemeinschaftlich an einer Verringerung des Konsums arbeiten und erneuerbare Energieformen würden gegenüber fossilen stark bevorzugt werden.

- B2-Familie

Die B2-Familie zielt wie B1 auf eine nachhaltige Entwicklung ab, welche jedoch regional erfolgt. Folglich bleiben, ähnlich wie bei A2, Unterschiede in der Weltbevölkerung hinsichtlich Lebenserwartung, Bildung und Wirtschaftswachstum, welche jedoch zu einer größeren Vielfalt an technologischen Lösungen führen.

2.1 Erderwärmung nach IPCC

Die aktuellen Ergebnisse der Klimaforschung werden regelmäßig in den sogenannten Sachstandesberichten zusammengefasst. Dabei werden vor allem die aktuellen Klimabeobachtungen beschrieben und darauf aufbauende Klimaerwärmungen präsentiert.

Zufolge des fünften Sachstandsberichts des IPCC, welcher seit Herbst 2013 teilweise veröffentlicht wurde, ist die globale Mitteltemperatur in Bodennähe zwischen den Jahren 1880 und 2012 um $0,85^{\circ}\text{C}$ gestiegen. Des Weiteren waren die vergangenen drei Jahrzehnte die wärmsten aller vorhergehenden Jahrzehnte seit 1850. „In der Nordhemisphäre war die letzte 30-jährige Periode (von 1983 bis 2012) die wärmste seit 1400 Jahren.“ (Deutsche IPCC Koordinierungstelle, 2013, S. 2)

Abbildung 2 zeigt die globale Erwärmung zwischen 1850 und 2012. Der obere Teil der Grafik zeigt gemessene Jahreswerte, im unteren Teil werden die Mittelwerte pro Jahrzehnt dargestellt. Die Daten stehen im Bezug zu den Werten aus den 1950er Jahren. Folglich weisen die 1950-er Jahre keine Temperaturanomale auf. Der Grund für diese

Darstellung ist, dass erst seit 1950-ern die Daten in ausreichender Vollständigkeit und Qualität vorhanden sind.

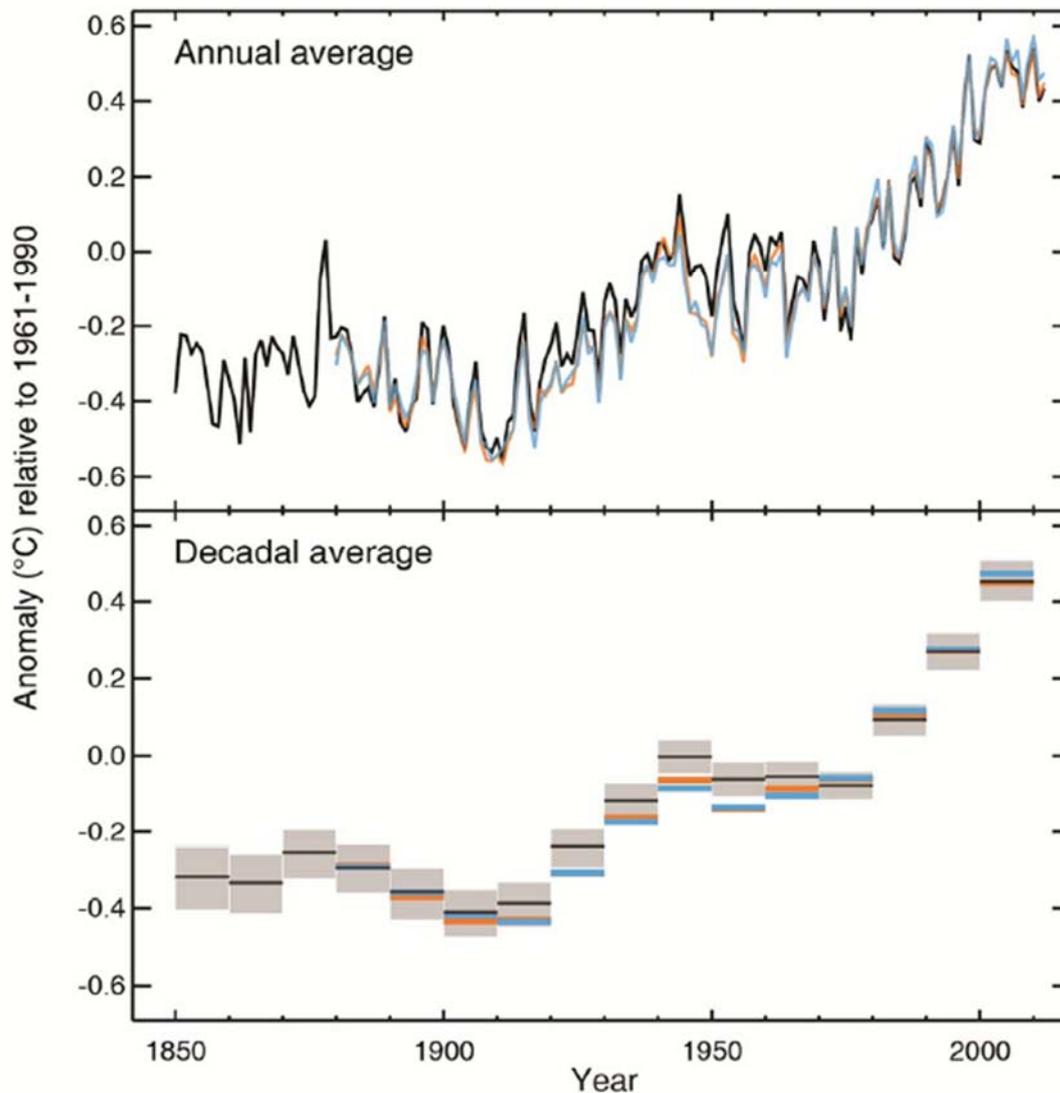


Abbildung 2: Die gemessene globale Erwärmung seit 1850, basierend auf mehrere Datensätze (Rahmstorf, 2013)

Der IPCC-Bericht kündigt für die kommenden beiden Jahrzehnte jeweils eine Erwärmung von $0,2^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt an. „Selbst wenn die Konzentrationen aller Treibhausgase und Aerosole auf dem Niveau von 2000 konstant gehalten würden, wäre eine weitere Erwärmung von $0,1^{\circ}\text{C}$ pro Jahrzehnt zu erwarten.“ (IPCC 2007, S. 12)

Die Temperaturentwicklung bis zum Ende des 21. Jahrhunderts gemäß IPCC 2007 ist in Abbildung 3 dargestellt. Zum einen ist in der Grafik die tatsächliche Temperaturentwicklung zwischen den Jahren 1900 und 2000 dargestellt, zum anderen sieht man die möglichen Klimaszenarien. Diese Grafik basiert auf eine sehr umfangreiche Berechnung. Da die Erderwärmung nicht überall gleich stark zunimmt, wurde die Erde in zahlreiche kleinere Regionen unterteilt. Für all diese Regionen wurde die Erderwärmung zufolge verschiedener Szenarien berechnet. Aus den zahlreichen Regionen wurden anschließend die Mittelwerte der verschiedenen Klimaszenarien ermittelt. Die durchgezogenen Striche stellen die Mittelwerte der globalen Klimamodelle dar, die färbigen Schattierungen zeigen die Bandbreite bei einer Standardabweichung von 10% der einzelnen Modell-Jahresmittel. Ganz rechts sind die kompletten Bandbreiten der unterschiedlichen Klimaszenarien dargestellt, mit dem jeweils besten Schätzergebnis in Farbe.

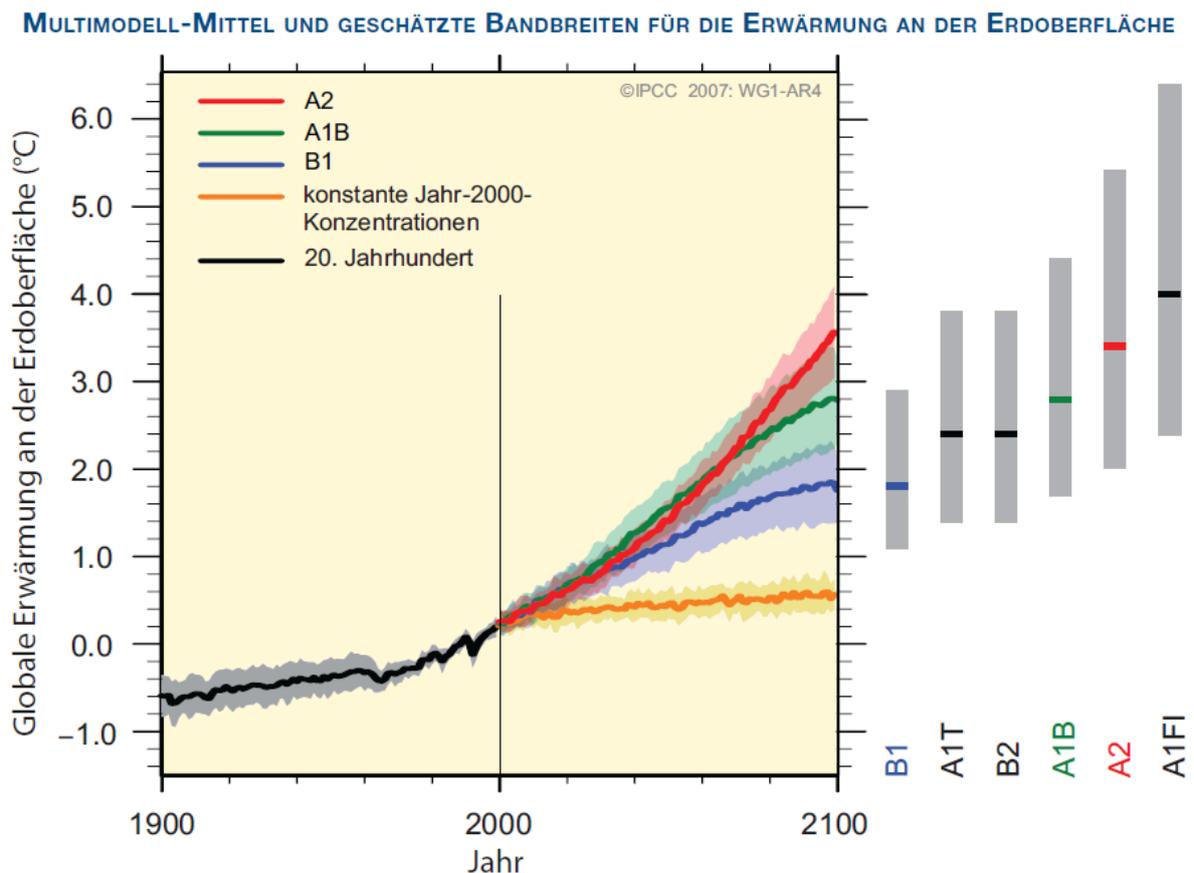


Abbildung 3: geschätzte bodennahe Erderwärmung bis 2100 im Multimodell-Mittel mitsamt Bandbreiten (IPCC 2007, S. 14)

2.2 Entwicklung des Kühlbedarfes

KRANZL, MÜLLER und FORMAYER (2011) haben sich in der Studie „Kühlen und Heizen 2050: Klimawandel und andere Einflussfaktoren“ unter anderem mit der Entwicklung des Kühlbedarfs bis 2050 in Österreich beschäftigt. Abbildung 4 zeigt die drei Zukunftsszenarien für Österreich auf denen die Kühlbedarfsentwicklung basiert. Im Gegenteil zur Abbildung 3, welche die globale Erwärmung darstellt, liegt die Erwärmung aufgrund A1B für Österreich über dem Wert aus Szenario A2.

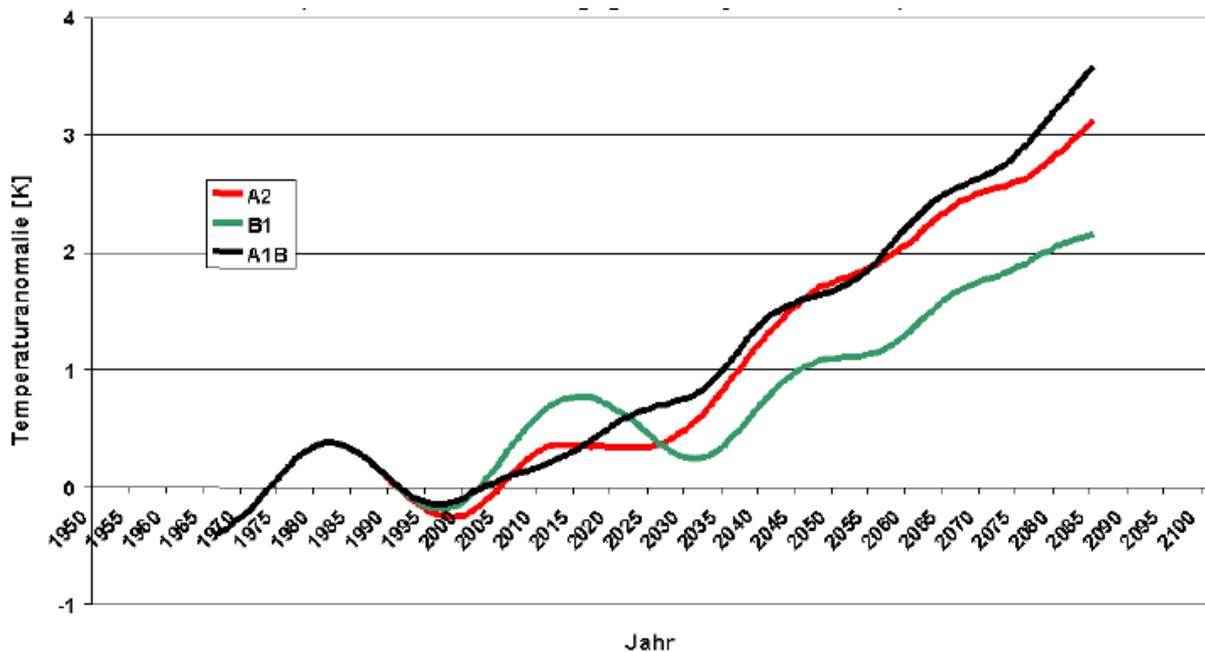


Abbildung 4: Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Österreich bezogen auf die Jahre 1961-1990 (Kranztl, Müller, & Formayer, 2011, S. 3)

Basierend auf der berechneten Temperaturentwicklung (vgl. Abbildung 4) wurden von KRANZL ET AL. (2011) die Entwicklung der Kühlgradtage berechnet.

Die Berechnung der Kühlgradtage erfolgte in dieser Studie nach Gleichung 1, der amerikanischen Definition der „Heating and Cooling Degree Days“ (HDD und CCD). Dabei wird eine Temperatur von 65 °F (18,3 °C) als „Balance Point Temperature“ bezeichnet. Dies bedeutet, dass Tage mit einer Tagesmitteltemperatur unter 18,3°C als Heizgradtage und jene über 18,3°C als Kühlgradtage bezeichnet werden. (Prettenthaller, et al., 2007)

$$CDD(T_1, T_2) = \sum_{t=T_1}^{T_2} (\theta_t - 18,3)$$

Gleichung 1

Das Ergebnis dieser Berechnung für die Periode 2036-2065 ist in Abbildung 5 dargestellt. Abbildung 6 zeigt im Vergleich dazu, die beobachteten Kühlgradtage aus der Periode 1961-1990.

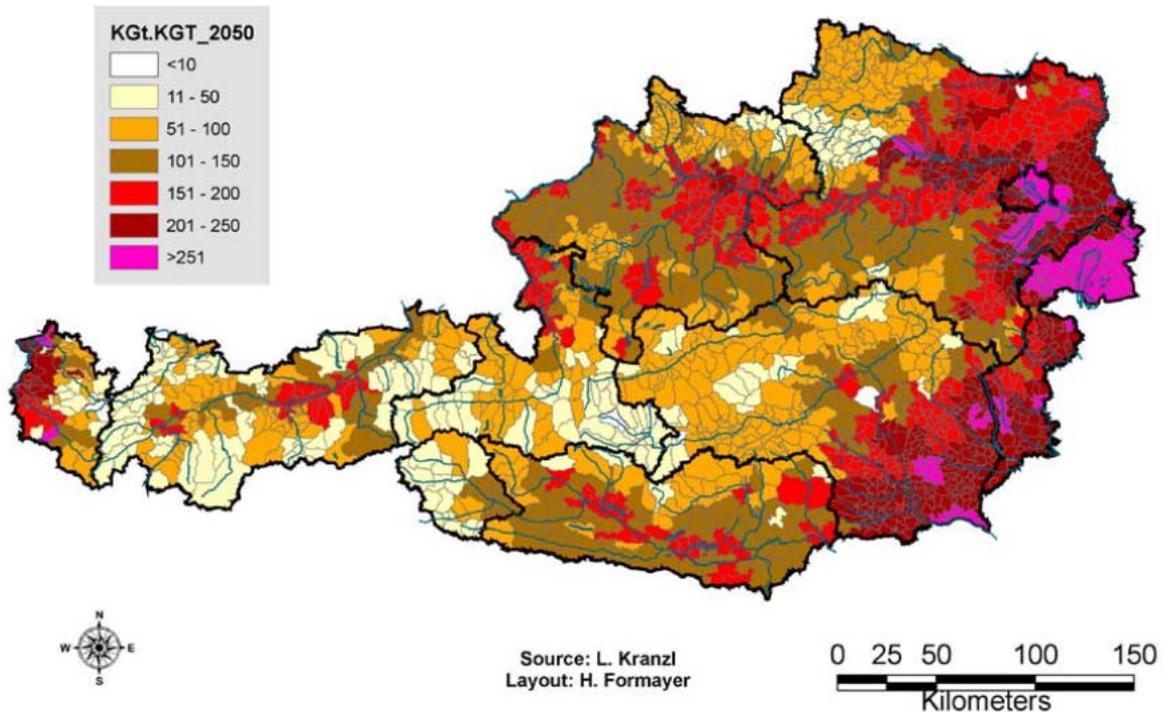


Abbildung 5: Mittlere Kühlgradtage auf Gemeindeebene in Österreich für die Periode 2036-2065 zufolge Klimaszenario A1B (Kranzl, Müller, & Formayer, 2011, S. 6)

Wenn man die vorhergehende Abbildung mit der folgenden vergleicht, ist ein starker Anstieg bei den Kühlgradtagen zu erkennen. Während in der Periode 1961-1990 nur in vereinzelt Gemeinden im Osten Österreichs, zwischen 151 und 150 Kühlgradtage erreicht wurden, werden für die Periode 2036-2065 bereits in allen Bundesländern solche Werte prognostiziert. In Ostösterreich wird die Anzahl der Kühlgradtage teilweise sogar auf über 250 Tage ansteigen.

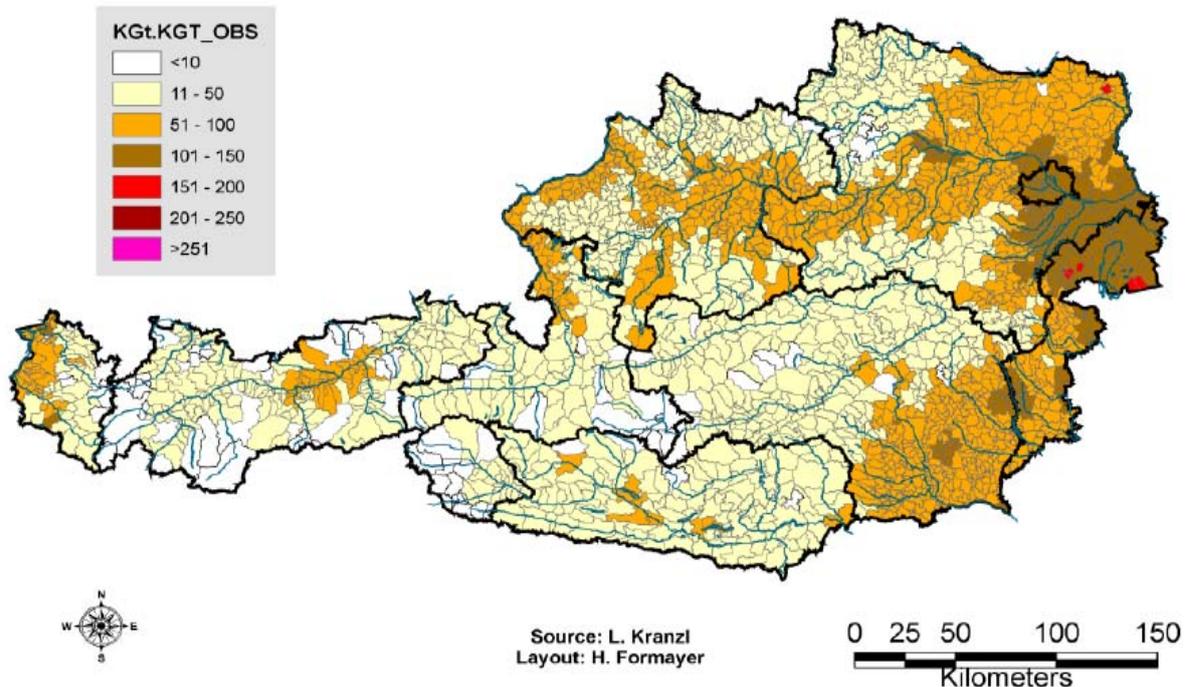


Abbildung 6: Mittlere beobachtete Kühlgradtage auf Gemeindeebene in Österreich 1961-1990 (Kranzl, Müller, & Formayer, 2011, S. 5)

Für die Berechnung der Kühlenergie-Nachfrage wurden die mittlere spezifische Nutzfläche je Gebäude, der Anteil an klimatisierten Flächen nach Gebäudekategorien und Gemeinden sowie Referenz-Energieverbräuche für Kühlung nach unterschiedlichen Gebäudetypen erhoben.

„Auf Basis dieser Daten wurde der Kühlenergiebedarf unter Berücksichtigung des Anstiegs der Kühlgradtage (KGT) für jede Gemeinde i , jede Gebäudekategorie j , für Voll- und Teilklimatisierung (k) und jede Dekade bis zum Jahr 2050 (t) ermittelt und schließlich aufaggregiert.“ (Kranzl, Müller, & Formayer, 2011, S. 7)

Des Weiteren wurden zwei unterschiedliche Trends unterschieden. Der klimasensitive Trend geht davon aus, dass die Entwicklung des Kühlbedarfs vor allem von der Temperaturentwicklung abhängig ist. Der sogenannte nicht klimasensitive Faktor ist durch den Trend zur Klimatisierung, den steigenden Komfortanspruch und den menschlichen Verhaltensmustern geprägt.

Aus den verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten der beiden Trends entstehen vier verschiedene Szenarien. In Abbildung 7 sind diese vier Szenarien mit den Klimaszenarien A1B, A2 und B1 für Österreich (vgl. Abbildung 4) überlagert. Dabei steht die

Bezeichnung Trend ja/ Trend nein für den Ausmaß des nicht-klimasensitiven Trends zur Raumklimatisierung. Klima-Trend hoch beziehungsweise Klima-Trend nieder stehen für die Intensivität des klimasensitiven Trends, also der Erderwärmung.

Da im Szenario A1B Trend ja, Klima-Trend hoch durch zugrundeliegende technische Entwicklung mit einer Steigerung der Energieeffizienz zu rechnen ist, werden die Szenarien *A2 Trend ja, Klima-Trend hoch*, *A1B Trend ja, Klima-Trend nieder* und *B1 Trend nein, Klima-Trend nieder* als Hauptszenarien gesehen.

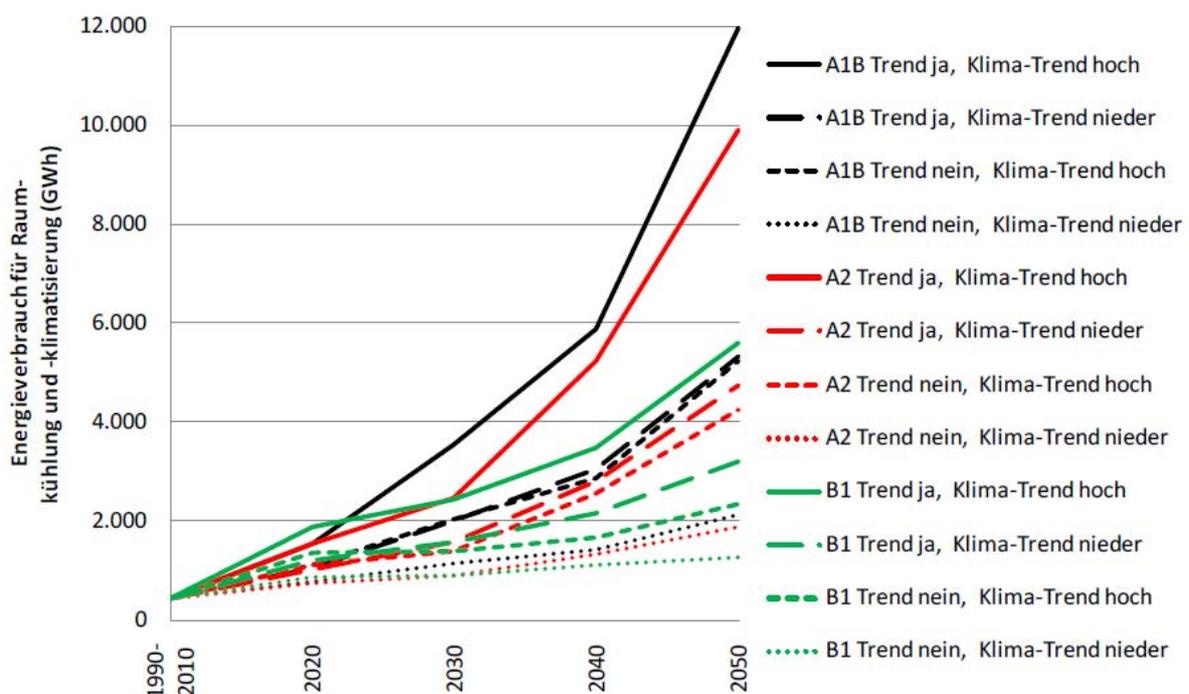


Abbildung 7: Szenarien des Energieverbrauchs für Raumkühlung und Klimatisierung in Österreich (Kranzl, Müller, & Formayer, 2011, S. 12)

Basierend auf den drei Hauptszenarien aus Abbildung 7 wurden in der Studie von KRANZL ET AL. (2011) die möglichen Entwicklungen der klimatisierten Flächen, abhängig von verschiedenen Gebäudekategorien untersucht. Diese Szenarien sind in Abbildung 8, Abbildung 9 und Abbildung 10 dargestellt.

„Während die Anteile klimatisierter Flächen in Gebäuden des Groß- und Einzelhandels, Bürogebäuden sowie Hotels im A2-max Szenario bis zum Jahr 2050 auf etwa 90% ansteigen, beträgt dieser Wert im A1B-Szenario nur etwa 60% bis knapp 75%. Der Anteil klimatisierter Wohnflächen steigt im A2-max Szenario bis zum Jahr 2050

auf 20% bis 30%, im A1B-Szenario auf 14% bis 20%. Im B1 Szenario steigen die Anteile klimatisierter Flächen nach 2010 nur geringfügig an.“ (Kranzl, Müller, & Formayer, 2011, S. 14)

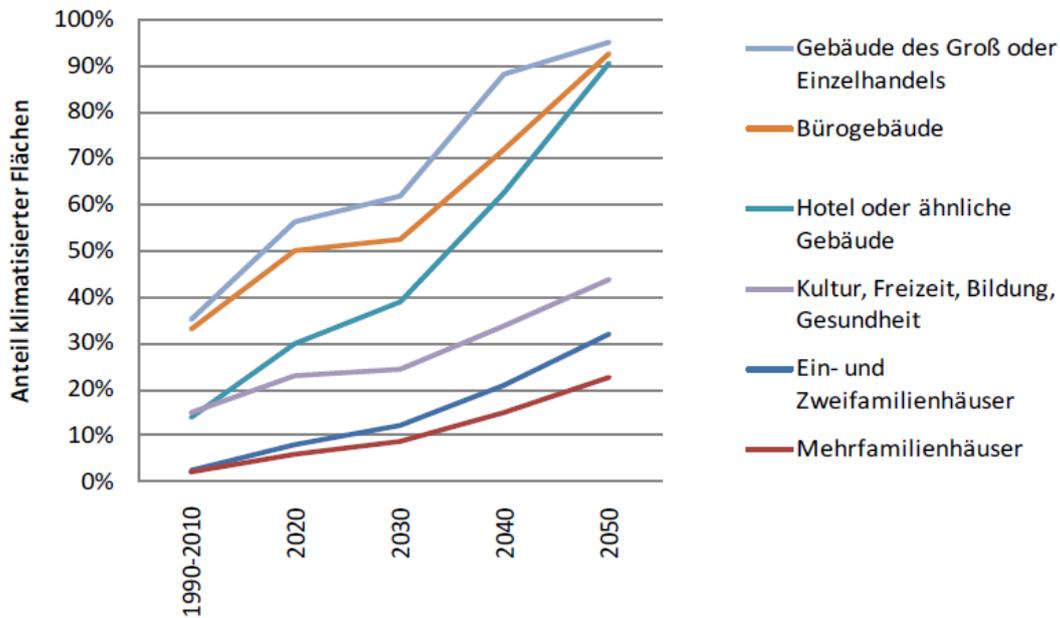


Abbildung 8: Anteils klimatisierter Flächen nach Gebäudekategorien im A2 Haupt-szenario (Kranzl, Müller, & Formayer, 2011, S. 14)

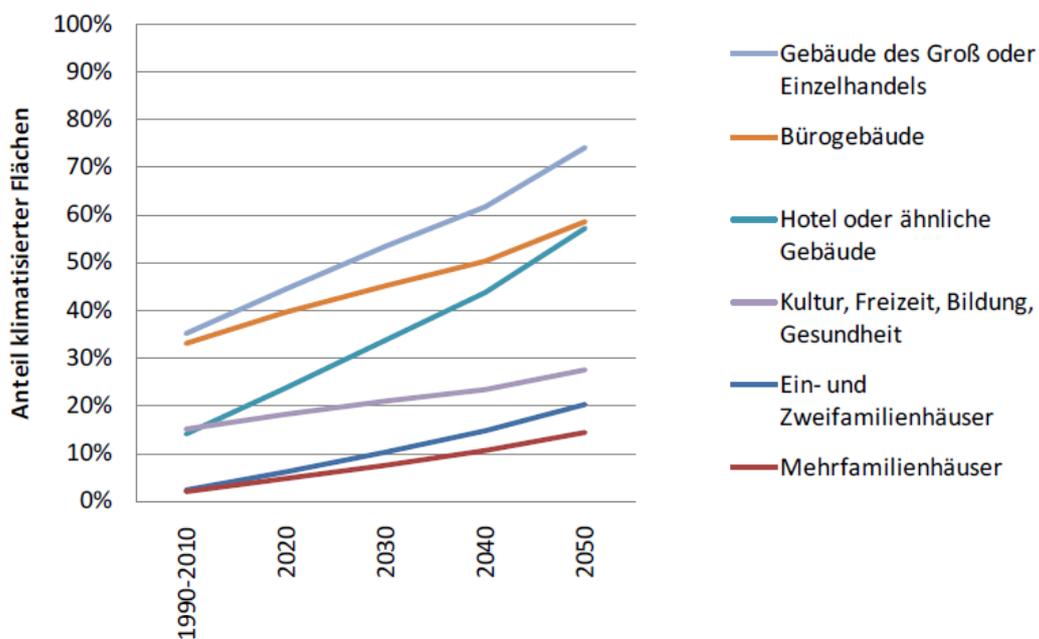


Abbildung 9: Anteils klimatisierter Flächen nach Gebäudekategorien im A1B Haupt-szenario (Kranzl, Müller, & Formayer, 2011, S. 15)

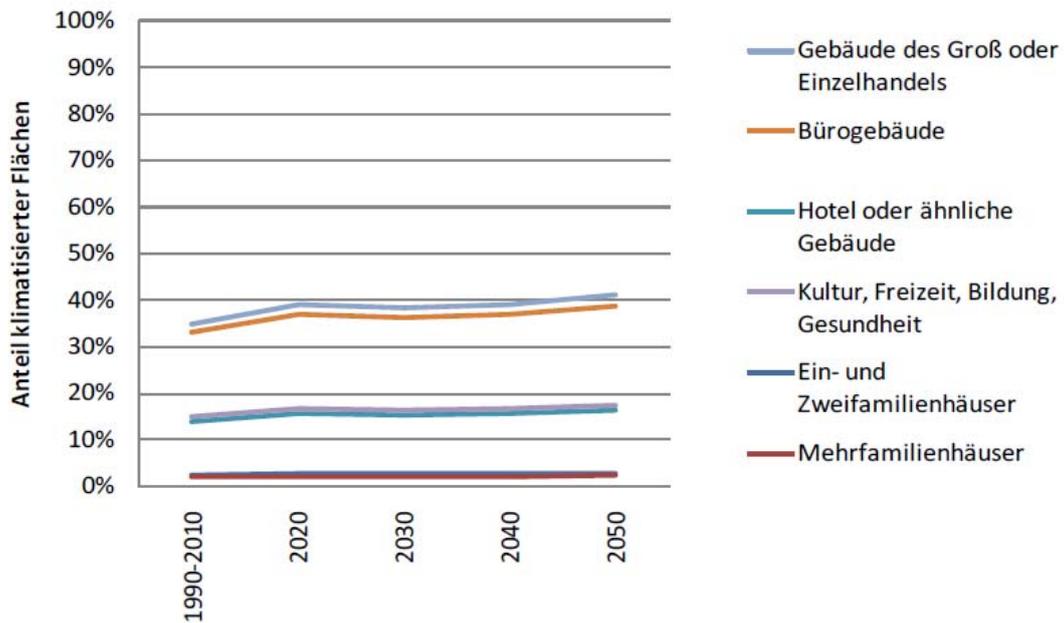


Abbildung 10: Anteils klimatisierter Flächen nach Gebäudekategorien im B1 Hauptszenario (Kranzl, Müller, & Formayer, 2011, S. 15)

Wie in den oben dargestellten Abbildungen ersichtlich, ist aufgrund der Klimaerwärmung auf alle Fälle mit einem Anstieg des Klimatisierungsbedarfes zu rechnen.

3 Möglichkeiten der Kälteerzeugung

Neben der Nutzung von Grund- und Oberflächenwasser zur Kälteerzeugung und den klassischen Klimageräten, welche auch als Kompressionskältemaschinen bezeichnet werden, gibt es auch Sorptionskältemaschinen, welche Wärme als Hauptenergieträger verwenden.

3.1 Kompressionskältemaschinen

Kompressionskältemaschinen sind elektrisch betriebene Kälteanlagen und stellen die am häufigsten verwendete Möglichkeit Kälte zu erzeugen dar. Das System basiert auf dem physikalischen Prinzip, dass beim Verdampfen einer Flüssigkeit sehr viel Wärme aufgenommen wird, welche beim Kondensieren des Dampfes wieder abgegeben wird. „Durch unterschiedliche Drücke beim Verdampfen und Kondensieren können die Temperaturniveaus so eingestellt werden, dass ein Wärmetransport von der kalten zur warmen Seite stattfindet. Da das Kältemittel hierbei im geschlossenen Kreis umläuft, spricht man vom Kältekreisprozess (...) Als Kältemittel werden leicht siedende Flüssigkeiten wie fluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), Propan, CO₂ oder NH₃ verwendet.“ (Gunt Hamburg, o.J.)

Der Zusammenhang zwischen Aggregatzustand eines Kältemittels in Abhängigkeit der Wärmezufuhr und des Drucks wird mit dem Enthalpie-Druckdiagramm, im Fachterminus als $\log p - h$ - Diagramm bezeichnet, dargestellt. Wie in Abbildung 11 ersichtlich, wird auf der Abszisse die relative Enthalpie (Wärmeinhalt) auf einer linearen Skala abgetragen. Diese drückt aus wie viel kJ Wärme in einem kg Kältemittel enthalten ist. Auf der Ordinate wird der Druck in einem logarithmischen Maßstab abgebildet. Des Weiteren werden in den Diagrammen noch Dichte, spezifisches Volumen, Flüssig – Dampfanteil und Temperatur dargestellt. (Siemens Schweiz AG, o.J., S. 12ff)

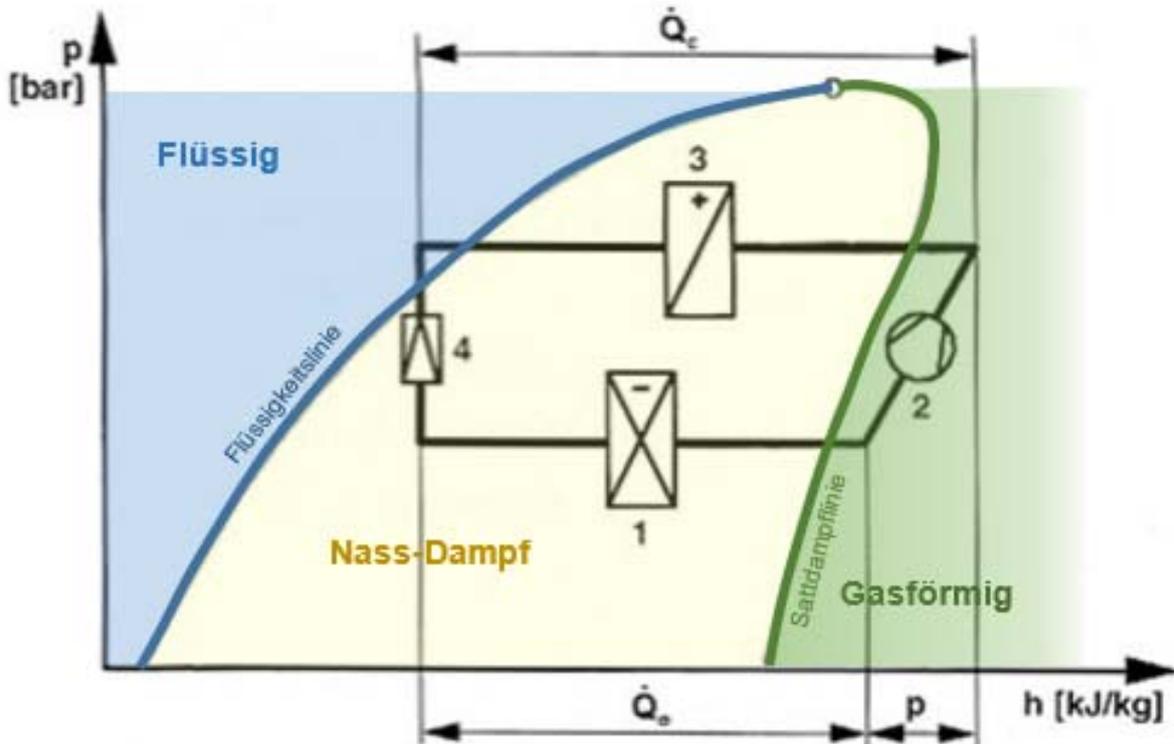


Abbildung 11: Kältekreislauf mit wichtigsten Komponenten im log p – h – Diagramm (Siemens Schweiz AG, o.J., S. 50), bearbeitet

Zieht man bei einem beliebigen Druckniveau eine horizontale Linie, so kann man die Verdampfungswärme ablesen. Dies ist jener Teil der Strecke, welcher im gelben Bereich liegt. Daraus erkennt man, dass bei steigenden Druck die erforderliche Verdampfungswärme sinkt.

Wie in Abbildung 11 dargestellt, besteht eine Kompressionskältemaschine aus Verdampfer (1), Verdichter (2), Kondensator (3) und einem Expansionsventil (4).

3.1.1 Verdampfer

Im Verdampfer wird flüssiges Kältemittel bei niedrigen Druck und niedriger Temperatur verdampft und anschließend noch zwischen fünf und acht Kelvin überhitzt. Die dafür erforderliche Wärme wird dem zu kühlenden Medium durch Wärmetauscher entzogen. Durch die Überhitzung wird sichergestellt, dass nach dem Verdampfungsprozess reines Gas im System ist. Flüssigkeit würde im Verdichter durch sogenannte Flüssigkeitsschläge Schäden anrichten.

Die Wärmetauscher können vielfältig ausgeführt werden. Beispiele dafür sind Direktverdampfer und Indirektverdampfer, sowie Rohrbündelverdampfer und auch Plattenwärmeüberträger.

Abbildung 12 zeigt einen Direktverdampfer. In diesem wird das Kältemittel in einem Rohrsystem geführt und diese Rohre werden vom zu kühlenden Medium umströmt. Dabei wird die Wärme des zu kühlenden Mediums vom Kühlmittel abgegriffen. Das Medium wird abgekühlt während das Kühlmittel verdampft.

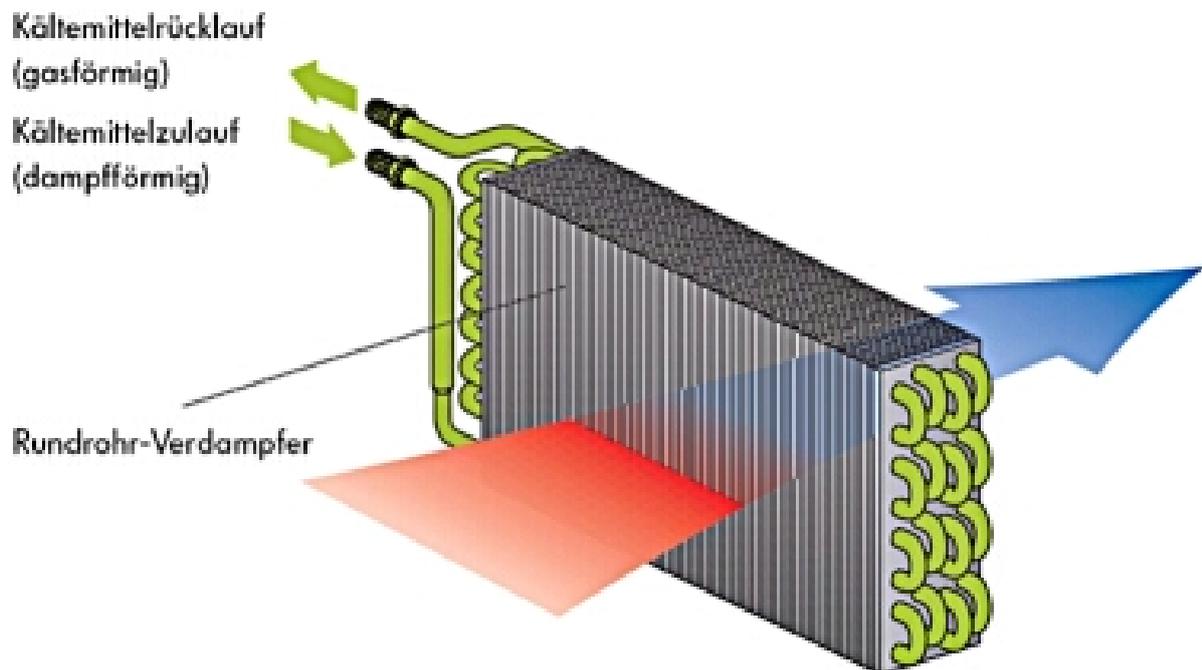


Abbildung 12: Direktverdampfer (Wiesinger, 2013)

3.1.2 Verdichter

Der Verdichter saugt das gasförmige Kältemittel vom Verdampfer ab und verdichtet es. Mit hohem Druck und auf zirka 60 bis 120 °C überhitzt, wird es anschließend zum Kondensator weiter gepresst. Die Verdichtung erfolgt am häufigsten mittels einem Hubkolbenverdichter, welcher in seiner Funktionsweise mit einem Verbrennungsmotor vergleichbar ist.

3.1.3 Kondensator

Der Kondensator, auch Verflüssiger genannt, ist ein Wärmetauscher. Dieser verflüssigt und unterkühlt das gasförmige Kühlmittel durch Wärmeabgabe an ein Kühlmedium. Dabei wird die gesamte Wärme, welche in Verdampfer und Verdichter aufgenommen wurde, wieder abgegeben. Durch das Unterkühlen des Kühlmittels wird gewährleistet, dass in der Flüssigkeitsleitung reine Flüssigkeit ist.

Als Kühlmedium werden Wasser und Luft verwendet. Die Funktionsweise ist prinzipiell ähnlich dem Verdampfer. So kommen neben Rohrbündelverflüssiger vorwiegend auch Lamellenverflüssiger zum Einsatz.

3.1.4 Expansionsventil

Durch das Expansionsventil wird der hohe Druck und die hohe Temperatur des flüssigen Kühlmittels nach dem Verflüssiger auf das, für den Verflüssiger erforderliche niedrige Druck- und Temperaturniveau reduziert. Zusätzlich hat das Expansionsventil die Aufgabe, die Füllung des Verdampfers und somit die Leistung der Kompressionskälteanlage zu regeln.

Dies geschieht mithilfe einer Drossel durch die das Kältemittel expandieren kann. „Unmittelbar vor dem Expansionsventil befindet sich das flüssige Kältemittel etwas unterhalb seiner Siedetemperatur. Durch die plötzliche Drucksenkung geschieht eine Zustandsänderung. Das Kältemittel fängt an zu siedeln und verdampft bei einer niedrigen Temperatur. Diese Verdampfung vollzieht sich im Verdampfer, womit sich der (...) Kältekreislauf schließt.“ (Danfoss, 2006, S. 12)

3.2 Sorptionskältemaschinen

Prinzipiell sind Sorptionskältemaschinen und Kompressionskältemaschinen sehr ähnlich aufgebaut. So bestehen Sorptionskältemaschinen im Wesentlichen auch aus Verdichter, Verflüssiger, Drossel und Verdampfer. Des Weiteren spricht man bei Sorptionskältemaschinen auch von einem Kältemittelkreislauf bei dem „reines Kältemittel im Verdampfer bei niedrigen Druck und externer Wärmezufuhr verdampft, der Dampf auf höheren Druck und höhere Temperatur verdichtet, im Kondensator unter Abgabe der Verdampfungswärme an ein externes Kühlmedium verflüssigt und im Expansionsventil

auf Niederdruck entspannt.“ (Siemens Schweiz AG, o.J., S. 86) Der wesentliche Unterschied ist, dass der Prozess auf die Sorption, also der Aufnahme von flüchtigen Gas (Sorbit) durch flüssige beziehungsweise feste Stoffe (Sorbens) basiert und als Energieträger, statt elektrischer Energie wie bei der Kompressionskältemaschine, Wärmeenergie verwendet wird.

Durch diese Unterschiede verändert sich der Verdichter im Vergleich zum jenem in Kompressionskältemaschinen erheblich. An die Stelle eines mechanischen Kompressors tritt ein sogenannter „thermochemischer Verdichter“, ein Lösungsmittel-Kreislauf.

Wird ein flüssiger Stoff als Sorbens verwendet, bezeichnet man die Anlage als Absorptionskältemaschine, bei Verwendung von festen Sorbens (Adsorbens) spricht man hingegen von einer Adsorptionskältemaschine.

3.2.1 Kältemittelkreislauf

Der Kältemittelkreislauf ist jener Anlagenteil, welcher mit der Kompressionskältemaschine identisch ist. Dieser Anlagenteil besteht aus Kondensator, Drossel und Verdampfer und schließt an der Stelle des Verdichters an den Lösungsmittelkreislauf an.

3.2.2 Lösungsmittelkreislauf

Dieser Kreislauf wird auch als thermochemischen Verdichter bezeichnet. Sein Aufbau ist abhängig davon ob man eine Absorptionskältemaschine oder eine Adsorptionskältemaschine betreibt.

3.2.2.1 Absorptionskältemaschinen

Bei der Absorptionskältemaschine wird im Absorber der Niederdruck-Kältemitteldampf versprüht. Dieser Sprühnebel wird durch ein flüssiges Lösungsmittel aufgenommen. Bei diesem Vorgang wird Wärme freigesetzt, welche abgeführt werden muss. Anschließend kommt das mit Kältemittel angereicherte, flüssige Lösungsmittel über die Lösungsmittelpumpe und den Temperaturwechsler in den sogenannten Austreiber. Der Austreiber wird auch als Kocher oder Generator bezeichnet. Dieses Anlagenteil wird dermaßen erwärmt, dass das Kältemittel aus dem Lösungsmittel verdampft. Der

entstandene Kältemitteldampf strömt weiter in den Kältemittelkreislauf und durchläuft diesen, bis er wieder beim Lösungsmittelkreislauf eintritt. Das reine Lösungsmittel wird nach dem Austreiber über einen Temperaturwechsler in den Absorber zurückgeführt und verbleibt ausschließlich im Lösungsmittelkreislauf.

Die mit Abstand am häufigsten verwendeten Arbeitsstoffpaare bei Absorptionskältemaschinen sind:

- Wasser - Lithiumbromid
- Ammoniak – Wasser

Für alle Arbeitsstoffpaare gilt, dass der erstgenannte Stoff stets das Kältemittel und der zweitgenannte Stoff das Lösungsmittel bezeichnet. (vgl. Siemens Schweiz AG, o.J., S. 86 ff)

Die Grafische Darstellung des Absorptionsprozesses erfolgt im sogenannten $\log p - 1/T$ – Diagramm. Abbildung 13 zeigt einen idealisierten Absorptionsprozess im $\log p - 1/T$ – Diagramm.

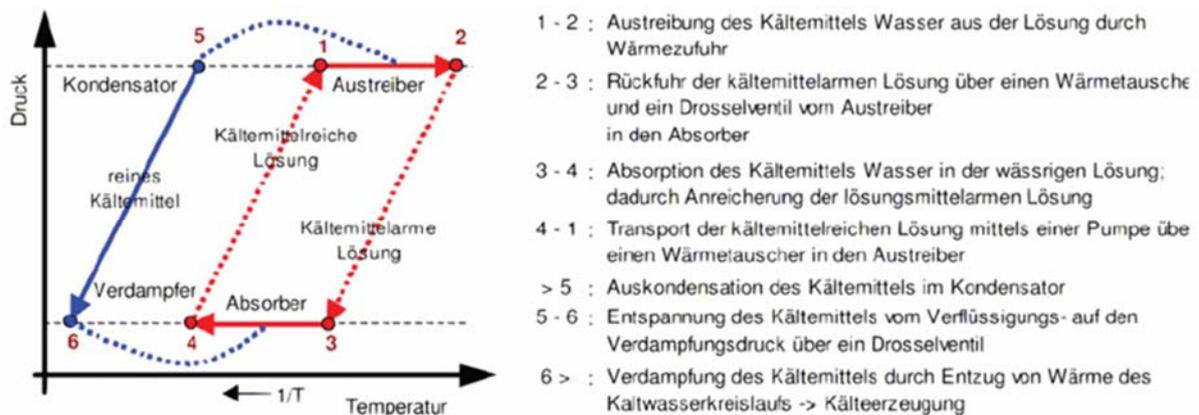


Abbildung 13: idealisierter Absorptionsprozess im $\log p - 1/T$ – Diagramm (Händel, 2010)

Abbildung 14 zeigt den Aufbau einer Absorptionskältemaschine (rechts) im Vergleich zu einer Kompressionskältemaschine (links). Die rote Markierung zeigt, wie der Verdichter der Kompressionskältemaschine, bei der Absorptionskältemaschine durch den thermochemischen Verdichter ersetzt wird.

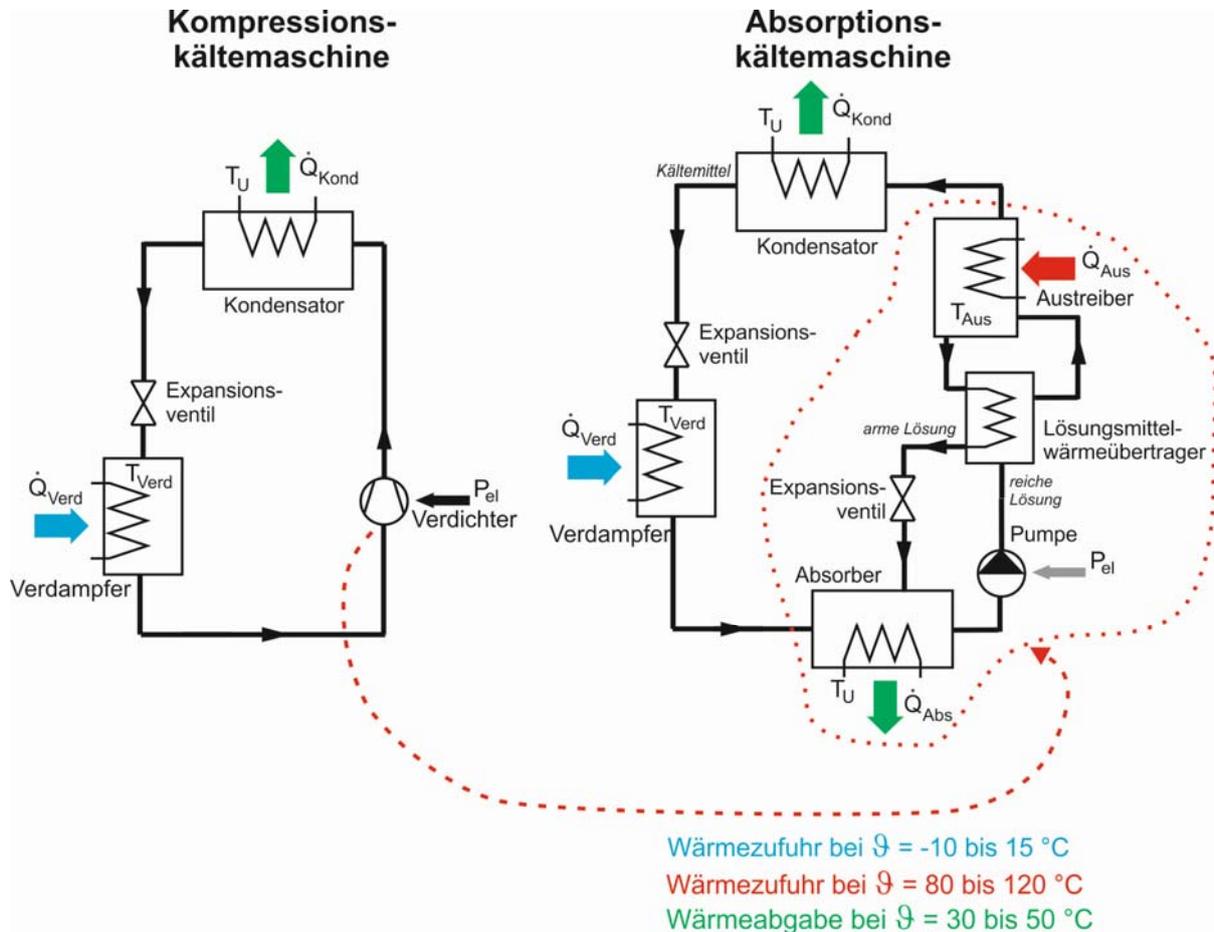


Abbildung 14: Kompressionskältemaschine und Absorptionskältemaschine im Vergleich (Universität Stuttgart, 2013)

3.2.2.2 Adsorptionskältemaschinen

In Adsorptionskältemaschinen werden feste, hochporöse und stark hygroskopische Stoffe als Lösungsmittel verwendet. Zu zählen unter anderem Aktivkohle, SilicaGel oder Zeolith.

Der Adsorptionsvorgang besteht aus den grundlegenden Schritten Adsorption und Desorption.

- **Adsorption**

Das flüssige Kältemittel nimmt die überschüssige Wärme von der Kühlflüssigkeit ab und verdampft dadurch. Dieser Kältemitteldampf wird vom Adsorber aufgenommen.

- **Desorption**

Bei der Desorption wird das Adsorbens durch Wärmezufuhr getrocknet. Das freigesetzte Kältemittel strömt in den Kondensator, wo es verflüssigt.

Da Feststoffe, nicht wie flüssige Lösungsmittel in einem Kreislauf geführt werden können, wird der Lösungsmittelkreislauf bei Adsorptionskältemaschinen mittels zwei voneinander getrennten Kammern ausgeführt. Wie in Abbildung 15 dargestellt, erfolgt der Adsorptionsvorgang antizyklisch in den beiden Kammern zueinander versetzt. Dies bedeutet, dass während in der einen Kammer der Adsorptionsvorgang von statten geht, geschieht zeitgleich in der zweiten Kammer die Desorption.

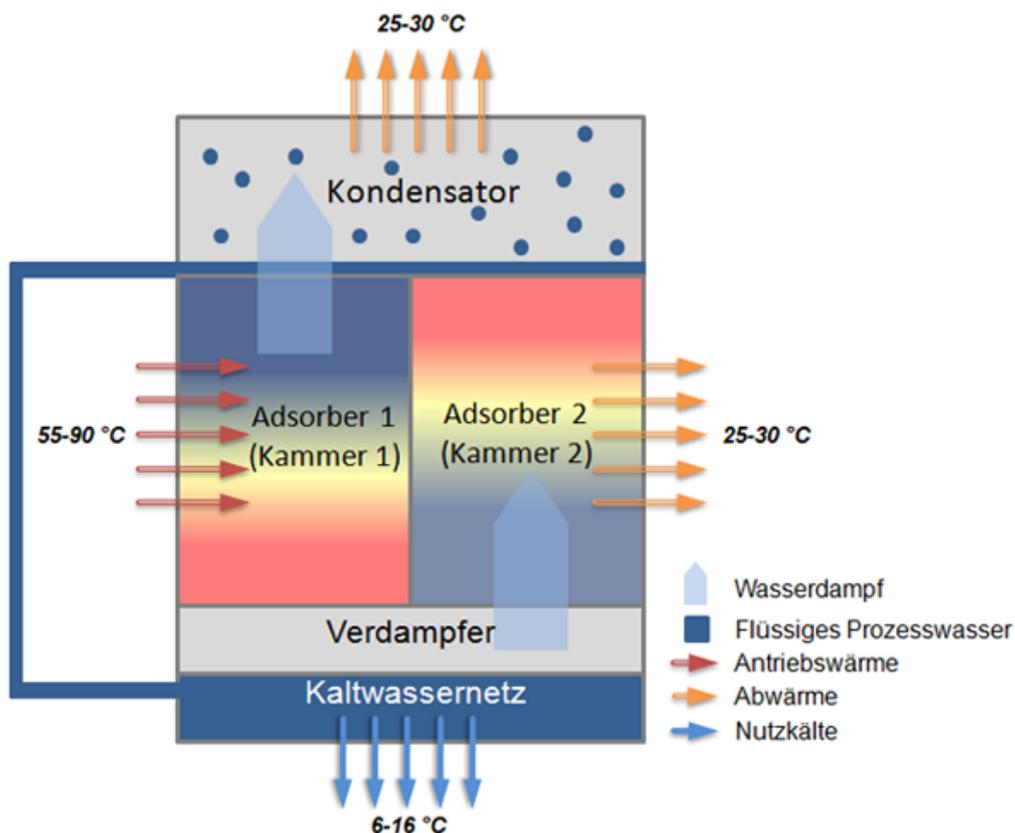


Abbildung 15: Adsorptionskältemaschinenzyklus (Schade, o.J.)

Am Ende der beiden Schritte folgt eine kurze Unterbrechung bei der die durch die Desorption stark erhitze Kammer durch Wärmeübertragung abgekühlt wird und dabei die kühle Kammer von der Adsorption erhitzt wird. Danach wiederholt sich der Vorgang in den getauschten Kammern. (vgl. Schade, o.J.)

3.3 Free Cooling

Beim Free Cooling verwendet man natürliche Kältequellen, welche über Wärmetauscher den Kühlkreislauf mit Kälte versorgen. Diese natürlichen Kältequellen können Grundwasser, Meereswasser, Flusswasser, Schnee aber auch Außenluft sein.

Die Bezeichnung Free Cooling stammt von den günstigen Betriebskosten dieses Systems. Da diese Kältequellen nur noch wenig weitere Energie benötigen ist die Kälteerzeugung beim Free Cooling quasi kostenfrei.

Im Vergleich zu Kompressionskältemaschinen und Sorptionskältemaschinen ist Free Cooling nicht überall einsetzbar, sondern nur dort wo natürliche Kältequellen in ausreichender Menge verfügbar sind.

3.4 Nutzung von Wasser für die Kühlung

Laut WALLISCH (2014) sind bei der Verwendung von Grund- und Oberflächenwasser für Kühlung grundsätzlich nur die rechtlichen Rahmenbedingungen von Bedeutung. Technisch gesehen muss das Wasser sowohl als Kühlwasser für Kältemaschinen als auch für Free Cooling lediglich frei von Grobstoffen sein. Dies bedeutet, dass eine einfache Grobfilterung als Vorbehandlung ausreichend ist. Aufgrund der sehr kurzen Durchflusszeit und den relativ kühlen Wassertemperaturen sind weder eine Verkeimung des Wassers noch Ablagerungen im System für den Betrieb von Bedeutung.

Weitaus schwieriger verhält sich Meereswasser, bei dem vor allem Muscheln große betriebliche Probleme verursachen können. Durch Muscheln können Filter und Leitungen zuwachsen. Ein weiteres, jedoch überwindbares Problem, ist der Salzgehalt des Meereswassers. Durch spezielle Legierungen kann man Leitungen vor dem aggressiven Verhalten des Meersalzes schützen.

Für Free Cooling kann Wasser, aus technischen Gründen, nur bis zu einer Entnahmetemperatur von maximal 10°C verwendet werden. Dieses Wasser wird im Rahmen des Kühlprozesses um fünf Kelvin erwärmt.

Kühlwasser zur Rückkühlung von Kompressions- und Sorptionskältemaschinen darf eine maximale Entnahmetemperatur von 25°C aufweisen.

3.5 Einsatz der verschiedenen Kälteerzeugungen

Free Cooling eignet sich aufgrund rechtlicher Einschränkungen bei der Rückgabetemperatur (vgl. Rechtliche Grundlagen) als auch aufgrund technischer Grenzen bei der Kälteabnahme, vorwiegend zur Deckung der Grundkühllast. (Wallisch A. , 2014)

Da vor allem in den Sommermonaten von den Verbrauchern nur wenig Heizungsenergie benötigt wird, und Wärme übermäßig vorhanden ist, eignet sich der Einsatz von Sorptionskältemaschinen besonders für die Kühlung in dieser Zeit.

Aufgrund der Verwendung von Strom als Energieträger, werden Kompressionskältemaschinen in nahezu allen bereits bestehenden Fernkältenetzen zur Deckung der Spitzenlast verwendet.

Abbildung 16 zeigt den Einsatz der verschiedenen Kälteerzeugungen im Jahreslauf am Beispiel Kopenhagen.

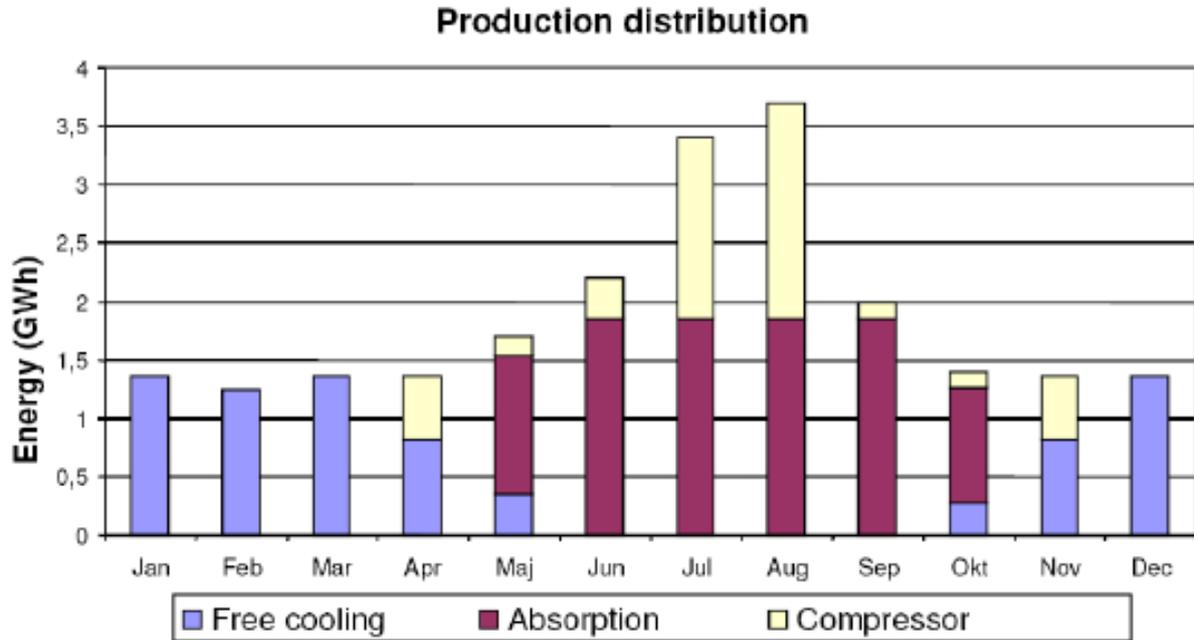


Abbildung 16: Einsatz verschiedener Kühlmöglichkeiten im Jahreslauf am Beispiel Kopenhagen (Wien Energie, o.J.)

3.6 Energieeffizienz verschiedener Anlagen

Anhand des Primärenergiefaktors können Effizienz und Kohlendioxid-Emissionen verschiedener Systeme miteinander verglichen werden.

Dieser Primärenergiefaktor (PEF) ist das dimensionslose Verhältnis zwischen der erreichten Endenergie und der dafür notwendigen Primärenergie. Dabei steht Q_P für den Input, also jene Menge an Strom oder Wärme, welche für die Erzeugung der gewünschten Endenergie (Output, Q_E) erforderlich ist.

$$PEF = \frac{Q_P}{Q_E}$$

Gleichung 2

In Abbildung 17 sind typische Primärenergiefaktoren der unterschiedlichen Anlagen dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass durch den Einsatz von Fernkälte (district cooling) ein erhebliches Maß an Strom eingespart werden kann. Ein ähnliches Einsparungspotential zeigt Abbildung 18, welche typische Kohlendioxidemissionen der verschiedenen Kälteanlagen zeigt.

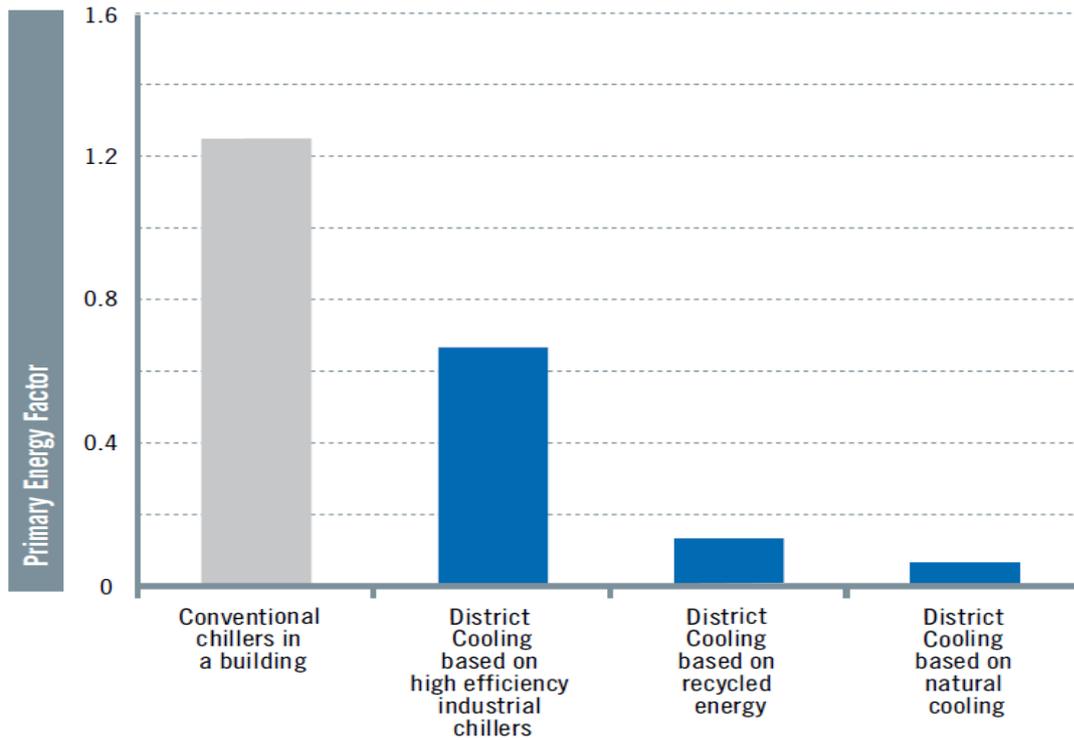


Abbildung 17: Vergleich typischer Primärenergiefaktoren bei konventionellen Klimageräten und den verschiedenen Fernkältelösungen (Euroheat & Power, o.J., S. 5)

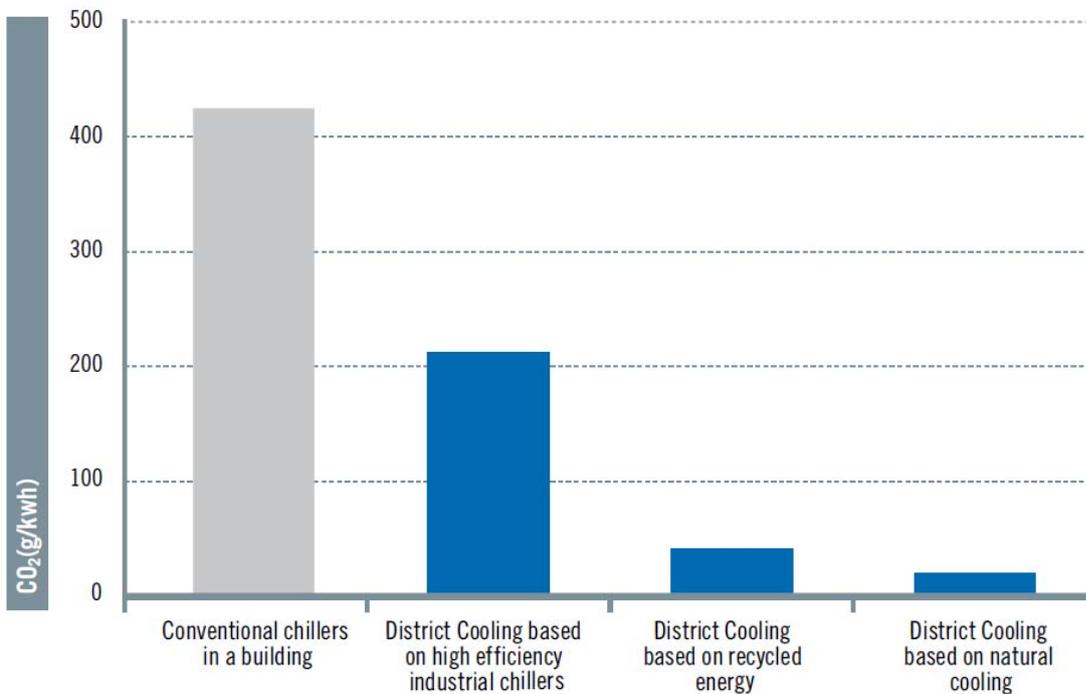


Abbildung 18: Vergleich typischer Kohlendioxid-Emissionen bei konventionellen Klimageräten und den verschiedenen Fernkältelösungen (Euroheat & Power, o.J., S. 6)

3.7 Fernkälte

Fernkälte besteht im Prinzip aus einer riesigen Kältemaschine welche über ein Leitungsnetz mehrere Nutzer versorgt. Meist werden im Netz noch Kältespeicher als Sicherheitseinrichtung eingebaut.

3.7.1 Kältespeicher

Kältespeicher werden nicht, zur Kälteerzeugung verwendet, sondern werden von diesen beladen und dienen als Reserve bei Ausfällen der Kältemaschinen sowie als Unterstützung der Anlagen bei Lastspitzen.

Laut Siemens (o.J., S. 76) werden zwei Arten der Kältespeicher unterschieden:

- **Kaltwasserspeicher**

Die sogenannten Kaltwasserspeicher werden meist als Pufferspeicher im Kaltwassernetz eingesetzt um Kälteenergie für kurze Zeiträume zu speichern.

- **Eisspeicher**

Die weitaus bedeutenderen Eisspeicher werden auch Latentspeicher genannt und bedienen sich der rund 80-mal größeren Speicherfähigkeit von Eis gegenüber jener von Wasser.

Zu günstigen Zeiten, wie beispielsweise in der Nacht mittels Nachtstrom oder bei geringen Kühlbedarf, wird in den Eisspeichern Eis erzeugt. Mittels eines Bypass ist der Eisspeicher mit dem Kühlsystem verbunden und wird bei Lastspitzen aktiviert.

Die häufigsten Bauarten von Eisspeichern sind Direktverdampfersysteme, Eisspeicher mit spiralförmig angeordneten Wärmetauscherrohren und Eisspeicher mit wassergefüllten Kunststoffkugeln. Bei den ersten beiden Systemen sind außen vereiste Rohrleitungen im Eisspeicher verlegt durch welche das Kühlmittel für die Klimatisierung geführt wird. Eisspeicher mit wassergefüllten Kunststoffkugeln können auf einfachster Art und Weise mit Eiswürfel in einem Getränk verglichen werden. Im Eisspeicher werden die Eiskugeln vom Kühlmittel umflossen, wodurch das Kühlmittel abkühlt.

3.7.2 Kältebereitstellung

3.7.2.1 Zentrale Fernkälteerzeugung

Bei der zentralen Fernkälteerzeugung wird an einem günstig gelegenen Standort die Fernkälte erzeugt und über ein eigenes Fernkälteleitungssystem zum Kunden befördert. Dort wird die Kälte mittels Wärmetauscher vom Kunden abgenommen. Für die Kälteerzeugung eignen sich sowohl Kompressions- als auch Sorptionskältemaschinen.

3.7.2.2 Dezentrale Fernkälteerzeugung

Die dezentrale Fernkälteerzeugung erfolgt in Gebieten, in denen keine Fernkälteleitung, jedoch eine Fernwärmeleitung vorhanden ist. Mittels kleinerer Absorptionskältemaschinen wird beim Kunden vor Ort aus der gelieferten Fernwärme, Kälte erzeugt. Je nach Anbieter befindet sich die Absorptionsmaschine mitsamt allen dazugehörigen Verpflichtungen beim Anbieter oder beim Kunden.

3.7.3 Vor- und Nachteile von zentraler und dezentraler Kälteerzeugung

Tabelle 1 stellt die Vorteile und Nachteile von zentraler und dezentraler Kälteerzeugung aus der Sicht des Kunden dar. Daraus ist ersichtlich, dass die klassische Fernkälte, bei der die Kälte durch ein Kälteleitungssystem zum Kunden gebracht wird, für den Kunden die größten Vorteile bringt. Hierbei kauft der Kunde lediglich die Kälte und braucht sich weder um Anlagen noch um die Versorgungssicherheit sorgen. Bei der dezentralen Kälteerzeugung bringt das Modell, bei dem der Energieversorger die Anlage betreibt, erheblich größere Vorteile als jenes, bei dem der Kunde lediglich die Fernwärme abnimmt und selbst eine Absorptionskältemaschine betreibt. Beim Modell mit dem Energieversorger als Anlagenbetreiber muss der Kunde zwar ausreichend Platz zur Verfügung stellen und selbst mit dem entstehenden Lärm zulange kommen, aber der Kunde ist von sonstigen Belastungen befreit.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile für den Kunden bei zentraler und dezentraler Kälteerzeugung (vgl. Berliner Energieagentur GmbH, 2009, S. 31)

	Zentrale Fernkältebereitstellung	Dezentrale Kälteerzeugung	
<i>Kältemaschinen im Besitz von</i>	Energieversorger	Energieversorger	Kunde
<i>Investitionen</i>	Energieversorger	Energieversorger	Kunde
<i>Wartung durch</i>	Energieversorger	Energieversorger	Kunde
<i>Probleme beim Betrieb</i>	Keine	Hygieneprobleme möglich	Hygieneprobleme möglich
<i>Platzbedarf</i>	Keiner	Platz erforderlich	Platz erforderlich
<i>Betriebsrisiko</i>	Energieversorger	Energieversorger	Kunde
<i>Geräusche</i>	Keine	Ja	Ja

3.7.4 Ausführungsbeispiele

3.7.4.1 Toronto

Das Fernkältenetz von Toronto wird hauptsächlich über das sogenannte „Deep lake water cooling“, einer Form von Free Cooling, von der Stadt Toronto und dem Energieanbieter Enwave betrieben.

Laut Enwave (2013) hat das Wasser am Grund des Ontariosees ganzjährig eine Temperatur von rund vier Grad Celsius. Dieses Wasser wird aus etwa 83 Meter Tiefe über drei rund fünf Kilometer lange Pipelines vorerst zu einer Wasseraufbereitungsanlage auf eine Insel vor Toronto gepumpt. Anschließend wird das filtrierte Wasser in die John Street Pumping Station geleitet, wo das Wasser über Wärmetauscher Kälte an das Fernkältenetz weiter gibt. Das auf maximal 13°C aufgewärmte Wasser wird anschließend dem Trinkwassernetz zugeführt.

Wie in Abbildung 19 angedeutet ist befindet sich im Netz ein Bypass mit zwei Sorptionskältemaschinen. Diese Sorptionskältemaschinen decken Spitzenlasten ab. Das Rohrleitungssystem besteht aus einem Vorlauf welcher die angeschlossenen Gebäude über Wärmetauscher mit Kälte versorgt und einem Rücklauf in dem das erwärmte Kühlmittel zurück zur John Street Pumping Station geführt wird.

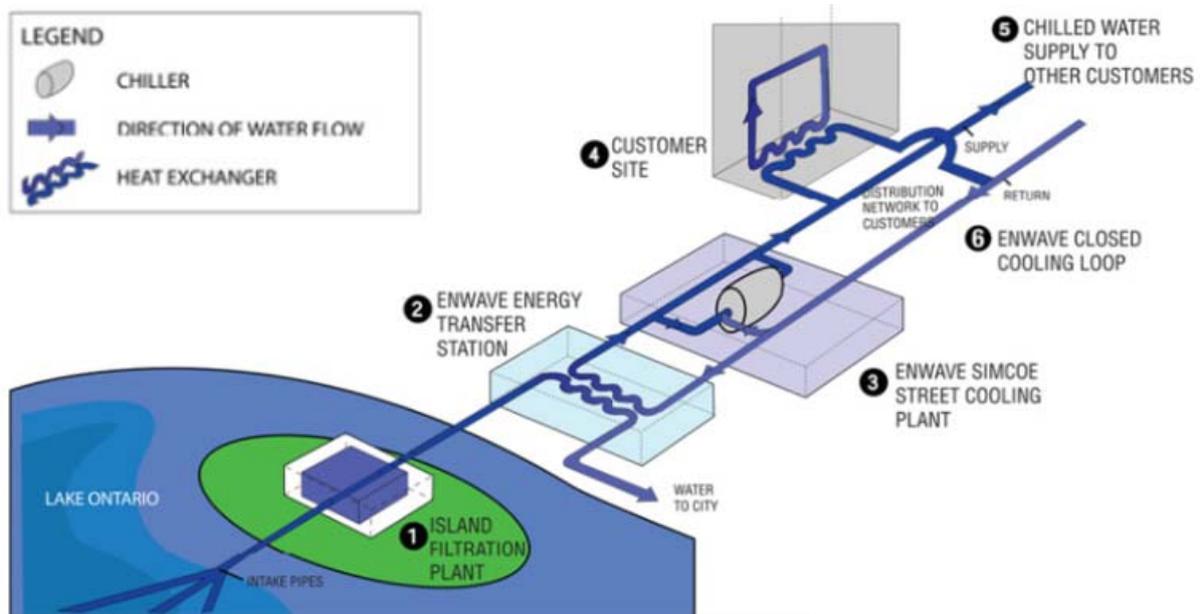


Abbildung 19: Schema Fernkälte Toronto (vgl. New York City Global Partners, 2009, S. 2)

3.7.4.2 Wien

Die Energie Wien bietet seit 2006 Fernkälte an. Die erste Fernkälteanlage war eine dezentrale Absorptionskältemaschine am Bürostandort TownTown im dritten Wiener Gemeindebezirk. Diese Anlage hat in der ersten Ausbaustufe eine Kapazität von 5,3 MW aufgrund der Absorptionskältemaschine sowie ein Megawatt Kälteleistung aufgrund von Free Cooling.

Im darauffolgenden Jahr wurde am Schwarzenbergplatz die erste Anlage in einem denkmalgeschützten Gebäude installiert. Diese Anlage besteht aus einer Absorptionskältemaschine mit 0,8 MW und einer Kompressionskältemaschine mit 0,4 MW Kälteleistung.

2009 wurde in Spittelau die erste Fernkältezentrale in Betrieb genommen. Dort wird aus der Abwärme der gleichnamigen Müllverbrennungsanlage mittels Absorptionskältemaschinen erzeugt. Gemeinsam mit zusätzlichen Kompressionskältemaschinen erzeugt dieser Standort 17 MW Kälteleistung. Laut Wien Energie (o.J.) beliefert diese Fernkältezentrale das Allgemeine Krankenhaus (AKH), das Ö3-Gebäude in der Muthgasse, Teile der Universität für Bodenkultur (BOKU), das Immobilienprojekt Skyline

sowie das Neubauprojekt Space2move. Diese Anlage hat eine Ausbaukapazität von 50 MW.

2010 folgte im Sozialmedizinischen Zentrum in Wien-Donaustadt eine dezentrale Fernkälteanlage mit einer Leistung von vier Megawatt in der ersten Ausbaustufe. Diese soll später auf sechs Megawatt erweitert werden.

2012 ging die zweite Fernkältezentrale in der Stadt Wien in Betrieb. Das Kälteprojekt Rudolfstiftung wird in einer zweiten Ausbaustufe, welche 2018 abgeschlossen werden soll, eine Kälteleistung von 7,6 MW erreichen.

Im April 2013 wurde die Fernkältezentrale Schottenring offiziell in Betrieb genommen. Diese Anlage hat eine Gesamtleistung von 15 MW. Fünf Megawatt stammen aus Absorptionskältemaschinen und die restlichen zehn Megawatt werden mittels Kompressionskältemaschinen erzeugt. Des Weiteren besteht zu Niedriglastzeiten in den Wintermonaten, die Möglichkeit mittels Free Cooling rund 1,8 MW Kälteleistung aus Donauwasser zu erzeugen. Im Sommerbetrieb wird dieses Donauwasser zur Anlagenkühlung verwendet. Wie in Abbildung 20 ersichtlich, werden das Netz und die Fernkältezentrale noch erweitert. So werden 2014 unter anderem die Hauptuniversität Wien, das Juridicum und die Österreichische Nationalbank an das Fernkältenetz angeschlossen. Dadurch soll das Netz eine Trassenlänge von ungefähr 2400 m Länge erreichen.

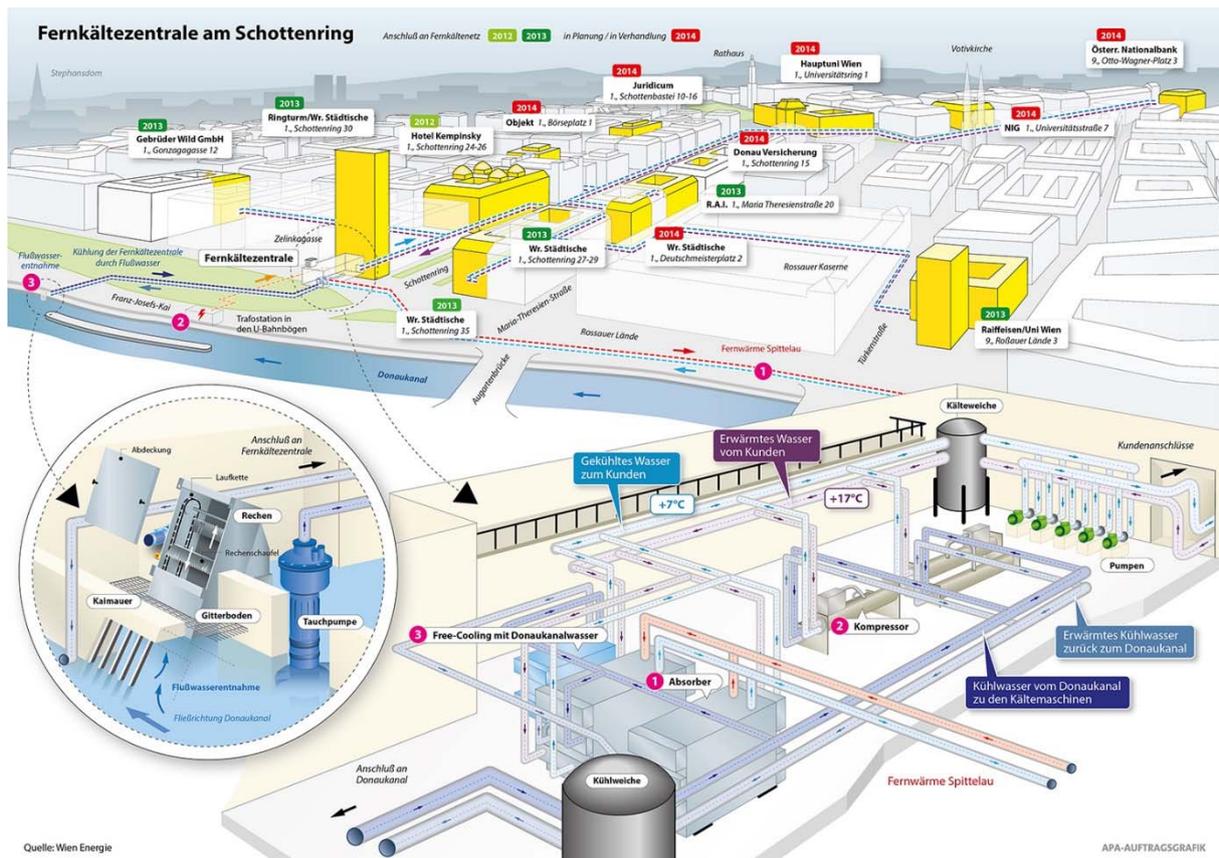


Abbildung 20: Fernkältezentrale Schottenring (Wien Energie, o.J.)

Hervorzuheben ist das Modegroßcenter, welches einen unter dem Gebäude liegenden Grundwassersee als Wärmespeicher nutzt. Im Sommer wird mittels Grundwassernutzung Kälte erzeugt. Das erwärmte Grundwasser kommt anschließend wieder in den Grundwassersee zurück wo diese Wärme gespeichert wird. Im Winter arbeiten die Kältemaschinen im Wärmepumpenbetrieb und heizen so das Gebäude und kühlen gleichzeitig die Grundwassertemperatur für den Sommer ab. Zusätzlich sind im Modegroßcenter Absorptionskältemaschinen rund 1,7 MW Kälteleistung im Einsatz.

2013 wurde die Kältezentrale Rengasse mit einer Kälteleistung von sechs Megawatt fertiggestellt.

Für 2014 ist neben einer Kompressionskältemaschine im Geriatriezentrum Donaustadt mit einer Kälteleistung von 2,4 KW auch die Inbetriebnahme der bis dato größten Kältezentrale am Wiener Hauptbahnhof geplant. Diese Anlage soll eine Kälteleistung von 20 MW in ihrer ersten Ausbaustufe erreichen. (Wien Energie, o.J.)

Abbildung 21 zeigt die Entwicklung der Kälteleistung in der Stadt Wien. Basierend auf den bereits geplanten Projekten soll bis 2020 eine Kälteleistung von 200 MW in der Stadt installiert werden.

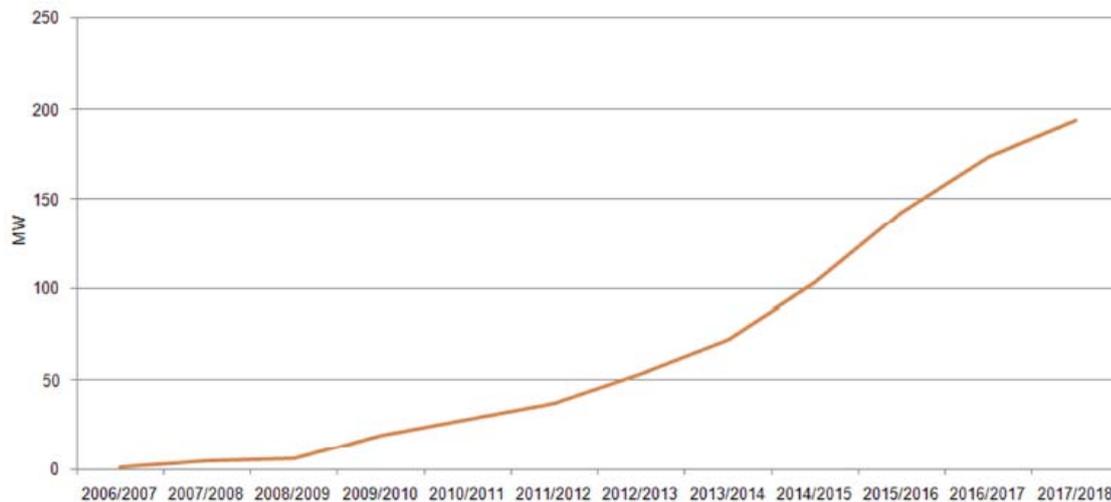


Abbildung 21: Anschlusswerteentwicklung der Fernkälte Wien aufgrund bekannter Projekte (Wallisch, 2012, S. 2)

Die beiden genannten Beispiele sollen stellvertretend für die zahlreichen, bereits umgesetzten Fernkältelösungen die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten verschiedener Kälteerzeugungen zeigen. In beiden Beispielen wurden vorhandene Ressourcen, wie beispielsweise kaltes Trinkwasser, Abwärme aus Heizungsanlagen als umweltschonende Energiequellen eingesetzt.

4 Grund- und Oberflächenwassernutzung und wasserwirtschaftliche Auswirkungen

Neben dem bereits genannten Einsatz von Grund- und Oberflächenwasser in der Kälteerzeugung gibt es auch andere Nutzungsformen, welche miteinander in einem Nutzungskonflikt stehen. Zusätzlich ist zu beachten, dass jede Wassernutzung Auswirkungen mit sich bringen. Auch ohne Einflüsse aus der Kälteerzeugung erwärmt sich Grund- und Oberflächenwasser aufgrund der Klimaerwärmung. Besonders die Verwendung als Trinkwasser ist von enormer Bedeutung, da Trinkwasser auch für nachfolgende Generationen in ausreichender Menge und Qualität vorhanden sein soll.

4.1 Arten der Wassernutzung

4.1.1 Nutzung als Trinkwasser

Die ÖNORM B 2601 (2004) definiert als Trinkwasser „Wasser, das ungeachtet seines Verwendungszweckes im Gegensatz zum Nutzwasser nachgewiesenermaßen für den menschlichen Gebrauch und Genuss geeignet ist.“

Wie bereits erwähnt, ist die Trinkwassernutzung die für den Menschen wichtigste Nutzungsform, welche allenfalls sichergestellt werden muss. Alle anderen Nutzungen welche die Trinkwasserversorgung gefährden sind zu unterlassen.

In Österreich ist Trinkwasser ein Lebensmittel. In Folge dessen unterliegt es den strengen Vorschriften des Lebensmittelgesetzes. Sämtliche Anforderungen an das Wasser für den menschlichen Gebrauch werden in der Trinkwasserverordnung festgelegt.

Zufolge dieser Verordnung muss Trinkwasser „geeignet sein, ohne Gefährdung der menschlichen Gesundheit getrunken oder verwendet [zu] werden. Das ist gegeben, wenn es (...) Mikroorganismen, Parasiten und Stoffe jedweder Art nicht in einer Anzahl oder Konzentration enthält, die eine potentielle Gefährdung der menschlichen Gesundheit darstellen“. (TWV, 2013, S. 1) Des Weiteren legt die Norm auch die Häufigkeit und den Ausmaß der Kontrollen fest.

4.1.2 Nutzung als Brauchwasser

Zufolge der ÖNORM B 2601 (2004) ist Brauchwasser „Wasser, dessen Eignung als Trinkwasser nicht nachgewiesen ist.“

Weitere Bezeichnungen für Brauchwasser sind Nutzwasser und Betriebswasser. Die Anforderungen an die Wasserqualität sind abhängig vom genauen Verwendungszweck. Sie sind jedoch nicht so hoch wie bei Trinkwasser. (E-Werk Wels, o.J.)

Die Verwendung von Nutzwasser senkt nicht den Wasserverbrauch sondern schont lediglich die Trinkwasserreserven. Mögliche Einsatzgebiete von Nutzwasser im Haushalt sind z. B. die Grauwasserverwendung bei Toiletten oder eine Regenwassernutzung für die Gartenbewässerung. (wasserwerk.at, o.J.)

4.1.2.1 Nutzung als Kühlwasser

Eine besondere Art des Brauchwassers ist das Kühlwasser. Darunter wird an dieser Stelle jenes Wasser verstanden welches direkt aus dem Grundwasseraquifer oder dem Oberflächengewässer für Kühlzwecke entnommen wird.

„Die Beschaffenheit des Grundwassers hat wesentlichen Einfluss auf den Betrieb und die Lebensdauer einer Anlage. (...) Wesentliche Parameter für die Projektierung und den Betrieb sind:

- Temperatur des Grundwassers
- Beschaffenheit des Grundwassers, einschließlich Beurteilung des Einflusses auf Korrosion und Brunnenalterung (pH-Wert, O₂-Gehalt, elektrische Leitfähigkeit, Redox-Potential, Kalzium, Magnesium, Natrium, Kalium, Eisen, Mangan, Nitrat, Phosphat, Sulfat, Chlorid, Hydrogenkarbonat, Ammonium).

(...) Bei der Förderung von eisen- und manganhaltigem Wasser ist mit Ausfällung zu rechnen. Verstärkt wird dieser Effekt durch die Grundwasserabsenkung bei der Entnahme und die Grundwasseraufwölbung bei der Rückgabe des thermisch veränderten Grundwassers und den dadurch entstehenden Sauerstoffeintrag. Auch die Wärmeentwicklung der Tauchpumpe kann Ausfällungen bewirken. Diese Ausfällungen können zu Verlegungen von Brunnenfiltern, Förderpumpen, Wärmetauschern und Versickerungsanlagen führen und damit erhebliche Betriebsprobleme nach sich ziehen.“ (ÖWAV, 2009, S. 24 f) Die oben beschriebenen Anforderungen gelten natürlich auch Oberflächengewässer.

Wasser welches in Anlagen zirkuliert ist stark aufbereitetes Wasser und wird auch als Betriebsmittel bezeichnet.

4.2 Auswirkungen der thermischen Wassernutzung

Jede Nutzung des Grundwassers trägt Folgeerscheinungen mit sich. Diese können abhängig von der Nutzungsintensivität aber auch von den lokalen Bedingungen unterschiedlich stark ausfallen.

Wie in Abbildung 22 dargestellt, gibt es eine Vielzahl an Auswirkungen welche grob in qualitative und quantitative Auswirkungen unterteilt werden können.

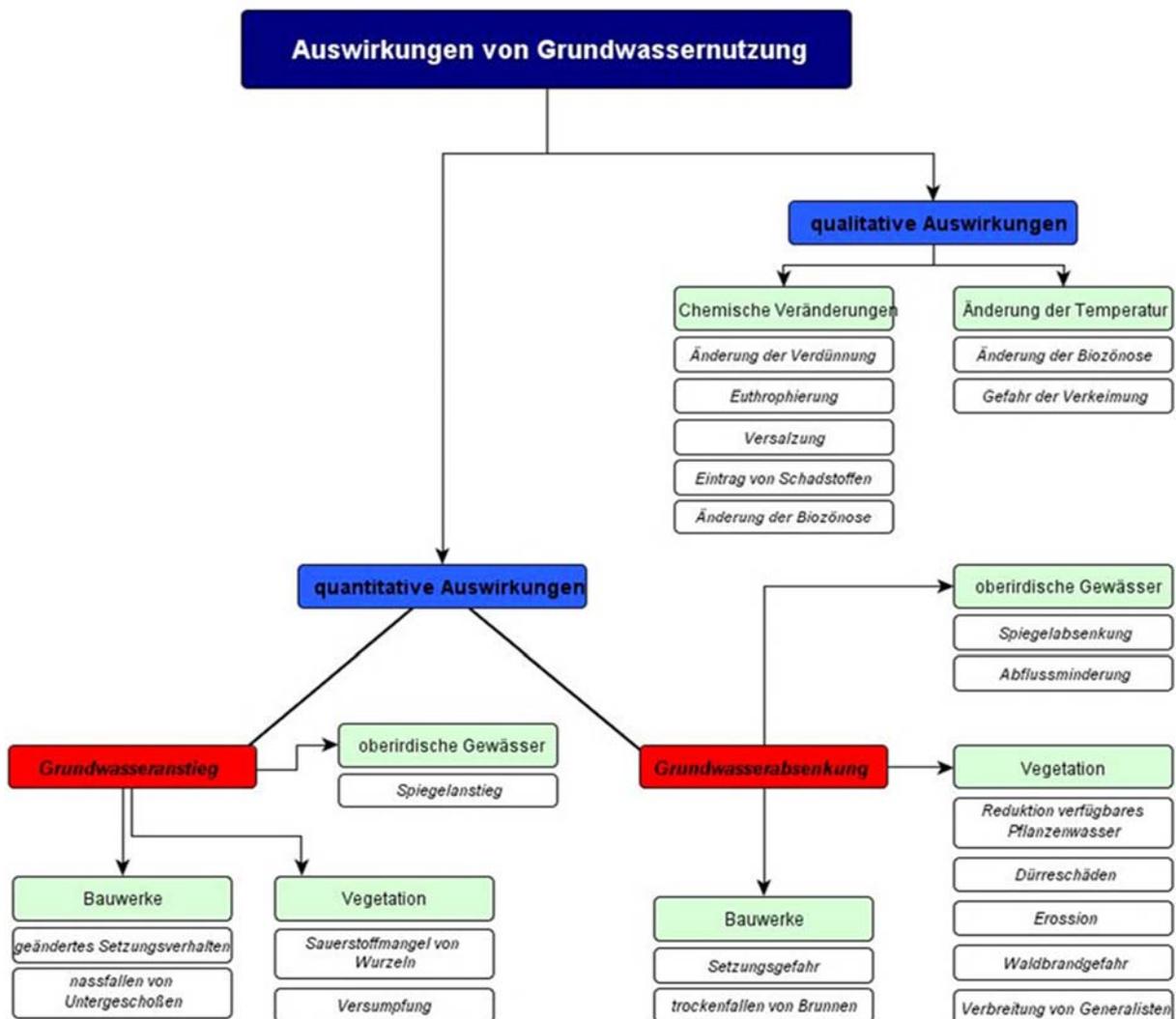


Abbildung 22: Auswirkungen von Grund- und Oberflächenwassernutzung

4.2.1 Quantitative Auswirkungen

Bei der Nutzung von Grundwassers für Kälteproduktion gibt es im Regelfall einen Entnahmebrunnen bei dem sich eine Grundwasserabsenkung ausbildet und einen Rückgabebrunnen oder eine Versickerungsanlage bei der sich der Grundwasserstand lokal erhöht. Beide Formen der Grundwasserstandsänderung wirken sich auf Bauwerke, Vegetation und Oberflächengewässer aus. Auch bei der Verwendung von Oberflächenwasser können sich lokale Änderungen des Wasserstands ergeben.

Das Ausmaß der qualitativen Auswirkungen hängt vor allem mit der genutzten Wassermenge zusammen.

Abbildung 23 stellt die quantitativen Auswirkungen aufgrund einer Grundwasserstandsänderung auf Pflanzen, Gewässer und Bauwerke dar. Der oberste Abschnitt zeigt die Situation bei natürlichen Grundwasserstand. Dabei sind Pflanzenwachstum, Brunnentiefen und Gebäude auf diesen Grundwasserstand angepasst. Der mittlere Abschnitt zeigt dieselbe Struktur, jedoch bei deutlich niedrigeren Grundwasserstand. In dieser Situation fallen sowohl Brunnen, Sümpfe auch auch der Wurzelbereich der Pflanzen trocken. Der untereste Abschnitt zeigt das selbe Bild jedoch bei deutlich erhöhtem Grundwasserspiegel. Durch den hohen Wasserspiegel kommt es zu Überschwemmungen.

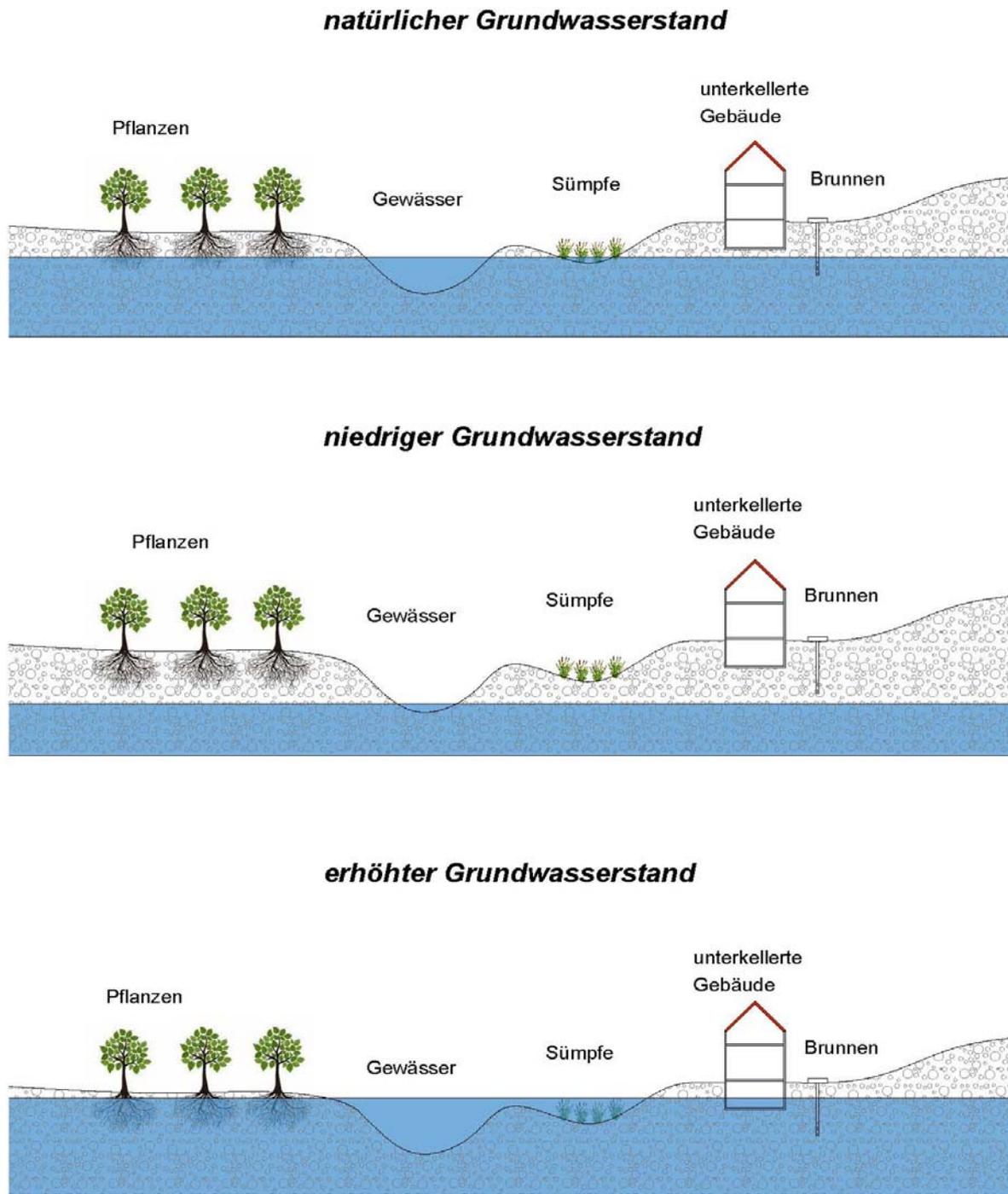


Abbildung 23: quantitative Auswirkungen von Grundwasserstandsänderungen

4.2.1.1 Auswirkungen im Gebäudebereich

Wie in Abbildung 23 ganz rechts ersichtlich ist eine mögliche Folge von Grundwasserabsenkungen das Trockenfallen von Brunnen. Abhängig vom Ausmaß der Grundwas-

senkung und von den lokalen Gegebenheiten kann dies „lediglich“ ein tiefer Bohren des alten Brunnens, unter Umständen jedoch die komplette Neugestaltung der (Trink-) Wasserversorgung bedeuten.

Laut HERTH und ARNDTS (1994, S. 216 ff) können geänderte Grundwasserstände abhängig von den Untergrundverhältnissen zu Veränderungen der Gewichts- und Druckverhältnisse und folglich zu Setzungen führen. So treten in trockengelegten durchlässigen Schichten Erhöhungen der Gewichts- und Druckverhältnisse durch Wegfall des Auftriebes auf. Bei völlig undurchlässigen Schichten im Bereich des Grundwassers fällt durch die Grundwasserabsenkung eine Verringerung der darüber liegenden Wasserlast statt. Des Weiteren kann der Wasserverlust bei stark zusammendrückbaren Böden zu Verfestigungen und Schrumpfen führen.

Im Bereich des Rückgabebunnens geschieht das Gegenteil. Aus bodenmechanischer Sicht führt die Grundwasserspiegeländerung bei durchlässigen Schichten, durch zusätzlichen Auftrieb, zu einer Verringerung der Gewichts- und Druckverhältnisse. Gleichermassen erhöht sich dadurch die Wasserlast auf den Grundwasserstauer.

„Schädigend auf die Gebäude wirken im allgemeinen (!) nur Setzungsdifferenzen und nicht die Setzungen als solche. Da die Absenkkurven (...) [außerhalb des unmittelbaren Nahbereiches, P.B.] in der Regel verhältnismäßig flach verlaufen, ergeben sich ziemlich gleichmäßige Erhöhungen der Bodenpressungen und somit bei homogenen Untergrund auch gleichmäßige Setzungen.“ (Herth & Arndts, 1994, S. 218) Folglich ist die Schadensgefahr bei riesigen Bauwerken auf homogenen Böden erheblich geringer als die bei kleinen Bauwerken auf inhomogenen Böden.

Des Weiteren kann ein Anstieg des Grundwasserspiegels bei unterirdischen Bauwerken im Extremfall dazu führen, dass diese plötzlich im Grundwasser stehen und gegebenenfalls komplett nassfallen.

4.2.1.2 Auswirkungen auf Oberflächengewässer und auf die Vegetation

Oberflächennahes Grundwasser und Oberflächengewässer stehen meist in einem direkten Zusammenhang und prägen sich gegenseitig. Dieser Wasseraustausch wirkt sich jedoch nicht nur quantitativ auf den (Grund-)Wasserstand, sondern auch qualitativ aus.

Besonders Flüsse, Auen, Feucht- und Sumpfwiesen und Moore haben aufgrund der Grundwasserinteraktion eine sehr spezielle und vor allem sensible Flora und Fauna. (Umweltamt Dresden, 2010, S. 24)

Ein verringerter Grundwasserspiegel führt bei Gewässern zu einem reduzierten Wasserspiegel und bei Fließgewässern zu Abflussminderungen. Im Bereich der Vegetation sorgt ein langfristig reduzierter Grundwasserspiegel zu einer Reduktion des verfügbaren Pflanzenwassers. Dies führt in weiterer Folge zu Dürreschäden. Eine mögliche Konsequenz der Dürre ist Bodenerosion und im Extremfall kann es sogar zu Waldbränden kommen. Des Weiteren verändert sich durch die anhaltende Dürre mit der Zeit auch die Vegetation mitsamt der dazugehörigen Tierwelt.

Wie bereits erwähnt reagieren vor allem Auen, Feucht- und Sumpfwiesen und Moore sensibel auf Änderungen des Grundwasserhaushaltes. Laut Umweltamt Dresden (2010, S. 25) besitzen natürliche Feuchtgebiete neben ihrer großen ökologischen Bedeutung für Flora und Fauna „weitere wesentliche Funktionen im Wasser- und Stoffhaushalt der Landschaft. So wirken sie als Wasserspeicher und Rückhaltebereiche bei Überschwemmungsereignissen und übernehmen auch für den Ausgleich des Kleinklimas eine wichtige Rolle“. Sind diese einmal zerstört ist es nur sehr schwer diese wieder zu erneuern. Zwar kann man ein gleichartiges Feuchtgebiet problemlos künstlich gestalten, doch dies garantiert nicht, dass Flora und Fauna wieder vollkommen der ursprünglichen entsprechen werden. (Winter, Harcey, Franke, & Alley, 1998, S. VII)

Ein Grundwasseranstieg führt in der Natur zu einer Versumpfung von Niederungen und einen erhöhten Wasserspiegel bei Oberflächengewässern. Für Pflanzen kann ein erhöhter Grundwasserspiegel zu einem Sauerstoffmangel im Wurzelbereich führen. Ein solcher Sauerstoffmangel führt bei zahlreichen Pflanzenarten zu erheblichen Schäden und kann letztendlich zu einer Änderung der Flora und Fauna führen.

4.2.2 Qualitative Auswirkungen

Zahlreiche physikalische Wassereigenschaften stehen in einem direkten Zusammenhang mit der Wassertemperatur. Neben den temperaturabhängigen Eigenschaften hat Grund- und Oberflächenwassernutzung auch die oben genannten Auswirkungen auf die Wasserverhältnisse sowie auf die Verdünnung. Diese Effekte können in weiterer Folge zu einer Veränderung der Biozönose führen.

4.2.2.1 Änderung der Biozönose

Grund- und Oberflächenwasser sind ein komplexe Ökosysteme. Sie bestehend aus Mikroorganismen, wie beispielsweise Bakterien und Protozoen, aber auch aus tausenden bekannten Tierarten, wie verschiedene Würmer und Kleinkrebse. All diese Lebewesen sind auf ihre Umgebung sehr spezialisiert und angepasst und reagieren sensibel auf Änderungen der Lebensbedingungen. Änderungen von Wassertemperatur, Nährstoffgehalt und Gasgehalt wirken sich direkt auf die Flora und Fauna der Grund- und Oberflächengewässer aus. (Umweltamt Dresden, 2010, S. 24) Es gibt mehrere laufende Untersuchungsprogramme, bei denen die Auswirkungen aufgrund veränderter physikalischer Parameter beziehungsweise veränderter Wasserflora und Wasserfauna untersucht werden. Diese haben aktuell zwar noch zu keinem eindeutigen Ergebnis geführt. Vor allem Grundwasser soll, wie bereits erwähnt, langfristig für Trinkwasserzwecke gesichert werden. Deshalb ist ein leichtfertiger Umgang, bei dem die langfristigen Folgen nicht einschätzbar sind, zu vermeiden.

4.2.2.2 Temperaturabhängigkeit der Dichte

Die Dichte das Verhältnis zwischen der Masse das Volumen eines Stoffes und ist bei Wasser unter anderem von der Temperatur abhängig. Die größte Dichte besitzt reines Wasser bei rund 4°C und beträgt knapp 1000 kg/m³. Wie in Abbildung 24 ersichtlich, nimmt die Dichte sowohl bei Temperaturen unter als auch über vier Grad Celisus parabolisch ab. Dieses Phänomen bezeichnet man als Temperaturanomalie des Wassers.

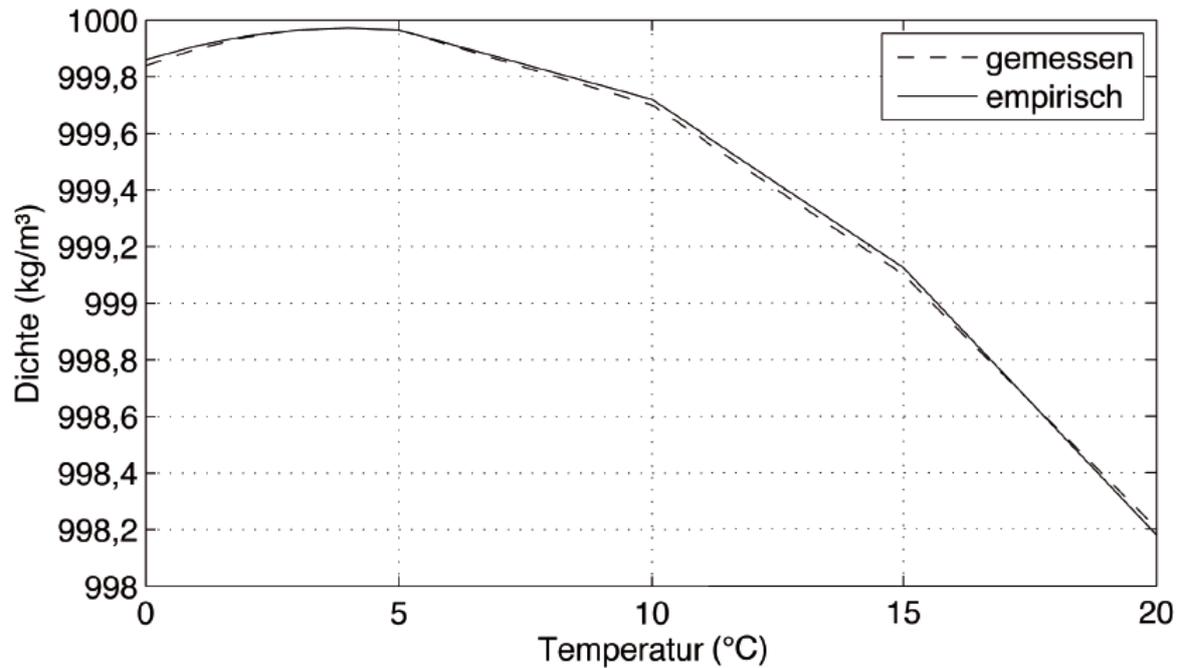


Abbildung 24: Dichte als Funktion der Temperatur unter Normaldruck (Möderl, Sitzenfrei, & Rauch, 2010, S. 18)

4.2.2.3 Temperaturabhängigkeit der Viskosität

Die Zähigkeit einer Flüssigkeit wird auch als Viskosität bezeichnet. Je zähflüssiger ein Fluid ist, desto höher ist seine Viskosität. Die Viskosität basiert auf Schubspannungen und innere Reibungen zwischen benachbarten Flüssigkeitselementen. Mit erhöhter Temperatur bauen, unter anderem durch Wärmebewegung, Bindungen im Wasser ab. Dadurch verringern sich bei höherer Temperatur die inneren Widerstände und folglich auch die Viskosität. Abbildung 25 zeigt, wie die Viskosität mit steigender Wassertemperatur abnimmt. (Möderl, Sitzenfrei, & Rauch, 2010, S. 18 f)

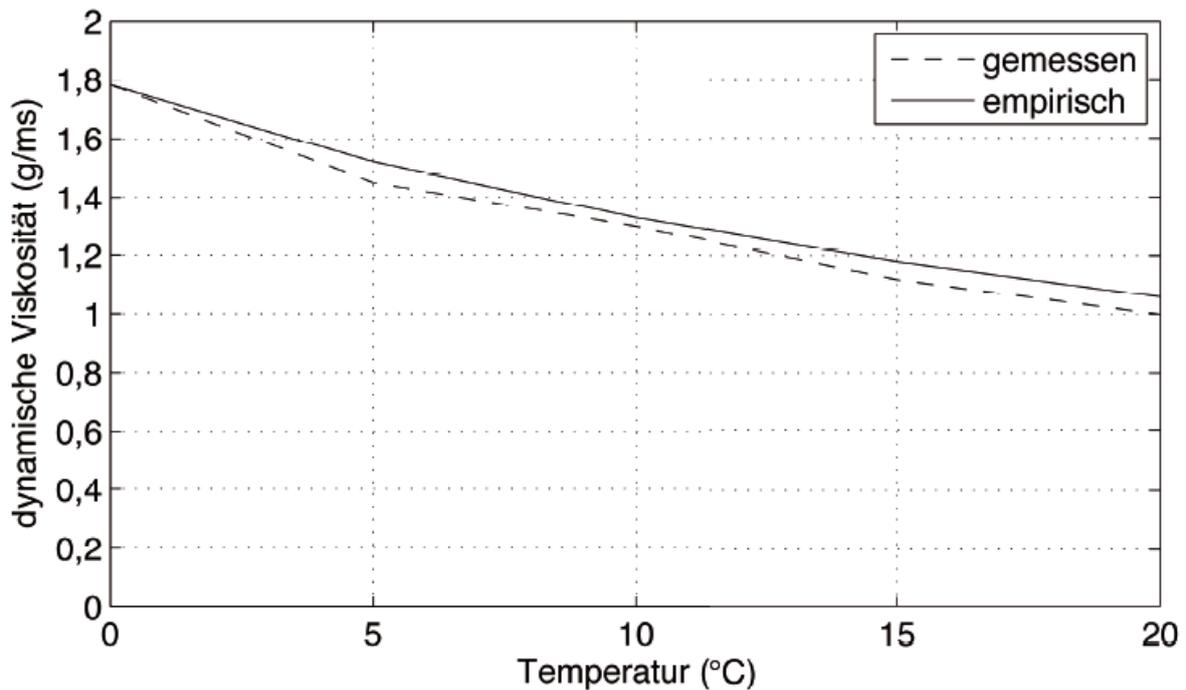


Abbildung 25: Viskosität in Abhängigkeit der Temperatur (Möderl, Sitzenfrei, & Rauch, 2010, S. 19)

4.2.2.4 Temperaturabhängigkeit des Lösungsverhalten

Die Temperatur spielt eine entscheidende Rolle bei der Lösungsfähigkeit von Stoffen in Wasser. Dies ist, wie bei der Viskosität, auf die Wärmebewegung der Wassermoleküle zurückzuführen. (Willig, o.J.)

Die Lösung von Gasen in einer Flüssigkeit wird auch als Absorption bezeichnet.

Das Ausmaß der Absorption kann man unter anderem mit dem bunsen'schen Absorptionskoeffizienten beschreiben. Dieser ist eine dimensionslose Kennzahl und beschreibt den Anteil des Gasvolumens bei einem mit dem Normdruck übereinstimmenden Partialdruck des Gases, bezogen auf die Volumeneinheit des absorbierten Stoffes und den physikalischen Normzustand. (o.A., 2012) Wie in Abbildung 26 ersichtlich, nimmt die Löslichkeit von Gasen mit steigender Temperatur ab.

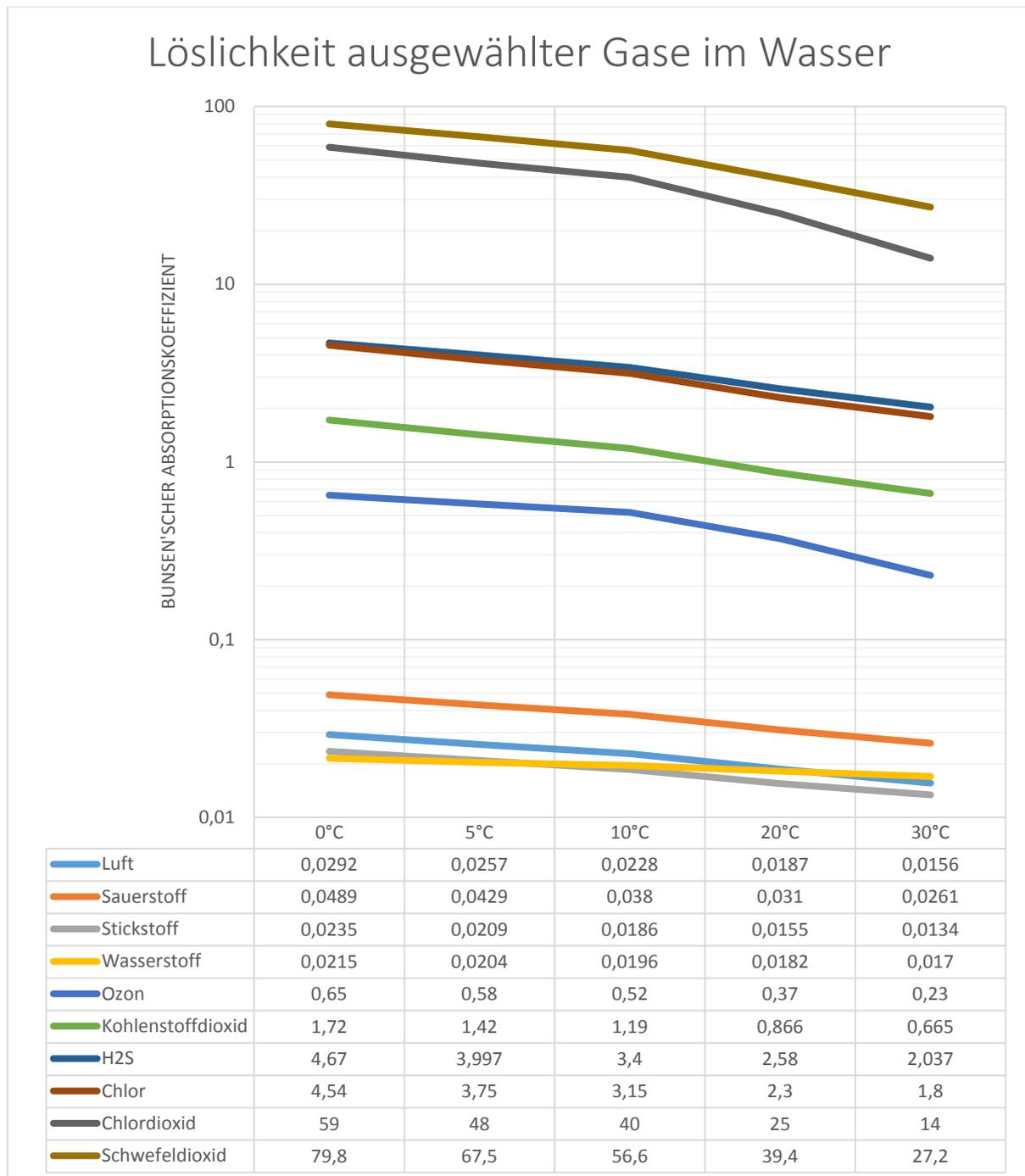


Abbildung 26: Löslichkeit ausgewählter Gase im Wasser (vgl. Niessing & Nießner, 2010, S. 56)

Im Gegensatz zu Gasen, nimmt die Löslichkeit der meisten Feststoffe mit steigender Wassertemperatur zu. Wie in Abbildung 27 ersichtlich bilden Kochsalz (NaCl) und Natriumsulfat (Na₂SO₄) Ausnahmen. Bei diesen Stoffen erhöht sich Löslichkeit bei steigender Temperatur nicht. (Dollenmeier, o.J.)

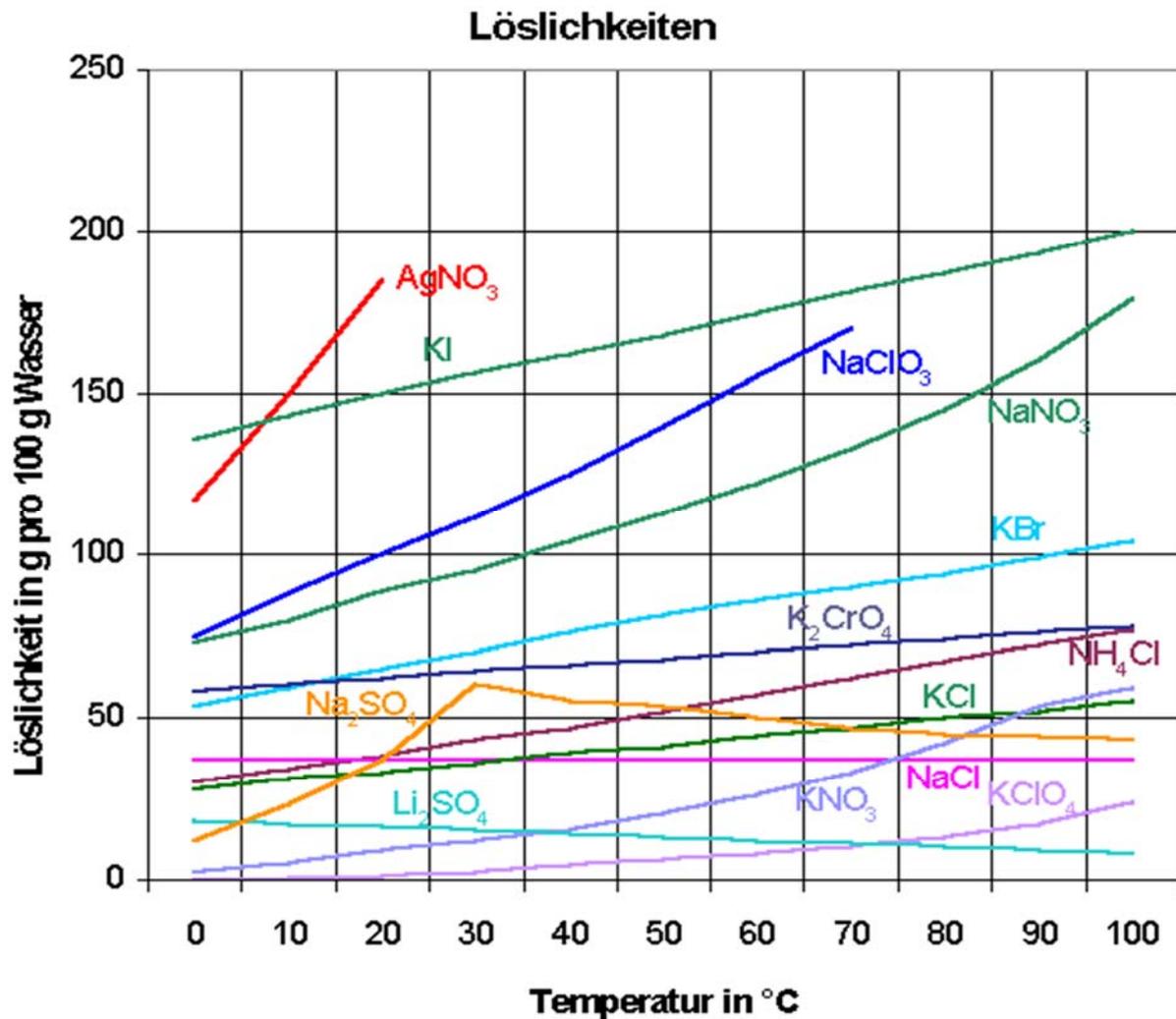


Abbildung 27: Löslichkeit von Feststoffen in Wasser (Dollenmeier, o.J.)

Zusätzlich zur Temperaturänderung haben auch die Interaktion des Grundwassers mit Oberflächengewässern sowie die Anlagen selbst, Einflüsse auf die chemische Zusammensetzung von Grund- und Oberflächenwasser. So kann durch die Infiltration von Oberflächenwasser ein Eintrag von organisch aber auch chemisch belastetem Wasser in den Grundwasserkörper erfolgen. Dies kann wiederum im Grundwasser zu einer Änderung der Verdünnung aber auch zu Eutrophierung führen.

Des Weiteren können Schadstoffe durch fehlerhafte Kälteanlagen und bei der Errichtung neuer Anlagen in Grund- und Oberflächengewässern eingetragen werden.

4.2.2.5 Fouling

Als Fouling versteht man biologische Verunreinigungen von vor allem wärmeübertragenden Anlagenteilen aufgrund der Wasserinhaltsstoffe. Gemäß des Personenkreises Geothermie der AD-HOC-Arbeitsgruppe Geologie (2011, S. 23 f) werden die als Fouling bezeichneten Prozesse in verschiedene Typen unterteilt. „Die Ausbildung von Biofilmen durch Bakterien und Algen (Biofouling), die Auskristallisation schwerlöslicher Salze (Scaling) sowie die Sedimentation von Sand und Schlamm. Eisen- und Mangan- ausfällungen (Verockerungen) werden ebenso durch biologische, mikrobielle Prozesse gesteuert.“ Die häufigste und für Anlagen auch schädlichste Form von Fouling ist die Verockerung.

Zu einer chemischen Verockerung kommt es, wenn aerobes Wasser mit anaeroben eisen- und manganionenhaltigem Wasser vermischt wird. Diese Kombination führt aufgrund chemischer Prozesse zur Ausflockung. Eisenverockerungen sind dabei rotbraun und Manganverockerungen schwarz. Diese Ausflockungen lagern sich in an verschiedene Anlagenteile ab und verstopfen die Filter. Bei Schluckbrunnen tritt dieser Effekt verstärkt auf. (Herth & Arndts, 1994, S. 155ff)

Neben der chemischen Verockerung gibt es auch die biologische Verockerung durch Bakterien.

Die Verockerung ist vor allem bei der Planung des Kältestandorts von Bedeutung, um eine möglichst langlebige und wartungsarme Anlage zu erreichen.

Abbildung 28 zeigt die Verockerung eines Schluckbrunnens welcher bereits nach drei Monaten aufgrund der schwerwiegenden Verockerung nicht mehr betriebstüchtig war.



Abbildung 28: Verockerung in einem Schluckbrunnen (Personenkreis Geothermie der AD-HOC-Arbeitsgruppe Geologie, 2011, S. 19)

Die genannten quantitativen und qualitativen Auswirkungen durch die thermische Grund- und Oberflächenwassernutzung haben einen erheblichen Einfluss auf die verschiedenen Arten der Wassernutzung und können die Nutzung stark einschränken. Deshalb ist es wichtig, sich den verschiedenen Gefahren bewusst zu sein, um eine langfristige Trinkwassernutzung zu sichern.

5 Rechtliche Grundlagen

Wie bereits erwähnt, sind vor allem die rechtlichen Rahmenbedingungen bei der Verwirklichung von Kälteanlagen ausschlaggebend. Besonders bei der Verwendung von Grundwasser ist auf einen ausreichenden Wasserschutz zu achten, damit auch weiterhin die verschiedenen Nutzungen, allen voran die Trinkwassernutzung, gesichert sind. Ähnlich verhält es sich mit den anderen Kühlmöglichkeiten, welche auch bestimmten Rahmenbedingungen unterliegen.

5.1 Wasserrechtsgesetz

Das Wassergesetz regelt jegliche Benützung sowie den Schutz der Gewässer sowie den Schutz vor Gefahren des Wassers. Folglich enthält dieses Gesetz alle Bestimmungen rund um die Wasserverwendung, von den Benutzungsrechten angefangen, bis hin zum Bewilligungsverfahren.

Die erste Fassung des österreichischen Wasserrechtsgesetzes (Kurzform WRG 1959) stammt aus dem Jahr 1959 und wurde mehrfach überarbeitet, zuletzt im Juni 2013. Im ersten Abschnitt werden die rechtlichen Eigenschaften der Gewässer definiert. Laut § 3 gilt „das in einem Grundstück enthaltene unterirdische Wasser“ (WRG 1959, 2013), das Grundwasser, zu den Privatgewässern. Laut Anhang A zählen Donau und Traun zu den öffentlichen Gewässern. Der zweite Abschnitt handelt von der Benutzung der Gewässer. Laut § 9 bedarf jede Errichtung und Abänderung von Anlagen zur Benutzung der öffentlichen Gewässer, sowie jede Nutzung, welche über den Gemeingebrauch, also Benutzungen welche gleiche Benutzungen durch andere nicht ausschließen, eine Bewilligung der Wasserrechtsbehörde. § 10 besagt, dass Grundwasserentnahmen, welche über den notwendigen Haus- und Wirtschaftsbedarf und über einem angemessenen Verhältnis zum eigenen Grunde stehen, eine Bewilligung durch die Wasserrechtsbehörde benötigen. Des Weiteren bedürfen auch artesische Brunnen einer Bewilligung. Folglich sind normale Hausbrunnen, sofern sie andere Grundeigentümer nicht negativ benachteiligen, bewilligungsfrei während die Grundwassernutzung für Gebäudekühlung eine Bewilligung erfordert. Gemäß § 17 Absatz 1 soll bei Konflikten um die geplante Wassernutzung jenes Projekt, welches dem öffentlichen Interesse

besser dient, bevorzugt werden. Entsprechend § 21 darf eine Benutzung der Gewässer maximal für 90 Jahre bewilligt werden. Absatz 2 regelt die Wiederverleihung von Wasserbenutzungsrechten. Diese darf frühestens fünf Jahre, spätestens jedoch sechs Monate vor Ablauf der alten Bewilligung angesucht werden. Zusätzlich erfordert jede Änderung des Wasserbenutzungszweckes eine neue Bewilligung.

Im dritten Abschnitt ist die nachhaltige Bewirtschaftung abgefasst, insbesondere der Schutz und die Reinhaltung der Gewässer. Der § 30 besagt, dass alle Gewässer dermaßen reinzuhalten und zu schützen sind, „dass die Gesundheit von Mensch und Tier nicht gefährdet werden kann, dass Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes und sonstige fühlbare Schädigungen vermieden werden können, dass eine Verschlechterung vermieden sowie der Zustand der aquatischen Ökosysteme und der direkt von ihnen abhängenden Landökosysteme und Feuchtgebiete im Hinblick auf ihren Wasserhaushalt geschützt und verbessert werden, dass eine nachhaltige Wassernutzung auf der Grundlage eines langfristigen Schutzes der vorhandenen Ressourcen gefördert wird, dass eine Verbesserung der aquatischen Umwelt, ua. (!) durch spezifische Maßnahmen zur schrittweisen Reduzierung von Einleitungen, Emissionen und Verlusten von gefährlichen Schadstoffen gewährleistet wird.“ (WRG 1959, § 30 (1)) Zudem verfügt dieser Paragraph, dass Grundwasser dermaßen reinzuhalten und zu schützen ist, dass es als Trinkwasser verwendet werden kann und die Verschmutzung des Grundwassers schrittweise reduziert und verhindert wird.

§ 30 a enthält die Umweltziele für Oberflächengewässer. Demzufolge müssen sich alle Oberflächengewässer bis zum 22. Dezember 2015 zumindest in einem guten ökologischen und guten chemischen Zustand befinden und dieser Zustand darf sich nicht mehr verschlechtern. Die Umweltziele für Grundwasser sind in § 30 c festgelegt. Infolgedessen muss sich das Grundwasser bis zum 22. Dezember 2015 in einem guten mengenmäßigen und guten chemischen Zustand befinden. Ähnlich zu § 30 a herrscht ein Verschlechterungsverbot.

Für diese Masterarbeit ist besonders § 31 c Absatz 5 von Bedeutung. Dieser besagt, dass für Wassernutzung zur Wärmezeugung ein Anzeigeverfahren gemäß § 114 anzuwenden ist. Diese Bewilligung ist auf 25 Jahre ab Einbringung der Anzeige befristet. Ebenfalls bedeutsam ist § 32 Absatz 2 laut dem Einwirkungen auf Gewässer durch Temperaturänderung eine Bewilligung benötigen.

Der siebte Abschnitt befasst sich mit der Erhebung des Gewässerzustands hinsichtlich des Wasserkreislaufs und der Wassergüte (Hydrografie). Gemäß § 59 c Absatz 1 muss ein Überwachungsnetz zur Erhebung des Zustandes von Gewässern geschaffen werden. Dieser soll einen umfassenden Überblick über die Beschaffenheit des Gewässers ermöglichen.

Der elfte Abschnitt handelt von den zuständigen Behörden und dem Verfahren. Von besonderer Bedeutung ist der bereits erwähnte § 114. Dieser besagt, dass bewilligungspflichtige Maßnahmen drei Monate vor Inangriffnahme bei der Behörde anzuzeigen sind. Die erforderlichen Projektunterlagen müssen § 103 entsprechen. Diese sind:

„a) Angaben über Art, Zweck, Umfang und Dauer des Vorhabens und das betroffene Gewässer;

b) grundbuchsmäßige Bezeichnung der durch Anlagen beanspruchten Liegenschaften unter Anführung des Eigentümers sowie Bekanntgabe der Wasser-, Fischerei- und Einforstungsberechtigten;

Angaben darüber, ob bzw. in welcher Weise den Betroffenen Gelegenheit zur Kenntnisnahme von Vorhaben gegeben wurde, sowie über bereits vorliegende Vereinbarungen sowie über Anträge an öffentliche Förderungsstellen nach dem Umweltförderungsgesetz oder Wasserbautenförderungsgesetz;

c) die Darstellung der vom Vorhaben zu erwartenden Vorteile oder der im Falle der Unterlassung zu besorgenden Nachteile;

d) Angaben über Gegenstand und Umfang der vorgesehenen Inanspruchnahme fremder Rechte und der angestrebten Zwangsrechte (§ 60) unter Namhaftmachung der Betroffenen;

e) die erforderlichen, von einem Fachkundigen entworfenen Pläne, Zeichnungen und erläuternden Bemerkungen unter Namhaftmachung des Verfassers;

f) bei Wasserbenutzungsanlagen Angaben über die beanspruchte Wassermenge je Sekunde, Tag und Jahr, über die erwarteten Auswirkungen auf Gewässer sowie über die zum Schutz der Gewässer vorgesehenen Maßnahmen;

(...)

j) bei Einbringungen in Gewässer Angaben über Menge, Art und Beschaffenheit der Abwässer, insbesondere über Fracht und Konzentration schädlicher Abwasserinhaltsstoffe, und über die zum Schutz der Gewässer vorgesehenen Maßnahmen;

k) bei genossenschaftlichen Vorhaben die Namen derjenigen, die der Genossenschaft beitreten sollen, unter Anführung der hierfür (!) maßgeblichen Gesichtspunkte und Bemessungsgrundlagen;

(...)

m) Angaben darüber, welche Behörden sonst mit dem Vorhaben befaßt (!) sind;

n) gegebenenfalls vorgesehene Überwachungs- und Betriebsprogramme;

o) Beschreibung möglicher bundesgrenzenüberschreitender Auswirkungen.“

(WRG 1959, §103)

Zusätzlich muss gemäß § 114 Absatz 1 eine Bauvollendungsfrist, welche drei Jahre nicht überschreiten darf, den Projektunterlagen angeschlossen werden. Laut Absatz 3 hat die Behörde nach Einlangen der Anzeige eine dreimonatige Frist, in der sie entweder die Ausführung des Projektes gestattet oder schriftlich die Durchführung eines Bewilligungsverfahrens einfordert, wenn eine Beeinträchtigung fremder Rechte oder des öffentlichen Interesses zu erwarten ist.

Das Bewilligungsverfahren ist detailliert in den §§ 103 – 113 geregelt. Zuzufolge § 104 muss das Projekt genau auf den Umfang und die Art der Auswirkungen auf das öffentliche Interesse überprüft werden. Auch seine Eignung und gegebenenfalls notwendige Schutzmaßnahmen abgewogen werden. Entsprechend § 107 beinhaltet das Bewilligungsverfahren eine mündliche Verhandlung mit Antragsteller sowie aller Berechtigten, welche durch das Vorhaben beeinflusst wären.

Die Strafen und Maßnahmen bei Übertretungen werden im dreizehnten Abschnitt beschrieben. Diese werden an dieser Stelle jedoch nicht näher behandelt.

5.2 Abwasseremissionsverordnung Kühlsysteme und Dampferzeuger

Diese Verordnung basiert auf dem WRG 1959 und regelt die Abwasseremissionen von Kühlsystemen und Dampferzeugern.

Zufolge Absatz 2 darf Abwasser aus Durchlaufkühlsystemen nur in unvermeidbaren Ausnahmefällen in eine öffentliche Kanalisation eingeleitet werden. Die Abwassereinleitung in Fließgewässer ist nur unter Einhaltung von in Anhang A festgelegten Emissionsbegrenzungen zulässig. Die Höchsttemperatur des Abwassers beträgt 30 °C. Ist die wasserrechtlich bewilligte maximale stündliche Abwassermenge kleiner als fünf Prozent des $Q_{95\%}$ und erfolgt eine sparsame Verwendung des Kühlwassers, darf die Emissionsbegrenzung in Einzelfällen auf 35°C erhöht werden. Ist die bewilligte maximale Abwassermenge jedoch über fünf Prozent des $Q_{95\%}$ an der Einleitungsstelle und erfolgt keine sparsame Verwendung des Kühlwassers, darf die Aufwärmspanne maximal zehn Kelvin betragen. Zusätzlich legt Absatz 2 auch jene Stoffe fest, welche weder in Kanalisation noch in Fließgewässer eingeleitet werden dürfen.

Die Absätze 3 bis 7 mitsamt den Anhängen B und C legen Emissionsbegrenzungen für andere Kühlsysteme fest. Im Absatz 8 sind zahlreiche mögliche Maßnahmen zur Erreichung der Emissionsbegrenzungen aufgelistet.

(Abwasseremissionsverordnung Kühlsysteme und Dampferzeuger, 2013)

5.3 Verordnung der Verbesserung der Wassergüte der Donau und ihrer Zubringer (Donauverordnung)

Die Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 14. April 1977 zur Verbesserung der Wassergüte der Donau und ihrer Zubringer basiert ebenfalls auf dem WRG 1959; im Speziellen auf den §§ 30 bis 33. Diese Verordnung hat das Ziel, dass die Donau bis zum 31.12.1982 zumindest Güteklasse 3 erreicht haben muss. Sobald die Güteklasse 2 erreicht worden ist, dürfen sich die Gewässergüteverhältnisse nicht mehr verschlechtern.

Wie in Abbildung 29 dargestellt, entsprach die Donau zwischen 2003 und 2007 in ganz Oberösterreich der Gewässergüte 2 – mäßig verunreinigt.

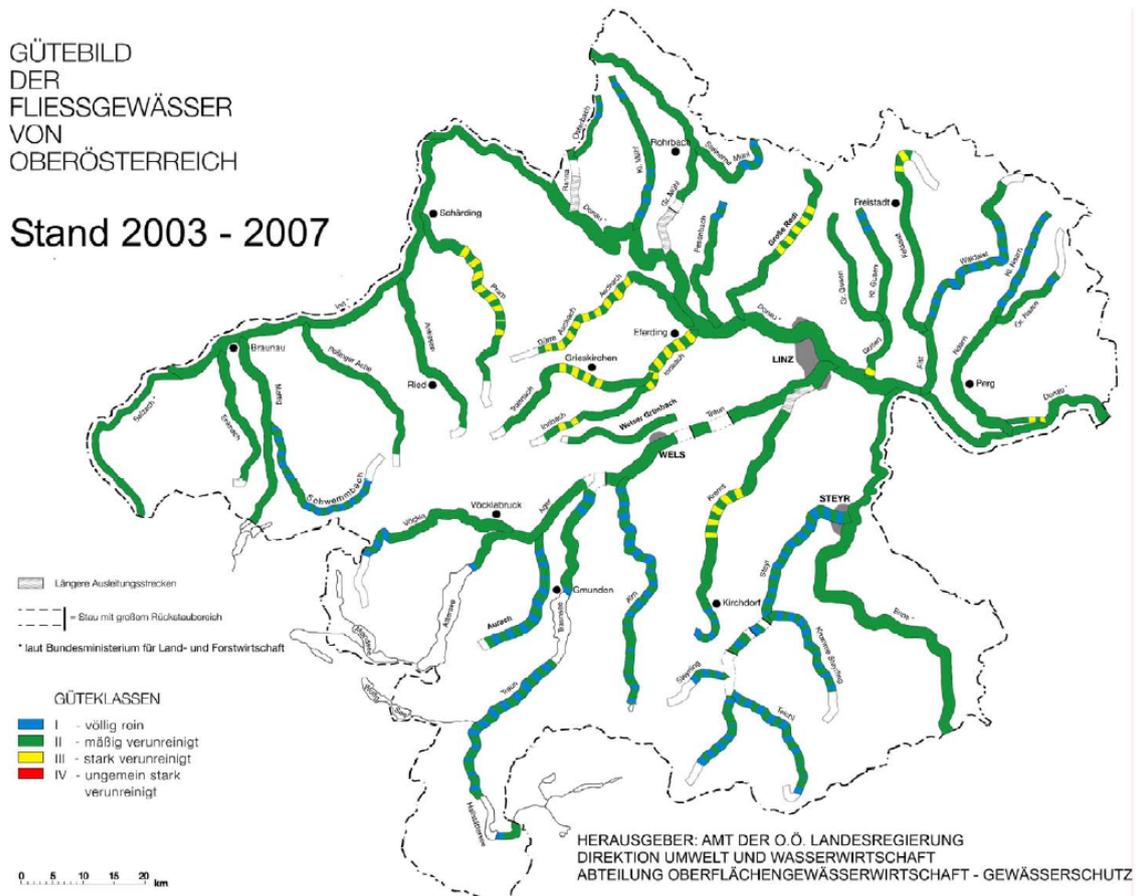


Abbildung 29: Gewässerbild der Fließgewässer in Oberösterreich zwischen 2003 und 2007 (Land Oberösterreich, 2007)

Für diese Arbeit ist vor allem Absatz 14 von Bedeutung. Dieser besagt, dass eine nachteilige Erhöhung der Wassertemperatur des Vorfluters durch Einleitungen zu vermeiden ist. „Der Vorfluter darf um insgesamt nicht mehr als 3 Grad C und nicht über + 23 Grad C erwärmt werden. Die Temperatur des Abwassers an der Einleitestelle darf + 30 Grad C (!) nicht überschreiten.“ (Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 14. April 1977 zur Verbesserung der Wassergüte der Donau und ihrer Zubringer, 2013)

5.4 Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer

Die Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer (Kurztitel: QZV Ökologie OG) basiert auf § 30 a des WRG, welches die Zielzustände und das Verschlechte-

rungsverbot für Oberflächengewässer umfasst. (vgl. 5.1 Wasserrechtsgesetz). Wie bereits erwähnt, muss laut § 30 a WRG bei Oberflächengewässern ein guter ökologischer Zustand erreicht werden. § 4 Absatz 6 und Absatz 7 der QZV Ökologie besagen, dass zur Erfüllung eines guten ökologischen Zustandes, bis zum 22.12.2015 die allgemeinen physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten, zu denen auch die Wassertemperatur zählt, eingehalten werden müssen. Werden diese Werte nicht eingehalten, befindet sich das Gewässer in einem ökologisch mäßigen Zustand. (QZV Ökologie OG, 2013; TWV, 2013)

Für die Bewertung des sehr guten ökologischen Zustandes ist die Fischregion von Bedeutung. Abhängig von den vorkommenden Fischen, sind unterschiedliche Wassererwärmungen zulässig. Die Donau gehört im Bereich der Stadt Linz zur Fischregion Epipotamal groß (Umweltbundesamt GmbH, 2009). Die Temperaturbeschränkungen befinden sich in Anlage H1 der Verordnung. (QZV Ökologie OG, Anlage H, 2010)

5.5 Gewässerzustandsüberwachungsverordnung - GZÜV

Diese Verordnung konkretisiert die §§ 59 c bis 59 f des WRG 1959. Prinzipiell beschreibt die Verordnung Methodik, Messstelleneinrichtung, Parameterumfang, Zeitraum und Frequenz für die überblicksmäßige und operative Überwachung von Fließgewässern, Seen und Grundwässern.

Zufolge des § 3 betrifft die Verordnung sowohl die Donau, als auch das Grundwasser im Linzer Becken. Laut Anhang 13 wird der mengenmäßige Zustand des Grundwasserkörpers 100038, Linzer Becken über den Wasserstand kontrolliert. (GZÜV, 2013)

5.6 Richtlinie 2006/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen

Das Ziel dieser Richtlinie ist es „Voraussetzungen für die Entwicklung und Förderung eines Markts für Energiedienstleistungen und für die Erbringung von anderen Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz für die Endverbraucher“ (RL 2006/32/EG, 2013, Artikel 1) zu schaffen sowie Richtziele festzulegen. Aufgrund der Richtlinie sollen alle EU-Mitgliedsstaaten bis zum Jahr 2016 neun Prozent des durchschnittlichen Energiebedarfs, welchen sie zwischen 2001 und 2005 hatten, einsparen. Die Kontrolle erfolgt über eigene unabhängige Behörden oder öffentlichen Stellen. Die Ziele sollen

durch Energiedienstleistungen und Energieeffizienzmaßnahmen auf der Nachfrageseite erreicht werden. Nach Artikel 14 Absatz 2 müssen alle Mitgliedsstaaten drei Energieeffizienzaktionspläne vorlegen, welche die Maßnahmen des jeweiligen Staates beinhalten. (RL 2006/32/EG, 2013)

5.6.1 Erster Energieeffizienzaktionsplan der Republik Österreich

Der erste Energieeffizienzaktionsplan musste bis zum 30. Juni 2007 der europäischen Kommission vorgelegt werden. In diesem Plan wird unter anderem der nationale Einsparrichtwert festgelegt. Dieser beträgt 80,4 PJ bis 2016. Des Weiteren werden in diesem ersten Energieeffizienzaktionsplan zahlreiche umfassende Maßnahmen getroffen. Die Maßnahmenpalette reicht von Bau- und Sanierungsmaßnahmen bis hin zu Bestimmungen im Bereich der Gebäudetechnik.

Für diese Arbeit ist die einzige relevante Maßnahme die Nutzung von Wärme zur Kälteerzeugung, welche sowohl private Haushalte als auch öffentliche und private Dienstleistungssektoren betrifft. (Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, 2007)

5.6.2 Zweiter Energieeffizienzaktionsplan der Republik Österreich

Der zweite Energieeffizienzaktionsplan musste bis zum 30. Juni 2011 vorgelegt werden. Im Prinzip zeigt dieses Dokument lediglich die Erreichung der ersten Zwischenziele auf. Einige, vorwiegend rechtliche, Maßnahmen zur Zielerreichung werden zusätzlich aufgelistet. Im Bereich der Kälteerzeugung aus Grund- und Oberflächenwasser werden auch in diesem Schriftstücke keine Ausführungsbestimmungen getroffen. (Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend, 2011)

5.6.3 Dritter Energieeffizienzaktionsplan der Republik Österreich

Dieser Energieeffizienzaktionsplan muss bis zum 30. Juni 2014 der europäischen Kommission vorgelegt werden. (RL 2006/32/EG, 2013, Artikel 14, Absatz 2)

5.7 ÖWAV-Regelblatt 207: Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds – Heizen und Kühlen

Das ÖWAV-Regelblatt 207 geht aus dem ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 3 „Wasserwirtschaftliche Gesichtspunkte für die Projektierung von Grundwasserwärmepumpenanlagen“ (1986) und dem ÖWAV-Regelblatt 207 „Anlagen zur Gewinnung von Erwärme“ (1993) hervor. Das Regelblatt beschäftigt sich sowohl mit indirekten auch mit direkten thermischen Nutzungen von Grundwasser.

Für alle Anlagen ist zu beachten, dass die thermische Nutzung auf oberflächennahes Grundwasser zu beschränken ist, da Tiefengrundwässer die Trinkwasserversorgung in Krisenzeiten sichern sollen. Sofern das entnommene Grundwasser nicht als Nutzwasser oder zur Grundwasserabsenkung entnommen wird, muss es wieder vollkommen dem Grundwasseraquifer zugeführt werden. Für Anlagen in der Schutzzone III gilt, dass diese Anlagen an den besonderen Schutzbedarf angepasst werden müssen und geeignete Begleitmaßnahmen gesetzt werden müssen. Des Weiteren gilt für alle Anlagen, dass jegliche negative Veränderung des Grundwassers auf jeden Fall verhindert werden muss. Folglich muss auch die Wahl der Arbeitsmittel und Wärmeträgermedien entsprechend umweltsicher geschehen. Ein weiterer wasserwirtschaftlicher Grundsatz besagt, dass selbst bei der Bohrung die verschiedenen Grundwasserstockwerke nicht verbunden werden dürfen. Letztendlich sollen Durchlaufkühlsysteme möglichst nur in Oberflächengewässern eingesetzt werden; im Grundwasserbereich und in Trinkwassergebieten sollen Umlaufkühlsysteme bevorzugt werden. (ÖWAV, 2009, S. 12)

Im Allgemeinen sind alle Maßnahmen, welche die Trinkwasserversorgung gefährden zu unterlassen. So sollen in den Schutzzonen I und II und auch nahe bewilligungsfreien Trinkwasserentnahmen keine Anlagen errichtet werden. Des Weiteren sollen lediglich leicht gespannte Grundwasservorkommen genutzt werden. Die Anbohrung gespannter oder gar artesischer Vorkommen ist zu unterlassen. (ÖWAV, 2009, S. 16 f)

Gemäß ÖWAV-Richtlinie darf die Einleitungstemperatur des thermisch genutzten Grundwassers normalerweise zwischen 5°C und 20°C liegen, wobei die zulässige Aufwärmung beziehungsweise Abkühlung sechs Kelvin nicht überschreiten darf. Wird die

Grundwassertemperatur jahreszeitlich durch Oberflächengewässern wesentlich gesenkt, darf die Einleitungstemperatur die 5 °C-Marke auch unterschreiten. Das Wärmeträgermedium von Erdwärmesonden darf bei Kühlbetrieb eine Temperatur von 30 °C nicht überschreiten. (ÖWAV, 2009, S. 16)

Bei der Errichtung der Anlage muss die Materialwahl mit ausreichender Sorgfalt geschehen. So müssen alle Materialien, welche in den Untergrund eingebaut werden, korrosionssicher und mechanisch beanspruchbar sein. Stoffe wie beispielsweise Kies und Zement müssen für den Einsatz im Grundwasser geeignet sein und dürfen keine negativen Auswirkungen auf das Grundwasser haben. Speziell beim Einsatz von Kunststoffen ist besonders auf die Gebrauchstemperatur zu achten. Bei der Wahl der Temperaturträgermaterialien sind zahlreiche Bestimmungen einzuhalten, die an dieser Stelle nicht näher behandelt werden. (Vgl. ÖWAV, 2009, S. 21 ff; ÖWAV, 2009, S. 52 ff)

Für die Rückgabe des Grundwassers empfiehlt der ÖWAV den Einsatz von Sickerschächten, da diese die Temperaturspreizung reduzieren und im Falle von Leckagen eine Kontrollmöglichkeit bieten. Die Schächte sollen ab einer Rückgabe von 3 l/s eine gesonderte Entlüftungseinrichtung besitzen. Diese ist mit Insektenschutzgittern zu versehen. Der Kopf des Sickerschachtes soll tagwasserdicht ausgeführt werden, damit keine Fremdwässer, welche unter Umständen organisch oder anthropogen verschmutzt sind, eindringen können. (ÖWAV, 2009, S. 25 f)

Zusätzlich beschreibt die ÖWAV-Richtlinie 207 auch ausführlich die Errichtung von Anlagen sowie die Methoden zur Berechnung der hydraulischen Verhältnisse und zur Berechnung der Temperaturanomalien nach INGERLE

Diese sehr umfassenden rechtlichen Grundlagen bilden, neben den vorhandenen Ressourcen wie Abwärme oder Wasser, die Eckpfeiler bei der Planung von Kühleinrichtungen.

6 Fallbeispiel Linz

Wie einleitend erwähnt, sind in der Stadt Linz bereits zahlreiche Anlagen zur Kälteerzeugung mittels Grund- und Oberflächenwassernutzungen angesiedelt. Um die vorliegende Nutzungen überhaupt bewerten zu können und Alternativen zu erwägen, muss man sich zunächst über die Grundwasserverhältnisse im Stadtbereich im Klaren sein.

6.1 Grundwasserverhältnisse in Linz

Laut DonauConsult Zottl & Erber (2004a, S. 8ff) umfasst die Stadt Linz eine Fläche von 96 km² und ist in drei geologische Einheiten gegliedert. Im Norden, Nordosten und Nordwesten der Stadt erstreckt sich auf eine Fläche von rund 20 km² das Festgestein der Böhmisches Masse. Die beiden anderen geologischen Einheiten sind marine Sande und Tonmergel, welche lokal als „Linzer Sande“ und „Schlier“ bezeichnet werden, sowie quartäre Kiese. Bei den Untersuchungen von DonauConsult Zottl & Erber umfasst das betrachtete Gebiet jene Stadtteile mit freien Porengrundwasser. Dabei bildet der Schlier den Grundwasserstauer. Die darüber liegenden quartären Kiese bilden den Grundwasserleiter.

Wie in Abbildung 30 dargestellt, kann man das Gebiet in drei quartärgeologische Zonen weiter unterteilen. Die Hochterrasse befindet sich im Osten. Die Kiesschicht hat eine Mächtigkeit von rund 15 Metern und wird von einer zehn bis zwölf Meter hohen Schicht Löss bedeckt. Die Grundwasserunterkante liegt zwischen 252 müA (Meter über Adria) und 255 müA. Die Niederterrasse erstreckt sich über den Großteil des betrachteten Gebietes und hat eine Kiesmächtigkeit von ungefähr zwölf Metern. Eine Ausnahme stellen die ehemaligen Kolken dar, welche im Bereich der Nibelungenbrücke den Maximalwert von rund 26,7 m Kiesmächtigkeit haben. Die Stärke der Bedeckung ist zwar sehr unterschiedlich, liegt aber in meisten Fällen zwischen zehn Zentimetern und vier Metern. Die Kiesunterkante befindet sich in dieser Zone zwischen 240 müA und 252 müA.

Die Oberkanten der Alluvionen liegen zwischen zwei und acht Meter tiefer als die der Niederterrasse. Ihre Kiessicht ist zwischen sieben und elf Meter dick und hat eine Bedeckung von 20 Zentimetern bis vier Metern. Die Oberkante des Grundwasserstauers

liegt, wie bei der Niederterrasse, zwischen 240 müA und 252 müA (DonauConsult Zottl & Erber, 2004b, S. 4f).

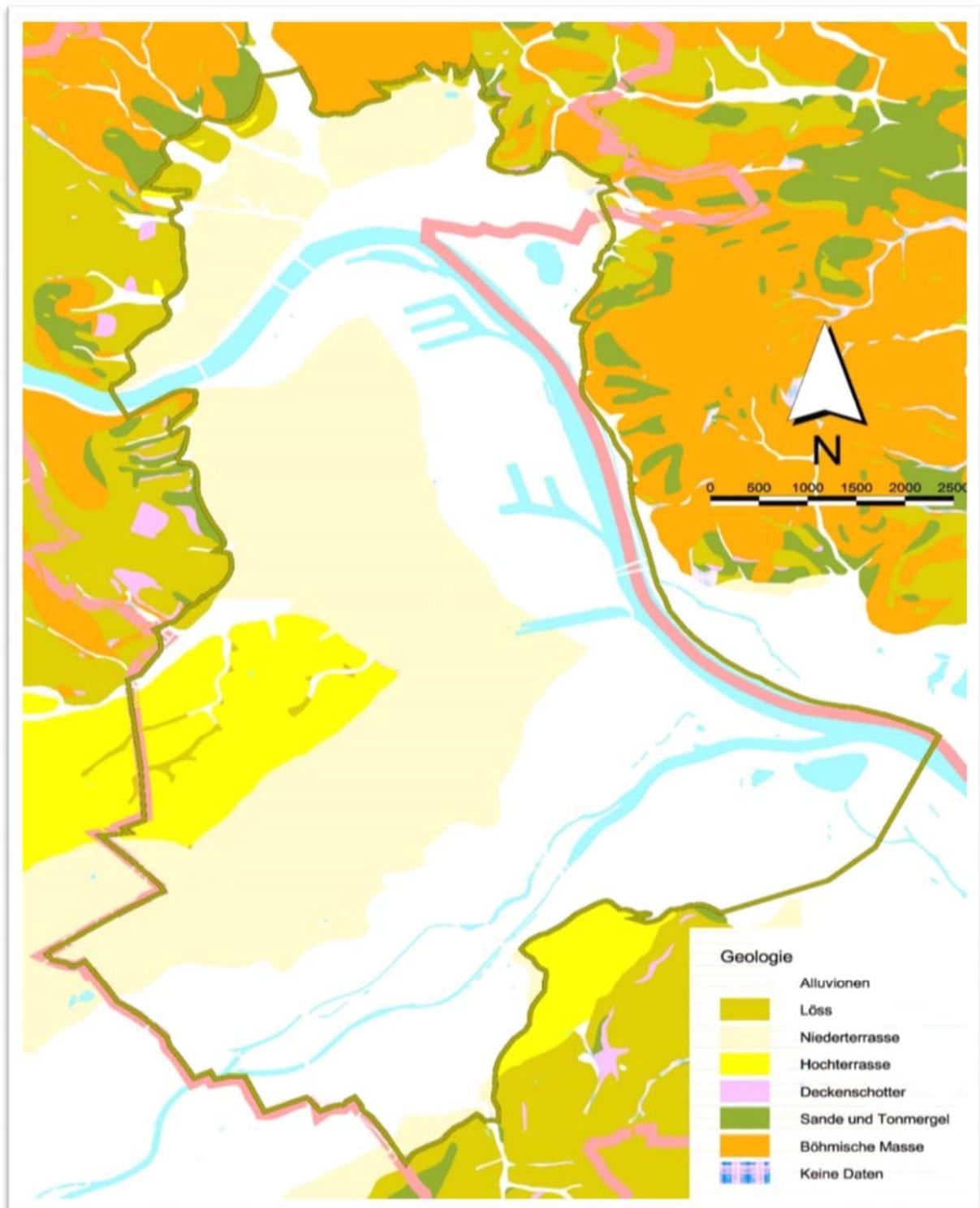


Abbildung 30: Geologische Schichten im Bearbeitungsgebiet von DonauConsult Zottl & Ebner (olivgrün) (Amt der Oö. Landesregierung - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, o.J., S. 6)

Für diese Arbeit wurde das Projektgebiet, in Abstimmung mit der strategischen Studie Fernkälte Linz von KRAKOW und FUCHS-HANUSCH (2013), auf die sogenannten Teilgebiete B1, B2, B3 und B4 (folglich Bearbeitungsgebiet genannt) eingeschränkt. (vgl. Abbildung 31)

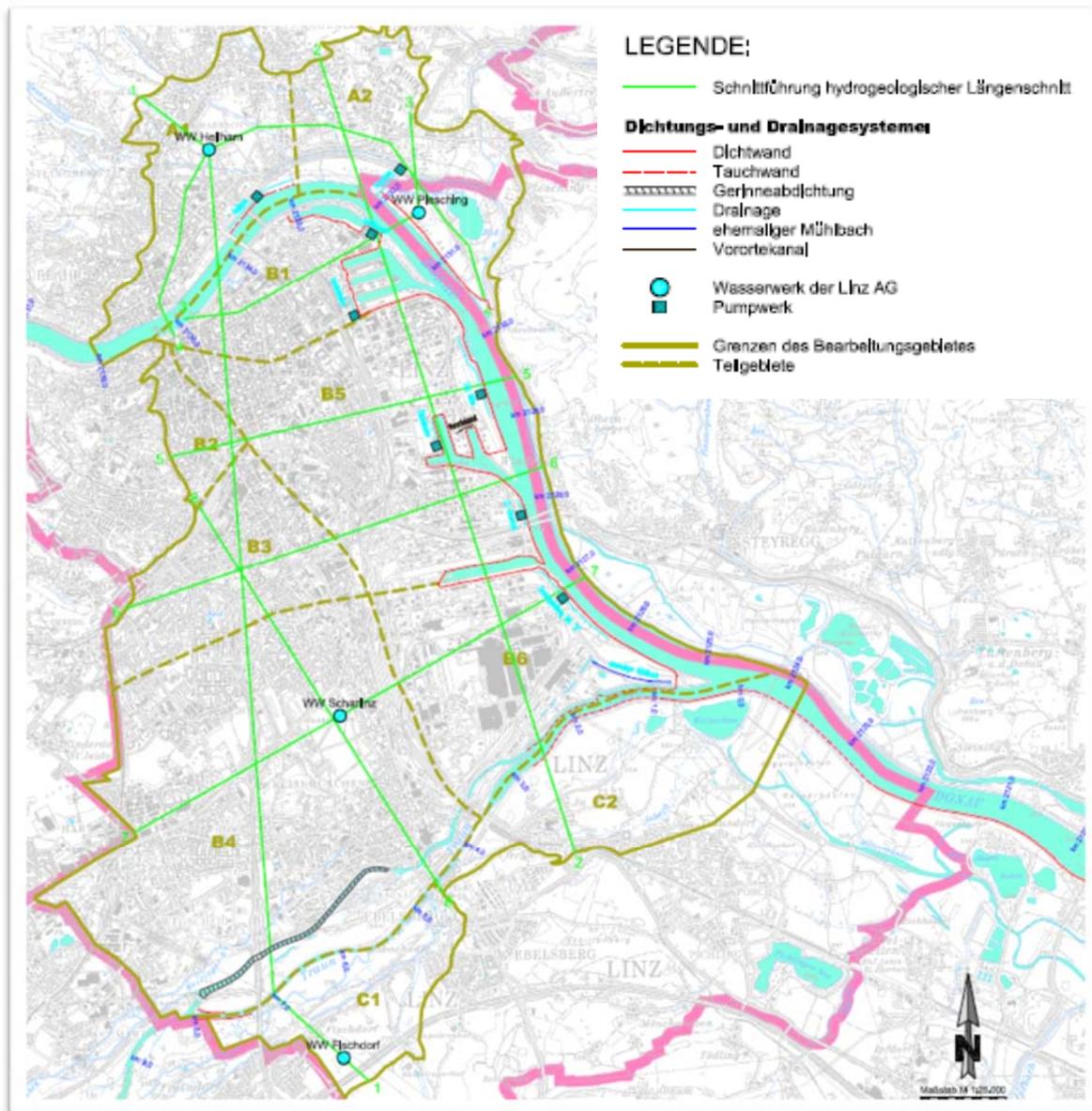


Abbildung 31: Übersichtslageplan der Wasserhaltungsmaßnahmen der Stadt Linz (Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, 2003 b)

Mit der Errichtung des Donaukraftwerkes Abwinden-Asten im Jahr 1979, welches sich rund 8 km Flussabwärts des Voest-Hafens befindet, wurde der Grundwasserspiegel in

der Stadt um bis zu 4,0 m angehoben. Dadurch drohten Teile der Stadt nass zu fallen (vgl. 4.2.1 Quantitative Auswirkungen). Um diese Folgen zu verhindern wurden in weiten Teilen der Stadt Stauraumabdichtungen errichtet. Diese unterbinden die direkte Kommunikation des Grundwassers mit der Donau. Damit der Grundwasserstand im Stadtgebiet konstant bleibt wurden Pumpwerke geschaffen. Diese heben das das zuströmende Grundwasser über die Stauraumabdichtung in die Donau.

Wie in Abbildung 31 ersichtlich, ist ab dem Winterhafen, bei Stromkilometer 2133.1, das gesamte Bearbeitungsgebiet flussabwärts mittels Dichtwand zur Donau hin abgedichtet. Weitere Dichtungsmaßnahmen befinden sich entlang der Traun, zwischen der Mündung des Unterwasserkanals des Kraftwerkes Kleinmünchen bis hin zur Einmündung in die Donau, und entlang der gesamten rechten Donaulänge bis zum Kraftwerk Abwinden-Asten. Entlang des linken Donauufers befinden sich auch vereinzelte Dichtungsmaßnahmen. (DonauConsult Zottl & Erber, 2004a, S. 31 ff) Außerdem sind in Abbildung 31 die Standorte der Pumpwerke ersichtlich.

Durch die oben genannten Maßnahmen wurden die saisonalen Grundwasserstandsschwankungen stark gedämpft und liegen im Bearbeitungsgebiet überwiegend zwischen 0 und 0,2 m. Spannmaße zwischen 0,2 m und 0,4 m treten nur vereinzelt auf. (vgl. Abbildung 32)

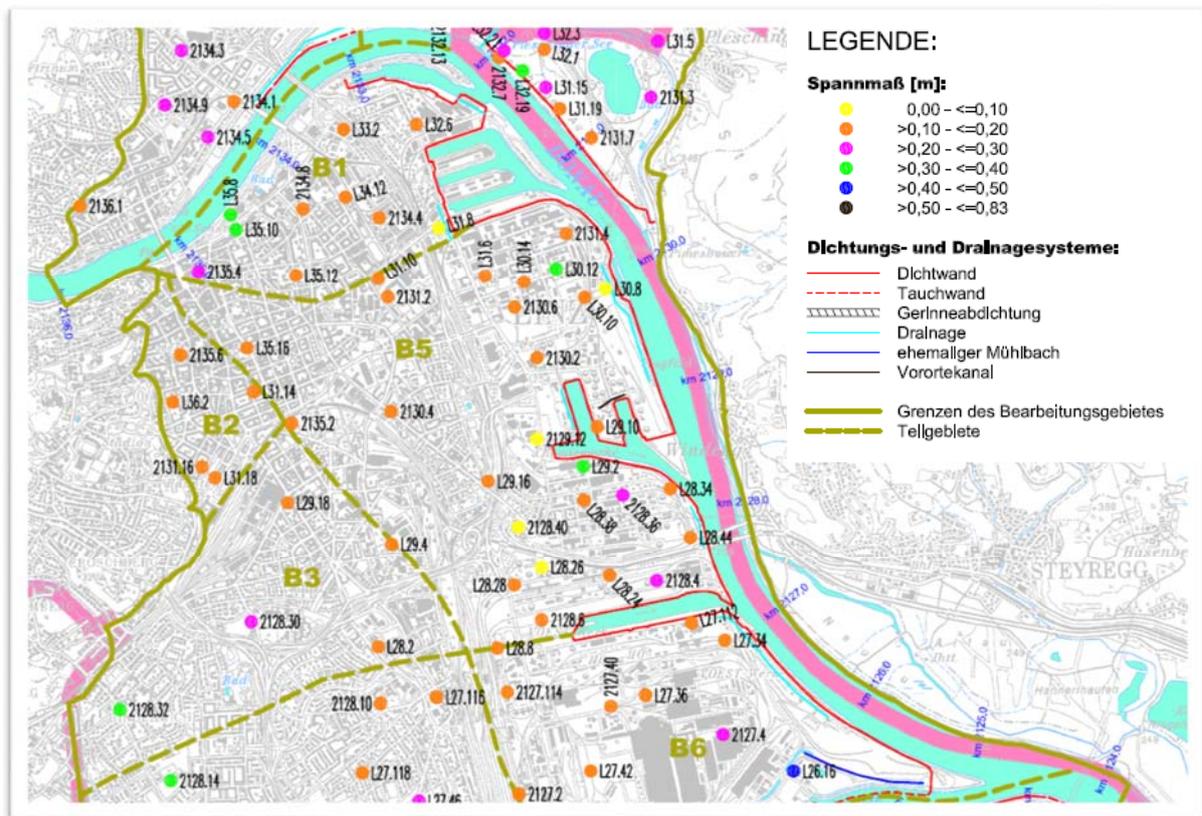


Abbildung 32: Spannmaß der saisonalen Grundwasserschwankungen Monatsmittel 1980 – 2001 (Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, 2003 c)

Ein für die Grundwasserbewirtschaftung besonders wichtiger Parameter ist der Durchlässigkeitsbeiwert, kurz k_f -Wert. Dieser gibt an wie durchlässig ein Boden ist.

Wie in Abbildung 33 ersichtlich, liegen die k_f -Werte im Arbeitsgebiet zwischen 1 mm/s und 10 mm/s.

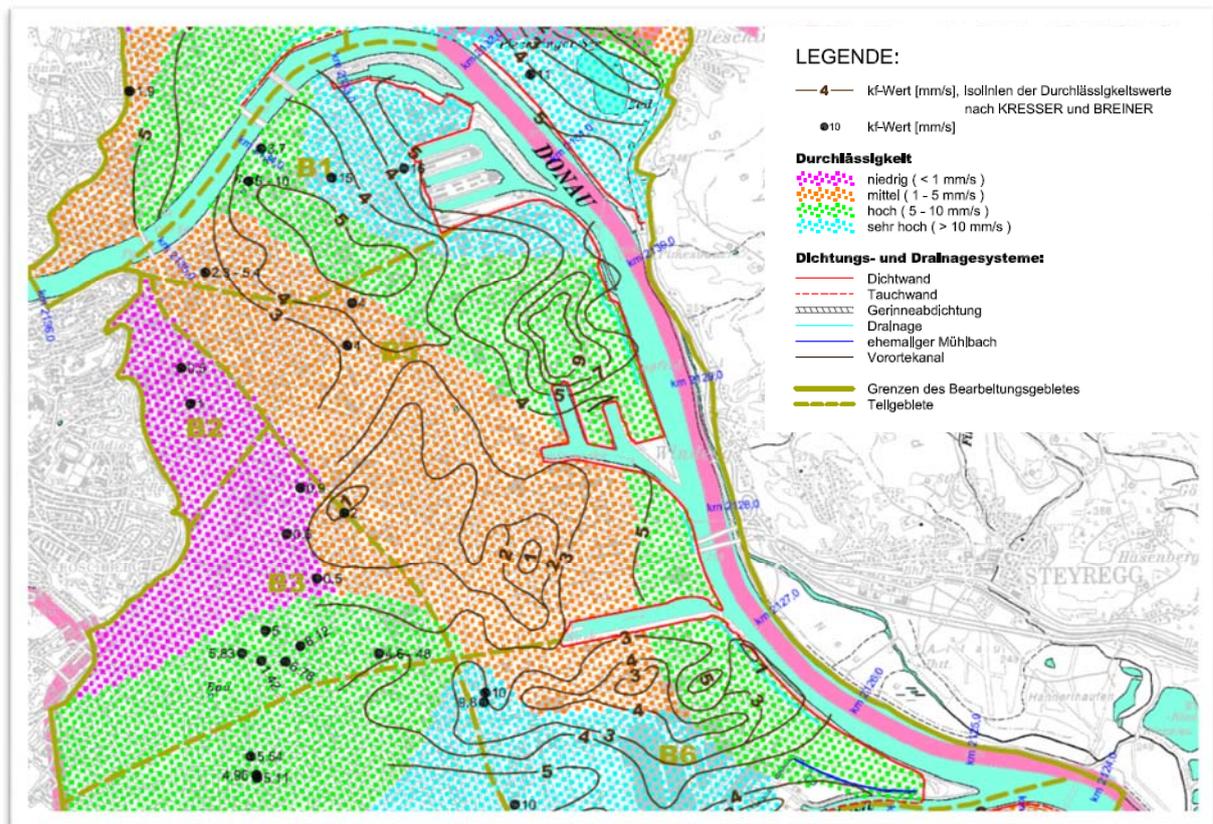


Abbildung 33: Durchlässigkeit Arbeitsgebiet (Auszug aus Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, 2003)

Wie bereits aus den wasserwirtschaftlichen Auswirkungen und den rechtlichen Grundlagen ersichtlich wurde, ist vor allem die Grundwassertemperatur für die Grundwassernutzung von enormer Bedeutung.

Die Studie von DonauConsult Zottl & Erber (2004a, 50ff) unterscheidet zwischen zwei unterschiedlichen Temperaturerhebungen. Zwischen 1992 und 2002 gab es an zahlreichen Messstellen wiederkehrende Messungen bei denen Daten unterschiedlicher Qualität erhoben wurden. Am 21. Mai 2003 fand eine eine Stichtagsmessung vom Hydrografischen Dienst des Landes Oberösterreich statt

Abbildung 34 zeigt die mittlere Grundwassertemperatur zwischen 1992 und 2002 bei verschiedenen Messstellen. Die Messintervalle der erfassten Messstellen sind sehr unterschiedlich und haben sich teilweise während des Zeitraumes geändert.

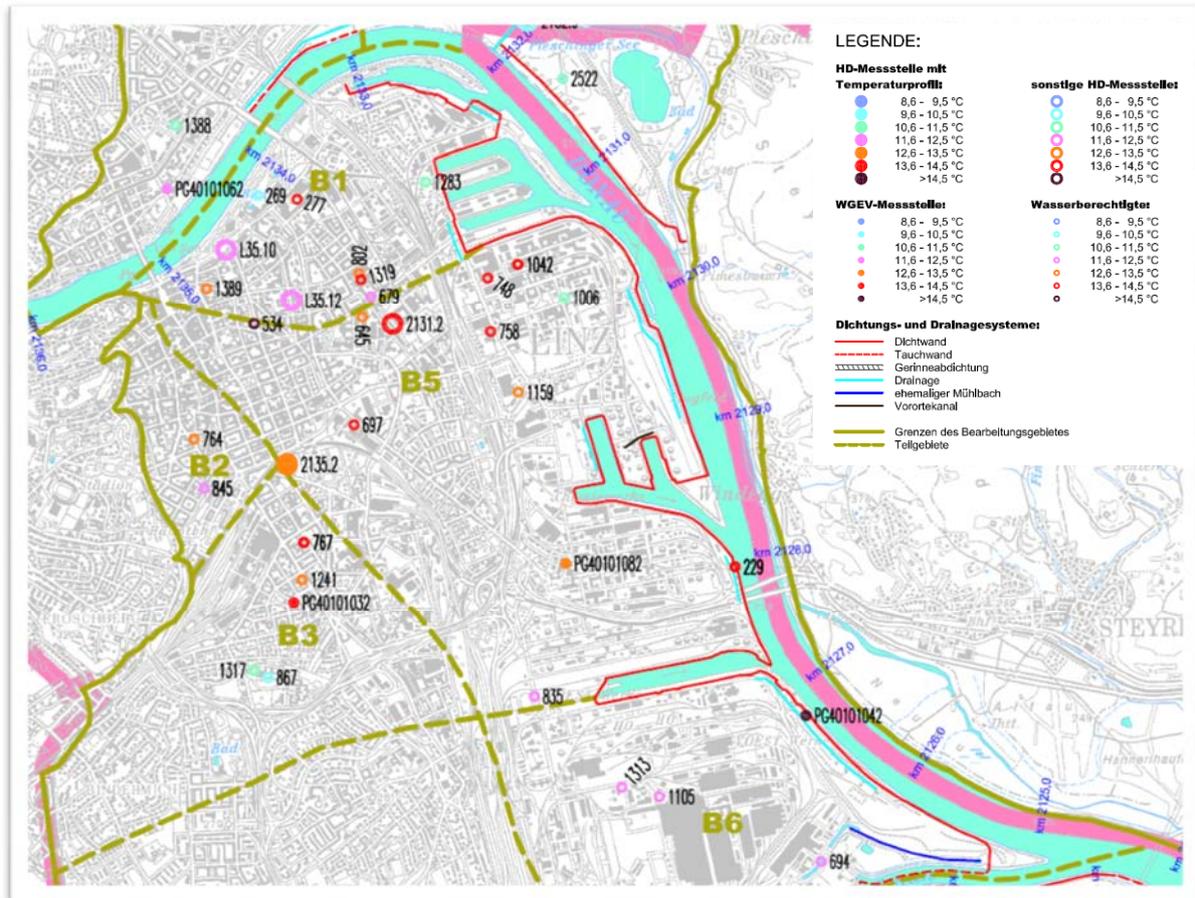


Abbildung 34: Mittlere Grundwassertemperatur 1992 – 2002 (Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, 2003 d)

Abbildung 35 zeigt die tiefengemittelte Grundwassertemperatur bei der Stichtagsmessung am 21.05.2013. Diese erfolgte an 120 Messpunkten. Die Temperatur wurde jeweils an der Grundwasseroberfläche sowie in 1-m-Schritten bis zur Sondensohle gemessen. Aus den Messergebnissen wurden jeweils die Durchschnittstemperatur über den Querschnitt ermittelt und grafisch dargestellt.

Wie in der Abbildung 35 ersichtlich sind vor allem im Bereich des Stadtzentrums und des VOEST-Hafens sehr hohe Durchschnittstemperaturen vorhanden.

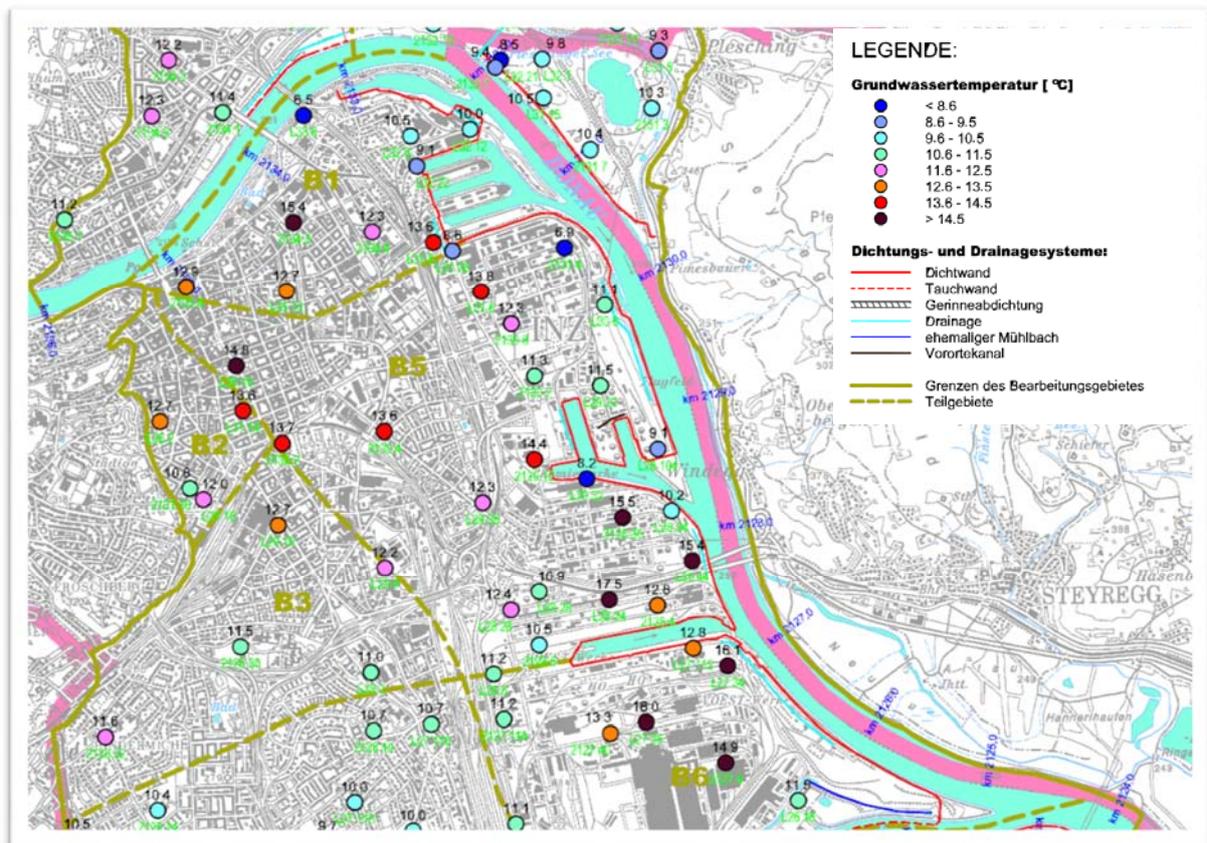


Abbildung 35: Tiefengemittelte Grundwassertemperatur am 21.05.2003 (Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, 2003 e)

In den Jahren 2003 bis 2005 fand ein weiteres Grundwassertemperaturmessprogramm in Linz statt. Dieses umfasste neben mehr oder weniger regelmäßigen Messungen auch halbjährliche Stichtagsmessungen. Exemplarisch für die Herbstmessungen wurde in Abbildung 36 das Ergebnis von der Stichtagsmessung am 30. September 2003 dargestellt. Dabei wurden vor allem im Hafbereich besonders stark erhöhte Temperaturen festgestellt. Die höchste Durchschnittstemperatur wurde bei der Messung am 30.09.2003 (vgl. Abbildung 36) im Bereich des VOEST-Hafens gemessen und betrug 18,8 °C.

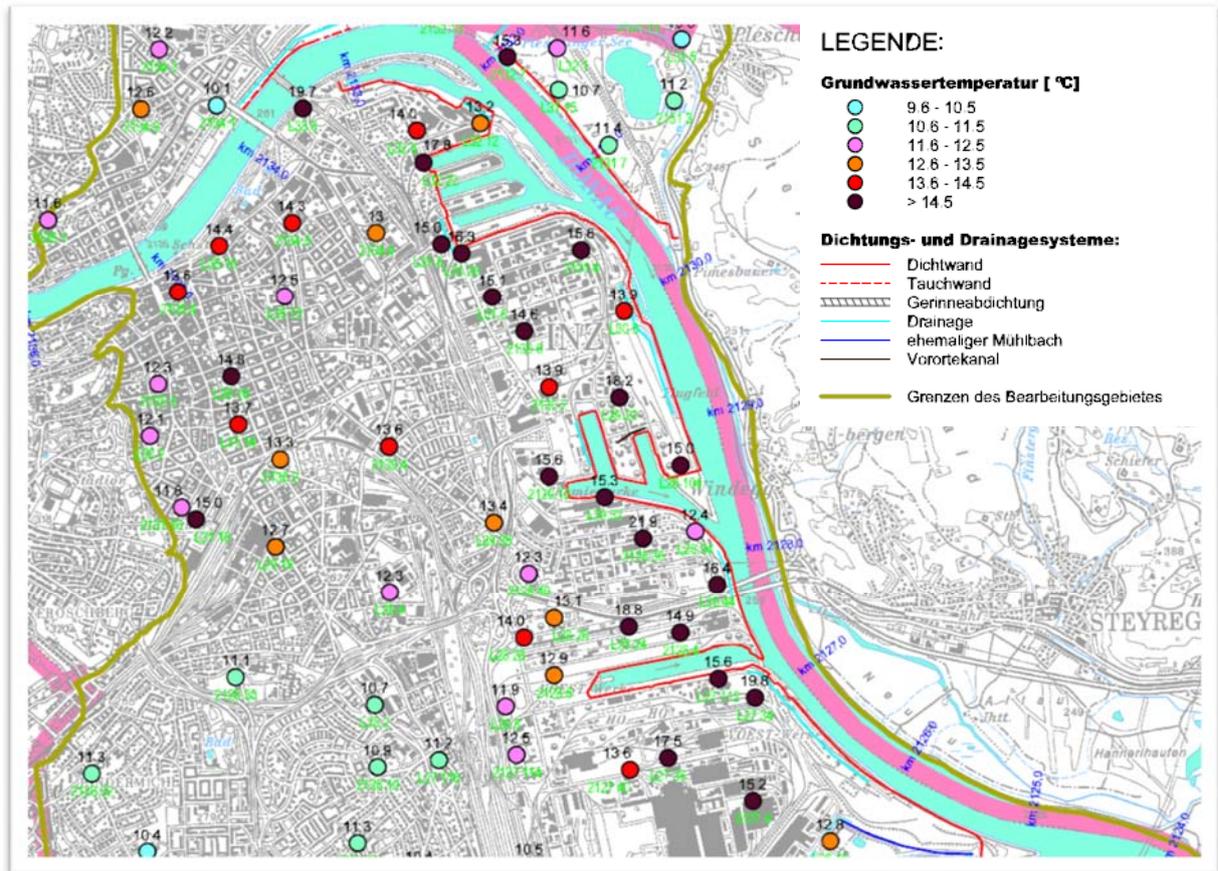


Abbildung 36: Tiefengemittelte Grundwassertemperatur am 30.09.2003 (Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, 2004)

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Grundwasser im Donauuferbereich Linz sowohl hinsichtlich Temperatur als auch bezüglich des Grundwasserstandes stark beeinflusst wird.

6.2 Ist – Stand Donauuferbereich

Im oben ausführlich beschriebenen Bearbeitungsgebiet, befinden sich 54 Grundwassernutzungen zur Kältegewinnung.

All diese Kältenutzer sind in Abbildung 37 dargestellt. Die Kühlwasserentnahmen sind als grüne Quadrate dargestellt. Die schwarzen Dreiecke symbolisieren die Versickerungen. Die Ableitungen in die Donau sind mit einem Pfeil abgebildet worden. Die rote Linie stellt das, in Kapitel 6.1 beschriebene, Dichtungs- und Drainagesystem dar. Die blauen Quadrate symbolisieren die Pumpstationen der Verbund – Austrian Hydro Power. Des Weiteren ist eine schwarze Linie eingezeichnet, diese stellt den Trassenverlauf der geplanten Straßenbahnlinie dar, welche zum Teil unterirdisch errichtet werden soll.

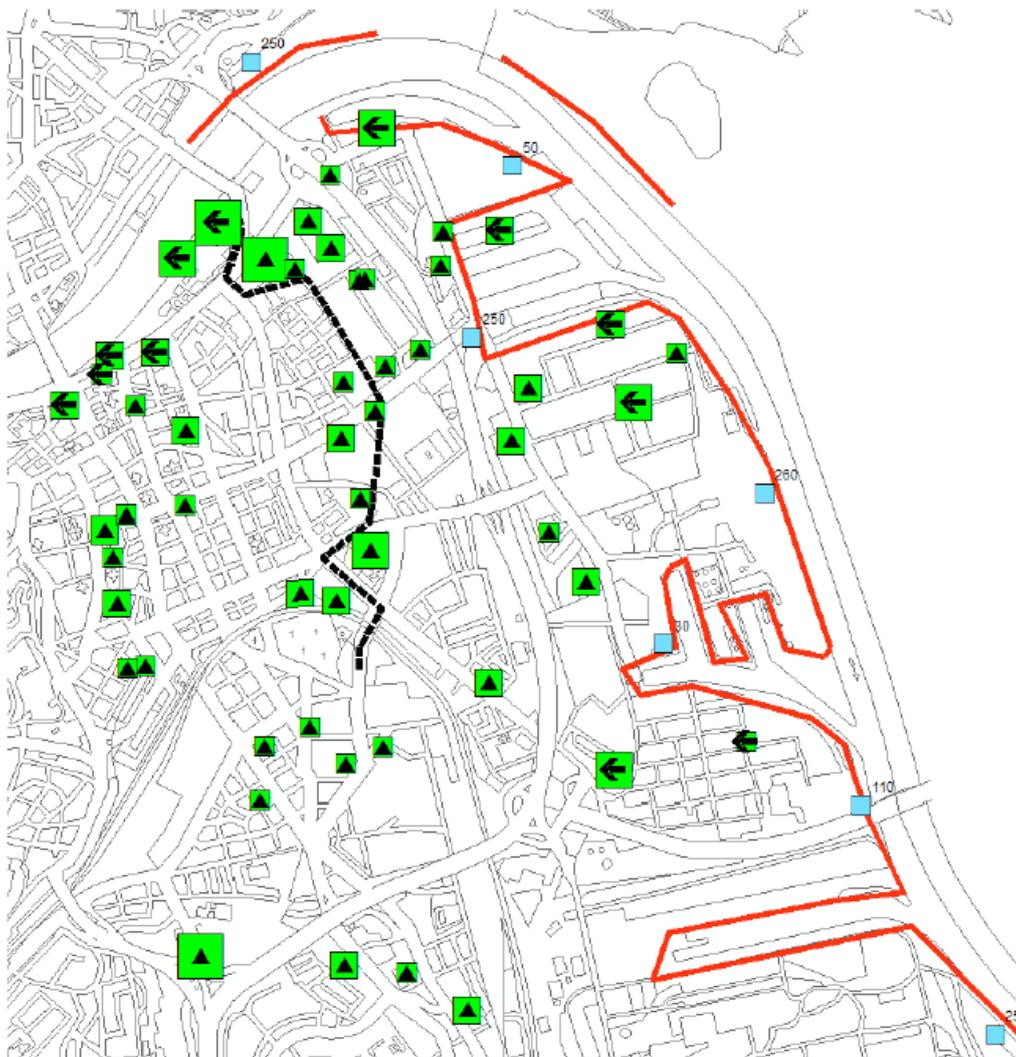


Abbildung 37: Kältenutzer im Stadtgebiet Linz (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 31)

Abbildung 38 zeigt die kategorisierten Bewilligungsdauern der Kältenutzungsanlagen im Stadtgebiet. Dabei ist ersichtlich, dass bei rund 60 Prozent der Anlagen die aktuell laufende Bewilligung bis zum Jahr 2024 ausläuft.

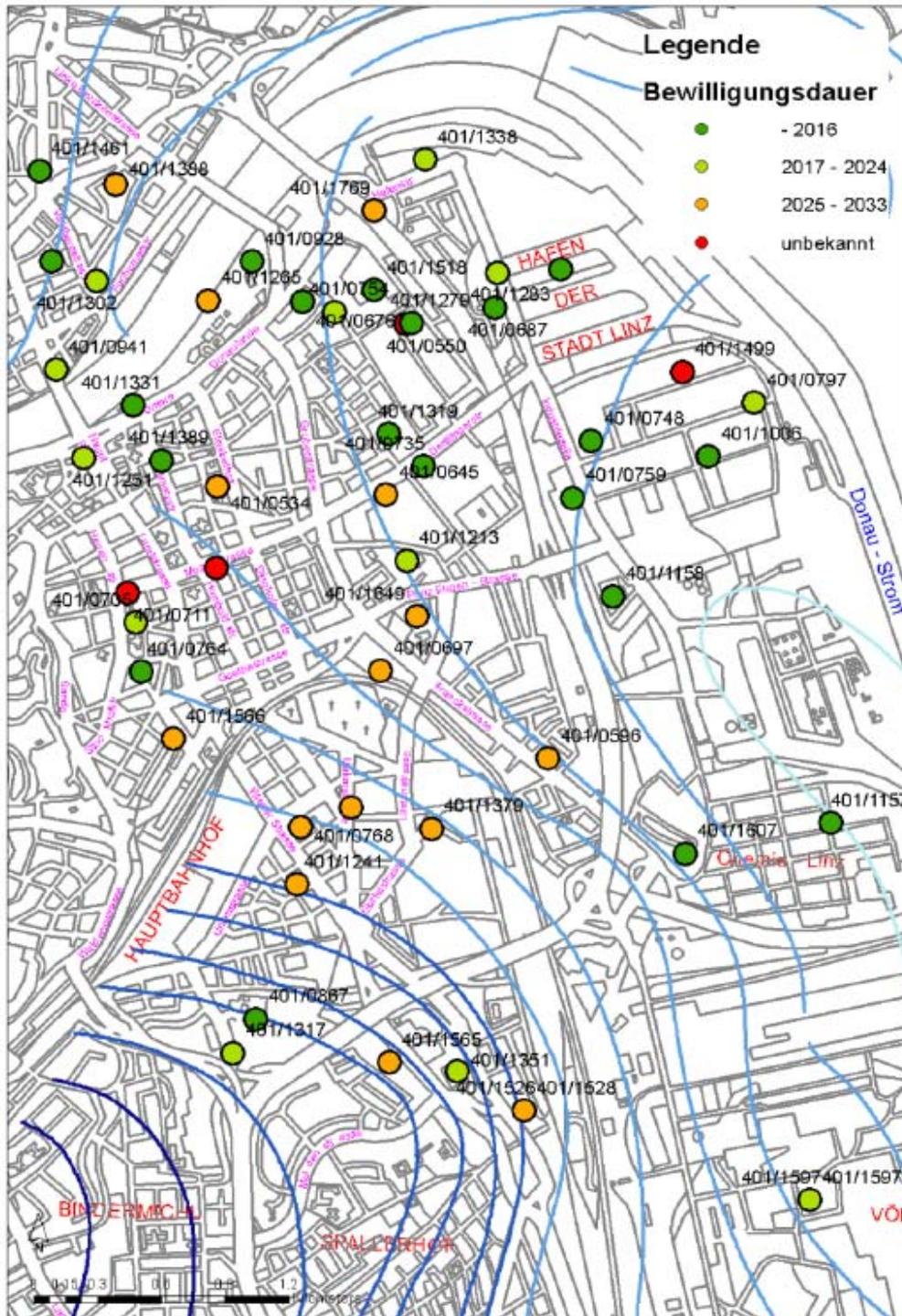


Abbildung 38: Aktuelle Bewilligungsdauern der Kältenutzungsanlagen im Stadtgebiet Linz (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 32)

In Abbildung 39 sind die Neubewilligungen für Kühlwasserentnahme und Kühlwasserversickerungen zwischen 1951 und 2012 dargestellt. Die neubewilligte Entnahmemenge in l/s ist blau dargestellt, in Rot sieht man die neubewilligten Kühlwasserversickerungen. Demzufolge war im Jahr 2012 eine jahresdurchschnittliche Entnahmemenge von rund 972 l/s für Kühlzwecke bewilligt. Dem gegenüber liegt eine, nicht dargestellte, bewilligte maximale Gesamtentnahmemenge von 1230 l/s. Von der jahresdurchschnittlichen Entnahmemenge von 972 l/s werden ungefähr 575 l/s wieder versickert. Die Differenz zwischen Entnahme und Versickerung entspricht jener Menge, welche ausgeleitet wird.

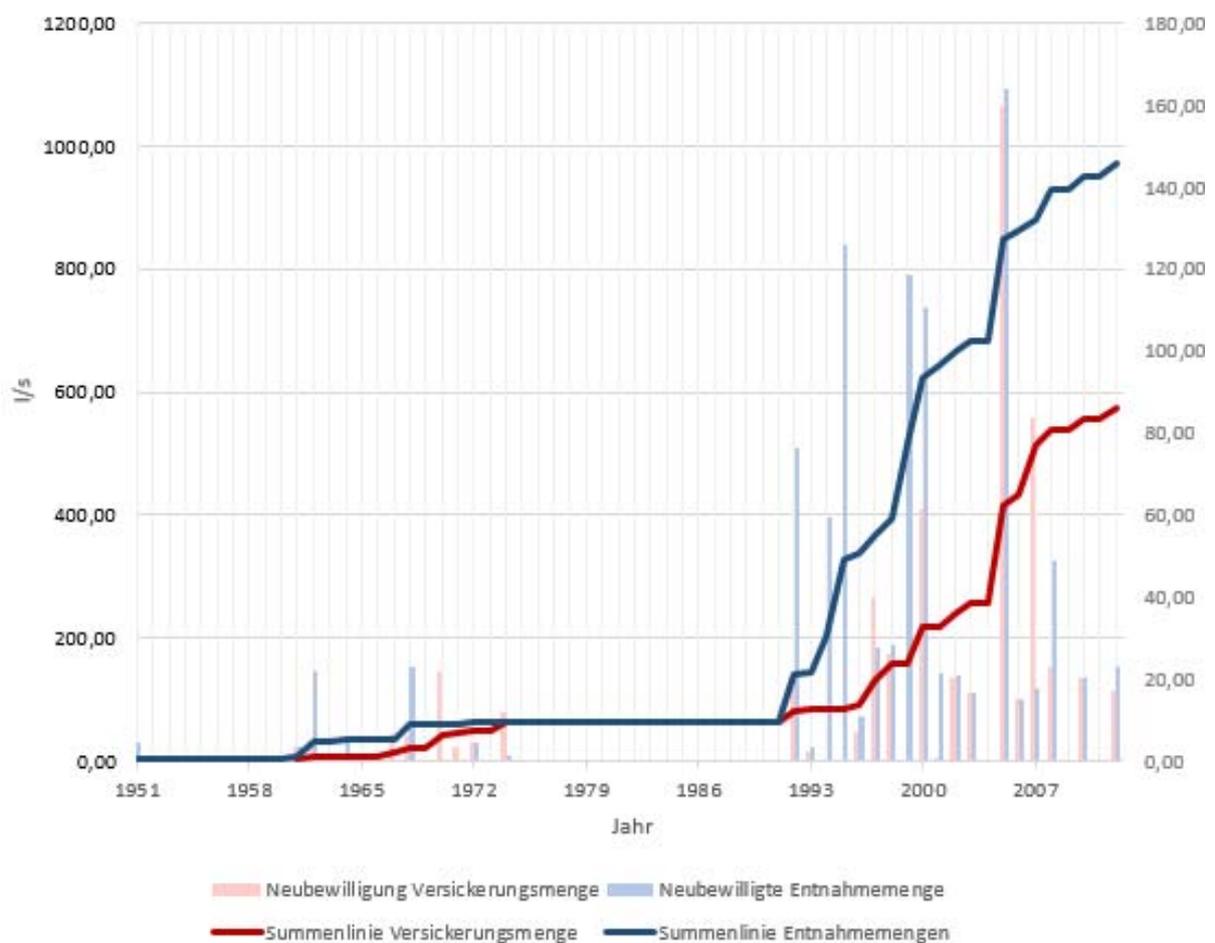


Abbildung 39: Neubewilligte Kühlwasserentnahme- und Versickerungsmengen im Bearbeitungsgebiet zwischen 1951 und 2012 als Jahresdurchschnittswert in l/s

6.2.1 Auswirkungen auf die Grundwassertemperatur

Mit Hilfe der Berechnungsmethode nach INGERLE können die Auswirkungen der bereits bestehenden Kühlwasserentnahmen auf die Grundwassertemperatur abgeschätzt werden. Dabei erhält man die Größenausmaße der jeweiligen Wärmefahnen welche man anschließend grafisch darstellen und mit Beobachtungen vergleichen kann.

6.2.1.1 Berechnungsmethode nach INGERLE

Die Berechnung nach INGERLE, welche 1992 von RAUCH angepasst wurde, ist eine iterative Methode zur Abschätzung der Ausbreitung stationärer Temperaturanomalien.

Wie in Abbildung 40 ersichtlich, nimmt die Temperaturfahne entlang der Grundwasserströmungsrichtung näherungsweise nach einer Exponentialfunktion ab. Die maximale Grundwassererwärmung beträgt sechs Kelvin. Vom Ende der Temperaturfahne ist ausgegangen, sobald die Temperaturdifferenz ein Kelvin, im Vergleich zur unbeeinflussten Grundwassertemperatur, beträgt.

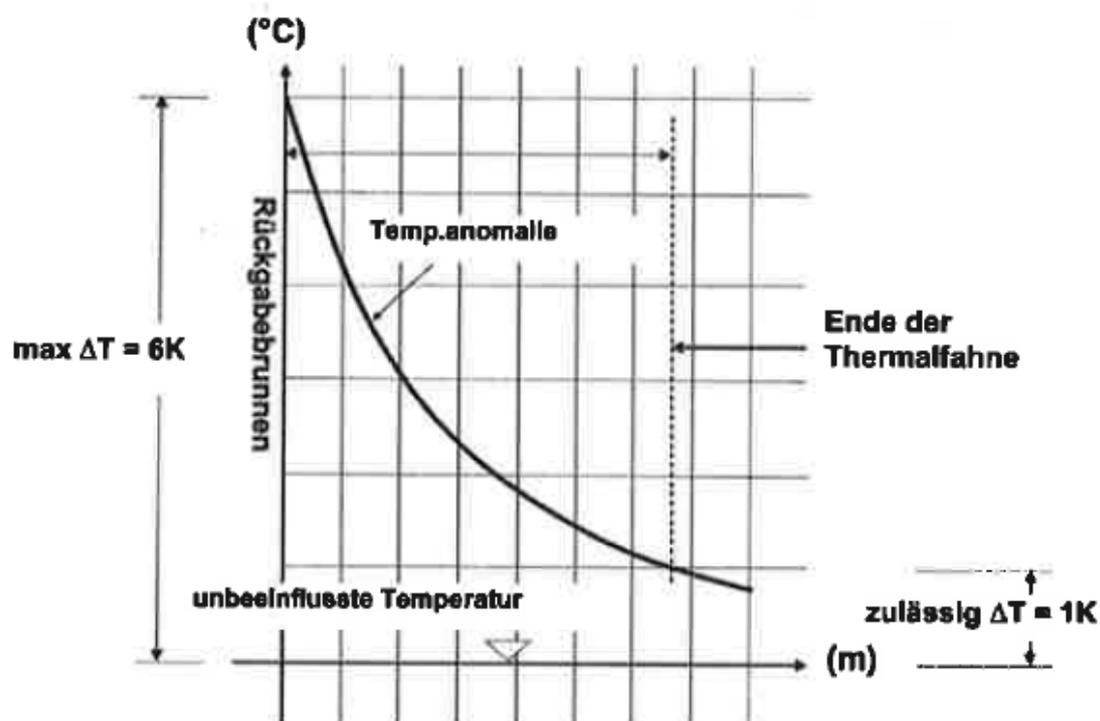


Abbildung 40: Idealisierte Ausbreitung einer Temperaturanomalie in Grundwasserströmungsrichtung (ÖWAV, 2009, S. 29)

Zur annähernden Berechnung der seitlichen Ausbreitung der Fahne wird das Strömungsbild durch ein Trapez mit der Breite B vereinfacht (vgl. Abbildung 41).

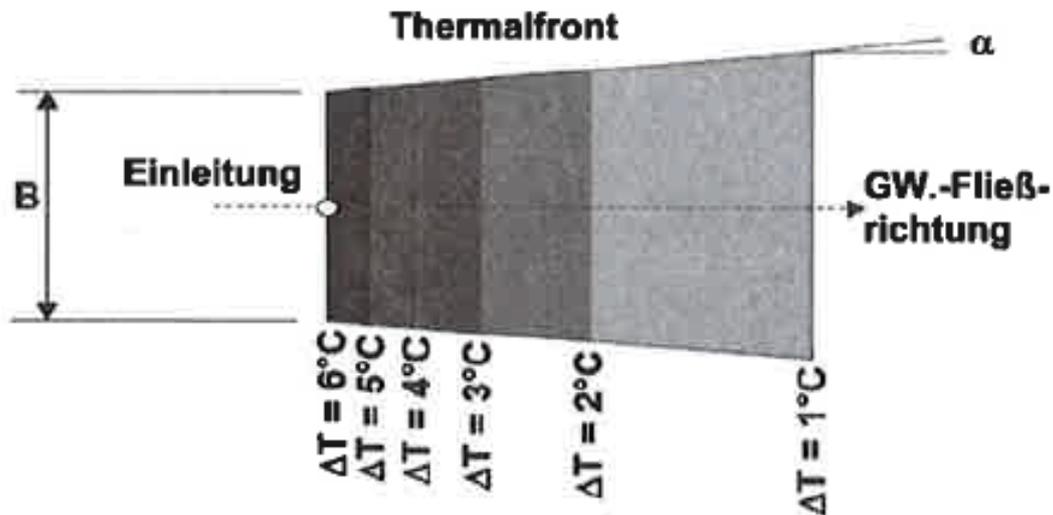


Abbildung 41: 2-dimensionale, idealisierte Darstellung einer Temperaturanomalie als Trapez nach INGERLE (ÖWAV, 2009, S. 30)

Die Breite B ist der Quotient der Infiltrationsmenge Q (m³/s) mit dem Produkt aus Durchlässigkeitsbeiwert k_f (m/s), Grundwassermächtigkeit H (m) und Grundwasserspiegelgefälle J (-).

$$B = \frac{Q}{k_f \cdot H \cdot J}$$

Gleichung 3

Die Formeln zur Berechnung der Temperaturanomalie basierend auf der in Abbildung 42 dargestellten Energiebilanz.

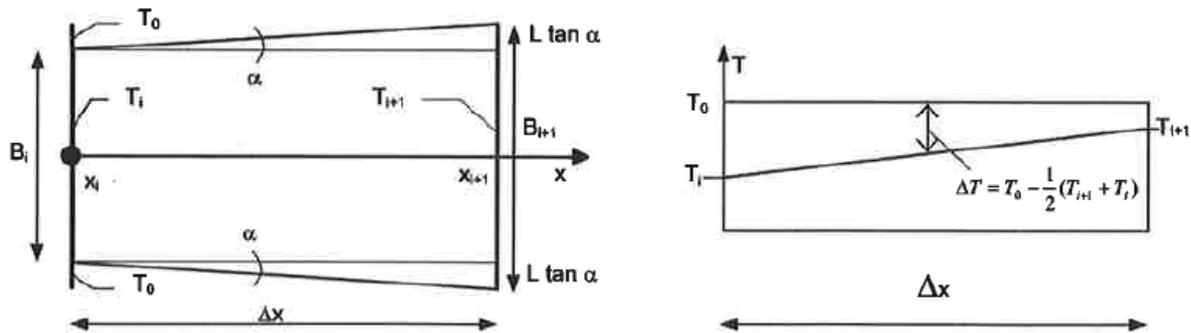


Abbildung 42: Energiebilanz für Kontrollvolumen nach INGERLE (ÖWAV, 2009, S. 30)

Die Breite der Temperaturanomale nach einer Länge Δx , also B_{i+1} , wird über den Tangensatz ermittelt. Dazu wird zur kürzeren Trapezseite B_i zwei Mal die seitliche Ausbreitung addiert. Diese seitliche Ausbreitung der Thermalfront ist vom seitlichen Winkel α abhängig, welcher für die Berechnungen abgeschätzt wird. Der Ausbreitungswinkel wird nach Rauch zwischen 5° bei geringer Dispersion und keiner Verschwenkung und 15° bei starker Dispersion und großer jahreszeitlicher Verschwenkung festgelegt.

$$B_{i+1} = B_i + 2 \cdot \Delta x \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Gleichung 4

Zur Berechnung der Länge der Temperaturanomale wurde eine Hilfsgröße w_i eingeführt.

$$w_i = \frac{\lambda_D}{A + \frac{H}{4}} \cdot (B_i + \Delta x \cdot \operatorname{tg} \alpha) \cdot \Delta x \cdot \frac{1}{\frac{Q}{B} \cdot c_{vw}}$$

Gleichung 5

$$T_{i+1} = \frac{T_i \cdot \left(B_i - \frac{w_i}{2} \right) + T_0 \cdot \left(2 \cdot \Delta x \cdot \operatorname{tg} \alpha + w_i \right)}{B_{i+1} + \frac{w_i}{2}}$$

Gleichung 6

Für alle Formeln gilt:

T_i Temperatur [$^\circ\text{C}$] an der Stelle i im Abstand L [m] von der Einleitungsstelle

T_0 Durchschnittliche Entnahmetemperatur [$^\circ\text{C}$]

T_A	Rückgabetemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
α	Seitlicher Ausbreitungswinkel der Thermalfront (5° bis 15°)
Q	Mittlere jährliche Versickerungsmenge [m^3/s]
B	Hydraulische Einzugsbreite [m]
B_i	Breite der Temperaturanomalie an der Stelle i [m]
w_i	Hilfsgröße an der Stelle i
Δx	Länge des iterativen Schritts in x -Richtung [m]
H	Für die Wärmeausbreitung maßgebliche Grundwassermächtigkeit
A	Flurabstand [m]
c_{vw}	Spezifische Wärmekapazität von Wasser mit $4,2 \cdot 10^6$ [$\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$]
λ_D	Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]

Für diese Berechnungen werden einige Vereinfachungen getätigt, welche in Tabelle 2 angeführt sind.

Tabelle 2: Vereinfachte Annahmen bei der Berechnung der Temperaturanomalien (ÖWAV, 2009, S. 29)

Annahme	Anmerkung
Das Grundwasserfeld weist näherungsweise eine konstante Mächtigkeit H , Durchlässigkeit k_f und Überdeckung A auf.	Die räumliche Variation der Parameter k_f , H oder A kann nur mit komplexen numerischen Modellen berücksichtigt werden.
Der Rückgabebrunnen ist als vollkommener Brunnen ausgebildet (gleichmäßige Verteilung des Rückgabewassers über die gesamte Grundwassermächtigkeit).	Eine ungleichmäßige Einschichtung des Rückgabewassers in den Grundwasserkörper bewirkt eine größere Ausbreitung dieses Wassers quer zur Grundwasserströmungsrichtung, was eine Verkürzung der Einflusslänge L zur Folge haben kann.
Keine Beeinflussung des Entnahmebrunnens durch den Rückgabebrunnen.	Bei gegenseitiger Beeinflussung vermindert sich die Leistungszahl der Wärmepumpe. Dies kann teilweise durch eine Erhöhung der Entnahmemenge kompensiert werden,

	was Auswirkungen auf das Grundwasserströmungsverhalten hat.
Einordnung des Rückgabewassers ab dem Rückgabebrunnen – ohne Durchmischung – mit einer Strömungsbreite b in den Grundwasserkörper. Der Einfluss der Dispersion ist in der Formel nach INGERLE näherungsweise berücksichtigt.	Im Dispersionsbereich ist mit einer Vermischung des Rückgabewassers mit dem Grundwasser zu rechnen Im Brunnennahbereich ist die Formel von INGERLE nur bedingt anwendbar.
Der Betrieb des Rückgabebrunnens erfolgt kontinuierlich.	Ein diskontinuierlicher Betrieb bewirkt eine Verringerung der Einflusslänge L . Dies kann näherungsweise berücksichtigt werden, wenn der Berechnung die mittlere jährliche Versickerungsmenge zugrunde gelegt wird. Dadurch wird aber im Brunnennahbereich die seitliche Ausbreitung der Temperaturanomalie unterschätzt. Eine Abminderung der Temperaturdifferenz ist nicht zulässig.
Es findet kein konduktiver (leitender) Temperatureaustausch statt.	In diesem Zusammenhang besteht ein zu vernachlässigender Einfluss.
Der Einfluss der Erdwärme wird nicht berücksichtigt.	In diesem Zusammenhang besteht ein zu vernachlässigender Einfluss.

„Bei der Anwendung des Berechnungsverfahrens sind folgende Punkte zu beachten:

- Die Länge des iterativen Schritts ist so zu wählen, dass sich durch dessen Änderung die Länge der Thermalfahne nicht mehr wesentlich ändert.
- Als Versickerungsmenge ist die mittlere jährliche Menge anzusetzen und nicht der Maximalwert bei Vollast. Die o. a. hydraulische Einzugsbreite B bezieht sich dann auch auf diese mittlere jährliche Versickerungsmenge und ist natürlich geringer als die Einzugsbreite bei Vollastbetrieb.

- Bei mächtigen Grundwasserleitern, insbesondere bei kleineren Wassermengen, darf nicht die gesamte Grundwassermächtigkeit angesetzt werden, da nicht von einer homogenen Verteilung des rückgeführten Wassers über die gesamte Grundwassermächtigkeit ausgegangen werden kann. Da das Berechnungsverfahren aber von einem vollkommenen Brunnen ausgeht, ist als maßgebliche Grundwassermächtigkeit zumindest die Distanz Grundwasserspiegel bis Unterkante Brunnen anzusetzen.
- Das Berechnungsverfahren beruht auf einer Reihe von Annahmen, wie z. B. stationärer Betrieb, ideale Grundwasserströmung gemäß dem Ansatz vollkommener Brunnen, homogen-isotroper Boden etc.. Da diese Voraussetzungen in der Realität selten zu finden sind, dürfen die Ergebnisse auch nur als grobe Näherung der realen Ausbreitung von Temperaturanomalien gesehen werden.“ (ÖWAV, 2009, S. 31f)

6.2.2 Vorgehensweise bei der Berechnung

6.2.2.1 Erstellen einer Datenbank

Zur Berechnung der Temperaturfahnen wurden vorwiegend Unterlagen der beiden Studien zur Grundwasserbewirtschaftung verwendet. Das Digitale Oberösterreichische Raum-Informationssystem (DORIS) wurde zur Suche von Anlagen, aber auch bei der Überprüfung von Werten eingesetzt.

Aus den gegebenen Unterlagen wurde im ersten Schritt in Microsoft Excel eine Datenbank über alle vorhandenen Kühlwasser-Entnahme-Brunnen und Versickerungsanlagen erstellt. Diese Datenbank enthält Informationen über:

- POST-Zahl
- Anlagename
- Koordinaten
- Entnahmemengen / Rückgabemengen
- Temperaturverhältnisse
- Mächtigkeit
- Flurabstand
- Gefälle
- Durchlässigkeitsbeiwert

Die **durchschnittliche Entnahmetemperatur T_o** wurde sowohl aus den Beilagen fünf bis sieben vom Grundwassertemperatur Messprogramm 2003-2005 entnommen. Für die Berechnungen wurde letztendlich der Durchschnittswert der mittleren Grundwassertemperatur verwendet.

Abbildung 43 zeigt einen Ausschnitt aus dem Planblatt „Isothermen der mittleren Grundwassertemperatur im Beobachtungszeitraum 2003 – 2005“.

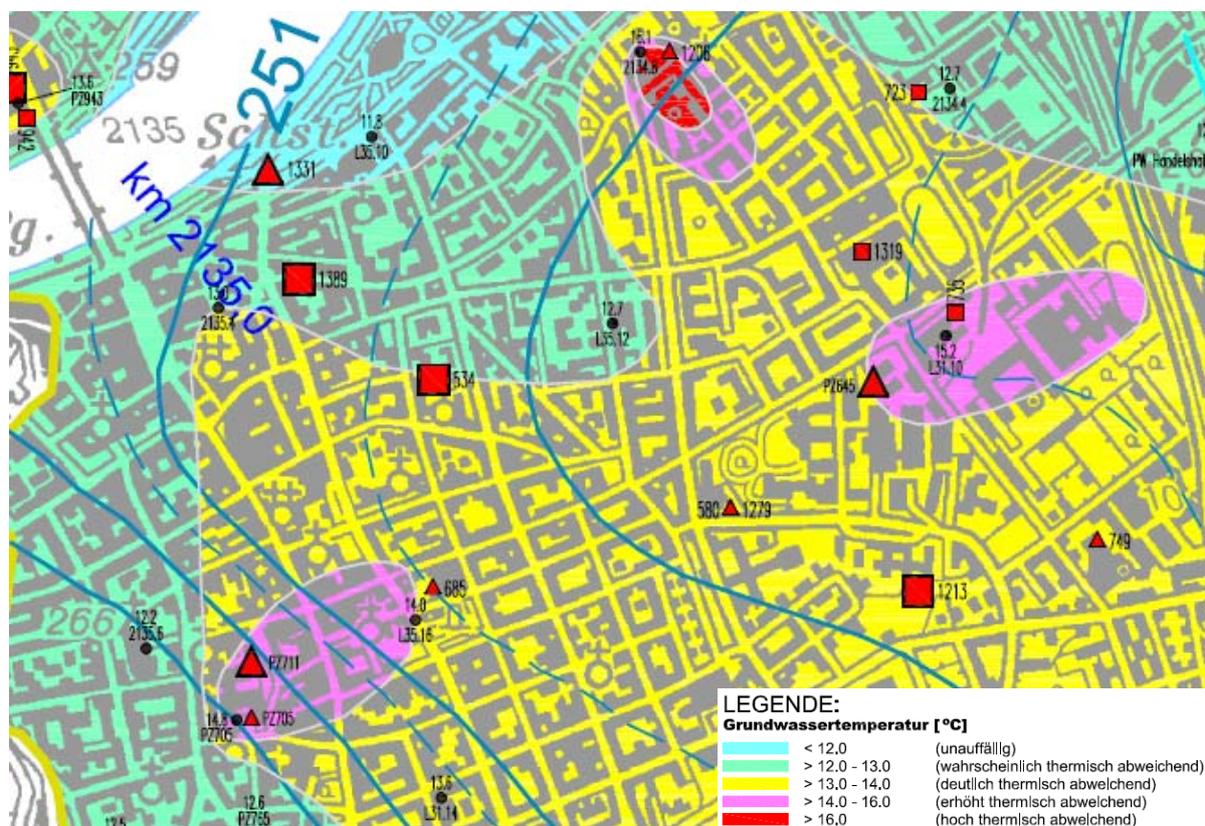


Abbildung 43: Isothermen der mittleren Grundwassertemperatur im Beobachtungszeitraum 2003 – 2005 (DonauConsult Zottl & Erber, 2006, S. Beilage 5)

Die **Rückgabetemperatur T_A** wurde bei den meisten Anlagen aus den Genehmigungsbescheiden entnommen. Bei Anlagen, bei denen keine Versickerungstemperatur angegeben war, wurde in Abstimmung mit dem Amt der Oberösterreichischen Landesregierung 18°C angenommen. (vgl. WRG)

Die **durchschnittlichen Jahreswassermengen der Infiltration Q** wurden aus den Wasserbuch-Evidenzen entnommen. Dazu wurden die angegebenen Mengen der Entnahme zunächst auf die Anzahl der Versickerungsanlagen aufgeteilt.

An dieser Stelle ist jedoch auf gewisse Ungenauigkeiten hinzuweisen. Die bewilligten Mengen im Wasserbuch waren nicht einheitlich angegeben. So gab es in den Angaben einerseits Spitzenentnahmen [l/s,] andererseits maximale Tagesentnahmen [m^3/d] sowie durchschnittliche Jahresentnahmen [m^3/a]. In vielen Fällen waren nicht alle Bewilligungsdaten vorhanden und es musste zum Teil die durchschnittliche Jahreswassermenge mithilfe durchschnittlicher Stunden- oder Tagesentnahmen abgeschätzt werden.

Die **maßgebliche Grundwassermächtigkeit H** wurde aus der Differenz zwischen der Grundwasserstandshöhenlinie nach Prexel und der Unterkante des Grundwasserleiters nach der Studie Grundwasserbewirtschaftung Linz: Hydrologische und thermische Ist-Situation, Beilage 7, ermittelt. Zur Verifizierung dieser Berechnungen wurden die Grundwassermächtigkeiten aus dem Jahr 1998 herangezogen.

Der **Flurabstand A** ist der Abstand zwischen der Geländeoberkante und dem Grundwasserspiegel. Zur Berechnung wurden, wie in Abbildung 44 dargestellt, die Mächtigkeit des Grundwasserleiters mit der Mächtigkeit der Bedeckung des Grundwasserleiters addiert, und von dieser Summe die maßgebliche Mächtigkeit des Grundwasserleiters subtrahiert. Die dafür erforderlichen Daten wurden aus den Beilagen 5, 6 und 8 von DonauConsult Zottl & Erber (2004b) entnommen.

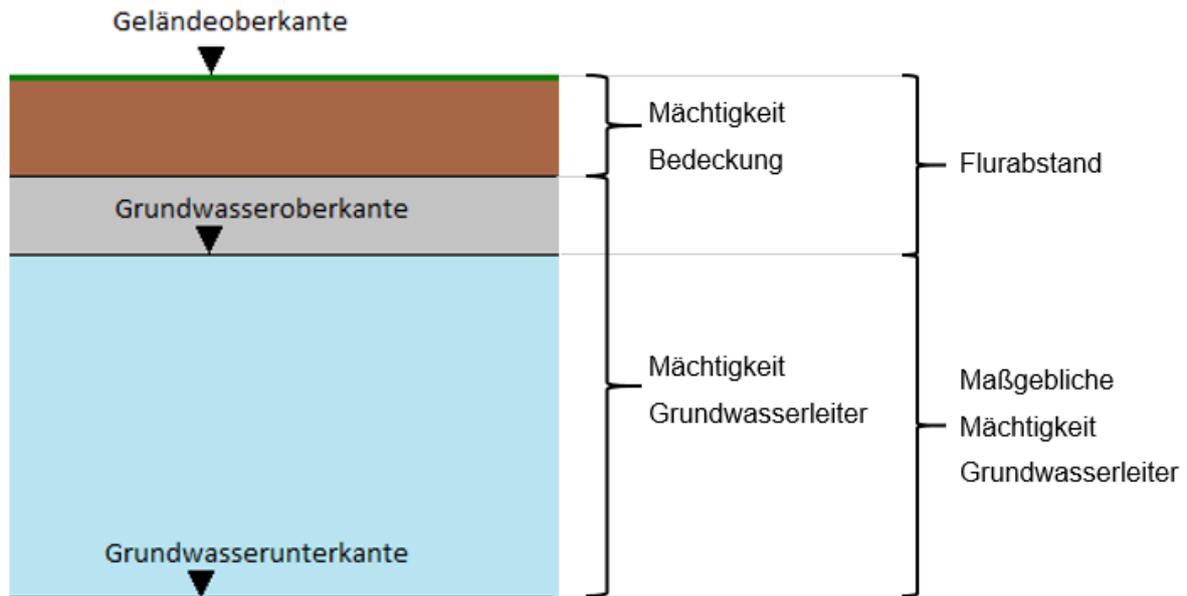


Abbildung 44: Berechnung des Flurabstandes

Das **Grundwasserspiegelgefälle J** ist der Quotient aus Grundwasserhöhenunterschied mit dem dazugehörigen Längenunterschied. Für diese Berechnung wurden zunächst die Grundwasserhöhenstandslinien vor und nach dem betreffenden Brunnen bestimmt, und anschließend die Entfernung zwischen den beiden Linien gemessen. Dieses Ableseverfahren wurde mithilfe des Programms Arc-Map 10.1 durchgeführt.

Der **Durchlässigkeitsbeiwert k_f** wurde der Beilage 9 von DonauConsult Zottl & Erber (2004b) entnommen. Dabei wurden nicht die Isolinien nach KRESSNER und BREINER betrachtet, sondern die interpolierten und gruppierten k_f -Bereiche (vgl. Abbildung 45).

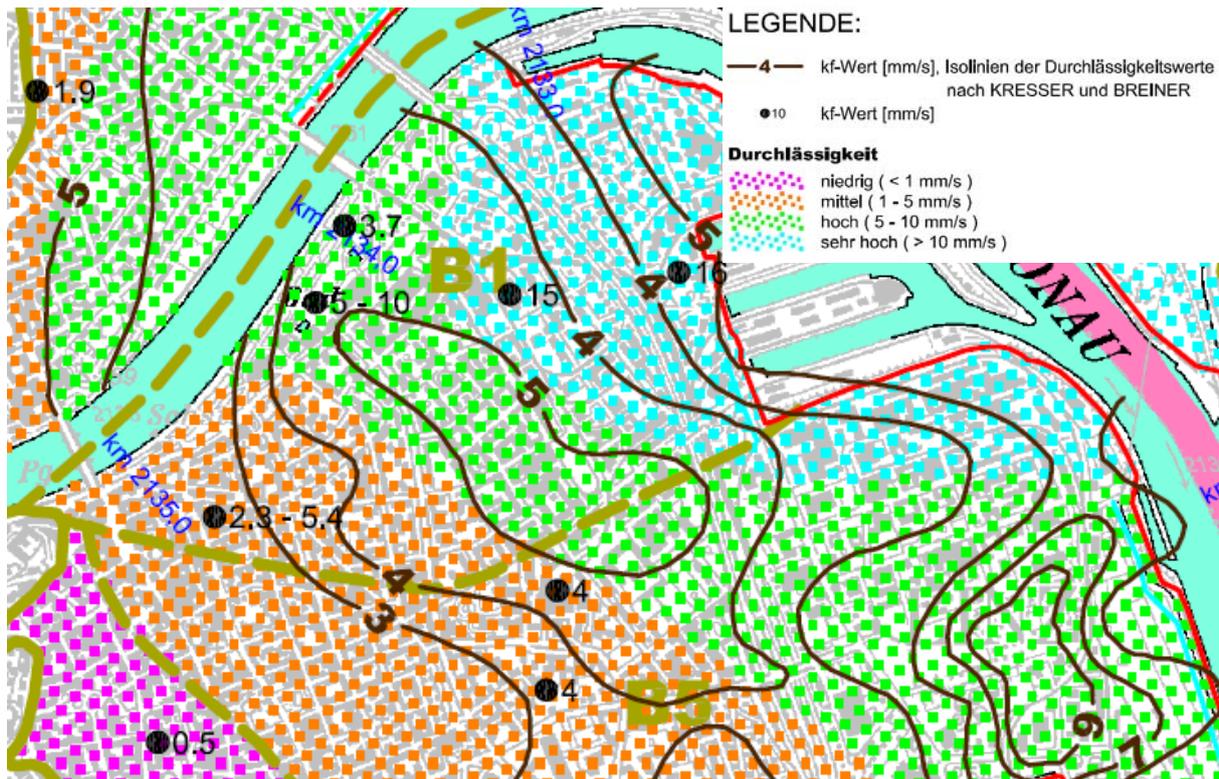


Abbildung 45: Durchlässigkeitsbeiwert (DonauConsult Zottl & Erber, 2004b, S. Beilage 9)

Der **Ausbreitungswinkel** α und die **Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht** λ_D wurden mit den Standardwerten entsprechend des ÖWAV Regelblatt 207 (2009, S. 31f) mit $\alpha = 6^\circ$ und $\lambda_D = 0,5 \text{ W/m/K}$ angesetzt.

6.2.2.2 Berechnen der Fahnenlängen

Unter <http://www.oewav.at/home/Service/Download> besteht die Möglichkeit ein Excel-Rechenblatt zur Berechnung der Wärmefahnen nach INGERLE gratis herunterzuladen. Anlehnend an dieses Rechenblatt wurde in der Datenbank (vgl. 6.2.2.1 Erstellen einer Datenbank) für jeden Brunnen eine vollautomatische Berechnung der Wärmefahnen eingebaut. Diese Berechnungsblätter rechnen in fünf Meter Iterationsschritten die jeweilige Temperatur aus. Eine eingebaute Suchfunktion gibt den Endwert der Temperaturfahne automatisch an, so dass man das Ende nicht händisch suchen muss. Abbildung 46 zeigt einen Ausschnitt aus der Berechnung eines Versickerungsbrunnens.

3					
4	T_D	Durchschnittliche Entnahmetemperatur	°C	12,50	
5	T_A	Rückgabetemperatur	°C	24,00	
6	Q	durchschnittliche Jahreswassermenge der Infiltration*	l/s	5,00	
7	H	maßgebliche Grundwassermächtigkeit (für Ausbreitung)	m	10,00	
8	A	Flurabstand	m	4,00	
9	I	Grundwasserspiegelgefälle	[-]	0,00125	
10	k_f	Durchlässigkeitsbeiwert	m/s	0,01000	
11	α	seitlicher Ausbreitungswinkel	°	6	Standardwert = 6° nach Ingerle 1988
12	Δx	Länge des Kontrollvolumens	m	5	Anpassen an Berechnungsschritte
13	λ_D	Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht	W/m/K	0,5	Standardwert = 0,5
14	B	hydraulische Einzugsbreite für Q lt. Eingabe	m	40,1	
15	c_{wv}	spezifische Wärmekapazität von Wasser	J/m³/K	4200000	
18					
19	L	Länge der Wärmefahne	m	1590,00	
20					
21		* effektiver Förderstrom [l/s] * Betriebsstunden / (365*24)			
22					
23	Entfernung von Brunnen	B_i [m]	w_i [-]	T_i [°C]	ΔT [°C]
24	0,00	40,1		24	10,50000
25	5,00	41,15104235	0,0298	23,70556629	10,20557
26	10,00	42,20208471	0,0306	23,42544262	9,92544
27	15,00	43,25312706	0,0314	23,15861079	9,65861
28	20,00	44,30416941	0,0322	22,90414696	9,40415
29	25,00	45,35521176	0,0329	22,66121096	9,16121
30	30,00	46,40625412	0,0337	22,42903704	8,92904
31	35,00	47,45729647	0,0345	22,20692581	8,70693
32	40,00	48,50833882	0,0352	21,9942372	8,49424
33	45,00	49,55938117	0,0360	21,7903843	8,29038
34	50,00	50,61042353	0,0368	21,59482795	8,09483
35	55,00	51,66146588	0,0376	21,40707198	7,90707

Abbildung 46: Ausschnitt aus der Berechnung eines Versickerungsbrunnens

Alle Rechenergebnisse sind mit der Datenbank verknüpft, wodurch die Datenbank abschließend sämtliche Daten aller Brunnen enthält.

Zu beachten ist, dass alle Anlagen als Einzelanlagen, also ohne Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung berechnet wurden.

6.2.2.3 Darstellung der Ergebnisse

Im Rahmen der Strategischen Studie Fernkälte Linz – Modul I (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 33 ff) wurden die Berechnungsergebnisse grafisch mittels ArcMap dargestellt. Wie bereits unter 6.2.2.1 erwähnt, wurde bei Nutzern mit mehreren Versickerungsanlagen die Versickerungsmenge gleichmäßig auf die Versickerungsbrunnen

aufgeteilt. Diese errechneten Fahnen wurden zu Gunsten der Übersichtlichkeit nur einmal dargestellt. Diese Vorgehensweise betrifft fünf Nutzer.

In der grafischen Darstellung wurden die Temperaturgradienten von jeweils einem Kelvin farblich gestaffelt. Dies verdeutlicht die Abkühlung über den Fließweg.

Abbildung 47 zeigt die erste Annäherung, die Temperaturfahnen darstellung. Dabei wurden alle Fahnen entsprechend ÖWAV Arbeitsblatt 207 (2009) als einfache Trapeze dargestellt. Für die Fließrichtung wurden lediglich die Grundwasserhöhen-schichtlinien vor und nach der Versickerung herangezogen.

Wie in der Abbildung ersichtlich, verlaufen die errechneten Temperaturfahnen über die vorhandenen Dichtwände (als rote Linien dargestellt) hinweg. Dies entspricht natürlich nicht der Wirklichkeit, da die Dichtwände den Grundwasserfluss beenden.

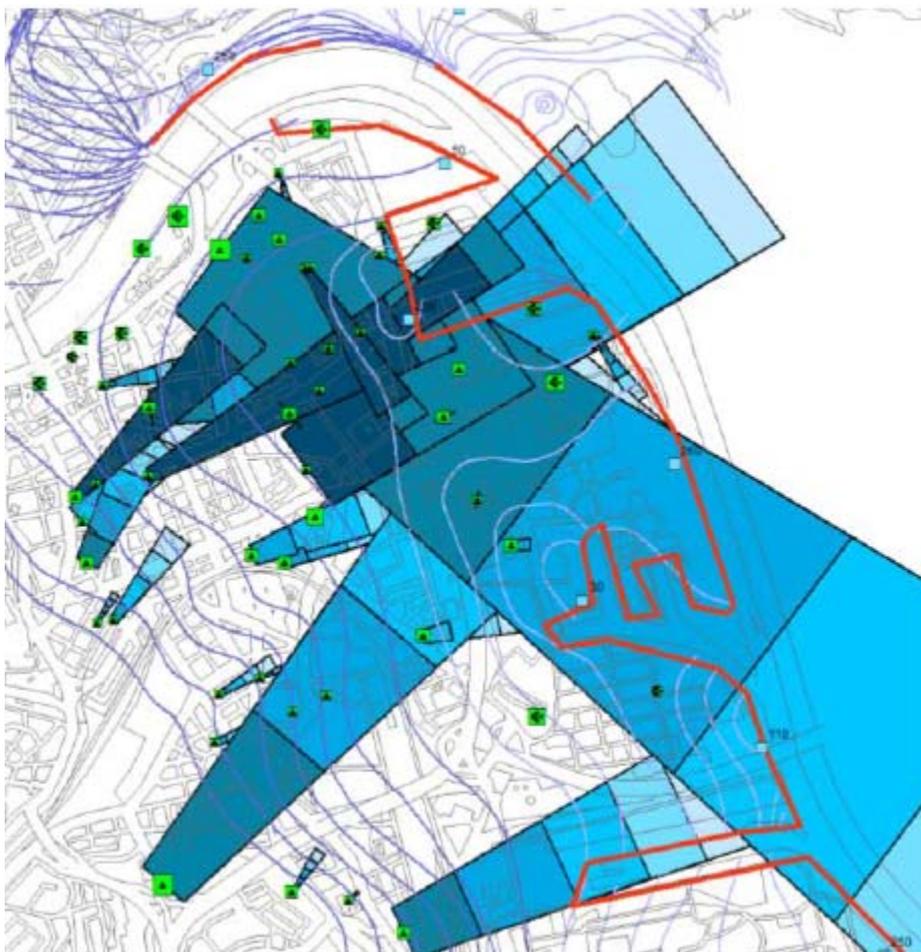


Abbildung 47: Temperaturfahnen – Ausgangsvariante (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 34)

In einem zweiten Schritt wurde der Verlauf der Temperaturfahnen an den Verlauf des vorhandenen Grundwasserhöhenplan angepasst. Das Ergebnis dieser Anpassung ist in Abbildung 48 dargestellt.

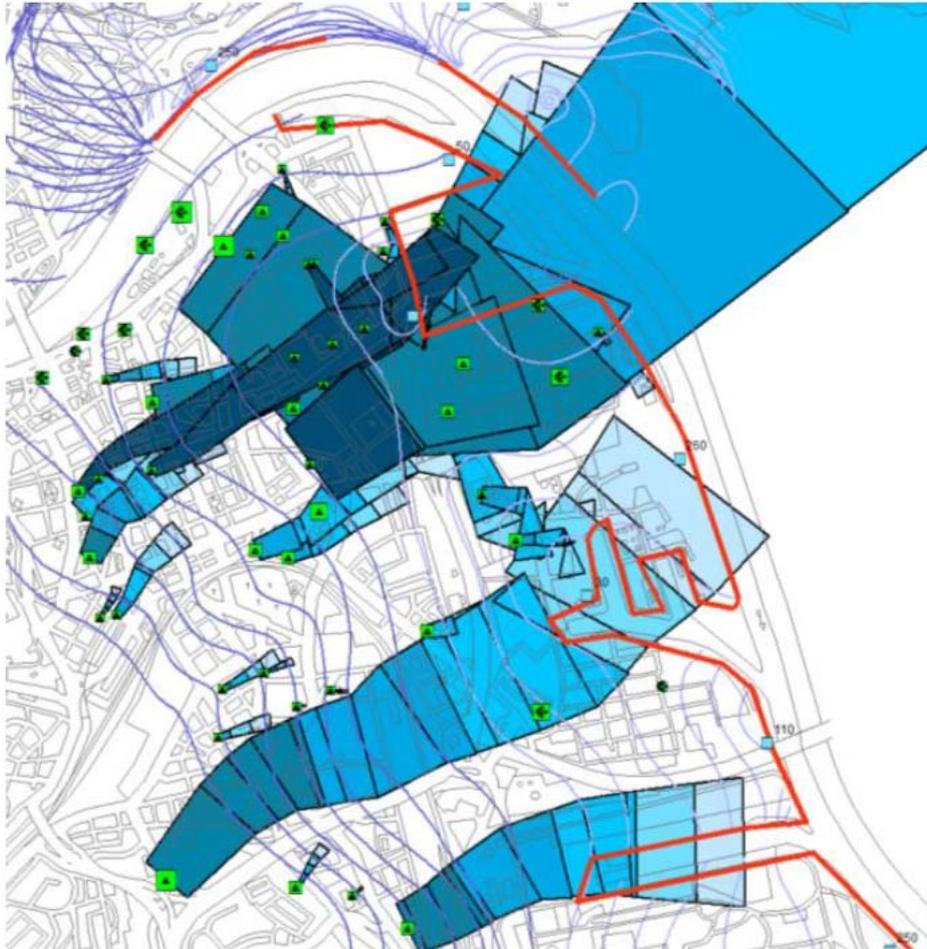


Abbildung 48: Temperaturfahnen – angepasst an die Fließrichtung (Krakow & Fuchs-Hansch, 2013, S. 34)

Im letzten Schritt wurden Grundwasserspiegelgefälle und k_f -Werte über den gesamten Fließweg gemittelt, wodurch sich, wie in Abbildung 49 ersichtlich, die Länge und Breite der Fahnen teilweise deutlich geändert haben.

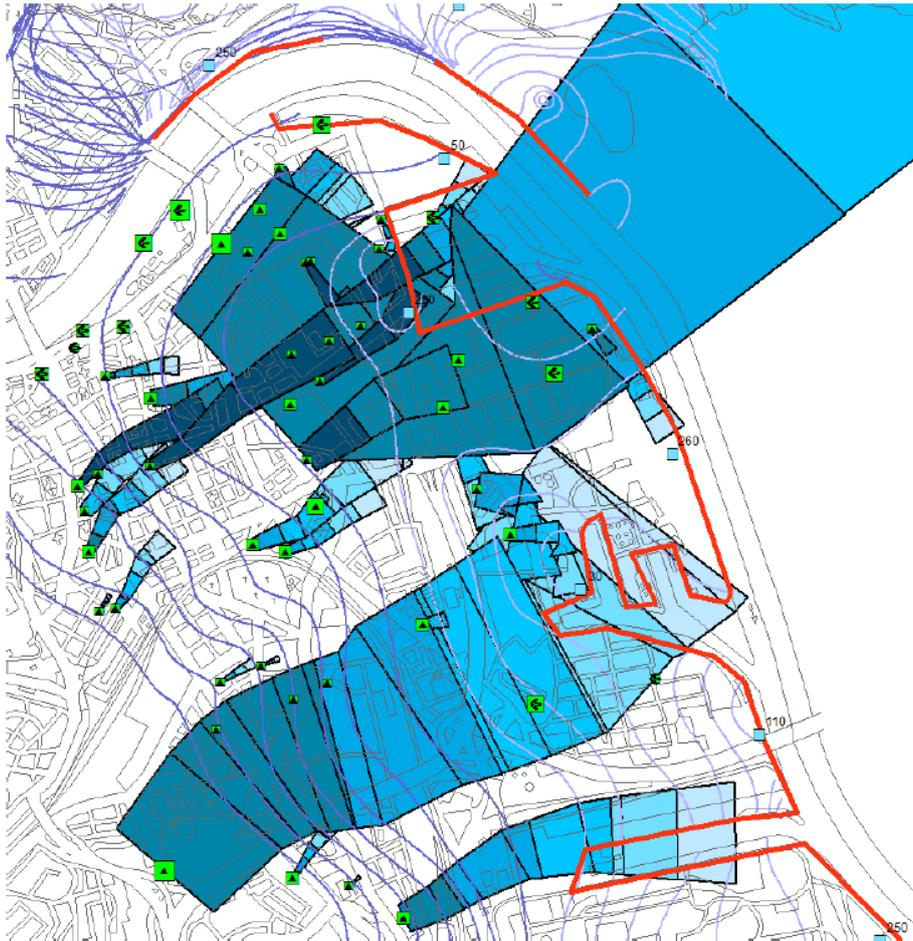


Abbildung 49: Temperaturfahnen – Mittelwerte (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 35)

Prinzipiell sind bei allen drei Varianten dieselben Entwicklungen zu erkennen. So sind im Bearbeitungsgebiet B1 (vgl. Abbildung 31), nördlich des Hauptbahnhofes und auf Höhe des Handelshafens (in den Abbildungen als nördlichste und größte Einbuchtung bei den Dichtwänden erkennbar), starke Überschneidungen der Temperaturfahnen sowie hohe Versickerungstemperaturen zu erkennen. In diesem Bereich muss man von einer starken gegenseitigen thermischen Beeinflussung der Anlagen ausgehen.

Hervorzuheben ist die große Anlage im süd-osten des Bearbeitungsgebietes (Abbildung 49). In den Darstellungen ist lediglich eine Anlage dargestellt und als große südliche Temperaturfahne erkennbar, allerdings versickern hier zwei Anlagen. Wie in allen drei Varianten gut ersichtlich ist, beeinflussen diese Anlagen thermisch diverse Einzelnutzer in Fließrichtung. Des Weiteren reichen die Fahnen des Krankenhauses in allen Varianten bis zu den Dichtwänden.

Überdies kann man in allen Varianten einen starken Einfluss der Pumpstationen der AHP, welche als blaue Quadrate dargestellt sind, auf die Ausrichtung der Temperaturfahnen erkennen.

6.2.2.4 Überprüfung der Ergebnisse

KRAKOW und FUCHS-HANUSCH (2013, S. 35 f) haben abschließend die Berechnungsergebnisse mittels der Isothermen der höchsten Grundwassertemperatur im Beobachtungszeitraum 2003 – 2005 von DonauConsult Zottl & Erber (2006, Beilage 7) auf ihre Plausibilität geprüft. Ein Ausschnitt dieser Vergleichsunterlage ist in Abbildung 50 dargestellt.

In dieser Abbildung ist erkennbar, dass die gemessenen thermischen Erwärmungen mit den nach INGERELE erwärmten Gebieten decken.

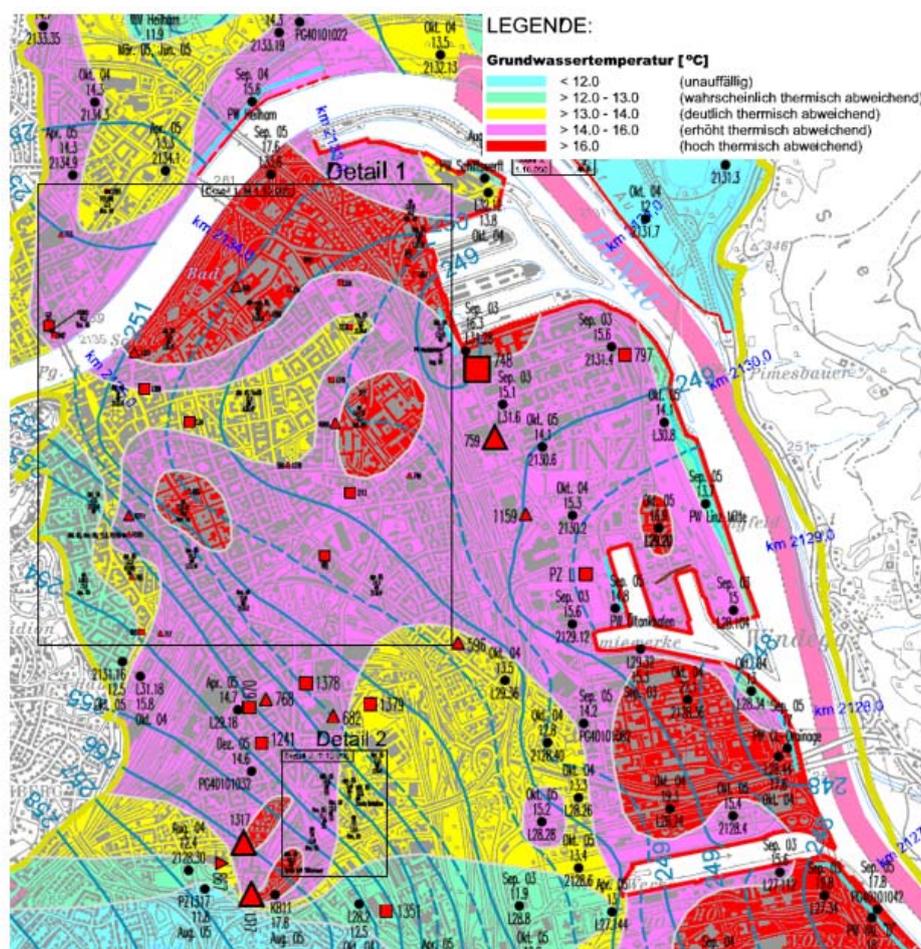


Abbildung 50: Interpolierte Maximalwerte der Grundwassertemperatur im Beobachtungszeitraum 2003 – 2005 (DonauConsult Zottl & Erber, 2006, Beilage 7)

6.2.2.5 Bewertung der Ergebnisse

KRAKOW und FUCHS-HANUSCH (2013) haben alle 54 Nutzer im Stadtgebiet Linz schriftlich zu den tatsächlichen Entnahme-, Versickerungs- und Ableitungsmengen im Kalenderjahr 2012 befragt. Dabei bekamen sie von 38 Nutzern (70%) eine Antwort. „In Bezug auf die genehmigten Jahreskonsensmengen aller 54 Grundwassernutzungen betrug der Rücklauf 64% und hinsichtlich der tatsächlichen Jahresnutzungsmenge bezogen auf die Gesamtkonsensmenge des Rücklaufes 39%.“ (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 36)

Das Ergebnis der Befragung wurde grafisch dargestellt (Abbildung 51).



Abbildung 51: Grundwassernutzungen 2012 (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 39)

Dabei ist anzumerken, dass meist Jahresmengen zurückgemeldet wurden und die Abbildung somit keinen Maximalfall darstellt. Des Weiteren ist zu erwähnen, dass einige Anlagen erst 2013 (wieder) in Betrieb genommen wurden. Trotz dieser Tatsachen

überschneiden sich die wesentlich kürzeren Wärmefahnen nördlich des Hauptbahnhofes. Folglich muss man selbst bei der tatsächlichen Grundwassernutzung von einer gegenseitigen Beeinflussung nördlich des Hauptbahnhofes ausgehen.

6.3 Lösungsansätze

Aufbauend auf die Szenarien von KRAKOW und FUCHS-HANUSCH (2013), bei denen Versorgungsmöglichkeiten rein bilanziell ermittelt wurden, wurden die vorgeschlagenen Varianten mittels vereinfachter Leistungsberechnung untersucht.

Dazu wurde zunächst mittels Gleichung 7 für alle bestehenden Kälteanlagen die Kühlenergie P_k in Excel abgeschätzt (Rauch & Stegner, 2007, S. 4) (Langeheinecke et. al., 2011, S. 51ff).

$$P_k = \rho_w \cdot Q \cdot c_w \cdot \Delta T$$

Gleichung 7

P_k *Energie aus Wasser [kW]*

ρ_w *Dichte des Wassers mit 1000 [kg/m³]*

Q *Mittlere jährliche Versickerungsmenge [m³/s]*

c_w *Spezifische Wärmekapazität von Wasser mit 4,19 [kJ/(m³*K)]*

ΔT *Temperaturspreizung [K]*

Für eine genauere Abschätzung der Kälteleistung müsste man die errechnete Kälteenergie mit einem Maschinenwirkungsgrad multiplizieren. Da in der Literatur jedoch keine vernünftigen Angaben gefunden wurden, wurde auf den Wirkungsgrad sowohl bei der Abschätzung der vorhandenen Leistung als auch auf Seite der möglichen erzeugten Leistung verzichtet. Bei zentralen Anlagen kann aufgrund besserer Bauweisen, professionellerem Betrieb und optimierter Wartung von höheren Wirkungsgraden als bei kleinen Einzelanlagen ausgegangen werden.

Bei jenen Anlagen, bei denen keine bewilligten Temperaturspreizungen zu eruieren waren, wurde die gesetzlich maximale Spreize eingesetzt. Diese beträgt sechs Kelvin beziehungsweise 18 °C Einleittemperatur bei Versickerungsanlagen und zehn Kelvin oder 30 °C bei Ausleitanlagen.

Gemäß der Abschätzung wird aktuell im Bearbeitungsgebiet in Summe eine jahresdurchschnittliche Konsensmenge von rund 595 l/s entnommen, wodurch nach Gleichung 7 insgesamt rund 21525 kW Kühlenergie ohne Berücksichtigung von Wirkungsgraden erzeugt werden. Basierend auf eine Spitzenkonsensmenge mit insgesamt rund 1088 l/s, können gemäß der Abschätzung rund 35009 kW Kühlleistung erzeugt werden. Die detaillierten Ergebnisse der Energieabschätzungen sowie die Eingangsparameter sind in Anhang 1 aufgelistet.

6.3.1 Kühlleistungsbetrachtung Einzelnutzungen

In der ersten Betrachtung wurde erhoben wie sich eine maximale Ausnutzung der gesetzlichen Temperaturspreize von sechs Kelvin, bei Beibehaltung der dezentralen Kälteversorgung, auf die Nutzermatrix auswirken würde. Die Frage war in erster Linie, ob man durch eine Ausnutzung der maximal möglichen Temperaturspreizungen, Versickerungsmengen reduzieren könnte, beziehungsweise ob man kleine Anlagen durch benachbarte Anlagen mitversorgen könnte.

Bei der Überprüfung aller vorhandenen Kältenutzer wurde festgestellt, dass lediglich bei neun Anlagen nicht die gesetzliche Höchstpreize bewilligt wurde. Zusätzlich wurde erkannt, dass diese Anlagen zum überwiegenden Teil sehr klein sind.

Die betroffenen Anlagen sind in Abbildung 52 mit grünen Punkten markiert. In der Abbildung erkennt man, dass die betroffenen Anlagen hauptsächlich in den bereits thermisch stark beanspruchten Bereichen liegen.

rein bilanziell untersucht wurden, ist in dieser Masterarbeit das Vorzugsszenario 6 mittels Energiebilanzen erarbeitet worden.

In Abbildung 53 ist das Fernkältenetz dargestellt. Dieses besteht im Norden aus der sogenannten Trasse G, welche die blau und rot hinterlegten Stadtgebiete mit Kälte versorgt. Südlich dieser Trasse bleiben die aktuell bestehenden Anlagen in ihrer jetzigen Form erhalten.

Die Trasse G nutzt zur Kälteerzeugung die bestehende Fernkältezentrale der Linz AG (nördlichster schwarzer Punkt) sowie die Pumpwerke Schiffswerft, Handelshafen (nördlichste blaue Quadrate im roten Gebiet) und Öltankhafen (südlichstes blaues Quadrat im roten Bereich).

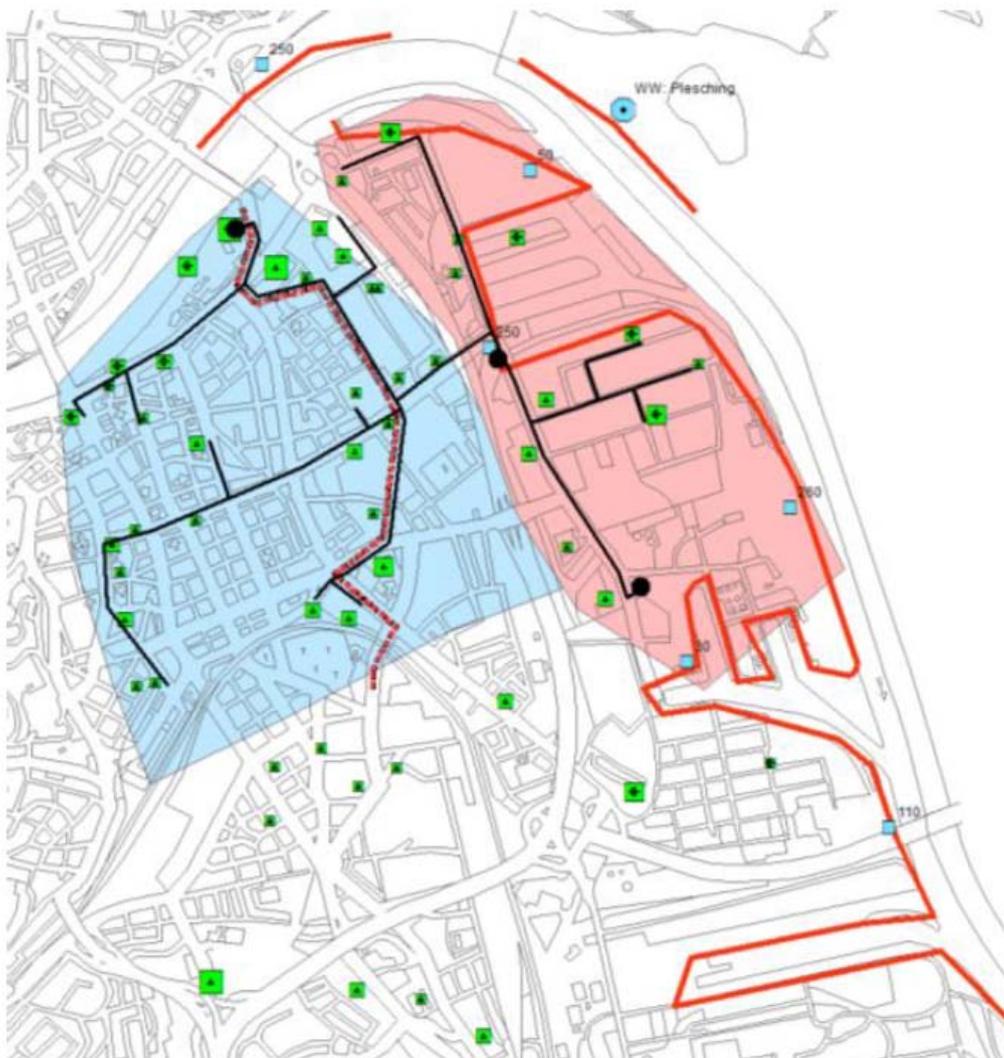


Abbildung 53: Szenario 6 (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 47)

Die Ergebnisse der Leistungsberechnungen sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Dabei ist ersichtlich, dass die bei Trasse G gewählten Anlagen bei Vollaussnutzung der gesetzlichen Möglichkeiten beziehungsweise der bewilligten Leistung der Fernkälteanlage, die jahresdurchschnittliche Energiemenge zu rund 103% decken können. Die genauen Berechnungsergebnisse sind in Anhang 2 aufgelistet.

Tabelle 3: Kälteleistungsbilanz Trasse G Szenario 6

	Spitzenkonsensmenge	Jahresdurchschnittliche Konsensmenge
Leistung vorhandener Anlagen	27047 kW	15671 kW
Linz Strom Kältezentrale	4190 kW	2380 kW
Pumpwerk Schiffswerft	2095 kW	2095 kW
Pumpwerk Handelshafen	10475 kW	10475 kW
Pumpwerk Öltankhafen	1257 kW	1257 kW
Summe	18027 kW	16207 kW
Leistungsabdeckung	66,65%	103,41%

Die in Abbildung 54 dargestellten Leistungskurven zeigen den Zusammenhang zwischen der Gesamtentnahmemenge der vier neuen Grundwassernutzungen und der dafür erforderlichen Temperaturspreizung für drei verschiedene Kälteleistungen in der Trasse G. Die blaue Linie ist die Kälteleistung aufgrund der aktuell bewilligten jahresdurchschnittlichen Konsensmenge mit 15671 kW im Bereich der Trasse G. Die grüne Linie zeigt die maximal mögliche Kälteleistung der vier Anlagen mit rund 16200 kW bei Ausnutzung der maximal möglichen Temperaturspreize sowie der aktuell Bewilligten Gesamtentnahmemenge von 374 l/s. Dazwischen ist eine orange Linie, welche die Leistungskurve bei 16000 kW darstellt. Die horizontale rote Linie zeigt die gesetzlich maximale Temperaturspreize für Ausleitungen mit zehn Kelvin. Aus dem Zusammenhang ist erkennbar, dass bei höheren Entnahmemengen kleinere Temperaturspreizungen möglich, beziehungsweise bei kleineren Entnahmemengen größere Temperaturspreizungen erforderlich sind.



Abbildung 54: Leistungskurve Trasse G Szenario 6

Da die gesetzlich maximale Temperaturspreize von 10 Kelvin nicht durch Sonderbewilligungen überschritten werden soll, gibt es in dieser Variante nur wenig Spielraum. Folglich ist selbst bei Ausnutzung der maximalen Gesamtentnahmemenge der vier Anlagen mit rund 387 l/s, eine Temperaturspreize von fast 9,7 Kelvin zur Deckung der jahresdurchschnittlichen Kühllast notwendig.

6.3.3 Kühlleistungsbetrachtung Szenario 3

Aufbauend auf der Vorzugsvariante Szenario 6, wurde die Energiebilanzierung auf ein Szenario, welches das gesamte Bearbeitungsgebiet mit Fernkälte versorgt, untersucht. Dabei fiel die Wahl auf das Szenario 3. Diese entspricht im Norden dem Szenario 6 mit der Trasse G. Im Süden des Bearbeitungsgebietes erschließt dieses Szenario mit der gelb hinterlegten Trasse C nahezu alle Einzelanlagen aus Szenario 6.

Die neue Trasse C nutzt zur Kälteerzeugung eine neue Anlage, welche am Standort des Landeskrankenhauses Wagner-Jauregg (blauer Punkt) positioniert wurde. (vgl. Abbildung 55)

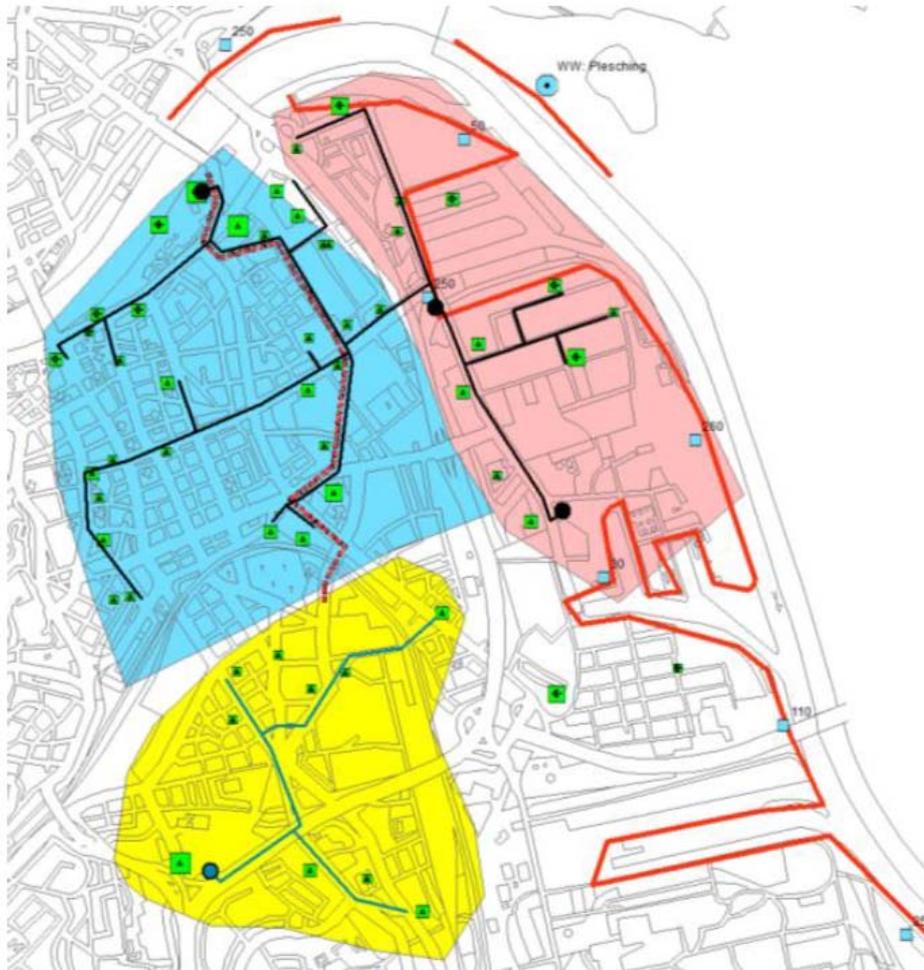


Abbildung 55: Szenario 3 (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 44)

Die neue Grundwasserentnahme am Standort Wagner-Jauregg müsste bei Ausnutzung der maximalen Temperaturspreize mit sechs Kelvin, zur Deckung der jahresdurchschnittlichen Energiemenge (vgl. Tabelle 4) nach Gleichung 7 ungefähr 55 l/s fördern. Im Vergleich dazu, müsste diese Anlage aufgrund der Bilanzierung von KRAKOW und FUCHS-HANSCH (2013) rund 59 l/s. fördern.

Tabelle 4: Kälteleistungsbilanz Trasse C Szenario 3

	Spitzenkonsensmenge	Jahresdurchschnittliche
Leistung vorhandener Anlagen	3210 kW	1383 kW
Wagner-Jauregg NEU	3210 kW	1383 kW
Summe	3210 kW	1383 kW

Da das Netz G voll und ganz jenem aus Szenario 6 entspricht, ist auch das Ergebnis aus der Kühllastabschätzung identisch (vgl. 6.3.2).

Eine detaillierte Auflistung der inkludierten Brunnen mitsamt deren Leistungen ist in Anhang 3 dargestellt.

6.3.4 Kühlleistungsberechnung Großnetz mit Abwärmenutzung

In diesem Szenario wird aus den Trassen G und C (vgl. Szenario 3) ein Großnetz gebildet. Zur Energieerzeugung wird neben den Anlagen Linz Strom Kältezentrale, Pumpwerk Schiffswerft, Pumpwerk Handelshafen und Pumpwerk Öltankhafen, Wärmeenergie des Biomassekraftwerkes Linz Mitte zur Kälteerzeugung mittels Sorptionskältemaschinen herangezogen. Diese Art der Kälteerzeugung wird auch als Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, kurz KWKK, bezeichnet.

Das genannte Biomassekraftwerk wurde in die Betrachtung einbezogen, da in Rahmen der Projektbearbeitung öfter der Fernwärmestandort Nebingerstraße in Erscheinung getreten ist. An diesem Standort findet sich neben einem Fernheizkraftwerk und einem Reststoffkraftwerk auch das Biomassekraftwerk. Der Standort Nebingerstraße liegt in der Nähe des Pumpwerkes Öltankhafen und das dort ansässige Biomassekraftwerk produziert ganzjährig Strom und Fernwärme. Die Fernwärmeleistung beträgt dabei ungefähr 21.000 kW. (Linz AG, o.J. b)

Der sogenannte COP gibt das Verhältnis zwischen erreichter Kälteleistung und eingesetzter Wärmeleistung an. (Pinter, 2011, S. 8)

$$COP = \frac{P_k}{P_w}$$

Gleichung 7

In der Literatur werden für den COP Werte zwischen 0,5 bis 0,6 bei Adsorption (Pinter, 2011, S. 9) beziehungsweise ungefähr 0,75 bei Absorption (Lanser et. al., 2012, S. 42 ff) angegeben.

Für die Abschätzung einer möglichen Kälteleistung aus dem Biomassekraftwerk Linz Mitte wurde ein pessimistischer COP-Wert mit 0,5 angesetzt, wodurch man auf eine theoretische Kälteleistung von 10.500 kW kommt (vgl. Tabelle 5). Mit dieser Alternative

könnte man gemäß der Leistungsabschätzung bis zu 156 % der jahresdurchschnittlichen Kälteenergie sowie annähernd 95% der aktuell bewilligten Spitzenkälteenergie decken.

Die genaue Leistungsabschätzung ist in Anhang 4 beigefügt.

Tabelle 5: Kälteleistungsbilanz für Großnetz

	Spitzenkonsensmenge	Jahresdurchschnittliche Konsensmenge
Leistung vorhandener Anlagen	30221 kW	17063 kW
Linz Strom Kältezentrale	4190 kW	2380 kW
Pumpwerk Schiffswerft	2095 kW	2095 kW
Pumpwerk Handelshafen	10475 kW	10475 kW
Pumpwerk Öltankhafen	1257 kW	1257 kW
Biomassekraftwerk	10500 kW	10500 kW
Summe	28527 kW	26707 kW
Leistungsabdeckung	94,40%	156,52%

Die Leistungskurve in Abbildung 56 basiert auf der Annahme, dass die KWKK aus dem Biomassekraftwerk mit den angenommenen 10.500 kW unter Volllast laufen und die drei Pumpwerke sowie die Fernkältezentrale lediglich den erforderlichen Differenzbetrag liefern müssten. Zuzugabe der Berechnungen müssen diese vier Anlagen bei einer maximalen Gesamtentnahme von rund 387 l/s das verwendete Wasser nur um rund vier Kelvin erwärmen um die jahresdurchschnittliche Kälteleistung von 6563 kW zu erzeugen. Dieselbe Leistung ist auch bei einer Entnahme von lediglich knapp 155 l/s unter Ausnutzung der maximalen Temperaturspreize von 10 Kelvin möglich. Bei Vollausnutzung von Gesamtentnahmemenge und maximaler Temperaturspreize könnten die Anlagen Linz Strom Fernkälte, Pumpwerk Schiffswerft, Pumpwerk Handelshafen, Pumpwerk Öltankhafen sowie Pumpwerk Öltankhafengemäß der Abschätzung nach Gleichung 7 gemeinsam bis zu 16200 Kelvin Bruttokühlleistung erzeugen.

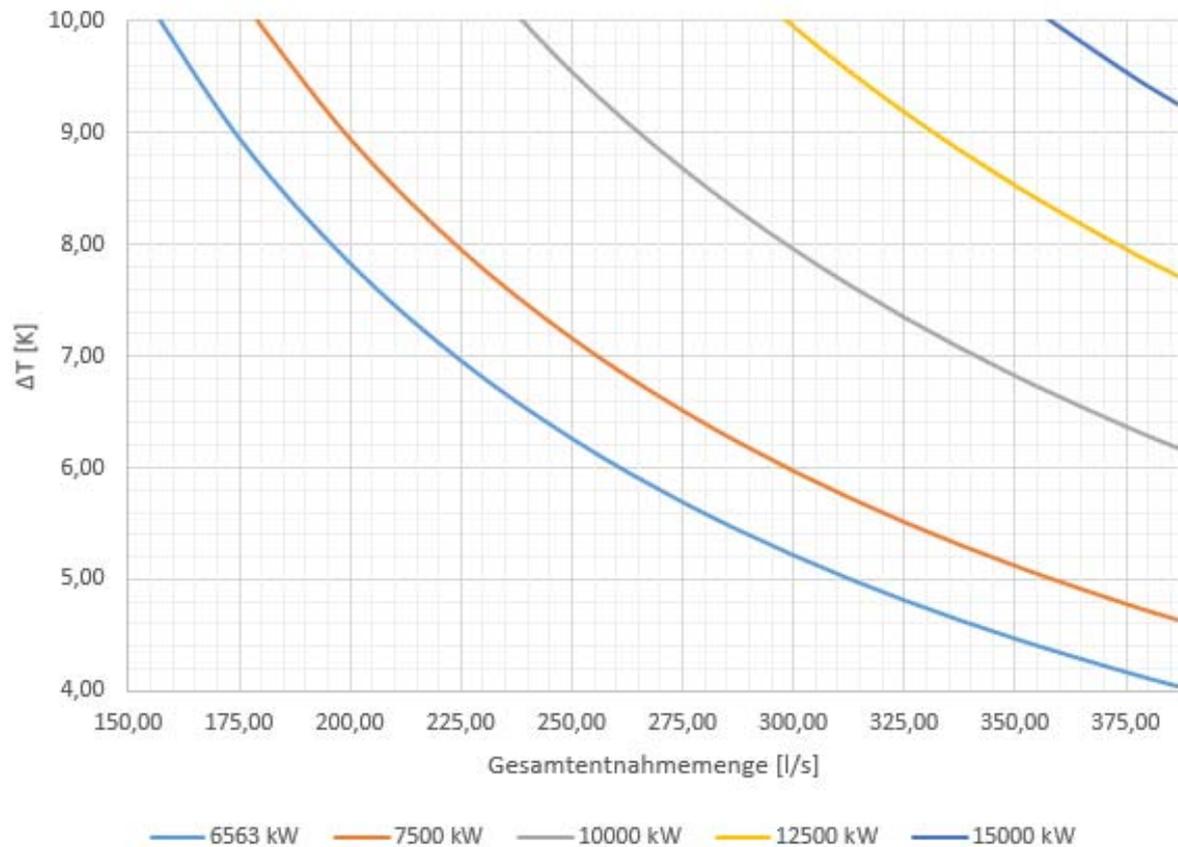


Abbildung 56: Leistungskurven für Großnetz bei 10500 kW aus KWKK

6.4 Bewertung der Alternativen

Um die verschiedenen Szenarien mit einander zu vergleichen und zu bewerten wurde eine Nutzwertanalyse durchgeführt.

Die Nutzwertanalyse, welche auch unter den Begriffen Punktwertverfahren, Punktebewertungsverfahren und Scoring-Modell bekannt ist, ist eine quantitative, nicht monetäre Analysemethode. Das bedeutet, dass durch Gewichtung verschiedener subjektiver Bewertungskriterien, verschiedene Varianten miteinander verglichen werden können.

Die Bewertungsmatrix wurde zum Großteil von KRAKOW und FUCHS-HANUSCH (2013, S. 50 ff) übernommen. Diese besteht aus vier Hauptgruppen bei denen die Summe der Gewichtung auf 100 % festgelegt wurde. Die dazugehörige Bewertungsskala lautet wie folgt:

- 1 – sehr negativ
- 2 – negativ
- 3 – neutral
- 4 – positiv
- 5 – sehr positiv

6.4.1 Bewertungsgruppe Wasserwirtschaft / Umwelt

6.4.1.1 Einfluss auf den Grundwasserstand

Dieses Bewertungskriterium beurteilt, ob sich ein Szenario hinsichtlich des Grundwasserstandes positiv oder negativ auswirkt. Dabei werden Szenarien, bei denen das Grundwasser in den Grundwasserkörper rückversickert wird, positiver beurteilt, als jene mit Ableitungen. Eine Ausnahme bildet die Nutzung der Drainageanlagen. Diese werden als positiv beurteilt, da die Drainageanlagen zur Haltung eines konstanten Grundwasserspiegels im Betrieb sind und somit keine zusätzliche Grundwasserabsenkung verursachen.

Der Einfluss auf den Grundwasserstand wird in allen drei Szenarien als positiv beurteilt. Aus dem Grund das in den Szenarien nahezu alle ausleitenden Kältenutzer vom Netz genommen werden, und nur noch die Drainageanlagen welche ohnehin zur Erhaltung der Grundwasserstandes im Betrieb sind, sowie die Fernkältezentrale ausleiten.

6.4.1.2 Einfluss auf die Grundwassertemperatur

Der thermische Einfluss des Grundwassers wird durch dieses Kriterium beurteilt.

Der Einfluss auf die Grundwassertemperatur wird in den Szenarien 3 und 6 als negativ beurteilt. Im Szenario 3 werden nahezu alle Nutzer an ein Fernkältenetz angeschlossen, jedoch entsteht in der Trasse C im Bereich von Wagner-Jauregg eine neue, sehr

große, Versickerungsanlage. Beim Szenario 6 bleiben im Bereich der Trasse C sämtliche Einzelnutzungen bestehen, was ebenfalls negativ für die Grundwassertemperatur ist.

Das Szenario mit einem Großnetz wird als sehr positiv für die Grundwassertemperatur bewertet, da in diesem Fall keine Versickerungen mehr stattfinden.

6.4.1.3 CO₂-Emissionen

Das Ausmaß der CO₂-Emissionen ist in einem starken Zusammenhang mit der jeweiligen Art der Kälteerzeugung (vgl. Abbildung 18) und der Gerätegröße. So gelten kleinere Geräte als weniger effizient als größere Geräte, und weisen damit auch größere CO₂-Emissionen auf.

Im Szenario 3 wird das Ausmaß der CO₂-Emissionen als sehr positiv beurteilt, da in dieser Variante ausschließlich CO₂-sparende Grundwassernutzung mittels Großanlagen betrieben wird. Das Szenario 6 wird als positiv beurteilt, da in der Trasse G erhebliche CO₂-Einsparungen erwartet werden, welchen jedoch keine Auswirkungen in der Trasse C gegenüberstehen. Das Großnetz wurde ebenfalls als positiv beurteilt, da durch das Fernkältenetz große CO₂-Einsparungen stattfinden, die KWKK-Anlage jedoch höhere Emissionen als eine vergleichbare Grundwassernutzung aufweist.

6.4.1.4 Energiebedarf

Der Energiebedarf hängt, wie das Ausmaß der CO₂-Emissionen, stark mit der verwendeten Kälteerzeugung und der Anlagengröße ab. Auch hier gelten kleinere Anlagen als weniger energieeffizient als Großanlagen.

Die Beurteilung des Energiebedarfs erfolgt aufgrund gleicher Gründe, wie bei der Bewertung der CO₂-Emissionen.

6.4.2 Wasserrechte / fremde Rechte

6.4.2.1 Konfliktpotential mit vorhandenen Grundwassernutzungen

„Bei diesem Bewertungskriterium ist insbesondere der Konflikt zwischen genehmigten Entnahmerechten und deren Laufzeit in Hinblick auf den Anschluss an eine zentrale Kälteversorgung zu beachten. Vor allem der durch die Nutzer bereits getätigte Investitionsaufwand für Kälteerzeugungsanlagen, Entnahme- und ggf. Versickerungsbrunnen, die bei einem Anschluss an eine zentrale Versorgungseinrichtung nicht mehr notwendig wären und möglicherweise zurück gebaut werden müssten sowie die Herstellungskosten für den Anschluss an das Fernkältenetz. Es ist in diesem Zusammenhang mit Konfliktpotential zu rechnen und es bedarf sicherlich intensiver Gespräche mit allen Beteiligten.“ (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 51)

Das Konfliktpotential wurde bei den Szenarien 3 und Großnetz jeweils mit sehr negativ beurteilt, da in beiden Netzen alle Nutzer auf ein Fernkältenetz umsteigen müssen. Beim Szenario 6 wurde dieses Kriterium mit negativ beurteilt, da im Bereich C die dezentrale Nutzung erhalten bleibt.

6.4.2.2 Einfluss auf andere Grundwassernutzungen

In diesem Kriterium wird die Beeinflussung der Grundwassernutzungen auf andere Grundwassernutzungen beurteilt. Zu diesen zählen neben anderen Kältenutzern auch Trink- und Brauchwassernutzer.

Der Einfluss auf andere Grundwassernutzungen wurde im Szenario 3 als positiv beurteilt, da in diesem Fall lediglich die neue Anlage am Standort Wagner-Jauregg Auswirkungen auf die Entnahmetemperatur der Pumpwerke haben kann.

Beim Szenario 6 wurde dieses Kriterium aufgrund der nicht verwirklichten Trasse C als negativ beurteilt. Das Großnetz wird als sehr positiv beurteilt, weil in diesem Fall keine Grundwasserversickerungen mehr stattfinden.

6.4.3 Beitrag zur Sicherung des Wirtschaftsstandortes

6.4.3.1 Sichere Versorgung vorhandener Kältenutzer

Die Versorgung kann dann als gesichert gesehen werden, wenn ein zentrales Fernkältenetz Kälteenergie in ausreichender Menge langfristig produzieren kann. Als negativ werden dezentrale Versickerungen gesehen, bei denen sich Nutzer gegenseitig negativ beeinflussen.

Die sichere Versorgung der vorhandenen Kältenutzer ist aufgrund der Deckung der jahresdurchschnittlichen Kühllast mit gesicherten Kühlwasser in den Szenarien 3 und 6 positiv zu sehen. Da im Großnetz eine KWKK-Anlage genutzt wird, ist die Versorgungssicherheit dort als sehr positiv zu bewerten.

6.4.3.2 Stabilisierung und Verbesserung der Kühlleistung

Dieses Kriterium beurteilt die Möglichkeit ob ein Netz langfristig und konstant die erforderliche Kälteleistung liefern kann und ob verfügbare Leistungspotentiale vorhanden sind. Dabei werden dezentrale Versickerungen negativ beurteilt, da diese den Grundwasserkörper langfristig erwärmen, damit die mögliche Temperaturspreize und in weiterer Folge die Kälteleistung verringern.

Aufgrund der oben genannten Argumente wird das Szenario 6 in diesem Beurteilungskriterium als negativ bewertet. Das Szenario 3 wird wegen der neuen Anlage am Standort Wagner-Jauregg als positiv beurteilt, während das Großnetz als sehr positiv gesehen wird.

6.4.3.3 Erweiterung von Kältenutzungen / zusätzliche Kältenutzer

Anhand diesem Bewertungskriterium wird eine mögliche Erweiterung der Kälteleistung beurteilt.

Im Szenario 6 sind in der Trasse G bereits zur Deckung der jahresdurchschnittlichen Kühlleistung alle Potenziale erschöpft und auch im Bereich der dezentralen Kälteversorgung soll sowohl aufgrund rechtlicher Einschränkungen und ökologischen Gründen

keine weitere Versickerung mehr bewilligt werden. Folglich wird dieses Szenario als sehr negativ beurteilt.

Im Szenario 3 ist aufgrund der neuen Großanlage im Bereich von Wagner-Jauregg geringes Erweiterungspotential, weshalb diese Alternative als negativ beurteilt wird. Das Großnetz hingegen hat, aufgrund der eingesetzten KWKK-Anlage, ein erhebliches Ausbaupotential, welches als sehr positiv beurteilt wird.

6.4.4 Umsetzbarkeit

6.4.4.1 Synergie mit geplanter Straßenbahntrasse

Dieses Kriterium beurteilt ob die geplante Straßenbahntrasse zur Trassenführung herangezogen werden kann und somit positive Synergieeffekte bei der Errichtung und Wartung der Anlagen genutzt werden können.

Da alle betrachteten Szenarien die geplante Straßenbahntrasse in der Leitungsführung berücksichtigen, werden alle drei Szenarien als sehr positiv beurteilt.

6.4.4.2 Mögliche Temperaturspreize

Die Bewertung der möglichen Temperaturspreize tritt an die Stelle der Trasseneffizienz von KRAKOW und FUCHS-HANUSCH (2013). Dieser Entschluss liegt dem Gespräch mit WALLISCH (2014) zugrunde, bei dem er die rechtlichen Einschränkungen bei der Temperaturspreize als das wichtigste Kriterium bei der Umsetzbarkeit von Fernkältenetzen bezeichnete. Folglich werden große Bandbreiten bei der Temperaturspreize als sehr positiv bewertet, während sehr kleine Bandbreiten negativ bewertet werden.

Da die mögliche Temperaturspreize in einem großen Zusammenhang mit den Erweiterungsmöglichkeiten steht, sind die Ergebnisse dieser beiden Beurteilungen ident.

6.4.5 Ergebnisse der Nutzwertanalyse

Die Ergebnisse der oben beschriebenen Bewertungen sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Tabelle 7 zeigt im Vergleich zur Tabelle 6 die Ergebnisse von KRAKOW und

FUCHS-HANUSCH (2013). Beim Vergleich der beiden Nutzwertanalysen ist zu beachten, dass sich die Bewertungskriterien bei der Umsetzbarkeit voneinander unterscheiden. Deshalb ist beim direkten Vergleich der beiden Bilanzierungen das Kriterium Umsetzbarkeit zu vernachlässigen. Während sich bei der rein wasserwirtschaftlichen Bilanzierung das Szenario 6 deutlich vom Szenario 3 abhob, ist das Szenario 6 bei dieser neuen Nutzwertanalyse im Hinblick auf eine Energiebilanz die schlechtere Wahl. Gemäß Leistungsabschätzung ist das Großnetz die bessere Variante.

Tabelle 6: Nutzwertanalyse aufgrund Leistungsabschätzung

Bewertungskriterium	Gewichtung	Szenario 3		Szenario 6		Szenario Großnetz	
		ungew.	gew.	ungew.	gew.	ungew.	gew.
Wasserwirtschaft/ Umwelt		Anteil: 30 %					
Einfluss auf den Grundwasserstand	10 %	4	40	4	40	4	40
Einfluss auf die Grundwassertemperatur	10 %	2	20	2	20	5	50
CO ₂ -Emissionen	5 %	5	25	4	20	4	20
Energiebedarf	5 %	5	25	4	20	4	20
Wasserrechte/ Fremde Rechte		Anteil: 15 %					
Konfliktpotential mit vorhandenen Grundwassernutzern	10 %	1	10	2	20	1	10
Einfluss auf andere Grundwassernutzungen	5 %	4	20	2	10	5	25
Beitrag zur Sicherung des Wirtschaftss:		Anteil: 35 %					
sichere Versorgung vorhandener Kältenutzer	15 %	4	60	4	60	5	75
Stabilisierung und Verbesserung der Kühlleistung	10 %	4	40	4	40	5	50
Erweiterung von Kältenutzungen/ zusätzliche Kältenutzer	10 %	2	20	1	10	5	50
Umsetzbarkeit		Anteil: 20 %					
Synergie mit geplanter Straßenbahntrasse	10 %	5	50	5	50	5	50
mögliche Temperaturspreize	10 %	2	20	1	10	5	50
Summe	100 %	330		300		440	

Tabelle 7: Nutzwertanalyse aufgrund Bilanzierung (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 54)

Bewertungskriterium	Gewichtung	Szenario 3		Szenario 6	
		ungew.	gew.	ungew.	gew.
Wasserwirtschaft/ Umwelt					
Einfluss auf den Grundwasserstand	10 %	2	20	2	20
Einfluss auf die Grundwassertemperatur	10 %	2	20	4	40
CO ₂ -Emissionen	5 %	5	25	4	20
Energiebedarf	5 %	5	25	4	20
Wasserrechte/ Fremde Rechte					
Konfliktpotential mit vorhandenen Grundwassernutzern	10 %	1	10	2	20
Einfluss auf andere Grundwassernutzungen	5 %	2	10	4	20
Beitrag zur Sicherung des Wirtschaftsstandortes					
sichere Versorgung vorhandener Kältenutzer	15 %	5	75	4	60
Stabilisierung und Verbesserung der Kühlleistung	10 %	5	50	4	40
Erweiterung von Kältenutzungen/ zusätzliche Kältenutzer	10 %	4	40	5	50
Umsetzbarkeit					
Synergie mit geplanter Straßenbahntrasse	10 %	5	50	5	50
Trasseneffizienz	10 %	4	40	5	50
Summe	100 %		365		390

7 Diskussion der Ergebnisse

Aufgrund vielfältiger Auswirkungen der thermischen Grundwassernutzung und den hohen Anforderungen hinsichtlich des Grundwasserschutzes sowie des prognostizierten Anstieges des Kühlbedarfes, sind dezentrale Grund- und Oberflächenwassernutzungen zur Kälteerzeugung zunehmend als problematisch einzustufen.

Im Stadtgebiet der Stadt Linz führte die thermische Grundwassernutzung in der Vergangenheit bereits zu Problemen, z. B. bei der Bewilligung neuer Anlagen und bei der Wiederverleihung von Benutzungsrechten. Des Weiteren wurden bereits erhöhte Grundwassertemperaturen detektiert.

In der Studie von KRAKOW und FUCHS-HANUSCH (2013) wurden bereits verschiedene Alternativen aus rein wasserwirtschaftlicher Sicht entwickelt, welche in dieser Masterarbeit mittels Energiebilanzen näher betrachtet wurden. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Energiebilanzierung diskutiert.

In der ersten Überlegung wurden die Auswirkungen einer vollkommenen Ausnutzung der gesetzlich maximalen Einleittemperatur überprüft. Dabei kam man zur Erkenntnis, dass ausschließlich bei kleineren Brunnen in thermisch stark beanspruchten Gebieten die rechtlichen Möglichkeiten nicht vollkommen ausgeschöpft sind. Eine Anpassung der Einleittemperatur würde zu keiner merkbaren Reduktion der Konsensmenge führen. Dem zufolge würde diese Veränderung keine Verbesserung der Grundwassersituation mit sich bringen und somit den gesetzlichen Anforderungen nicht genügen.

Die Vorzugsvariante von KRAKOW und FUCHS-Hanusch, das Szenario 6, bringt aufgrund des Rückbaus zahlreicher bestehender Anlagen und der Schaffung einer zentralen Kälteversorgung, eine erhebliche Verbesserung der Grundwassertemperatur im nördlichen Bearbeitungsgebiet. Das Grundwasser könnte sich in diesem Bereich thermisch stark regenerieren und würde somit den gesetzlichen Ansprüchen sehr entgegen kommen. Das südliche Bearbeitungsgebiet, welche in diesem Szenario nach wie vor dezentral versorgt wird, bliebe hierbei jedoch unverändert. Des Weiteren ist durch die dezentralen Anlagen eine thermische Beeinflussung des Pumpwerkes Öltankhafen, welches auch die Trasse G versorgt, zu erwarten.

Aus meiner Sicht ist das Szenario 3 günstiger. Dieses ist eine vollkommen zentrale Lösung. Nur ein Nutzer im Süd-Osten des Bearbeitungsgebietes, würde aufgrund seiner entlegenen Lage nicht ans Netz angeschlossen werden. Das nördliche Bearbeitungsgebiet ist in diesem Szenario gleichermaßen positiv zu bewerten wie im Szenario 6. Im südlichen Bearbeitungsgebiet würde anhand der Trasse C eine Reduktion der Grundwassernutzung erfolgen, so wie es im Wasserrechtsgesetz gefordert wird. Die neue Anlage am Standort Wagner Jauregg benötigt jedoch eine relativ große Konsensmenge und würde mit der maximal möglichen Einleittemperatur von 18 °C versickern. Dadurch ist mit einer sehr großen Temperaturanomalie mit Einfluss auf das Pumpwerk Öltankhafen zu rechnen.

Das Szenario mit dem Großnetz, welche die Netze G und C vereint ist aus Sicht der Energiebilanzierung die mit Abstand beste Wahl. Dieses Szenario ist das einzige, welches auch die Vorgaben des Erster Energieeffizienzaktionsplan der Republik Österreich hinsichtlich der Abwärmenutzung zur Kälteerzeugung erfüllt.

Auch die vom WRG geforderte Reduktion der Grundwassernutzung und die Beschränkungen der Donaunutzung könnten mit diesem Versorgungskonzept eingehalten werden. Aufgrund des großen Ausbaupotenzials könnte dieses Netz auch zukünftige Entwicklungen, z. B. im Zusammenhang mit einer Klimaerwärmung standhalten.

Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass diese Betrachtung monetäre und wirtschaftliche Effekte nicht betrachtet und die Eignung des Biomassekraftwerks Linz Mitte für KWKK nicht überprüft wurde. Ist das Biomassekraftwerk Linz Mitte nicht geeignet, sind jedoch in der Stadt Linz zahlreiche weitere Wärmequellen vorhanden und könnten hinsichtlich einer möglichen Kältenutzung näher untersucht werden.

Um ein Fernkältenetz tatsächlich planen zu können, müssten allerdings deutlich detailliertere Daten erfasst werden. So sollten von den Kältenutzern mindestens die tatsächlich benötigten Kälteleistungen bekannt sein. Des Weiteren müssten Erhebungen perspektivisch interessierter Kältenutzer erfolgen.

8 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde die Nutzung von Grund- und Oberflächenwasser zur Kälteerzeugung untersucht. Aufbauend auf den derzeitig laufenden Untersuchungen zur Klimaerwärmung, gibt es auch Entwicklungen beim Klimatisierungsgrad. Diese Entwicklung prognostiziert für die kommenden Jahre einen starken Anstieg des Klimatisierungsbedarfs und damit auch zahlreiche neue Kältenutzer.

Neben der dezentralen Grund- und Oberflächenwassernutzung gibt es auch andere Möglichkeiten zur Kälteerzeugung. Vor allem die Kälteerzeugung mittels Sorptionskältemaschinen wird als regenerative und zukunftsweisende Alternative zu den herkömmlichen Kompressionskältemaschinen gesehen. Zwar gilt das sogenannte Free Cooling, also die Nutzung natürlicher Kältequellen wie Grund- und Oberflächenwasser, als die günstigste Lösung in Hinblick auf Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen, dieses System hat jedoch erhebliche thermische Auswirkungen auf Grund- und Oberflächengewässer. Durch die erhöhten Temperaturen kommt es zu chemischen Veränderungen des Wassers. So ist beispielsweise die Dichte von Wasser bei 20 °C um nahezu zwei Kilogramm je Kubikmeter geringer als bei 4°C. Auch die Löslichkeit vieler Wasserinhaltsstoffe ändert sich mit der Wassertemperatur, was auch Auswirkungen auf die Biozönose haben kann. Da auch künftigen Generationen Grundwasser als Trinkwasser verfügbar sein soll, wird mittels Gesetzen eine Nutzungs-Minimierung verfügt. Allen voran steht das Wasserrechtsgesetz, welches eine Einschränkung der (thermischen) Grundwassernutzung vorschreibt.

Aufgrund verschiedener Gesetze und Richtlinien darf bei Grundwasserversickerungen die Temperaturspreize zwischen Grundwasserentnahmetemperatur und Einleittemperatur maximal sechs Kelvin betragen. Die Einleittemperatur darf jedoch höchstens 18 °C ausmachen. Bei Ausleitungen in Oberflächengewässern ist die Temperaturspreize mit zehn Kelvin beziehungsweise mit 30 °C Ausleittemperatur beschränkt.

Auf Europäischer Ebene wird eine Steigerung der Energieeffizienz und somit eine Nutzung von Abwärme gefordert. Aufgrund dessen sollte verstärkt das Einsatzpotential von Sorptionskältemaschinen überprüft werden. Kompressionskältemaschinen sind aufgrund ihres hohen Primärenergiebedarfs nur zur Deckung von Spitzenlasten vorzusehen.

Anhand des Fallbeispiels Donauuferbereich Linz, wurde die aktuelle Grundwassersituation mittels der Berechnung nach INGERLE überprüft. Diese Berechnung ermöglicht die Abschätzung von Temperaturanomalien einzelner Anlagen. Das Ergebnis der Berechnungen war, dass man von erheblichen Erwärmungen und auch gegenseitigen Beeinflussungen verschiedener Grundwassernutzer ausgehen muss. Diese Ergebnisse decken sich mit der gemessenen Verteilung der Grundwassertemperaturen im Stadtgebiet. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden in einer parallel laufenden Studie von KRAKOW und FUCHS-HANUSCH (2013) verschiedene Szenarien zentraler Kälteversorgungen entwickelt und aus wasserwirtschaftlicher Sicht untersucht.

In der vorliegenden Masterarbeit wurden ausgewählte Szenarien um Energiebilanzen erweitert. Dabei wurde für alle Anlagen die aktuelle Kälteleistung abgeschätzt. Anschließend wurden die Kälteleistungen der Alternativen berechnet und mit den erforderlichen Leistungszahlen verglichen.

Bei dem eigens entwickelten Szenario eines Großnetzes, welches das gesamte Bearbeitungsgebiet versorgen soll, wurde der Einsatz eines vorhandenen Biomassekraftwerks anhand gängiger Leistungszahlen überprüft. Das Ergebnis dieser Arbeit ist, dass die vorhandenen Pumpwerke nur die jahresdurchschnittliche Kälteleistung des nördlichen Stadtgebietes decken könnten. Um das gesamte Stadtgebiet mit Kälte zu versorgen sind weitere Kältequellen erforderlich. Aufgrund der gesetzlichen Auflagen zur Nutzung vorhandener Wärmequellen, wäre eine Abwärmenutzung in allen Fällen zu erwägen. Im Donauuferbereich der Stadt Linz sind neben dem genannten Biomassekraftwerk auch zahlreiche industrielle Wärmequellen vorhanden, welche eventuell für die Kälteerzeugung genutzt werden können.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vor- und Nachteile für den Kunden bei zentraler und dezentraler Kälteerzeugung (vgl. Berliner Energieagentur GmbH, 2009, S. 31)...	28
Tabelle 2:	Vereinfachte Annahmen bei der Berechnung der Temperaturanomalien (ÖWAV, 2009, S. 29).....	72
Tabelle 3:	Kälteleistungsbilanz Trasse G Szenario 6.....	89
Tabelle 4:	Kälteleistungsbilanz Trasse C Szenario 3.....	91
Tabelle 5:	Kälteleistungsbilanz für Großnetz	93
Tabelle 6:	Nutzwertanalyse aufgrund Leistungsabschätzung	100
Tabelle 7:	Nutzwertanalyse aufgrund Bilanzierung (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 54).....	101

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Gekühlte Fläche je Einwohner in den EU-15-Staaten(Artmann, Manz, & Heiselberg, 2008, S. 3)	1
Abbildung 2:	Die gemessene globale Erwärmung seit 1850, basierend auf mehrere Datensätze. (Rahmstorf, 2013)	6
Abbildung 3:	geschätzte bodennahe Erderwärmung bis 2100 im Multimodell-Mittel mitsamt Bandbreiten (IPCC 2007, S. 14)	7
Abbildung 5:	Mittlere Kühlgradtage auf Gemeindeebene in Österreich für die Periode 2036-2065 zufolge Klimaszenario A1B (Kranzl, Müller, & Formayer, 2011, S. 6)	9
Abbildung 6:	Mittlere beobachtete Kühlgradtage auf Gemeindeebene in Österreich 1961-1990 (Kranzl, Müller, & Formayer, 2011, S. 5).....	10
Abbildung 7:	Szenarien des Energieverbrauchs für Raumkühlung und Klimatisierung in Österreich (Kranzl, Müller, & Formayer, 2011, S. 12)	11
Abbildung 8:	Anteils klimatisierter Flächen nach Gebäudekategorien im A2 Hauptszenario (Kranzl, Müller, & Formayer, 2011, S. 14).....	12
Abbildung 9:	Anteils klimatisierter Flächen nach Gebäudekategorien im A1B Hauptszenario (Kranzl, Müller, & Formayer, 2011, S. 15).....	12
Abbildung 10:	Anteils klimatisierter Flächen nach Gebäudekategorien im B1 Hauptszenario (Kranzl, Müller, & Formayer, 2011, S. 15).....	13
Abbildung 11:	Kältekreislauf mit wichtigsten Komponenten im log p – h – Diagramm (Siemens Schweiz AG, o.J., S. 50), bearbeitet	15
Abbildung 12:	Direktverdampfer (Wiesinger, 2013).....	16
Abbildung 13:	idealisierter Absorptionsprozess im log p – 1/T – Diagramm (Händel, 2010)	19
Abbildung 14:	Kompressionskältemaschine und Absorptionskältemaschine im Vergleich (Universität Stuttgart, 2013).....	20
Abbildung 15:	Adsorptionskältemaschinenzyklus (Schade, o.J.)	21
Abbildung 16:	Einsatz verschiedener Kühlmöglichkeiten im Jahreslauf am Beispiel Kopenhagen (Wien Energie, o.J.)	24

Abbildung 17: Vergleich typischer Primärenergiefaktoren bei konventionellen Klimageräten und den verschiedenen Fernkältelösungen (Euroheat & Power, o.J., S. 5).....	25
Abbildung 18: Vergleich typischer Kohlendioxid-Emissionen bei konventionellen Klimageräten und den verschiedenen Fernkältelösungen (Euroheat & Power, o.J., S. 6).....	25
Abbildung 19: Schema Fernkälte Toronto (vgl. New York City Global Partners, 2009, S. 2) (New York City Global Partners, 2009).....	29
Abbildung 20: Fernkältezentrale Schottenring (Wien Energie, o.J.).....	31
Abbildung 21: Anschlusswerteentwicklung der Fernkälte Wien aufgrund bekannter Projekte (Wallisch, 2012, S. 2)	32
Abbildung 22: Auswirkungen von Grund- und Oberflächenwassernutzung	35
Abbildung 23: quantitative Auswirkungen von Grundwasserstandsänderungen....	37
Abbildung 24: Dichte als Funktion der Temperatur unter Normaldruck (Möderl, Sitzenfrei, & Rauch, 2010, S. 18)	41
Abbildung 25: Viskosität in Abhängigkeit der Temperatur (Möderl, Sitzenfrei, & Rauch, 2010, S. 19)	42
Abbildung 26: Löslichkeit ausgewählter Gase im Wasser (vgl. Niessing & Nießner, 2010, S. 56).....	43
Abbildung 27: Löslichkeit von Feststoffen in Wasser (Dollenmeier, o.J.).....	44
Abbildung 28: Verockerung in einem Schluckbrunnen (Personenkreis Geothermie der AD-HOC-Arbeitsgruppe Geologie, 2011, S. 19).....	46
Abbildung 29: Gewässerbild der Fließgewässer in Oberösterreich zwischen 2003 und 2007 (Land Oberösterreich, 2007)	52
Abbildung 30: Geologische Schichten im Bearbeitungsgebiet von DonauConsult Zottl & Ebner (olivgrün) (Amt der Oö. Landesregierung - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, o.J., S. 6)	58
Abbildung 31: Übersichtslageplan der Wasserhaltungsmaßnahmen der Stadt Linz (Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, 2003 b).....	59
Abbildung 32: Spanmaß der saisonalen Grundwasserschwankungen Monatsmittel 1980 – 2001 (Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, 2003 c).....	61

Abbildung 33: Durchlässigkeit Arbeitsgebiet (Auszug aus Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, 2003)	62
Abbildung 34: Mittlere Grundwassertemperatur 1992 – 2002 (Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, 2003 d)	63
Abbildung 35: Tiefengemittelte Grundwassertemperatur am 21.05.2003 (Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, 2003 e).....	64
Abbildung 36: Tiefengemittelte Grundwassertemperatur am 30.09.2003 (Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft, 2004).....	65
Abbildung 37: Kältenutzer im Stadtgebiet Linz (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 31)	66
Abbildung 38: Aktuelle Bewilligungsdauern der Kältenutzungsanlagen im Stadtgebiet Linz (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 32).....	67
Abbildung 39: Neubewilligte Kühlwasserentnahme- und Versickerungsmengen im Bearbeitungsgebiet zwischen 1951 und 2012 als Jahresdurchschnittswert in l/s	68
Abbildung 41: 2-dimensionale, idealisierte Darstellung einer Temperaturanomalie als Trapez nach INGERLE (ÖWAV, 2009, S. 30).....	70
Abbildung 42: Energiebilanz für Kontrollvolumen nach INGERLE (ÖWAV, 2009, S. 30)	71
Abbildung 43: Isothermen der mittleren Grundwassertemperatur im Beobachtungszeitraum 2003 – 2005 (DonauConsult Zottl & Erber, 2006, S. Beilage 5).....	75
Abbildung 44: Berechnung des Flurabstandes	77
Abbildung 45: Durchlässigkeitsbeiwert (DonauConsult Zottl & Erber, 2004b, S. Beilage 9).....	78
Abbildung 46: Ausschnitt aus der Berechnung eines Versickerungsbrunnens	79
Abbildung 47: Temperaturfahnen – Ausgangsvariante (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 34).....	80

Abbildung 48:	Temperaturfahnen – angepasst an die Fließrichtung (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 34).....	81
Abbildung 49:	Temperaturfahnen – Mittelwerte (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 35)	82
Abbildung 50:	Interpolierte Maximalwerte der Grundwassertemperatur im Beobachtungszeitraum 2003 – 2005 (DonauConsult Zottl & Erber, 2006, Beilage 7)	83
Abbildung 51:	Grundwassernutzungen 2012 (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 39)	84
Abbildung 52:	Anlagen mit theoretisch erweiterbarer Temperaturspreize als grüne Punkte	87
Abbildung 53:	Szenario 6 (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 47)	88
Abbildung 54:	Leistungskurve Trasse G Szenario 6	90
Abbildung 55:	Szenario 3 (Krakow & Fuchs-Hanusch, 2013, S. 44)	91
Abbildung 56:	Leistungskurven für Großnetz bei 10500 kW aus KWKK.....	94

Literaturverzeichnis

- Abwasseremissionsverordnung Kühlsysteme und Dampferzeuger. (i.d.F. 20. Juli 2013). Abgerufen am 20. Juli 2013 von <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung/Bundesnormen/20002737/AEV%20K%c3%bchlsysteme%20und%20Dampferzeuger%2c%20Fassung%20vom%2020.07.2013.pdf>
- Amt der Oö. Landesregierung - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft. (o.J.). Grundwasserbewirtschaftung Linz - Hydrologische und thermische Ist-Situation.
- Artmann, N., Manz, H., & Heiselberg, P. (2008). *Passive Gebäudekühlung mit Nachtlüftung*. Abgerufen am 17. Juli 2013 von Einfluss unterschiedlicher Parameter auf die Effektivität der Nachtlüftung: http://www.szff.ch/platform/content/element/1788/Artmann_Vortrag.pdf
- Berliner Energieagentur GmbH. (April 2009). Summerheat. *Meeting cooling demands in SUMMEr by applying HEAT from cogeneration*. Abgerufen am 14. April 2014 von http://www.chaleurfraicheur.org/doc/Publishable_Report_FINAL.pdf
- Böhm, R. (2008). Harte und weiche Fakten zum Klimawandel - ein Überblick. In Lebensministerium, & ÖWAV, *Auswirkungen des Klimawandels auf die österreichische Wasserwirtschaft*. Wien.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit. (2007). 1. Energieeffizienzaktionsplan der Republik Österreich gemäß EU-Richtlinie 2006/32/EG. Abgerufen am 03. August 2013 von http://www.monitoringstelle.at/fileadmin/docs/de/EEAP/EEAP_austria_de_01.pdf
- Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend. (2011). Zweiter Nationaler Energieeffizienzaktionsplan der Republik Österreich 2011. Abgerufen am 03. August 2013 von http://www.monitoringstelle.at/fileadmin/docs/de/EEAP/2_neeap_Juli_2011_engueltige_Version.pdf

- Danfoss. (September 2006). Kältetechnik. *Einführung in die Grundlagen*. Abgerufen am 27. März 2014 von <http://www.danfoss.com/nr/rdonlyres/ec23f2c0-8831-4187-843f-580012b3e0be/0/pf000f103.pdf>
- Deutsche IPCC Koordinierungsstelle. (8. Oktober 2013). Fünfter Sachstandsbericht des IPCC. *Teilbericht 1 (Wissenschaftliche Grundlagen)*. Abgerufen am 20. Februar 2014 von http://www.de-ipcc.de/_media/IPCC_AR5_WGI_Kernbotschaften_20131008.pdf
- Dollenmeier, P. (o.J.). Löslichkeiten. Abgerufen am 29. Oktober 2013 von <http://fachschaften.kst.ch/chemie/chicd/kap5/kap52.htm>
- DonauConsult Zottl & Erber. (2004a). Grundwasserbewirtschaftung Linz. *Bericht (Langfassung) - Beilage 1*. (W. G.-u. Amt der Oö. Landesregierung, Hrsg.) Linz: Land Oberösterreich.
- DonauConsult Zottl & Erber. (2004b). Grundwasserbewirtschaftung Linz. *Zusammenfassung und Schlussfolgerungen - Endbericht*. (W. G.-u. Amt der Oö. Landesregierung, Hrsg.) Land Oberösterreich.
- DonauConsult Zottl & Erber. (2006). Grundwasserbewirtschaftung Linz. *Grundwassertemperatur Messprogramm 2003-2005*. (W. G.-u. Amt der Oö. Landesregierung, Hrsg.) Land Oberösterreich.
- EG 842/2006. (2006). *Verordnung des europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase*. Abgerufen am 18. Juli 2013 von <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:161:0001:0011:DE:PDF>
- Enwave. (2013). Deep lake water cooling. Abgerufen am 16. April 2014 von http://www.enwave.com/district_cooling_system.html
- Euroheat & Power. (o.J.). District cooling. *The sustainable response to europe's rising cooling*. Abgerufen am 30. April 2014 von http://www.euroheat.org/Files/Filer/documents/District%20Heating/Cooling_Brochure.
- E-Werk Wels. (o.J.). Brauchwasser. Abgerufen am 24. 09 2013 von <http://www.eww.at/geschaeftsbereiche/welser-wasserwerk/wasserlexikon/wasserlexikon/b.html>

- Fermanox Wasseraufbereitung. (o.J.). Probleme der Grundwassernutzung beim Heizen & Kühlen mit Grundwasser. o.O. Abgerufen am 31. Oktober 2013 von <http://www.fermanox-wasseraufbereitung.de/verfahren/heizen-kuehlen/heizen-kuehlen-mit-grundwasser/probleme.html>
- Gunt Hamburg. (o.J.). Prinzipien der Kälteerzeugung. Abgerufen am 27. Februar 2014 von http://www.gunt.de/download/principles%20of%20cold%20production_german.pdf
- Händel, C. (09. September 2010). Absorptionskälteanlagen. Abgerufen am 01. April 2014 von <http://www.wissenwiki.de/Absorptionsk%C3%A4lteanlagen>
- Herth, W., & Arndts, E. (1994). Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkung. (3. Auflage). Berlin: Ernst, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften.
- Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. (o.J.). Ausgewählte Klimaszenarien. Abgerufen am 21. Februar 2014 von http://klimawandel.hlug.de/fileadmin/dokumente/klima/monitor/ausgew_klimaszen.pdf
- IPCC 2007. (2007). Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: *Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandesbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC)*. (ö. U.-K. Deutsche Übersetzung durch ProClim-, Übers.) Bern/Wien/Berlin: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor und H.L. Miller, Eds. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA.
- Krakow, S., & Fuchs-Hanusch, D. (11. Dezember 2013). Strategische Studie Fernkälte Linz - Modul 1 Wasserwirtschaftliche Grundlagen. Graz.
- Kranzl, L., Müller, A., & Formayer, H. (2011). Kühlen und Heizen 2050: Klimawandel und andere Einflussfaktoren. Abgerufen am 22. Februar 2014 von http://www.eeg.tuwien.ac.at/eeg.tuwien.ac.at_pages/publications/pdf/KRA_PRO_2011_1.pdf
- Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft. (2003 a). Grundwasserbewirtschaftung Linz - Hydrologische und thermische Ist-Situation. *Durchlässigkeit des Grundwasserleiters*.

- Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft.
(2003 b). Grundwasserbewirtschaftung Linz - Hydrologische und thermische Ist-Situation. *Übersichtslageplan und Schnittführung der hydrogeologischen Längenschnitte*.
- Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft.
(2003 c).
- Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft.
(2003 c). Grundwasserbewirtschaftung Linz - Hydrologische und thermische Ist-Situation. *Spannmaß der saisonalen Grundwasserschwankungen Monatsmittel 1980 - 2001*.
- Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft.
(2003 d). Grundwasserbewirtschaftung Linz - Hydrologische und thermische Ist-Situation. *Mittlere Grundwassertemperatur 1992-2002*.
- Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft.
(2003 e). Grundwasserbewirtschaftung Linz - Hydrologische und thermische Ist-Situation. *Tiefengemittelte Grundwassertemperatur Stichtag Mai 2003*.
- Land Oberösterreich - Abteilung Wasserwirtschaft, Grund- und Trinkwasserwirtschaft.
(2004). Fortschungsprojekt Grundwasserbewirtschaftung Linz - Grundwassertemperatur Messprogramm 2003-2005. *Tiefengemittelte Grundwassertemperatur Stichtag 30. September 2003*.
- Land Oberösterreich. (2007). Gütebild für Fließgewässer von Oberösterreich. *Stand 2003-2007*. (a. d. Oberflächengewässerwirtschaft-Gewässerschutz, Hrsg.)
Abgerufen am 20. Juli 2013 von http://www.land-oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xbcr/ooe/GB_2003_2007.pdf
- Langeheinecke et. al. (2011). Thermodynamik für Ingenieure. *Ein Lehr- und Arbeitsbuch für das Studium (8. Auflage)*, 326. (K. Langeheinecke, Hrsg.)
Wiesbaden.
- Lanser et. al. (November 2012). Fernwärmeangetriebene Absorptionskälteanlagen zur Klimatisierung von Rechenzentren. Berlin: Technische Universität Berlin.
Abgerufen am 09. Mai 2014 von http://www.cio.bund.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Innovative-Vorhaben/greenit_studie.pdf?__blob=publicationFile

- Linz AG. (o.J. a). Fernkälte. Abgerufen am 18. Juli 2013 von http://www.linzag.at/portal/portal/linzag/businesskunden/energie_1/waerme_1/kaelteversorgung_1
- Linz AG. (o.J. b). Biomassekraftwerk. Abgerufen am 09. Mai 2014 von <http://www.linzag.at/portal/portal/linzag/linzag/linzstrom/kraftwerke/linzmittebiomasse/centerWindow;jsessionid=661A7BAF46DCBC7D437C53D7DD06E260.node1?plaginit=1&action=1>
- Möderl, M., Sitzenfrei, R., & Rauch, W. (2010). Wärmepumpen bei Einfamilienhäusern. *Abschätzung thermischer Anomalien des Grundwassers(1)*. (A. G.-u. Amt der Oö. Landesregierung Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft, Hrsg.) Abgerufen am 28. Oktober 2013 von http://www.landoberoesterreich.gv.at/files/publikationen/uwd_gtw_temperaturanomalie.pdf
- New York City Global Partners. (22. Dezember 2009). Best Practice: Deep Lake Water Cooling System. Abgerufen am 15. April 2014 von http://www.nyc.gov/html/unccp/gprb/downloads/pdf/Toronto_DLWC.pdf
- Niessing, W., & Nießner, R. (2010). Chemie des Wassers. In K. Höll, & R. Niessner (Hrsg.), *Wasser. Nutzung im Kreislauf: Hygiene, Analyse und Bewertung* (9. Ausg.). Berlin, New York: Walter de Gruyter.
- o.A. (2012). Universallexikon. Abgerufen am 29. Oktober 2013 von http://universal_lexikon.deacademic.com/218164/bunsenscher_Absorptionskoeffizient#sel=5:1,5:3
- ÖNORM B 2601. (i.d.F. 01. 02 2004). *Wassererschließung - Brunnen; Planung, Bau und Betrieb*.
- ORF ON Science. (o.J.). *Klimaerwärmung: Globale Trends sind unbestritten*. Abgerufen am 17. September 2012 von <http://sciencev1.orf.at/science/news/24242>
- ÖWAV. (2009). Regelblatt 207. *Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds - Heizen und Kühlen, 2*. Wien.
- Personenkreis Geothermie der AD-HOC-Arbeitsgruppe Geologie. (Februar 2011). Fachbericht zu bisher bekannten Auswirkungen geothermischer Vorhaben in den Bundesländern. Wiesbaden. Abgerufen am 31. Oktober 2013 von http://www.infogeo.de/dokumente/download_pool/FS2011_Top_6.2_Anlage_PK_Geothermie_Bericht.pdf

- Pinter, C. (Jänner 2011). Blockheizkraftwerke. *Technologieportrait und Wirtschaftlichkeit*. Abgerufen am 10. Mai 2014 von http://www.solution-concerto.org/IMG/pdf/Projektmeeting_Hartberg_19-01-2011_BHKW.pdf
- Prettenthaller, F., Gobiet, A., Habsburg-Lothringen, C., Steinacker, R., Töglhofer, C., & Türk, A. (2007). Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich. Abgerufen am 22. Februar 2014 von http://www.austroclim.at/fileadmin/user_upload/reports/StCl06F.pdf
- QZV Ökologie OG, Anlage H. (2010). *Physikalisch-chemische Qualitätskomponenten - Fließgewässer*. Abgerufen am 29. Juli 2013 von http://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Bundesnormen/NOR40125604/Anlage_H.pdf
- Rahmstorf, S. (27. September 2013). Der neue IPCC-Klimabericht. Abgerufen am 21. Februar 2014 von <http://www.scilogs.de/klimalounge/der-neue-ipcc-klimabericht/>
- Rauch, W., & Stegner, U. (04. Mai 2007). Oberflächennahe Geothermie. *Allgemeine Aspekte der thermischen Grundwassernutzung*. Innsbruck. Abgerufen am 09. Mai 2014 von http://www.uibk.ac.at/fakultaeten/technische-wissenschaften/pr-team/downloads/geothermie_070504/rauch-stegner.pdf
- Richtlinie 2006/32/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/EWG des Rates. (i.d.F. 03. August 2013). Abgerufen am 03. August 2013 von <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:114:0064:0064:DE:PDF>
- Schade, L. (o.J.). Adsorptionskältemaschine. Abgerufen am 01. April 2014 von <http://absorptionsmaschine.de/thermisch-angetriebene-verfahren/adsorptionsmaschine.html>
- Schwetz, H., Steinmair, U., & AUWR-WPLO. (2011). Strategische Studie "Fernkälte Linz". *Konzept Stand: 28.11.2011*. Linz.
- Siemens Schweiz AG. (o.J.). Kältetechnik. Abgerufen am 14. März 2014 von https://www.cee.siemens.com/web/austria/de/industry/bt/support/Documents/grldoku_091914de.pdf

- Umweltamt Dresden. (Oktober 2010). Umweltbericht Grundwasser. (D. O. Landeshauptstadt Dresden, Hrsg., & K. Ullrich, Redakteur) Dresden. Abgerufen am 31. Oktober 2013 von http://www.dresden.de/media/pdf/umwelt/UB_Grundwasser.pdf
- Umweltbundesamt GmbH. (Kartenstand: März 2009). Karte O-Typ 2. *Gewässertypologie von Oberflächengewässern - Fischregionen. Österreichischer Anteil an den FGE Donau, Rhein und Elbe.* (U. u. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Hrsg.) Abgerufen am 29. Juli 2013 von wisa.lebensministerium.at/filemanager/download/44218/
- Universität Stuttgart. (02. August 2013). Kältetechnik. Abgerufen am 01. April 2014 von <http://www2.itw.uni-stuttgart.de/abteilungen/wktechnik/SolKaelte/Absorptionskaeltemaschine.php>
- Verordnung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung des ökologischen Zustandes für Oberflächengewässer. (i.d.F. 29. Juli 2013). *Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer.* Abgerufen am 29. Juli 2013 von <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung/Bundesnormen/20006736/QZV%20%c3%96kologie%c2%a0OG%2c%20Fassung%20vom%2029.07.2013.pdf>
- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 14. April 1977 zur Verbesserung der Wassergüte der Donau und ihrer Zubringer. (i.d.F. 20. Juni 2013). Abgerufen am 20. Juli 2013 von <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010383&ShowPrintPreview=True>
- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Überwachung des Zustandes von Gewässern. (i.d.F. 30. Juli 2013). *Gewässerzustandsüberwachungsverordnung - GZÜV.* Abgerufen am 30. Juli 2013 von <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung/Bundesnormen/20005172/GZ%c3%9cV%2c%20Fassung%20vom%2030.07.2013.pdf>
- Verordnung des Bundestministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. (i.d.F. 24. 09 2013). *Trinkwasserverordnung - TWV.* Abgerufen am 24. 09 2013 von

- <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung/Bundesnormen/20001483/TWV%2c%20Fassung%20vom%2024.09.2013.pdf>
- Wallisch, A. (Februar 2012). Fernkälte als Energieeffizienzmaßnahme. Abgerufen am 16. April 2014 von http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/Files/i4340/eninnov2012/files/pr/PR_Wallisich.pdf
- Wallisch, A. (08. Mai 2014). Anforderungen von Wasser für Fernkältenutzung. (P. Braunegger, Interviewer)
- Wasserrechtsgesetz 1959. (i.d.F. 20. Juli 2013). Abgerufen am 20. Juli 2013 von <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung/Bundesnormen/10010290/WRG%201959%2c%20Fassung%20vom%2020.07.2013.pdf>
- wasserwerk.at. (o.J.). Nutzwasser. Abgerufen am 24. 09 2013 von <http://www.wasserwerk.at/home/alles-ueber-wasser/glossar/N>
- Wien Energie. (o.J.). Fernkälte in Europa. Abgerufen am 2014. Mai 08 von <http://www.gaswaerme.at/de/pdf/10-1/wallisich.pdf>
- Wien Energie. (o.J.). Fernkälte Standorte. Abgerufen am 16. April 2014 von <https://www.wienenergie.at/eportal/ep/channelView.do/pageTypeId/11893/channelId/-46123>
- Wiesinger, J. (6. Oktober 2013). Hauptbauteile der Kfz Klimaanlage. Abgerufen am 27. März 2014 von <http://www.kfztech.de/kfztechnik/sicherheit/klima/klimazwei.htm>
- Willig, H. (o.J.). Das Wasser als Lösungsmittel. Abgerufen am 29. Oktober 2013 von <http://www.chemie-schule.de/chemieAnorganische/anKap4-18-wasser-als-loesungsmittel.php>
- Winter, T. C., Harcey, J. W., Franke, O. L., & Alley, W. M. (1998). Ground Water And Surface Water A Single Resource. Denver, Colorado. Abgerufen am 31. Oktober 2013 von <http://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/pdf/circ1139.pdf>

Anhang 1

Versickerung

ID	L_S	M3_H	M3_D	M3_A	TEMP _{E,GW}	TEMP _{V,GW}	Q [l/s]	H _{GW}	A _{GW}	Spitzen- konsensmenge		Durchschnittliche Konsensmenge	
										Δt sp	Pk sp [kW]	Δt d	Pk d [kW]
1	8,5	30,00	270	98550	15	18	3,13	11,00	7,00	3,0	106,8	3,0	39,3
2	22,00		1900	200000	12,5	18	6,34	10,50	11,50	5,5	507,0	5,5	146,2
3	5,00		432	157680	12,5	24	5,00	10,00	4,00	11,5	240,9	11,5	240,9
4	23,90		1032	111178	13,5	17	3,53	11,00	5,00	3,5	350,5	3,5	51,7
5	33,00		2000	255000	13,5	17	8,09	11,00	9,00	3,5	483,9	3,5	118,6
6	151,11	544,00	10880	3971200	12	18	125,93	10,50	4,50	6,0	3798,9	6,0	3165,8
7	6,50		190	16000	13,5	18	0,51	14,50	0,50	4,5	122,6	4,5	9,6
8	4,17	15,00	360	131400	13,5	25	4,17	11,00	12,00	11,5	200,8	11,5	200,8
9	0,93	3,33	80	29200	15	18	0,93	0,00	11,00	3,0	11,6	3,0	11,6
10	14,47		1250	140000	13,5	18	4,44	13,00	6,00	4,5	272,8	4,5	83,7
11	10,00		495	135415	13,5	17	4,29	9,00	6,50	3,5	146,7	3,5	63,0
12	13,00		300	109500	13,5	25	3,47	10,50	6,50	11,5	626,4	11,5	167,3
13	4,40	15,83	380	138700	15	25	4,40	10,50	7,50	10,0	184,3	10,0	184,3
14	25,00		620	226300	12,5	18	7,18	9,50	3,50	5,5	576,1	5,5	165,4
15	2,70	9,72	102	22300	12,5	17	0,71	10,50	6,50	4,5	50,9	4,5	13,3
16	22,00		1200,00	438000	13,5	18	13,89	9,50	4,50	4,5	414,8	4,5	261,9
17	15,50	27,08	650	50000	12,5	18	1,59	5,00	8,00	5,5	357,2	5,5	36,5
18	13,00		393,2	62350	13,5	18	1,98	11,00	6,00	4,5	245,1	4,5	37,3
19	6,60		579,5	134200	12	18	4,26	9,50	7,50	6,0	165,9	6,0	107,0
20	0,28	1,00	24	7000	12,5	18	0,22	5,00	8,00	5,5	6,5	5,5	5,1
21	5,91	21,29	511	186515	13,5	18	5,91	9,00	6,00	4,5	111,5	4,5	111,5
22	30,00		1296	142560	13,5	18	4,52	11,00	11,00	4,5	565,7	4,5	85,2
23	13,00		1123,2	409968	13,5	20	13,00	12,50	9,50	6,5	354,1	6,5	354,1
24	2,00		86,4	31536	13,5	17	1,00	9,00	6,00	3,5	29,3	3,5	14,7
25	2,76		0,83	43	13,5	18	0,00	11,00	11,00	4,5	52,0	4,5	0,0
26	8,00		691,2	252288	12,5	18	8,00	9,50	1,50	5,5	184,4	5,5	184,4
27	60,00		4920	1193700	12	18	37,85	3,00	14,00	6,0	1508,4	6,0	951,6
28	2,50	9,00	216	78840	13,5	18	2,50	11,00	6,00	4,5	47,1	4,5	47,1
29	0,46		40	14600	12	18	0,46	4,00	7,00	6,0	11,6	6,0	11,6
30	8,40		250	28000	13,5	18	0,89	13,00	4,00	4,5	158,4	4,5	16,7
31	4,90		317,5	18900	13,5	18	0,60	13,50	4,50	4,5	92,4	4,5	11,3
32	10,24		550	40000	12,5	18	1,27	11,00	4,00	5,5	236,0	5,5	29,2
33	3,00		67,3	24564,5	13,5	18	0,78	9,50	3,50	4,5	56,6	4,5	14,7
34	5,55		300	80000	12,5	18	2,54	9,50	3,50	5,5	127,9	5,5	58,5
35	18,50		1600	190000	12,5	17	6,02	10,00	3,00	4,5	348,8	4,5	113,6
36	15,00	54,00	1296	299808	12,5	18	9,51	5,00	8,00	5,5	345,7	5,5	219,1
37	15,00		972	80840	12,5	18	2,56	4,50	5,50	5,5	345,7	5,5	59,1
38	7,50		486	46500	12,5	17	1,47	7,00	8,00	4,5	141,4	4,5	27,8
39	45,00		1944	40500	13,5	17	1,28	11,50	3,50	3,5	659,9	3,5	18,8
40	25,50		1119	210093	12	17	6,66	11,50	0,50	5,0	534,2	5,0	139,6
41	15,00		648	97200	13,5	18	3,08	8,50	6,50	4,5	282,8	4,5	58,1
42	8,30		450	31581	12	18	1,00	10,50	2,5	6,0	208,7	6,0	25,2
688,6						314,9				15272,3		7661,1	

Ableitung

ID	L_S	M3_H	M3_D	M3_A	TEMP _{E,GW}	TEMP _{V,GW}	Q [l/s]	H _{GW}	A _{GW}	Spitzen- konsensmenge		Durchschnittliche Konsensmenge	
										Δt	Pk sp [kW]	Δt d	Pk d [kW]
1	27,00		1708	309600	12	30	9,82			18,0	2036,3	18,0	742,2
2	100	350,00	4895	1786675	12	22	56,66			10,0	4190,0	10,0	2379,5
3	59,56	214,42	5146	1878290	12,5	22,5	59,56			10,0	2495,6	10,0	2501,5
4	4		360	131400	20	30	4,17			10,0	167,6	10,0	175,0
5	17	62,10	550	48880	12,5	22,5	1,55			10,0	712,3	10,0	65,1
6	27,78	100,00	2400	876000	12	22	27,78			10,0	1163,9	10,0	1166,7
7	23		1450	410000	12	22	13,00			10,0	963,7	10,0	546,0
8	50		1620	591300	12	22	18,75			10,0	2095,0	10,0	787,5
9	2,24		28	12500	12,5	22,5	0,40			10,0	93,9	10,0	16,6
10	22,2		11920	672000	12	25	21,31			13,0	1209,2	13,0	1163,5
11	66,67	240,00	5760	2102400	13,5	30	66,67			16,5	4609,0	16,5	4620,0
399,44										19736,5		14163,7	

Pumpwerke

ID	L_S	M3_H	M3_D	M3_A	TEMP _{E,GW}	TEMP _{V,GW}	Q [l/s]	H _{GW}	A _{GW}	Spitzen- konsensmenge		Durchschnittliche Konsensmenge	
										Δt	Pk sp [kW]	Δt d	Pk d [kW]
1					12	22	50,00					10,0	2095,0
2					12,5	22,5	250,00					10,0	10475,0
3					13,5	23,5	30,00					10,0	1257,0
330,00												13827,0	

Anhang 2

Kühlleistungsbetrachtung gemäß Szenario 6

Trasse G

- Grundwasserentnahme + Ableitung --> vorhandene Fernkältezentrale Linz
- Nutzung von 3 Pumpstationen AHP
- Nutzung Straßenbahntrasse als Leitungstrasse

	<i>Spitzenkonsensmenge</i>		<i>Durchschnittliche Konsensmenge</i>	
	Pk [kW]	Pk [kW]	Pk [kW]	Pk [kW]
1	106,85		39,28	
2	2036,34		742,19	
3	506,99		146,15	
4	240,93		240,93	
5	483,95		118,58	
6	3798,93		3165,78	
7	200,77		200,77	
8	272,79		83,70	
9	146,65		62,97	
10	626,41		167,31	
11	184,28		184,28	
12	50,91		13,33	
13	357,20		36,54	
14	6,45		5,12	
15	4190,00	4190,00	2379,51	2379,51
16	565,65		85,23	
17	354,06		354,06	
18	712,30		65,10	
19	1163,89		1166,67	
20	52,04		0,03	
21	47,14		47,14	
22	963,70		546,04	
23	235,98		29,23	
24	56,57		14,69	
25	93,86		16,65	
26	127,90		58,46	
27	348,82		113,60	
28	141,41		27,80	
29	659,93		18,83	
30	534,23		139,57	
31	576,13		165,37	
32	414,81		261,88	
33	165,92		106,98	
34	2495,57		2501,53	
35	111,52		111,52	
36	184,36		184,36	

37	2095,00		787,50	
38	1209,23		1163,47	
39	282,83		58,11	
40	208,66		25,18	
41		2095,00		2095,00
42		10475,00		10475,00
43		1257,00		1257,00
	27047	18017	15671	16207

Trasse C

- Grundwasserentnahme und Grundwasserversickerung am Standort Wagner-Jauregg

<i>Nr.</i>	<i>Spitzenkonsensmenge</i>		<i>Durchschnittliche Konsensmenge</i>	
	<i>Pk [kW]</i>	<i>Pk [kW]</i>	<i>Pk [kW]</i>	<i>Pk [kW]</i>
1	350,49		51,70	
2	122,56		9,57	
3	245,12		37,28	
4	29,33		14,67	
5	1508,40		951,60	
6	11,64		11,64	
7	158,38		16,74	
8	92,39		11,30	
9	345,68		219,09	
10	345,68		59,07	
11		3210		1382,65
	3210	3210	1383	1383

Anhang 3

Kühlleistungsbetrachtung gemäß Szenario 3

Trasse G

- Grundwasserentnahme + Ableitung --> vorhandene Fernkältezentrale Linz
- Nutzung von 2 Pumpstationen AHP und Abwärme aus BHKW
- Nutzung Straßenbahntrasse als Leitungstrasse

Nr.	Spitzenkonsensmenge		Durchschnittliche Konsensmenge	
	Pk [kW]	Pk [kW]	Pk [kW]	Pk [kW]
1	106,85		39,28	
2	2036,34		742,19	
3	506,99		146,15	
4	240,93		240,93	
5	483,95		118,58	
6	3798,93	3798,93	3165,78	
7	200,77		200,77	
8	272,79		83,70	
9	146,65		62,97	
10	626,41		167,31	
11	184,28		184,28	
12	50,91		13,33	
13	357,20		36,54	
14	6,45		5,12	
15	4190,00	4190,00	2379,51	2379,51
16	565,65		85,23	
17	354,06		354,06	
18	712,30		65,10	
19	1163,89	1163,89	1166,67	
20	52,04		0,03	
21	47,14		47,14	
22	963,70		546,04	
23	235,98		29,23	
24	56,57		14,69	
25	93,86		16,65	
26	127,90		58,46	
27	348,82		113,60	
28	141,41		27,80	
29	659,93		18,83	
30	534,23		139,57	
31	576,13		165,37	
32	414,81		261,88	
33	165,92		106,98	
34	2495,57		2501,53	
35	111,52		111,52	
36	184,36		184,36	
37	2095,00		787,50	

38	1209,23		1163,47	
39	282,83		58,11	
40	208,66		25,18	
41		2095,00		2095,00
42		10475,00		10475,00
43		1257,00		1257,00
	27047	22980	15671	16207

Trasse C

Nr.	<i>Spitzenkonsensmenge</i>		<i>Durchschnittliche</i>	
	Pk [kW]	Pk [kW]	Pk [kW]	Pk [kW]
1	350,49		51,70	
2	122,56		9,57	
3	245,12		37,28	
4	29,33		14,67	
5	1508,40		951,60	
6	11,64		11,64	
7	158,38		16,74	
8	92,39		11,30	
9	345,68		219,09	
10	345,68		59,07	

Anhang 4

Fernkälte Linz - Szenarien

- Grundwasserentnahme + Ableitung -> vorhandene Fernkältezentrale Linz
- Nutzung von 3 Pumpstationen AHP
- Nutzung des Biomassefernkraftwerkes
- Erhalt Wagner-Jauregg
- Straßenbahntrasse als Leitungstrasse

Nr.	Spitzenkonsensmenge		Durchschnittliche	
	Pk [kW]	Pk [kW]	Pk [kW]	Pk [kW]
1	106,83		39,28	
2	2036,34		742,19	
3	306,99		146,13	
4	240,93		240,93	
5	350,49		51,70	
6	483,95		118,58	
7	3798,93		3165,78	
8	122,56		9,57	
9	200,77		200,77	
10	272,79		83,70	
11	146,65		62,97	
12	626,41		167,31	
13	184,28		184,28	
14	576,13		165,37	
15	50,91		13,33	
16	414,81		261,88	
17	357,20		36,54	
18	245,12		37,28	
19	165,92		106,98	
20	6,45		5,12	
21	4190,00	4190,00	2379,51	2379,51
22	2495,57		2501,53	
23	111,52		111,52	
24	565,65		85,23	
25	354,06		354,06	
26	29,33		14,67	
27	712,30		65,10	
28	1163,89		1166,67	
29	52,04		0,03	
30	184,36		184,36	
31	1508,40	1508,40	951,60	
32	47,14		47,14	
33	963,70		546,04	
34	2095,00		787,50	
35	11,64		11,64	
36	158,38		16,74	
37	92,39		11,30	
38	235,98		29,23	
39	56,57		14,69	
40	93,86		16,65	
41	127,90		58,46	
42	1209,23		1163,47	
43	348,82		113,60	
44	345,68		219,09	
45	345,68		59,07	
46	141,41		27,80	
47	659,93		18,83	
48	534,23		139,57	
49	282,83		58,11	
50	208,66		25,18	
51		2095,00		2095,00
52		10473,00		10473,00
53		1257,00		1257,00
54		10500,00		10500,00
	30221	30350	17063	26707