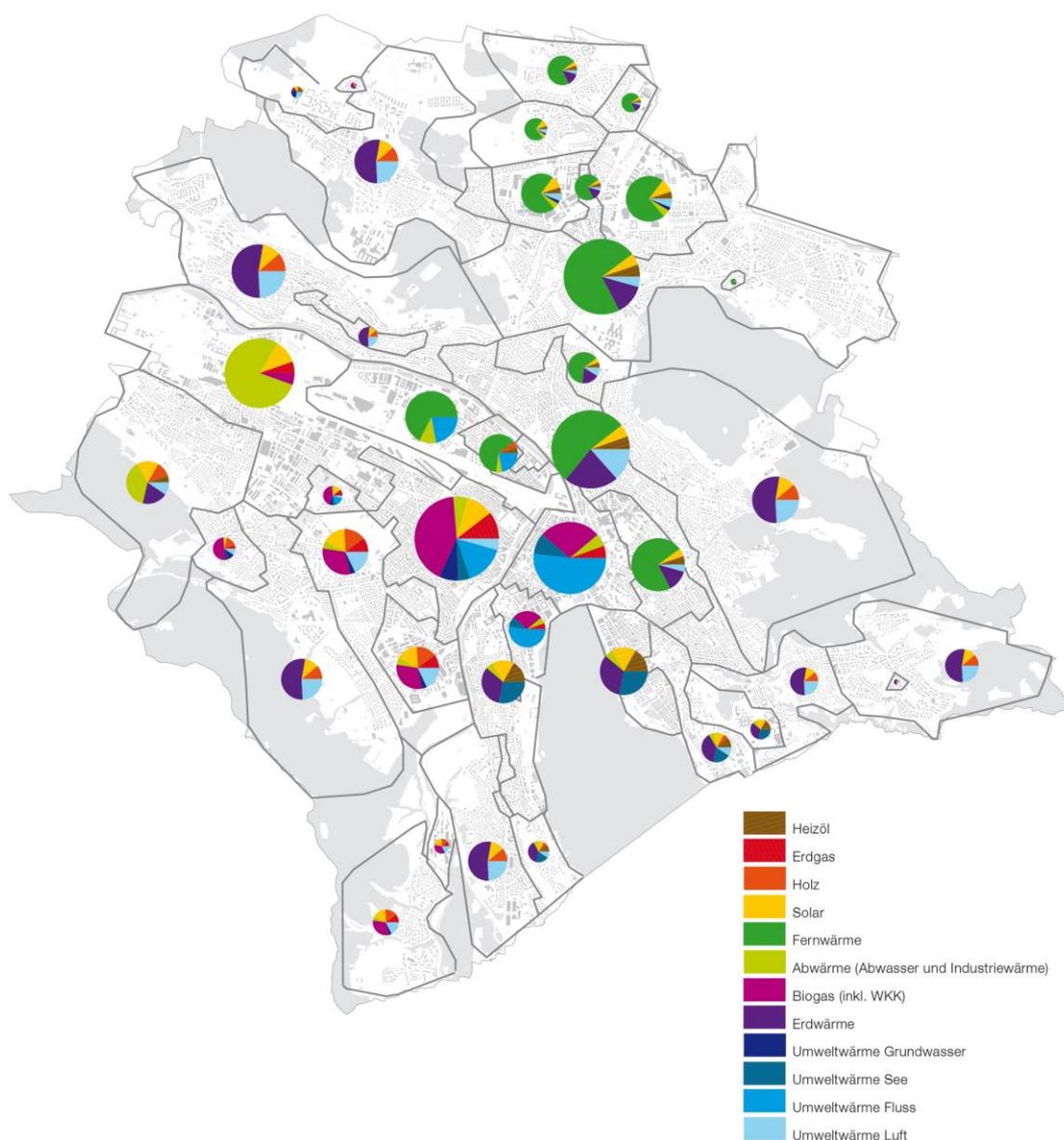


## Kurzbericht

# Konzept Energieversorgung 2050

## Szenarien für eine 2000-Watt-kompatible Wärmeversorgung für die Stadt Zürich



9. Juli 2014

## **Auftraggeber**

Departement der Industriellen Betriebe  
Energiebeauftragter der Stadt Zürich  
Bruno Bébié  
Beatenplatz 2, Postfach, 8021 Zürich

Amt für Hochbauten  
Fachstelle Nachhaltiges Bauen  
Dr. Heinrich Gugerli  
Amtshaus III, Lindenhofstrasse 21 8021 Zürich

## **Begleitgruppe**

Bemerkung: Das Projekt dauerte, inklusive der methodischen Vorstudie, von 2008 bis Ende 2013. Daher waren einzelne Beteiligte nicht über die gesamte Projektdauer involviert.

Bruno Bébié	Energiebeauftragter der Stadt Zürich
Felix Schmid	Stv. Energiebeauftragter der Stadt Zürich (ab Juni 2009)
Frank Argast	Amt für Städtebau
Georg Dubacher	ewz (bis Ende 2012)
Claudio Durisch	Liegenschaftenverwaltung der Stadt Zürich
Heinrich Gugerli	Amt für Hochbauten, Fachstelle nachhaltiges Bauen (bis März 2014)
Toni W. Püntener	Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich, Abt. Energie und Nachhaltigkeit
Markus Sägesser	ewz (bis Ende 2010)
Franz Sprecher	Amt für Hochbauten, Fachstelle Energie- und Gebäudetechnik
Martin Strebel	Energie 360° AG (vor April 2014: Erdgas Zürich AG)
Marcel Wickart	ewz
Hanspeter Wild	ERZ Entsorgung + Recycling Zürich, Fernwärme Zürich (bis März 2013)

## **Auftragnehmerin**

TEP Energy GmbH  
Technology Economics Policy – Research and Advice  
Ein Spin-off-Unternehmen der ETH Zürich  
Rotbuchstr. 68, 8037 Zürich

## **Kooperation**

ETH Zürich                      Prof. Dr. Holger Wallbaum, Lehrstuhl Nachhaltiges Bauen (bis Juli 2012)

## **Autoren und Autorinnen**

Dr. Martin Jakob	Projektleitung
Karin Flury	TEP Energy
Nadja Gross	TEP Energy
Gregor Martius	TEP Energy
Benjamin Sunarjo	TEP Energy

## **Mitarbeit**

Beate Grodofzig Fürst	TEP Energy
Marc Fürst	TEP Energy
Niko Heeren	Lehrstuhl Nachhaltiges Bauen, ETH Zürich

Download als pdf von: [stadt-zuerich.ch/energiebeauftragter](http://stadt-zuerich.ch/energiebeauftragter)

## Inhalt

<b>1 Das Wichtigste in Kürze .....</b>	<b>4</b>
<b>2 Ausgangslage .....</b>	<b>5</b>
2.1 Relevanz der Studie für die Energiepolitik der Stadt Zürich .....	5
2.2 Die 2000-Watt-Gesellschaft und die Stadt Zürich.....	6
2.3 Projektziele .....	6
<b>3 Methodisches Vorgehen und Szenarien .....</b>	<b>8</b>
3.1 Die Methodik im Überblick .....	8
3.2 Räumliche Differenzierung.....	9
3.3 Hauptszenarien .....	10
<b>4 Räumliche Differenzierung von Energienachfrage und Potenzialen von erneuerbaren Energien .....</b>	<b>12</b>
4.1 Energienachfrage .....	12
4.2 Energieinfrastruktur und Potenziale erneuerbarer Energien .....	14
<b>5 Ergebnisse Energienachfrage und Bedarfsdeckung.....</b>	<b>19</b>
5.1 Nutzenergienachfrage .....	19
5.2 Endenergienachfrage und Bedarfsdeckung .....	19
5.3 Primärenergie und THG-Emissionen .....	21
5.4 Szenario-Varianten und Sensitivitäten.....	24
<b>6 Fazit .....</b>	<b>27</b>
6.1 Die wichtigsten energiepolitischen Ergebnisse .....	27
6.2 Die wichtigsten Massnahmen .....	28
6.3 Nutzen für die kommunale Energieplanung und den Umsetzungsprozess .....	29
6.4 Ausblick.....	31
<b>7 Literaturverzeichnis.....</b>	<b>33</b>

# 1 Das Wichtigste in Kürze

Eine zur 2000-Watt-Gesellschaft kompatible Wärmeversorgung der Stadt Zürich ist machbar. Dies zeigen Berechnungen im Rahmen des «Konzept Energieversorgung 2050». Basis bildet ein Gebäudeparkmodell, anhand dessen der gebäudebezogene Wärme- und Stromverbrauch für Raumwärme, Warmwasser, Kühlung, Lüfterneuerung, Beleuchtung und weitere Stromanwendungen des stadtzürcherischen Gebäudeparks für zwei Haupt-Szenarien quantifiziert wurde. Die Szenarien unterscheiden sich in den Annahmen hinsichtlich der Effizienzentwicklung der Gebäude und ihrer für den Energiebedarf relevanten Ausrüstung. Die Ergebnisse des Effizienz-Szenario a belegen, dass ein Absenkpfad gemäss den in der Gemeindeordnung der Stadt Zürich verankerten Vorgaben zur 2000-Watt-Gesellschaft auf der Basis der getroffenen Annahmen möglich ist. Für den Zeithorizont 2005 bis 2050 können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Trotz Zunahme der beheizten und klimatisierten Flächen (Energiebezugsflächen, EBF) kann die Nachfrage nach Raumwärme um 35% reduziert werden (Referenz-Szenario: minus 18%).
- Für die Erreichung der 2000-Watt-Ziele ist zudem eine Änderung des Energieträgermixes erforderlich. Die lokal verfügbaren und die übrigen erneuerbaren Energieträger spielen eine wichtige Rolle, um Treibhausgas-Emissionen und den Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie für die Wärmeerzeugung deutlich zu reduzieren.
- Mit den unterstellten Annahmen lässt sich der gesamte Bedarf an Primärenergie um über 50% reduzieren (Referenz-Szenario: minus 16%). Beim Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie ist eine Reduktion von gut 90% (Referenz-Szenario: minus 25%) möglich, bei den Treibhausgas-Emissionen von 85% (Referenz-Szenario: minus 41%).

Für die Umsetzung einer auf diesen Annahmen basierenden Strategie sind drei Punkte zentral:

- Auf Stadtgebiet sind die Potenziale der lokal und regional verfügbaren Energieträger Umweltwärme, Holz, Wärme aus Abfall und Abwasser sowie – in geringem Ausmass – Abwärme im Vergleich zum Energiebedarf auch langfristig gering. Die durch Effizienzgewinne zu erzielende Reduktion des Endenergiebedarfs für die Wärmeerzeugung und des Elektrizitätsbedarf ist zentral für die Erreichung der 2000-Watt-Ziele.
- Ein substanzieller Anteil dieser Energiepotenziale, namentlich Umweltwärme aus See-, Limmat- und Grundwasser sowie Wärme aus Abwasser und Abfall, ist örtlich gebunden und erfordert – je nach Lage in sehr unterschiedlichem Ausmass – eine leitungsgebundene Infrastruktur.
- Der Einsatz der knappen lokal verfügbaren Energien in der Stadt Zürich muss durch die Nutzung von überregionalen und internationalen Quellen erneuerbarer Energien ergänzt werden, für die Wärmeerzeugung durch den Import von Biogas und durch Import von Elektrizität aus Wasserkraft-, Wind- und Photovoltaik-Anlagen.

## 2 Ausgangslage

### 2.1 Relevanz der Studie für die Energiepolitik der Stadt Zürich

Das «Konzept Energieversorgung 2050» (EK 2050) modelliert verschiedene Szenarien in einer langfristigen Entwicklung der Wärme- und Stromnachfrage für alle gebäudebezogenen Energieanwendungen des Gebäudeparks in der Stadt Zürich. Zudem evaluiert das Konzept Möglichkeiten, die Energienachfrage soweit als möglich mittels lokal verfügbaren erneuerbaren Energien und Abwärme zu decken. Als Basis der Modellierung dient das Gebäudeparkmodell der Stadt Zürich.

Der Einbezug von nachfrage- und angebotsseitigen Faktoren der Energieversorgung und die geographisch differenzierte Darstellung der Szenarien-Ergebnisse komplizierten das Projekt. Die Arbeiten dauerten ab 2008 – mit einer Vorstudie zur Machbarkeit – rund fünf Jahre. Bei der Interpretation der Ergebnisse sind folgende Einschränkungen zu beachten:

- Im Projektverlauf hat sich ein Teil der Datengrundlagen verändert: Als Basisjahr der Modellrechnungen dienten die Energiedaten aus dem Jahr 2005. Für die Darstellung der Ergebnisse bzw. der Entwicklung wichtiger Einflussgrössen (z.B. Energiebezugsflächen) wurde aus Aktualitätsgründen Daten aus dem Jahr 2010 verwendet.
- Im Projektverlauf kamen neue Erkenntnisse hinzu: Beispiele sind eine Aktualisierung des Energiepotenzials aus Seewasser aufgrund einer EAWAG-Studie (Wüest, 2012) und aus Erdwärme aufgrund einer Studie des Amtes für Hochbauten (Wagner und Weisskopf, 2014). Zudem erarbeitete ewz eine neue Studie zur Stromzukunft der Stadt Zürich (ewz, 2012).
- Aufgrund der aufwendigen Modellierung konnten nicht alle neuen Erkenntnisse im Projekt berücksichtigt werden.
- Aus demselben Grund war es auch nicht möglich, für einen Zeithorizont bis 2050 konkrete Aussagen zur Finanzierbarkeit, Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz der Szenario-Ergebnisse zu machen.
- Die Modellierung basiert auf verschiedenen Gebäudetypen, für die jeweils einheitlichen Annahmen getroffen wurden. Die realen Verhältnisse bei einzelnen Gebäuden sind nicht berücksichtigt. Daher sind diese Ergebnisse ohne eine entsprechende objektspezifische Validierung für Bauherrschaften nur begrenzt direkt nutzbar.
- Die Ergebnisse dienen vor allem als Grundlage für gebietsweise verfeinerte Analysen. Dies ist beispielsweise für die geplante Überarbeitung der kommunalen Energieplanung der Stadt Zürich vorgesehen.
- Dank einer breit zusammengesetzten Begleitgruppe partizipierten alle wichtigen an der Energieplanung bzw. an deren Umsetzung beteiligten Energieversorgungsunternehmen am Prozess. Damit konnte das verwaltungsinterne Knowhow – z.B. hinsichtlich von Effizienzmassnahmen im Gebäudepark – genutzt, die 2000-Watt-Methodik verankert und ein gemeinsames Verständnis über die wichtigsten Einflussfaktoren und unterstellten Annahmen geschaffen werden. Mit diesem Konzept ist eine Grundlage vorhanden, um bei nachfolgenden Vertiefungsprojekten mit verschiedenen Beteiligten konsistente Ergebnisse zu ermöglichen.

## 2.2 Die 2000-Watt-Gesellschaft und die Stadt Zürich

Gemäss den 2000-Watt-Vorgaben für die Schweiz sind der Primärenergiebedarf (PE) bis 2100 auf 2000 Watt pro Person und der Treibhausgas-Ausstoss (THG) auf 1 Tonne pro Person und Jahr zu reduzieren<sup>1</sup>. Die mit einer Volksabstimmung im Herbst 2008 in der Gemeindeordnung der Stadt Zürich verankerten Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft sind in zeitlicher Hinsicht noch ambitionierter: Sie sehen vor, den THG-Ausstoss bereits bis 2050 auf 1 Tonne pro Person und Jahr zu reduzieren. Zudem hat der Stadtrat im Masterplan Energie 2012 den Zielwert des Primärenergiebedarfs für 2050 auf 2500 Watt pro Person und Jahr festgelegt (Stadtratsbeschluss vom 20. Juni 2012). Damit betragen die zielorientierten Absenkfaktoren für die Stadt Zürich zwischen 2005 und 2050 im Minimum 2 für den PE-Verbrauch (von 5000 auf 2500 Watt pro Person und Jahr) und 5,5 für die THG-Emissionen (von 5,5 auf 1 Tonne Watt pro Person und Jahr).

Von 1990 bis 2012 gingen die THG-Emissionen in der Stadt Zürich deutlich zurück: von rund 6,5 Tonnen pro Person und Jahr auf 5,2 Tonnen. Im gleichen Zeitraum sank die Primärenergienachfrage von über 5000 Watt auf rund 4200 Watt pro Person. Im gebäudebezogenen Verbrauch (ohne Mobilität) liegen diese Pro-Person-Werte aktuell bei rund 3600 Watt Primärenergie bzw. 3,7 Tonnen THG-Emissionen.

Bei der Umsetzung der 2000-Watt-Ziele kann die Stadt Zürich auf dem Masterplan Energie aufbauen. In der vom Stadtrat 2012 beschlossenen Fassung wurden die energiepolitischen Vorgaben der 2000-Watt-Gesellschaft integriert und Etappenziele für 2020 und 2035 formuliert. Die Stadt Zürich hat zudem eine Reihe von Projekten initiiert, welche methodische, inhaltliche und kommunikative Grundlagen für die Umsetzung liefern. Dazu gehört u.a. ein räumlich differenziertes Gebäudeparkmodell (GPM), welches die Effizienzpotenziale des Gebäudeparks in der Stadt Zürich bis ins Jahr 2050 aufzeigt. Dabei konnte auf Vorarbeiten abgestützt werden, beispielsweise auf die «Räumliche Entwicklungsstrategie» (RES) (Stadt Zürich, 2010), die Potenzialstudien zur Solarenergienutzung auf Stadtgebiet (Nowak et al., 2007 und 2010) sowie den Bericht «Stromzukunft Stadt Zürich» des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich (ewz, 2008).

## 2.3 Projektziele

Ein wichtiges Projektziel war aufzuzeigen, ob der stadtzürcherische Gebäudepark mit den definierten Annahmen bezüglich Gebäudeeffizienz und den veranschlagten Potenzialen erneuerbarer Energien die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft erreichen kann. Dazu waren unter Einbezug städtischer Dienstabteilungen und der Energieanbieter ERZ Fernwärme Zürich, ewz und Energie 360° AG (vor April 2014: Erdgas Zürich AG) Szenarien für ein 2000-Watt-kompatibles Energieversorgungskonzept für die Gebäude auf Stadtgebiet zu erarbeiten – mit zwei Teilzielen:

- In einem ersten Schritt wurden unter Annahme verschiedener Effizienzmassnahmen künftige Entwicklungen der gebäudebezogenen Wärme- und Stromnachfrage modelliert.

---

<sup>1</sup> Ziele, Methodik und Begriffe der 2000-Watt-Gesellschaft: siehe das Bilanzierungskonzept auf der Internetseite der Fachstelle 2000-Watt-Gesellschaft: [2000watt.ch/fuer-staedte-und-gemeinden/methodisches/](http://2000watt.ch/fuer-staedte-und-gemeinden/methodisches/)

- Die so simulierte Nachfrage sollte möglichst mit PE-effizienten und THG-armen - also erneuerbaren - Energien gedeckt werden.

Die Ergebnisse der Szenarien sind räumlich differenziert, weil aus wirtschaftlichen Gründen bei der Deckung des Wärmebedarfs – im Unterschied zur Elektrizität – eine unmittelbare räumliche Nähe zwischen Angebot und Nachfrage entscheidend ist. Auch die gebäudebezogenen Effizienzmassnahmen wirken sich räumlich differenziert aus, weil sich je nach städtebaulicher Zone bzw. denkmalpflegerischem Schutzstatus eines Gebäudes unterschiedliche Handlungsoptionen anbieten.

Durch räumlich differenzierte Daten kann die mutmassliche künftige Wärmenachfrage mit den Schätzungen zum verfügbaren Angebot an erneuerbarer Wärmeenergie für jedes Stadtgebiet verglichen werden, beispielsweise Wärme aus Oberflächengewässern oder aus gereinigtem Abwasser.

Das Projekt hatte in erster Linie zum Ziel, der Stadt Zürich Szenarien für ein Konzept zur Energieversorgung im Jahre 2050 zu unterbreiten. Zudem sollten sich Entscheidungsgrundlagen für das weitere Vorgehen ergeben.

### 3 Methodisches Vorgehen und Szenarien

#### 3.1 Die Methodik im Überblick

Die Modellierung von räumlich differenzierten Szenarien für die Energienachfrage und die Energieversorgung von Gebäuden erlaubt es, das EK 2050 in ein energiepolitisches Umfeld einzubetten, um die Umsetzbarkeit des Konzepts zu beurteilen. So wurden beispielsweise unterschiedliche Annahmen zu Sanierungsraten, zum Restriktionsgrad des Denkmalschutzes bei Sanierungen und zur Realisierung leitungsgebundener Energieverbände implementiert.

Zur Methodik der Studie (Abbildung 1):

1. Nach einer Analyse der heutigen Wärmeversorgung wurden auf Basis der 2000-Watt-Zielvorgaben der Stadt Zürich die entsprechenden Szenarien formuliert. Um Bedarf und Wirkung von energiepolitischen Massnahmen aufzuzeigen, wurden nebst einem Referenz-Szenario ein Effizienz-Szenario (nachfolgend mit der Ergänzung «a», siehe Tabelle 1) sowie durch Variation von Annahmen auch weitere Szenario-Varianten definiert.
2. Ferner wurden räumlich differenzierte Analysen der Nachfrage nach Wärme für Gebäude (Raumwärme, Warmwasser) und gebäudebezogene Elektrizität<sup>2</sup> sowie der lokalen Potenziale der erneuerbaren Wärme bzw. der bestehenden Energieversorgungsstruktur durchgeführt. Damit konnten die Möglichkeiten und Erfordernisse der Nutzung solcher Energiequellen aufgezeigt werden. Dadurch lässt sich die Stadt Zürich in Gebiete unterteilen, die sowohl nachfrage- wie angebotsseitig spezifische Merkmale aufweisen.
3. Die künftige Entwicklung der Energienachfrage der Gebäude wird zum einen durch Veränderungen im Mengengerüst (Entwicklung der EBF) bestimmt, d.h. durch Neubauten und Ersatzneubauten, sowie durch die Ausrüstung mit neuer Gebäudetechnik und Geräten. Zum anderen wird die Nachfrage durch Effizienzverbesserungen aufgrund der Erneuerung von Gebäuden, Anlagen und Geräten beeinflusst. Da raumplanerische, städtebauliche und architektonische Randbedingungen neben dem Gebäudealter mitbestimmend sind, verlaufen diese Entwicklungen räumlich nicht homogen. Dies wird mittels des räumlich differenzierten Gebäudeparkmodells abgebildet (blauer Bereich in Abbildung 1). Je nach Szenario entwickelt sich der Energiebedarf anders.
4. Anschliessend wurden in Zusammenarbeit mit Experten der Begleitgruppe Zielwerte der Wärmeversorgung für jedes Teilgebiet im Jahre 2050 festgelegt. Die Ausschöpfung der verfügbaren Energiepotenziale pro Teilgebiet bzw. die Allokation der Nachfrage auf die verschiedenen Energieträger erfolgte dabei gemäss der lokal differenzierten künftigen Nachfragedichte, der erwähnten energiepolitischen Priorisierung - gemessen an den THG-Emissionskoeffizienten (THG-EK) und den PE-Faktoren (PEF) -, der lokalen Verfügbarkeit der erneuerbaren Energien bzw. Knappheit (z.B. bei den überregionalen Potenzialen von Holz) und der Wirtschaftlichkeit. Betreffend Erzeugungsmix der Strom- und der Fern-

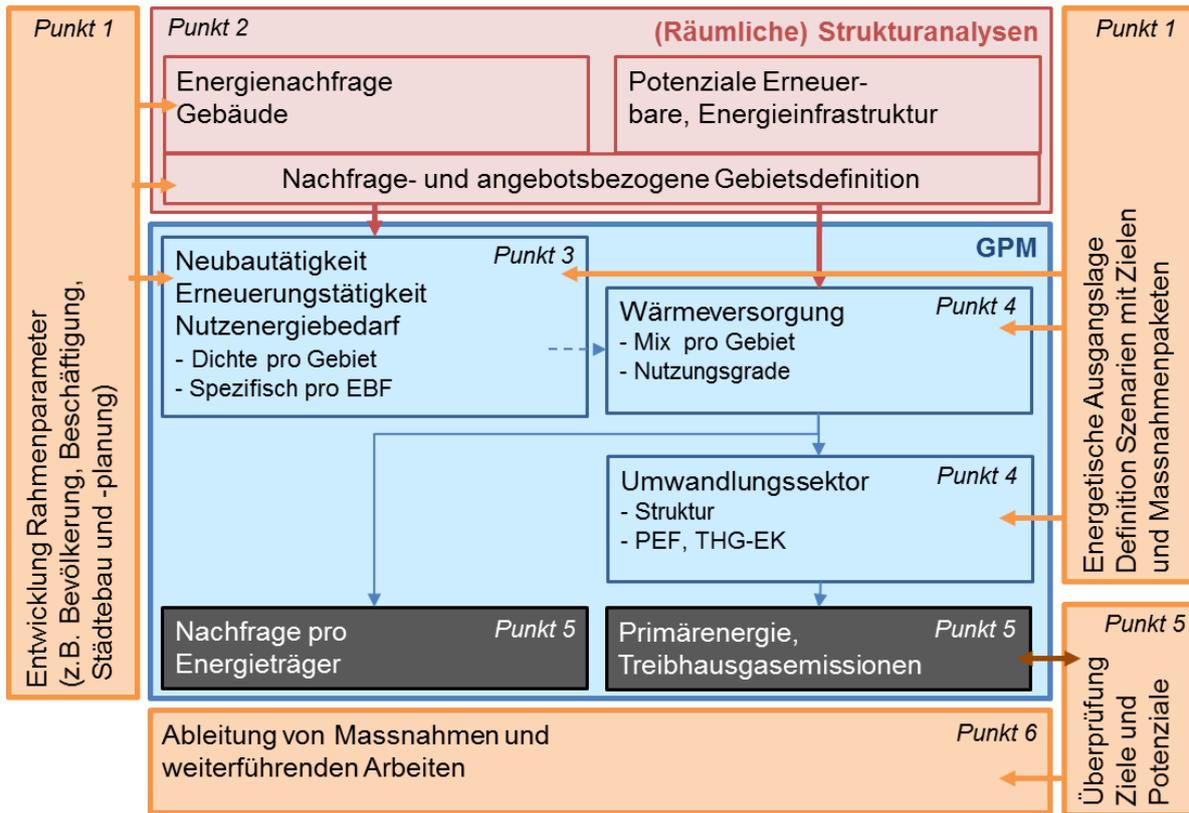
---

<sup>2</sup> Für die Analyse der Energienachfrage des Gebäudebereichs wurde auf das Gebäudeparkmodell abgestützt, siehe:

<http://www.stadt-zuerich.ch/dib/de/index/energieversorgung/energiebeauftragter/publikationen/gebaeudeparkmodell---schlussbericht-2010.html>

wärmeversorgung wurde auf die bestehenden Szenarien von ewz (2008) und ERZ Fernwärme Zürich abgestützt.

5. Ein wichtiges Teilergebnis des Projekts EK 2050 war die Gegenüberstellung der Nachfrage nach erneuerbarer Energie und der entsprechenden Angebotspotenzialen, differenziert nach Energiequelle und den definierten Teilgebieten. Abschliessend erfolgte die Überprüfung der Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft für das ganze Stadtgebiet.
6. Aufgrund der Ergebnisse und der Zielerreichungsbeiträge wurde der Bedarf nach erforderlichen Massnahmen und weiterführenden Arbeiten abgeleitet.



Quelle: TEP Energy

Abbildung 1: Überblick über das methodische Vorgehen im Projekt EK 2050.

### 3.2 Räumliche Differenzierung

Das Projekt berücksichtigt drei Haupteinflussfaktoren, welche ein 2000-Watt-kompatibles Energieversorgungskonzept bestimmen (Abbildung 2): Die räumlich differenzierte Verfügbarkeit erneuerbarer Energien, die durch städtebauliche Vorgaben und Entwicklung von Bevölkerung und Beschäftigung beeinflusste bauliche und räumliche Dynamik (Volumen in  $m^3$  und Dichte der Energiebezugsfläche (EBF) in  $m^2$  pro Hektare) sowie die durch Effizienzmassnahmen beeinflusste Endenergie-nachfrage (Effizienz in  $kWh/m^2$  EBF).

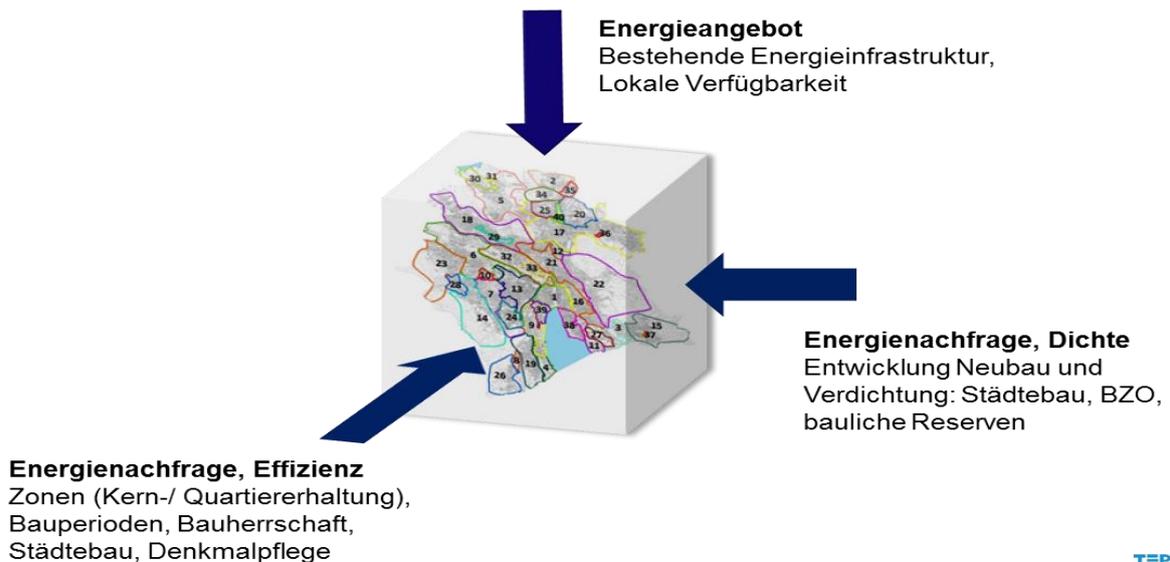


Abbildung 2: Einflussfaktoren des Projekts EK 2050

Die Abschätzung der künftigen Energienachfrage im Gebäudebereich basiert einerseits auf der Entwicklung eines räumlich differenzierten Mengengerüsts (Energiebezugsflächen) sowie auf Szenarien über die künftige räumlich differenzierte Energienachfrage. Basis des räumlich differenzierten Mengengerüsts bilden Daten des schweizerischen Gebäude- und Wohnungsregister der Stadt Zürich, in welchem alle Gebäude auf dem Stadtgebiet erfasst sind. Diese Daten sind in einem geografischen Informationssystem (GIS) räumlich darstellbar. Je nach Gebäudekategorie, Bauperiode, Denkmalschutzvorgaben und Bauzone wurden die Gebäude verschiedenen Erneuerungstypen mit spezifischen Annahmen zu den Erneuerungsraten und Erneuerungsmassnahmen an der Gebäudehülle und in der Gebäudetechnik zugeordnet. Zudem wurden die Vorgaben der Räumlichen Entwicklungsstrategie (RES) zu den Potenzialen für die baulichen Verdichtungen für jedes Stadtgebiet integriert.

Die Daten im Gebäudeparkmodell sind für den geographischen Auflösungsgrad «einzelnes Gebäude» vorhanden und daher auch in einem geographischen Informationssystem in dieser Qualität abbildbar. Aus dem räumlich differenzierten Abgleich zwischen Angebot von lokal gebundenen erneuerbaren Energien und der Nachfrage ergeben sich verschiedene städtische Teilgebiete, die sich nach gebäudetypspezifischen Eigenschaften, der Nachfragedichte (GWh/ha) für 2005 und 2050, den Potenzialen von gebundenen erneuerbaren Energien und nach den bestehenden Fernwärmegebieten unterscheiden.

### 3.3 Hauptszenarien

Die Szenarien über die künftige räumlich differenzierte Entwicklung der Energienachfrage umfassen folgende Überlegungen:

- Gebäudetypspezifische Annahmen zu Gebäudehüllen- und Gebäudetechnik-Erneuerungen (Erneuerungsraten und spezifische energetische Verbesserungen): Aufgrund der verschiedenen Bauperioden und der Anteile der inventarisierten und denkmalgeschützten Gebäude in Kern- und Quartiererhaltungszonen ergeben sich unterschiedliche Anteile der energetischen Erneuerungstypen. Damit resultieren ein räumlich differenzierter Massnahmenmix und auch unterschiedliche Effizienzpotenziale bzw. relative Nachfrageentwicklungen.

- Die Berechnung des spezifischen Energiebedarfs (v.a. Raumwärme und Raumkühlung sowie Warmwasser) wurde für eine überschaubare Anzahl Fälle von Gebäudetypen – differenziert gemäss den erwähnten räumlichen, bautechnischen und energetischen Kriterien – durchgeführt. Weitere Einflussfaktoren wie die technische Ausrüstung der Gebäude oder der Strombedarf von Geräten und anderen Energiedienstleistungen wurden nur nach Gebäudetyp, nicht jedoch räumlich differenziert festgelegt.
- Zudem wurden auch die Vorgaben aus der Räumlichen Entwicklungsstrategie (RES) integriert, welche die Potenziale künftiger baulicher Verdichtungen und ihre unter städtebaulichen Aspekten wünschbare Umsetzung aufzeigen.

Um die Auswirkungen von Annahmen und Massnahmen besser abschätzen zu können, wurden als Hauptszenarien zunächst ein Referenz- und ein Effizienz-Szenario erarbeitet. Das Referenz-Szenario geht von einer moderaten Entwicklung in der Energieeffizienz und in der Nutzung erneuerbarer Energien aus, die bis ins Jahr 2010 beschlossene Massnahmen berücksichtigt. Das Effizienz-Szenario a setzt hingegen eine deutliche Steigerung und markante strukturelle Veränderungen in der Energieeffizienz und in der Nutzung erneuerbarer Energien voraus.

In Tabelle 1 sind die Annahmen für die beiden Szenarien dargestellt. Die Annahmen zur künftigen Dynamik von Bevölkerung und Beschäftigten in der Stadt Zürich sind bei allen Szenarien einheitlich. Sie basieren auf der Bevölkerungsentwicklung der Stadt und des Kantons Zürich sowie Berechnungen des Amts für Städtebau und der Räumlichen Entwicklungsstrategie (RES). Zusätzlich wurden für das Effizienz-Szenario a durch Variation von wichtigen Annahmen zwei Szenario-Varianten und drei Sensitivitäten modelliert (siehe Kapitel 5.4.).

Charakteristika	Energiebezugfläche	Erneuerungsraten	Erneuerungstiefe	Energieträgermix
Unterscheidungsfälle				
Referenz	Moderate Reserveaus-schöpfung	Referenz Gebäu-deparkmodell	Wie Referenz in Wallbaum, Jakob et al. (2010), ähnlich wie MuKE n 2008	Wie Referenz in Wallbaum, Jakob et al. (2010) Strommix „weiter wie bisher“ (Szenario 1, ewz 2008)
Effizienz-Szenario a	Wie Referenz	40 % bis 70 % höher im Vergleich zu Referenz, Denkmalschutz berücksichtigt	Zunächst wie Minergie, später wie Minergie-P, aber Denkmalschutz berücksichtigt	Grosse Verbundnetze mit Seewasser und ARA Strommix „erneuerbar“ (Szenario 2, ewz 2008)

Tabelle 1: Synoptische Darstellung der Haupt-Szenarien Referenz und Effizienz a

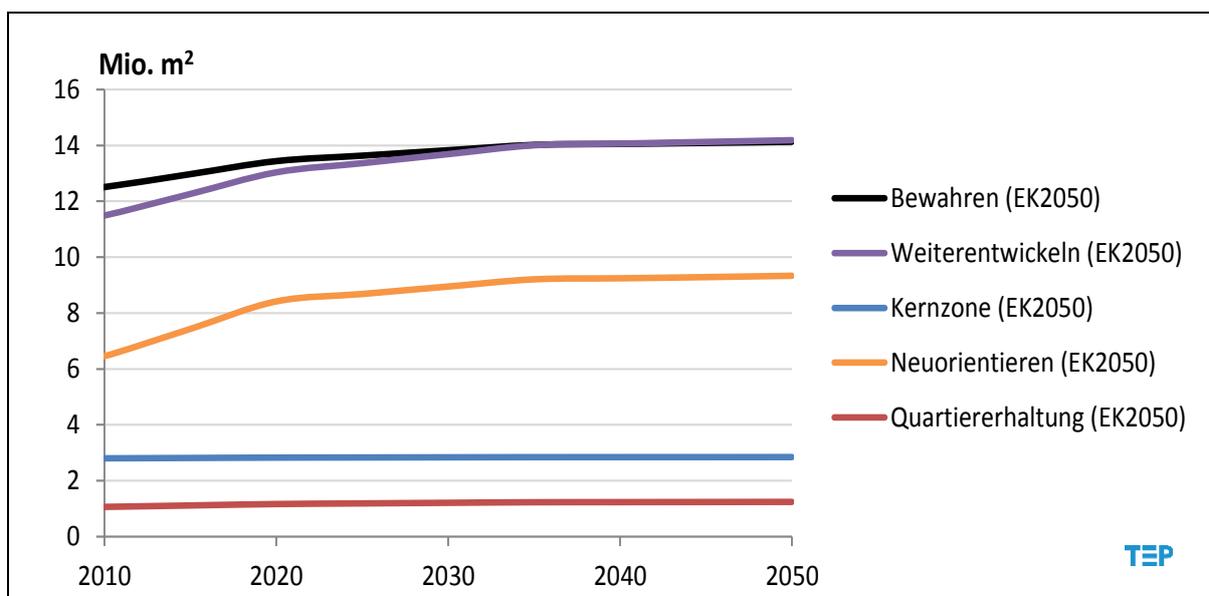
## 4 Räumliche Differenzierung von Energienachfrage und Potenzialen von erneuerbaren Energien

Aus dem räumlich differenzierten Vergleich der Nachfrageszenarien mit den abgeschätzten Angebotspotenzialen ergibt sich für jede erneuerbare Energiequelle ein Überschuss oder ein Defizit in der Nachfrage pro Teilgebiet für den Zeithorizont 2050. Lokale Defizite können teilweise mit lokal ungebundenen erneuerbaren Energien (v.a. Biogas und feste Biomasse) ausgeglichen werden.

### 4.1 Energienachfrage

Die Energienachfrage wird sich im Referenz- und im Effizienz-Szenario lokal unterschiedlich entwickeln. Gründe hierfür sind ein unterschiedliches lokales Flächen- und Bevölkerungswachstum, das u.a. durch differenzierte bauliche Ausnutzungsreserven bzw. Verdichtungspotenziale bestimmt wird. Im Effizienz-Szenario wirken zudem lokal unterschiedliche Gebäudealter, welche zeitlich differenzierte Sanierungswirkungen zur Folge haben. Wirksam sind aber auch städtebauliche, architektonische und denkmalpflegerische Merkmale, die die Effizienzentwicklung je nach Gebiet etwas einschränken. Auch der Anteil an Neubauten ist je nach Gebiet sehr unterschiedlich, weil die Ausnutzungsreserven ungleich verteilt sind.

Gemäss den Aussagen der Räumlichen Entwicklungsstrategie (RES) zu den Potenzialen für bauliche Verdichtungen und abgestützt auf die Bau- und Zonenordnung (BZO, Stand vor der 2013 eingeleiteten Teilrevision) wurde das Stadtgebiet fünf Nachfragezonen zugeordnet, welche sich an den RES-Kategorien orientieren: Kernzonen<sub>EK 2050</sub>, Quartiererhaltung<sub>EK 2050</sub>, Bewahren<sub>EK 2050</sub>, Weiterentwickeln<sub>EK 2050</sub> und Neuorientieren<sub>EK 2050</sub>. Anhand von Ausschöpfungsraten wurde auf der Basis der in der Bau- und Zonenordnung definierten ausnutzbaren Flächenreserven die Neubautätigkeit bis 2050 räumlich differenziert abgeschätzt, wobei sich die Ausschöpfungsraten je nach Nachfragezone unterscheiden.



Quelle: TEP Energy

Abbildung 3: EBF-Entwicklung pro Nachfragezonen für den gesamten Gebäudepark.

Die grössten Flächenanteile weisen die Nachfragezonen «Weiterentwickeln» und «Bewahren» auf, gefolgt von der Zone «Neuorientieren» (Abbildung 3). Bis 2050 wird von einer Zunahme der gesamten Energiebezugsfläche von 22% bzw. 7,4 Mio. m<sup>2</sup> ausgegangen. Die Nachfragezonen «Neuorientieren» (plus 45%) und «Weiterentwickeln» (plus 23%) nehmen gemäss Annahmen am stärksten zu, in der Zone «Bewahren» ist der Anstieg (plus 13%) eher gering und die «Kernzone» bleibt stabil.

Mit einem Zuwachs an EBF von knapp 3 Mio. m<sup>2</sup> (plus 23%) weist die Kategorie Mehrfamilienhäuser absolut das grösste EBF-Wachstum auf, gefolgt von Bürogebäuden mit einem Wachstum von knapp 2 Mio. m<sup>2</sup> (plus 30%). In Anbetracht der unterstellten Bevölkerungszunahme von 15% in der Stadt Zürich sind diese Entwicklungen gerechtfertigt.

Je nach Gebäudekategorie, Bauperiode, Denkmalschutzvorgaben und Art der Bauzone wurden die Gebäude verschiedenen Erneuerungstypen mit spezifischen Annahmen zur Erneuerung von Gebäudehülle und Gebäudetechnik zugeordnet. Daraus ergaben sich räumlich differenzierte Erneuerungsmassnahmen und Effizienzgewinne. Der spezifische Energiebedarf wurde für eine überschaubare Anzahl typisierter Fälle berechnet: sechzehn Gebäudetypen mit je zwei Nutzungsformen, je fünf Bauperioden der Vergangenheit, je fünf Erneuerungszustände. Im Gebäudeparkmodell erfolgte eine differenzierte Hochrechnung auf alle Gebäude in der Stadt Zürich.

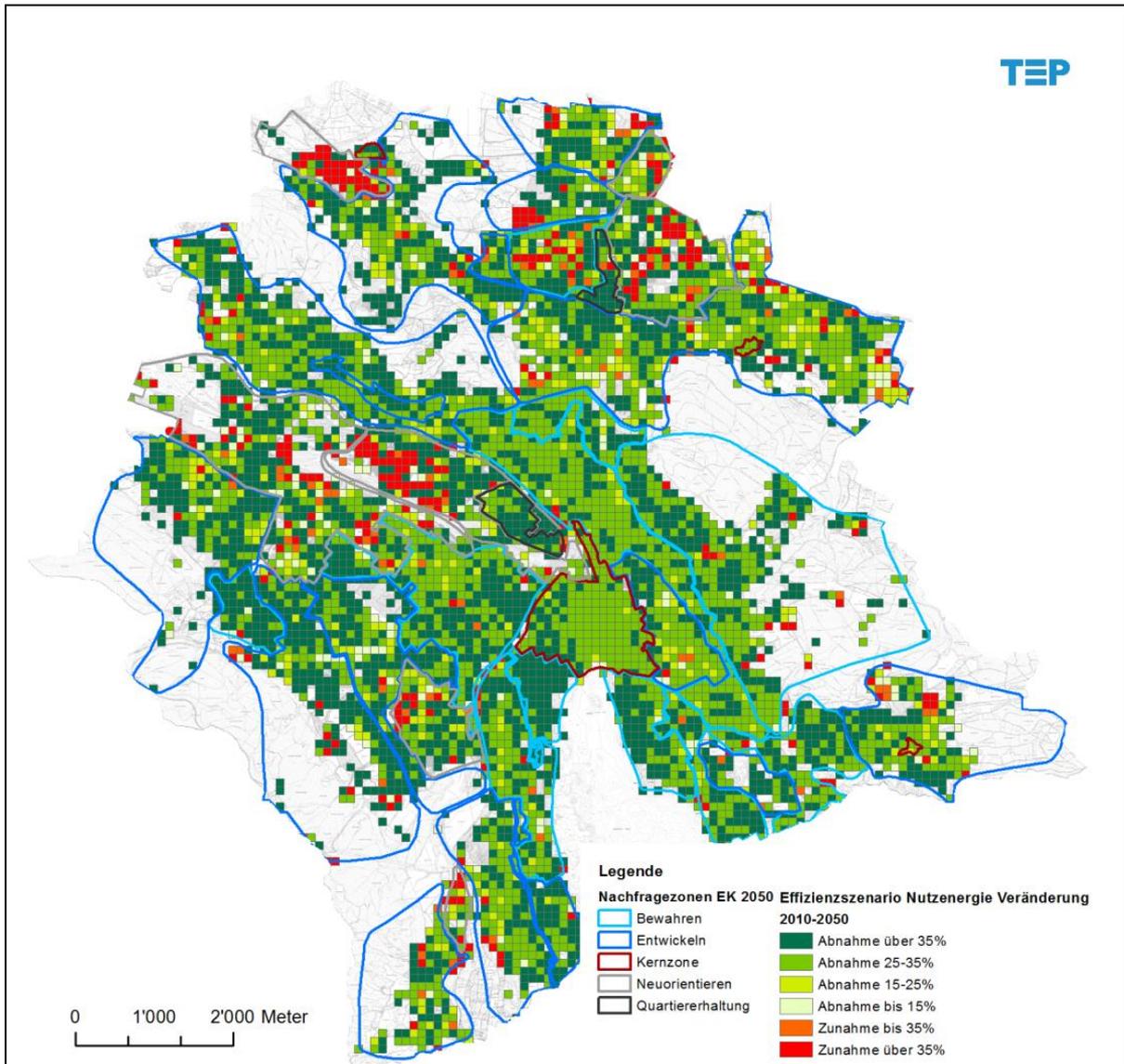
Exemplarisch wird nachfolgend die Erneuerung des Bauteils Aussenwand bei Mehrfamilienhäusern erläutert. Dabei wurde von den entsprechenden Annahmen in Wallbaum et al. (2010) ausgegangen. Diese wurden in Jakob et al. (2012) im Hinblick auf architektonische und denkmalpflegerische Aspekte weiter differenziert: Aussendämmungen in Form von Wärmedämmverbundsystemen («Kompaktfassaden») oder hinterlüfteten Fassaden sind nicht überall möglich, während Innendämmungen als Alternative denkbar sind, aber nicht in allen Fällen. Je nach Anteil der denkmalgeschützten oder inventarisierten Gebäude reduziert sich die energetische Erneuerungsrate um 5% bis 50%.

Ähnlich den Erneuerungsraten wurde auch der Wärmedurchgang durch die Wand anhand mittlerer U-Werte quantifiziert – differenziert nach Nachfragezonen. So ist davon auszugehen, dass bei Innendämmungen der U-Wert im Vergleich zu Aussendämmungen weniger stark reduziert werden kann (Tabelle 2, Erneuerungstiefe).

U-Werte (W/m <sup>2</sup> K) Erneuerungstiefe	2005	2015	2025	2045	2050
Innendämmung (geschützte u. inventarisierte Bauten)	0.65	0.63	0.60	0.58	0.55
Zum Vergleich: Aussendämmung	0.35	0.30	0.23	0.20	0.17

Tabelle 2: U-Werte der Wärmedämmung bei energetischen Erneuerungen

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte ergeben sich räumlich unterschiedliche Erneuerungsraten und unterschiedliche Wirkungen der Effizienzmassnahmen (Erneuerungstiefen). In Kombination mit den räumlich differenzierten Flächenzunahmen ergeben sich auch räumlich unterschiedliche Entwicklungen bei der Nutzenergie-Nachfrage (Abbildung 4).



Quelle: TEP Energy

Abbildung 4: Veränderung der Nutzenergie-Nachfragedichte (MWh/ha) für Wärmezwecke zwischen 2010 und 2050 gemäss Annahmen des Effizienz-Szenarios a

#### 4.2 Energieinfrastruktur und Potenziale erneuerbarer Energien

Ein grosser Teil des Angebots an erneuerbaren Energieträgern ist stark lokal gebunden (z.B. Energie aus Oberflächengewässern oder aus gereinigtem Abwasser). Zudem ist eine räumliche Nähe zwischen Angebot und Nachfrage wichtig, da diese Energieträger über leitungsgebundene Energiesysteme genutzt werden. Daher muss die künftige Wärmenachfrage lokal differenziert dem lokal verfügbaren Angebot an Abwärme und Wärme aus erneuerbaren Quellen gegenüber gestellt werden. Bei mehreren an einem Standort verfügbaren erneuerbaren Energieträgern ist eine Priorisierung nach bester Eignung für die Energiebedürfnisse (z.B. Vorlauftemperaturen) und nach energiepolitischer Bewertung (z.B. hinsichtlich Primärenergie und THG-Emissionen) vorzunehmen. Lokale Nachfrageüberschüsse können allenfalls mit räumlich weniger gebundenen erneuerbaren Energien wie Biogas (setzt aber Gasinfrastruktur voraus), mit Holzenergie oder mit Wärme aus der Umgebungsluft

gedeckt werden. Für die Potenzialabschätzung stehen je nach Energiequelle Systemgrenzen gemäss Tabelle 3 im Fokus.

<b>Energieträger</b>	<b>Systemgrenze</b>	Kanton Zürich, nahe Regionen, Schweiz und nahes Ausland	Stadtgebiet	In unmittelbarer Nähe zum Verbraucher
Abfall (Fernwärme mit Kehrrichtabwärme)		x		
Holz und andere Biomasse		x		
Biogas		x		
Erneuerbare Elektrizität (für Wärmepumpen)		x		
Umweltenergie Luft				x
Solarenergie (Solarkollektoren)				x
Erdwärme / untiefe Geothermie				x
Grundwasser, Oberflächengewässer			x	(x)
Abwasser (ohne Inhouse-Nutzung)			x	

Tabelle 3: Systemgrenzen für die Abschätzung der Angebotspotenziale

Auch innerhalb des Stadtgebiets muss differenziert werden: Als Beispiel sind in Abbildung 5 die Gebiete in der Stadt Zürich aufgeführt, in denen aus Gründen des Grundwasserschutzes die Nutzung von Erdwärme gar nicht oder nur mit Auflagen bewilligungsfähig ist.

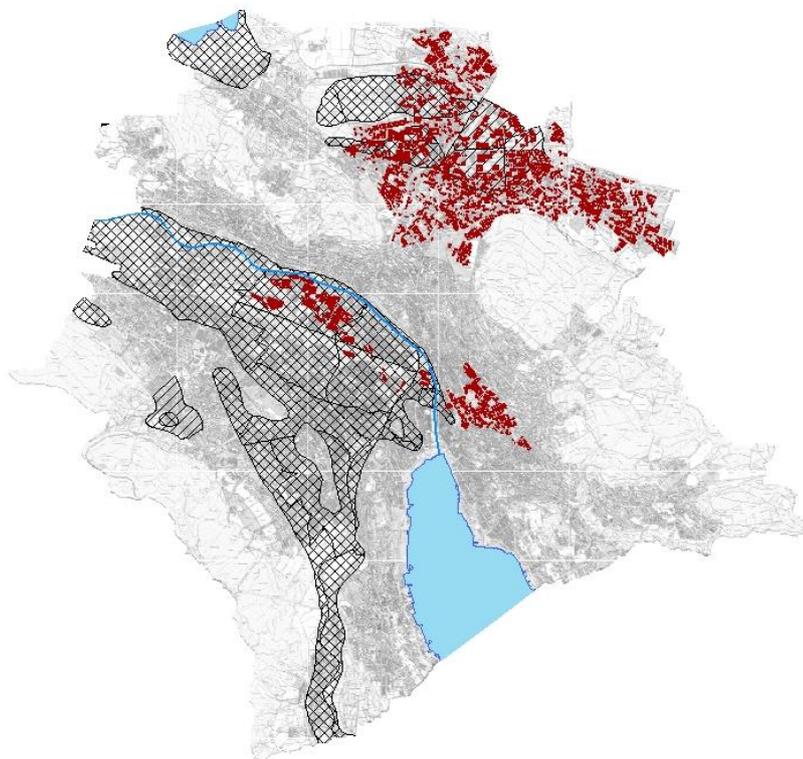


Abbildung 5: Gebiete mit Verbot bzw. Einschränkungen für die Erdwärmenutzung (schraffiert) und Fernwärmegebiete (rot: angeschlossene Gebäude)

Anhand der räumlichen Verfügbarkeiten, weiteren Einschränkungen für jede dieser Quellen, der Einflussfaktoren der Nachfrageentwicklung (z.B. Denkmalschutz, Städtebau) und der bestehenden bzw. notwendigen Infrastruktur für die Wärmeversorgung wurden verschiedene Gebietstypen definiert (Abbildung 6).

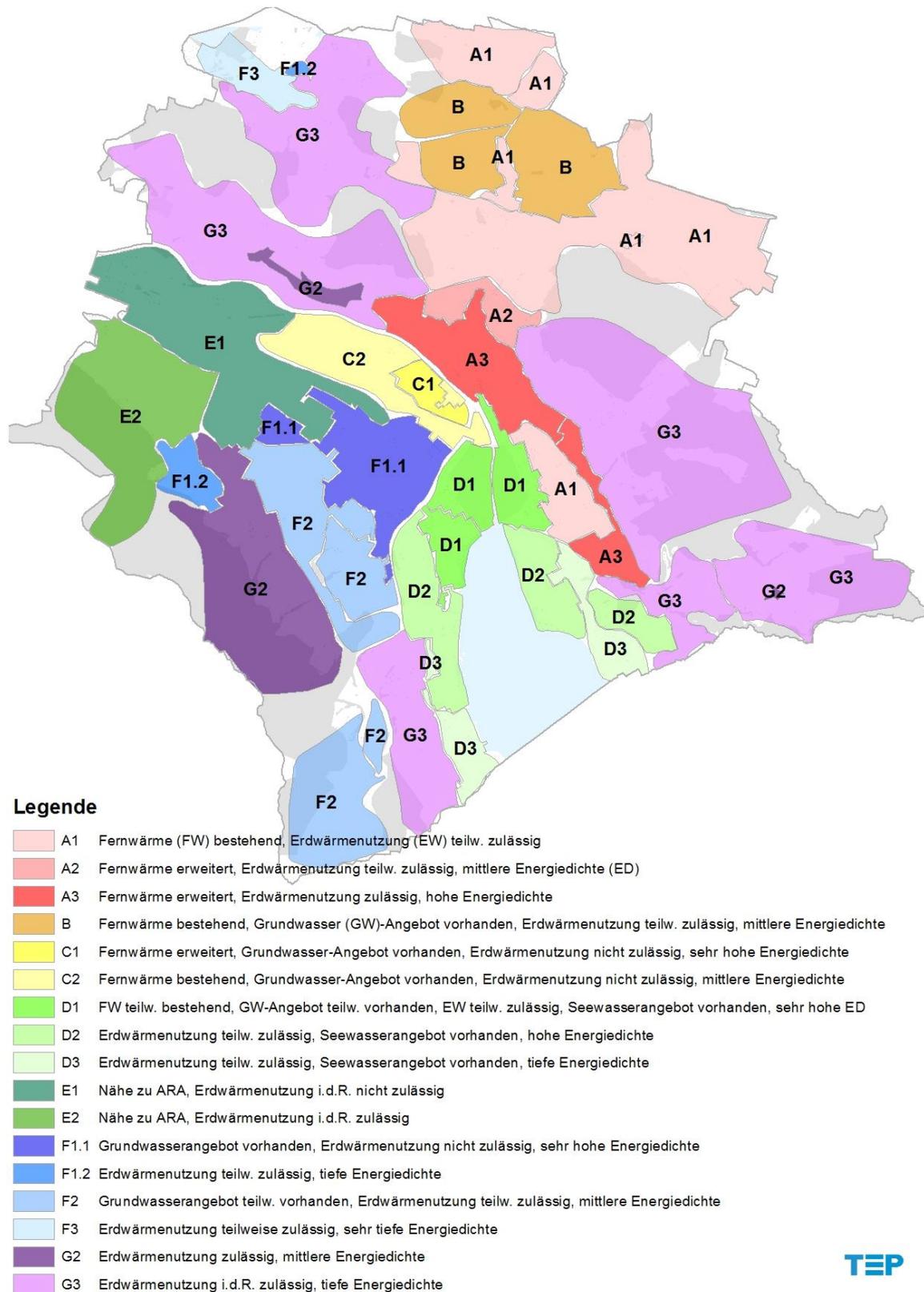


Abbildung 6: Gebietstypen nach Energieangebot und Energiedichten im EK 2050.

Im bestehenden Fernwärmegebiet beispielsweise wird weiterhin von einer Nutzung von Abwärme aus der Kehrrechtverbrennungsanlage ausgegangen. In Altstetten lässt sich Wärme aus dem gereinigten Wasser des Klärwerks Werdhölzli nutzen, und in See- und Limmatnähe bietet die Energie aus See- und Flusswasser eine gute Basis für Wärmepumpenlösungen im Winter bzw. für effiziente Gebäudekühlung im Sommer.

Auch der Grundwasserkörper zwischen der Innenstadt und Altstetten bietet noch gewisse energetische Potenziale. Voraussetzung für die Nutzung dieser Energiequellen sind in der Regel neu zu erstellende Energieverbünde. In weniger dicht bebauten Quartieren, wie z.B. Witikon, Zürichberg, Höngg, Affoltern oder Albisrieden, hat die Nutzung von Erdwärme einen höheren Stellenwert. Diese Gebiete weisen geringere Energiedichten auf, verfügen über keine anderen konzentrierten Umweltenergie- oder Abwärmequellen und die Nutzung von Erdwärme ist nicht durch Grundwasservorkommen eingeschränkt. Es wurde jeweils angenommen, dass der Strombedarf der Wärmepumpen vorwiegend durch erneuerbare Elektrizität gedeckt wird.

Hieraus resultieren gut abgestützte quantitative Einschätzungen der lokal gebundenen Potenziale der erneuerbaren Energien, welche räumlich strukturiert, bezüglich Deckungsgrad beurteilt und in Form von GIS-Layern aufgearbeitet sind. Auf der Basis der Abschätzungen der Potenziale und Einschränkungen erneuerbarer Energien wurden 17 lokale Gebietstypen mit spezifischen Angebotsstrukturen für erneuerbare Energien und Energiedichten (ED) erarbeitet (Abbildung 6).

Bei der Beurteilung der Angebotspotenziale ist zu beachten, dass es sich dabei häufig um Potenziale mit Bandlastcharakter handelt, während viele Profile der Wärmenachfrage hohe Spitzenlasten mit eher geringen Jahresvollbetriebsstunden aufweisen. Daher muss differenziert werden, ob die betreffende Energienachfrage mit lokalen Potenzialen von erneuerbaren Energien monovalent (100% Deckungsanteil) oder bivalent (Deckung der Grundlast, höhere Volllaststunden, aber bessere Potenzialausschöpfung) gedeckt werden soll. Zudem muss bei einfach transportierbaren Energieträgern (z.B. bei Holz und Biogas) je nach energetisch akzeptabler Transportdistanz zwischen lokalen und geografisch erweiterten Potenzialgrenzen unterschieden werden (Abbildung 7).

Der Unterschied zwischen lokalen und erweiterten Potenzialen kann unterschiedliche Gründe haben. So wird beim Abfall das erweiterte Potenzial unter der Annahme berechnet, dass ab 2025 mit zusätzlichem Abfall aus dem Kanton Zürich im Kehrrechtwerk (KHKW) Hagenholz eine dritte Ofenlinie zugebaut werden kann. Dies steht im Einklang mit der langfristigen Abfallplanung im Kanton Zürich. Das lokale Potenzial hingegen basiert nur auf der heute in den beiden bestehenden Ofenlinien des KHKW Hagenholz genutzten Abfallmengen.

Beim Biogas aus Grüngut ist die Nachfrage deutlich grösser als das totale Angebot. Dieses Ergebnis ist aber zu relativieren, weil Energie 360° AG mittels Biogasimporten mittelfristig den Absatz auf rund 500 GWh ausbauen will, im Modell aber gemäss dem Gasabsatzanteil der Stadt Zürich am Volumen von Energie 360° AG nur 30% dieser Importmengen der Stadt Zürich angerechnet wurden.

Bei Abwärme und der Umweltenergie Luft sind die Potenziale nur schwer exakt bestimmbar. Gebäudeinterne Abwärmennutzungen sind im Gebäudeparkmodell in der Wärmenachfrage bereits berücksichtigt. Weitere Abwärmepotenziale aus stromintensiven Anwendungen in den Bereichen IT und Telekommunikation sind mangels Datengrundlagen nur grob abschätzbar. Beim Wärmepotenzial von Luft wird das grundsätzlich sehr grosse Potenzial im städtischen Raum durch restriktive Faktoren wie Ästhetik (ausser platzierte Wärmetauscher), Platzbedarf bei Gebäuden und Lärmemissionen von Luft-Wasser-Wärmepumpen in nur grob abschätzbarem Ausmass eingeschränkt.

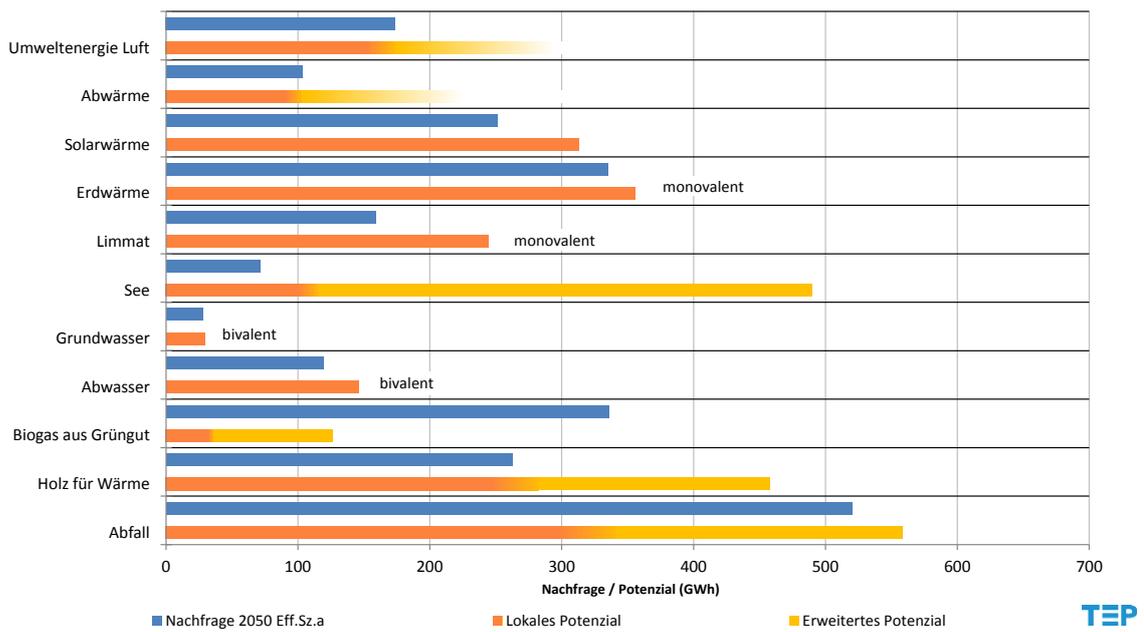
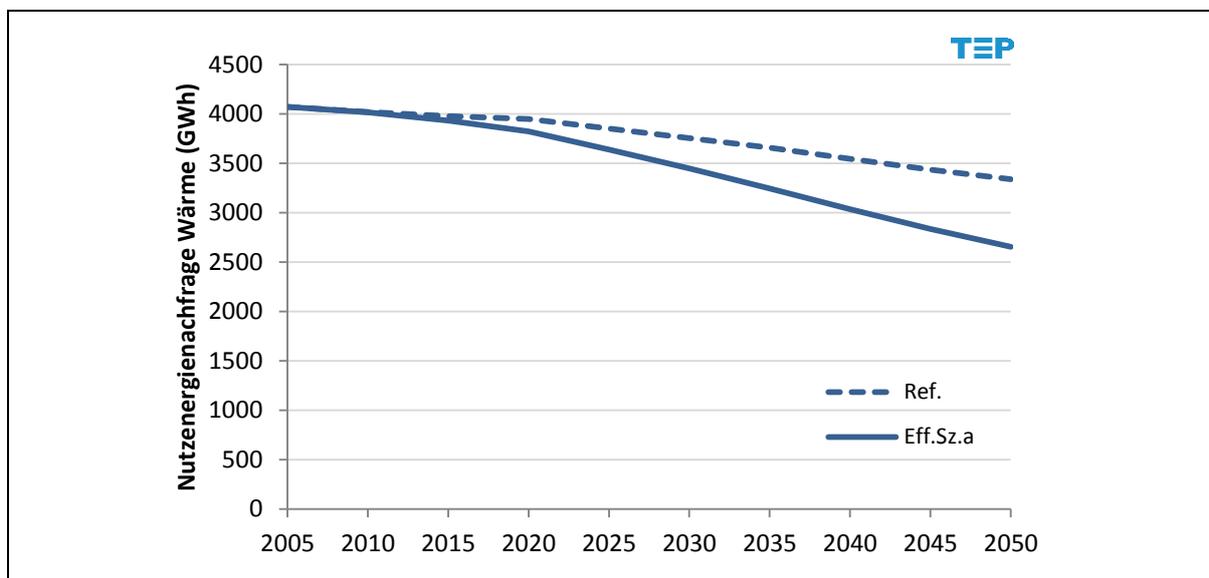


Abbildung 7: Angebotspotenziale pro Energieträger im Vergleich zur Endenergienachfrage für Wärme (ohne Stromanteile) im Effizienz-Szenario a im Jahr 2050.

## 5 Ergebnisse Energienachfrage und Bedarfsdeckung

### 5.1 Nutzenergienachfrage

Die Modellergebnisse zeigen, dass aufgrund der Annahmen über die Effizienzmassnahmen die Wärmenachfrage (Nutzenergie, d.h. Endenergie abzüglich Übertragungs- und Umwandlungsverluste) bis 2050 im Referenz-Szenario um 18% und im Effizienz-Szenario sogar um 35% zurückgeht (Abbildung 8). Differenziert nach Nachfragezonen beträgt der Rückgang im Referenz-Szenario zwischen 12% bis 23%, beim Effizienz-Szenario zwischen 31% bis 39%. Je nach Gebiet wird die Entwicklung mehr oder weniger stark von den beiden gegenläufigen Faktoren Flächenwachstum und Effizienzsteigerung beeinflusst. In Gebieten mit grossem Neubau- und Ersatzneubaupotenzial steigt die Energiebezugsfläche, aber der Energieeffizienzstandard der Neubauten ist deutlich besser als bei bestehenden Bauten. Umgekehrt bleiben in Gebieten wie dem Stadtkern die Flächen etwa konstant, aber auch Veränderungen an Bauten sind eingeschränkt, sodass die Einsparungen geringer sind.



Quelle: TEP Energy.

Abbildung 8: Aggregierte Entwicklung der Wärmenachfrage auf Ebene Nutzenergie in GWh für den gesamten Gebäudepark.

### 5.2 Endenergienachfrage und Bedarfsdeckung

Vergleicht man die Nachfrageszenarien mit den geschätzten Potenzialen der lokal verfügbaren Angebote, ergibt sich für 2050 für jede erneuerbare Energiequelle und im Total ein Nachfrageüberschuss oder -defizit pro Teilgebiet. Lokale Defizite werden mit lokal weniger gebundenen erneuerbaren Energien (v.a. Biogas und feste Biomasse) und in geringem Ausmass mit fossilen Energieträgern ausgeglichen. Die Bedarfsdeckung der Endenergienachfrage in den Teilgebieten fällt im Ergebnis sehr unterschiedlich aus, was einmal mehr die Notwendigkeit einer räumlichen Differenzierung der Modellierung aufzeigt.

Abbildung 9 zeigt, dass in den 40 Teilgebieten das Angebot an lokal verfügbaren erneuerbaren Energien für die Deckung des Wärmebedarfs sehr unterschiedlich zusammengesetzt ist. Zudem sind diese Potenziale der Teilgebiete unterschiedlich gross: In Gebieten mit knappem Angebot sind zur Deckung der Nachfrage unterschiedliche Mengen von Biogas (bei weiterhin vorhandener Gasnetzinfrastruktur) und teilweise von fossilen Energien notwendig.

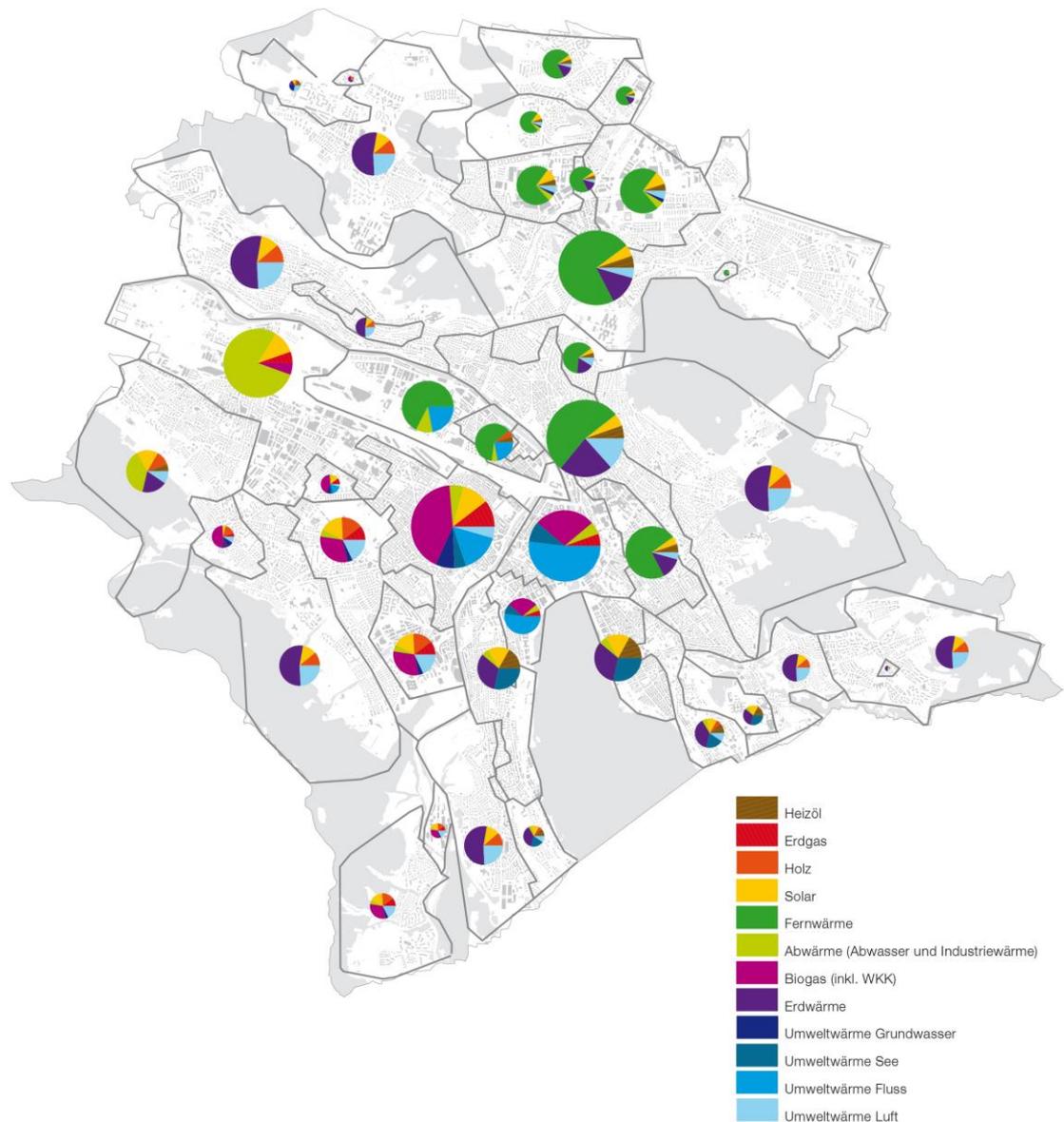


Abbildung 9: Energieträgermix auf Stufe Endenergie (Effizienz-Szenario a) für das Jahr 2050 für die 40 homogenen Gebiete des EK 2050, ohne Strom für Wärmepumpen. Energieträgeranteile pro Teilgebiet durch die Begleitgruppe geschätzt. Grafik: Amt für Städtebau

Diese Aussagen gelten für jeweils ganze Teilgebiete. Im Einzelfall eines Gebäudes spielen auch objektspezifische Rahmenbedingungen eine wichtige Rolle (energetischer Zustand, Gebäudegrösse usw.). Da in Teilgebieten erneuerbare Energien teilweise nur mit leitungsgebundenen Energieverbänden bereitgestellt werden können, kann aus wirtschaftlichen Gründen bei kleineren Gebäuden nicht von einer Anschlussfähigkeit an solche Energieverbände ausgegangen werden. Diese Einschränkung gilt auch für Anschlüsse an das bestehende Fernwärmenetz.

Zu Beginn der Betrachtungsperiode im Jahr 2005 wird die Nachfrage nach Endenergie für Wärmezwecke (Raumheizung und Warmwasser) hauptsächlich durch Erdgas und Erdöl und zu einem geringeren Mass durch Fernwärme gedeckt (Abbildung 10). Die beiden fossilen Energieträger werden über die Zeit bis 2050 in beiden Szenarien zunehmend von anderen Energieträgern abgelöst. Die bereits reduzierte Energienachfrage wird im Effizienz-Szenario a im Jahr 2050 nur noch zu knapp 5% mit Erdöl und Erdgas gedeckt. Wärmepumpen (Strom und Umweltwärme) sowie Fernwärme weisen dann die höchsten Anteile auf. Der Fernwärmeanteil steigt aufgrund der Erschliessung neuer Gebiete um einen Drittel auf einen Anteil von 25%. Zum Vergleich: im Referenz-Szenario verringern sich die Anteile der fossilen Brennstoffe ebenfalls, machen aber 2050 immer noch 65% aus (Abbildung 10, links).

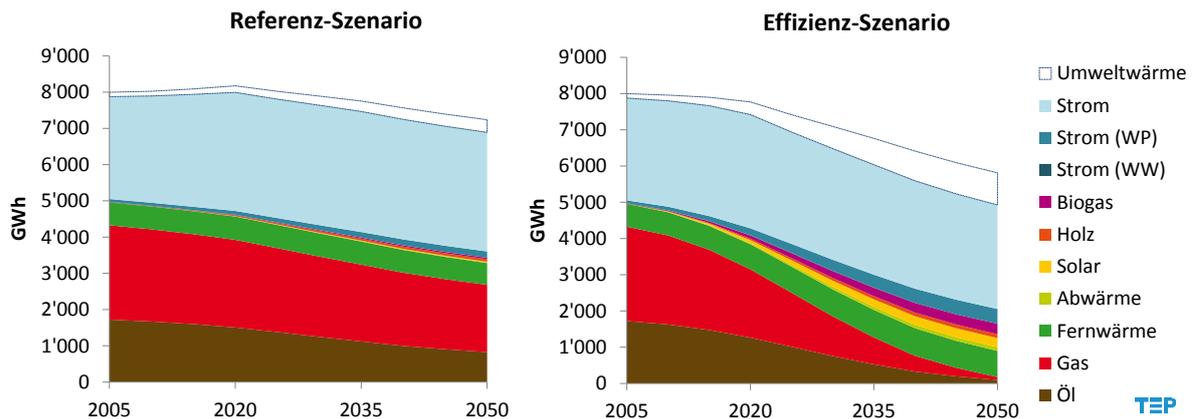


Abbildung 10: Entwicklung der Endenergienachfrage pro Energieträger im Gebäudepark (Wärme und Strom für Anwendungen im Gebäude) für das Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario a (rechts).

Die Modellergebnisse zeigen, dass im Effizienz-Szenario a aufgrund der angenommenen Effizienzmassnahmen die Nachfrage nach Strom (für Kühlung, Lüfterneuerung, Beleuchtung, Apparate und Geräte, Raumwärme und Warmwasser) zwischen 2005 und 2050 insgesamt leicht abnimmt. Trotzdem macht 2050 der Stromanteil rund die Hälfte der Endenergienachfrage aus. Dieser Anstieg ist unter anderem auf die Zunahme der Flächen und der Anzahl Wohnungen, aber auch auf die starke Zunahme von Wärmepumpen für die Nutzung von Umweltwärme zurückzuführen (um den Faktor 10, ab sehr tiefem Niveau). Bei der Wassererwärmung sinkt der Anteil der Elektroboiler im Stromverbrauch annahmegemäss gegen Null.

### 5.3 Primärenergie und THG-Emissionen

Die Primärenergienachfrage bzw. die Treibhausgasemissionen ergeben sich aus der modellierten Endenergienachfrage für die verschiedenen Energieträger und den Primärenergiefaktoren (PEF) bzw. den Treibhausgasemissionskoeffizienten (THG-EK). Grundsätzlich wird dabei zwischen der Elektrizität (welche auch in Wärmepumpen und in der Warmwasseraufbereitung genutzt wird) und anderen Energieträgern unterschieden.

Die PEF und THG-EK des Stroms ergeben sich aus der Stromnachfragestruktur, welche vom Strombeschaffungsmix der Studie «Stromzukunft Stadt Zürich» (ewz 2008) abgeleitet ist. Im Referenz-Szenario wird dabei auf das Produktionsportfolio des ewz-Szenario 1 («weiter wie bisher») abgestützt, während das Effizienz-Szenario a vom ewz-Szenario 2 („erneuerbar“) ausgeht. Bei den anderen Energieträgern wird von den Daten von Frischknecht et al. (2011) ausgegangen (fossile

Energieträger wie Erdgas und Erdöl sowie Energieträger mit erneuerbaren Anteilen wie Fernwärme, untiefer Geothermie, Holz und Solarenergie).

Ein wichtiges Ziel dieser Studie war aufzuzeigen, ob der stadtzürcherische Gebäudepark mit den unterstellten Modellannahmen wie Gebäudeeffizienzmassnahmen und Nutzung erneuerbarer Energien die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft erreichen kann. Da hier nur Szenarien für den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen des Gebäudeparks (ohne Mobilität) modelliert wurden, kann die Zielerreichung nur mit Hilfe eines Vergleichs der relativen Absenkpfade überprüft werden. Daher wird die vereinfachende Annahme getroffen, dass das Ziel insgesamt nur dann als erfüllt gilt, wenn der Gebäudepark und die Mobilität jeweils die relativen zielorientierten Absenkpfade (siehe Kapitel 2.2) erreichen.

Diese verlangen für die THG-Emissionen im Vergleich zum Basiswert des Jahres 2005 (5,5 t pro Person und Jahr) eine Reduktion um 82% (Zielwert 2050: 1 t) und für den Primärenergiebedarf eine Reduktion von 50% (von 5000 Watt pro Person und Jahr auf 2500 Watt).

Die für die Gebäude der Stadt Zürich modellierten Ergebnisse ergeben für die Periode 2005 bis 2050 folgende Absenkpfade:

- THG-Emissionen: eine Reduktion von 87% (von 3,9 auf 0.5 Tonnen pro Person und Jahr) im Effizienz-Szenario a bzw. 41% im Referenz-Szenario.
- Primärenergieverbrauch: eine Reduktion von 56% im Effizienz-Szenario a (von 4300 auf 1850 Watt pro Person und Jahr) bzw. 16% im Referenz-Szenario.

Damit können im Effizienz-Szenario a die städtischen 2000-Watt-Vorgaben für den Gebäudepark erreicht werden. Auch die aufgrund der Modellergebnisse zu erwartende Nachfrageverschiebung in Richtung Elektrizität wirkt sich nicht nachteilig auf die THG-Emissionen aus, weil künftig gemäss Langfriststrategien von ewz von einer Strombeschaffung aus erneuerbaren Quellen ausgegangen wird. Der Anteil und die absolute Menge der erneuerbaren Energie pro Person nehmen ab 2005 stetig zu, während die fossilen und nuklearen Anteile deutlich abnehmen (Abbildung 11).

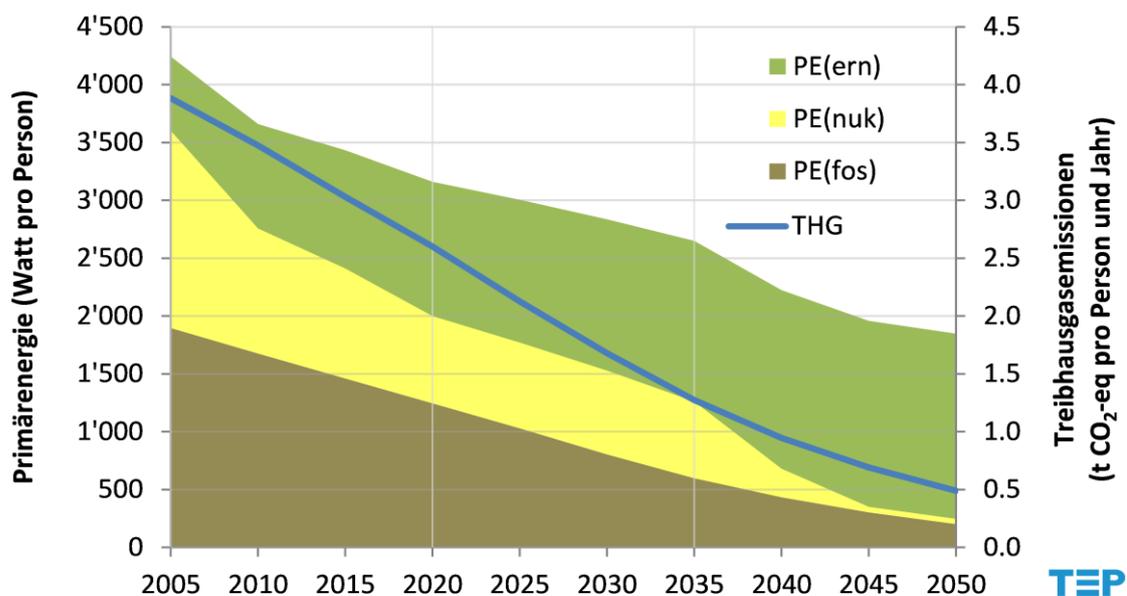


Abbildung 11: Entwicklung der Primärenergienachfrage (erneuerbar, nuklear, fossil) und der THG-Emissionen im Gebäudebereich pro Person in der Stadt Zürich im Effizienz-Szenario a (Grafik: TEP Energy)

Die Modellergebnisse weisen einen geringfügigen nuklearen Primärenergieanteil aus, auch wenn die zukünftige Strombeschaffung von ewz keinen Kernenergieanteil mehr umfasst. Dies ist auf Berechnungsweise der 2000-Watt-Methodik zurückzuführen, die auch für Szenario-Berechnungen PEF- und THG-EK-Werte heutiger Technologien vorgibt.

In Tabelle 4 ist die Entwicklung der wichtigsten Kenngrößen im Effizienz-Szenario a von 2005 bis 2050 dargestellt. Der Endenergieverbrauch von Strom steigt aufgrund zusätzlicher Geräte bis 2020 stark an, bleibt aber danach relativ konstant, da sich der zusätzliche Stromverbrauch von Wärmepumpen durch Effizienzgewinne bei Geräten ausgleicht.

Der gesamte Primärenergieverbrauch und der nicht erneuerbare Primärenergie-Anteil sinken stetig zwischen 2005 und 2050, während der Verbrauch an erneuerbarer Primärenergie zunimmt. Dementsprechend sinken auch die Treibhausgas-Emissionen bis 2050 um mehr als 85%. Zu dieser Entwicklung führen einerseits Effizienzverbesserungen in Energieanwendungen, andererseits der Einsatz von erneuerbaren Energieträgern sowohl in der Erzeugung von Raumwärme wie auch von Strom- und Fernwärme.

In Tabelle 4 ist ersichtlich, dass die Treibhausgasemissionen wesentlich rascher zurückgehen als die gesamte Primärenergienachfrage. Grund dafür ist der forcierte Energieträgerwechsel hin zu erneuerbaren Energien, welcher auch bei gleichbleibendem Primärenergieverbrauch eine wesentliche Reduktion der THG-Emissionen bewirken würde.

<b>Effizienz-Szenario a</b> (Pro-Person-Indexwerte, 2005=100)	2005	2020	2035	2050
Endenergie Strom	100	104	103	98
Primärenergieverbrauch gesamt	100	74	62	44
Verbrauch Primärenergie nicht erneuerbar	100	56	35	7
Verbrauch Primärenergie erneuerbar	100	181	216	249
Treibhausgas-Emissionen	100	67	33	13

Tabelle 4: Entwicklung des Verbrauchs von Endenergie Strom und Primärenergie sowie Treibhausgas-Emissionen pro Person im Effizienz-Szenario a 2005 bis 2050.

Im Vergleich von Effizienz- und Referenz-Szenario (Tabelle 5) resultieren bei der Endenergienachfrage nach Strom nur geringe Unterschiede: Die im Effizienz-Szenario a angenommene Effizienzverbesserungen bei Geräten werden teilweise durch den erhöhten Stromverbrauch von Wärmepumpen wettgemacht.

Der gesamte Primärenergieverbrauch bleibt im Referenz-Szenario relativ konstant und steigt zwischen 2025 und 2030 sogar leicht an, weil im unterstellten Stromszenario «weiter wie bisher» der Kernenergieanteil (mit einem hohen PEF) noch grösser wird (ewz 2008). Im Effizienz-Szenario a resultiert ein rascher und kontinuierlicher Rückgang des gesamten Primärenergieverbrauchs auf rund die Hälfte des Wertes im Referenz-Szenario, was auch auf den vergleichsweise beschleunigten Kernenergieausstieg im unterstellten Stromszenario «erneuerbar» zurückzuführen ist (ewz 2008).

Aufgrund des forcierten Wechsels zu erneuerbaren Energieträgern im Effizienz-Szenario a steigt ebenfalls der Verbrauch an erneuerbarer Primärenergie stärker an als im Referenz-Szenario (bis 2050 um den Faktor 1,9), und die Treibhausgasemissionen gehen stärker zurück.

Effizienz-Szenario a gegenüber Referenz Pro-Person-Indexwerte, 2005=100		2005	2020	2035	2050
Endenergie Strom	Effizienz-Szenario a	100	104	103	98
	Referenz-Szenario	100	106	106	103
Primärenergie gesamt	Effizienz-Szenario a	100	74	62	44
	Referenz-Szenario	100	94	93	84
Primärenergie nicht erneuerbar	Effizienz-Szenario a	100	56	35	7
	Referenz-Szenario	100	88	88	75
Primärenergie erneuerbar	Effizienz-Szenario a	100	181	216	249
	Referenz-Szenario	100	130	121	133
Treibhausgas-Emissionen	Effizienz-Szenario a	100	67	33	13
	Referenz-Szenario	100	85	70	59

Tabelle 5: Entwicklung des Verbrauchs von Endenergie Strom und Primärenergie sowie Treibhausgas-Emissionen pro Person im Effizienz-Szenario a im Vergleich zum Referenz-Szenario 2005 bis 2050.

#### 5.4 Szenario-Varianten und Sensitivitäten

Die Ergebnisse des Referenz- und des Effizienz-Szenarios a sind abhängig von den im Modell getroffenen Annahmen. Um die Robustheit der Ergebnisse hinsichtlich Variation dieser Annahmen zu überprüfen, wurden folgende Szenario-Varianten und Sensitivitäten berechnet (Tabelle 6).

- **Verbundnetze:** Im Vergleich zum Effizienz-Szenario a geringere Ausbauten der Verbundnetze mit Abwärme aus gereinigtem Abwasser (Effizienz-Szenario b). Effizienz-Szenario c: wie b, aber mit Seewasser als Wärmequelle.
- **Erneuerungsraten, Erneuerungstiefen:** Im Vergleich zum Effizienz-Szenario a 30% geringere Erneuerungsraten (Sensitivität 1). Im Vergleich zum Effizienz-Szenario a keine Auswirkungen des Denkmalschutzes auf Effizienzmassnahmen, d.h. höhere Erneuerungsraten und grössere Erneuerungstiefen bei knapp 30% des Gebäudeparks (Sensitivität 2).
- **Flächenwachstum:** Im Vergleich zum Effizienz-Szenario a höhere Ausschöpfung der baulichen Ausnutzungsreserven und damit ein grösseres Wachstum der Energiebezugsflächen von 30% (Effizienz-Szenario a 2005 bis 2050: plus 22% EBF, Sensitivität 3).

Charakteristika Unterscheidungen	Energiebe- zugsfläche	Erneuerungsraten	Erneuerungstiefe	Energieträgermix
Effizienz- Szenario a	Wie Referenz- Szenario	40% bis 70% höher als im Referenz-Szenario, Denkmalschutz be- rücksichtigt	Zunächst wie Miner- gie, später wie Miner- gie-P, Denkmalschutz berücksichtigt	Grosse Verbund- netze mit Seewas- ser und Abwasser- reinigungsanlage (ARA)
Effizienz- Szenario b				ARA: etwas kleine- re Verbundnetze
Effizienz- Szenario c				ARA und Seewas- ser: etwas kleinere Verbundnetze
Sensitivität 1 S1		30% tiefer als im Effi- zienz-Szenario a		
Sensitivität 2 S2		Wie Effizienz-Szenario a, ohne Beachtung des „Denkmalschutzes“	Wie Effizienz-Szenario a, ohne Beachtung des „Denkmalschut- zes“	
Sensitivität 3 S3	Ganze Reser- ve- ausschöpfung			

Tabelle 6: Synoptische Darstellung der Szenario-Varianten und Sensitivitäten (nur Abweichungen der Annahmen zum Effizienz-Szenario a dargestellt)

Mit der Variation der Annahmen zum Ausbau von Energieverbänden kann den wirtschaftlichen Risiken solcher Versorgungslösungen Rechnung getragen werden. Die Ergebnisse der Effizienz-Szenarien b und c weisen gegenüber dem Effizienz-Szenario a aber nur sehr geringfügige Unterschiede auf, deren Darstellung sich nicht lohnt. Ein geringerer Ausbau der Verbundnetze mit Abwärme aus dem gereinigten Abwasser und mit Seewasser als Wärmequelle führt im Vergleich zum Effizienz-Szenario a tendenziell zu einem geringeren Strombedarf für Wärmepumpen. Der damit induzierte verstärkte Einsatz von Biogas bewirkt hingegen eine leicht erhöhte Nachfrage nach nicht elektrischen Energieträgern.

Die Ergebnisse der verschiedenen Sensitivitätsrechnungen weichen nur geringfügig von den Resultaten des Effizienz-Szenarios a ab. Das gilt beispielsweise für die Sensitivität 2 (hypothetischer Verzicht auf architektonische, denkmalpflegerische und städtebauliche Einschränkungen) oder für die Sensitivität 3 (stärkere Ausschöpfung der verfügbaren Ausnutzungsreserven).

Die Entwicklung der Energieeffizienz wird insbesondere durch die Erneuerungsraten (Häufigkeit der energetischen Erneuerung) und Erneuerungstiefe (Effizienzwirkung der energetischen Erneuerung) sowie denkmalpflegerische Aspekte beeinflusst. Mit der Variation dieser Annahmen kann die Unsicherheit über die Entwicklung der Energieeffizienz abgebildet werden. Im Vergleich zum Effizienz-Szenario a führen um 30% verminderte Erneuerungsraten (Sensitivität 1) zu einer geringeren Nachfragereduktion bei nicht elektrischen Energieträgern (2005 bis 2050: minus 46% statt minus 51% im Effizienz-Szenario a). Die Auswirkung auf den Anstieg der Stromnachfrage ist minim, der Anstieg in Sensitivität 1 im Vergleich zum Effizienz-Szenario a ist nur sehr wenig höher (plus 12% statt plus 11%). Diese Veränderungen führen daher nur zu leicht geringeren Reduktionen der Kenngrößen Primärenergieverbrauch (minus 83% statt minus 86% im Effizienz-Szenario a) und THG-Emissionen (minus 83% statt minus 86% im Effizienz-Szenario a) aus. Die Höhe der Sanierungsrate hat damit für sich allein genommen keine überragende Bedeutung. Das ist keine überraschende Schlussfolgerung, da sich das Effizienz-Szenario a auf ein recht breites Massnahmenpaket in den Bereichen Wärme und Strom abstützt und

bereits das Referenz-Szenario beim Endverbrauch von nicht elektrischer Energie eine Reduktion um 27% zeigt. Die Beeinflussung der Sanierungsrate ist trotzdem eine wichtige Einzelmassnahme: Das Effizienz-Szenario a zeigt eine Reduktion beim Endverbrauch nicht elektrischer Energie von 51% (2005 bis 2050) bzw. eine zusätzliche Reduktion von 33% im Vergleich zur Absenkung im Referenz-Szenario. In der Sensitivität 1 reduziert sich dieser Zielbeitrag im Vergleich zum Referenz-Szenario um über einen Fünftel auf nur noch 26%.

Die hypothetische Ausklammerung der Auswirkung des «Denkmalschutzes»<sup>3</sup> auf Effizienzmassnahmen (Sensitivität 2) führt zu grösseren Effizienzgewinnen im betreffenden Gebäudesegment. Damit resultiert erwartungsgemäss eine leicht stärkere Nachfragereduktion bei allen Energieträgern. Die Ergebnisveränderung ist aber sehr gering, weil nur die auf die Gebäudehüllen bezogenen Effizienzmassnahmen beim «denkmalsensiblen» Segment des Gebäudeparks von der Variation der Annahme betroffen sind und auch bei denkmalgeschützten Gebäuden Annahmen zugunsten effizienzrelevanter Innenwanddämmungen getroffen wurden. Entsprechend sind auch die Auswirkungen auf die weiteren Kenngrössen sehr gering. Der «Denkmalschutz» ist unter diesen Voraussetzungen also kein wesentlicher limitierender Faktor für die Energieeffizienz des Gebäudeparks.

Mit der Variation des Zuwachses bei den Gebäudeflächen kann der Unsicherheit bezüglich der Ausschöpfung der Ausnutzungsreserven Rechnung getragen werden. Im Vergleich zum Effizienz-Szenario a führt eine höhere Ausschöpfung der baulichen Ausnutzungsreserven und damit ein grösseres Wachstum der Energiebezugsflächen (Sensitivität 3) im Ergebnis zu einer wahrnehmbaren Erhöhung der Stromnachfrage (2005 bis 2050: plus 16% statt plus 11% im Effizienz-Szenario a) und zu einer etwas weniger weit gehenden Nachfragereduktion bei nicht elektrischen Energieträgern (minus 49% statt minus 51%) und bei der Primärenergienachfrage (minus 50% statt minus 52%). Die Stromnachfrage steigt aufgrund des überproportionalen Flächenanstiegs v.a. bei Wohngebäuden stärker (2005 bis 2050: plus 40% statt plus 29% im Effizienz-Szenario a). Ein grösseres Flächenwachstum bedeutet vor allem mehr Neubauten mit einem hohen Anteil von Wärmepumpen und einer umfangreichen Ausstattung mit Elektrogeräten, was diese stärkere Zunahme erklärt.

Bei den THG-Emissionen sind die Ergebnisunterschiede der Sensitivitäten relativ gering, weil diesbezüglich die Reduktion in der Effizienz-Szenario-Variante a bereits sehr hoch ist.

---

<sup>3</sup> In der Sensitivität 2 sind alle Arten von Sanierungseinschränkungen betroffen, also beispielsweise bei denkmalgeschützten und inventarisierten Gebäuden. Die Sensitivität 2 wird im Gebäudeparkmodell mittels angepassten Erneuerungsraten und U-Werten umgesetzt, welche pro Gebäudetyp und Bauperiode differenziert sind.

## 6 Fazit

Die in den Effizienz-Szenarien identifizierten strategischen Ansatzpunkte stellen ein kohärentes Vorgehen dar, um das Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft in den Bereichen Wohnen, Wirtschaft und Öffentliche Hand (ohne Mobilität) zu erreichen. Im Fokus stehen eine deutliche Steigerung der Energieeffizienz auf allen Ebenen (Energiegewinnung, Umwandlung, Verteilung und Nutzung) sowie der Einbezug der lokal und im erweiterten Einzugsgebiet verfügbaren erneuerbaren Energieträger. Durch die Überprüfung verschiedener Szenario-Varianten und Sensitivitäten sowie der Relevanz einzelner Massnahmen kann dieses Ergebnis im Rahmen der definierten Systemgrenzen als «robust» bezeichnet werden. Die in den einzelnen Bereichen getroffenen Annahmen stehen stellvertretend für einen anspruchsvollen, aber – bezogen auf den Zeithorizont 2050 – realistischen Massnahmenmix auf allen relevanten Handlungsebenen.

### 6.1 Die wichtigsten energiepolitischen Ergebnisse

Aus den Modellrechnungen der Szenarien und Sensitivitätsanalysen können folgende energiepolitischen Erkenntnisse gewonnen werden:

- Die Nutzenergienachfrage nach Raumwärme kann im Effizienz-Szenario im Vergleich zur Ausgangslage 2005 um 35% reduziert werden, obwohl die Energiebezugsfläche bis 2050 um 22% steigen dürfte. Diese Steigerung der Energieeffizienz in der Wärmeversorgung der Gebäude ist ein wichtiges Handlungsfeld auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft in den Bereichen Wohnen, Wirtschaft und Öffentliche Hand – reicht aber allein nicht aus.
- Ebenfalls wichtig ist die Steigerung der Energieeffizienz in allen Stromanwendungen. Strom hat eine strukturell hohe Bedeutung aufgrund der grossen Anzahl Arbeitsplätze im Vergleich zur Wohnbevölkerung in der Stadt Zürich.
- Für die Erreichung der 2000-Watt-Ziele ist zudem eine Änderung des Energieträgermixes erforderlich. Die lokal verfügbaren und die übrigen erneuerbaren Energieträger spielen bis 2050 eine wichtige Rolle, um Treibhausgas-Emissionen und nicht erneuerbare Primärenergie im Wärmebereich deutlich zu reduzieren. Inklusive Fernwärme und Wärmepumpen-Strom, welche langfristig ebenfalls aus erneuerbaren Quellen stammen sollen, tragen diese erneuerbaren Energien im Effizienz-Szenario a im Jahr 2050 zu rund 94% zur direkten Deckung der Endenergienachfrage, zu 87% zur Deckung der Primärenergienachfrage und zu 67% zur Verminderung der Treibhausgas-Emissionen bei.
- Die im Effizienz-Szenario a durch Effizienzgewinne zu erzielende Reduktion des Endenergieverbrauchs ist eine wichtige Voraussetzung, insbesondere im Hinblick auf die begrenzten Potenziale der lokal und regional verfügbaren Energieträger Umweltwärme, Holz und Wärme aus Abfall, Abwasser und – in geringerem Ausmass – Abwärme. Im EK 2050 haben diese Energieträger im Jahr 2050 einen direkten Anteil von 74% am Endverbrauch von Wärme und 30% an der gesamten Primärenergie (inkl. Stromanwendungen).
- Ein substantieller Anteil dieser Energie, namentlich Umweltwärme aus See-, Limmat- und Grundwasser, sowie Wärme aus Abwasser und Abfall, ist örtlich gebunden und erfordert eine leitungsgebundene Infrastruktur. Im Jahr 2050 betrifft dies 37% der Endenergienachfrage für Wärmezwecke bzw. 13% der gesamten Primärenergienachfrage. Innerhalb des Stadtgebiets bestehen hinsichtlich der Notwendigkeit von leitungsgebundenen Infrastrukturen aber grosse Unterschiede.

- Abgesehen von Solarenergie und thermischer Energie aus Zürichsee und Limmat wird im EK 2050 bis 2050 diese lokal und regional verfügbare Energie zu einem guten Teil ausgeschöpft.
- Der Einsatz der knappen lokalen Energien in der Stadt Zürich muss durch die Nutzung von Potenzialen und Quellen von erneuerbarer Energie aus überregionalen Standorten bzw. aus dem nahen Ausland ergänzt werden, zur Deckung des Wärmebedarfs namentlich durch den Import von Biogas sowie durch Import von Elektrizität aus Wasserkraft, Wind- und Photovoltaik-Anlagen.
- Über alle Massnahmenbereiche gesehen lässt sich der gesamte Primärenergieverbrauch bis 2050 um über 50% reduzieren. Beim Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie ist eine Reduktion von gut 90% möglich, bei den THG-Emissionen ein Rückgang von 85%.
- Diese Ergebnisse zeigen, dass im modellierten Effizienz-Szenario a die im Gebäudebereich definierten städtischen Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft hinsichtlich Reduktion des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bis 2050 erreichbar sind.

## 6.2 Die wichtigsten Massnahmen

Hinter den erwähnten Ergebnissen des Effizienz-Szenarios a zur Entwicklung der Energienachfrage und der THG-Emissionen stehen eine Reihe von konkreten Annahmen zu energie-, gebäude- und versorgungstechnischen Massnahmen:

- Die energietechnische Gebäudeerneuerung wird gesteigert, sowohl bezüglich der Erneuerungsrate als auch bezüglich des Energieeffizienzstandards (Erneuerungstiefe). Die im Modell unterstellte Entwicklung kann als moderat eingeschätzt werden. Dabei können architektonische, städtebauliche und denkmalpflegerische Aspekte berücksichtigt werden. Der Effizienzstandard wird auch für Neubauten weiter verschärft.
- Gebäudetechnische Anlagen werden erneuert. Dabei wird nicht nur die Effizienz der einzelnen Anlagenteile, sondern auch die Gesamteffizienz der Systeme verbessert. Das gilt sowohl bei der Re-Investition als auch beim Betrieb, insbesondere im Bereich der Nicht-Wohngebäude.
- Die zu erzielende Effizienzsteigerung beim Stromverbrauch ist nur möglich, wenn Haushalt-, Büro- und sonstige Elektrogeräte nach Ablauf der Nutzungsdauer durch gute bzw. durch die jeweils verfügbaren Bestgeräte ersetzt werden. Diese sind im Einzelfall zwischen 20% und 50% effizienter als vergleichbare Standardgeräte des Marktangebots.
- Das EK 2050 sieht auch markante Änderungen im Verteil- und Umwandlungssektor vor, die mit den getroffenen bzw. geplanten strategischen Entscheiden der beteiligten Stadtzürcher Energieanbieter übereinstimmen. Die Stromerzeugung soll gemäss den Langfriststrategien von ewz durch erneuerbare Energien erfolgen und bei der städtischen Fernwärme ist vor wenigen Jahren mit dem Holzheizkraftwerk Aubrugg eine teilweise Substitution der bisher fossilen Spitzendeckung eingeleitet worden.
- Eine weitgehende Umstrukturierung der Energieversorgung von Gebäuden für die Wärmeerzeugung in Richtung erneuerbare Energieträger setzt zum einen entsprechende Rahmenbedingungen, Informationen und Anreize für private Bauherrschaften voraus. Diese müssen im Rahmen der bis Ende 2017 geplanten Überarbeitung der kommunalen Energieplanung und deren Umsetzung geschaffen werden. Damit verbunden sind zum anderen aber auch substantielle

Veränderungen im Bereich der leitungsgebundenen Energieinfrastruktur, in der die Öffentliche Hand heute als Energieanbieter bereits stark präsent ist:

- In Teilen der Stadt Zürich, namentlich in dicht bebauten Gebieten mit hohen Anteilen an Nicht-Wohngebäuden und in der Nähe von örtlich gebundenen Energiequellen ist eine neue leitungsgebundene Energieinfrastruktur aufzubauen. Diese ist sowohl auf Wärme- als auch auf Kühlbedürfnisse abzustimmen. Aufgrund der hohen Investitionen und der relativ grossen Gebietsausdehnung ist ein koordiniertes bzw. ein auf die energieplanerischen Interessen abgestimmtes Vorgehen angezeigt.
- Im Rahmen der geplanten Überarbeitung der kommunalen Energieplanung ist auch der Ausbau des bestehenden traditionellen Fernwärmenetzes zu prüfen. Er ist mit dem Ausbau der erwähnten leitungsgebundenen Nieder-temperaturnetze zur Nutzung von Energie aus Oberflächengewässern und aus gereinigtem Abwasser abzustimmen.
- Diese Umstrukturierung der Energieversorgung (für Wärme) bedingt zum einen eine markante Erhöhung des Biogasanteils im Gasabsatz und zum anderen eine Transformation des Gasnetzes. Betroffen dürfte insbesondere die Feinverteilung sein, eine Netz-Grundinfrastruktur ist hingegen für die optimale Nutzung bzw. Ergänzung der lokal vorhandenen erneuerbaren Energien (bivalente Verbundlösungen bzw. Biogasangebot) weiterhin nötig.

### 6.3 *Nutzen für die kommunale Energieplanung und den Umsetzungsprozess*

Die Modellierung der im Rahmen des Konzepts Energieversorgung 2050 dargestellten Langfristszenarien für eine 2000-Watt-kompatible Wärmeversorgung weist aus energieplanerischer Sicht folgende Vorteile auf:

- Organisatorische Integrationsfunktion: Dank einer entsprechend zusammengesetzten Begleitgruppe (Energiebeauftragter, ewz-Strombeschaffung, Abteilung Energiedienstleistung von ewz, Energie 360° AG und ERZ Fernwärme Zürich) konnten alle wichtigen am Energieplanungsprozess und an dessen Umsetzung beteiligten Energieversorgungsunternehmen an der Modellierung partizipieren. Ferner konnte das stadtinterne Knowhow hinsichtlich Effizienzmassnahmen im Gebäudepark gebündelt und genutzt werden (Amt für Hochbauten, Liegenschaftsverwaltung und Umwelt- und Gesundheitsschutz). Damit konnte ein gemeinsames Verständnis über die wichtigsten Einflussfaktoren und Annahmen geschaffen werden, womit auch bei nachfolgenden Vertiefungsprojekten durch einzelne Beteiligte konsistente Ergebnisse resultieren sollten. Ein wesentliches Novum war auch die Integration des Themas Siedlungsentwicklung respektive der Verdichtung in die Energieplanung (Amt für Städtebau).
- Methodische bzw. inhaltliche Integrationsfunktion: Dank des Projekts ist den Beteiligten neben dem Modellansatz und den getroffenen Annahmen auch die 2000-Watt-Methodik vermittelt worden. Zudem erfolgte ein Wissenstransfer von gesamtstädtisch relevanten langfristigen Planungsinformationen (Bevölkerungs- und Arbeitsplatz-Szenarien, Siedlungsentwicklung und Verdichtung), der auch künftig gute Dienste leisten kann. Dies ist wichtig, weil der Modellierungsansatz und die Annahmen zu den Szenarien inzwischen von einzelnen Beteiligten für räumliche oder sachliche vertiefte Fragestellungen benutzt werden. Beispiele dafür sind die Evaluation von Fernwärmeerwartungsgebieten durch ERZ Fernwärme Zürich sowie die Planung einer langfristig sinnvollen Gasnetz-Infrastruktur durch Energie 360° AG.

Die Modellierungsergebnisse basieren auf Annahmen zum künftigen Energiebedarf von Gebäuden, zum Energieträgermix (Wärme, Strom) und zur Energiequalität

(Temperatur), welche für definierte Gebäudetypen festgelegt wurden. Damit können, bezogen auf ein einzelnes Gebäude, entsprechend hohe Abweichungen zu den realen Bedingungen auftreten. Daher sind diese Informationen ohne eine entsprechende objektspezifische Validierung für Bauherrschaften nur begrenzt nutzbar. Dies gilt auch für die im Modell erfassten Potenziale lokaler erneuerbarer Energien, da beispielsweise bei leitungsgebundenen Energieverbänden im Einzelfall auch Objektgrösse und Lage im Verbundnetz für die Eignung eines Anschlusses von grosser Bedeutung sind. Daher haben die Modellergebnisse nicht den Charakter einer Planung, vielmehr dienen sie als Grundlage für gebietsweise verfeinerte Analysen. Stadtweit ist dies im Rahmen der geplanten Überarbeitung der kommunalen Energieplanung vorgesehen. Für Teilgebiete sind solche Arbeiten bereits erfolgt, beispielsweise bei der Abklärung von leitungsgebundenen Energieverbänden oder von Fernwärmeerweiterungsgebieten.

Neben den quantitativen Ergebnissen zur künftigen Entwicklung der Primärenergie-nachfrage und THG-Emissionen und der Identifizierung der dazu erforderlichen Massnahmen konnten mit der Modellierung des EK 2050 weitere qualitative Erkenntnisse zum nachfolgenden Umsetzungsprozess erarbeitet werden:

- Nicht nur die Machbarkeit, sondern auch die grundsätzliche technisch-physikalische Umsetzbarkeit eines 2000-Watt-tauglichen Energieversorgungskonzepts konnte mit diesem Projekt aufgezeigt werden.
- Zudem konnte belegt werden, dass trotz Hindernissen zur Verbesserung der Energieeffizienz (Denkmalschutz, Architektur) die im Bericht spezifizierten Klimaziele erreicht werden können. Dazu leistet der forcierte Wechsel zu erneuerbaren Energieträgern den wichtigsten Beitrag, weil damit Primärenergiebedarf und Treibhausgas-Emissionen auch bei steigendem Energiebedarf (z.B. Endeenergie Strom) gesenkt werden können. Mit der Sensitivität 2 konnte gezeigt werden, dass Restriktionen der Denkmalpflege kein wesentliches Hindernis zum Erreichen der 2000-Watt-Ziele darstellen, weil mit dem Denkmalschutz konforme Effizienzmassnahmen realisierbar sind. Bezüglich Ausschöpfung der vorhandenen Ausnutzungsreserven gemäss geltender BZO wurde in der Sensitivität 3 gezeigt, dass trotz leicht geringerer Reduktion von Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen die Ergebnisse immer noch 2000-Watt-kompatibel sind.
- Mit dem vorliegenden Konzept konnten wichtige Grundlagen für die Umstrukturierung der Energieversorgung der Gebäude in Richtung erneuerbare Energien geschaffen werden, die wiederum Auswirkungen auf die Energieversorgungsstruktur hat. Im Vergleich zu früheren Arbeiten bringt die Studie mit der räumlichen Strukturierung dieser Grundlagen eine neue Qualität. Auf der Basis der räumlich differenzierten Analysen können spezifische energiepolitische Strategien für die Angebotszonen erarbeitet werden.
- Die erwähnten Massnahmen sind durch geeignete Instrumente auf verschiedenen energiepolitischen Kompetenzebenen zu initiieren und zu unterstützen: gesetzliche Vorschriften und andere ordnungspolitische Instrumente, preisliche Anreize und andere ökonomische Massnahmen, kommunale Energie(richt)planung, strategische Entscheide bzw. Investitionen der Energieunternehmen der Stadt Zürich sowie Sensibilisierungs- und Informationsmassnahmen.
- Da die in den Szenarien unterstellten Entwicklungen hinsichtlich der Effizienzmassnahmen bei Gebäuden und des Energieträgerwechsels nur teilweise durch die kommunale Energiepolitik steuerbar sind, müssen Instrumente und Szenarien entwickelt werden, um bei Gasnetz-Anpassungen zwar vorausschauend zu planen, aber auch auf allenfalls von den Szenario-Annahmen abweichende, sich

tatsächlich im Gebäudepark einstellende Entwicklungen optimal reagieren zu können. Hierzu erarbeitet Energie 360° AG momentan eine «Zielnetzplanung». Die Stossrichtung ist im Rahmen der laufenden Gesamtüberarbeitung des Regionalen Richtplans Region Stadt Zürich skizziert worden. Konkrete Aussagen in räumlicher und zeitlicher Hinsicht können erst in einer detaillierteren Planungsstufe im Rahmen der Überarbeitung der kommunalen Energieplanung gemacht werden.

#### 6.4 *Ausblick*

Im Hinblick auf eine weitere Konkretisierung einer 2000-Watt-tauglichen Energieversorgung im Rahmen der kommunalen Energieplanung stellen sich einige umsetzungstechnische Fragen, die nachfolgend nur grob skizziert werden und in der Folge näher zu untersuchen sind.

#### **Investitionen in die Energieinfrastruktur**

Im Hinblick auf die tatsächliche Umsetzbarkeit im Zeitablauf wurde in der Regel davon ausgegangen, dass Erneuerungen, Re-Investitionen und Devestitionen im Erneuerungszyklus der jeweiligen Technik-, Gebäude- und Infrastrukturelemente erfolgen. Zentral ist der Bereich Energieinfrastruktur, insbesondere der Bereich der leitungsgebundenen thermischen Energie (Gas-, Fern- und Nahwärme- sowie Niedertemperatur- bzw. Kaltwassernetze). Deshalb ist im Rahmen einer Neukonzeption der städtischen Energieplanung der Umsetzungspfad zwischen heute und dem Stand 2050 aufzuzeigen. Dabei kann strukturiert vorgegangen werden, indem zwischen verschiedenen Konstellationen unterschieden wird und diese einzeln näher untersucht werden. Beispiele sind:

- Zonen, in denen kein weiterer leitungsgebundener Energieträger aufgebaut wird, zum Beispiel Gebiete mit geringer Bebauungsdichte mit Optionen zur Nutzung von Umgebungsenergie (Luft, Erde, Sonne).
- Zonen, in denen im Vergleich zum heutigen Zustand die Infrastruktur für leitungsgebundene Energieträger ausgebaut wird, zum Beispiel in Form von Niedertemperaturnetzen in dicht bebauten Gebieten.

#### **Potenzial- und Zielerreichungsfragen**

Die im Projekt EK 2050 gewählten Systemgrenzen und die Methodik der Fortschrittsskontrolle führen zu einigen weiterführenden Fragestellungen:

- Nicht betrachtet wurden im EK 2050 die zu erwartenden Steigerungen der Umwandlungseffizienz in der Stromerzeugung aufgrund des technischen Fortschrittes inkl. der vorgelagerten Ketten. Allerdings wurden auch Verluste durch künftig zunehmende Speicherung von Strom aus stochastischen Produktionsanlagen wie Wind- und Solarstromanlagen nicht berücksichtigt. Die damit verbundenen zusätzlichen Effizienzveränderungen mit Auswirkungen auf den Primärenergieverbrauch und THG-Emissionen sind deshalb näher zu untersuchen.
- Die betrachtete Systemgrenze umfasst nicht die gesamte Primärenergienachfrage und nicht alle THG-Emissionen, sondern nur den Betrieb der Gebäude und die damit verbundene Primärenergienachfrage und THG-Emissionen. Nicht berücksichtigt wurden die Mobilität, die graue Energie der Materialien, Anlagen und Geräte sowie der Konsum von privaten Haushalten, der Wirtschaft und der Öffentlichen Hand.

## **Aktualisierungsbedarf**

Das EK 2050 ist umfangreich, komplex, stark integrativ und vernetzt. Durch den Einbezug vieler Aspekte haben sich die Arbeiten über eine lange Bearbeitungsdauer erstreckt. Dadurch hat sich ein Teil der Datengrundlage verändert und im Bearbeitungszeitraum kamen laufend neue Erkenntnisse dazu. Diese konnten aus Ressourcengründen nur teilweise berücksichtigt werden:

- Aufgrund der EAWAG-Studie im Auftrag des AWEL wurden die Zahlen zum Seewasserpotenzial angepasst.
- Die Angaben zum Erdwärmepotenzial wurde gemäss einer neuen Studie im Auftrag des Amts für Hochbauten angepasst (Wagner und Weisskopf, 2014). Bei einer gebietsweise sehr dichten Nutzung von Erdsonden ist davon auszugehen, dass eine thermische Regeneration der Sonden erforderlich ist.

Andere neue Erkenntnisse konnten nicht integriert werden, da dies eine erhebliche Neubearbeitung eines grösseren Teils der Projektgrundlagen, namentlich der Modellierungsarbeiten, bedingt hätte. Mittelfristig kann dies im Rahmen eines Updates erfolgen.

## 7 Literaturverzeichnis

Bébié, Bruno; Gugerli, Heinrich; Püntener, Toni W.; Lenzlinger, Martin; Frischknecht, Rolf; Hartmann, Christoph; Hammer, Stephan (2009): Grundlagen für ein Umsetzungskonzept der 2000-Watt-Gesellschaft. Stadt Zürich, Zürich.

ewz (2008): Die Energie hat langfristige Perspektiven. Stromzukunft Stadt Zürich. Projektbericht.

ewz (2012): Unsere Zukunft ist erneuerbar! ewz-Stromzukunft 2012-2050. Projektbericht.

Frischknecht, Rolf; Tuchschnid, Matthias; Itten, René (2011): Primärenergiefaktoren von Energiesystemen – Version 2.2, April 2011. ESU-services, Uster, im Auftrag des Bundesamts für Energie, Bern.

Jakob, Martin; Gross, Nadja; Flury, Karin; Sunarjo, Benjamin; Wallbaum, Holger; Heeren, Niko (2012): Energiekonzept 2050 für die Stadt Zürich – auf dem Weg zu einer 2000-Watt-tauglichen Wärmeversorgung. TEP Energy in Zusammenarbeit mit ETH Zürich (Lehrstuhl Nachhaltiges Bauen) im Auftrag des Energiebeauftragten und des Amts für Hochbauten (AHB) der Stadt Zürich, Zürich.

Jakob, Martin; Martius, Gregor; Ostermeyer, York; Wallbaum, Holger (2013): Graue Energie und Treibhausgasemissionen der Neubau- und Erneuerungstätigkeit im Gebäudepark in der Stadt Zürich bis 2050. TEP Energy in Zusammenarbeit mit Chalmers University of Technology im Auftrag des Amts für Hochbauten (AHB) der Stadt Zürich, Zürich.

Nowak, Stefan; Gutschner, Marcel; Gnos, Stephan (2007): Potenzialabschätzung für Sonnenkollektoren in der Stadt Zürich. NET Nowak Energie & Technologie AG. Stadt Zürich, ewz.

Nowak, Stefan; Gutschner, Marcel; Gnos, Stephan (2010): Potenzialabschätzung für Sonnenkollektoren im Wohngebäudepark; Regionalstudie Wohngebäudepark des Kantons Freiburg und Reevaluation des Potenzials in der Stadt Zürich. NET Nowak Energie & Technologie AG im Auftrag des Bundesamts für Energie, Bern.

Stadt Zürich (2010): RES, Räumliche Entwicklungsstrategie des Stadtrats für die Stadt Zürich. Amt für Städtebau der Stadt Zürich.

Wallbaum, Holger; Jakob, Martin; Heeren, Niko; Gabathuler, Matthias; Gross, Nadia; Martius, Gregor (2009): Gebäudeparkmodell SIA Effizienzpfad Energie Dienstleistungs- und Wohngebäude; Vorstudie zum Gebäudeparkmodell Schweiz; Grundlagen zur Überarbeitung des SIA Effizienzpfades Energie. Im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, Bern, September 2009.

Wallbaum, Holger; Jakob, Martin; Heeren, Niko; Toloumis, Charilaos (2010): 7-Meilenschritte – Wirkungsanalyse anhand des Gebäudeparkmodells Stadt Zürich. ETH Zürich und TEP Energy im Auftrag der Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle Nachhaltiges Bauen, Zürich, Mai 2010.

Wallbaum, Holger; Jakob, Martin; Heeren, Niko; Gross, Nadia; Martius, Gregor (2010): Gebäudeparkmodell – Büro-, Schul- und Wohngebäude – Vorstudie zur Erreichbarkeit der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft für den Gebäudepark der Stadt Zürich. ETH Zürich und TEP Energy im Auftrag des Amts für Hochbauten (AHB) der Stadt Zürich, Zürich.

Wagner, Roland; Weisskopf, Thomas (2014): Erdsondenpotenzial in der Stadt Zürich. Weisskopf und Partner im Auftrag des Amts für Hochbauten (AHB) der Stadt Zürich, Zürich.

Wüest, Alfred (2012): Potential zur Wärmeenergienutzung aus dem Zürichsee – Machbarkeit. EAWAG im Auftrag des Amts für Abfall Wasser, Energie und Luft (AWEL), Kanton Zürich, Kastanienbaum, Dezember 2012.