

Energiekonzept 2050 für die Stadt Zürich - Auf dem Weg zur 2000 Watt tauglichen Wärme-Versorgung mit einem räumlich differenzierten Gebäudeparkmodell

Martin Jakob, Karin Flury, Nadja Gross, Gregor Martius, Benjamin Sunarjo,
TEP Energy GmbH, Rotbuchstr. 68, 8037 Zürich,
martin.jakob@tep-energy.ch, www.tep-energy.ch
Bruno Bébié, Energiebeauftragter der Stadt Zürich
Niko Heeren, Holger Wallbaum, ETH Zürich

Zusammenfassung

Abstract

Ausgehend von den Zielsetzungen der Stadt Zürich wurde ein 2000-Watt-taugliches Wärmefachfrage- und versorgungskonzept erarbeitet. Grundlage hierfür bilden Analysen der Potentiale erneuerbarer Energien und die Entwicklung von verschiedenen Szenario-Varianten und Sensitivitäten. In einem räumlich differenzierten Gebäudeparkmodell wurde die Wärme- und Stromnachfrage (ohne Mobilität) sowie deren Deckung simuliert. Zu diesem Zweck wurden gebäudespezifische Daten aufgrund gleicher Eigenschaften wie Bauperiode, Gebäudetyp, Nutzung, Standort etc. zu sogenannten Kohorten zusammengefasst. Auf der Basis von offiziellen GIS-Daten und mit Bezug auf die lokal vorhandenen Energieangebote und -infrastruktur wurde das Stadtgebiet in 16 Angebotszonen unterteilt, für welche je ein spezifischer Energieträgermix für das Jahr 2050 definiert wurde. Durch Einbezug der regionalen Entwicklungsstrategie (RES) wurde das Stadtgebiet zudem in 5 Nachfragezonen eingeteilt. Diese unterscheiden sich z.B. im Anteil an Denkmal geschützten Gebäuden, für welche weniger weitreichende Massnahmen unterstellt wurden (bsp. tiefere spezifische Erneuerungsraten, Abrissraten und U-Werte). Durch ambitionierte, aber realistische Massnahmen im Bereich Gebäudeerneuerung, eine Effizienzerhöhung bei der Stromnutzung und eine weitestgehende Nutzung erneuerbarer Energien konnte konkret aufgezeigt werden, wie in der Stadt Zürich die Vorgaben der 2000-W-Gesellschaft erreicht werden könnten.

This project develops a heat demand and supply concept for the City of Zurich within the framework of the 2000 Watt society. Heat and electricity demand and supply were simulated with a building stock model that aggregates buildings that are similar by type, construction period, usage, and location, etc. by using building specific information of an official data set of the buildings and apartments within the city of Zurich. Based on official GIS-Data, the city area was divided into 16 supply zones for which a specific energy carrier mix for the year 2050 was defined. With regard to the regional development strategy (RES) the city area was also divided into 5 demand zones, which differ in monument conservation regulations entailing less stringent measures (e.g. lower specific retrofit rates, demolition rates, heat transfer coefficients). With ambitious, but realistic retrofit measures, efficient use of electricity and tapping available renewable energy potentials to a large extent it is possible to reach the goals of the 2000-Watt-Society within the modeled framework.

1. Ausgangslage

Die Vision der 2000-Watt-Gesellschaft verfolgt als Ziel, den Primärenergieverbrauch und die Treibhausgasemissionen pro Kopf markant abzusenken, um eine nachhaltige Nutzung der Energiereserven zu ermöglichen. In der Stadt Zürich werden derzeit pro Kopf rund 5000 Watt Primärenergie verbraucht und rund 5.5 t Treibhausgase (THG) ausgestossen. Die seit 2008 in der Gemeindeordnung der Stadt Zürich verankerten Ziele sehen vor, den Primärenergieverbrauch langfristig auf 2000 Watt pro Kopf und den THG-Ausstoss bereits bis 2050 auf 1 t CO₂ pro Kopf zu reduzieren. Im Rahmen verschiedener Projekte wurden mittlerweile die Grundlagen für Strategien und Massnahmen zur Umsetzung dieser Ziele erarbeitet. Dazu gehören u.a. die Entwicklung eines räumlich differenzierten Gebäudeparkmodells (GPM) und ein Energieversorgungskonzept 2050 (EK2050) für die Stadt Zürich, welches den Weg zu einer 2000-Watt-tauglichen Wärmeversorgung bis ins Jahr 2050 aufzeigen soll. Die beiden Projekte (Wallbaum et al. 2010 und Jakob et al. 2012) wurden im Auftrag des Amtes für Hochbauten (AHB) und des Energiebeauftragten der Stadt Zürich erstellt und werden nachfolgend auszugsweise und zusammengefasst vorgestellt

2. Ziel und Rahmen

Unter Einbezug verschiedener städtischer Dienstabteilungen (u.a. der oben genannten Auftraggeber) und der städtischen Energieanbieter ERZ Fernwärme Zürich, EWZ und Erdgas Zürich AG war ein 2000-Watt-kompatibles Energiekonzept zu erarbeiten, welches den besonderen Gegebenheiten der Stadt Zürich Rechnung trägt. Zu diesem Zweck war räumlich differenziert zu ermitteln, wie sich die Energienachfrage im Gebäudebereich in verschiedenen Szenario-Varianten entwickeln könnte und welche Effizienz- und erneuerbaren Energiepotenziale für die Wärmeversorgung der Stadt Zürich nutzbar gemacht werden können. Das Konzept soll zeigen, in welchen Gebieten der Stadt welche Energieeffizienzmassnahmen, Energieträger und Energiesysteme priorisiert werden sollen. Im Vordergrund standen dabei die gebäudegebundene Wärme- und Stromnachfrage sowie deren Versorgung (ohne Elektromobilität). Seitens des Energieangebots lag der Fokus auf den lokalen Potenzialen für die Wärmeversorgung, weil Wärme im Vergleich zu Strom aufwändiger und weniger flexibel transportierbar ist.

3. Vorgehen

Das Vorgehen bestand darin, für das Gebiet der Stadt Zürich mögliche künftige Entwicklungen der Wärme- und Stromnachfrage zu modellieren und die so simulierte Nachfrage möglichst mit primärenergieeffizienten und treibhausgasarmen, d.h. in der Regel erneuerbaren Energien zu decken. Hierbei wurden drei Haupteinflussfaktoren berücksichtigt. Diese wurden räumlich differenziert, da sich die Energienachfrage lokal unterschiedlich entwickeln wird und das Angebot an erneuerbaren Wärmequellen sowie die bestehende energetische Infrastruktur je nach Stadtgebiet variieren:

- die lokale Verfügbarkeit erneuerbarer Energien und leitungsgebundener Energieträger.
- die durch städtebauliche Vorgaben und andere Faktoren beeinflusste bauliche und räumliche Entwicklung (Energiebezugsfläche pro Siedlungsfläche, d.h. m² EBF pro ha).
- die durch Erneuerungsmassnahmen und Neubaustandards beeinflusste Energieeffizienz (kWh/m² EBF).

Eine räumliche Differenzierung ist zudem sachgerecht, weil bei der Wärme eine unmittelbare räumliche Nähe zwischen Angebot und Nachfrage wichtig ist. Durch eine räumlich differenzierte Untersuchung kann in den einzelnen Stadtgebieten die mutmassliche künftige lokale Wärmenachfrage mit den Schätzungen zum lokal verfügbaren Angebot an erneuerbarer Wärmeenergie verglichen werden. Um dieses Potenzial optimal nutzen zu können, ist für die Abdeckung des Bedarfs nach Spitzenenergie ein gewisser, im Vergleich zur heutigen Wärmeversorgung aber massiv reduzierter Anteil fossiler Energien akzeptabel.

Betrachtete Szenarien

Es werden zwei verschiedene Szenarien betrachtet, die sich in ihren Annahmen zu Erneuerungsdynamik und -tiefe des Gebäudeparks, zur Verbreitung von Wärmeversorgungsverbänden sowie zur Nutzung des Angebots von lokal vorhandenen erneuerbaren Energien unterscheiden.

Das Referenz-Szenario geht von einer moderaten Entwicklung im Bereich Energieeffizienz und erneuerbaren Energien aus, welche die bis ins Jahr 2010 beschlossene Massnahmen mit berücksichtigt. Das Effizienz-Szenario setzt hingegen eine deutliche Steigerung und markante strukturelle Veränderungen in diesen Bereichen voraus (vgl. Tabelle 1). Zudem wurden verschiedene Szenario-Varianten definiert (a bis c), welche sich bzgl. ihrer angenommenen Energieträgerstruktur unterscheiden (Definition siehe Ergebniskapitel).

Berücksichtigt wurde auch die künftige Dynamik von Bevölkerung und Beschäftigten in der Stadt Zürich, wobei diesbezüglich alle Szenario-Varianten gleich behandelt werden.

	Referenz-Szenario (Ref)	Effizienz-Szenario-Variante a
Energie-bezugsfläche (EBF)	Zuwachs bis 2050 um 20% (Wohnnutzungen) bzw. 24% (übrige Nutzungen) und 22% (gesamt) im Vergleich zu 2005	Wie Referenz
Erneuerungsraten	Jährliche Erneuerung je nach Bauteil, Gebäudetyp, Bauperiode und Zone zwischen 0.15 %/a und 3 %/a	25-28% höher im Vergleich zur Referenz, Denkmalschutz berücksichtigt
Erneuerungstiefe	Gemäss gesetzlichen Vorgaben (MuKE)	In der Regel Minergie oder Minergie-P, aber Denkmalschutz berücksichtigt
Energieträgermix	Hohe Bedeutung der Fossilen (75%), aber Teilsubstitution von Öl/Gas durch Erneuerbare	Grosse Verbundnetze mit Seewasser und ARA, Biogas, Fernwärme, Erdsonden, Fossile <15%

Tabelle 1 Grobe Beschreibung der Szenarien

Entwicklung der Wärmenachfrage

Die Entwicklung des Energiebedarfs der Gebäude bis 2050 wurde mit dem Gebäudeparkmodell (GPM), welches im Vergleich zu Wallbaum et al. (2010) durch TEP Energy bzgl. aller Gebäudetypen ergänzt und räumlich differenziert wurde, simuliert. Die weiter entwickelte Version des GPM basiert auf dem Gebäude- und Wohnungsregister (GWZ) der Stadt Zürich, in dem alle Gebäude auf dem Stadtgebiet in einem geografischen Informationssystem (GIS) erfasst sind.

Gemäss den Ausführungen der regionalen Entwicklungsstrategie (RES) der Stadt Zürich zu den Potenzialen für bauliche Verdichtungen und abgestützt auf die Bau- und Zonenordnung (BZO) der Stadt Zürich wurde das Stadtgebiet in 5 Nachfragezonen unterteilt, welche sich an den RES Kategorien orientieren, aber nicht deckungsgleich sind: Kernzonen_{EK2050}, Quartiererhaltung_{EK2050}, Bewahren_{EK2050}, Entwickeln_{EK2050} und Neuorientieren_{EK2050}. Mittels spezifischer Ausschöpfungsraten wurde aus den in der Bau- und Zonenordnung (BZO) definierten ausnutzbaren Flächenreserven die Neubautätigkeit bis 2050 räumlich differenziert abgeschätzt, wobei sich die Ausschöpfungsraten je nach Nachfragezone unterscheiden.

Je nach Gebäudekategorie, Bauperiode, Denkmalschutzvorgaben und Bauzone wurden die Gebäude in verschiedene Erneuerungstypen mit spezifischen Annahmen zur Erneuerung von Gebäudehülle und Gebäudetechnik eingeteilt. Daraus ergaben sich räumlich differenzierte Erneuerungsmassnahmen und Effizienzgewinne. Der spezifische Energiebedarf wurde im GPM mit SIA 380/1 für eine überschaubare Anzahl typisierter Fälle berechnet: sechzehn Gebäudetypen mit je zwei Nutzungsformen, je fünf Bauperioden der Vergangenheit, je fünf Erneuerungszustände. Im GPM erfolgte eine differenzierte Hochrechnung auf alle Gebäude in der Stadt Zürich.

Exemplarisch wird nachfolgend auf die Erneuerungsraten für das Bauteil Wand bzw. Aussenfassade bei Mehrfamilienhäusern näher eingegangen. Grundsätzlich wurde von den diesbezüglichen Annahmen in Wallbaum et al. (2010) ausgegangen. Diese wurden in Jakob et al. (2012) im Hinblick auf architektonische und denkmalpflegerische Aspekte weiter differenziert: Aussenwärmedämmungen in Form von Wärmedämmverbundsystemen („Kompaktfassaden“) oder hinterlüftete Fassaden nicht überall möglich Innendämmungen als Alternative sind teilweise, aber nicht in allen Fällen, denkbar. Je nach Anteil der denkmalgeschützten oder inventarisierten Gebäude reduziert sich die energetische Erneuerungsrate um 5% bis 50%. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte

ergeben sich die in Tabelle 2 (Referenz-Szenario) und Tabelle 3 (Effizienz-Szenario) dargestellten Erneuerungsraten für eine Zone mit wesentlichem Anteil an denkmalgeschützten Gebäuden und eine Zone ohne wesentliche Einschränkungen (die Jahreszahlen in den Tabellen 2 bis 6 beziehen sich jeweils auf das Ende einer Fünfjahresperiode). Je nach Bauperiode reduzieren sich die jährlichen Erneuerungsraten in ersteren Zonen um knapp 15% bis gut 30%.

Bauperiode	Mit Denkmalschutz (Beispiel Nachfragezone Kernzone)				Ohne Denkmalschutz (Beispiel Nachfragezone Neuorientieren)			
	2005	2020	2035	2050	2005	2020	2035	2050
Vor 1920	0.40%	0.42%	0.40%	0.32%	0.58%	0.60%	0.58%	0.47%
1920-46	0.54%	0.57%	0.55%	0.44%	0.69%	0.72%	0.69%	0.55%
1947-74	1.04%	0.69%	0.63%	0.54%	1.27%	0.84%	0.77%	0.66%
1975-1990	0.44%	0.88%	0.76%	0.28%	0.52%	1.04%	0.90%	0.32%
1991-2009	0.02%	0.15%	0.24%	0.29%	0.02%	0.18%	0.28%	0.35%

Tabelle 2 Jährliche Erneuerungsraten (% EBF/Jahr) für das Bauteil Aussenwand bzw. Fassade für Mehrfamilienhäuser im **Referenz-Szenario**. Unterschieden wird zwischen einer Zone mit grossem Anteil Denkmalschutz (Nachfragezone Kernzone_{EK2050}, links) und ohne Denkmalschutz (Nachfragezone Neuorientieren_{EK2050}, rechts).

Bauperiode	Mit Denkmalschutz (Beispiel Nachfragezone Kernzone)				Ohne Denkmalschutz (Beispiel Nachfragezone Neuorientieren)			
	2005	2020	2035	2050	2005	2020	2035	2050
Vor 1920	0.40%	0.58%	0.56%	0.45%	0.58%	0.84%	0.81%	0.65%
1920-46	0.54%	0.79%	0.76%	0.61%	0.69%	1.00%	0.96%	0.77%
1947-74	1.04%	0.96%	0.88%	0.75%	1.27%	1.17%	1.07%	0.92%
1975-1990	0.44%	1.22%	1.06%	0.38%	0.52%	1.44%	1.24%	0.45%
1991-2009	0.02%	0.21%	0.33%	0.41%	0.02%	0.25%	0.39%	0.48%

Tabelle 3 Jährliche Erneuerungsraten (% EBF/Jahr) für das Bauteil Aussenwand bzw. Fassade für Mehrfamilienhäuser im **Effizienz-Szenario**. Unterschieden wird zwischen einer Zone mit grossem Anteil Denkmalschutz (Nachfragezone Kernzone_{EK2050}, links) und ohne Denkmalschutz (Nachfragezone Neuorientieren_{EK2050}, rechts).

Ähnlich wie die Erneuerungsraten wurden auch die U-Werte zwischen den verschiedenen Nachfragezonen differenziert. Namentlich ist davon auszugehen, dass bei Innendämmungen der U-Wert weniger stark reduziert werden kann, dies im Vergleich zu Aussendämmungen (Tabelle 4).

	2005	2015	2025	2045	2050
Innenwärmedämmung (geschützte u. inventarisierte Bauten)	0.65	0.63	0.60	0.58	0.55
Zum Vergleich: Aussenwärmedämmung	0.35	0.30	0.23	0.20	0.17

Tabelle 4 U-Werte bei energetischen Erneuerungen mittels Innen- und Aussenwärmedämmungen (W/m^2K).

Trotz teilweise hohen Anteilen an Innenwärmedämmungen in einzelnen Zonen kann der Wärmeschutz gegenüber der Ausgangslage deutlich verbessert werden, auch wenn die U-Werte im Mittel nicht ganz so weit abgesenkt werden können wie in Zonen mit hohen Anteilen an Aussenwärmedämmungen (Tabelle 5 für das Referenz- und Tabelle 6 für das Effizienz-Szenario).

Bauperiode	Mit Denkmalschutz (Beispiel Nachfragezone Kernzone)				Ohne Denkmalschutz (Beispiel Nachfragezone Neuorientieren)			
	2005	2020	2035	2050	2005	2020	2035	2050
Vor 1920	0.68	0.53	0.42	0.33	0.44	0.38	0.30	0.24
1920-46	0.50	0.40	0.31	0.25	0.38	0.33	0.26	0.20
1947-74	0.44	0.38	0.30	0.24	0.40	0.32	0.25	0.20
1975-1990	0.40	0.36	0.28	0.23	0.38	0.31	0.24	0.20
1991-2009	0.40	0.36	0.28	0.23	0.38	0.31	0.24	0.20
Neubau	0.24	0.21	0.17	0.16	0.24	0.21	0.17	0.16

Tabelle 5 U-Werte ($W/m^2/K$) für das Bauteil Aussenwand/Fassade für Mehrfamilienhäuser im **Referenz-Szenario**. Unterschieden wird nach einer Zone mit grossem Anteil Denkmalschutz (Nachfragezone Kernzone_{EK2050}, links) und ohne Denkmalschutz (Nachfragezone Neuorientieren_{EK2050}, rechts).

Bauperiode	Mit Denkmalschutz (Beispiel Nachfragezone Kernzone)				Ohne Denkmalschutz (Beispiel Nachfragezone Neuorientieren)			
	2005	2020	2035	2050	2005	2020	2035	2050
Vor 1920	0.68	0.51	0.36	0.29	0.44	0.36	0.26	0.21
1920-46	0.50	0.39	0.27	0.22	0.38	0.31	0.22	0.18
1947-74	0.44	0.36	0.26	0.21	0.40	0.31	0.22	0.17
1975-1990	0.40	0.35	0.24	0.20	0.38	0.30	0.21	0.17
1991-2009	0.40	0.35	0.24	0.20	0.38	0.30	0.21	0.17
Neubau	0.24	0.20	0.15	0.14	0.24	0.20	0.15	0.14

Tabelle 6 U-Werte ($W/m^2/K$) für das Bauteil Aussenwand/Fassade für Mehrfamilienhäuser im **Effizienz-Szenario**. Unterschieden wird nach einer Zone mit grossem Anteil Denkmalschutz (Nachfragezone Kernzone_{EK2050}, links) und ohne Denkmalschutz (Nachfragezone Neuorientieren_{EK2050}, rechts).

Räumliche differenziertes Angebot an erneuerbaren Wärmequellen

Die Abschätzung der Angebotspotenziale von erneuerbarer Wärme basierte auf physikalischen und technischen Grundlagen und teilweise auf geografisch verorteten Daten zu ihren physischen Potenzialen und den Möglichkeiten für deren tatsächliche Nutzung. Hierbei wurde zwischen folgende Energie- und Wärmequellen differenziert (vgl. Abbildung 1): Umgebungsluft, untiefe Geothermie, Grundwasser bzw. Oberflächengewässer und Abwasser, Solarenergie, Kehricht als Input für die Fernwärme, Holz und andere Biomasse (namentlich in Form von Biogas).

Die Teilgebiete wurden aufgrund der räumlichen Verfügbarkeiten und Einschränkungen für jede dieser Quellen, der Einflussfaktoren der Nachfrageentwicklung (z. B. Denkmalschutz, Städtebau), der Potenziale an erneuerbaren Energien und der bestehenden Wärmeversorgungsinfrastruktur definiert. Im bestehenden Fernwärmegebiet beispielsweise wird weiterhin von einer Abwärmenutzung der Kehrichtverbrennungsanlage ausgegangen. In Zürich-Altstetten lässt sich die Abwasserreinigungsanlage (ARA) Werdhölzli wärmetechnisch nutzen und in See- und Limmatnähe bietet die Nutzung von See- und Flusswasser eine gute Basis für Wärmepumpennutzungen im Winter und effiziente Gebäudekühlung im Sommer. Auch der Grundwasserkörper zwischen der Innenstadt und Zürich-Altstetten bietet gewisse energetische Potenziale. Voraussetzung für die Nutzung dieser Energiequellen sind neu zu erstellende Energieverbünde. In weiteren, vornehmlich dezentralen Quartieren wie z. B. Witikon, Zürichberg, Höngg, Affoltern oder Albisrieden haben Erdsonden-Wärmepumpen (WP) einen höheren Stellenwert. Diese Gebiete weisen geringere Energiedichten auf und verfügen über keine anderen konzentrierten Umwelt- oder Abwärmequellen und die Nutzung von Erdsonden-WP ist nicht durch Grundwasservorkommen eingeschränkt.

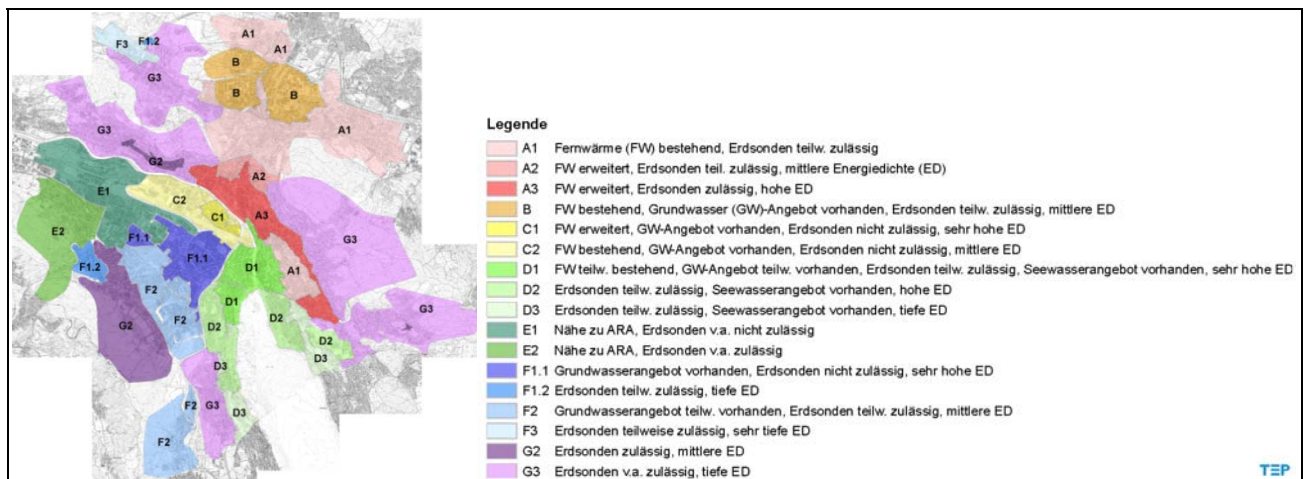


Abbildung 1 Betrachtete Teilgebiete in der Stadt Zürich, für die Wärmenachfrage und das Angebot an erneuerbarer Energie ermittelt wurden. (Grafik: TEP Energy)

4. Ergebnisse

Die Ergebnisse werden auf Ebene der Wärmenutzenergie, Endenergie für Raumwärme und Warmwasser sowie andere Verwendungszwecke (Geräte, Gebäudetechnik, Beleuchtung etc.) und Primärenergienachfrage (erneuerbar, nuklear, fossil) und Treibhausgasemissionen dargestellt.

Wärme- und Endenergienachfrage

Die Ergebnisse der Modellrechnungen mit dem räumlich differenzierten GPM zeigen, dass die Wärmenachfrage bis 2050 im Effizienz-Szenario je nach Gebiet zwischen 32% bis 41 % sinkt, im Referenz-Szenario jedoch nur um 12 bis 26 %. Je nach Gebiet wird die Entwicklung mehr oder weniger stark von den beiden gegenläufigen Faktoren Flächenwachstum und Effizienzentwicklung beeinflusst. In Gebieten mit viel Neubau- und Ersatzneubaupotenzial steigt die Energiebezugsfläche, dafür ist der Energieeffizienzstandard deutlich besser als bei bestehenden Bauten. Umgekehrt bleibt in Gebieten wie dem Stadtkern die Fläche in etwa konstant, aber auch Veränderungen an den Bauten sind eingeschränkt, so dass die relativen Einsparungen geringer sind.

Zu Beginn der Betrachtungsperiode im Jahr 2005 wurde die Wärmenachfrage (Raumheizung und Warmwasser) hauptsächlich durch Erdgas und Erdöl (85 %) und etwas Fernwärme gedeckt. Die beiden fossilen Energieträger werden bis 2050 in allen Szenarien zunehmend von anderen Energieträgern abgelöst (Abbildung 2). 2050 wird die bis dann reduzierte Wärmenachfrage im Effizienz-Szenario nur noch zu 7% mit Öl und Erdgas gedeckt, während Wärmepumpen (Strom und Umweltwärme) sowie Fernwärme die höchsten Anteile aufweisen. Der Anteil der Fernwärme von heute 13% verdoppelt sich in etwa und nimmt auch absolut gesehen zu, nämlich um etwa 13%. Zum Vergleich: im Referenz-Szenario verringern sich die Anteile der fossilen Brennstoffe ebenfalls, machen aber 2050 immer noch 75 % aus (Summe von Gas und Öl).

Primärenergie- und Treibhausgasemissionen

Abbildung 3 zeigt die aus der Effizienz-Szenario-Variante a resultierende Entwicklung der Nachfrage für erneuerbare, nukleare und fossile Primärenergie sowie die Treibhausgasemissionen bis 2050. Die hier für die Gebäude der Stadt Zürich modellierte Reduktion des Primärenergieverbrauchs ist relativ zum Referenz-Szenario rund 48% tiefer (siehe auch Tabelle 7). Relativ zu Ausgangsjahr 2005 mit rund -52 % etwas grösser als die Schweizer 2000-Watt-Vorgabe für 2050 (-44 % gemäss Wallbaum et al. 2009). Dies gilt mit einer Reduktion von -86 % auch für die Treibhausgasemissionen (Schweizer Vorgabe: -77 %). Selbst die verschärfte Reduktionsanforderung der Gemeindeordnung der Stadt Zürich von -82 % liegt in der Effizienz-Szenario-Variante a in Griffweite. Abschliessend lässt sich festhalten, dass sich die zu erwartende Nachfrageverschiebung hin zum Strom bezüglich Treibhausgasemissionen nicht nachteilig auswirkt, weil künftig gemäss Szenario 2 von EWZ (2008) von einer Strombeschaffung aus weitgehend erneuerbaren Quellen ausgegangen wird.

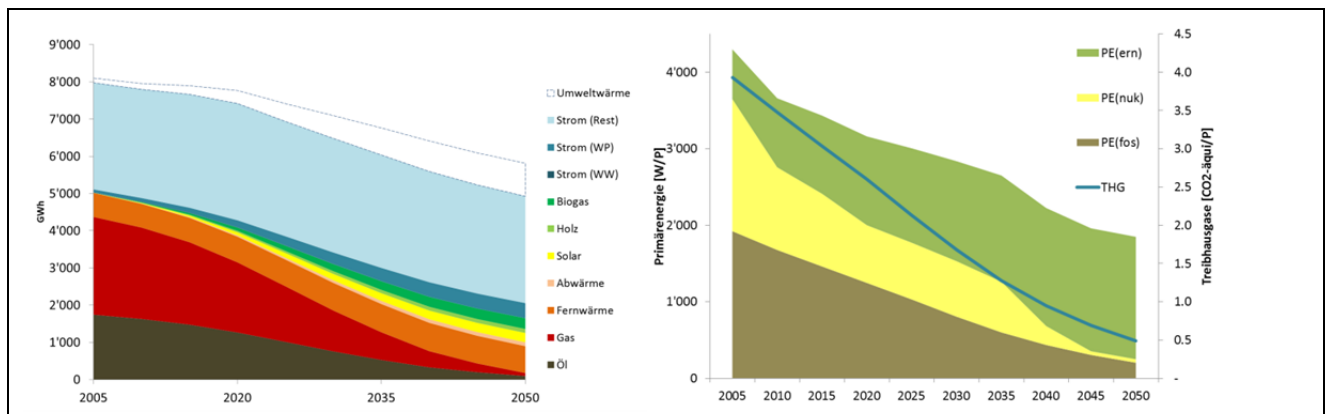


Abbildung 2 Entwicklung der Endenergienachfrage pro Energieträger im Gebäudebereich in der Effizienz-Szenario-Variante a (inkl. Elektrizität für Anwendungen wie Geräte, Gebäudetechnik, Beleuchtung etc.) für die gesamte Stadt Zürich (Grafik: TEP Energy)

Abbildung 3 Entwicklung von Primärenergienachfrage (erneuerbar, nuklear, fossil) und Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich pro Kopf in der Stadt Zürich in der Effizienz-Szenario-Variante a (Grafik: TEP Energy)

Szenario-Varianten und Sensitivitäten

Um die Robustheit der Annahmen zu überprüfen und den Einfluss von grundsätzlichen Freiheitsgraden und Unsicherheiten aufzeigen zu können, wurden Szenario-Varianten definiert und Sensitivitätsrechnungen durchgeführt.

- Variante a: Grundvariante des Effizienz-Szenario
- Variante b: Im Vergleich zur Variante a werden kleinere Verbundnetze mit Abwärme aus dem Klärwerk betrachtet
- Variante c: zusätzlich auch kleinere Verbundnetze mit Seewasser als Wärmequelle.

Zwischen den Varianten a und b sind auf allen Ebenen nur sehr geringfügige Unterschiede festzustellen (siehe Tabelle 7). Die Änderung in der Energieträgerstruktur zu einer leicht zentraleren Energieversorgung mit Biogas bewirkt eine leicht erhöhte Nachfrage nach Nichtstrom (etwas deutlicher sichtbar in der Szenariovariante c, welche weniger Nahwärmeverbünde unterstellt) und einer ganz leicht geringeren Nachfrage nach Strom. Aus diesem Grund erhält man auch eine leicht höhere PE-Nachfrage im Vergleich zu den anderen beiden Varianten. Die Unterschiede zwischen den Szenario-Varianten lassen sich auf die unterschiedliche Wärmepumpennutzung bei den erwähnten Umweltenergieverbänden zurück führen, welche in den Varianten b und c jeweils geringer ist im Vergleich zur Variante a.

Die Entwicklung der Energienachfrage wird von der unterschiedlichen Zunahme der Gebäudeflächen bestimmt, die wiederum von der Ausschöpfung der verschiedenen Ausnutzungsreserven bzw. Verdichtungspotenziale abhängt. Die Entwicklung der Energieeffizienz der Gebäude wird zudem durch die Gebäudealtersstruktur bestimmt, die unterschiedliche Erneuerungszeitpunkte und Effizienzgewinne zur Folge haben. Städtebauliche, architektonische und denkmalpflegerische Aspekte beeinflussen in den verschiedenen Zonen ebenfalls die Effizienzentwicklung sowie die Rück- und Neubautätigkeit. Diese Aspekte werden in 3 Sensitivitätsrechnungen untersucht:

- Sensitivität S1: im Vergleich zur Effizienz-Variante a um 30% geringere Erneuerungsraten
- Sensitivität S2: Hypothetisches Nicht-Berücksichtigen der Auswirkungen des Denkmalschutzes auf die Erneuerungsraten und damit schliesslich auf die Energienachfrage.
- Sensitivität S3: Grösseres Energiebezugsflächenwachstum bis 2050. Die EBF erhöhen sich damit um 27% (Nicht-Wohnen), resp. 32% (Wohnen) gegenüber dem Effizienz-Szenario.

Sensitivität S1 führt bei der Endenergie Nicht- Strom zu einer geringeren Nachfragereduktion (-46% statt -51% zwischen 2005 und 2050). Die Auswirkung auf die Stromnachfrage ist wesentlich geringer, sie nimmt in S1 im Vergleich zur Effizienzvariante a etwas mehr zu (12% statt 11%). Diese Veränderungen wirken sind in der Folge auch auf die weiteren Kenngrössen Primärenergie und Treibhausgasemissionen aus. Die Höhe der Sanierungsrate hat damit also eine gewisse, aber für sich allein genommen keine überragende Bedeutung.

Sensitivität 2 führt zu einer leicht stärkeren Nachfragereduktion bei der Summe aller Endenergieträger ausser Strom (-52% statt -51%). Die Auswirkungen auf den Stromverbrauch sind noch geringer und bewegen sich im Rahmen des Rundungsbereichs. Entsprechend sind auch die Auswirkungen auf die weiteren Kenngrössen gering.

Sensitivität 3 führt durch das stärkere Flächenwachstum im Ergebnis zu einer wahrnehmbaren Erhöhung der Stromnachfrage (im Vergleich zu 2005 +16% statt +11%) und zu einer etwas weniger weit gehenden Nachfragereduktion beim Nicht-Strom und bei der Primärenergienachfrage (im Vergleich zu 2005 -50% statt -52%). Die Entwicklung der Stromnachfrage entwickelt sich v.a. bei Wohngebäuden stärker (in S3 +40% statt +29% in der Variante a im Vergleich zu 2005). Ein grösseres Flächenwachstum bedeutet vor allem mehr Neubau, bei welchem der Anteil von Wärmepumpen grösser ist und welche mit Elektrogeräten aller Art ausgestattet sind, was diese stärkere Zunahme erklärt.

Bei den Treibhausgasen wirken sich Sensitivitäten weniger deutlich aus, dies weil die Reduktion der Emissionen auch im Vergleichsfall der Effizienz-Szenario-Variante a sehr markant ist.

		2005	2050						
		Alle	Ref.	Eff.Var.a	Eff.Var.b	Eff.Var.c	S1	S2	S3
Endenergie Strom	GWh	2955	3460	3278	3268	3243	3323	3269	3432
	Δ 2005		17%	11%	11%	10%	12%	11%	16%
	Δ Ref.			-5%	-6%	-6%	-4%	-5%	-1%
Endenergie Nicht-Strom, inkl. Umweltwärme	GWh	5145	3779	2534	2550	2588	2797	2486	2643
	Δ 2005		-27%	-51%	-50%	-50%	-46%	-52%	-49%
	Δ Ref.			-33%	-32%	-31%	-26%	-34%	-30%
Endenergie total	GWh	8101	7238	5812	5818	5832	6120	5755	6075
	Δ 2005		-11%	-28%	-28%	-28%	-24%	-29%	-25%
	Δ Ref.			-20%	-20%	-19%	-15%	-20%	-16%
PE total	GWh	14272	13199	6835	6864	6918	7234	6763	7173
	Δ 2005		-8%	-52%	-52%	-52%	-49%	-53%	-50%
	Δ Ref.			-48%	-48%	-48%	-45%	-49%	-46%
PE n.ern	GWh	12367	10048	914	920	952	1077	890	991
	Δ 2005		-19%	-93%	-93%	-92%	-91%	-93%	-92%
	Δ Ref.			-91%	-91%	-91%	-89%	-91%	-90%
PE ern	GWh	1905	3151	5922	5945	5966	6158	5873	6182
	Δ 2005		65%	211%	212%	213%	223%	208%	225%
	Δ Ref.			88%	89%	89%	95%	86%	96%
CO ₂ -äqui.	1000t	1446	971	207	208	215	240	202	224
	Δ 2005		-33%	-86%	-86%	-85%	-83%	-86%	-84%
	Δ Ref.			-79%	-78%	-78%	-75%	-79%	-77%

Tabelle 7 Entwicklung der Nachfrage nach Strom, Nichtstrom, Endenergie total und Primärenergie (GWh) sowie Treibhausgasemissionen (1000t CO₂-äquiv.) der Szenariovarianten und Sensitivitäten, sowie Veränderung zu 2005 und zur Referenz. (Tabelle: TEP Energy)

Zielbeiträge der einzelnen Massnahmenfelder

Nachfolgend werden nach dem Prinzip des Projekts zur Wirkungsabschätzung der 7-Meilenstritte der Stadt Zürich (Wallbaum et al. 2010b) die Zielbeiträge von einzelnen Massnahmenpaketen quantifiziert. Folgende Massnahmenpakete werden in Anlehnung an die 7-Meilenstritte der Stadt Zürich betrachtet:

- M1: Verbreitung von weitgehenden Neubaustandards in Richtung Minergie- und Minergie-P.
- M2: Häufigere und energetisch weitergehende Erneuerung der Gebäudehülle und weiterer Massnahmen zur Reduktion des Raumwärme- und Warmwasserbedarfs (erhöhte Erneuerungsraten und geringere U-Werte).

- M3: Massnahmen zur Reduktion der Stromnachfrage im Bereich der Geräte (z.B. „Topten-Geräte“) und Gebäude (Erreichung der Grenz- und später der Zielwerte gemäss SIA 380/4).
- M4: Einsatz von erneuerbaren Energien im Bereich Raumwärme und Warmwasser gemäss konsolidierten Beschlüssen der Begleitgruppe des Projekts EK2050.
- M5: Einsatz von erneuerbaren und PE-effizienten Energien bei Strom- und Fernwärmeerzeugung.

In Tabelle 8 sind die Kennwerte zu den einzelnen Massnahmenpaketen dargestellt, sowie die relativen Veränderungen gegenüber der Referenz und 2005 in Prozent.

Massnahmenpaket M1 (effizientere Neubauten) zeigt bei den betrachteten Indikatoren einen gewissen, aber keinen sehr grossen direkten Effekt. Dies ist insbesondere auf den Umstand der bereits relativ effizienten Neubauweise im Referenz-Szenario zurück zu führen, welche sich auch in diesem Szenario gegenüber heute annahmengenässig noch weiter verbessern wird.

Massnahmenpaket M2, welches die Gebäudehülle des Gebäudebestands betrifft, erzielt bei den meisten Kennwerten im Vergleich zur Referenzentwicklung eine hohe Wirkung. Besonders bei der Wärme-Endenergie und bei den Treibhausgasemissionen wird eine deutliche Einsparung erreicht.

Massnahmenpaket M3 (effizientere Geräte und Beleuchtung) bringt vor allem eine Strom-Nachfragereduktion gegenüber dem vorangehenden Massnahmenpaket von 12%. Als Konsequenz davon reduziert sich auch die PE tot zwischen M2 und M3 um 7 Prozentpunkte.

Massnahmenpaket M4 bewirkt eine Umverteilung der Endenergie Nicht-Strom zu Endenergie Strom durch den grösseren Anteil an Wärmepumpen. Dies wirkt sich auch auf die Zusammensetzung der Primärenergie (mehr erneuerbare und weniger nicht-erneuerbare) und die Höhe der Treibhausgasemissionen aus.

		2005	2050					
			Ref.	M1	M2	M3	M4	M5
Endenergie Strom	GWh	2955	3460	3392	3420	3005	3278	3278
	Δ 2005		17%	15%	16%	2%	11%	11%
	Δ Ref.			-2%	-1%	-13%	-5%	-5%
Endenergie Nicht-Strom, inkl. Umweltwärme	GWh	5145	3779	3646	2955	2955	2534	2534
	Δ 2005		-27%	-29%	-43%	-43%	-51%	-51%
	Δ Ref.			-3%	-22%	-22%	-33%	-33%
Endenergie total	GWh	8101	7238	7038	6374	5959	5812	5812
	Δ 2005		-11%	-13%	-21%	-26%	-28%	-28%
	Δ Ref.			-3%	-12%	-18%	-20%	-20%
PE total	GWh	14272	13199	12874	12106	11068	10964	6835
	Δ 2005		-8%	-10%	-15%	-22%	-23%	-52%
	Δ Ref.			-2%	-8%	-16%	-17%	-48%
PE nicht erneuerbar	GWh	12367	10048	9792	9090	8365	6754	914
	Δ 2005		-19%	-21%	-26%	-32%	-45%	-93%
	Δ Ref.			-3%	-10%	-17%	-33%	-91%
PE erneuerbar	GWh	1905	3151	3082	3015	2702	4210	5922
	Δ 2005		65%	62%	58%	42%	121%	211%
	Δ Ref.			-2%	-4%	-14%	34%	88%
CO ₂ -äqui.	1000t	1446	971	939	777	765	299	207
	Δ 2005		-33%	-35%	-46%	-47%	-79%	-86%
	Δ Ref.			-3%	-20%	-21%	-69%	-79%

Tabelle 8 Endenergienachfrage 2050 nach Strom und Nichtstrom; Primärenergie und Treibhausgase, sowie Darstellung der Veränderung gegenüber 2005 und gegenüber der Referenz nach Massnahmenpaketen.

Zur Senkung der Primärenergie trägt vor allem die Annahme von höheren Anteilen an erneuerbaren Energien in der Fernwärme- und Stromproduktion bei, was in tieferen PE- und THG-Faktoren resultiert. Deren Verwendung im Massnahmenpaket M5 bewirkt eine deutliche Absenkung der Treibhausgasemissionen.

5. Fazit

In diesem Projekt wurden die in und für die Stadt Zürich verfügbaren Potenziale im Bereich erneuerbare Energien und Energieeffizienz analysiert und mittels des räumlich differenzierten Gebäudeparkmodells wurden die gesamte und die nicht-erneuerbare Primärenergienachfrage sowie die THG-Emissionen pro Kopf für ein Referenz-Szenario und mehrere Effizienz-Szenario-Varianten bis 2050 modelliert. Folgende Hauptfazits können festgehalten werden:

- Vergleicht man die Nachfrageszenarien mit den geschätzten Potenzialen der lokal gebundenen Angebote, ergibt sich für 2050 zwar für keine der erneuerbaren Energiequelle ein Nutzungsüberschuss, aber in vielen Fällen ein hoher Ausschöpfungsanteil. Lokal ungebundene erneuerbare Energien (v.a. Biogas und feste Biomasse), die Speicherung von Solar- Umwelt-, oder Abwärme sowie geringfügig fossile Energieträger können zur (wirtschaftlichen) Optimierung, beispielsweise zur Regenerierung der geologischen Formationen und zur Spitzenlastdeckung eingesetzt werden.
- Eine wichtige Zielsetzung dieser Studie bestand darin aufzuzeigen, ob der stadtzürcherische Gebäudepark die Zwischenziele der 2000-Watt-Gesellschaft für das Jahr 2050 erreichen kann. Da diese Ziele von der Fachstelle 2000-Watt-Gesellschaft (noch) nicht für einzelne Bereiche, Anwendungsfelder und Gebäudekategorien definiert sind (vgl. Bébié et al. 2009, S. 10), wurde die relative Reduktion im Vergleich zum Ausgangszustand als Bemessungsgrösse herangezogen. Im Vergleich dazu ist die Reduktion im Effizienz-Szenario gegenüber 2005 mit 52 % Reduktion deutlich grösser. Der Zielerreichungsgrad des Gebäudeparks ist also überproportional zur durchschnittlichen gesamtschweizerischen Zielsetzung. Dies gilt auch für die nicht-erneuerbare Primärenergie und die Treibhausgasemissionen, bei denen 86% Reduktion erreicht werden, während das Ziel gemäss Bébié et al. (2009) bei -89% (Städtisches Ziel), resp. 77% (Schweizerisches Ziel) liegt. Auch die verschärfte Anforderung der Gemeindeordnung der Stadt Zürich, welche bzgl. der Treibhausgasemissionen bis 2050 ein 1 Tonne-pro-Kopf-Ziel beinhaltet, wird nach Massgabe der relativen THG-Reduktion des EK2050 von 86% im Gebäudebereich nahezu erfüllt.

	Stand 2005	Ziele 2000-Watt-G.		Referenz-Szenario 2050 *	Effizienz-Sz. Var a 2050 *
		Ziel 2050	Reduktion		
Totale PE** in [W/P]	6'300	3'500	-44%	-8%	-52%
Nicht-erneuerbare PE [W/P]	5'800*	2'000 ⁱⁱ	-66%	-19%	-93%
THG-Emissionen ⁱ [t CO _{2äq.} /P] Schweiz	8.7	2.0	-77%		
THG-Emissionen ⁱ [t CO _{2äq.} /P] StZH		1.0	-89%	-33%	-86%
* gemäss Ergebnissen dieser Analysen					
** bezogen auf KEA					
i Methodikpapier i.A. der Stadt Zürich, Bundesamt für Energie (Bébié et al. 2009)					
ii Annahme der Autoren					

Tabelle 9 Vergleich der Betriebsenergie-Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft (Ebene Schweiz) mit den Ergebnissen des Referenz-Szenario (Strommix EWZ-Sz. 1) und der Szenario-Variante a (Strommix EWZ-Sz. 2). Quelle: TEP Energy

Ob die Ziele im Gebäudebereich auch dann erreicht werden, wenn die graue Energie der eingesetzten Baumaterialien in die Systemgrenzen einbezogen werden, ist genauer zu prüfen. Insbe-

sondere stellt sich die Frage, ob Primärenergie und Treibhausgasemissionen in den Bereichen Mobilität (inkl. Infrastruktur) und Erstellung, namentlich bei den für die Zielerreichung erforderlichen baulichen Massnahmen, bis 2050 ebenfalls entsprechend reduziert werden können. Letzteres wird derzeit in einem weiteren Projekt im Auftrag des AHB der Stadt Zürich untersucht.

Um diese und weitere Fragen in Richtung Umsetzung des Konzepts zu beantworten, sind verschiedene Vertiefungsprojekte bei noch offenen Punkten geplant. So beispielsweise im Bereich der Erdsondenpotenziale bei verdichteter Bauweise oder bei den effektiven Nutzungsmöglichkeiten des Seewassers, für welche im Moment die kantonalen Grundlagen überarbeitet werden. Das Konzept soll ausserdem die Grundlagen liefern für eine später allenfalls zu erstellende GIS-gestützte Informationsplattform zuhanden von Bauherrschaften, Planern und Anbietern von Energiedienstleistungen. Sie könnte die Akteure bei Gebäudeerneuerungen und Neubauten bei der Energieträgerwahl unterstützen und z. B. über verfügbare erneuerbare Energiequellen oder geplante Energieverbünde informieren. Auch die erforderlichen energiepolitischen Massnahmen zur Umsetzung des Konzepts sind in der Folge zu konkretisieren.

6. Verdankung

Die Autorenschaft bedankt sich bei den Auftraggebern, d.h. beim Energiebeauftragten und beim Amt für Hochbauten (AHB) der Stadt Zürich für die Ermöglichung dieses Projekts und bei der Begleitgruppe für ihr Engagement und die fachliche Unterstützung.

7. Literatur

- [1] Bébié B., Gugerli H., Püntener Toni W., Lenzlinger M., Frischknecht R., Hartmann C., Hammer S. (2008): Grundlagen für ein Umsetzungskonzept der 2000-Watt-Gesellschaft. Stadt Zürich, Zürich
- [2] ewz (2008): Die Energie hat langfristige Perspektiven. Stromzukunft Stadt Zürich. Projektbericht.
- [3] Jakob M, Gross N., Flury K., Sunarjo B., Wallbaum H., Heeren N. (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.
- [4] Stadt Zürich (2010): RES, Räumliche Entwicklungsstrategie des Stadtrats für die Stadt Zürich. Amt für Städtebau der Stadt Zürich.
- [5] Wallbaum H., Jakob M., Heeren N., Gross N., Martius G. (2010a): 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
- [6] Wallbaum H., Jakob M., Heeren N., Toloumis Ch. (2010b). 7-Meilenschritte – Wirkungsanalyse anhand des Gebäudeparkmodells Stadt Zürich. ETH Zürich und TEP Energy i.A. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle nachhaltiges Bauen, Zürich, Mai.