



anton zürich
Baudirektion
Amt für Raumentwicklung

Hochschulgebiet Zürich-Zentrum Schlussbericht Vertiefungsthema Energieversorgung

Juni 2015



Impressum

Auftraggeber
Gebietsmanagement Hochschulgebiet Zürich-Zentrum

Federführung
Amt für Raumentwicklung, Baudirektion Kanton Zürich

unter Mitwirkung von
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Baudirektion Kanton Zürich
Hochbauamt, Baudirektion Kanton Zürich
Elektrizitätswerke der Stadt Zürich, Departement der Industriellen Betriebe Stadt Zürich
Energiebeauftragter, Departement der Industriellen Betriebe Stadt Zürich
Entsorgung und Recycling Stadt Zürich, Tiefbau- und Entsorgungsdepartement Stadt Zürich
ETH Zürich
Universität Zürich
UniversitätsSpital Zürich

Auftragnehmer
Amstein + Walthert AG, Zürich

Experte
Thomas Bürki GmbH

Titelbild
Quelle: ETH Zürich

Bezugsquelle
www.hochschulgebiet.zh.ch

Inhalt

1. Management Summary	6
2. Ausgangslage und Zielsetzungen	10
2.1. Einleitung	10
2.2. Zielsetzungen	10
2.3. Auftrag	13
2.4. Systemgrenzen	14
2.5. Methodik und Vorgehensbescrieb	16
3. IST-Analyse	18
3.1. Grundlagen	18
3.2. Heutige Energieversorgung	21
3.2.1. Erzeuger	22
3.2.2. Universitätsspital Zürich	24
3.2.3. Universität Zürich	25
3.2.4. ETH	26
3.2.5. ETH-Drittbezüger	27
4. Entwicklung Energiebedarf	28
4.1. Annahmen zur Bedarfsentwicklung	28
4.2. Nutzenergiebedarf	31
4.3. Nutzenergiebedarf nach Institution	35
4.3.1. Universitätsspital Zürich	35
4.3.2. Universität Zürich	36
4.3.3. ETH	37
4.3.4. Weitere	38
4.4. Fazit Bedarfsentwicklung	38
5. Potenziale zur Versorgung	40
5.1. Fernwärme	40
5.2. Seewasser/Flusswasser	40
5.3. Erdwärme/Erdspeicher (saisonale Verlagerung)	42
5.4. Abwärme von Kälteerzeugung	43
5.5. Photovoltaik	44
6. Strategien	45
6.1. Definition der Zielbereiche	50
6.2. NSE-Diagramm	51
7. Konzeptvarianten	52

7.1.	Erläuterung der Varianten	52
7.1.1.	Strategie A	52
7.1.2.	Strategie B	55
7.1.3.	Strategie C	56
8.	Bilanzierung der Varianten	59
8.1.	Bilanzierungsgrundlagen	59
8.1.1.	Emissionsfaktoren	60
8.1.2.	Erneuerbarkeit	61
8.1.3.	Primärenergiefaktoren	62
8.2.	Treibhausgasemissionen	63
8.3.	Endenergie	64
8.4.	Erneuerbarkeit	65
8.5.	Primärenergiebedarf	65
8.6.	Wirtschaftlichkeit/Kosten	66
8.6.1.	Grundlagen	66
8.6.2.	Investitionskosten	66
8.6.3.	Mittlere jährliche Kosten	67
8.6.4.	Gestehungskosten	68
8.6.5.	Energiepreissensitivität	69
8.7.	Nutzwertanalyse	70
8.7.1.	Kriterien/Gewichtung	70
8.7.2.	Resultate	72
9.	Fazit und Empfehlungen	73
9.1.	Zielvorgaben	73
9.2.	Fazit	75
9.3.	Weiteres Vorgehen/Nächste Schritte	75
10.	Anhang	76

Stellenwert und Einordnung dieses Berichts in Kürze

Gestützt auf den Masterplan Hochschulgebiet Zürich-Zentrum (RRB Nr. 679/2014) und den Synthesebericht zu den städtebaulichen Vertiefungsstudien (RRB Nr. 862/2014) hat der Regierungsrat am 8. April 2015 die Teilrevision des kantonalen Richtplans, Gebietsplanung Hochschulgebiet Zürich-Zentrum dem Kantonsrat zur Beschlussfassung überwiesen (Vorlage 5180). Als Grundlage für die nachfolgenden Planungen wurden gestützt auf diese Dokumente vier Vertiefungsthemen bearbeitet:

- Verkehr/Mobilität
- Energieversorgung
- Freiräume/Grünräume
- Umwelt

Hierfür wurde vom federführenden Amt für Raumentwicklung (ARE) jeweils ein externes Büro mit der Bearbeitung beauftragt. Begleitet wurden diese Arbeiten von Vertreterinnen und Vertretern der kantonalen und städtischen Fachstellen sowie der drei Institutionen Universität, Universitätsspital und ETH Zürich. Die *Schlussberichte der drei Vertiefungsthemen* Verkehr/Mobilität, Energieversorgung (vorliegender Bericht), Freiräume/Grünräume wurden auf Antrag der Projektleitung (ARE) dem Koordinationsgremium des Gebietsmanagements (operatives Kernteam) zur Kenntnisnahme unterbreitet. Sie *dokumentieren* die Arbeiten in den jeweiligen Vertiefungsthemen, dienen als Grundlage für die weiteren Planungen, und es werden Empfehlungen für weiter zu vertiefende Aspekte formuliert.

Im *Masterdokument* zu den Auswirkungen auf Umwelt, Verkehr, Energie und Freiraum werden einerseits die Erkenntnisse dieser drei Vertiefungsthemen zusammengefasst dargestellt und andererseits die zu erwartenden Auswirkungen auf die Umwelt bei der Umsetzung des Masterplans summarisch erörtert. Das Masterdokument soll auch als zentrale Grundlage für zu erstellende Umweltverträglichkeitsberichte dienen. Dieses Masterdokument ist Grundlage für den *Bericht zu den Auswirkungen auf Umwelt, Verkehr, Energie und Freiraum*. Darin werden die wichtigsten Erkenntnisse aller vier Vertiefungsthemen allgemein verständlich dargestellt. Diese beiden Dokumente wurden von der Projektsteuerung des Gebietsmanagements auf Antrag der Projektleitung (ARE) als *gemeinsamer* Orientierungsrahmen für die weiteren Arbeiten verabschiedet.

1. Management Summary

Im Bericht "Masterplan Hochschulgebiet Zürich-Zentrum" wird bezüglich Energie folgender Handlungsansatz formuliert:

"Die Versorgung und die effiziente Nutzung von Wärme, Kälte und Elektrizität im Hochschulgebiet wird in Anlehnung an die Energiegesetzgebung des Bundes, des Kantons und die Energiepolitik des Kantons Zürich und der Stadt Zürich weiterentwickelt."

Heutige Versorgung

Das Hochschulgebiet bezieht seine Energie für Heizung, Brauchwarmwasser und Prozesswärme primär aus dem Fernwärmenetz der Entsorgung + Recycling Zürich. Es besteht je eine Fernwärmeleitung für Heisswasser und für Dampf vom Kehrichtheizkraftwerk Hagenholz ins Hochschulgebiet. Daneben existiert noch eine Wärmepumpe der ETH in der Walche, welche jedoch zukünftig nicht weiter betrieben wird. Die Kälte wird mit Kompressionskältemaschinen und beim USZ im Sommer zum Teil mit Absorptionskälte aus dem Dampfnetz der Fernwärme bereitgestellt. Strom wird aus dem Netz bezogen. Die Energieversorgung ist dank dem hohen Anteil der Fernwärme aus der KVA Hagenholz bereits im heutigen Zustand ökologisch. Synergien zwischen den drei Institutionen werden jedoch nur bedingt genutzt.

Prognostizierte Entwicklung

Der Kältebedarf, der Strombedarf und die Energiebezugsfläche (EBF) werden weiter zunehmen. Im Gegensatz dazu nimmt der Wärmebedarf (kumulierter Brauchwarmwasser-, Heiz- und Prozesswärmebedarf) bis ins Jahr 2030 aufgrund des Flächenzuwachses noch leicht zu, sinkt dann aber durch die energetischen Sanierungen bis ins Jahr 2050 unter das heutige Niveau ab.

Geprüfte Versorgungsstrategien

Im Rahmen des Vertiefungsthemas wurden aufgrund der sich im Gebiet anbietenden Versorgungstechnologien zur Deckung des Energiebedarfs (Prozesswärme 100°C, Hochtemperatur 70°C, Niedertemperatur 35°C, Klimakälte 12-20°C und Prozesskälte >10°C), vier Strategien vertieft untersucht:

- Strategie A:

Die Deckung des gesamten thermischen Energiebedarfs (Wärme/Kälte) erfolgt über die Fernwärme (Heisswasser- bzw. Dampfnetz). Die entstehende Abwärme wird mittels Rückkühlern in die Luft abgeführt.

- Strategie B1:

Die Deckung der Prozesswärme sowie die Versorgung der Gebäude, welche Hochtemperatur für das Heizsystem benötigen, erfolgen über einen fossilen Energieträger (z.B. Gas). Zur Versorgung der Niedertemperatur werden Wärmepumpen eingesetzt, welche die Wärme aus einem Erdspeicher auf das gewünschte Temperaturniveau veredeln. Der Erdspeicher wird mittels der Abwärme aus den Kälteprozessen bewirtschaftet. Das Gebiet wird thermisch miteinander vernetzt.

- Strategie B2:

Analog wie die Strategie B2, jedoch mit dem Unterschied, dass anstelle des fossilen Energieträgers für die Prozesswärme sowie zur Versorgung für die Hochtemperatur, die Fernwärme eingesetzt wird.

- Strategie C:

Die Deckung der Prozesswärme sowie der Gebäude, welche Hochtemperatur für das Heizsystem benötigen, erfolgt über die Fernwärme. Zusätzlich wird eine Seewasserleitung in das Hochschulgebiet realisiert, wobei das Seewasser primär für die Kälteprozesse verwendet wird. Je nach konzeptioneller Ausgestaltung kann die daraus entstehende Abwärme dazu verwendet werden, mittels Wärmepumpen die Niedertemperaturbezüger zu versorgen.

Zu den Strategien wurden entsprechende Konzeptvarianten zur Bilanzierung und Vergleichbarkeit vertieft. Bezüglich der mittleren jährlichen Kosten sind alle Strategien in etwa gleich zu beurteilen.

Thermischer Gebäudestandard

Neue Gebäude und Sanierungen müssen zukünftig mindestens dem geltenden Minergiestandard (oder 10 % unter dem gesetzlichen Minimum) von Neubauten bzw. Sanierungen entsprechen (Primäranforderung an die Gebäudehülle). Vorbehalten bleiben die denkmalpflegerischen Anforderungen. Bei Spezialbauten (Labors, Operationssäle usw.) kann die Regel der Bautechnik angewendet werden, wenn mit einem dynamischen Gebäudemodell die Gleichwertigkeit der Jahresenergiebilanz (Wärme/Kälte) sowie dem Spitzenlastverhalten zu den vorhergehend genannten Anforderungen aufgezeigt werden kann. Je nach Nutzung (z.B. Wohnbauten) ist auch eine Verschärfung des Mindeststandards anzustreben.

Reduktion der Energiedichte

Angestrebt wird eine Reduktion von 20% des Eintrags an nicht erneuerbarer Energie – bezogen auf die dem Masterplanperimeter zugeführten Energien – für die Deckung von Wärme und Kälte (exklusive allgemeiner Strom) bis 2035 (bis 2050 wurde noch keine Zielvorgabe definiert). Dies bedingt neben einem effizienten Umgang mit dem Endenergieträger gemäss dem angestrebten Sanierungspfad beim Bestand auch eine konsequente Nutzung der im Perimeter anfallenden Abwärme.

Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen, welche durch die thermische Versorgung des Hochschulquartiers induziert werden, sollen gegenüber dem heutigen Zustand trotz des Flächenzuwachses um 25% reduziert werden. Dieses Ziel ist mit den Strategien B2 und C zu erreichen (vgl. Abbildung 32)

Energiewertigkeit des Endenergieträgers

Es sollen keine hochwertigen Energieträger (Fernwärme) zur Niedertemperatur-Wärmeversorgung verwendet werden. Klima- und Laborkälte soll in erster Priorität über Freecooling erfolgen, das heisst nicht von Maschinen, sondern von Kälte aus der Umgebung (Erdreich, Seewasserleitung).

Vorgaben für Effizienz (Nutzenergie/Endenergie)

Mass für die Effizienz ist die Jahresarbeitszahl (JAZ). Für das Hochschulquartier ist vorgesehen, dass in Zukunft hoch effiziente Systeme für die thermische Versorgung der Gebäude und Prozesse zum Einsatz kommen. Dies verlangt neben der Effizienz bei den eingesetzten Maschinen (Wärmepumpen, Kältemaschinen etc.) noch weitere Parameter die beachtet werden müssen. Insbesondere ist der Temperaturunterschied zwischen Ein- und Austrittstemperatur der Maschinen möglichst gering zu halten. Diese hängen zum einen von der zur Verfügung stehenden Quellen (Erdreich, Seewasser, Luft etc.) ab, zum anderen gibt es aber auch bauliche Anforderungen (Dämmung, Sonnenschutz, Wärme- bzw. Kälteabgabesystem etc.). Diese tragen dazu bei, dass die Systemtemperaturen im Abgabesystem tief (bei Wärme) bzw. hoch (bei Kälte) gehalten werden können.

Stromversorgung

Es wird davon ausgegangen, dass im Hochschulquartier der Strombedarf aus verschiedenen Gründen (allgemeine Zunahme elektrischer Geräte mit höherer Leistung, allgemeine Zunahme IT, mehr hoch installierter Fläche etc.) zunimmt. Diesem Trend ist mit effizienten Geräten entgegenzuwirken. Insbesondere ist dabei der Beleuchtung (Leuchteneffizienz, Steuerung, Anordnung etc.) entsprechende Aufmerksamkeit zu schenken.

Bezüglich des verwendeten Strommix hat jede Institution zusätzlich die Möglichkeit, durch Auswahl eines ökologisch verbesserten Produktes - im Sinne seiner Vorbild- und Öffentlichkeitsfunktion - die Treibhausgasbilanz zu optimieren.

Die Eigenproduktion von Strom mittels PV-Anlagen soll in den folgenden Phasen noch vertieft geprüft werden, unter Berücksichtigung der städtebaulichen und denkmalpflegerischen Verträglichkeit. Das Potenzial zur Deckung des Eigenbedarfs innerhalb der einzelnen Institutionen beträgt rund 3-4% des Gesamtbedarfs, wobei auch die anfallenden Lastenspitzen jeweils direkt genutzt werden können.

Zur Reduktion der Leistungsspitzen im Masterplanperimeter soll ein Lastenmanagement von den Institutionen geprüft werden, wobei mittels Gebäude- und Geräteautomation der Betrieb und Bedarf aufeinander abgestimmt werden kann. Eine weitere Möglichkeit, die Tagesspitzen zu brechen bietet der Einsatz von Batteriespeicher. Solche können im Masterplanperimeter in Zukunft eine wichtige Rolle spielen, insbesondere auch im Zusammenhang mit der möglichen Eigenproduktion von Strom mittels PV-Anlagen.

Zusammen mit dem Elektroversorger ist bezüglich der Netzbelastung bei den Tagesleistungsspitzen eine Strategie auszuarbeiten.

Zukünftige Versorgung

Die Fernwärme wird im Masterplanperimeter auch in Zukunft eine gewichtige Rolle zur Versorgung von Hochtemperaturnutzung spielen. Diese sollte jedoch nicht für die Versorgung von Niedertemperaturbezügern und zur Kälteerzeugung (Absorption) verwendet werden. Für die Versorgung der Niedertemperaturbezüger und des Kältebedarfs im Hochschulgebiet soll prioritär die Machbarkeit einer Seewasserleitung sowie eines Erdspeichersystems vertieft geprüft werden. Ein strategischer Entscheid über eine Seewasserleitung oder einen Erdspeicher muss von allen Institutionen gemeinsam getragen werden.

Aufgrund dieses Entscheids muss ein Energiekonzept ausgearbeitet werden, wobei darauf zu achten ist, dass in Zukunft die Synergien zwischen den Institutionen zur thermischen Versorgung genutzt werden.

Abgeleitet vom Energiekonzept ergeben sich Projektpflichten, welche es in Zukunft bei Bauvorhaben im Hochschulquartier zu beachten gilt.

Weiteres Vorgehen

Vertiefte Prüfungen der Machbarkeiten:

- Machbarkeitsstudie Seewassernutzung für den Masterplanperimeter
- Vertiefte Prüfung zur Machbarkeit der Erdsonden im Masterplanperimeter
- Koordination mit der Energieplanung der Stadt Zürich sowie der Fernwärme
- Definition der Gebäudestandards in Gestaltungsplänen
- Ausarbeitung einer Versorgungsstrategie mit dem EWZ betreffend der zukünftigen Elektroversorgung

Konzeptentscheid:

- Ausarbeitung des Energiekonzepts für den Masterplanperimeter
- Definition der dazu erforderlichen Projekte (institutionsübergreifend)
- Definition der erforderlichen Vereinbarungen zwischen den Institutionen

Projektpflichten und Wettbewerbe

- Definition der zulässigen Endenergieträger pro Baufeld
- Vorgaben bezüglich Effizienz bei der Wärmeerzeugung
- Vorgaben zum Energiekonzept als Bestandteil des Wettbewerbs

2. Ausgangslage und Zielsetzungen

2.1. Einleitung

Im Herzen der Stadt Zürich befindet sich das Hochschulgebiet mit dem Wissens- und Gesundheitscluster der Universität, der ETH und des Universitätsspitals. Die Infrastruktur im Hochschulgebiet hat ihre Kapazitätsgrenze erreicht. Zahlreiche ältere Gebäude erfüllen die Anforderungen des modernen Spital-, Forschungs- und Lehrbetriebs nicht mehr. Mit einer sorgfältigen Gebietsplanung werden die Grundlagen gelegt für die bauliche und räumliche Weiterentwicklung der drei Institutionen und des gesamten Hochschulgebiets. Dazu wurde ein *'Masterplan Hochschulgebiet Zentrum, Zukunft des Hochschulstandortes Zürich'*¹ ausgearbeitet und zusammen mit einzelnen Vertiefungsstudien dem Regierungsrat des Kantons Zürich vorgelegt.

Anlässlich der Sitzung vom 20. August 2014 hat der Regierungsrat des Kantons Zürich (Regierungsratsbeschluss 862: Hochschulgebiet Zürich Zentrum - Vertiefungsstudien) dem Synthesebericht 'Hochschulgebiet Zürich Zentrum - Vertiefungsstudien Universität Zürich und Universitäre Medizin: USZ/UZH/ETH'² zugestimmt und diesen verabschiedet. Dabei wurde auch festgehalten, dass neben den vorliegenden städtebaulichen Vertiefungsstudien unter anderem eine Vertiefung für die Energieversorgung als Teilprojekt initiiert werden soll.

Die Ergebnisse der Studie sind wichtige Grundlagen für die nachfolgenden Umsetzungsschritte der Institutionen. Sie dienen der Ausarbeitung von Gestaltungsplänen, Umweltverträglichkeitsberichten, als Vorgaben für die anstehenden Wettbewerbe im Hochschulgebiet und zur Definition für die weiteren benötigten Schritte unter Berücksichtigung der im Masterplan festgehaltenen Grundsätze. Dabei soll die Versorgung mit einer effizienten Nutzung von Wärme, Kälte und Elektrizität in Anlehnung an die Energiegesetzgebung des Bundes, des Kantons und der Stadt Zürich weiterentwickelt werden. Die strategischen Grundsätze wurden eng zusammen mit der Projektleitung und der Arbeitsgruppe, bestehend aus Vertretern der Institutionen, des Kantons, der Stadt Zürich sowie den städtischen Werken, erarbeitet.

2.2. Zielsetzungen

Ziel der Vertiefungsstudie ist es, mögliche Versorgungsstrategien aufzuzeigen, mit denen der im Masterplan zum Thema Energie erarbeitete Handlungssatz umgesetzt werden kann. Die Resultate dienen als Grundlage für den Bericht zu den Auswirkungen auf Umwelt, Verkehr, Energie und Freiraum³ sowie als Voraussetzung zur Erarbeitung von Gestaltungsplänen inkl. Umweltverträglichkeitsbericht (UVB). Weiter werden aus der Vertiefungsstudie die Projektpflichten für die Wettbewerbe abgeleitet.

¹ Kanton Zürich, *Masterplan Hochschulgebiet Zentrum, Zukunft des Hochschulstandortes Zürich*, 9.05.2014

² Kanton Zürich, *Synthesebericht Hochschulgebiet Zürich Zentrum - Vertiefungsstudien Universität Zürich und Universitäre Medizin: USZ/UZH/ETH*, 21.07.2014

³ Basler & Hofmann, *Bericht zu den Auswirkungen auf Umwelt, Verkehr, Energie und Freiraum*, 15.03.2015

Es muss eine Energiestrategie umgesetzt werden, welche durch die Verwendung von standardisierten, einfachen und erprobten Technologien eine unterbrechfreie Versorgung gewährleistet. Die bestehenden Anlagen müssen dabei unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten auf eine mögliche Weiterverwendung bzw. Instandsetzung geprüft werden. Weiter ist darauf zu achten, dass der Technisierungsgrad tief gehalten wird, damit die Betriebssicherheit mit tiefen Unterhaltskosten gewährleistet werden kann. Durch eine hohe Flexibilität des Versorgungssystems muss gewährleistet werden, dass kompatible Anschlussbedingungen geschaffen werden, insbesondere auch für neue Anforderungen und den etappierten Erweiterungen.

Vom energetischen Standpunkt her müssen übergeordnete Anforderungen von Bund, Kanton und Stadt Zürich eingehalten werden. Diese schreiben, neben den Grundanforderungen an die Gebäudehülle, auch einen zulässigen Höchstanteil an die eingesetzten nicht erneuerbaren Energieträger vor.

Untenstehend sind die Textausschnitte aus dem Masterplan, in welchen die Ziele bezüglich der Energieversorgung formuliert wurden, ersichtlich.

- Zusammenfassung :

Verkehrliche Verbesserung und
gemeinsame Energieplanung

Bei der Infrastruktur des Hochschulgebiets werden verkehrliche und energiebezogene Optimierungen vorgenommen. Fussgänger und Velofahrer profitieren von neuen Wegeverbindungen sowie von der Aufwertung bestehender Achsen. Das Angebot des öffentlichen Verkehrs wird optimiert und durch punktuelle Massnahmen ausgebaut. Durch die Neubauten besteht im Hochschulgebiet die Chance für eine gemeinsame Optimierung der Energie-Versorgung der drei Nutzerinstitutionen ETH, UZH und USZ und – unter Berücksichtigung der kommunalen Energieplanung - die sukzessive Annäherung an das 2000-Watt-Konzept.

- Kapitel 3 Leitsätze zur Entwicklung des Hochschulgebiets Zentrum, S. 15:

7. Die Entwicklung des Hochschulgebiets erfolgt nachhaltig

Mit dem Masterplan 2014 wird eine nachhaltige Entwicklung des Hochschulgebiets angestrebt. Die Umsetzung zielt darauf, mit dem haushälterischen Verbrauch von Ressourcen möglichst lange die Bedürfnisse von heutigen und künftigen Nutzern aus der Bevölkerung und der Wirtschaft zu decken. Der Masterplan fördert eine effiziente und klimaschonende Energienutzung, begünstigt nachhaltige Formen der Mobilität, schafft die Voraussetzungen für die Rückgewinnung von heute fremdgenutztem Wohnraum und stellt durch diskursiv angelegte Verfahren zur Umsetzung den Einbezug der relevanten Akteure sicher.

- Kapitel 4.4 Energie:

Städtische Energiepolitik und
2000-Watt-Konzept

In Übereinstimmung mit der Energie- und Klimaschutzgesetzgebung des Bundes und des Kantons Zürich strebt die städtische Energiepolitik eine ausreichende, sichere, wirtschaftliche und umweltschonende Energieversorgung an. Die einseitige Abhängigkeit von einzelnen Energieträgern soll vermieden oder vermindert werden, Energieeffizienz und die Nutzung von erneuerbaren Energien und Abwärme sollen gefördert sowie die Treibhausgas-Emissionen reduziert werden.

Die Stimmberechtigten der Stadt Zürich haben entschieden, dass die langfristige Energieversorgung der Stadt mit dem 2000-Watt Konzept kompatibel sein soll. Szenarien für die entsprechende Transformation der Wärmeversorgung sind im Konzept Energieversorgung 2050 der Stadt Zürich aufgezeigt.

Handlungsansätze

Die Versorgung mit und die effiziente Nutzung von Wärme, Kälte und Elektrizität im Hochschulgebiet wird in Anlehnung an die Energiegesetzgebung des Bundes, des Kantons und die Energiepolitik des Kantons Zürich und der Stadt Zürich weiterentwickelt.

2000-Watt Kompatibilität herstellen	Die Entwicklung des Hochschulgebiets Zentrum soll langfristig mit den Zielen der Energiepolitik des Kantons Zürich und dem 2000-Watt Konzept der Stadt Zürich kompatibel sein.
Energieeffizienz erhöhen	Um die langfristigen Energieziele von Bund, Kanton und Stadt einzuhalten, bedarf es bei der Nutzung von Wärme, Kälte und Strom einer Erhöhung der Energieeffizienz, d.h. eine Minimierung des spezifischen Primärenergieeinsatzes. Dabei spielen Gebäudesanierungen, Ersatzneubauten und der Einsatz effizienter Energiesysteme eine zentrale Rolle.
Erneuerbare Energien einsetzen	Die Energieversorgung muss langfristig möglichst weitgehend mit erneuerbaren Energien oder durch den Einsatz anderweitig nicht nutzbarer Abwärme erfolgen. Insbesondere die Bedarfsdeckung von Wärme, Kälte und Strom wird im Hochschulgebiet in Zukunft weitgehend mit erneuerbaren Energien bzw. anderweitig nicht nutzbarer Abwärme sichergestellt. Der Produktion erneuerbarer Elektrizität ist bei der Ausgestaltung der möglichen Neubauvolumen Rechnung zu tragen.
Vorgaben und Versorgungsplanung gemeinsam erarbeiten	Durch die Grösse des Hochschulgebiets, die verschiedenartigen Nutzungen sowie die Eigentumsverhältnisse bestehen im Hochschulgebiet grosse Synergien und Optimierungsmöglichkeiten in Bezug auf die Energieversorgung. Um die Strategie der zukünftigen Versorgung des Hochschulgebiets mit Wärme, Kälte und Elektrizität zu erarbeiten, ist eine Arbeitsgruppe «Energieversorgung Hochschulgebiet Zentrum» mit den beteiligten Parteien UZH, USZ, ETH, Entsorgung + Recycling Zürich, Elektrizitätswerk der Stadt Zürich, Kanton und der Stadt zu bilden. Im Rahmen dieses Prozesses wird ein Konzept für eine energetisch und wirtschaftlich langfristig optimierte Versorgung des Hochschulgebiets unter den geltenden energiepolitischen Rahmenbedingungen und unter Berücksichtigung der gesamten Auswirkungen auf das Hochschulgebiet und die Fernwärmeversorgung Zürich erarbeitet.

Im Masterplan wird stark auf die städtischen 2000-Watt-Ziele verwiesen, wobei im Konzept zur Energieversorgung 2050 der Stadt Zürich⁴ der Transformationspfad für eine 2000-Watt-kompatible Versorgung beschrieben ist. Für das Hochschulquartier ist dabei vorgesehen, dass ein Grossteil der Energieversorgung, ca. 3/4 des Bedarfs im Gebiet, auch in Zukunft von der Fernwärme versorgt wird.

⁴ TEP Energy, Martin Jakob, *Kurzbericht Konzept Energieversorgung 2050 - Szenarien für eine 2kWG kompatible Wärmeversorgung für die Stadt Zürich*, 9.07.2014

2.3. Auftrag

Mit dem vom Regierungsrat verabschiedeten Masterplan für die Entwicklung des Hochschulgebiets im Zentrum Zürichs sowie den angestrebten Zielen aus den Vertiefungsstudien, bietet sich die Chance für eine gemeinsame, arealübergreifende Optimierung der bestehenden Energieversorgung unter Berücksichtigung der kommunalen Energieplanung. Das Gebiet bezieht heute seine Energie für Heizung- und Warmwasser primär aus dem Fernwärmenetz der Entsorgung + Recycling Zürich. Zudem existiert ein Verbund mit der Wärmepumpe an der Walche. Der Strom stammt vom Elektrizitätsnetz. Diese Versorgung soll möglichst auch in die zukünftige Betrachtung mit einfließen bzw. auf deren optimale Verwendung hin überprüft werden.

Die kommunale Energiepolitik strebt in Übereinstimmung mit Kanton und Bund eine ausreichende, sichere, wirtschaftliche und möglichst emissionsfreie Energieversorgung an. Dabei sollen die vorhandene Abwärme sowie erneuerbare Energieträger genutzt werden.

Durch die Grösse des Hochschulgebiets, die verschiedenartigen Nutzungen sowie die übersichtlichen Eigentumsverhältnissen bestehen grosse Synergie- und Optimierungsmöglichkeiten im Bezug auf die Energieversorgung. Daher soll nicht einfach isoliert ein Energiekonzept erarbeitet werden sondern auch eine ganzheitliche künftige Versorgungsstrategie des Quartiers, welche ein Vorgehen und einen Zeitplan für die umfangreichen Ersatzprojekte der grosstechnischen Anlagen definiert. Dies unter Berücksichtigung der anstehenden Sanierungen, Ersatzneubauten und Erweiterungsbauten.

Diese Rahmenbedingungen stellen besondere Anforderungen an die Vorgehensweise zur nachhaltigen Energie- und Medienversorgung. Sie wurden in der Erarbeitung berücksichtigt. Die strategische Planung sowie die Konzeption der künftigen Wärmeversorgung sollen möglichst die im Kapitel 2.2 beschriebenen übergeordneten Zielsetzungen erfüllen. Die hohe Komplexität sowie die Vernetzung und Abhängigkeit der verschiedenen Bauten und Anlagen stellen eine grosse Herausforderung an das Energie- und Medienversorgungskonzept dar.

2.4. Systemgrenzen

Räumliche Systemgrenze

Der Perimeter für die Vertiefung der Energieversorgung entspricht dem Perimeter Masterplan 2014 und ist in unten stehender Grafik ausgewiesen. In den Betrachtungsperimeter fallen alle Gebäude der ETH, der UZH und des USZ im Hochschulgebiet Zentrum.



Abbildung 1: Räumliche Systemabgrenzung gemäss Masterplanperimeter

Zeitliche Systemgrenze

Die zeitliche Abgrenzung bezieht sich auf den Masterplan, welcher einen Zeithorizont bis 2030 vorsieht und die dafür benötigten Eckpfeiler definiert. Im Richtplan sind jedoch auch Vorhaben aufgeführt, welche erst bis 2035 realisiert werden.

Gemäss Masterplan sind Aussagen zur Entwicklung im Perimeter, welche über diesen Zeitraum hinaus gehen, nicht möglich. Für die zukünftige Energieversorgung ist es jedoch wichtig, dass ein weiterer Betrachtungszeitraum mit einbezogen wird, damit die Versorgungsstrategie auch diese Bedürfnisse berücksichtigen kann. Aus diesem Grund wurden die Bedarfsbilanzierungen und Zielformulierungen bis ins Jahr 2050 vorgenommen, auch wenn diese Aussagen mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind.

Etappierungen

Die räumliche und zeitliche Abgrenzung der einzelnen Vorhaben ist im Umsetzungsprogramm des Masterplans formuliert und in der Richtplanvorlage⁵ definiert worden. Die Etappierungsschritte sind im unten aufgeführten Syntheseplan zusammengefasst und diesen ist mit der Versorgungsstrategie Rechnung zu tragen.

⁵ Kanton Zürich, *Kantonaler Richtplan, Kapitel 6, Öffentliche Bauten und Anlagen, Gebietsplanung Hochschulgebiet Zürich-Zentrum, Vorlage 5180 vom 8. April 2015*

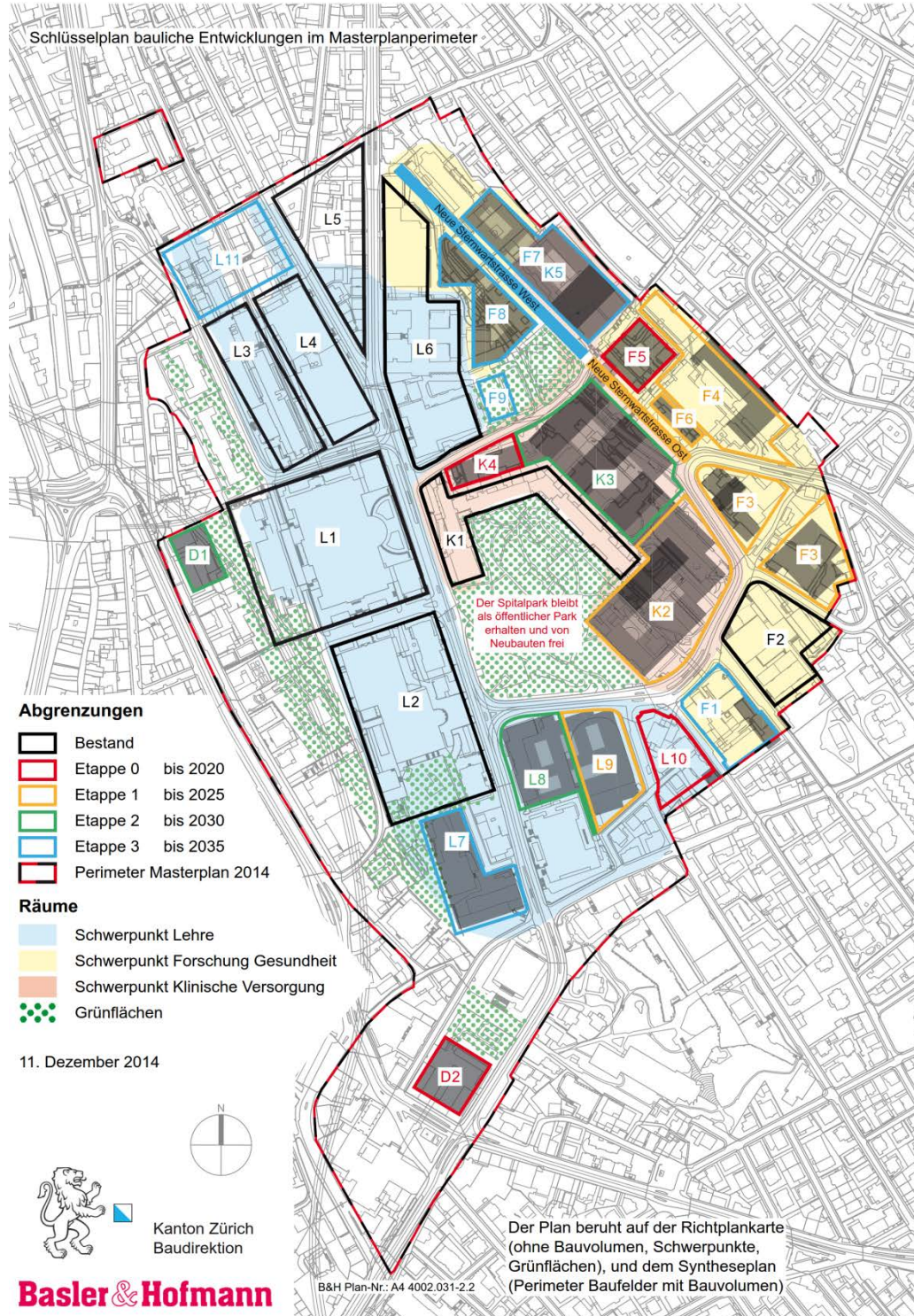


Abbildung 2: Synthesepan mit den entsprechenden Etappierungen

2.5. Methodik und Vorgehensbeschreibung

Im Folgenden ist die Methodik zur Erarbeitung der Versorgungsstrategien beschrieben.

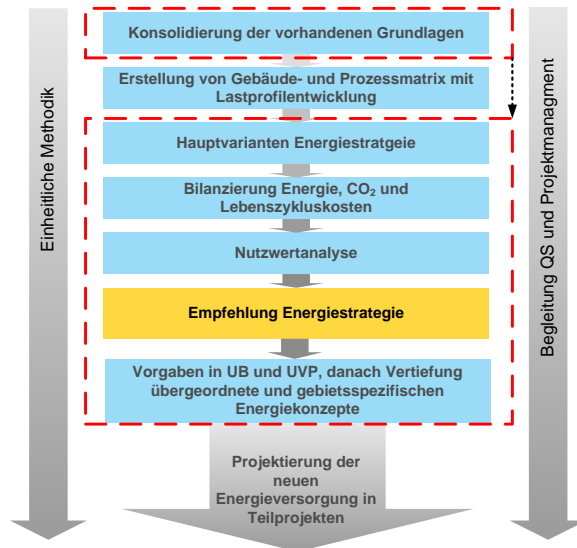


Abbildung 3: Methodik zur Bearbeitung der Aufgabenstellung. Die Leistungen innerhalb der roten Umrandungen wurden im Rahmen des Projekts ausgeführt. Die Bedarfsermittlungen wurden in einem separaten Projekt durchgeführt.

Die vorhandenen Daten und Dokumente wurden in einem ersten Schritt zusammengetragen und konsolidiert. Insbesondere wurden dabei folgende Punkte auf Basis von bereits sehr guten vorliegenden Studien abgeklärt:

- Prozess- und Nutzungsmatrix (Wärme, Kälte, Elektro) mit entsprechenden Temperaturniveaus
- Energieflussdiagramm
- bestehende Versorgung
- nutzbare Abwärmequellen und Synergien zwischen den Institutionen
- nutzbare Umweltwärme und mögliche Einbindung einer Seewasserleitung
- Potenzial erneuerbarer Energien im Perimeter
- zukünftige Entwicklung der Fernwärme mit dem ERZ
- Potenziale zur Vernetzung

Bei der Prozess- und Nutzungsmatrix kann auf sehr gute Grundlagen zurückgegriffen werden, welche in einem anderen Projekt zusammengetragen wurden. Dabei wurde auch die Bedarfsentwicklung bis ins Jahr 2035 zusammen mit den Institutionen ermittelt.

Auf Basis der Grundlagenermittlung wurden Versorgungsstrategien ausformuliert und auf den zuvor definierten Entwicklungspfad (künftiger Energiebedarf) ausgelegt. Als Produkt resultieren Versorgungsstrategien auf Basis verschiedener Primärenergieträger für Wärme, Kälte und Elektrizität. Dieser Prozess erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der Projektleitung seitens Auftraggeber sowie der Arbeitsgruppe für das Vertiefungsthema bestehend aus Vertretern der Institutionen sowie dem Kanton, der Stadt und den städtischen Werken.

Die Strategien zeigen den möglichen Handlungsspielraum und Rahmenbedingungen auf für die künftige Energieversorgung.

Zu den Strategien wurden entsprechende Konzeptvarianten zur Bilanzierung und Vergleichbarkeit vertieft. Dabei wurden unter anderen folgenden Parameter bilanziert:

- Nutz-, End- und Primärenergie
- Treibhausgasemissionen
- Wirtschaftlichkeit gemäss Lebenszykluskostenbetrachtung und Sensitivität

Die Resultate der Bilanzierung dienen als Grundlage für die Nutzwertanalyse, welche mit den zuvor definierten Bewertungskriterien durchgeführt wurde.

3. IST-Analyse

3.1. Grundlagen

Für den Masterplanperimeter sind aus vergangenen Arbeiten detaillierte Grundlagen vorhanden, welche für die Projekterarbeitung beigezogen wurden.

Tabelle 1: Allgemeine Unterlagen für das gesamte Hochschulgebiet

Titel	Autor	Firma	Datum	Auftraggeber
Allgemeine Unterlagen für das Gesamte Hochschulgebiet				
Strategische Entwicklungsplanung «Universitätsspital und Universität Zürich»		Steuerungsausschuss und Projektteam	26.08.2011	Regierungsrat des Kantons Zürich
Gebietsplanung Hochschulgebiet Zürich Zentrum: Grundlagen für die Energieversorgung	Toni Sres	Eicher+Pauli	28.11.2012	Baudirektion Kanton Zürich Amt für Raumplanung Felix Blindenbacher
Synthesebericht Hochschulgebiet Zürich Zentrum - Vertiefungsstudien Universität Zürich und Universitäre Medizin: USZ / UZH / ETH		Ernst Basler + Partner AG, Planpartner	21.07.2014	Projektorganisation Strategische Entwicklungsplanung USZ UZH ETH (SEP), Bildungsdirektion Kanton Zürich, Baudirektion Kanton Zürich
Syntheseplan 1:2500		Ernst Basler + Partner AG, Planpartner	21.07.2014	
Hochschulgebiet: Einteilung in Schwerpunktbereiche 14.01.2.021 MP Hochschulgebiet, VS Mobilität		ewp	13.11.2014	
Hochschulgebiet Zürich Zentrum - Vertiefungsstudien Universität Zürich und Universitäre Medizin: USZ / UZH / ETH Kantonale Gestaltungspläne 1:2'500		Planpartner AG	14.08.2014	
HZZ Vertiefungsstudie Universität Hochschulgebiet Zürich Zentrum Schlussworkshop: 14. Mai 2014		Max Dudler Architekt, Rotzler, Krebs, Partner Landschaftsarchitekten	14.05.2014	
Masterplan Hochschulgebiet Zentrum Zukunft des Hochschulstandortes Zürich		Ernst Basler + Partner	09.05.2014	
Zukunft des Hochschulstandortes Zürich: Entwicklungsplanung Hochschulgebiet Phase 1: Leitbild/Leitsätze			01.09.2002	Baudirektion Kanton Zürich Hochbaudepartement der Stadt Zürich
Zukunft des Hochschulstandortes Zürich: Entwicklungsplanung Hochschulgebiet Phase 2: Masterplan/Richtplan			18.05.2005	Baudirektion Kanton Zürich Hochbaudepartement der Stadt Zürich
Projektphasen Planungs- und baurechtliche Grundlagen Meilensteine 2014 – 2015		Planpartner AG	25.09.2014	

Tabelle 2: Unterlagen des Universitätsspital

Titel	Autor	Firma	Datum	Auftraggeber
USZ				
Strategische Grundsätze «bauliche Gesamterneuerung USZ»	R. Ziegler, D. Knobel, J. Seitz	USZ Spitaldirektion	11.11.2012	
Bauliche Gesamterneuerung USZ Factsheet für TP Energie: mögliche Etappierungen	Daniela Knobel	USZ Spitaldirektion	07.10.2014	
Energiedaten Strom, Wasser und Wärme	Sven Geissler Raphael Wicky Samuel Stroppel	USZ Technischer Dienst	11.11.2014	
Vertiefungsstudie Universitäre Medizin / ETH Pflichtenheft	Christoph Stäheli Susanne Frohn Denise Janes	Planpartner	10.12.2013	Hochbauamt Kanton Zürich
Vertiefungsstudie Universitäre Medizin / ETH		Gigon/Guyer Architekten	28.05.2014	
Energieleitbild UniversitätsSpital Zürich (USZ)			07.10.2013	
Masterplan Energie		ZHAW, Weisskopf Partner GmbH	28.11.2011	Universitätsspital Zürich, Technischer Dienst
USZ Energieversorgung Total (Kreisdiagramm)		ZHAW/Weisskopf Partner GmbH	30.03.2011	
Energieflussdiagramm Universitätsspital Zürich		Weisskopf Partner GmbH	21.01.2010	
Universitätsspital Zürich Dokumentation zum Energieflussdiagramm		Weisskopf Partner GmbH	21.01.2010	
Monatsbericht für USZ Gesamtareal (Verbrauch), Baudirektion Kanton Zürich		Hochbauamt Gebäudetechnik		

Tabelle 3: Unterlagen der Universität Zürich

Titel	Autor	Firma	Datum	Auftraggeber
UZH				
Hochschulgebiet Zürich Zentrum - Vertiefungsstudie Universität Zürich Pflichtenheft		Ernst Basler + Partner	10.12.2013	Kanton Zürich Bildungsdirektion
Hochschulgebiet Vertiefungsstudie – Perimeter Universität Schlussworkshop Präsentation 14. Mai 2014		Max Dudler Architekt, Rotzler, Krebs, Partner Landschaftsarchitekten	14.05.2014	
Vertiefungsstudie Universität Zürich Schlussworkshop 14. Mai 2014		Diener & Diener Vogt Basler & Hofmann Tonelli	14.05.2014	
Hochschulgebiet Zürich Zentrum - Vertiefungsstudie Universität Zürich Schlussworkshop 14.05.2014		Team Bob Gysin + Partner BGP Hager Partner AG	14.05.2014	
Energiekennzahlen der Universität Zürich von 1976 - 2012	Peter Meier	UZH		
Reporting Zielvereinbarung AWEL-UZH, Anhang C: Jahresreporting Jahr 2011			29.05.2012	

Tabelle 4: Unterlagen der ETH Zürich

Titel	Autor	Firma	Datum	Auftraggeber
ETH				
ETH Zürich – Zentrum, Masterplan Energieversorgung, Zwischenbericht Stand April 2010	Christian Bürgin	Amstein + Walthert AG	01.04.2010	

Tabelle 5: Unterlagen der Stadt Zürich

Titel	Autor	Firma	Datum	Auftraggeber
Stadt ZH				
Kurzbericht Konzept Energieversorgung 2050 - Szenarien für eine 2kWG kompatible Wärmeversorgung für die Stadt Zürich	Martin Jakob	TEP Energy	09.07.2014	Stadt Zürich, DIB
Masterplan Energie der Stadt Zürich	Bruno Bébié	Stadt Zürich DIB	01.08.2012	Stadtrat
Jahresbericht 2012, Energiepolitik der Stadt Zürich	Bruno Bébié	Stadt Zürich DIB	04.07.1905	Stadtrat

Tabelle 6: Nachhaltigkeitsvorgaben, Gestaltungs- und kantonaler Richtplan

Titel	Autor	Firma	Datum	Auftraggeber
Gestaltungsplan, Richtplan, Standards				
BD-Standard Nachhaltigkeit im Hochbau		Baudirektion Kanton Zürich	21.03.2013	
Richtplan Öffentliche Bauten und Anlagen Gebietsplanung Hochschulgebiet Zürich-Zentrum		Kanton Zürich	20.08.2014	
Umweltbericht Kanton Zürich Zwischenbericht 2010		Baudirektion des Kantons Zürich		Regierungsrat des Kantons Zürich

3.2. Heutige Energieversorgung

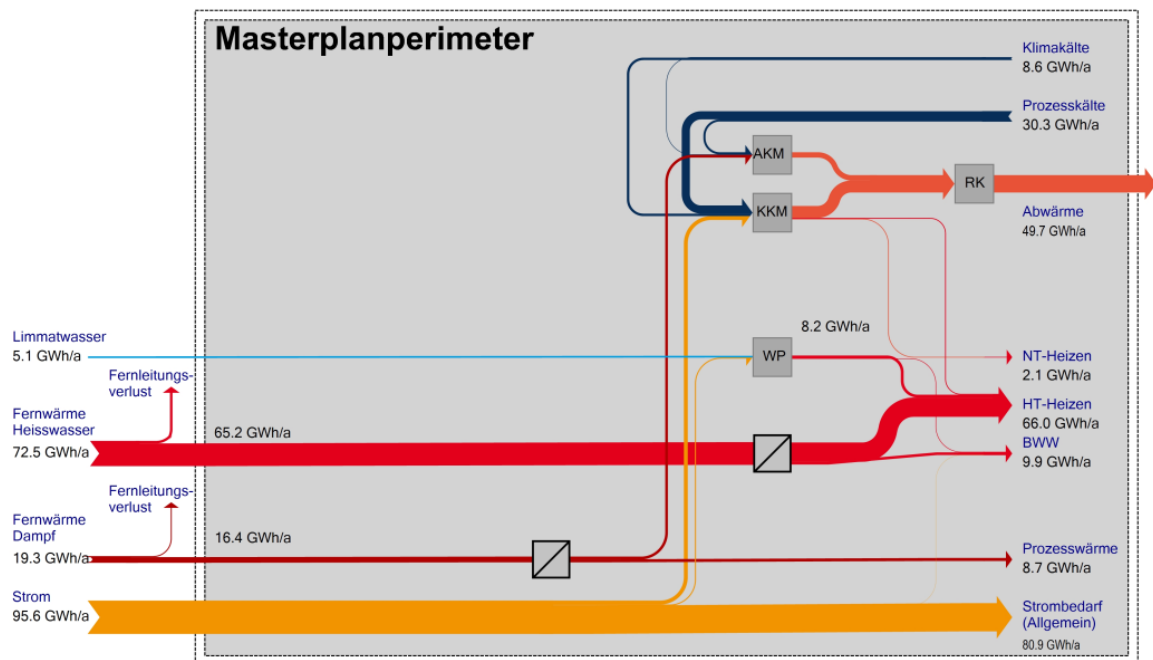


Abbildung 4: Energieflussdiagramm der heutigen Versorgung im Masterplanperimeter

Das Hochschulgebiet bezieht seine Energie für Heizung, Brauchwarmwasser und Prozesswärme primär aus dem Fernwärmenetz der Entsorgung + Recycling Zürich. Es besteht je eine Fernwärmeleitung für Heisswasser und für Dampf vom Kehrlichtheizkraftwerk Hagenholz ins Hochschulgebiet. Daneben existiert noch eine Wärmepumpe der ETH in der Walche (Limmatwasser), welche jedoch zukünftig nicht weiter betrieben wird. Die Kälte wird mit Kompressionskältemaschinen und beim USZ im Sommer zum Teil mit Absorptionskälte aus dem Dampfnetz der Fernwärme bereitgestellt.

Strom wird aus dem Netz bezogen. Die Energieversorgung ist dank dem hohen Anteil der Fernwärme aus der KVA bereits im heutigen Zustand ökologisch. Synergien zwischen den drei Institutionen werden jedoch nur bedingt genutzt. Eine räumliche Übersicht der Energieversorgung für das Hochschulgebiet ist in Abbildung 5 dargestellt:

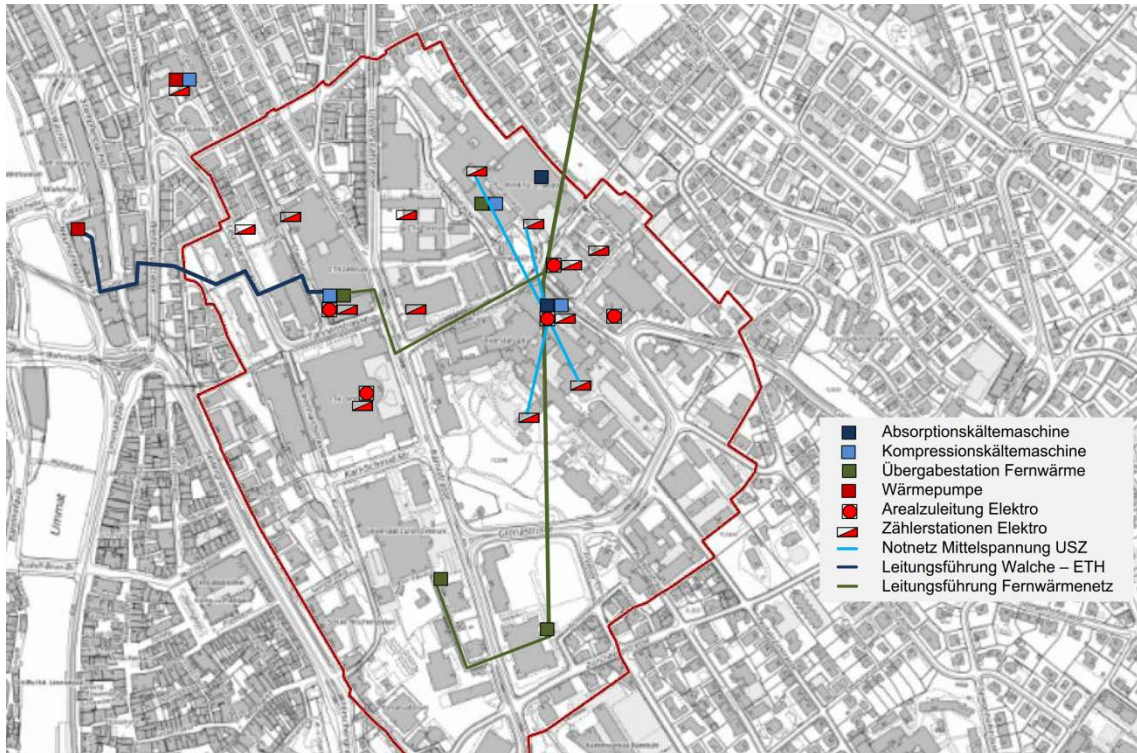


Abbildung 6: Räumliche Übersicht der Energieversorgung im Masterplanperimeter

3.2.1. Erzeuger

Der Masterplanperimeter liegt grösstenteils im Fernwärmeversorgungsgebiet Hochschulquartier.⁶ Die Energie für „Zürich Wärme“ liefern mehrere Produktionsanlagen:

- 2 Kehrlichtheizkraftwerke
- 1 Holzheizkraftwerk
- 1 Wärmepumpe
- 12 kleinere fossile Heizkessel

Zürich Wärme ist ein Mix aus fünf Energieträgern. Wichtigste Energiequelle ist die Abwärme der Kehrlichtheizkraftwerke. Wie das Holz aus dem Kanton Zürich und die Umgebungswärme ist sie CO₂-neutral und trägt wesentlich dazu bei, dass weniger klimaschädliche Treibhausgase entstehen. Im Winterhalbjahr liefern fossile Brennstoffe zusätzliche Energie zur Abdeckung der Spitzenlast. Bei den Heizkraftwerken wird jeweils auch Strom produziert.

Die Fernwärme wird in Form von Heisswasser sowie von Hochdruckdampf bezogen. Die Systemtemperatur des Heisswassernetz beträgt im Sommer 90°C und im Winter 120°C. Im Hochdruckdampfnetz wird die Wärme mit 12 bar verteilt, was einer Temperatur von 192°C entspricht. Die Leitungsverluste von der Erzeugung bis in den Masterplanperimeter werden im Heisswassernetz mit 10% und im Hochdruckdampfnetz mit 15% angenommen.

Neben der Fernwärme besteht im Masterplanperimeter ein Warmwassernetz, welches von der ETH betrieben wird. Als Erzeuger für dieses Netz dient die Wärmepumpe Walche, welche vom Limmatwasser versorgt wird. Zur Netzstützung des Warmwassernetzes ist beim ML-Gebäude auch eine Einbindung der Fernwärme vorhanden. Neben den Liegenschaften

⁶ Entsorgung + Recycling Zürich, *Versorgungsgebiet Zürich Wärme*, 1.01.2015

der ETH im Zentrum versorgt das Netz auch Gebäude von Drittbezüger, welche zum Teil ausserhalb des Masterplanperimeters liegen. Die Wärmepumpe in der Walche ist schon in die Jahre gekommen und soll ersetzt werden. Für die zukünftige Versorgung des Netzes hat die ETH einen Masterplan⁷ ausgearbeitet. Die Einbindung dieses Masterplans in die zukünftige Versorgungsstrategie ist eine Herausforderung.

Über den gesamten Masterplanperimeter setzt sich die Fernwärme inkl. der Wärmepumpe Walche aus den folgenden Energieträgern zusammen:

- 64% Kehrichtverbrennungsanlage
- 20.5% Fossile Energie (Öl/Gas)
- 12% Holz
- 3.5% Wärmepumpe (Limmatwasser)

Aufgrund dieses Primärenergieträgermixes ergeben sich die PE-Faktoren, Erneuerbarkeit sowie die CO₂-Emissionen.

⁷ Amstein + Walthert, Christian Bürgin, *ETH Zürich – Zentrum, Masterplan Energieversorgung, Zwischenbericht*, 1.04.2010

3.2.2. Universitätsspital Zürich

Das Universitätsspital bezieht seine Wärme von der Fernwärme Zürich. Dabei versorgt das Heisswassernetz den Heiz- und Brauchwarmwasserbedarf und das Hochdruckdampfnetz die Prozessenergie sowie die Absorptionskältemaschinen. Für den Kältebedarf stehen zusätzlich auch Kompressionskältemaschinen zur Verfügung. Das Kältenetz wird mit 6/12°C versorgt. Die Prozesswärme wird für die Sterilisation, die Küche sowie zur Dampfbeeuchtung benötigt. Die Elektroversorgung erfolgt über das EWZ Netz durch Mittelspannungszuleitungen. Daneben unterhält das USZ ein Notnetz mit Netzersatzanlagen und einem Mittelspannungsnetz.

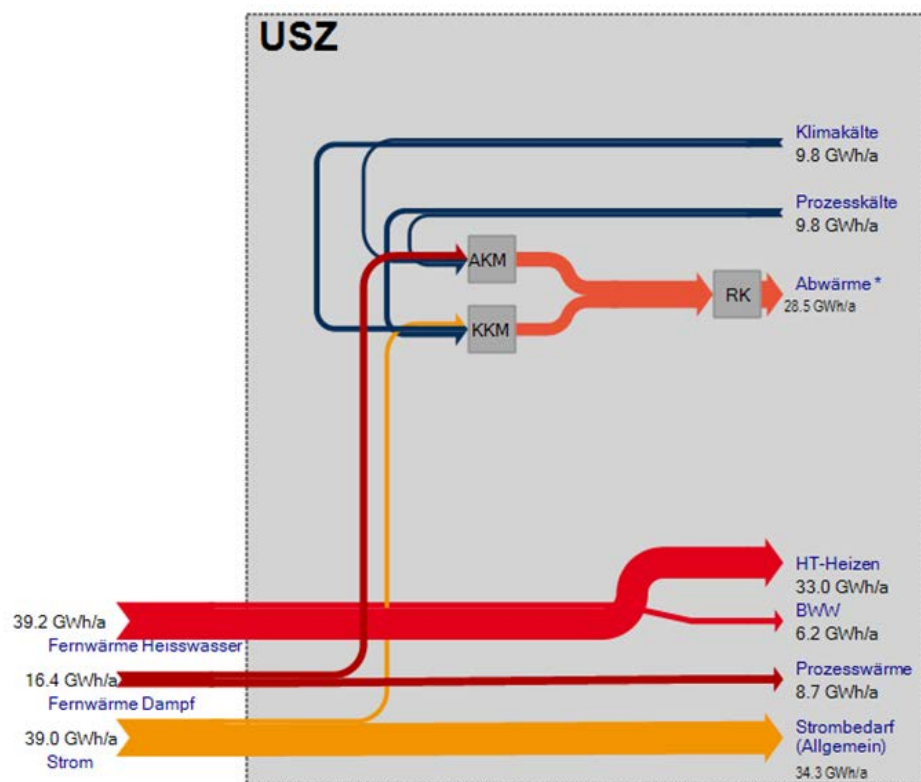


Abbildung 7: Energieflussdiagramm Ist-Zustand (2014) beim USZ

Wärme	Der Wärmebedarf beim UZH wird vollständig über die Fernwärme des ERZ gedeckt. Die Prozesswärme wird vom Hochdruckdampf versorgt.
Kälte	Für die Kälte stehen Absorptionskältemaschinen (Fernwärme) sowie Kompressionskältemaschinen zur Verfügung. Die Abwärme aus dem Kälteprozess wird mehrheitlich über Rückkühler abgeführt. Z.T. besteht bei den Kompressionskältemaschinen eine Wärmerückgewinnung für das Brauchwarmwasser.
Strom	Der Strom wird aus dem Netz bezogen. Für den Netzausfall stehen Netzersatzanlagen und ein Mittelspannungsnetz zur Verfügung.

3.2.3. Universität Zürich

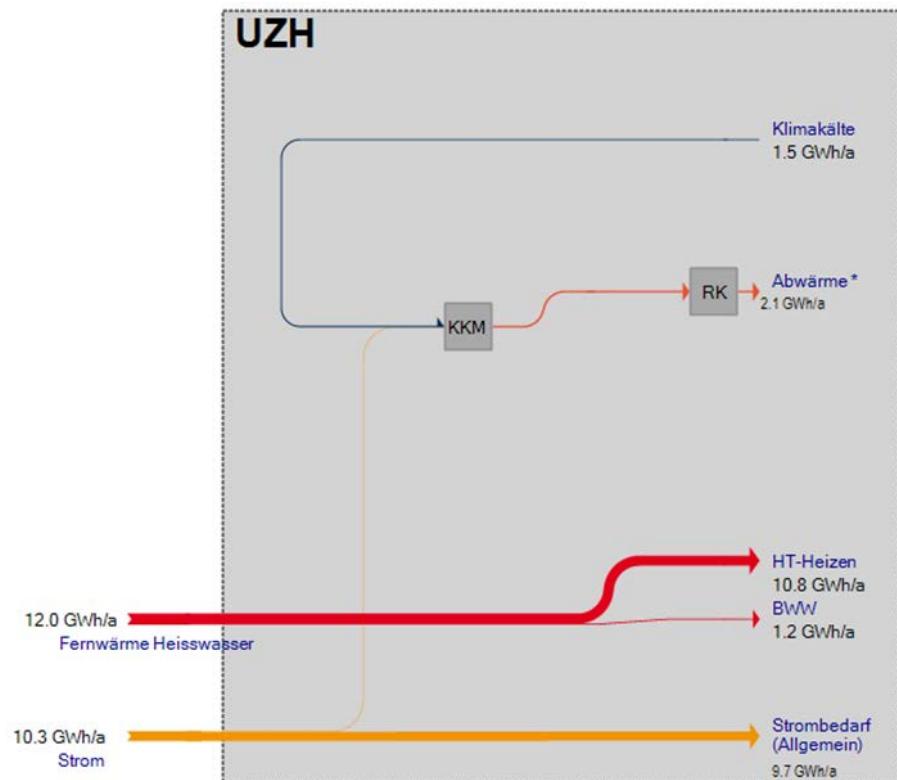


Abbildung 8: Energieflussdiagramm Ist-Zustand (2014) UZH

Die Universität Zürich bezieht ihre Wärme für den Heiz- und Brauchwarmwasserbedarf an verschiedenen Übergabestellen ab dem Heisswassernetz der Fernwärme. Der kleine Anteil an Klimakälte wird dezentral mittels Kältemaschinen erzeugt.

Wärme	Der Wärmebedarf bei der UZH wird vollständig über die Fernwärme (Heisswassernetz) des ERZ gedeckt.
Kälte	Für die Klimakälte bestehen Kompressionskältemaschinen, welche die Abwärme über Rückkühler abführen.
Strom	Der Strom wird aus dem Netz bezogen.

3.2.4. ETH

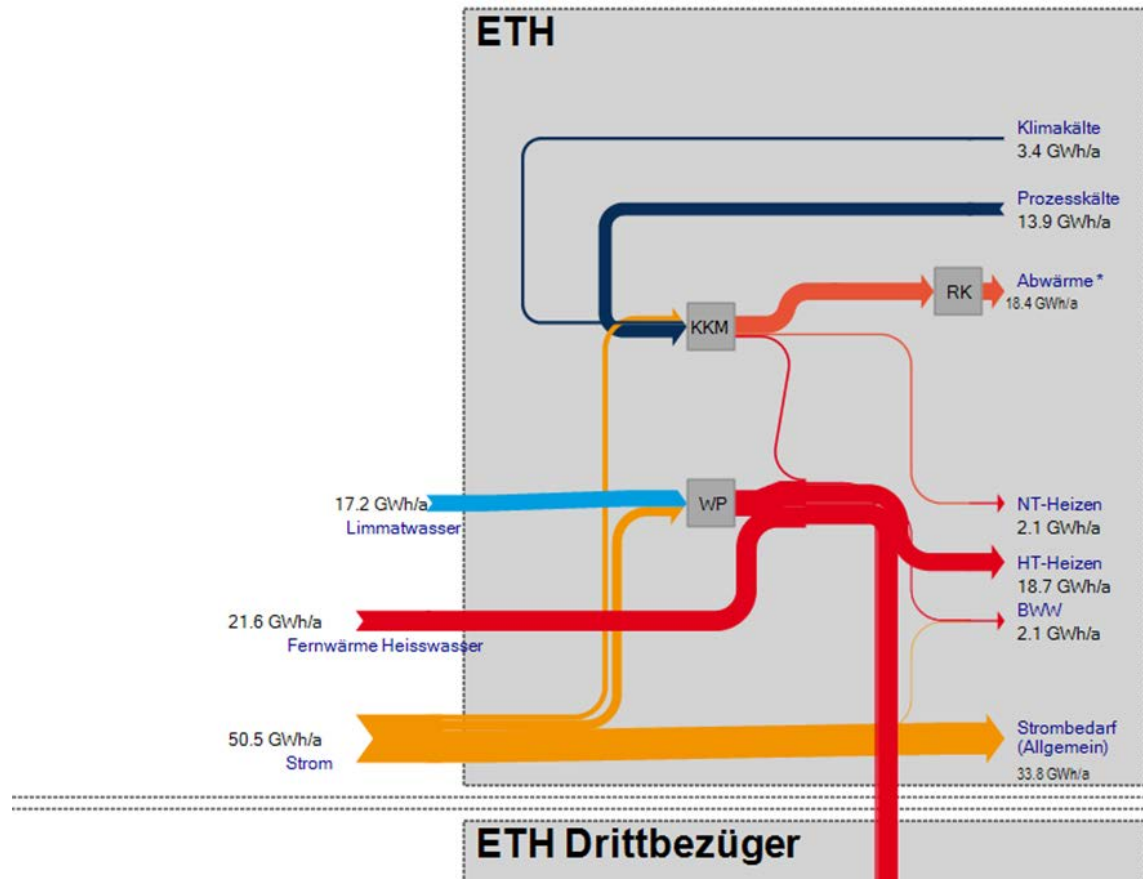


Abbildung 9: Energieflussdiagramm Ist-Zustand (2014) ETH

Die ETH betreibt ihr eigenes Warmwassernetz mit 70°C, welches von der Wärmepumpe in der Walche versorgt wird. Dabei sind noch weitere Bezüger angeschlossen. Zur Stützung der Netztemperaturen ist beim ML-Gebäude ein Anschluss an die Fernwärme eingebunden. Die Prozess- und Klimakälte wird mittels dezentralen Kältemaschinen bereitgestellt, wobei die Abwärme grösstenteils über Rückkühler abgeführt wird, ein gewisser Teil aber auch über Wärmerückgewinnung wieder verwendet wird.

Wärme	Der Wärmebedarf der ETH wird über die Fernwärme des ERZ und die Wärmepumpe Walche gedeckt. Die ETH-Drittbetruäger werden mitversorgt.
Kälte	Prozess- und Klimakälte werden über Kompressionskältemaschinen bereitgestellt.
Strom	Der Strom wird aus dem Netz bezogen.

3.2.5. ETH-Drittbezüger

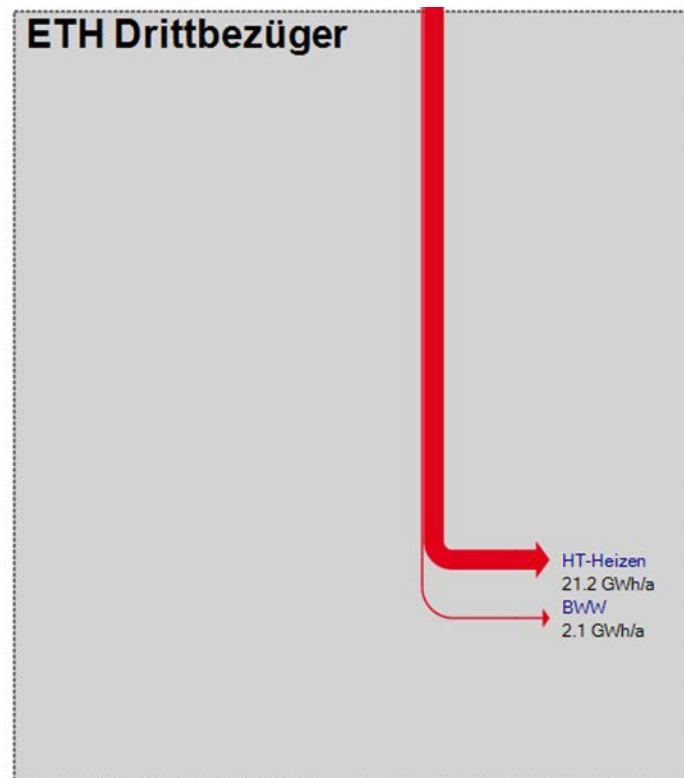


Abbildung 10: Energieflussdiagramm Ist-Zustand (2014) ETH-Drittbezüger

Bei den ETH-Drittbezügern handelt es sich um Büro- und Wohnnutzungen, welche vom Warmwassernetz der ETH versorgt werden. Diese liegen zum Teil auch ausserhalb des Masterplanperimeters.

Wärme	Der Wärmebedarf bei ETH-Drittbezügern wird über die ETH gedeckt.
Kälte	Wird bei Bedarf unabhängig von der ETH bezogen.
Strom	Wird unabhängig von der ETH bezogen.

4. Entwicklung Energiebedarf

Die Berechnungen zu Energiebedarfsentwicklungen gemäss den Etappierungen aus dem Masterplan wurden in einem anderen Projekt zusammen mit den Institutionen (UZH, USZ und ETH) in Workshops ermittelt.

4.1. Annahmen zur Bedarfsentwicklung

Flächenentwicklung (Grundlage Syntheseplan)

- HNF/GF = 0.5 (nur wenn GF explizit bekannt)
- EBF/GF = 0.9
- Flächenentwicklung USZ: HNF-Flächenentwicklung gemäss USZ 2014-2041
- Flächenentwicklung ETH: Entwicklungspfad gemäss Bericht Masterplan ETH Phase 1 (A+W)

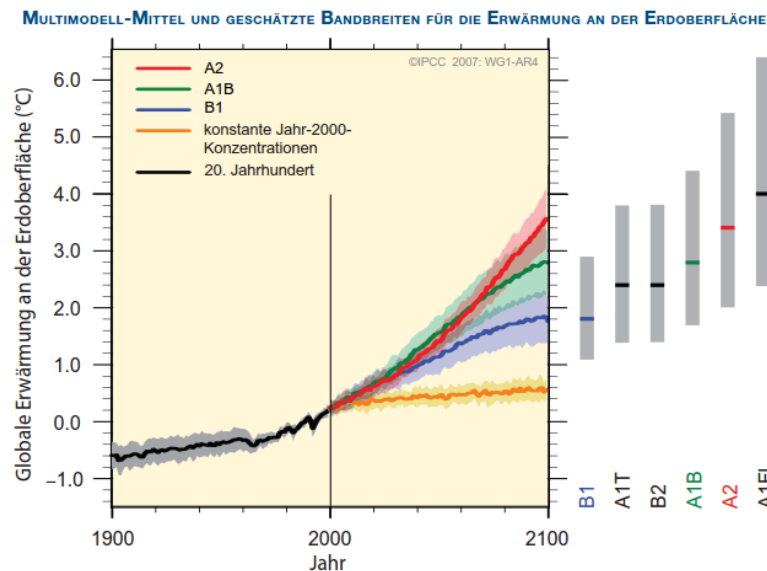
Wärme

- Heizbedarf/(Heizbedarf+BWW) = 0.9 (Weitere), 0.9 (UZH). Vergleich: USZ: 0.841, ETH: 0.901
- JAZ WP Niedertemperatur bis 2030: 4.5 / ab 2035: 6.0
- JAZ WP Hochtemperatur/BWW: 3.6
- Zukünftiger Bedarf Heizen + BWW:
 - o Annahme: nur Bauten, welche nicht durch Ersatz-Neubauten abgelöst werden, werden saniert. Andere behalten Verbrauch bis zum Abriss bei.
 - o Im Modell erfolgt die Sanierung in der letzten Etappe (2030→2035)
- Zukünftiger Bedarf Prozesswärme:
 - o Spezifische Werte bleiben gleich. Bedarf wird auf neue Fläche hochgerechnet

	Neubau	Bestand sa- niert 2035	Bestand sa- niert 2050		
	Heizen Mi- nergie	Heizen SIA 380/1 + 25%	Heizen SIA 380/1	BWW 380/1	
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	
Verwaltung/Büro	33.2	46.1	36.9	6.9	Weitere, ETH, UZH
Spitäler	36.0	50.0	40.0	27.8	USZ

Kälte

- Klimakälte/Kälte total = 0.2 (USZ). Vergleich: ETH: 0.198
- Aufteilung Klima/Prozesskälte auf KMM und AKM beim USZ proportional zu Kältemenge KKM/AKM
- JAZ Kompressor-Kältemaschine (KKM) heute: 2.5 (Messwert USZ).
- JAZ KKM 2015: 2.5 / 2020-2030: 4.5 / 2035: 6.0 / 2050: 10.0
- JAZ Absorptions-Kältemaschine (AKM) heute: 1.0 (Annahme Weisskopf + Partner)
- JAZ Absorptions-Kältemaschine (AKM) 2030: 1.0
- Zukünftiger Bedarf Kälte:
 - o Bedarfssteigerung bedingt durch Klimaerwärmung:



- 1 Kelvin 2000->2050 (IPCC 2007)
- Kühlgrenze 23°C
- Soll-Raumtemperatur 20°C
- o Zunahme der Kühlgradstunden
 - 34% Zuwachs über 35 Jahre

Jahr	2000	2015	2020	2025	2030	2035	2050
Kühlgradstunden	1777.7	2038.1	2129.7	2229	2333.2	2418.4	2727.6
Zuwachs gegenüber 2015	-13%	0%	4%	9%	14%	19%	34%

- o Bedarf wird auf neue Fläche hochgerechnet

Elektrobedarf

Zukünftiger Bedarf Elektro:

- Steigerung Elektro-Bedarf allgemein pro Jahr: 0.5%. Bedarf wird auf neue Fläche hochgerechnet.
 - Annahmen:
 - Spital: weniger Flächen für Bettzimmer, dafür mehr hochinstallierte Flächen
 - Allgemeine Zunahme elektrischer Geräte mit höherer Leistung
 - Allgemeine Zunahme an IT und zusätzliche RZ

Weitere Überlegungen

- HT-Wärme (HT-Heizen, BWW, Prozesswärme):
 - nicht mit WP / KKM erzeugen (COP NH₃ (10->68°C) = 3.6)
→ nicht zulässig in Fernwärmegebiet (COP mind. 4.5 für Anlagen > 100 kW)
 - wenn Strom zukünftig (ab 2033) stärker CO₂-belastet -> Gas direkt für HT-Wärmeerzeugung einsetzen
 - bei NT-Heizen Gebäude: BWW dezentralisieren, 2-stufig (keine Bivalenz, da BWW-Mengen in Bürobauten gering -> leitungsgebundene Energieträger nicht rentabel)

4.2. Nutzenergiebedarf

Im Vergleich zum IST-Zustand wird der Kältebedarf zunehmen, u.a. durch die höhere Installationsdichte von Geräten, die Klimaerwärmung und die verbesserte Gebäudehülle. Auch der Elektrobedarf wird durch die höhere Installationsdichte steigen, trotz den laufenden Verbesserungen in der Geräteeffizienz, zusätzlich zur steigenden Energiebezugsfläche. Durch den Flächenzuwachs nimmt der Wärmebedarf des gesamten Gebiets vorerst zu und wird erst mit der Betrachtung der Sanierungen ab 2030 wieder abnehmen.

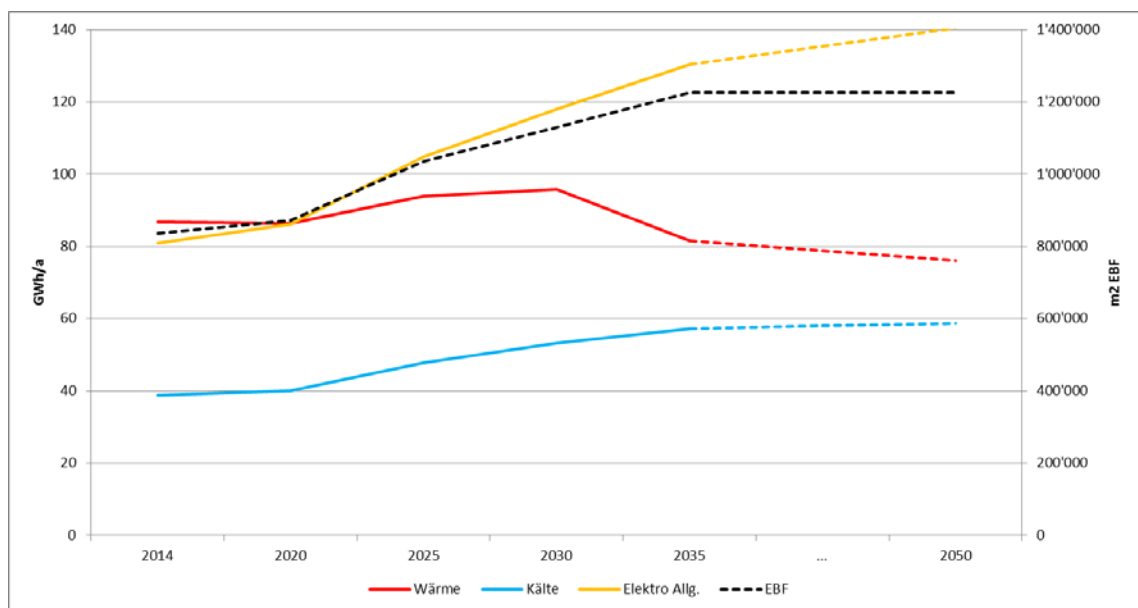


Abbildung 11: Prognostizierte Entwicklung des Nutzenergiebedarfs im Masterplanperimeter

Entwicklung Nutzenergie Wärme

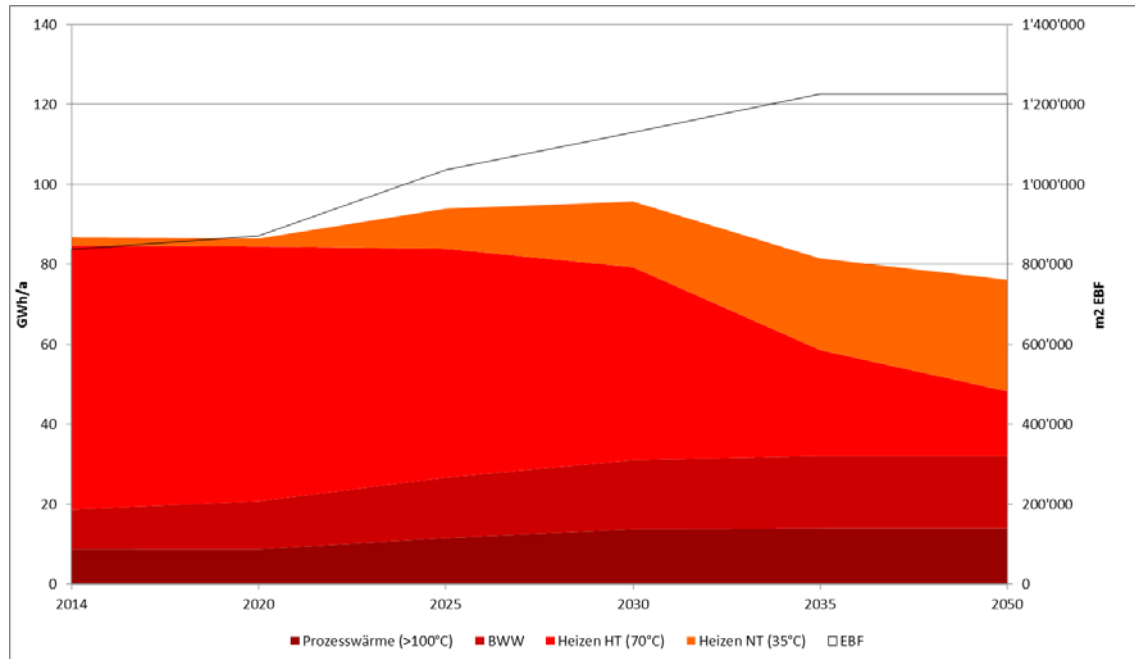


Abbildung 12: Entwicklungspfad Nutzenergie Wärme

Für die Entwicklung des zukünftigen Wärmebedarfs wird davon ausgegangen, dass auch die Prozesswärme (>100°C) für die Sterilisation, die Küche sowie die Dampfzufuhr beim USZ weiterhin benötigt wird. Dieser Anteil steigt mit dem Flächenbedarf des USZ. Der Brauchwarmwasserbedarf nimmt ebenfalls mit der Fläche zu.

Aufgrund der vielen denkmalgeschützten Bauten im Masterplanperimeter wird auch in Zukunft Hochtemperatur-Wärme für die Beheizung der Gebäude benötigt werden, da diese Gebäude nicht auf Flächenheizungen umgerüstet werden können. Neubauten genauso wie die restlichen zu sanierenden Gebäude müssen zwingend auf Niedertemperatursystem (NT) umgerüstet werden. Somit steigt dort der Bedarf von NT-Wärme. Es wird jedoch teilweise das HT-Heizen durch den Umbau durch NT-Heizen ersetzt, wodurch das benötigte Energieniveau gesenkt wird.

Der gesamte Wärmebedarf der Nutzenergie sinkt ab den Sanierungen, welche ab Zeithorizont 2030 einbezogen werden. Wohingegen die Energiebezugsfläche durch den Neubau von Gebäuden stetig ansteigt.

Entwicklung Nutzenergie Kälte

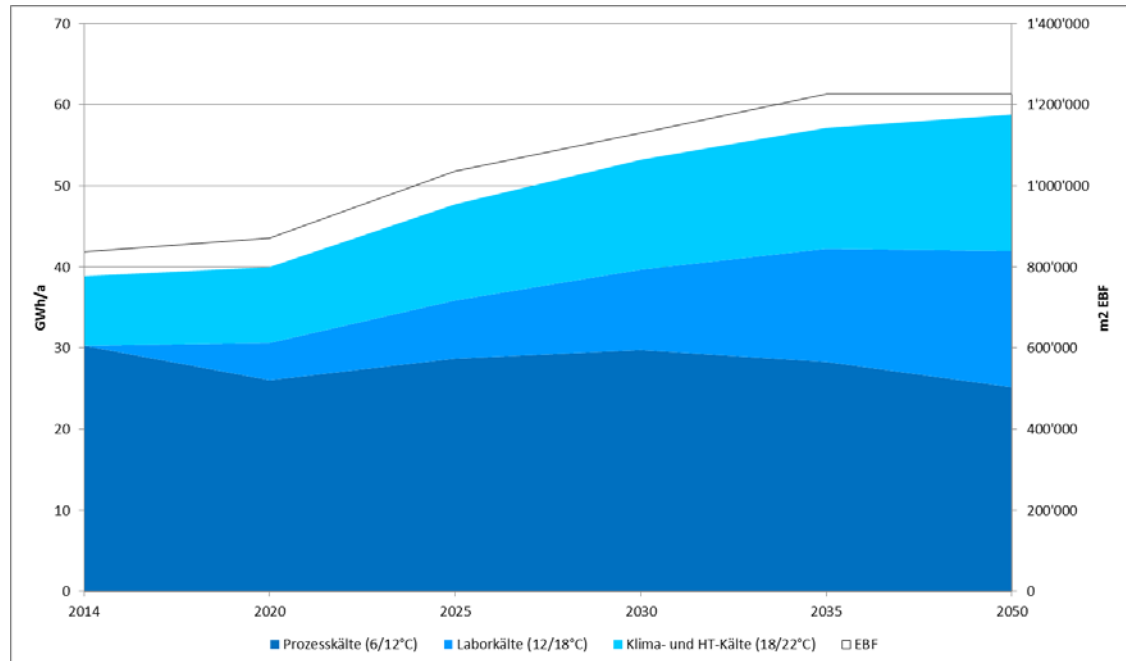


Abbildung 13: Entwicklungspfad Nutzenergie Kälte

Der Kältebedarf nimmt wie oben beschrieben stetig zu (siehe Annahmen).

Angestrebt wird dabei jedoch ein möglichst hoher Freecooling-Anteil bei der Kälteerzeugung. Um dies zu erreichen, muss der Bedarf an Niedertemperaturkälte (Prozesskälte) reduziert werden und dafür vermehrt Laborkälte mit einem Temperaturniveau von 12/18°C zur Kühlung ausreichen. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass die Kältenutzenergie proportional zur EBF ansteigt.

Entwicklung der Jahresbilanz

In Abbildung 14 ist nochmals die jeweilige Jahresbilanz des Wärme- und Kältebedarfs für den gesamten Masterplanperimeter zusammengefasst.

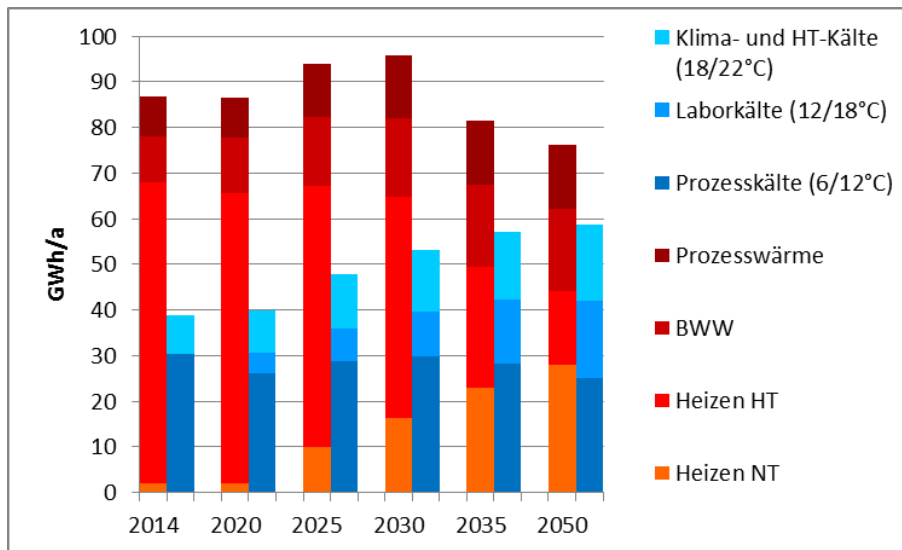


Abbildung 14: Entwicklung der Jahresbilanz des gesamten Masterperimeters

Lastprofil im Jahresverlauf

In Abbildung 15 ist der Jahresverlauf des Energiebedarfs im Masterplanperimeter dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass für die Deckung des Nieder temperaturbedarfs zum Heizen überschüssige Abwärme aus den Sommermonaten, welche durch die Kühlung entsteht, vorhanden wäre. Diese könnte durch eine saisonale Verlagerung genutzt werden.

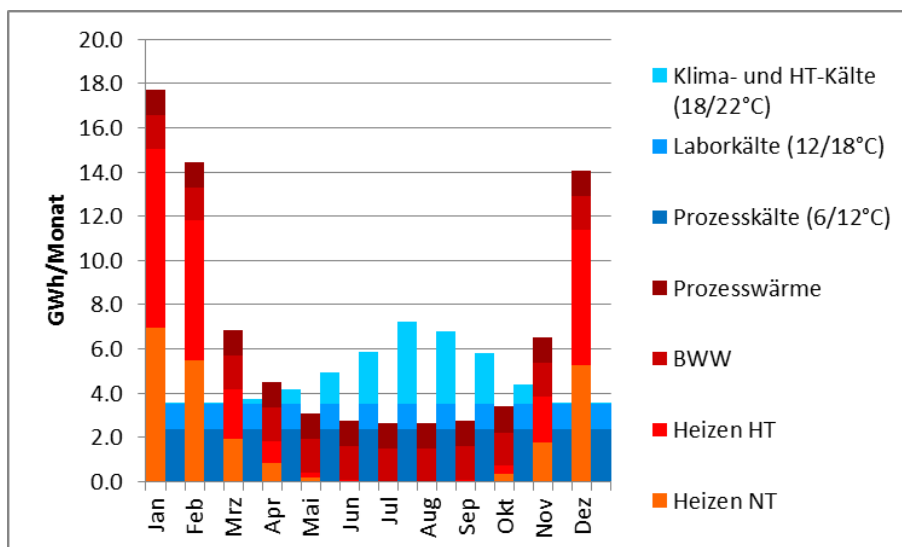


Abbildung 15: Lastprofil im Jahresverlauf pro Monat für das Jahr 2035

4.3. Nutzenergiebedarf nach Institution

4.3.1. Universitätsspital Zürich

Der Nutzenergiebedarf beim USZ nimmt mit den zusätzlichen Flächen zu. Dabei wird auch in Zukunft Prozesswärme benötigt. Mit den zusätzlichen Neubauten steigt der Anteil an Niedertemperaturbezüglern, wobei im Jahresprofil im Jahr 2035 ersichtlich ist, dass ein sommerlicher Überschuss an Kälte bzw. Abwärme entsteht, welche nicht direkt genutzt werden kann.

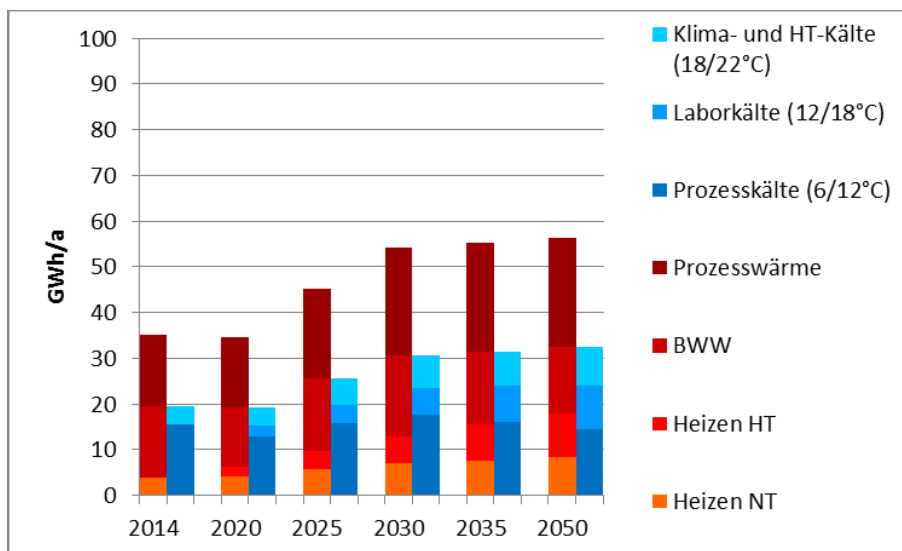


Abbildung 16: Entwicklung beim Nutzenergiebedarf des USZ

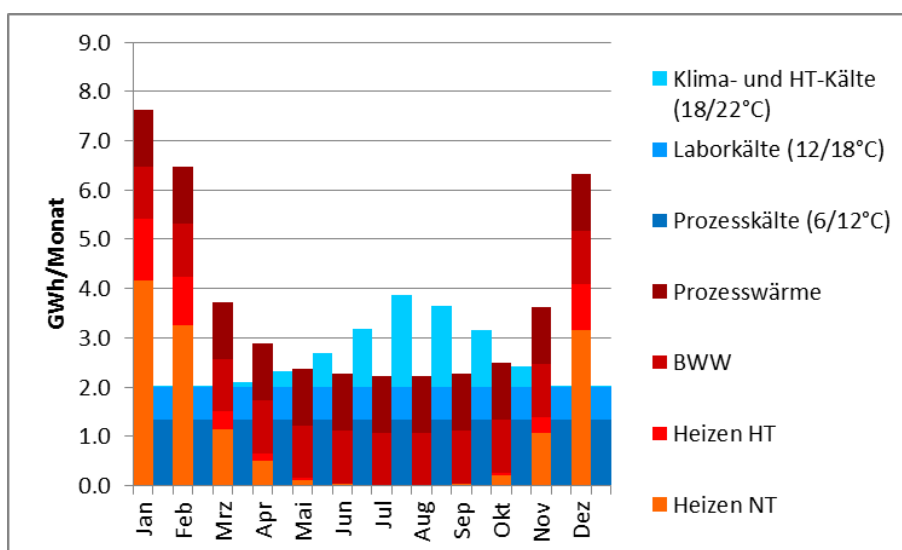


Abbildung 17: Lastprofil für das USZ im Jahr 2035

4.3.2. Universität Zürich

Die Universität Zürich hat im Masterplanperimeter im Vergleich zu den anderen Institutionen den geringsten Energiebedarf. Im Vergleich zu heute nehmen die Laborkälte sowie der Heizbedarf für Niedertemperatur zu. Nach einem leichten Anstieg des gesamten Wärmebedarfs (Flächenzuwachs), machen sich ab 2030 die Sanierungen bemerkbar, wodurch der Wärmebedarf unter das heutige Niveau sinkt. Im Jahresprofil bis 2035 ist ersichtlich, dass die Abwärme aus den Kälteprozessen für eine eigene Versorgung der Niedertemperaturbezüger zu gering ist.

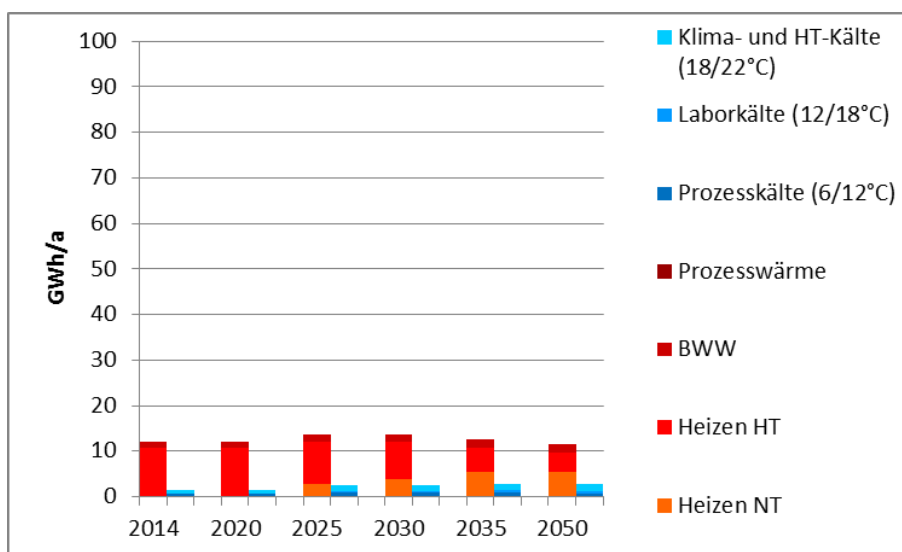


Abbildung 18: Entwicklung beim Nutzenergiebedarf der Uni Zürich

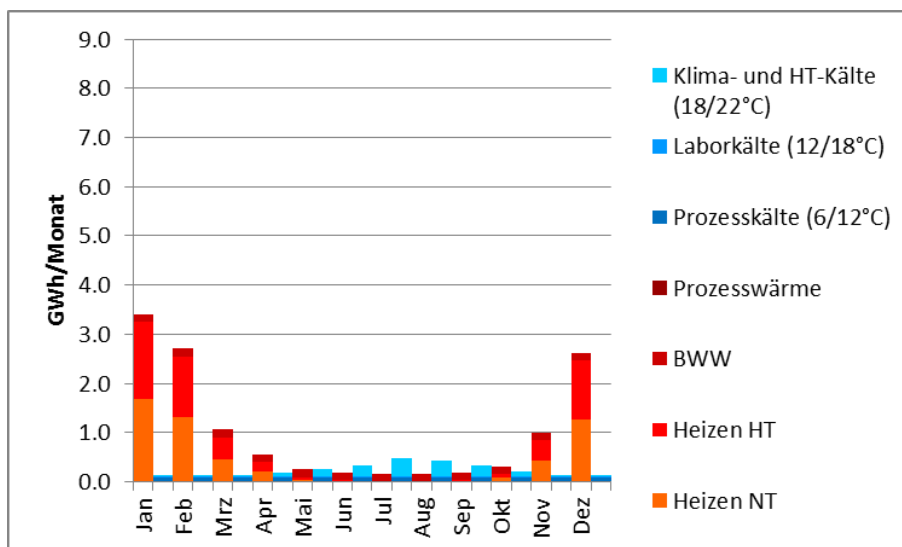


Abbildung 19: Lastprofil für die Uni Zürich im Jahr 2035

4.3.3. ETH

Die ETH hat im Masterplanperimeter den geringsten Flächenzuwachs im Vergleich zu den anderen Institutionen. Daher bleibt der Wärmebedarf durch Zuwachs und Sanierungsmaßnahmen bis ins Jahr 2035 in etwa gleich. Lediglich der Kältebedarf nimmt dabei zu. Im Jahresprofil 2035 ist ersichtlich, dass durch den höheren Kältebedarf ein Grossteil an Abwärme entsteht, welcher durch die fehlenden Niedertemperaturbezüger nur bedingt genutzt werden kann.

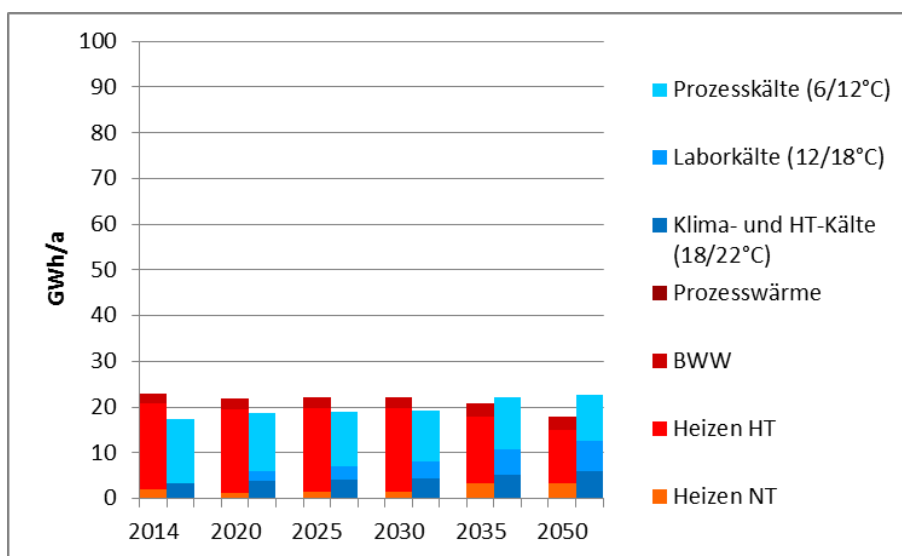


Abbildung 20: Entwicklung beim Nutzenergiebedarf der ETH

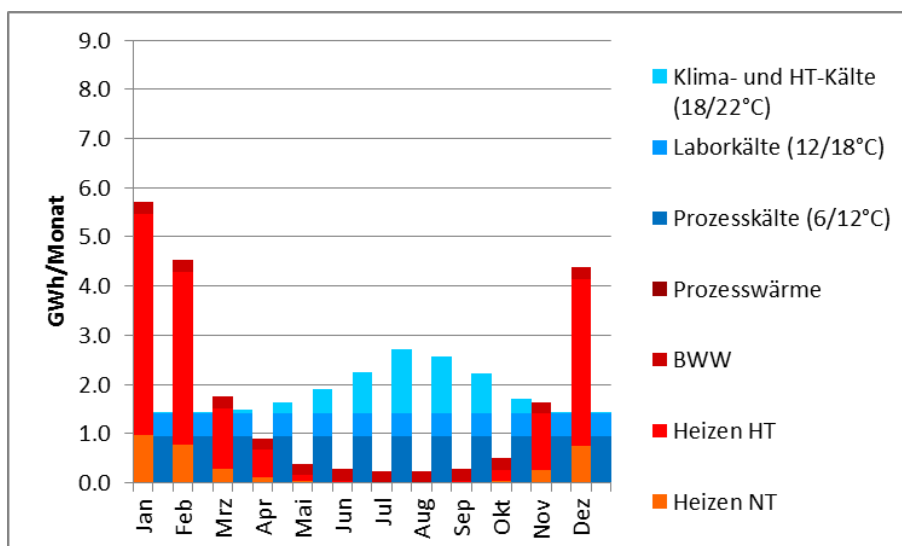


Abbildung 21: Lastprofil für die ETH im Jahr 2035

4.3.4. Weitere

Der Energiebedarf der weiteren Bezüger im Masterplanperimeter ist sehr gering gegenüber den drei Institutionen und fällt für die Strategieentwicklung nicht ins Gewicht.

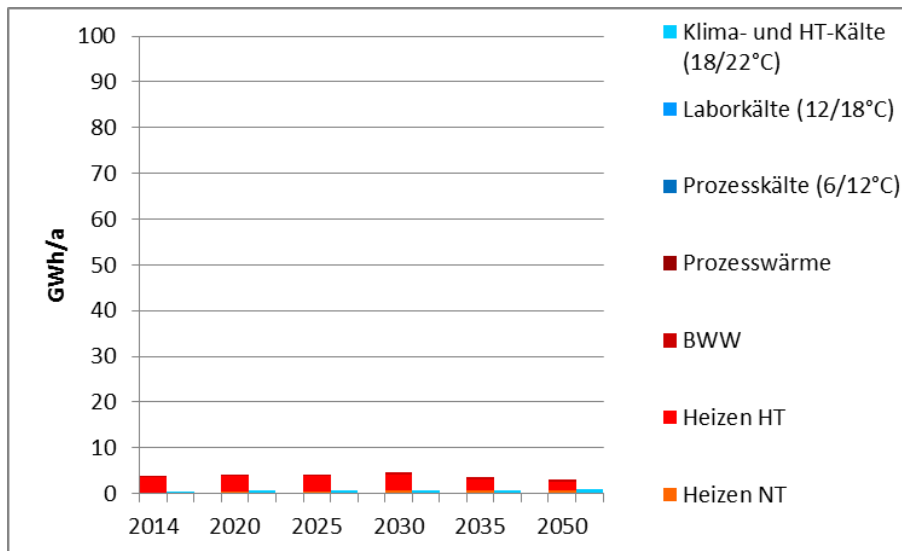


Abbildung 22: Entwicklung beim Nutzenergiebedarf der weiteren Bezüger im Masterplanperimeter

4.4. Fazit Bedarfsentwicklung

Der Masterplanperimeter ist geprägt von alten und denkmalgeschützten Bauten. Diese werden auch in naher Zukunft nicht auf Nieder temperaturabgabesysteme umrüstbar sein. Zusammen mit dem Bedarf des USZ an Prozessenergie wird im Masterplanperimeter der Bedarf an hohen Systemtemperaturen im Betrachtungszeitraum bis 2035 eine wichtige Rolle spielen. Zudem wird der Kältebedarf bei den Institutionen weiter zunehmen. Dabei ist auch beim Kältebedarf den Systemtemperaturen grosse Beachtung zu schenken, damit dieser Bedarf, möglichst mit Freecooling, d.h. ohne zusätzlichen Energieaufwand, abgedeckt werden kann.

Um trotzdem im Gebiet eine Absenkung des Wärmebedarfs zu erreichen, müssen neue Gebäude und Sanierungen zukünftig mindestens dem geltenden Minergiestandard (oder 10 % unter dem gesetzlichen Minimum) von Neubauten bzw. Sanierungen entsprechen (Primäranforderung an die Gebäudehülle). Vorbehalten bleiben die denkmalpflegerischen Anforderungen. Bei Spezialbauten (Labors, Operationssäle usw.) kann die Regel der Bautechnik angewendet werden, wenn mit einem dynamischen Gebäudemodell die Gleichwertigkeit der Jahresenergiebilanz (Wärme/Kälte) sowie dem Spitzenlastverhalten zu den vorhergehend genannten Anforderungen aufgezeigt werden kann. Je nach Nutzung (z.B. Wohnbauten) ist auch eine Verschärfung des Mindeststandards anzustreben.

Der Versorgung mit dem benötigten Brauchwarmwasser ist bei den künftigen Konzepten besondere Beachtung zu schenken. Die Bereitstellung soll bedarfsgerecht und effizient, z.B. mit dezentralen Trinkwasserstationen, erfolgen. Bei den Wettbewerben für Neubauten müssen entsprechende Konzepte ausgearbeitet werden.

Aufgrund der unterschiedlichen Charakteristiken der Institutionen betreffend des Wärme- und Kältebedarfs sowie den Unterschieden bei der Entwicklung in den geforderten Systemtemperaturen sind Synergien zwischen den Institutionen in Zukunft zu nutzen.

Für den Elektrobedarf ist eine stetige Zunahme zu erwarten, dies obwohl Effizienzmassnahmen, z.B. im Bereich der Beleuchtung von den Institutionen eingeleitet wurden. Es ist aber zu erwarten, dass im Bildungs- und Gesundheitswesen in Zukunft immer mehr und leistungsfähigere Geräte zum Einsatz kommen. Dieser Trend wird im Betrachtungszeitraum die Effizienzmassnahmen wieder aufheben bzw. übertreffen.

5. Potenziale zur Versorgung

5.1. Fernwärme

Die Fernwärme ist im Masterplanperimeter gut erschlossen, und es ist davon auszugehen, dass diese auch in Zukunft weiterhin mit den beiden Netzen (Heisswasser und Hochdruckdampf) zur Verfügung stehen wird. Dies bedeutet, dass der Masterplanperimeter weiterhin Prioritätsgebiet für die Fernwärmeversorgung sein wird. Daher wird kein konkurrierendes, leitungsgebundenes System zur Wärmeversorgung zugelassen. Ausnahmen sind möglich, wenn der Nachweis erbracht wird, dass das alternative System volkswirtschaftlich den grösseren Nutzen erbringt als die Fernwärme. Trotzdem sind dezentrale Versorgungslösungen bei technischer und wirtschaftlicher Gleichwertigkeit zur Fernwärme möglich.

Das ERZ geht davon aus, dass der Wärmebedarf der bestehenden Kunden aufgrund von Gebäudesanierungen und Klimaerwärmung bis 2025 konstant bleibt und anschliessend bis 2050 um 30 - 50 % zurückgeht. Aus Sicht ERZ wird demnach auch zukünftig genügend Kehrrecht zur Wärmeerzeugung zur Verfügung stehen. Eine Knappheit an Fernwärme zur Wärmeversorgung ist für das Gebiet nicht zu befürchten.

Das bestehende Dampfnetz wird in Zukunft weiterbetrieben, aber nicht mehr aktiv weiterausgebaut. Der Anschluss neuer Kunden an das bestehende Dampfnetz ist aber denkbar.⁸

Diese Zusammensetzung wird sich im Laufe der kommenden Jahre bzw. im Zeitrahmen des Projekts nicht wesentlich ändern.

Bezüglich der Kälteversorgung durch die Fernwärme (Absorptionskältemaschinen) ist eine solche für die Fernwärme nur rentabel, solange dies mit 'überschüssiger' Abwärme aus der Abfallverbrennung betrieben werden kann. Ein solcher Überschuss ist in Zukunft nicht zu erwarten.

5.2. Seewasser/Flusswasser

Das Potenzial von Seewasser wird bereits von Seewasserverbunden an der Nordspitze des Zürichsees genutzt und bietet eine nachhaltige Lösung. Es wird auch teilweise das Wasser der Limmat zur Entnahme oder Rückgabe eingebunden.

Es kann sowohl im Winter Wärme als auch im Sommer Kälte bereitgestellt werden. Aus der Machbarkeitsstudie zum "Potential zur Wärmeenergienutzung aus dem Zürichsee" von der EAWAG⁹ geht folgendes hervor:

Für den Masterplanperimeter erfordert die Seewassernutzung grundsätzlich zwei unterschiedliche Konzessionen: ein kantonale (AWEL) zur Nutzung der Energiequelle Seewasser und eine kommunale zur Nutzung öffentlichen Grundes für die Verlegung der Leitungen. Beide Konzessionen werden heute an die Vorgabe eines koordinierten Vorgehens mit der kommunalen Energieplanung geknüpft.

Im Hinblick auf die Zunahme des Energiebedarfs im Masterplanperimeter, aufgrund des erhöhten Kältebedarfs und der Zielsetzung der Stadt Zürich, 'Wärme-Inseln' zu entwärmen,

⁸ Weisskopf / ZHAW, *Universitätsspital Zürich (USZ), Technischer Dienst Masterplan Energie*, 28.11.2011

ist das Potenzial einer Einbindung der Seewassernutzung für den Masterplanperimeter ent-

Fussnoten

⁽¹⁾ Im Verlaufe des Winters wird der See durch die natürliche Abkühlung bis zur Entnahmetiefe weitgehend homogen gemischt. Die Wasserentnahme hat somit keinen Einfluss auf die Schichtung im See. Auch andere Wassereigenschaften werden nicht tangiert.

⁽²⁾ Im Winter kühlt sich der See natürlicherweise ab. Durch den Wärmeentzug (Heizung) würde der See zusätzlich abgekühlt, jedoch aufgrund der Grösse des Zürichsees nur in bescheidenem Umfang. Diese zusätzliche Abkühlung würde die saisonale Tiefenmischung, welche das Tiefenwasser mit Sauerstoff versorgt, begünstigend unterstützen. Kritisch würde die Rückgabe des abgekühlten Seewassers nur dann, wenn das ganze Seevolumen massiv ($> 1^\circ\text{C}$) abgekühlt würde. Im Falle des Zürichsees wäre dies erst ab einem Wärmeentzug von 3800 GWh / Saison (drei Monate D,J,F) möglich.

⁽³⁾ Die Wasserentnahme aus der Limmat wäre nur problematisch bei sehr grossen Ableitungen während Perioden von sehr tiefen Abflüssen. Diese Situation könnte auftreten, wenn in trockenen / kalten Wintern die Wasserführung zu gering würde. Zu solchen Zeitpunkten sind jedoch die Wassertemperaturen minimal und potentiell unter 4°C (inverse Schichtung im See). Die Wärmenutzung von solch kaltem Oberflächenwasser würde somit ineffizient und sollte vermieden werden. Die Entnahme aus dem See ist in dieser Situation günstiger, da im Tiefenwasser mindestens $\sim 4^\circ\text{C}$ garantiert ist.

⁽⁴⁾ Die Einleitung von abgekühltem Seewasser in die Limmat würde dann problematisch, falls: (i) besonders grosse Wassermengen mit (ii) besonders tiefen Temperaturen während Perioden mit (iii) besonders geringem Abfluss der Limmat zugeführt würden.

Wahrscheinlich spielt diese Situation in der Praxis keine Rolle, da unter diesen Bedingungen die Wärmenutzung ineffizient wird und zudem die Möglichkeit besteht das kalte Wasser in den See einzuleiten.

⁽⁵⁾ Im Sommer ist der See geschichtet und die Entnahme von Wasser aus der Tiefe führt zu einer Absenkung der Schichtung des gesamten Sees oberhalb der Entnahmetiefe (Abschnitt 3.2). Als Folge der Absenkung steigen die Temperaturen aller Wasserschichten oberhalb der Entnahmetiefe (Figur 2). Die Temperaturzunahme ist umso grösser (i) je stärker die Schichtung und (ii) je grösser die Wasserentnahme ist. Um die Absenkung zu minimieren, ist es deshalb wichtig eine wesentliche Erwärmung des Kühlwassers zu erlauben (z.B. $\Delta T \approx 10$ bis 12°C), damit der Wasserfluss Q_E gering bleibt. Beispiel: Bei einer Tiefenwasserentnahme im See bei 8°C und einer Erwärmung um $\Delta T = 10^\circ\text{C}$, ergäbe sich eine Einleitungstemperatur in die Limmat (oder in den See) von 18°C was an beiden Stellen keine Probleme erzeugen würde (die Limmat würde im Sommer dadurch gekühlt). Rechenbeispiel im Abschnitt 4.1.

⁽⁶⁾ Die Rückgabe des warmen Wasser muss genügend tief erfolgen, so dass (i) das aufsteigende (leichte) Rückgabewasser nicht Nährstoffe ins Oberflächenwasser transportiert und (ii) das Oberflächenwasser nicht zusätzlich erwärmt wird. Wenn die Rückgabe über einen genügend grossen Tiefenbereich erfolgt, kann die Temperaturänderung im See limitiert werden (Rechenbeispiel im Abschnitt 4.1; Tabelle 2). Die Rückgabe in den See hat den Vorteil, dass das Seewasser oberhalb der Rückgabentiefe nicht abgesenkt wird. Damit wird das Metalimnion kaum erwärmt und die Oberflächenschicht wird nicht verbreitert.

⁽⁷⁾ Die Temperatur des Limmatwassers erreicht im Sommer regelmässig $> 25^\circ\text{C}$ und kommt als Kühlwasser nicht in Frage, da sonst sehr warmes Wasser anfallen würde, welches kaum sinnvoll zu „entsorgen“ wäre. Gemäss der verwaltungsinternen Absprache (Bewilligungspraxis für Wärmeeinleitung bei Gewässern mit natürlichen Temperaturen von über 25°C ; AWEL / ALN, 2005) sollte diese Option nicht in Betracht gezogen werden. Siehe auch Problematik in der Aare durch KKW Mühleberg (Meier et al. 1997).

⁽⁸⁾ Gemäss ⁽⁵⁾ stellt die Rückgabe des Kühlwassers in die Limmat kein Problem dar, solange das Kühlwasser die Limmat nicht erwärmt. Dies kann erreicht werden, wenn das Kühlwasser aus grösserer Tiefe des Sees stammt. In diesem Fall kann die Temperaturzunahme (oder -abnahme) in der Limmat durch geeignete Dimensionierung limitiert werden.

Abbildung 23: Fussnoten zur Beurteilung der Optionen bei Wasserentnahme und -rückgabe¹¹

sprechend gross.

	Wasserentnahme See	Wasserrückgabe See	Wasserentnahme Limmat	Wasserrückgabe Limmat
Wärmeentzug im Winter	<i>unkritisch⁽¹⁾</i>	<i>unkritisch⁽²⁾</i>	<i>ineffizient⁽³⁾</i>	<i>mässig kritisch⁽⁴⁾</i>
Wärmeeintrag im Sommer	<i>unkritisch bei adäq. Konzept⁽⁵⁾</i>	<i>mässig kritisch⁽⁶⁾</i>	<i>sehr kritisch, keine Option⁽⁷⁾</i>	<i>unkritisch bei adäq. Konzept⁽⁸⁾</i>

Abbildung 24: Beurteilung verschiedener Optionen bei Wasserentnahme und -rückgabe¹¹

5.3. Erdwärme/Erdspeicher (saisonale Verlagerung)

Durch die unterschiedlichen Lastprofile der Institutionen können Synergien gut genutzt werden. Durch den Einsatz von einem Erdspeicher kann die anfallende Abwärme eingespeichert werden und so saisonal verlagert werden.

Zur Abschätzung des Erdwärmesondenpotenzials im Hochschulgebiet Zürich-Zentrum (HGZZ) wurde eine Anfrage beim AWEL gestellt.

Das AWEL kann folgende Aussagen machen (siehe Abbildung 25):

- Maximal erlaubte Bohrtiefen ca. 300 m (zwei Standorte abgefragt, siehe Plan unten).
- Horizontaler Mindestabstand zu Tunnelbauten: 30 m
- Profil-Bohrung b 00-10366 (Bolleystrasse 35) bekannt, sehr wahrscheinlich fehlerhaft. OMM ab 208 m
- Profil-Bohrung b 00-10750 bekannt (Geologe durch AWEL beauftragt). OSM bis 360 m

Im Rahmen der kommunalen Energieplanung der Stadt Zürich wird derzeit geprüft, ob Erdsonden in zentrumsnaher Lage, wo sich verschiedene Interessen zur Nutzung des Untergrunds kumulieren (z.B. Verkehrsinfrastruktur), nur noch mit Beseitigungsrevers eingesetzt werden dürfen. Dies bedeutet, dass der dezentrale Einsatz von Erdwärmesonden zu Kühlzwecken (verbunden mit Wärmenutzung) im Hochschulgebiet möglich sein würde; es kann jedoch sein, dass keine langfristige Garantie für den Einsatz dieser Sonden gewährt werden kann.

Eine vertiefte Machbarkeitsstudie zum Potenzial der Erdwärmesonden ist zu prüfen.

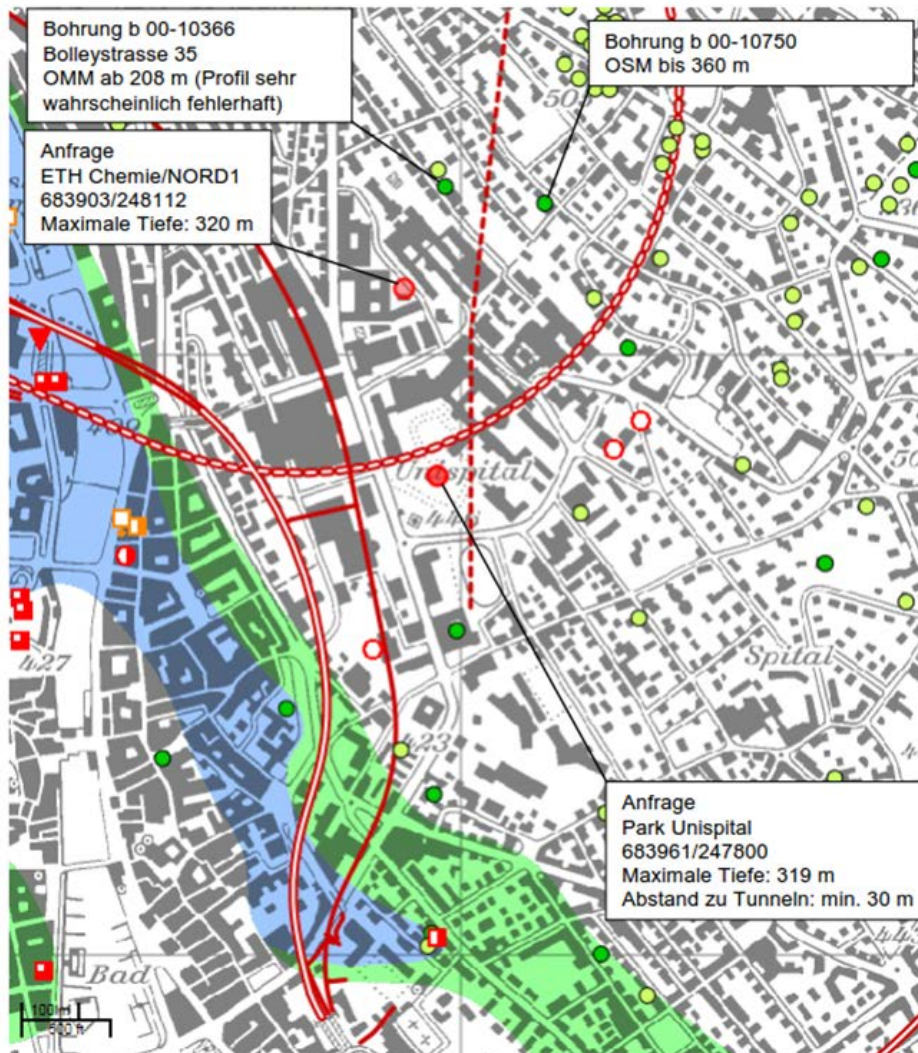


Abbildung 25: Übersichtsplan über die Standorte der Anfrage für Bohrungen

5.4. Abwärme von Kälteerzeugung

Die Nutzung der Abwärme bei der Kälteerzeugung bietet im Zeithorizont bis 2050 ein immer grösseres Potenzial, da der Kältebedarf ansteigen wird und dadurch auch der Anfall von Abwärme. Aufgrund der Klimaanalyse der Stadt Zürich werden Gebiete definiert, bei welchen eine Abführung von Abwärme über Rückkühler in Zukunft untersagt sein wird. Dies bedeutet, dass die Abwärme anderweitig abgeführt werden muss.

Um die Abwärme optimal zu nutzen, bietet sich zur saisonalen Verlagerung ein Erdspeicher an. Durch die unterschiedlich anfallende Abwärme bei den Institutionen ergeben sich hier Synergien.

Als Anhaltspunkt für die IST-Situation kann das Energieflussdiagramm des gesamten Masterplanperimeters dienen (siehe Abbildung 4).

5.5. Photovoltaik

Für 2035 wurde eine Potenzialanalyse für die Nutzung von Photovoltaik auf den Dachflächen der verschiedenen Institutionen erstellt.

Dabei wurden folgende Annahmen getroffen:

- 50% Belegung der verfügbaren Dachflächen (Denkmalschutz, Beschattungen etc. sind ausgeschlossen)
- 95 Wp/m² mit Süd-Ausrichtung und 15° Neigung
- jeweils Endzustände der Etappen

Somit ergibt sich für die Institutionen ein direkt nutzbares Potenzial für 2035 von:

- ETH 1100 kWp u. 1045 MWh/a
- USZ 1700 kWp u. 1645 MWh/a
- UZH 1190 kWp u. 1130.5 MWh/a

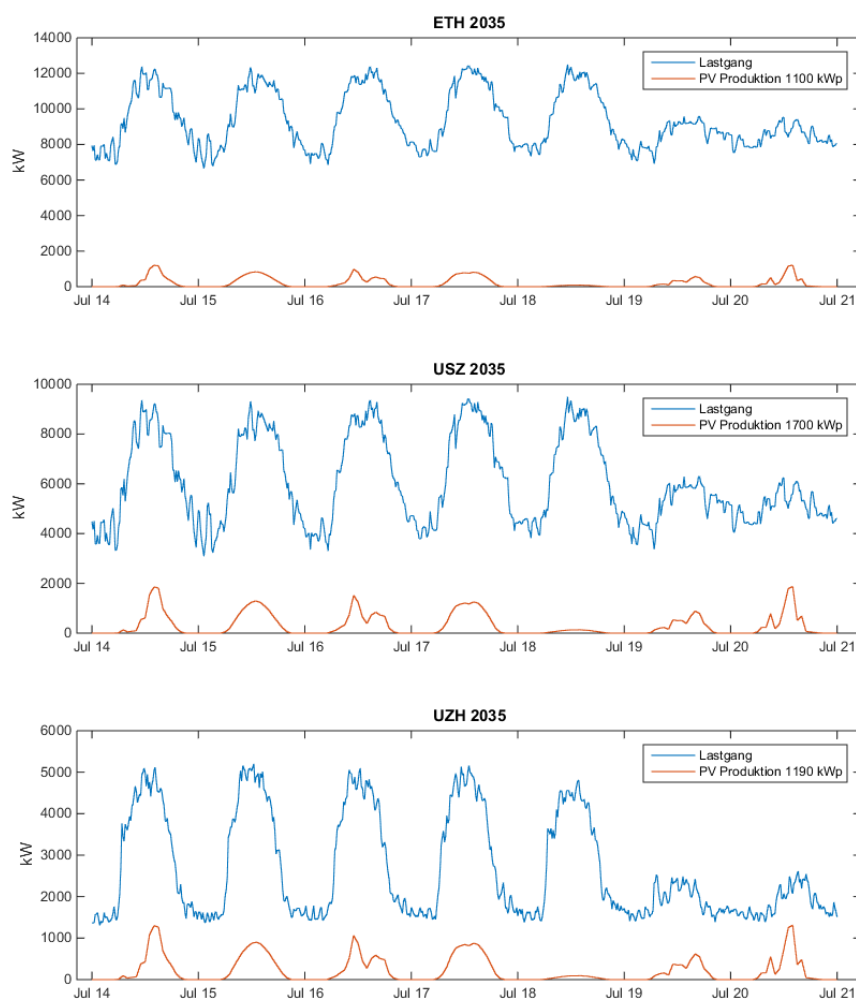


Abbildung 26: PV-Potenzial pro Institution

6. Strategien

Um die vorgesehenen Strategien umzusetzen, bedarf es einer Reihe an Versorgungstechnologien verschiedener Art. Einerseits Exergieträger, die sich in Fernwärme und fossile Brennstoffe (Gas) unterteilen, und andererseits die Umweltenergie, die entweder als Quelle oder Senke dienen kann. Die Umweltenergie kann in Form des Bodens für die saisonale Einspeicherung und Verlagerung dienen, aber auch die Umgebungsluft wie auch das Seewasser/Flusswasser können genutzt werden.

		Nutzenergiebedarf					
		Prozesswärme 100°C	Hochtemperatur 70°C	Niedertemperatur 35°C	Klimakälte 12°-20°C	Prozesskälte <10°C	Elektrizitäts- erzeugung
Exergieträger	Fernwärme	ja Dampfumformer	ja Wärmetauscher	ja Wärmetauscher	ja AKM energetisch ineffizient	ja AKM energetisch ineffizient	ja HKW Aubrugg/ Hagenholz
	Fossil (Gas)	ja Gasbrenner	ja Gasbrenner	ja Gasbrenner	ja AKM energetisch und ökonomisch unsinnig	ja AKM energetisch und ökonomisch unsinnig	ja WKK
Umweltenergie Quelle / Senke	Boden / saisonale Verlagerung	Nein	ja WP energetisch ineffizient	ja WP	ja Geocooling	ja KKM	Nein
	Luft	Nein	ja WP energetisch ineffizient	ja WP	ja KKM	ja KKM	Nein
	Wasser «Seewasser»	Nein	ja WP energetisch ineffizient	ja WP	ja Freecooling	ja KKM	Nein

Abbildung 27: Übersicht der Versorgungstechnologien im Masterplanperimeter

Gewisse Technologien wurden bereits im Vorfeld ausgeschlossen (z.B. Holzschnitzel), da sie im Masterplanperimeter kaum bewilligungsfähig sind.

Zudem werden aus energetischen und technischen Gründen einige Kombinationen der Energieversorgungstechnologien von vorneherein ausgeschlossen und nicht in den unterschiedlichen Strategien berücksichtigt. In der Abbildung 28 sind nur Versorgungstechnologien dargestellt, welche auch in den ausgearbeiteten Versorgungskonzepten Anwendung finden. Zudem wird die dezentrale Elektrizitätserzeugung (abgesehen von PV-Anlagen, siehe Kapitel 5.5) nicht weiter in den Strategien überprüft, da diese keine Systemrelevanz für die zukünftige thermische Versorgung im Masterplanperimeter besitzen.

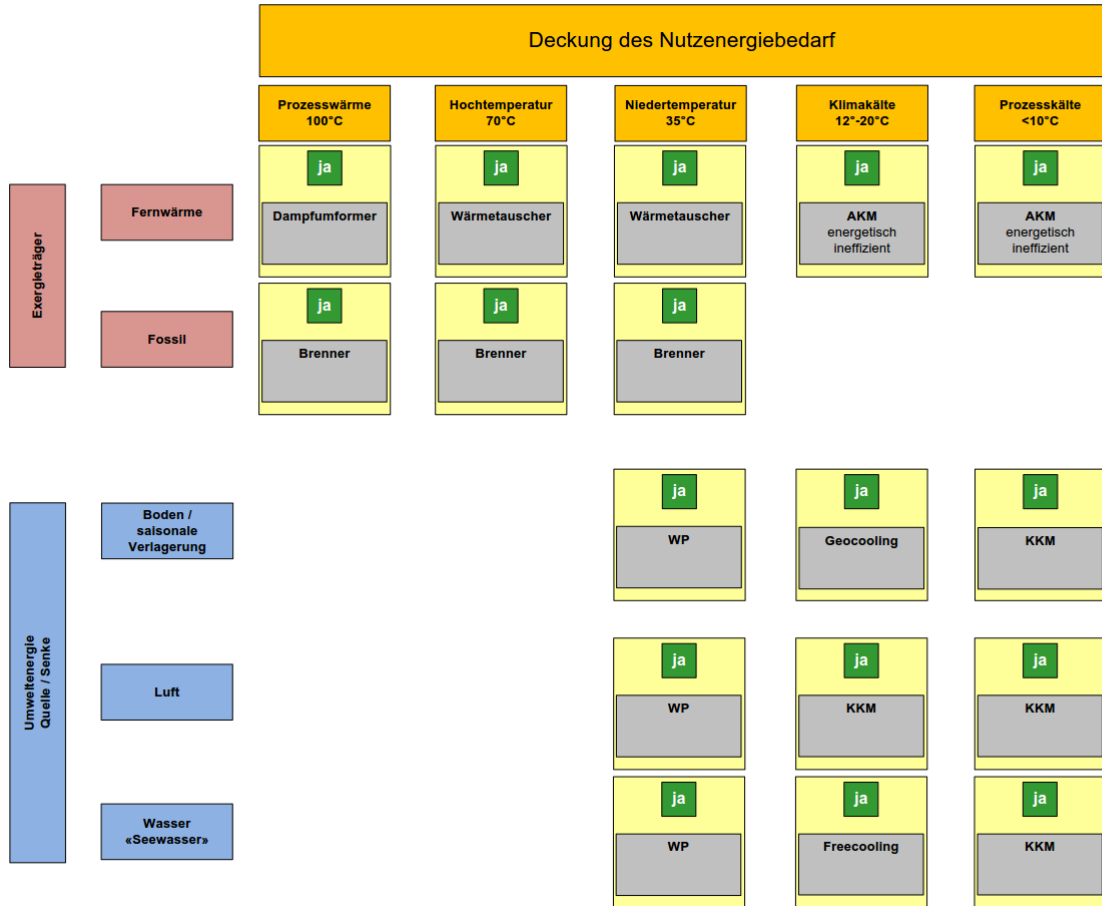


Abbildung 28: Übersicht der im Masterplanperimeter weiter zu verfolgenden Technologien

Aus den nun verbleibenden Technologien werden 'Extremstrategien' gebildet, um den möglichen Spielraum innerhalb des Masterplanperimeters aufzuzeigen. Die Elektrizitätserzeugung wurde ebenfalls aus den Übersichten der Strategietechnologien herausgenommen.

Strategie A: Fernwärme

Bei dieser Versorgungsvariante wird nur auf Fernwärme als Energiequelle zurückgegriffen. Einerseits wird Heisswasser für die Heizwärme und Brauchwarmwasser bezogen, andererseits Dampf für Prozesswärme und die Kühlung über Absorptionskältemaschinen verwendet.

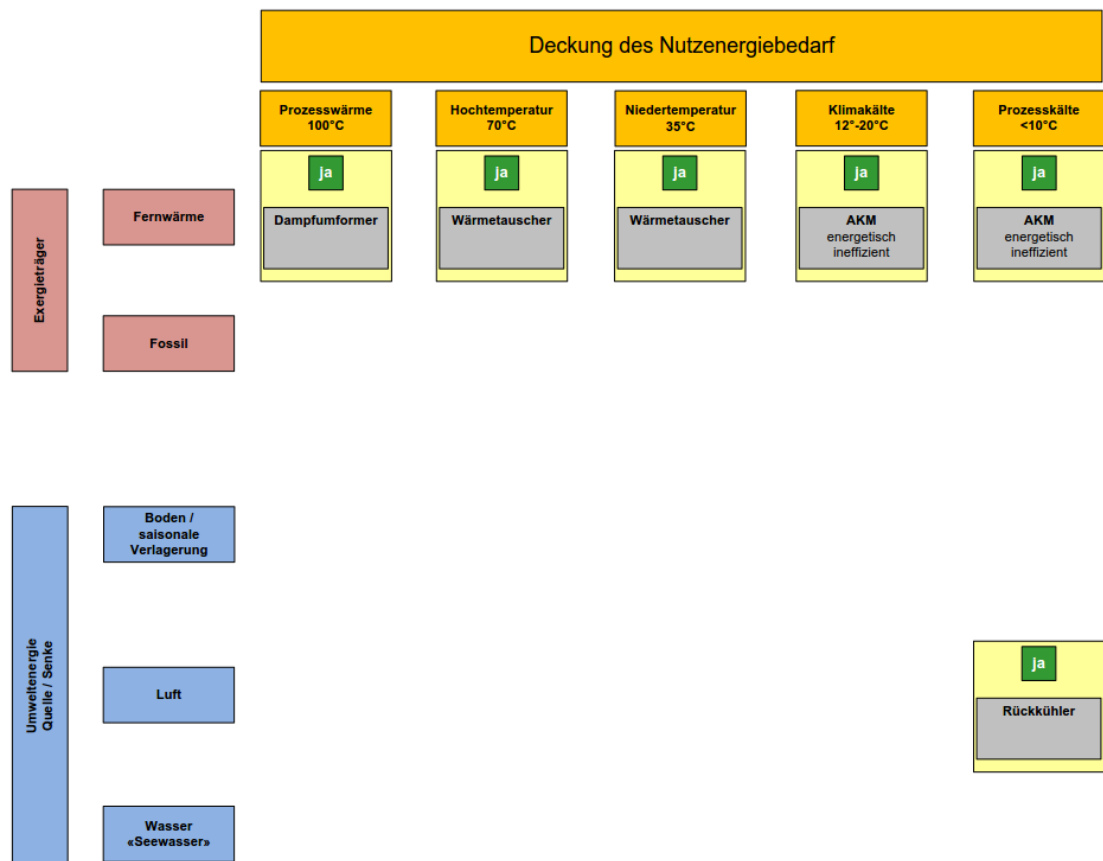


Abbildung 29: Versorgungstechnologien Strategie A

Strategie B1/B2

Die Deckung der Prozesswärme sowie die Versorgung der Gebäude, welche Hochtemperatur für das Heizsystem benötigen, erfolgt über einen fossilen Energieträger B1 (z.B. Gas) oder mittels Fernwärme B2. Zur Versorgung der Niedertemperatur werden Wärmepumpen eingesetzt, welche die Wärme aus einem Erdspeicher auf das gewünschte Temperaturniveau veredeln. Der Erdspeicher wird mittels der Abwärme aus den Kälteprozessen bewirtschaftet. Das Gebiet wird thermisch miteinander vernetzt.

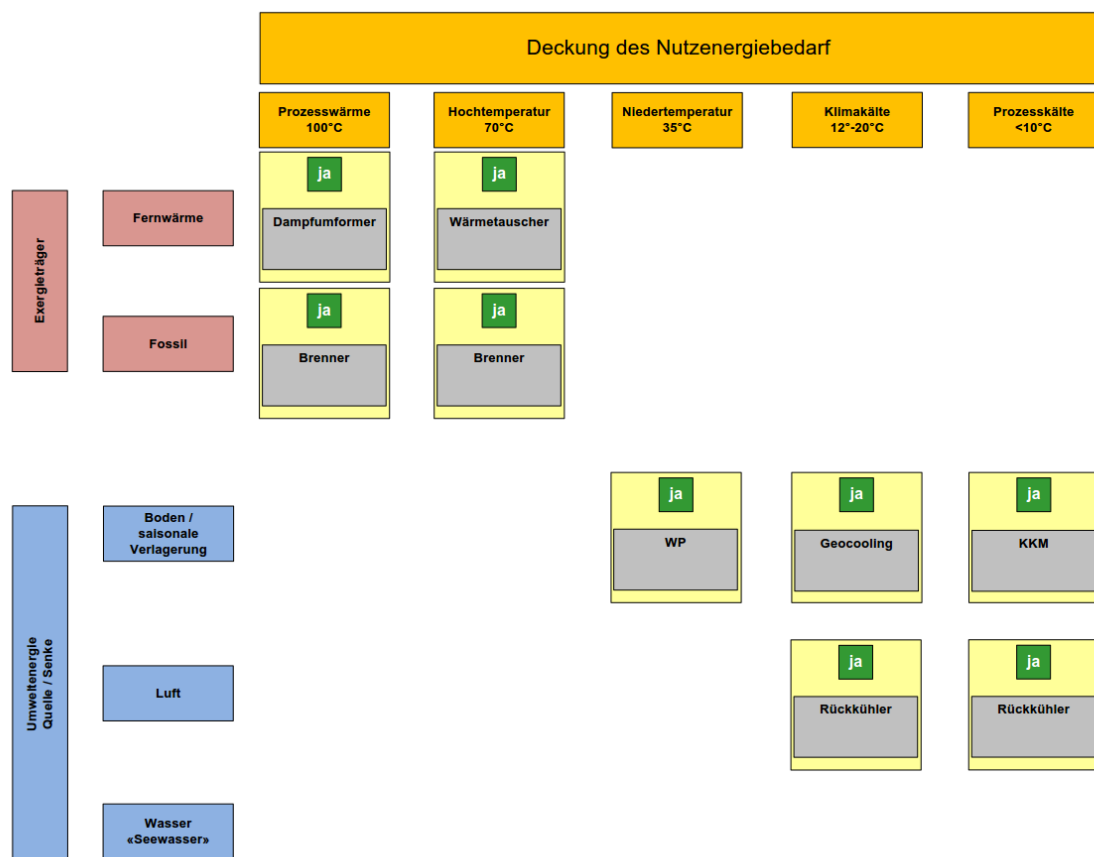


Abbildung 30: Versorgungstechnologien Strategie B1/B2

Strategie C

Die Deckung der Prozesswärme sowie der Gebäude, welche Hochtemperatur für das Heizsystem benötigen, erfolgt über die Fernwärme. Zusätzlich wird eine Seewasserleitung in das Hochschulgebiet realisiert, wobei das Seewasser primär für die Kälteprozesse verwendet wird. Je nach konzeptioneller Ausgestaltung, kann die daraus entstehende Abwärme auch dazu verwendet werden, mittels Wärmepumpen die Niedertemperaturbezüge zu versorgen.

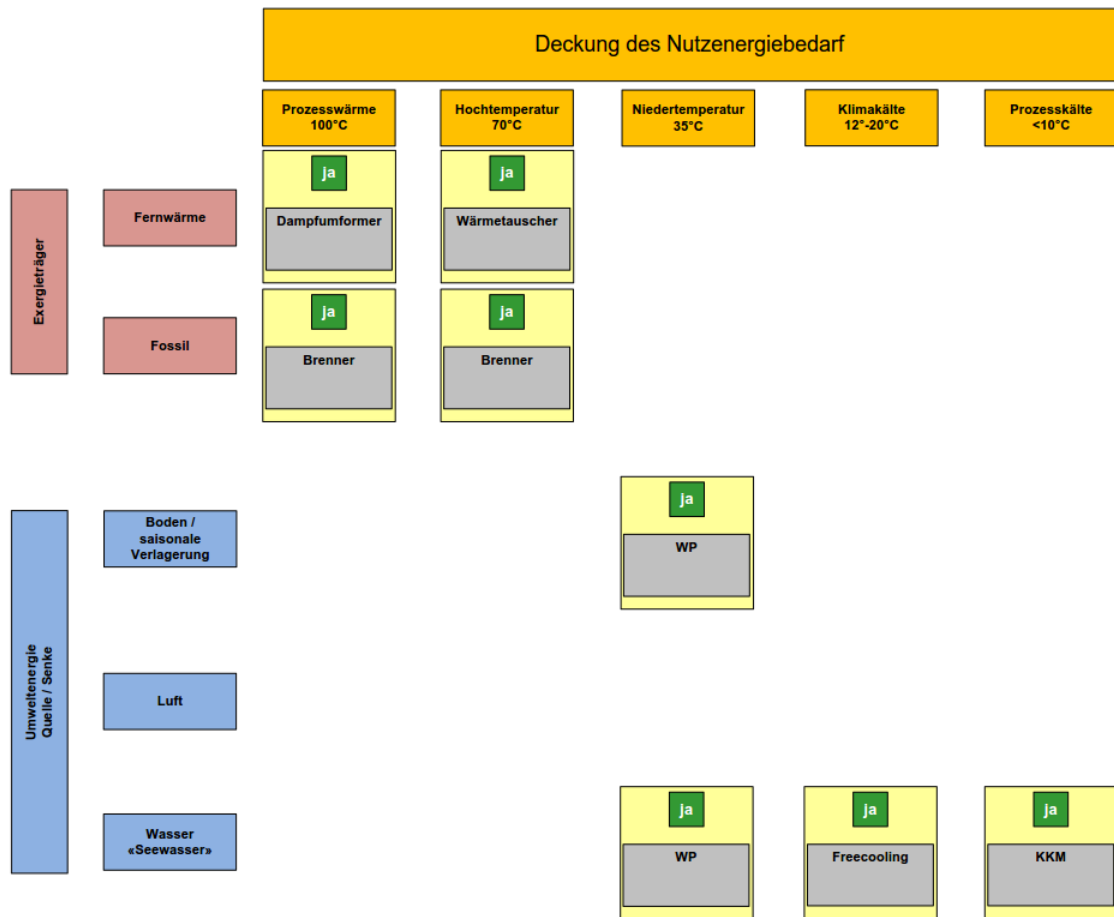


Abbildung 31: Versorgungstechnologien Strategie C

6.1. Definition der Zielbereiche

Die Strategien wurden bilanziert, um die zu erreichenden Zielbereiche zu ermitteln. Die Bilanzierung erfolgt gemäss den Treibhausgasemissionen, welche durch den Bedarf im Masterplanperimeter induzierten Emissionen (Bilanzierungsgrundlage vgl. Kapitel 8.1). Der für die thermische Versorgung benötigte Strom wurde gemäss dem CH-Strommix bilanziert. Der allgemeine Strom wurde nicht berücksichtigt. Je nach Wahl des Stromproduktes haben die Institutionen einen Handlungsspielraum, um die Emissionen zu verbessern. Ausgangspunkt bilden der heutige (2014) Energiebedarf und Treibhausgasemissionen. Je nach gewählter Strategie ergibt sich dadurch eine Verschiebung in der Abbildung 32 nach oben (B1) nach rechts (A) oder nach links unten (C und B2). Als anzustrebender Zielwert gilt bis 2035 $5 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\cdot\text{a}$ bzw. bis 2050 ein Wert von $1 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\cdot\text{a}$. Diese Werte ergeben sich aus den Zielwerten der SIA-Norm 2040¹⁰, welche als Zielgrösse für 2000-Watt Bauten gilt. Die Zielwerte bis 2035 können im Masterplanperimeter erreicht werden. Um die Zielwerte bis 2050 zu erreichen, benötigt es noch zusätzliche Anstrengungen bzw. eine Verbesserung bei den Erzeugungstechnologien (z.B. Stromproduktion). Aufgrund des hohen Bestandes und der Denkmalschutzvorgaben wird es aber äusserst schwierig diese Werte zu erreichen.

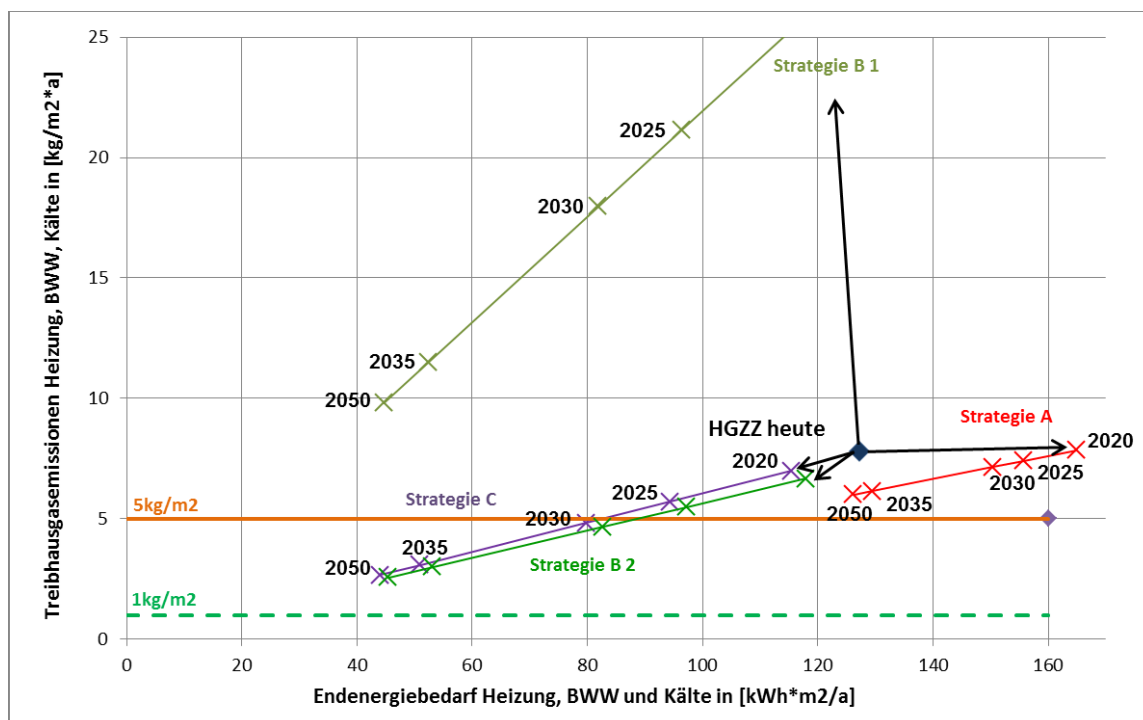


Abbildung 32: Anzustrebende Zielbereiche betreffend den Treibhausgasemissionen im Masterplanperimeter

Grundsätzlich ist zu sagen, dass die Zielbereiche mit Strategie B2 und C am ehesten erreicht werden können. Die Grenze mit $5 \text{ kg}/\text{m}^2$ ist bei diesen Varianten schon 2030 unterschritten, jedoch wird der Zielwert bis 2050 von $1 \text{ kg}/\text{m}^2$ nicht erreicht, weshalb hier zusätzliche Massnahmen nötig wären. Bei den Strategien A und B1 wird nach jetzigem Konzept kein Zielbereich erreicht.

¹⁰ SIA 2040, SIA Effizienzpfad Energie, 2011

6.2. NSE-Diagramm

Für die Darstellung des Einflusses der Strategien in Bezug auf den Exergiebedarf und die damit verbundenen CO₂-Emission ist das NSE-Diagramm (NSE = Non-Sustainable Exergy) geeignet. Vereinfacht ausgedrückt gelten als Exergie jene Primärenergieträger, welche thermodynamisch zur Verrichtung von 'Arbeit' verwendet werden können. Dabei wird jedoch nicht der Exergieinhalt des Primärenergieträgers quantifiziert, d.h. Öl, Gas, Fernwärme, Holz und Strom werden als 'Exergiebedarf' bilanziert, Umweltwärme (Seewasser, Erdwärme etc.) hingegen nicht.

Aufgrund der Bilanzierungen wird auf dem NSE-Diagramm ersichtlich, in welchen Bereichen die Institutionen einen eigenen Handlungsspielraum haben bzw. wo der eigene Handlungsspielraum durch die Wahl der Strategie eingeschränkt wird (z.B. durch die Wahl des Energieträgermixes bei der Fernwärme).

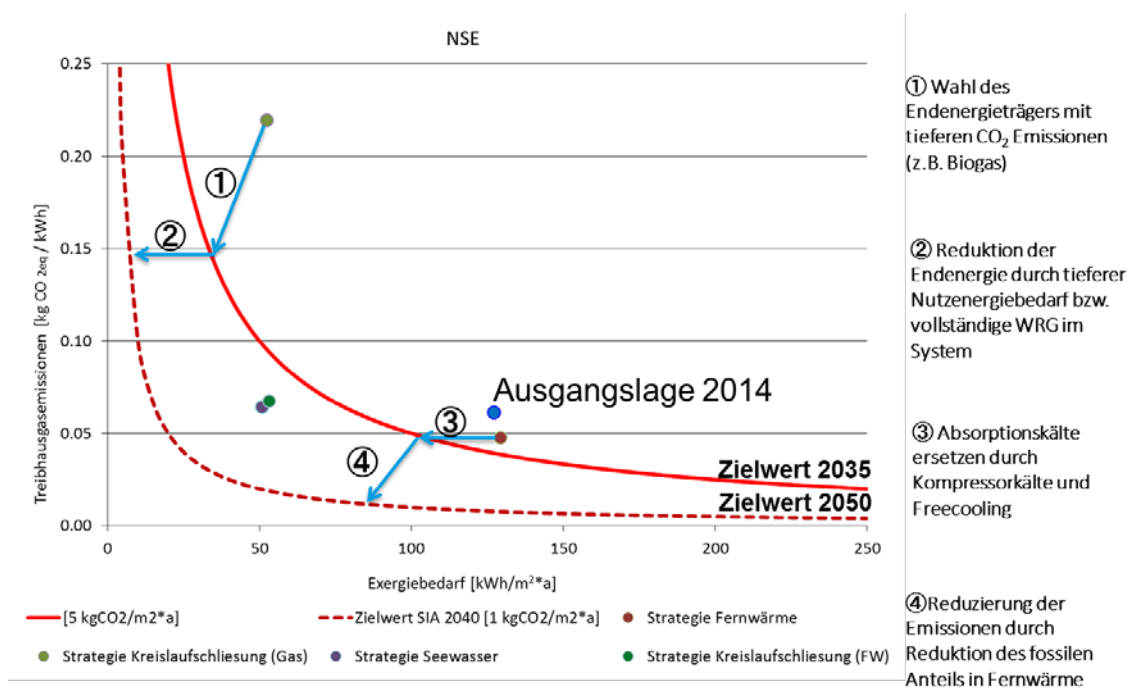


Abbildung 33: NSE-Diagramm für den Masterplanperimeter mit den untersuchten Strategien für das Jahr 2035

Mit den Strategien B2 und C können die Emissionsziele für das Jahr 2035 erreicht werden. Für das Jahr 2050 benötigt es jedoch noch weitere Anstrengungen, wie zum Beispiel die Reduktion des fossilen Anteils in der Fernwärme (Strategie A), Wahl eines emissionsfreien Stromprodukts für die Wärmepumpen und Kältemaschinen (B2 und C) oder den Einsatz von Biogas (B1).

7. Konzeptvarianten

Zur besseren Bilanzierung und Vergleichbarkeit der Strategien, insbesondere bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, wurden zu den Strategien entsprechende Konzeptvarianten gebildet:

Folgende Tabelle gibt eine Übersicht der Varianten:

Table 7: Konzeptvarianten

Strategie A	Fernwärme
	Fernwärme mit Kältecluster
	Fernwärme mit Kältering
Strategie B	Anergierung mit Fossil (Gas)
	Anergierung mit Fernwärme
Strategie C	Seewasser - Fernwärme dezentral
	Seewasser - Fernwärme mit Kältecluster
	Seewasser - Fernwärme mit Kältering

Der Anergierung ist eine hydraulische Vernetzung unter den einzelnen Gebäuden. Dadurch besteht die Möglichkeit, mittels eines ungerichteten Verteilnetzes flexibel aus Vor- und Rücklauf einen thermischen Austausch zwischen den Gebäuden zu generieren.

7.1. Erläuterung der Varianten

7.1.1. Strategie A

Bei der Versorgungsvariante A1 wird nur auf Fernwärme als Energiequelle zurückgegriffen. Einerseits wird Heisswasser für die Heizwärme und Brauchwarmwasser bezogen, andererseits Dampf für Prozesswärme und die Kühlung über eine Absorptionskältemaschine.

Variante A2 sieht ein Kältecluster für jede Institution vor, worüber die einzelnen Gebäude versorgt werden. Einen Kältering für das gesamte Areal ist in Variante A3 vorgesehen, womit die Kälteversorgung aller Institutionen zusammengeschlossen wird.

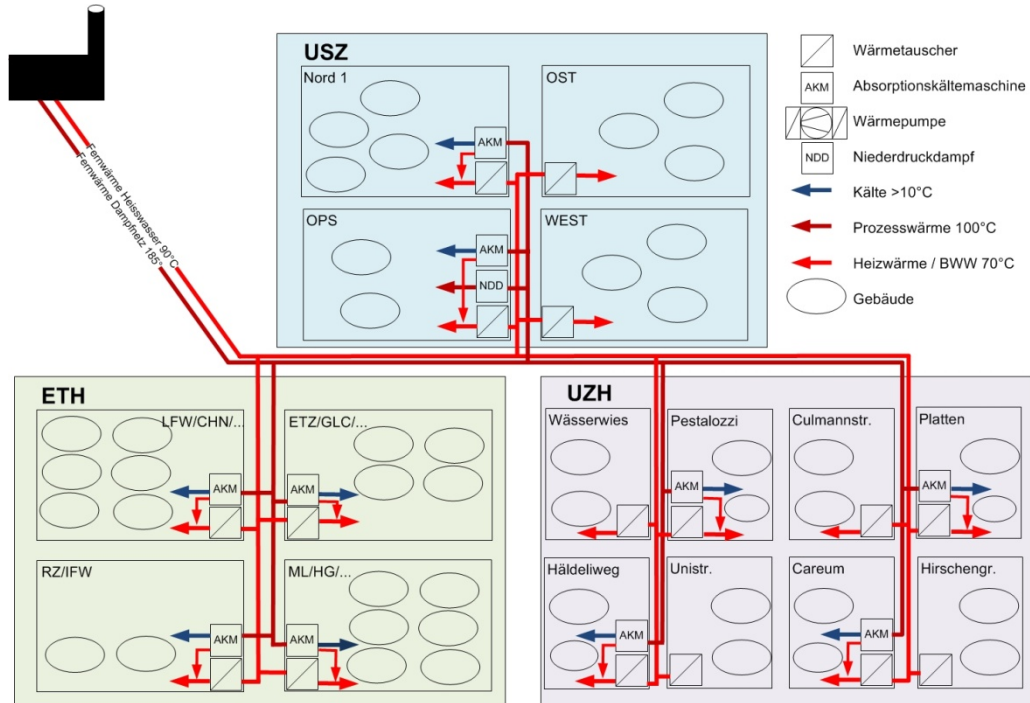


Abbildung 34: A1 Fernwärme

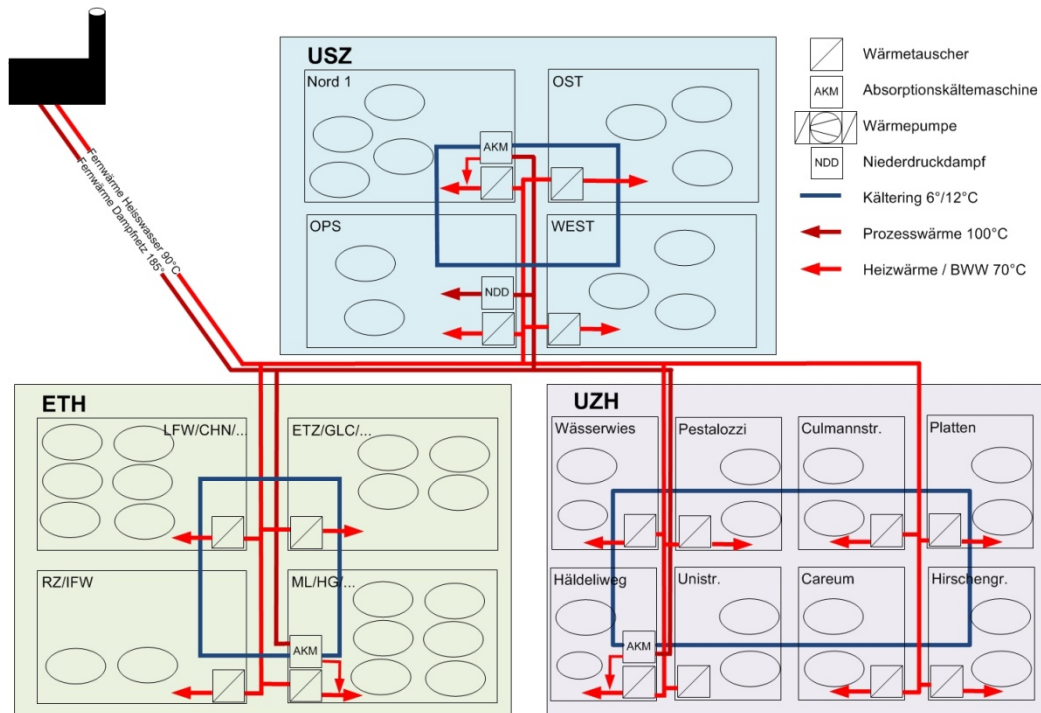


Abbildung 35: A2 Fernwärme mit Kältecluser

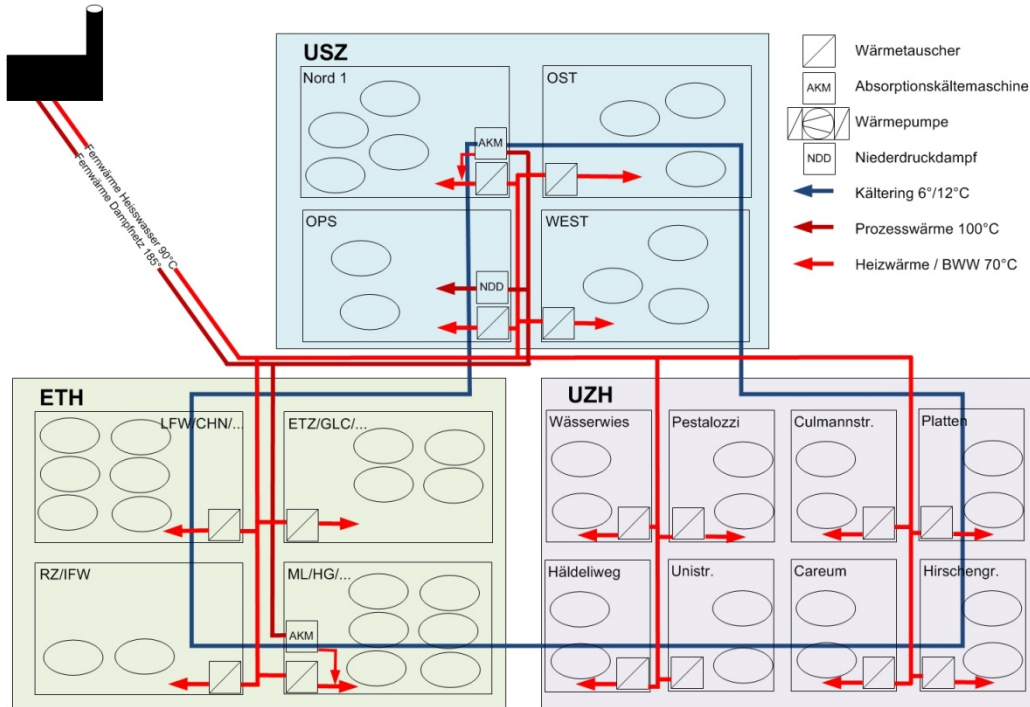


Abbildung 36:A3 Fernwärme mit Kältering

7.1.2. Strategie B

Über einen Annergierung, in welchen in Strategie B Erdspeicher eingebunden sind, wird das Areal durch saisonale Verlagerung weitestgehend mit Wärme und Kälte versorgt.

In Variante B1 wird zusätzlich der Rest des Wärmebedarfs über Gas als fossilen Energieträger bereitgestellt.

Das Gas wird in Variante B2 durch Fernwärme in Form von Heisswasser und Dampf ersetzt, was der deutlich ökologischeren Variante entspricht.

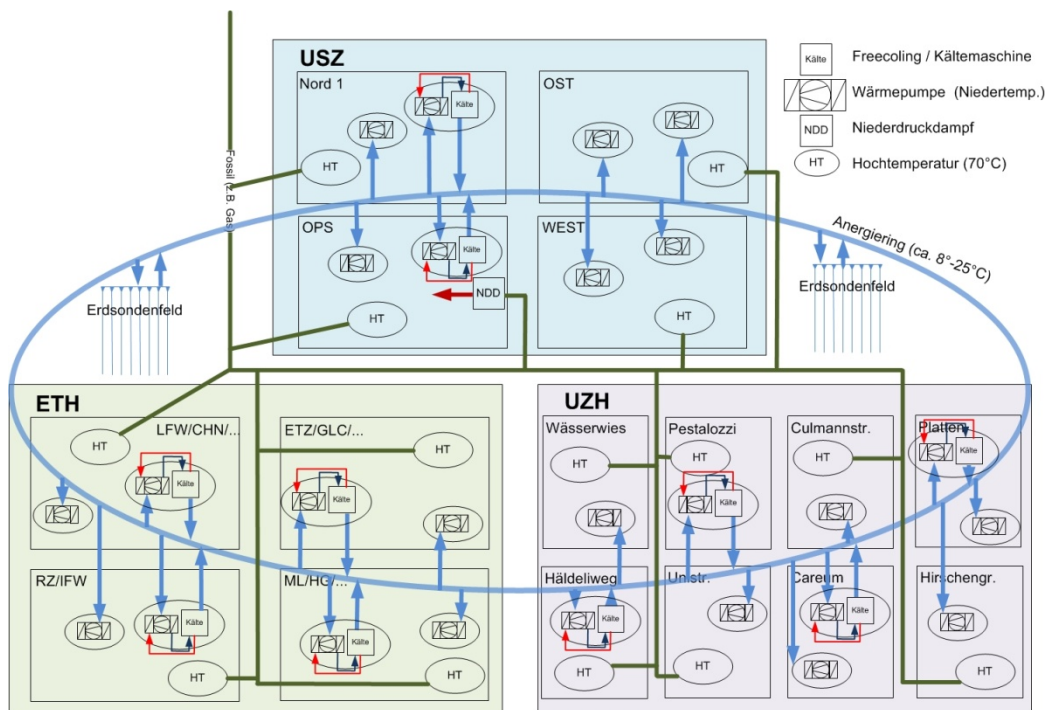


Abbildung 37: B1 Annergierung mit fossilem Energieträger

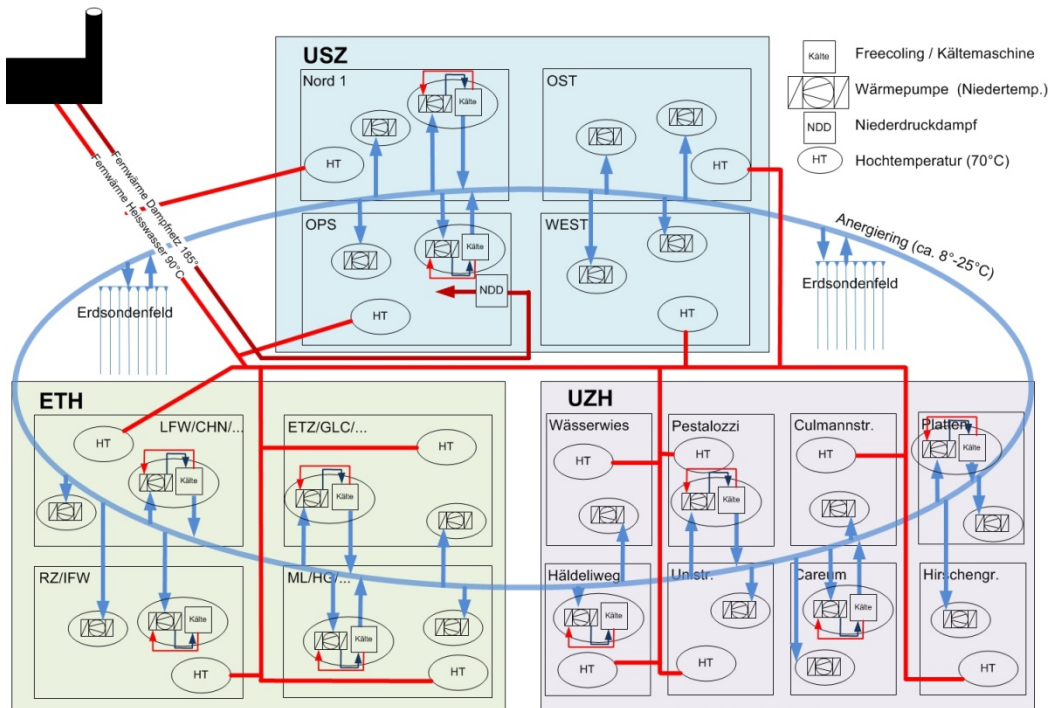


Abbildung 38: B2 Anergierung mit Fernwärme

7.1.3. Strategie C

In Strategie C ist eine Kombination aus dem Bezug von Fernwärme und der Nutzung von Seewasser geplant. Fernwärme wird über Heisswasser und Dampf bezogen. Als Wärmequelle und -senke wird das Seewasser genutzt, um im Sommer zu kühlen und im Winter zu heizen.

In Strategie C1 ist vorgesehen, die Seewasserversorgung dezentral zu gestalten. Im Gegensatz dazu sind die Varianten C2 und C3 in einem Kältecluster bzw. einem Kältering miteinander verbunden.

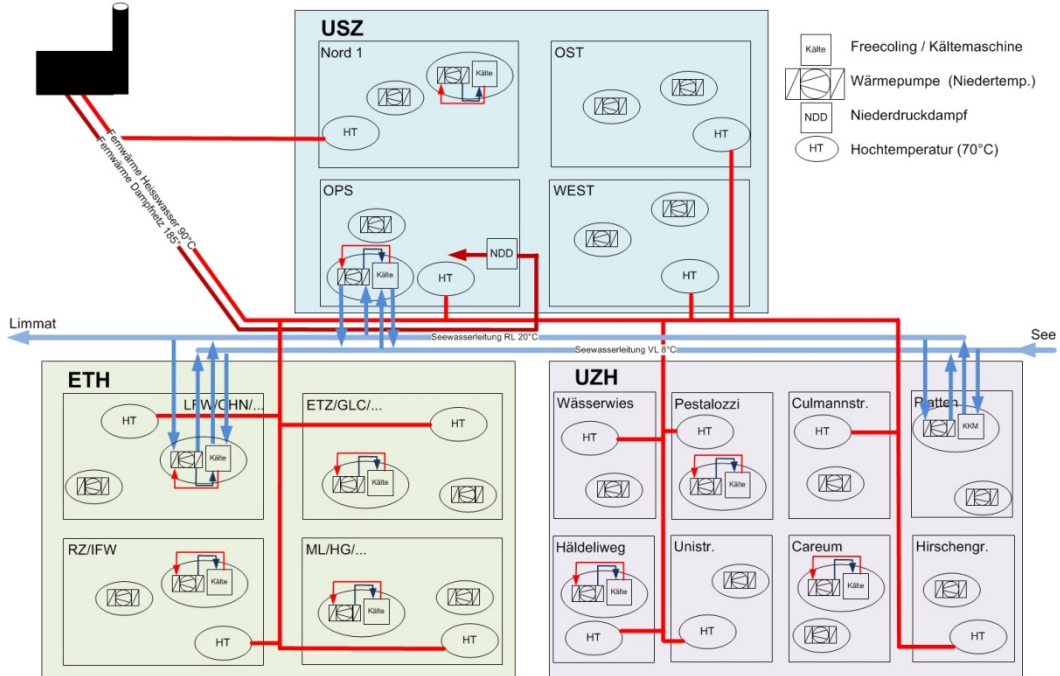


Abbildung 39: C1 Seewasser mit Fernwärme dezentral

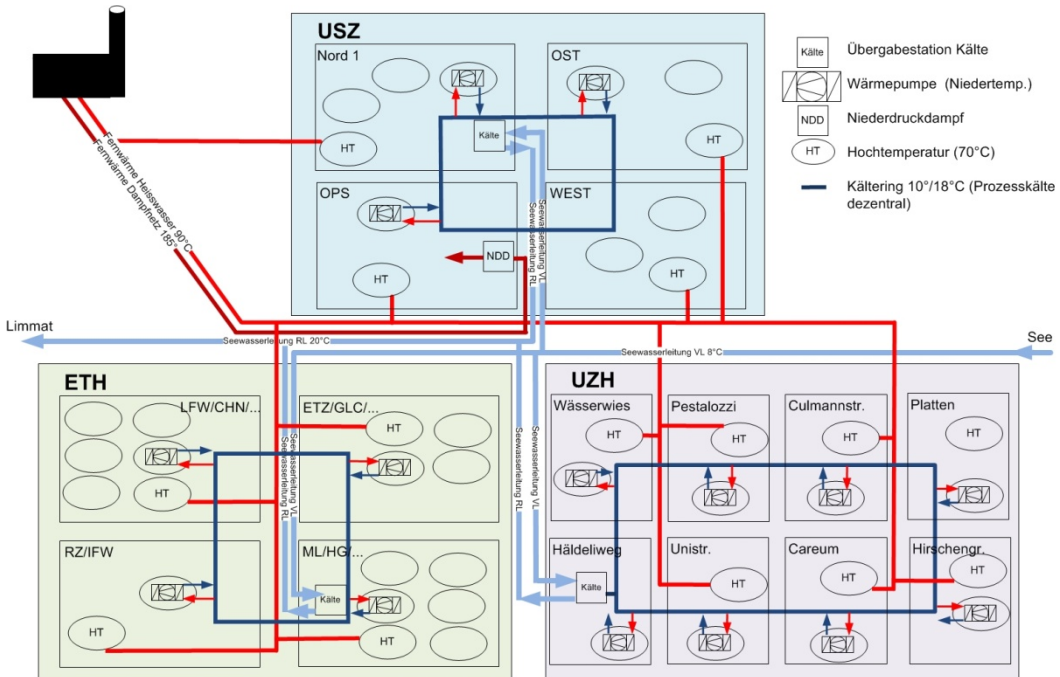


Abbildung 40: C2 Seewasser mit Fernwärme und Kältecluster

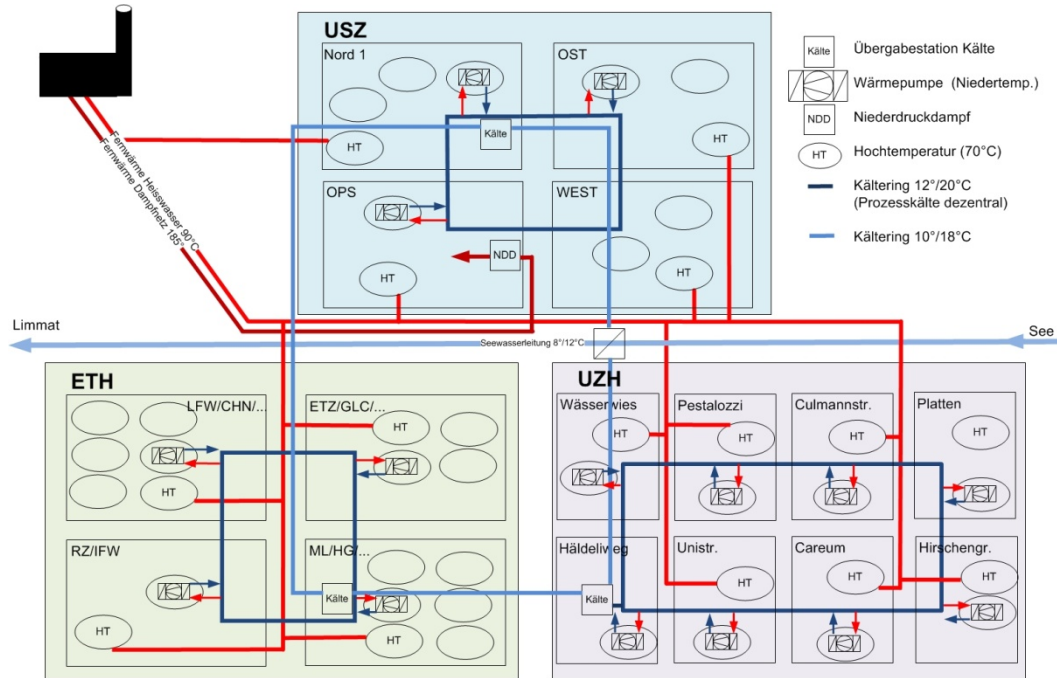


Abbildung 41: C3 Seewasser mit Fernwärme und Kältering

8. Bilanzierung der Varianten

8.1. Bilanzierungsgrundlagen

Für den Vergleich der einzelnen Konzeptvarianten wird eine Bilanzierung der folgenden Parameter vorgenommen:

- Durch die Versorgung induzierte Treibhausgasemissionen
- Bedarf an Endenergie
- Erneuerbarkeit des Endenergieträgers
- Primärenergiebedarf
- Investitionskosten
- Mittlere jährliche Kosten
- Energiegestehungskosten
- Energiepreissensitivität

8.1.1. Emissionsfaktoren

Die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen wird mit den Emissionsfaktoren gemäss ESU-services: Primärenergiefaktoren von Energiesystemen¹¹ vorgenommen. Diese Faktoren werden auch im Methodikpapier Auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft der Stadt Zürich sowie der SIA 2040 verwendet.

Für die Fernwärme wurde ein Emissionsfaktor gemäss dem Energieträgermix (siehe Kapitel 3.2.1) ermittelt. Dieser Wert wurde von Entsorgung + Recycling Zürich bestätigt.

Tabelle 8: Treibhausgasemissionsfaktoren (Gemäss dem Bericht 'Primärenergiefaktoren von Energiesystemen, Version 2.2+, 2014', Tab 2.1: Bezugsgrösse ist die in das Gebäude gelieferte Energie, ohne Aufwendung für die Herstellung des im Gebäude liegenden Energiewandlers)

CO ₂ eq Belastung [kg CO ₂ /kWh]	Exkl. grauer Energie
Heizöl	0.299
Erdgas (oberer Heizwert)	0.238
Biogas (oberer Heizwert)	0.133
Strom (CH Verbrauchermix)	0.137
Strom (CH Produktionsmix)	0.029
Strom (CH zertifizierter Strom = Wasserkraft)	0.014
Strom EU (UCTE-Mix)	0.522
Abwärme	0.000
Erdwärme	0.000
Flachkollektor Warmwasser	0.000
Photovoltaik	0.000
Fernwärme BHKW Gas	0.126
Fernwärme BHKW Biogas	0.079
Fernwärme Durchschnitt CH	0.108
Fernwärme Durchschnitt KVA-Netze	0.09
Fernwärme Zürich	0.048
Heizkraftwerk Holz	0.036
Strom aus BHKW Gas	0.6696
Strom aus BHKW Biogas	0.423
Strom Heizkraftwerk Holz	0.101

¹¹ Treeze, *Primärenergiefaktoren von Energiesystemen*, Version 2.2+, 2014

8.1.2. Erneuerbarkeit

Der prozentuale Anteil an Erneuerbarkeit berechnet sich gemäss ESU-services: Primärenergiefaktoren von Energiesystemen¹² und zeigt auf, welcher Anteil an erneuerbarer Primärenergie bei der jeweiligen Konzeptvarianten erreicht wird.

Tabelle 9: Prozentualer Anteil der Erneuerbarkeit beim Energieträger (Gemäss dem Bericht 'Primärenergiefaktoren von Energiesystemen, Version 2.2+, 2014', Tab 2.1: Bezugsgrösse ist die in das Gebäude gelieferte Energie, ohne Aufwendung für die Herstellung des im Gebäude liegenden Energiewandlers)

Erneuerbarkeit Energieträger	
Heizöl	0.8%
Erdgas	0.0%
Biogas	8.8%
Strom (CH Verbrauchermix)	14.3%
Strom (CH Produktionsmix)	27.4%
Strom (CH zertifizierter Strom = Wasserkraft)	97.5%
Abwärme	100.0%
Fernwärme BHKW Gas	1.6%
Fernwärme BHKW Biogas	8.3%
Fernwärme Durchschnitt CH	6.9%
Fernwärme Durchschnitt KVA-Netze	1.4%
Fernwärme Zürich (gemäss PE-Trägermix)	22.0%
Heizkraftwerk Holz	93.6%
Strom aus BHKW Gas	0.3%
Strom aus BHKW Biogas	8.6%
Strom Heizkraftwerk Holz	96.2%

¹² Treeze, *Primärenergiefaktoren von Energiesystemen*, Version 2.2+, 2014

8.1.3. Primärenergiefaktoren

Der Primärenergiefaktor gibt an, wie gross der Anteil für die Erzeugung und Bereitstellung der Endenergie ist. Die verwendeten Primärenergiefaktoren sind von ESU-services: Primärenergiefaktoren von Energiesystemen¹³.

Tabelle 10: Primärenergiefaktoren (Gemäss dem Bericht 'Primärenergiefaktoren von Energiesystemen, Version 2.2+, 2014', Tab 2.1: Bezugsgrösse ist die in das Gebäude gelieferte Energie, ohne Aufwendung für die Herstellung des im Gebäude liegenden Energiewandlers)

Primärenergiefaktoren	Exkl. grauer Energie
Heizöl	1.23
Erdgas	1.07
Biogas	0.34
Strom (CH Verbrauchermix)	3.14
Strom (CH Produktionsmix)	2.48
Strom (CH zertifizierter Strom = Wasserkraft)	1.21
Strom EU (UCTE-Mix)	3.18
Abwärme	0.00
Flachkollektor Warmwasser	0.00
Photovoltaik	0.00
Fernwärme BHKW Gas	0.61
Fernwärme BHKW Biogas	0.24
Fernwärme Durchschnitt CH	0.87
Fernwärme Durchschnitt KVA-Netze	0.71
Fernwärme Zürich	0.531
Heizkraftwerk Holz	1.41
Strom aus BHKW Gas	2.94
Strom aus BHKW Biogas	0.93
Strom Heizkraftwerk Holz	3.73

¹³ Treeze, *Primärenergiefaktoren von Energiesystemen*, Version 2.2+, 2014

8.2. Treibhausgasemissionen

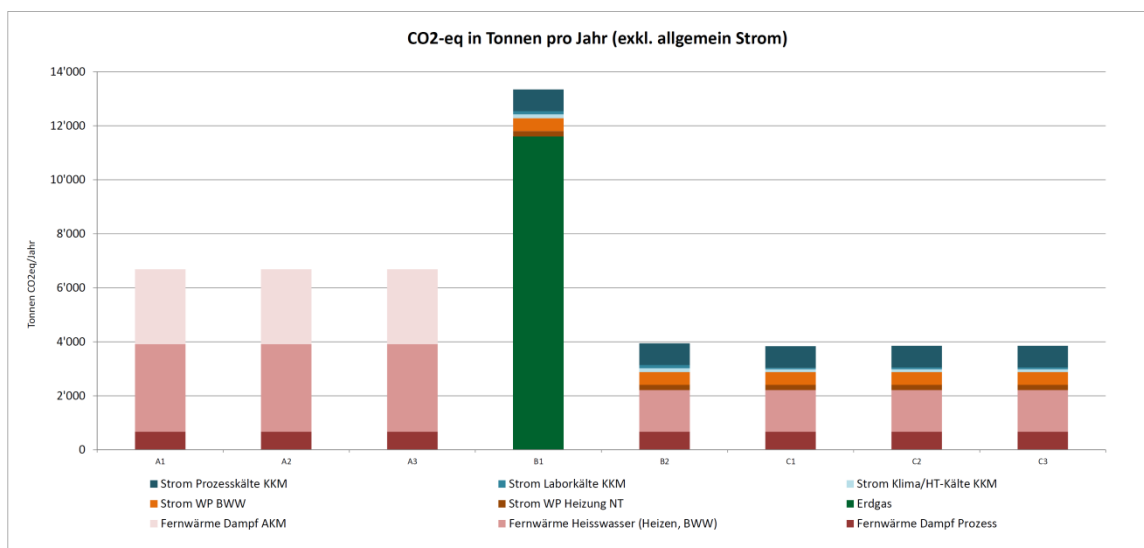


Abbildung 42: Durch die Versorgung induzierte Treibhausgasemissionen

Bei den Treibhausgasemissionen zeigt sich der hohe Gasanteil bei der Variante B1. Die Varianten der Strategie A und der Strategie C sowie B2 sind jeweils sehr ähnlich bezüglich der induzierten Treibhausgasemissionen. Bei der Strategie A hängen die Emissionen stark vom Anteil der verwendeten fossilen Energieträger zur Spitzenlastdeckung ab, bei Strategie C sowie der Variante B2 vom verwendeten Strommix (bilanziert wurde der CH-Verbrauchermix).

8.3. Endenergie

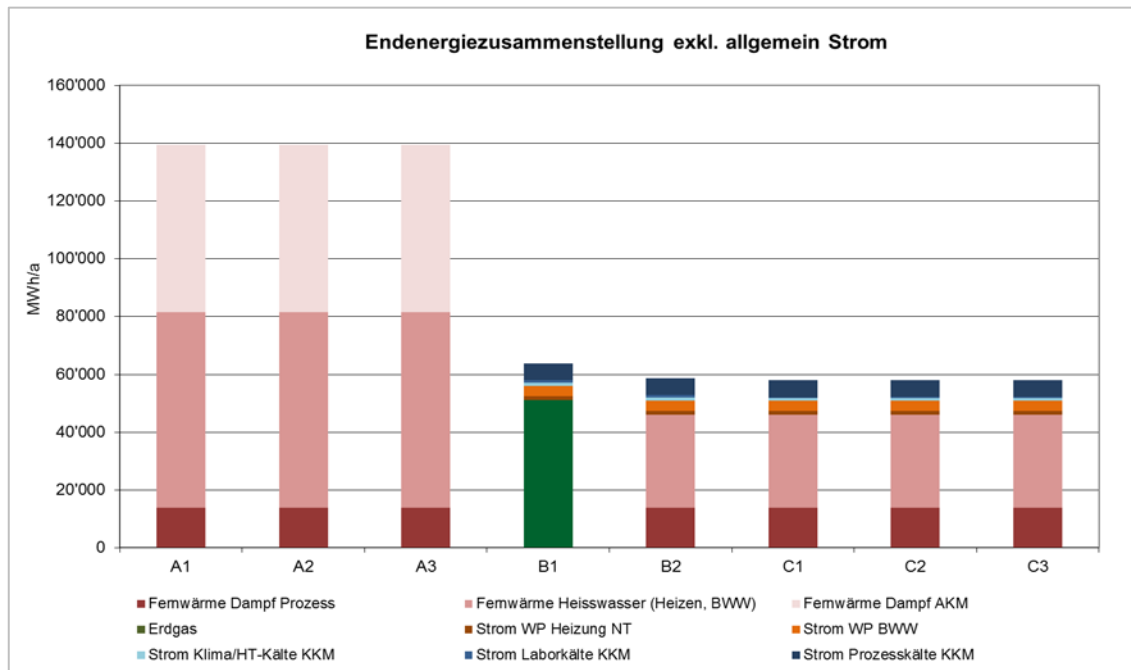


Abbildung 43: Vergleich Endenergiebedarf

Die benötigte Endenergie für die Deckung des Nutzenergiebedarfs zeigt, wie effizient ein Versorgungssystem bezüglich des Energieeinsatzes ist. Als Systemgrenze für die Bilanzierung der Endenergie gilt der Masterplanperimeter (vgl. Kapitel 2.4). Dies bedeutet, dass Abwärme, welche innerhalb des Perimeters entsteht und genutzt wird, nicht in die Endenergie bilanziert wird. Die Varianten aus der Strategie A schneiden dabei nicht gut ab, da die Verwendung der Fernwärme zur Kälteproduktion (Absorption) sehr ineffizient ist, wo hingegen die Varianten mit Kompressionskältemaschinen (KKM) und einem Anteil an Wärmepumpen eine gute Effizienz aufweisen. Diese lässt sich mit entsprechenden baulichen Massnahmen (tiefe Vorlauftemperaturen) und der technologischen Entwicklung noch weiter steigern.

8.4. Erneuerbarkeit

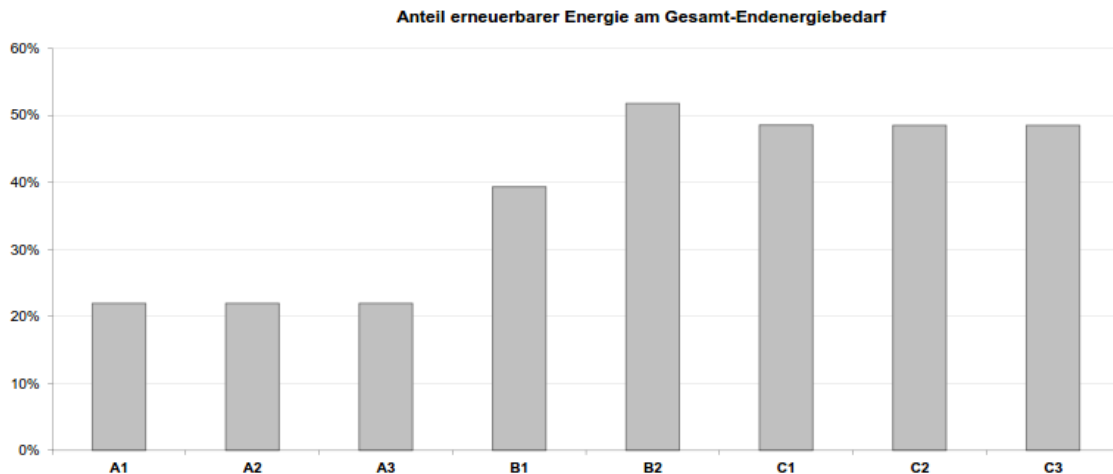


Abbildung 44: Vergleich Erneuerbarkeit

Die Fernwärme ist zwar bezüglich der Emissionen als ökologisch zu bewerten, bezüglich des Anteils der Erneuerbarkeit jedoch nicht, da Abfall nicht als erneuerbare Energiequelle gilt.

8.5. Primärenergiebedarf

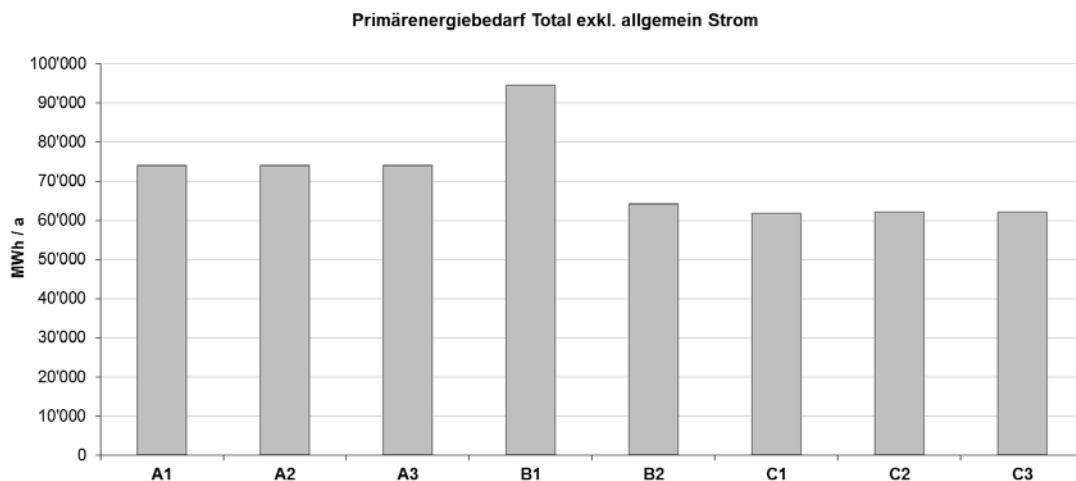


Abbildung 45: Vergleich Primärenergiebedarf

Betreffend den Bedarf an Primärenergieträgern sind alle Varianten, ausser der fossilen Variante B1, in etwa gleich zu bewerten.

8.6. Wirtschaftlichkeit/Kosten

8.6.1. Grundlagen

Beim Wirtschaftlichkeitsvergleich wurde die Methodik gemäss Lebenszykluskosten (Annuitätsmethode) angewandt. Aufgrund der grossen Unsicherheiten bezüglich der Investitionskosten handelt es sich nur um einen relativen Vergleich unter den Varianten und nicht um eine absolute Betrachtung mit den zu erwartenden Investitionskosten.

Für die Investitionskosten wurde eine Kapitalverzinsung von 3 % angenommen. Als jährliche durchschnittliche Teuerung (allgemeine Teuerung) wurde 1% festgelegt.

Ermittelt wurden die jährlichen Kapitalkosten (kapitalisierte Investitionen), die jährlichen Betriebskosten (Wartung und Unterhalt) sowie die jährlichen Energiekosten (eingekaufte Energie).

8.6.2. Investitionskosten

Die Investitionskosten für die Wärme- und Kälteversorgung wurden für alle Varianten bestimmt und miteinander verglichen. Dabei wurden die Elemente bilanziert, welche für die übergeordnete Energieversorgung und Verteilung relevant sind. Die sekundäre Seite, mit der Verteilung der Energien sowie die nötigen baulichen Anpassungen, wurde nicht bilanziert. Folgende Investitionen wurden berücksichtigt:

Dampfumformer Fernwärme
Wärmetauscher Fernwärme
Absorptionskältemaschinen (AKM)
Brenner
Wärmepumpen (WP)
Kompressionskältemaschinen (KKM)
Seewasserleitung
Erdspeicher (Erdwärmesonden)
Verteilnetz
Unvorhergesehenes (10%)
Planungshonorar (15%)

Insbesondere die Investitionskosten für die Seewasserleitung sind zum jetzigen Zeitpunkt nur sehr schwer zu beziffern, da noch mit vielen Unbekannten behaftet. Es kann daher nur eine relative Beurteilung der Varianten vorgenommen und keine Kostenschätzung.

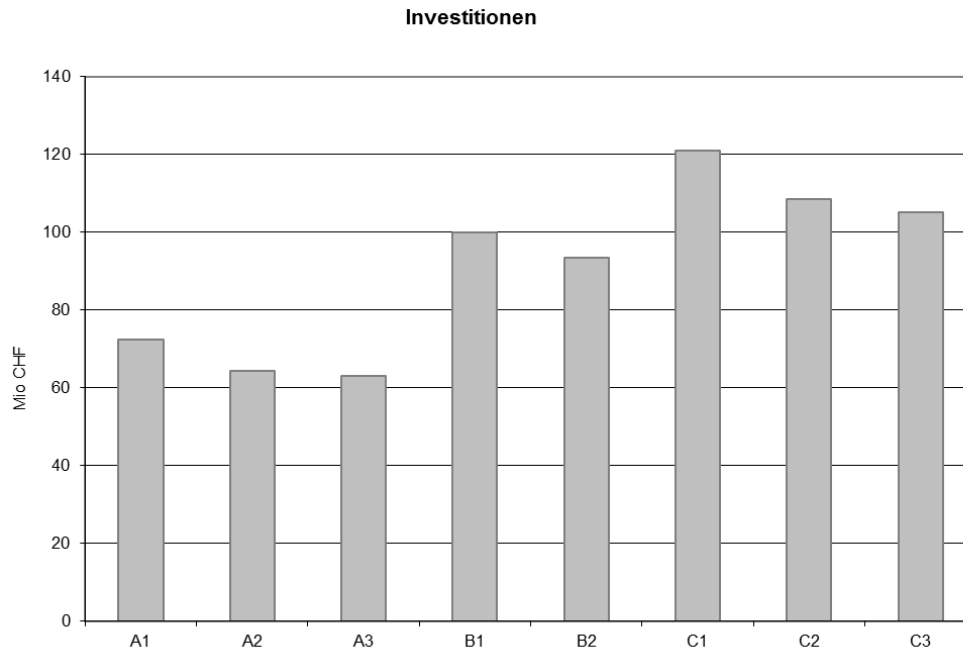


Abbildung 46: Vergleich der Investitionskosten

Die Strategie A schneidet hier am günstigsten ab, gefolgt von der Strategie B im Durchschnitt. Strategie C ist nach der Betrachtung der Investitionskosten am teuersten.

8.6.3. Mittlere jährliche Kosten

Die mittleren jährlichen Kosten zeigen auf, wie viel die Energieversorgung (Wärme und Kälte) über die Amortisationszeit pro Jahr kostet. Dabei werden neben den kapitalisierten Investitionskosten auch die Betriebskosten sowie die Energiebezugskosten bilanziert. Die Betriebskosten werden über einen Prozentsatz der Investitionskosten abgeschätzt, welcher sich aus dem erwarteten Aufwand ergibt. Die Energiebezugskosten errechnen sich aus dem Energiepreis der jeweiligen Energieträger. Diese sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Energiepreise

Energieträger	Energiepreis [CHF/kWh]
Erdgas	0.066
Biogas	0.143
Fernwärme Dampf Prozess	0.080
Fernwärme Heisswasser (Heizen, BWW)	0.080
Fernwärme Dampf AKM	0.040
Strom WP Heizung NT	0.141
Strom WP Heizung HT (nur bei IST)	0.141
Strom WP BWW	0.141
Strom Klima/HT-Kälte KKM	0.141
Strom Laborkälte KKM	0.141
Strom Prozesskälte KKM	0.141

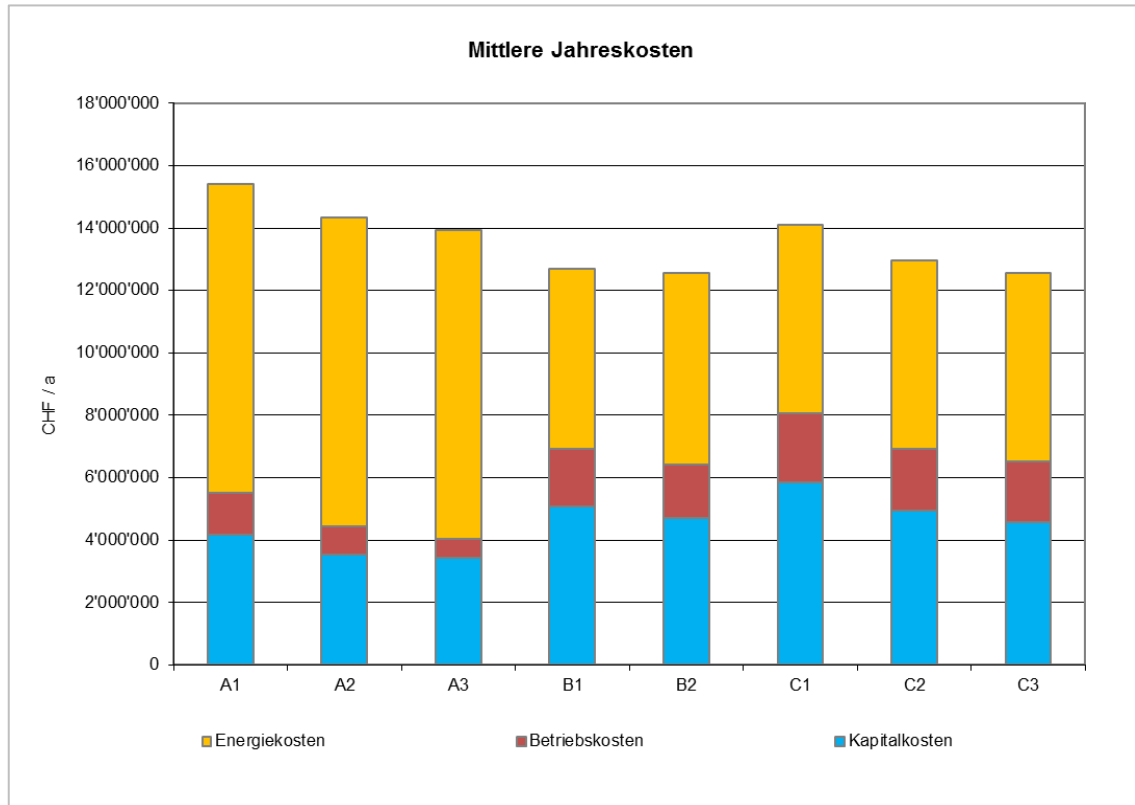


Abbildung 47: Vergleich der mittleren Jahreskosten

Bei den mittleren jährlichen Kosten sind alle Varianten aufgrund der Ungenauigkeit ähnlich zu bewerten, wobei die Strategien B und C etwas günstiger als Variante A zu betrachten sind. Den Ausschlag dafür geben hier die Energiekosten, die bei den Strategien B und C deutlich niedriger ausfallen. Dieser Effekt wird sich durch die Energiepreissteigerung in Zukunft noch verstärken.

8.6.4. Gestehungskosten

Die Gestehungskosten für Wärme und Kälte ergeben sich aus den mittleren jährlichen Kosten, geteilt durch die Nutzenergie. Auch hier zeigt sich, dass alle Varianten mit Berücksichtigung der Ungenauigkeiten in etwa gleich sind und sich marktübliche Preise abbilden. Einzig die Zusammensetzung der Gestehungskosten aus dem Anteil an Energie-, Kapital- und Betriebskosten ist bei den einzelnen Varianten unterschiedlich.

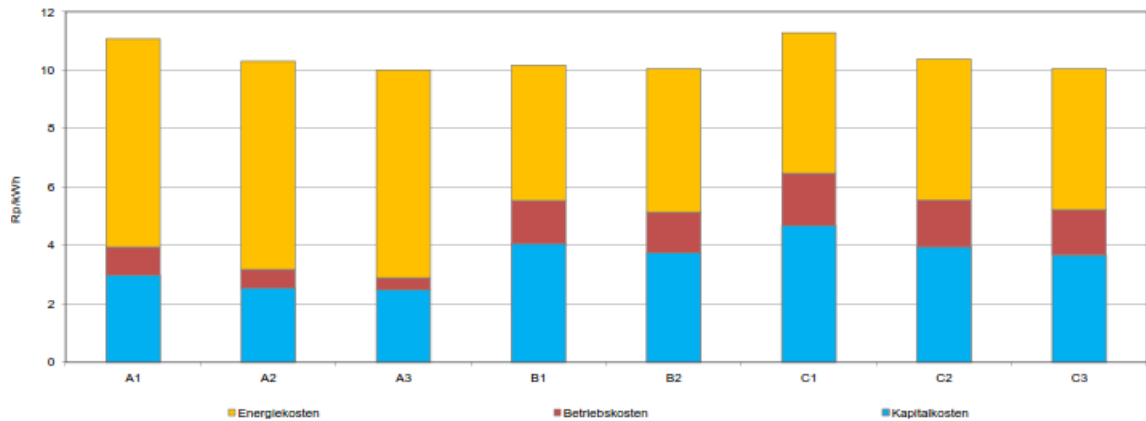


Abbildung 48: Vergleich der Gesteungskosten

8.6.5. Energiepreissensitivität

Aufgrund der Unterschiede in der Zusammensetzung der Gesteungskosten bei den Varianten wird die Energiepreissensitivität betrachtet. Dies bedeutet, wie stark sich die Gesteungskosten bei unterschiedlichen Energiepreissteigerungen ändern. In Abbildung 49 werden die Varianten A3, B2 und C3 miteinander verglichen bei einer Preissteigerung von 1% (gestrichelt) bzw. 5% (ausgezogene Linie). Es zeigt sich dabei, dass die Variante A3 aufgrund des hohen Anteils an eingekaufter Energie (Fernwärme) am sensitivsten auf die Preissteigerung reagiert.

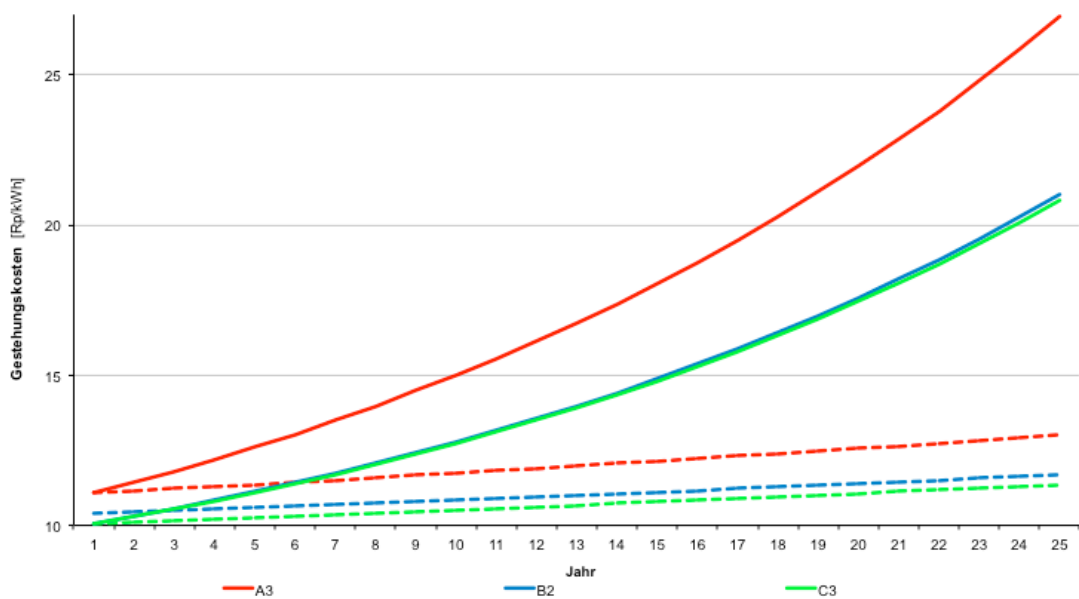


Abbildung 49: Energiepreissensitivität zwischen einer Teuerung von 1% bzw. 5%

8.7. Nutzwertanalyse

Um die Varianten ganzheitlich miteinander zu vergleichen, wird mit den zuvor definierten Kriterien und Gewichtungen eine Nutzwertanalyse durchgeführt.

8.7.1. Kriterien/Gewichtung

Bei den Kriterien wurden 5 Hauptkriterien: Ökologie, Ökonomie, Soziokultur, Politischer Einfluss und Skalierbarkeit/Betriebssicherheit definiert. Diese 5 Hauptkriterien erhalten eine Gewichtung gemäss den Zielvorgaben aus dem Masterplan:

Ökologie:	3
Wirtschaftlichkeit:	2
Soziokultur:	2
Politischer Einfluss:	1
Skalierbarkeit/Betriebssicherheit:	1

Diese Gewichtung ergibt sich auch daraus, dass davon ausgegangen werden muss, dass alle Varianten den Hauptkriterien Skalierbarkeit/Betriebssicherheit und Politischer Einfluss gerecht werden müssen.

Zu den Hauptkriterien werden weitere ungewichtete Teilkriterien zugewiesen, welche sich nach harten Faktoren aus der Bilanzierung zuweisen lassen. Die Bewertung erfolgt nach Punkten zwischen 1 (schlecht) und 5 (sehr gut). Je nach Vorgehen lassen sich ganze Punkte oder Teilpunkte zuweisen.

Die Nutzwertanalyse wurde von A+W sowie von Mitgliedern der Projektleitung durchgeführt. Die Resultate dazu sind im folgenden Kapitel dargestellt.

Hauptkriterien 1-3 Gewichtung	Teilkriterien 1-3 Gewichtung	Gewichtung	Bewertungshinweise	Messgrösse
3 Ökologie Energieeffizienz	1 1.01 Wertigkeit Energieträger	3.00	Wie hoch ist der Bedarf hochwertiger Endenergie für die Deckung des Nutzenergiebedarfs?	COP [-]
	1 1.02 Erneuerbarkeit	3.00	Wie gross ist der Anteil an erneuerbaren Primärenergieträgern?	Menge erneuerbare Energien am Primärenergiebedarf [%]
	1 1.03 Primärenergieverbrauch	3.00	Wie hoch ist der Primärenergiebedarf für die Deckung des Nutzenergiebedarfs?	Verhältnis Primärenergiebedarf zu Nutzenergiebedarf
3 Schadstoff Emissionen	1 2.01 Treibhausgas Emissionen	3.00	Wie gross sind die THG Emissionen?	CO2 eq Ausstoss [kg CO2eq / a]
	1 2.02 übrige Schadstoffe	3.00	Wie gross ist die Belastung durch Schadstoffe wie Feinstaub, VOC etc.?	Schadstoffausstoss [ppm]
2 Ökonomie Wirtschaftlichkeit: Life Cycle Cost	1 3.01 Energiegestehungskosten/mittlere Jahreskosten	2.00	Wie hoch sind die mittleren jährlichen Kosten	Preis [CHF/a]
	1 3.02 Sensitivität Energiepreisentwicklung	2.00	Wie stark ist die Energieversorgung abhängig von Energiepreisveränderungen?	Änderung mittlere Jahreskosten / Energiepreisänderung [%]
	1 3.03 1. Investition	2.00	Wie hoch ist die erste Investition?	Preis [CHF]
2 Soziokultur Flexibilität	1 4.01 Flexibilität / Benutzerfreundlichkeit	2.00	Wie gut lässt sich das System auf unterschiedliche Nutzeransprüche anpassen?	Anwendbarkeit [-]
	1 4.02 Autarkiegrad/Abhängigkeit von "Dritten"	2.00	Wie gross ist die Abhängigkeit von "Dritten" (Bsp. erz)/der Autarkiegrad?	Autarke Energiemenge/Jahr [MWh]
	1 4.03 Verfügbarkeit Energieträger	2.00	Ist die Abfall / Holz / Erdgasverfügbarkeit in Zukunft eingeschränkt?	Verfügbarkeit [-]
1 Politischer Einfluss	1 5.01 Energetische Ziele der Stadt Zürich	1.00	Beitrag zur 2000-Watt-Gesellschaft	Zielerreichung SIA 2040
	1 5.02 Kompatibilität zur lokale Energiewirtschaft	1.00	Wie gross ist der Anteil Nutzenergie basierend auf lokalen Energieträgern	Anteil [%]
	1 5.03 Leuchtturmcharakter / Kommunikation	1.00	Wie innovativ ist die neue Energieversorgung? Wie stark trägt sie zur Werterhaltung der Immobilie dazu?	Innovationsgrad[%]
1 Technik Skalierbarkeit/Betriebssicherheit	1 6.01 Skalierbarkeit	1.00	Wie flexibel kann das System erweitert werden?	Ausbaufähigkeit [-]
	1 6.02 Anfälligkeit der Energieerzeugung	1.00	Wie wahrscheinlich sind Betriebsausfälle?	Wahrscheinlichkeit [%]

Tabelle 12: Übersicht der Bewertungskriterien für die Nutzwertanalyse

8.7.2. Resultate

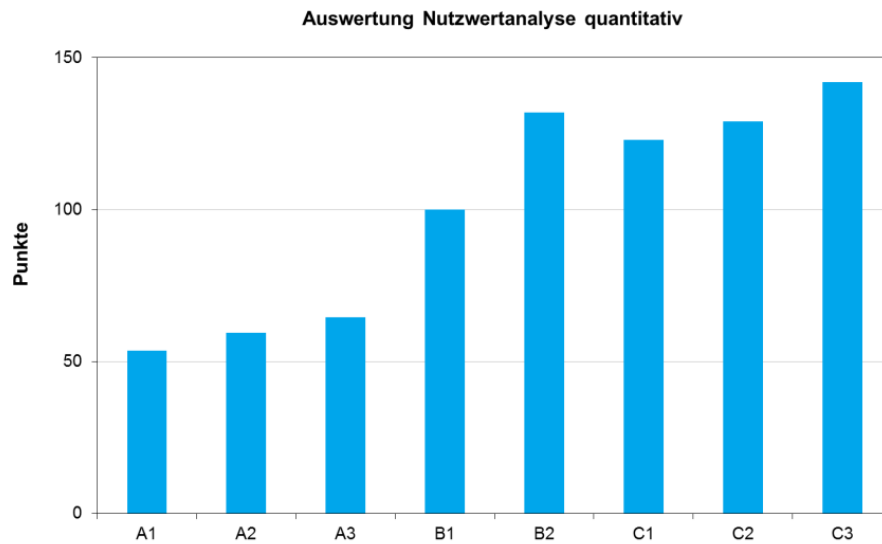


Abbildung 50: Resultate der Nutzwertanalyse von A+W

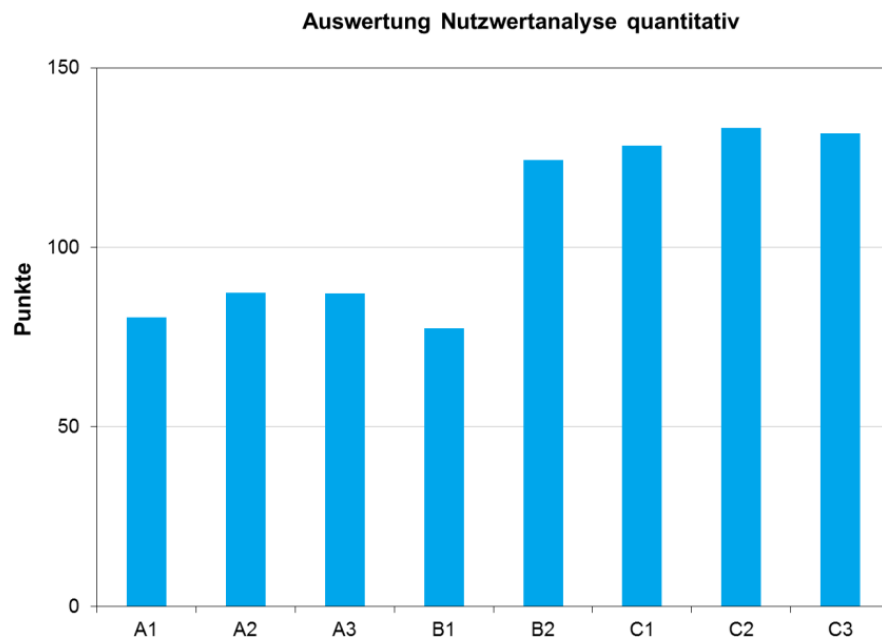


Abbildung 51: Resultate der Nutzwertanalyse Projektleitung

Bei den Resultaten der beiden Nutzwertanalysen zeigt sich, dass die Varianten B2, C1, C2 und C3 am besten abschneiden. Einzig die Variante B1 wurde stark unterschiedlich bewertet, insbesondere in den Hauptkriterien Soziokultur und Skalierbarkeit/Betriebsicherheit.

9. Fazit und Empfehlungen

9.1. Zielvorgaben

Reduktion der Energiedichte

Mit den untersuchten Strategien und Konzeptvarianten wurde gezeigt, dass die angestrebte Reduktion von 20 % des Eintrags an nicht erneuerbarer Energien – bezogen auf die dem Masterplanperimeter zugeführten Energien – für die Deckung von Wärme und Kälte (exklusive allgemeiner Strom) bis 2035 realistisch ist. Dies bedingt neben einem effizienten Umgang mit dem Endenergieträger gemäss dem angestrebten Sanierungspfad beim Bestand auch eine konsequente Nutzung der im Perimeter anfallenden Abwärme.

Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen, welche durch die thermische Versorgung des Hochschulquartiers induziert werden, sollen gegenüber dem heutigen Zustand trotz des Flächenzuwachses um 25% reduziert werden. Dieses Ziel ist mit den Strategien B2 und C zu erreichen (vgl. Abbildung 32)

Energiewertigkeit des Endenergieträgers

Es sollen keine hochwertigen Energieträger sowie Feuerungsanlagen zur Niedertemperatur-Wärmeversorgung verwendet werden. Klima- und Laborkälte soll in erster Priorität über Freecooling erfolgen; das heisst nicht von Maschinen, sondern von Kälte aus der Umgebung (Erdreich, Seewasserleitung):

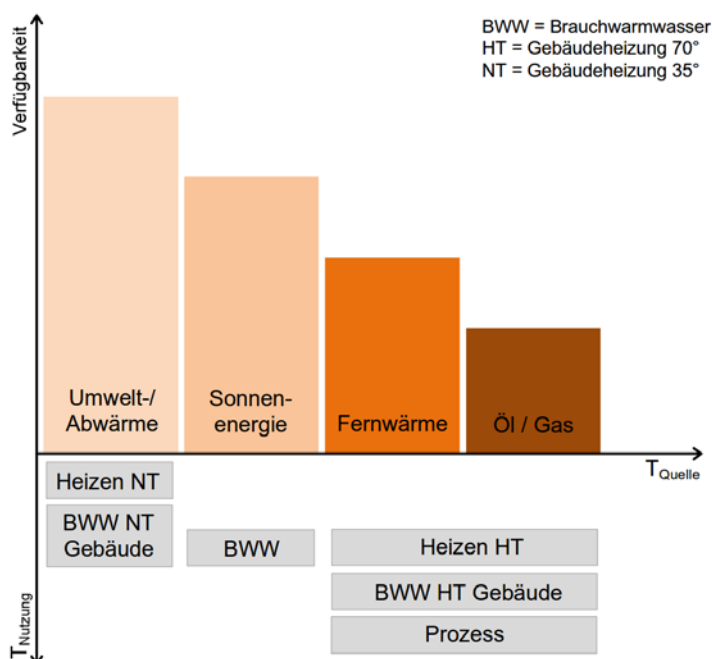


Abbildung 52: Vorgesehene Energieträger nach Temperaturniveau beim Nutzer

Vorgaben für Effizienz (Nutzenergie/Endenergie)

Mass für die Effizienz ist die Jahresarbeitszahl (JAZ). Für das Hochschulquartier ist vorgesehen, dass in Zukunft hoch effiziente Systeme für die thermische Versorgung der Gebäude und Prozesse zum Einsatz kommen. Dies verlangt neben der Effizienz bei den eingesetzten Maschinen (Wärmepumpen, Kältemaschinen etc.) noch weitere Parameter, die beachtet werden müssen. Insbesondere ist der Temperaturunterschied zwischen Ein- und Austrittstemperatur der Maschinen möglichst gering zu halten. Diese hängen zum einen von der zur Verfügung stehenden Quellen (Erdreich, Seewasser, Luft etc.) ab, zum anderen gibt es aber auch bauliche Anforderungen (Dämmung, Sonnenschutz, Wärme- bzw. Kälteabgabesystem etc.). Diese tragen dazu bei, dass die Systemtemperaturen im Abgabesystem tief (bei Wärme) bzw. hoch (bei Kälte) gehalten werden können.

Stromversorgung

Es wird davon ausgegangen, dass im Hochschulquartier der Strombedarf aus verschiedenen Gründen (allgemeine Zunahme elektrischer Geräte mit höherer Leistung, allgemeine Zunahme IT, mehr hoch installierter Fläche etc.) zunimmt. Diesem Trend ist mit effizienten Geräten entgegenzuwirken. Insbesondere ist dabei der Beleuchtung (Leuchteneffizienz, Steuerung, Anordnung etc.) entsprechende Aufmerksamkeit zu schenken.

Bezüglich des verwendeten Strommix hat jede Institution, zusätzlich die Möglichkeit durch Auswahl eines ökologisch verbesserten Produktes - im Sinne seiner Vorbild- und Öffentlichkeitsfunktion - die Treibhausgas-Bilanz zu optimieren.

Die Eigenproduktion von Strom mittels PV-Anlagen soll in den folgenden Phasen noch vertieft geprüft werden, unter Berücksichtigung der städtebaulichen und denkmalpflegerischen Verträglichkeit. Das Potenzial zur Deckung des Eigenbedarfs innerhalb der einzelnen Institutionen beträgt rund 3-4% des Gesamtbedarfs, wobei auch die anfallenden Lastenspitzen jeweils direkt genutzt werden können. Zusammen mit dem Elektroversorger ist bezüglich der Netzbelastung bei den Tagesleistungsspitzen eine Strategie auszuarbeiten.

9.2. Fazit

Die Fernwärme wird im Masterplanperimeter auch in Zukunft eine gewichtige Rolle zur Versorgung von Hochtemperaturnutzungen spielen. Diese sollte jedoch nicht für die Versorgung von Niedertemperaturbezüglern und zur Kälteerzeugung (Absorption) verwendet werden. Für die Versorgung der Niedertemperaturbezüglern und des Kältebedarfs im Hochschulgebiet soll prioritär die Machbarkeit einer Seewasserleitung sowie eines Erdspeichersystems vertieft geprüft werden. Eine strategische Entscheidung über eine Seewasserleitung oder einen Erdspeicher muss von allen Institutionen gemeinsam getragen werden.

Aufgrund dieser Entscheidung muss ein Energiekonzept ausgearbeitet werden, wobei darauf zu achten ist, dass in Zukunft die Synergien zwischen den Institutionen zur thermischen Versorgung genutzt werden.

Abgeleitet vom Energiekonzept ergeben sich Projektpflichten, welche es in Zukunft bei Bauvorhaben im Hochschulquartier zu beachten gilt.

9.3. Weiteres Vorgehen/Nächste Schritte

Vertiefte Prüfungen der Machbarkeiten:

- Machbarkeitsstudie Seewassernutzung für den Masterplanperimeter
- Vertiefte Prüfung zur Machbarkeit der Erdsonden im Masterplanperimeter
- Koordination mit der Energieplanung der Stadt Zürich sowie der Fernwärme
- Definition der Gebäudestandards in Gestaltungsplänen
- Ausarbeitung einer Versorgungsstrategie mit dem EWZ betreffend der zukünftigen Elektroversorgung

Konzeptentscheid

- Ausarbeitung des Energiekonzepts für den Masterplanperimeter
- Definition der dazu erforderlichen Projekte (institutionsübergreifend)
- Definition der erforderlichen Vereinbarungen zwischen den Institutionen

Projektpflichten und Wettbewerbe

- Definition der zulässigen Endenergieträger pro Baufeld
- Vorgaben bezüglich Effizienz bei der Wärmeerzeugung
- Vorgaben zum Energiekonzept als Bestandteil des Wettbewerbs

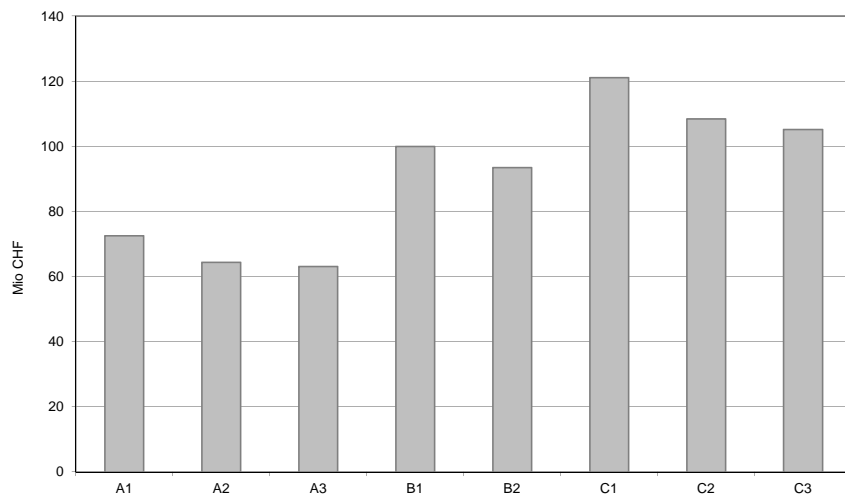
10. Anhang

Mittlere Jahreskosten

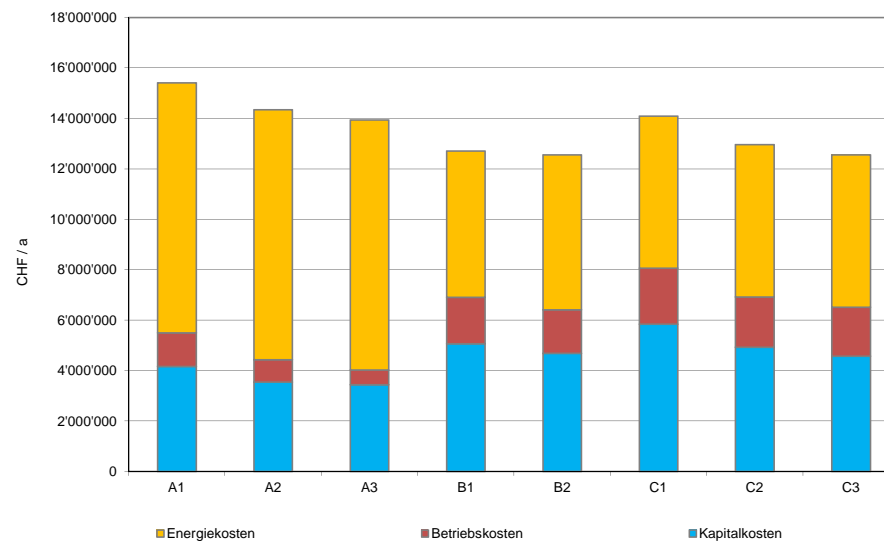
Variante	A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	C3	IST
Kapitalkosten	4'163'435	3'539'636	3'446'459	5'064'755	4'691'675	5'840'402	4'927'476	4'579'869	0
Betriebskosten	1'335'638	889'157	581'399	1'842'135	1'722'450	2'230'903	1'997'916	1'936'530	0
Energiekosten	9'921'298	9'921'298	9'921'298	5'799'908	6'145'021	6'020'417	6'038'969	6'038'969	24'048'687
Anergekosten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	15'420'371	14'350'092	13'949'156	12'706'798	12'559'146	14'091'722	12'964'361	12'555'368	24'048'687
Investition	72'498'500	64'351'340	63'116'700	99'991'200	93'494'700	121'093'540	108'447'020	105'114'956	0
	72	64	63	100	93	121	108	105	

Jährliche Teuerung: 1%
Kapitalzinssatz: 3%

Investitionen

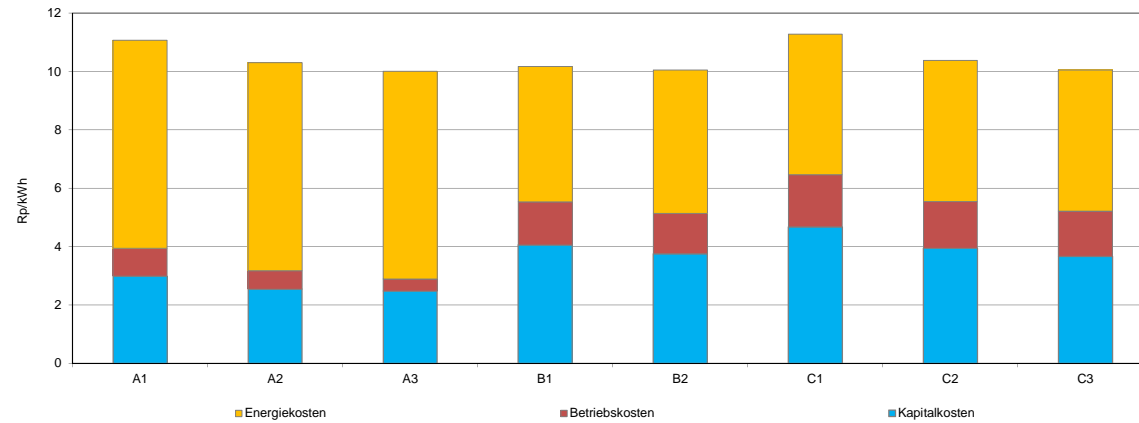
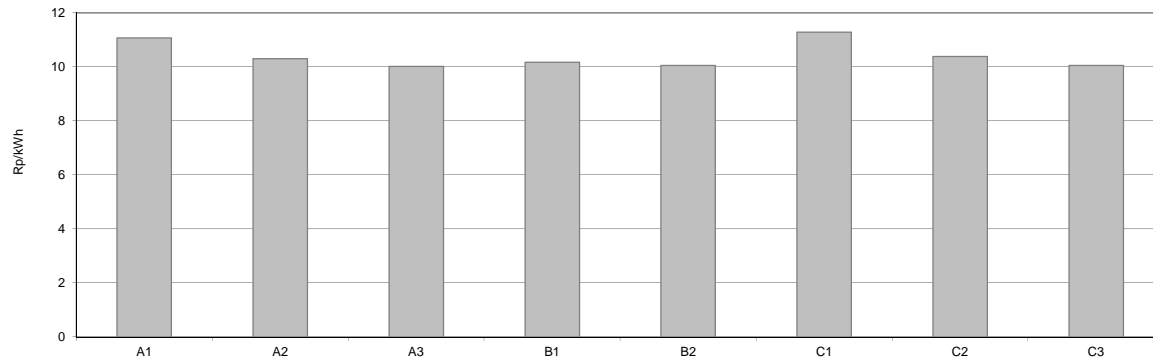


Mittlere Jahreskosten



Energiegestehungskosten [Rp./kWh]

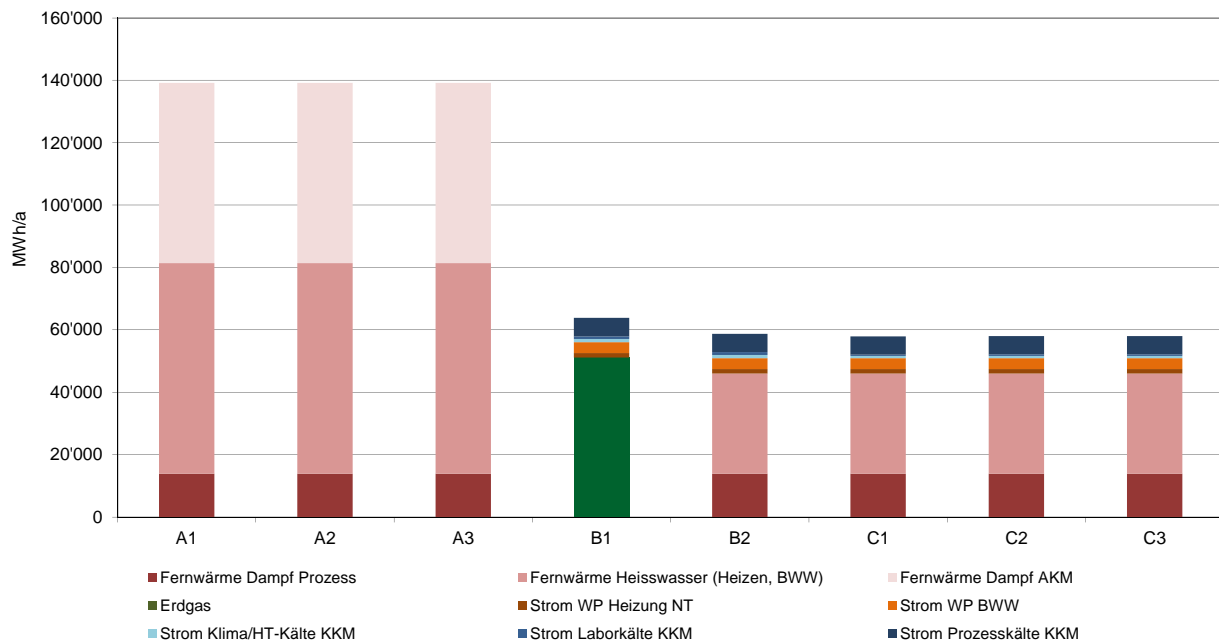
Variante	A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	C3	IST
Kapitalkosten	2.99	2.54	2.47	4.06	3.76	4.68	3.95	3.67	0.00
Betriebskosten	0.96	0.64	0.42	1.48	1.38	1.79	1.60	1.55	0.00
Energiekosten	7.12	7.12	7.12	4.64	4.92	4.82	4.84	4.84	11.42
Anerkennungskosten	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Energiegestehungskosten	11.07	10.30	10.02	10.18	10.06	11.28	10.38	10.05	11.42



Endenergiezusammenstellung [MWh/a]

	A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	C3
Erdgas	0	0	0	51'182	0	0	0	0
Biogas	0	0	0	0	0	0	0	0
Fernwärme Dampf Prozess	13'928	13'928	13'928	0	13'928	13'928	13'928	13'928
Fernwärme Heisswasser (Heizen, BWW)	67'516	67'516	67'516	0	32'136	32'136	32'136	32'136
Fernwärme Dampf AKM	57'821	57'821	57'821	0	0	0	0	0
Strom WP Heizung NT	0	0	0	1'421	1'421	1'421	1'421	1'421
Strom WP Heizung HT (nur bei IST)	0	0	0	0	0	0	0	0
Strom WP BWW	0	0	0	3'462	3'462	3'462	3'462	3'462
Strom Klima/HT-Kälte KKM	0	0	0	1'040	1'040	780	780	780
Strom Laborkälte KKM	0	0	0	880	880	352	469	469
Strom Prozesskälte KKM	0	0	0	5'864	5'864	5'864	5'864	5'864
Strom allgemein (ohne Kälte/WP)	130'298	130'298	130'298	130'298	130'298	130'298	130'298	130'298
Ab- und Umweltwärme	0	0	0	38'533	38'533	31'881	31'881	31'881
Strom total	130'298	130'298	130'298	142'966	142'966	142'178	142'295	142'295
Total Endenergie (exkl. Betriebsstrom)	139'265	139'265	139'265	63'850	58'732	57'944	58'061	58'061
Total Endenergie (inkl. Betriebsstrom)	269'563	269'563	269'563	194'148	189'030	188'242	188'359	188'359
Ab- und Umweltwärme	0	0	0	0	0	0	0	0

Endenergiezusammenstellung exkl. allgemein Strom

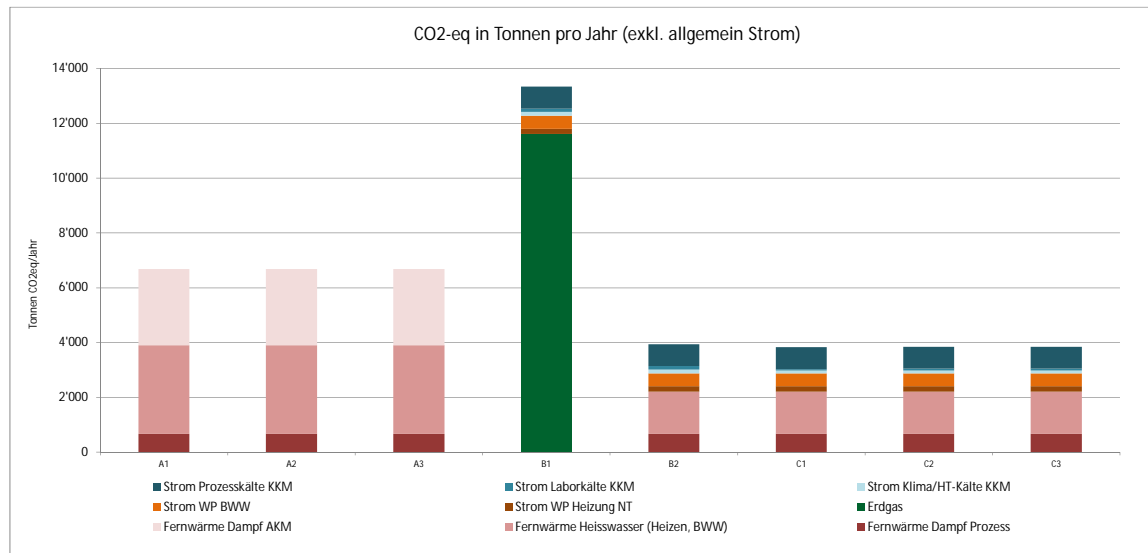


CO₂-eq Emissionen Tonnen pro Jahr

exkl.. Kältemittel	A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	C3	IST
Erdgas	0	0	0	11608	0	0	0	0	0
Biogas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fernwärme Dampf Prozess	669	669	669	0	669	669	669	669	493
Fernwärme Heisswasser (Heizen, BWW)	3241	3241	3241	0	1543	1543	1543	1543	3479
Fernwärme Dampf AKM	2775	2775	2775	0	0	0	0	0	435
Strom WP Heizung NT	0	0	0	194	194	194	194	194	0
Strom WP Heizung HT (nur bei IST)	0	0	0	0	0	0	0	0	414
Strom WP BWW	0	0	0	474	474	474	474	474	54
Strom Klima/HT-Kälte KKM	0	0	0	142	142	107	107	107	469
Strom Laborkälte KKM	0	0	0	120	120	48	64	64	0
Strom Prozesskälte KKM	0	0	0	802	802	802	802	802	1657
Strom allgemein (ohne Kälte/WP)	17825	17825	17825	17825	17825	17825	17825	17825	11067
Ab- und Umweltwärme	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kältemittel zentrale WP (R717Ammoniak)									
Kältemittel dezentrale WP Heizen (R134a)									
Kältemittel dezentrale WP BWW (CO2)									
Kältemittel KM (R134a)									
Kältemittel Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO_{2eq} Total (CH Verbraucher) inkl Betriebs	24510	24510	24510	31166	21769	21661	21677	21677	18068
CO_{2eq} Total (CH Verbraucher) exkl Betriebs	6685	6685	6685	13341	3944	3836	3852	3852	7000
Nutzenergiebedarf (inkl. Betriebsstrom)	269'563	269'563	269'563	255'175	255'175	255'175	255'175	255'175	210'643
Nutzenergiebedarf (exkl. Betriebsstrom)	139'265	139'265	139'265	124'877	124'877	124'877	124'877	124'877	129'743
spez. CO _{2eq} (CH Verbraucher) inkl. Betrieb	0.091	0.091	0.091	0.122	0.085	0.085	0.085	0.085	0.086
spez. CO _{2eq} (CH Verbraucher) exkl. Betrieb	0.048	0.048	0.048	0.107	0.032	0.031	0.031	0.031	0.054

Anteil Kältemittel an CO₂-Bilanz 0% 0% 0% 0% 0% 0% 0%
Primärenergiefaktor auf Endenergie gerechnet (aus ESU Tabelle ohne Wirkungsgrad des Kessels)

Werte in Kennzahlenmaske anpassen!		
CO2 eq Belastung [kg CO2/kWh]	exkl. graue Energie Tab 1.1	inkl. graue Energie Tab 1.2
Heizöl zentral	0.299	0.320
Erdgas zentral	0.227	0.248
Erdgas dezentral	0.227	0.248
Biogas zentral	0.133	0.144
Biogas dezentral	0.133	0.144
Heizschlitz zentral	0.011	0.018
Pellets zentral	0.036	0.047
Strom (GH Verbrauchermix)	0.137	0.000
Fernwärme Durchschnitt KVA-Netze	0.090	0.000
Strom (CH Produktionsmix)	0.029	0.000
Strom (CH zertifizierter Strom = Wasserkraft)	0.014	0.000
Strom EU (UCTE-Mix)	0.522	0.000
Abwärme	0.000	0.000
Erdwärme	0.000	0.000
Flachkollektor Warmwasser EFH	0	0.043
Flachkollektor Warmwasser MFH	0	0.018
Photovoltaik	0	0.079
Fernwärme BHKW Gas	0.126	0.000
Fernwärme Hagenholz	0.04800	0.000
Fernwärme BHKW Biogas	0.0792	0.000
Fernwärme Durchschnitt CH	0.108	0.000
Fernwärme Durchschnitt KVA-Netze	0.09	0.000
Heizkraftwerk Holz	0.036	0.000
Strom aus BHKW Gas	0.6696	0.000
Strom aus BHKW Biogas	0.42264	0.000
Strom Heizkraftwerk Holz	0.1008	0.000

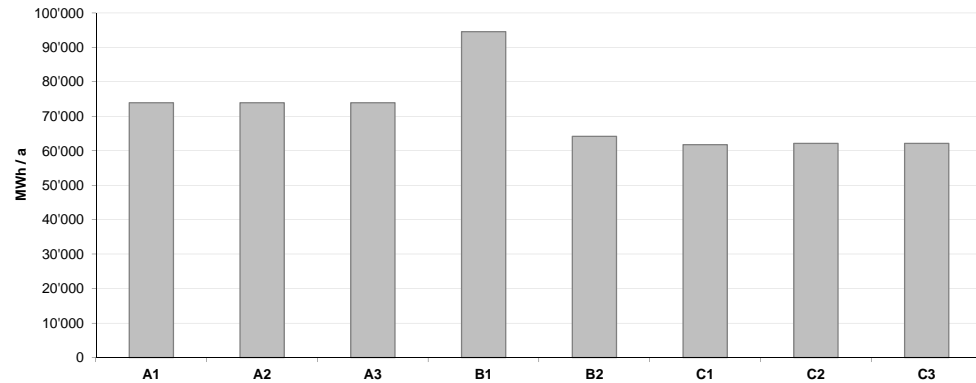


Primärenergiebedarf für die Deckung des Nutzenergiebedarfs:

	A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	C3
Erdgas	0	0	0	54'765	0	0	0	0
Biogas	0	0	0	0	0	0	0	0
Fernwärme Dampf Prozess	7'396	7'396	7'396	0	7'396	7'396	7'396	7'396
Fernwärme Heisswasser (Heizen, BWW)	35'851	35'851	35'851	0	17'064	17'064	17'064	17'064
Fernwärme Dampf AKM	30'703	30'703	30'703	0	0	0	0	0
Strom WP Heizung NT	0	0	0	4'462	4'462	4'462	4'462	4'462
Strom WP Heizung HT (nur bei IST)	0	0	0	0	0	0	0	0
Strom WP BWW	0	0	0	10'872	10'872	10'872	10'872	10'872
Strom Klima/HT-Kälte KKM	0	0	0	3'265	3'265	2'449	2'449	2'449
Strom Laborkälte KKM	0	0	0	2'762	2'762	1'105	1'473	1'473
Strom Prozesskälte KKM	0	0	0	18'414	18'414	18'414	18'414	18'414
Strom allgemein (ohne Kälte/WP)	409'137	409'137	409'137	409'137	409'137	409'137	409'137	409'137
Ab- und Umweltwärme	0	0	0	0	0	0	0	0
Primärenergiebedarf Total inkl. BS	483'086	483'086	483'086	503'678	473'372	470'899	471'267	471'267 MWh
Primärenergiebedarf Total exkl. BS	73'950	73'950	73'950	94'541	64'236	61'762	62'130	62'130
spez. Primärenergiebedarf	1'792	1'792	1'792	1'974	1'855	1'845	1'847	1'847 kWh/MWh N
Prozent	179	179	179	197	186	185	185	185 %
Erneuerbarkeit	22%	22%	22%	39%	52%	49%	49%	49%
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	78%	78%	78%	61%	48%	51%	51%	51% %
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	376'852	376'852	376'852	305'180	227'701	241'736	242'136	242'136 MWh

Werte in Kennzahlenmaske anpassen!		
Primärenergiefaktoren	exkl. graue Energie Tab 1.1	inkl. graue Energie Tab 1.2
Heizöl zentral	1.23	1.31
Erdgas zentral	1.07	1.22
Erdgas dezentral	1.07	1.22
Biogas zentral	0.34	0.42
Biogas dezentral	0.34	0.42
Holzschnitzel zentral	1.21	1.56
Pellets zentral	1.22	1.57
Strom (CH Verbrauchermix)	3.14	0.00
Strom (CH Produktionsmix)	2.48	0.00
Strom (CH zertifizierter Strom = Wasserkraft)	1.21	0.00
Strom EU (UCTE-Mix)	3.18	0.00
Abwärme	0.00	0.00
Flachkollektor Warmwasser EFH	0.00	1.62
Flachkollektor Warmwasser MFH	0.00	1.24
Photovoltaik	0.00	1.42
Fernwärme BHKW Gas	0.61	0.00
Fernwärme BHKW Biogas	0.24	0.00
Fernwärme Durchschnitt CH	0.87	0.00
Fernwärme Durchschnitt KVA-Netze	0.71	0.00
Fernwärme Hagenholz	0.53	0.00
Heizkraftwerk Holz	1.41	0.00
Strom aus BHKW Gas	2.94	0.00
Strom aus BHKW Biogas	0.93	0.00
Strom Heizkraftwerk Holz	3.73	0.00

Primärenergiebedarf Total exkl. allgemein Strom



Energiepreissteigerung

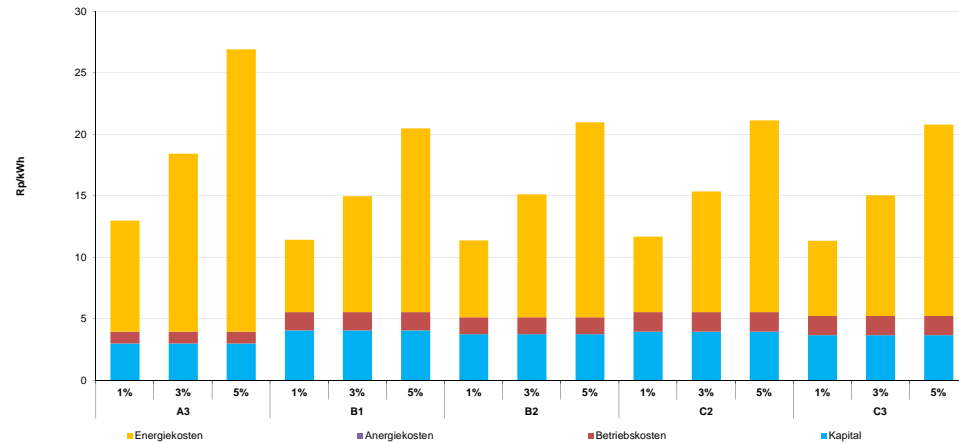
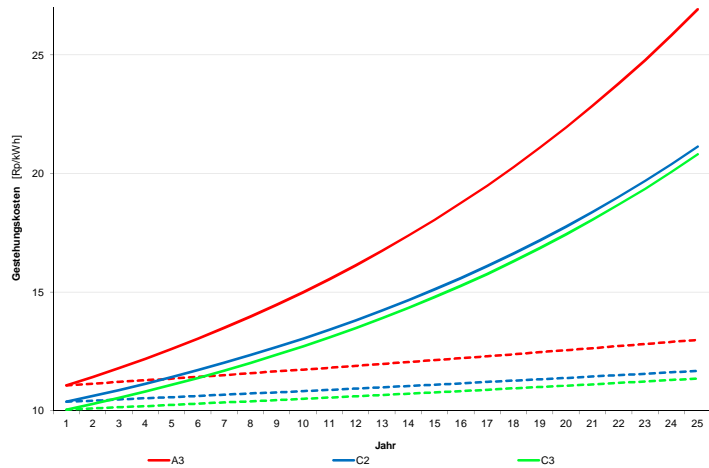
		0.01																								
Jahr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
A3		11.07	11.14	11.22	11.29	11.36	11.44	11.51	11.59	11.66	11.74	11.82	11.90	11.98	12.06	12.14	12.22	12.30	12.39	12.47	12.56	12.64	12.73	12.82	12.90	12.99
B1		10.18	10.22	10.27	10.32	10.36	10.41	10.46	10.51	10.56	10.61	10.66	10.71	10.76	10.82	10.87	10.92	10.98	11.03	11.09	11.14	11.20	11.25	11.31	11.37	11.43
B2		10.06	10.11	10.16	10.21	10.26	10.31	10.36	10.41	10.46	10.52	10.57	10.63	10.68	10.74	10.79	10.85	10.91	10.96	11.02	11.08	11.14	11.20	11.26	11.32	11.38
C2		10.38	10.43	10.48	10.53	10.58	10.63	10.68	10.73	10.78	10.83	10.89	10.94	11.00	11.05	11.10	11.16	11.22	11.27	11.33	11.39	11.45	11.51	11.57	11.63	11.69
C3		10.05	10.10	10.15	10.20	10.25	10.30	10.35	10.40	10.45	10.51	10.56	10.61	10.67	10.72	10.78	10.83	10.89	10.95	11.00	11.06	11.12	11.18	11.24	11.30	11.36

		0.03																								
Jahr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
A3		11.07	11.29	11.51	11.73	11.97	12.21	12.46	12.71	12.97	13.24	13.52	13.81	14.11	14.41	14.72	15.05	15.38	15.72	16.08	16.44	16.82	17.20	17.60	18.01	18.43
B1		10.18	10.31	10.46	10.61	10.76	10.92	11.08	11.24	11.41	11.59	11.77	11.96	12.15	12.35	12.56	12.77	12.98	13.21	13.44	13.68	13.92	14.17	14.43	14.70	14.97
B2		10.06	10.20	10.36	10.51	10.67	10.84	11.01	11.19	11.37	11.56	11.75	11.95	12.15	12.36	12.58	12.80	13.03	13.27	13.51	13.77	14.02	14.29	14.57	14.85	15.14
C2		10.38	10.53	10.68	10.83	10.99	11.15	11.32	11.49	11.67	11.86	12.04	12.24	12.44	12.65	12.86	13.08	13.31	13.54	13.78	14.03	14.28	14.54	14.81	15.09	15.38
C3		10.05	10.20	10.35	10.50	10.66	10.82	10.99	11.17	11.34	11.53	11.72	11.91	12.11	12.32	12.53	12.75	12.98	13.21	13.45	13.70	13.95	14.21	14.48	14.76	15.05

		0.05																								
Jahr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
A3		11.07	11.43	11.80	12.20	12.61	13.04	13.50	13.97	14.47	15.00	15.55	16.13	16.74	17.38	18.05	18.76	19.50	20.28	21.09	21.95	22.85	23.80	24.79	25.83	26.92
B1		10.18	10.41	10.65	10.91	11.18	11.46	11.76	12.07	12.39	12.74	13.10	13.47	13.87	14.29	14.73	15.19	15.67	16.18	16.71	17.27	17.85	18.47	19.12	19.80	20.51
B2		10.06	10.30	10.56	10.83	11.12	11.42	11.73	12.06	12.41	12.77	13.15	13.55	13.97	14.42	14.88	15.37	15.88	16.42	16.98	17.57	18.19	18.85	19.53	20.25	21.01
C2		10.38	10.62	10.88	11.14	11.42	11.72	12.03	12.35	12.69	13.05	13.42	13.82	14.23	14.66	15.12	15.60	16.10	16.63	17.18	17.77	18.38	19.02	19.69	20.40	21.14
C3		10.05	10.30	10.55	10.82	11.10	11.39	11.70	12.02	12.36	12.72	13.10	13.49	13.90	14.34	14.79	15.27	15.77	16.30	16.86	17.44	18.05	18.69	19.36	20.07	20.81

Werte aus den verschiedenen Varianten:						
Startwert	konstant	konstant	konstant	Start	variabel	Endwert
Rp/kWh	Kapital	Betrieb	Anergie	Energie	Energie	RP/kWh
11.07	2.99	0.96	0.00	7.12	9.05	12.99
10.18	4.06	1.48	0.00	4.64	5.90	11.43
10.06	3.76	1.38	0.00	4.92	6.25	11.38
10.38	3.95	1.60	0.00	4.84	6.14	11.69
10.05	3.67	1.55	0.00	4.84	6.14	11.36
11.07	2.99	0.96	0.00	7.12	14.48	18.43
10.18	4.06	1.48	0.00	4.64	9.44	14.97
10.06	3.76	1.38	0.00	4.92	10.00	15.14
10.38	3.95	1.60	0.00	4.84	9.83	15.38
10.05	3.67	1.55	0.00	4.84	9.83	15.05
11.07	2.99	0.96	0.00	7.12	22.98	26.92
10.18	4.06	1.48	0.00	4.64	14.98	20.51
10.06	3.76	1.38	0.00	4.92	15.87	21.01
10.38	3.95	1.60	0.00	4.84	15.60	21.14
10.05	3.67	1.55	0.00	4.84	15.60	20.81

Jährliche Energiepreissteigerung zwischen 1 und 5 %



Anteil erneuerbarer Energie am Gesamt-Endenergiebedarf

	A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	C3
Erdgas	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogas	0	0	0	0	0	0	0	0
Fernwärme Dampf Prozess	3'063	3'063	3'063	0	3'063	3'063	3'063	3'063
Fernwärme Heisswasser (Hei	14'847	14'847	14'847	0	7'067	7'067	7'067	7'067
Fernwärme Dampf AKM	12'715	12'715	12'715	0	0	0	0	0
Strom WP Heizung NT	0	0	0	204	204	204	204	204
Strom WP Heizung HT (nur b	0	0	0	0	0	0	0	0
Strom WP BWW	0	0	0	496	496	496	496	496
Strom Klima/HT-Kälte KKM	0	0	0	149	149	112	112	112
Strom Laborkälte KKM	0	0	0	126	126	50	67	67
Strom Prozesskälte KKM	0	0	0	840	840	840	840	840
Strom allgemein (ohne Kälte/	18'673	18'673	18'673	18'673	18'673	18'673	18'673	18'673
Ab- und Umweltwärme	0	0	0	38'533	38'533	31'881	31'881	31'881
Endenergiebedarf Total exkl.	139'265	139'265	139'265	102'383	97'265	89'825	89'942	89'942
Endenergiebedarf Total inkl. I	269'563	269'563	269'563	194'148	189'030	188'242	188'359	188'359
Anteil Erneuerbare exkl. Be	22%	22%	22%	39%	52%	49%	49%	49%
Anteil Erneuerbare inkl. Bet	18%	18%	18%	30%	37%	33%	33%	33%

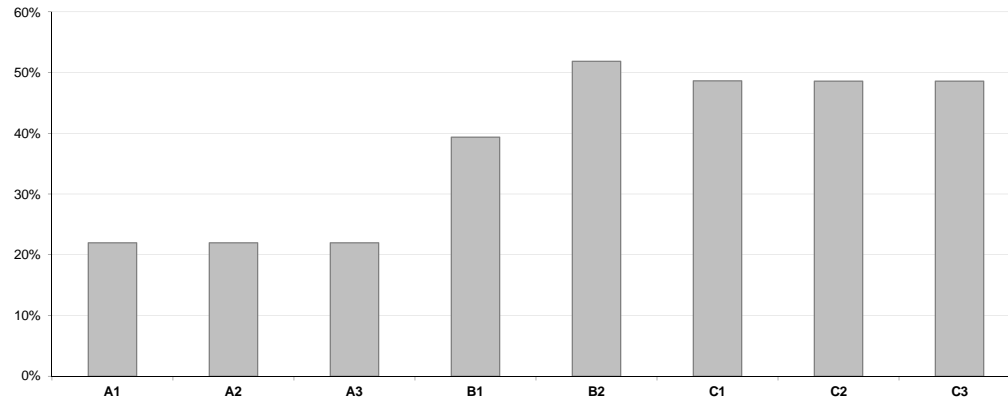
Annahme: Abwärme und Erdwärme sind zu 100% erneuerbar

Werte in Kennzahlenmaske anpassen!

Erneuerbarkeit Energieträger

Heizöl zentral	0.8%
Erdgas zentral	0.0%
Erdgas dezentral	0.0%
Biogas zentral	8.8%
Biogas dezentral	8.8%
Holzschnitzel zentral	89.3%
Pellets zentral	83.6%
Strom (CH Verbrauchermix)	14.3%
Strom (CH Produktionsmix)	27.4%
Strom (CH zertifizierter Strom = Wasserkraft)	97.5%
Abwärme	100.0%
Fernwärme BHKW Gas	1.6%
Fernwärme BHKW Biogas	8.3%
Fernwärme Durchschnitt CH	6.9%
Fernwärme Durchschnitt KVA-Netze	1.4%
Fernwärme Hagenholz	22.0%
Heizkraftwerk Holz	93.6%
Strom aus BHKW Gas	0.3%
Strom aus BHKW Biogas	8.6%
Strom Heizkraftwerk Holz	96.2%

Anteil erneuerbarer Energie am Gesamt-Endenergiebedarf



Hauptkriterien 1-3 Gewichtung	Teilkriterien 1-3 Gewichtung	Gewichtung	Bewertungshinweise	Messgrösse	Bewertung: Die Note 5 ist die Beste, die Note 0 ist die Schlechteste																							
					A1			A2			A3			B1			B2			C1			C2			C3		
					Note	Total	Bemerkung	Note	Total	Bemerkung	Note	Total	Bemerkung	Note	Total	Bemerkung	Note	Total	Bemerkung	Note	Total	Bemerkung	Note	Total	Bemerkung	Note	Total	Bemerkung
Ökologie	1.01 Wertigkeit Energieträger	3.00	Wie hoch ist der Bedarf hochwertiger Endenergie für die Deckung des Nutzenergiebedarfs?	COP [-]	1.5	4.5		2.5	7.5		2.0	6.0		1.0	3.0		4.0	12.0		5.0	15.0		5.0	15.0		5.0	15.0	
	3 Energieeffizienz	1.02 Erneuerbarkeit	3.00	Wie gross ist der Anteil an erneuerbaren Primärenergieträgern?	Menge erneuerbare Energien am Primärenergiebedarf [%]	1.0	3.0		1.0	3.0		1.0	3.0		3.5	10.5		5.0	15.0		4.5	13.5		4.5	13.5		4.5	13.5
	1.03 Primärenergieverbrauch	3.00	Wie hoch ist der Primärenergiebedarf für die Deckung des Nutzenergiebedarfs?	Verhältnis Primärenergiebedarf zu Nutzenergiebedarf	3.4	10.2		3.7	11.1		3.7	11.1		1.0	3.0		4.8	14.4		5.0	15.0		5.0	15.0		5.0	15.0	
Schadstoff Emissionen	1.2.01 Treibhausgas Emissionen	3.00	Wie gross sind die THG Emissionen?	CO2 eq Ausstoss [kg CO2eq / a]	3.6	10.8		3.6	10.8		3.6	10.8		1.0	3.0		4.9	14.7		5.0	15.0		5.0	15.0		5.0	15.0	
	1.2.02 übrige Schadstoffe	3.00	Wie gross ist die Belastung durch Schadstoffe wie Feinstaub, VOC etc.?	Schadstoffausstoss [ppm]	1.0	3.0		1.0	3.0		1.0	3.0		2.5	7.5		2.0	6.0		5.0	15.0		5.0	15.0		5.0	15.0	
	3.01 Energiegestehungskosten/mittlere Jahreskosten	2.00	Wie hoch sind die mittleren jährlichen Kosten	Preis [CHF/a]	1.0	2.0		2.0	4.0		2.2	4.4		5.0	10.0		4.4	8.8		3.7	7.4		4.2	8.4		4.4	8.8	
Wirtschaftlichkeit: Life Cycle Cost	1.3.02 Sensitivität Energiepreisentwicklung	2.00	Wie stark ist die Energieversorgung abhängig von Energiepreisveränderungen?	Änderung mittlere Jahreskosten / Energiepreisänderung [%]	1.0	2.0		2.3	4.6		2.6	5.2		5.0	10.0		4.6	9.2		3.2	6.4		4.3	8.6		4.6	9.2	
	1.3.03 1. Investition	2.00	Wie hoch ist die erste Investition?	Preis [CHF]	4.3	8.6		4.8	9.6		5.0	10.0		2.5	5.0		2.9	5.8		1.0	2.0		1.9	3.8		2.1	4.2	
Soziokultur	1.4.01 Flexibilität / Benutzerfreundlichkeit	2.00	Wie gut lässt sich das System auf unterschiedliche Nutzeransprüche anpassen?	Anwendbarkeit [-]	5.0	10.0		4.5	9.0		4.5	9.0		2.5	5.0		3.0	6.0		1.5	3.0		1.5	3.0		1.0	2.0	
	1.4.02 Autarkiegrad/Abhängigkeit von "Dritten"	2.00	Wie gross ist die Abhängigkeit von "Dritten"(Bsp. erz)/der Autarkiegrad?	Autarke Energiemenge/Jahr [MWh]	1.0	2.0		1.5	3.0		1.5	3.0		3.0	6.0		3.5	7.0		5.0	10.0		4.5	9.0		4.5	9.0	
	1.4.03 Verfügbarkeit Energieträger	2.00	Ist die Abfall / Holz / Erdgasverfügbarkeit in Zukunft eingeschränkt?	Verfügbarkeit [-]	1.5	3.0		1.0	2.0		1.0	2.0		3.0	6.0		3.5	7.0		4.5	9.0		5.0	10.0		4.5	9.0	
Politischer Einfluss	1.5.01 Energetische Ziele der Stadt Zürich	1.00	Beitrag zur 2000-Watt-Gesellschaft	Zielerreichung SIA 2040	3.4	3.4		3.7	3.7		3.7	3.7		1.0	1.0		4.9	4.9		5.0	5.0		5.0	5.0		5.0	5.0	
	1.5.02 Kompatibilität zur lokale Energiewirtschaft	1.00	Wie gross ist der Anteil Nutzenergie basierend auf lokalen Energieträgern	Anteil [%]	5.0	5.0		4.5	4.5		4.5	4.5		1.0	1.0		3.5	3.5		4.0	4.0		4.0	4.0		4.0	4.0	
	1.5.03 Leuchtturmcharakter / Kommunikation	1.00	Wie innovativ ist die neue Energieversorgung? Wie stark trägt sie zur Werterhaltung der Immobilie dazu?	Innovationsgrad[%]	3.0	3.0		3.0	3.0		3.0	3.0		1.0	1.0		4.5	4.5		5.0	5.0		5.0	5.0		5.0	5.0	
Technik	1.6.01 Skalierbarkeit	1.00	Wie flexibel kann das System erweitert werden?	Ausbaufähigkeit [-]	5.0	5.0		4.5	4.5		4.5	4.5		2.5	2.5		3.0	3.0		1.5	1.5		1.5	1.5		1.0	1.0	
	1.6.02 Anfälligkeit der Energieerzeugung	1.00	Wie wahrscheinlich sind Betriebsausfälle?	Wahrscheinlichkeit [%]	5.0	5.0		4.0	4.0		4.0	4.0		3.0	3.0		2.5	2.5		1.5	1.5		1.5	1.5		1.0	1.0	
					10			9			9			6			6			3			3			2		
					81			87			87			78			124			128			133			132		

Auswertung Nutzwertanalyse quantitativ



Hauptkriterium	A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	C3
Energie	17.7	21.6	20.1	16.5	41.4	43.5	43.5	43.5
Schadst.	13.8	13.8	13.8	10.5	20.7	30.0	30.0	30.0
Wirtsch.	12.6	18.2	19.6	25.0	23.8	15.8	20.8	22.2
Flexibi.	15.0	14.0	14.0	17.0	20.0	22.0	22.0	20.0
Politisc.	11.4	11.2	11.2	3.0	12.9	14.0	14.0	14.0
Skalier.	10.0	8.5	8.5	5.5	5.5	3.0	3.0	2.0

Zusammenstellung

Varianten	A1	A2	A3	B1	B2	C1	C2	C3
Punkte	81	87	87	78	124	128	133	132
Prozent	60%	65%	65%	58%	93%	96%	100%	99%
	7	5	5	8	4	3	1	2

