

## Überprüfung der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft mittels des Gebäudeparkmodells (GPM) Schweiz und Stadt Zürich

Holger Wallbaum, Niko Heeren, Professur für Nachhaltiges Bauen, ETH Zürich, Wolfgang Pauli Strasse 15, 8093 Zürich, holger.wallbaum @ ibb.baug.ethz.ch, niko.heeren @ ibb.baug.ethz.ch, www.ibi.ethz.ch/nb

Martin Jakob, TEP Energy, c/o ETH Zürich, Zürichbergstr. 18, 8032 Zürich, martin.jakob @ tep-energy.ch, www.tep-energy.ch

### Zusammenfassung

### Abstract

### Résumé

Der vorliegende Text fasst die wichtigsten Ergebnisse von zwei Projekten der ETH Zürich und der TEP Energy zusammen. Die Zielsetzung der Projekte war es, zunächst auf nationaler Ebene eine Diskussionsgrundlage für die Überarbeitung des SIA Effizienzpfad Energie und somit der Formulierung neuer Richtwerte für die 2000-Watt-Gesellschaft zu liefern. Darüber hinaus sollte eine Einschätzung der Erreichbarkeit der 2000-Watt-Gesellschaft für die Gesamtschweiz und in der Folge für die Stadt Zürich für Wohn-, Büro- und Schulgebäude abgegeben werden. Um den Anforderungen des Projekts gerecht zu werden, wurde ein detaillierter Bottom-up Modellansatz gewählt, welcher es erlaubt, Erneuerungsraten und thermische Qualität einzelner Bauteile von Gebäuden und die Effizienzentwicklung der Gebäudetechnik abzubilden.

Die proportional herunter gebrochenen Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft bzgl. Primärenergie und Treibhausgasen wurden im Fall der Gesamtschweiz aufgrund eher konservativer Annahmen knapp nicht erreicht. Aufgrund der gemachten Erfahrungen beim Schweizer Fall konnte für die Stadt Zürich aufgezeigt werden, unter welchen Bedingungen die Ziele zu erreichen sind. Dazu gehört insbesondere eine stärkere Effizienzsteigerung und v.a. eine weitgehendere Verlagerung hin zu erneuerbaren Energien.

Zudem konnten wertvolle Erkenntnisse über die Hebel und Treiber, welche Primärenergie-nachfrage und Treibhausgasemissionen innerhalb eines Gebäudeparks beeinflussen, gewonnen werden. So spielt die beispielsweise die Erzeugung von Elektrizität eine nicht unerhebliche Rolle für den Anteil an nicht-erneuerbarer Primärenergie. Hingegen werden in den betrachteten Fällen die Treibhausgasemissionen durch die Elektrizitätserzeugung nur wenig beeinflusst, da bei reduzierter Stromnachfrage die wenig treibhausgasintensive und effiziente Herstellung per Wasserkraft einen grossen Anteil am Strommix hat und die im Referenzszenario eingesetzte Kernenergie nur sehr geringe Treibhausgasemissionen impliziert.

Verdankung: Das Projektteam dankt dem Bundesamt für Energie (Forschungsprogramm Gebäude) und der Stadt Zürich (Fachstelle Nachhaltiges Bauen) und den Mitgliedern der beiden Begleitgruppen herzlich für die finanzielle Unterstützung, die wertvollen Hinweise und die aktive Mitarbeit (namentlich durch H. Gugerli).

## 1. Ausgangslage

Auf verschiedenen Ebenen wird in der Schweiz das Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft, das eine markante Reduktion der Primärenergienachfrage und der Treibhausgasemissionen postuliert, verfolgt. Dazu gehören die öffentliche Hand (Bund, einzelne Kantone und Städte und Gemeinden), Intermediäre (namentlich der SIA), die Forschung (CORE, ETH Zürich, EMPA) und weitere. Bei den Teilzielen, Primärenergie und Treibhausgasemissionen ist gemeinsam, dass sie anspruchsvoll sind und dass deren Erreichung eine grosse Herausforderung darstellt, wie verschiedene Arbeiten zeigten ([1], [2], [3]).

Weitere Hinweise zum möglichen Zielpfad lieferten das Szenario IV („auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft“ der Energieperspektiven 2035 des Bundesamt für Energie ([4], [5], [6]) für die Schweiz sowie das Ressourcenmodell [7] und der ECO<sub>2</sub>-Rechner für die Stadt Zürich. Allen Ansätzen fehlte bis zu einem gewissen Mass die Konkretion, welche es den Akteuren erlauben würde zu entscheiden, ob ihre Gebäude oder ihre Strategie 2000-Watt-kompatibel seien. Welche Zielwerte sollten für Neubauten und Gebäudeerneuerungen formuliert werden und welchen Zielbeitrag können die Beheizungsstruktur und der Strommix liefern?

Zu klären waren diesbezüglich zunächst methodische Fragen, insbesondere der zu betrachtenden Parameter. Dies erfolgte u.a. durch ein breit abgestütztes Expertengremium, das von Vertretern aus Forschung, Wirtschaft und öffentlicher Hand begleitet wurde [8].

Aufgrund seiner grossen Bedeutung in Bezug auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen und aufgrund seiner hohen verfügbaren Effizienz- und Substitutionspotenziale kommt dem Gebäudebereich in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle zu. Hierbei stellt sich zum einen die Frage der Machbarkeit (sind die Ziele bzw. Zwischenziele erreichbar und bis wann?) bzw. des Beitrages, den der Gebäudebereich zur Zielerreichung beitragen kann.

Nach ersten Erfahrungen mit dem SIA Effizienzpfad Energie in der Praxis beschloss der SIA 2008 eine Überarbeitung dieses Instruments. Gleichzeitig sollte eine Überprüfung in Bezug auf die Kompatibilität mit der 2000-Watt-Gesellschaft durchgeführt werden. Zu diesem Zweck beauftragte das Bundesamt für Energie (BFE) den Lehrstuhl Nachhaltiges Bauen der ETH Zürich und die TEP Energy, Grundlagen für die Überarbeitung des SIA Effizienzpfades zu schaffen und eine Vorstudie für die Erstellung eines Gebäudeparkmodells (GPM) Schweiz zu erstellen. Der entsprechende Bericht wurde im November 2009 fertig gestellt [9]. Die Stadt Zürich, welche – seit November 2008 demokratisch legitimiert – die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft verfolgt, war ebenfalls an entsprechenden Grundlagen und einer Vorstudie eines Gebäudeparkmodells auf Ebene der Stadt interessiert [10].

Der vorliegende Beitrag fasst die beiden Projekte zusammen, welche die Zielsetzung verfolgten eine Orientierung im Hinblick auf die Erreichbarkeit der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft per 2050 für die Schweiz bzw. die Stadt Zürich zu geben. Das erste Projekt im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) schaffte Grundlagen für die Überarbeitung des SIA Effizienzpfades Energie [3] und beinhaltete eine Vorstudie für die Entwicklung eines nationalen Gebäudeparkmodells für die Schweiz [9]. Ziel des zweiten Projekts war eine Aussage darüber, ob und unter welchen Bedingungen die auf die Bereiche Wohnen, Schulen und Büro herunter gebrochenen Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft in der Stadt Zürich erreicht werden können [10]. Bewertungskriterien waren in beiden Fällen die pro-Kopf-Primärenergienachfrage sowie die Treibhausgasemissionen.

## 2. Vorgehen

Zur Beantwortung der angestrebten Ziele wurde in beiden Fällen ein Bottom-up Modell verwendet, mit welchem die End- und Primärenergienachfrage, je separat für die Gebäudetypen Wohnen, Schulen und Büro sowie die einzelnen Energieanwendungen abgebildet wurde. Hierzu wurden Annahmen bzgl. der Entwicklung der wichtigsten physikalischen Treiber sowie der Energieeffizienz von Neubauten, Gebäudeerneuerungen und weiteren Energieanwendungen dieser Gebäudetypen getroffen, zum einen für die Schweiz als Ganzes und zum anderen für das Gebiet der Stadt Zürich. Die bottom-up Modellierung unterscheidet zwischen folgenden drei Stufen:

1. Nachfrage auf Nutzenergieebene bzw. Ebene Energiedienstleistungen, gestützt auf Mengengerüste und spezifische Nachfragewerte gemäss Differenzierung der SIA-Normen 380/1 und

- 380/4. Im Gebäudebereich ist dies namentlich der Heizwärmebedarf (beheizte Fläche und spezifischer Heizwärmebedarf), Kühlbedarf (gekühlte Fläche und spezifischer thermischer Kühlenergiebedarf), Lüfterneuerungsbedarf (belüftete Fläche und spezifische thermische und elektrische Verbrauchswerte), Beleuchtungsbedarf (z.B. in Form von beleuchteter Fläche).
2. Endenergienachfrage: Ausgehend vom modellierten Nutzenergiebedarf wird die Endenergie anhand von Energieträgeranteilen, Geräte- und Anlagendurchdringungen sowie Nutzungsgraden und spezifischen Endenergieverbrauchskennwerten (z.B. bei Geräten und Lüftungen) bilanziert.
  3. Primärenergienachfrage und Treibhausgas-Emissionen: ausgehend von der Endenergienachfrage wird mittels eines einfachen Energieangebotsmodells die Primärenergienachfrage berechnet. Bei den Primärenergieträgern, insbesondere zur Deckung des Heizwärmebedarfs, wird auf spezifische Umrechnungsfaktoren aus Frischknecht und Tuchschnid (2008) bzw. Methodikpapier der Stadt Zürich<sup>1</sup> abgestützt.

### **Bewertungsansätze**

Bei erneuerbaren Energiequellen (Umweltwärme aus Wärmepumpen, Sonnenkollektoren, Photovoltaik, etc.) wird deren Primärenergieanteil separat ausgewiesen, um eine Vergleichbarkeit zwischen der SIA-Betrachtungsweise (Ebene Bauprojekt) und der Betrachtungsweise der Stadt Zürich (städtischer und regionaler Fokus) zu erhalten.<sup>2</sup> Für die Bewertung sind die Primärenergie- und Treibhausgas-Emissionsfaktoren gemäss Frischknecht und Tuchschnid 2008 massgebend. Bei der Stromerzeugung wird auf den Erzeugungsmix des EWZ-Berichts Stromzukunft abgestützt und bei der Fernwärme auf Angaben der Fernwärme Zürich.

### **Modellierung im Gebäudebereich**

Um die skizzierten Zielsetzungen zu erreichen, wurde vom Projektteam für die Schweiz ein berechenbares bottom-up-Simulations-Modell entwickelt, welches in der Folge auf die Verhältnisse der Stadt Zürich adaptiert wurde. Das Modell bildet zunächst den Ist-Zustand an Wohngebäuden (Ein- und Mehrfamilienhäuser), Bürogebäuden und Schulen in einem bottom-up Ansatz ab und projiziert die Entwicklung für verschiedene Szenarien in die Zukunft bis 2050. Als Quelle für die erforderlichen Daten dienen aktuelle Studien ([6]; [5]) sowie Stadt Zürich spezifische Unterlagen (ECO<sub>2</sub>-Rechner; [7]), aber auch weitere Literatur, eigene Daten der Studienverfasser (siehe [16]) und Annahmen und Inputs der Begleitgruppe. Das Modell weist eine Differenzierung der Endenergienachfrage, der Primärenergienachfrage und der Treibhausgas-Emissionen je Gebäudetyp und Energieträger auf.

Die Entwicklung des Gebäudebestandes wird für die Bereiche Neubau, Ersatzbau, energetische Gebäudeerneuerung und energetisch nicht erneuerte Gebäude separat modelliert. Die Modellierung erfolgt, so weit als möglich, auf Ebene von Bauteilen (Wand, Dach, Fenster etc.) und weiteren Energieanwendungen (einzelne Geräte, Gebäudetechnik, Warmwasser etc.). Mithilfe dieser Modellierung kann eine Reihe von Fragestellungen beantwortet werden. Zum Beispiel, welche Energiekennwerte Neu- und Ersatzbauten bzw. erneuerte Gebäude sowie Gebäudetechnik und Geräte bei bestimmten Ersatzneubau- und Erneuerungsraten erreichen müssen, damit der Durchschnitt der Gebäude den Maximalwerten der 2000 Watt-Gesellschaft entspricht. Ferner können Aussagen getroffen werden, ob dieses Ziel bereits 2050 (d.h. in rund 40 Jahren) oder erst zu einem späteren Zeitpunkt erreichbar ist und ob dieses Ziel mit dem Effizienz-Szenario erreicht werden kann.

Es wurden zwei grundsätzliche Szenarien entwickelt: ein ambitioniertes Effizienz-Szenario wurde einem Referenz-Szenario, welches die aktuelle und absehbare Energiepolitik beinhaltet, gegenüber gestellt. In Bezug auf die Stromerzeugung wurden für die Schweiz zwei Versorgungsvarianten der BFE-Energieperspektiven (Varianten IV A und IV E, siehe [4]) und für die Stadt

---

<sup>1</sup> Die Umrechnungsfaktoren für Primärenergie und UBP des Methodikpapiers der Stadt Zürich sind aus „Primärenergiefaktoren von Energiesystemen“ von Frischknecht und Tuchschnid 2008 übernommen worden. Sie sind daher identisch.

<sup>2</sup> In Übereinstimmung mit dem KHE-Beschluss vom 10.09.2008 nach dem die am Gebäudestandort erzeugte erneuerbare Energie im Effizienzpfad (Perspektive Bauprojekt), nicht als Primärenergie bewertet wird; auf städtischer und regionaler Ebene jedoch schon.

Zürich zwei Varianten des EWZ-Stromzukunfts-Berichts [12] verwendet, um den Einfluss des Strom-Erzeugungsmixes auf die Ergebnisse aufzuzeigen.

### 3. Resultate

Die Resultate werden zunächst für das gesamtschweizerische Modell und darauf aufbauend für das stadtzürcherische dargestellt, bevor das Kapitel mit einem Resultatvergleich schliesst.

#### 3.1 Schweiz

Im Basisjahr 2005 betrug die gesamte Primärenergie (PE) der betrachteten Gebäudekategorien rund 2400 W/P, wovon gut 2000 Watt pro Kopf der Bevölkerung (W/P) auf nicht-erneuerbare Energien entfallen (siehe Tab. 1). Bis 2050 nehmen diese im Referenz-Szenario um 10 % bzw. beinahe 20 % ab. Im Effizienz-Szenario ist die Abnahme mit 37 % bzw. 61 % deutlich stärker. Noch ausgeprägter ist die Abnahme bei den Treibhausgasemissionen. Als Muster kann festgehalten werden, dass die Reduktion zunehmend grösser wird, beginnend bei der totalen Primärenergie (PE) über die nicht-erneuerbare Primärenergie hin zu den Treibhausgasemissionen. Ergänzend sei erwähnt, dass die relativen Veränderungen bei den Wohn-, Schul- und Bürogebäuden je ähnlich sind.

Kriterium	2005	2050		Δ 2005/2050	
	Basisjahr	Ref.Szen.	Eff.Szen.	Ref.-Szen.	Eff.-Szen.
Totale Primärenergie [W/P]	2'389	2'156	1'517	-10%	-37%
nicht-erneuerbare PE [W/P]	2'013	1'633	793	-19%	-61%
THG-Emissionen [t CO <sub>2</sub> äq./P]	3,15	2,02	0,94	-36%	-70%

Tab. 1: Wichtigste Pro-Kopf Ergebnisse des Referenz-Szenario (Strommix BFE-Sz. I b) und des Effizienz-Szenarios (Strommix BFE-Sz. IV e)

Eine wichtige Zielsetzung der Studie [9] bestand u.a. darin, aufzuzeigen ob der Durchschnitt der untersuchten Gebäudekategorien im Effizienz-Szenario die Zwischenziele der 2000-Watt-Gesellschaft für das Jahr 2050 erreichen kann. Da diese Ziele (noch) nicht für einzelne Bereiche, Anwendungsfelder und Gebäudekategorien definiert sind (vgl. [8], S. 10), ist eine Überprüfung nur näherungsweise möglich.

Zum einen kann überprüft werden, ob die relative Reduktion im Vergleich zum Ausgangszustand grösser oder geringer ist als diejenige des Gesamtziels. Zum anderen kann abgeschätzt werden, in welchem Ausmass das postulierte Gesamtziel durch die untersuchten Gebäudekategorien ausgeschöpft wird.

#### Relative Zielüberprüfung

Im Vergleich zur Zielsetzung der 2000-Watt-Gesellschaft, welche eine Reduktion der Primärenergie pro Kopf von 44% impliziert, fällt die Reduktion im Effizienz-Szenario mit 37% Reduktion geringer aus (siehe Tab. 4). Der Zielerreichungsgrad der betrachteten Gebäudekategorien ist also unterproportional zur gesamtschweizerischen Zielsetzung. Für einen pro rata Zielbeitrag müsste die Primärenergie pro Kopf um weitere 7 Prozentpunkte reduziert werden. Dies gilt auch für die Treibhausgasemissionen, bei denen 70% Reduktion erreicht werden, während das Reduktionsziel gemäss [8] mit 77 % höher liegt.

Das proportional herunter gebrochene PE-Ziel wird weder bei den Wohngebäuden mit einer Reduktion um 36%, noch bei den Büro- und Schulgebäuden mit einer Reduktion von 38% erreicht.

#### 3.2 Zürich

Im Basisjahr 2005 betrug die gesamte Primärenergie der betrachteten Gebäudekategorien rund 2'762 W/P, wovon 2'454 W/P auf nicht-erneuerbare Energien entfallen (siehe Tab. 3). Bis 2050 nehmen diese im Referenz-Szenario um 19% bzw. 32% ab. Im Effizienz-Szenario ist die Abnahme mit 56% bzw. 90% deutlich stärker. Entsprechend ebenfalls sehr ausgeprägt ist die Abnahme bei

den Treibhausgasemissionen. Ähnlich wie im gesamtschweizerischen Fall kann festgehalten werden, dass im Referenz-Szenario die Reduktion zunehmend grösser wird, beginnend bei der totalen Primärenergie (PE) über die nicht-erneuerbare Primärenergie hin zu den Treibhausgasemissionen. Im Effizienz-Szenario ist die relative Reduktion bei der nicht-erneuerbaren Primärenergie am höchsten.

Kriterium	2005	2050		Δ 2005/2050	
	Basis-jahr	Referenz-Szenario	Effizienz-Szenario	Referenz-Szenario	Effizienz-Szenario
Totale Primärenergie [W/P]	2'762	2'243	1'208	-19%	-56%
nicht-erneuerbare PE [W/P]	2'454	1'671	237	-32%	-90%
THG-Emissionen [t CO <sub>2</sub> äq./P]	2,83	1,50	0,39	-47%	-86%

Tab. 2: Wichtigste Pro-Kopf Ergebnisse des Referenz-Szenario (Strommix EWZ-Sz.1) und des Effizienz-Szenarios (Strommix EWZ-Sz. 3) aus dem Gebäudeparkmodell Zürich

Im Vergleich zur Zielsetzung der 2000-Watt-Gesellschaft, welche eine Reduktion der Primärenergie pro Kopf von 44% impliziert, beträgt die Reduktion im Effizienz-Szenario gegenüber 2005 mit 56% deutlich mehr (siehe Tab. 4). Der Zielerreichungsgrad der betrachteten Gebäudekategorien ist also überproportional zur gesamtschweizerischen Zielsetzung. Dies gilt auch für die Treibhausgasemissionen, bei denen 86% Reduktion erreicht werden, während das Ziel gemäss [8] bei 77% liegt. Das proportional herunter gebrochene Ziel wird bei den Wohngebäuden und bei den Büro- und Schulgebäuden jeweils auch separat erreicht.

Die Modellrechnungen zeigten ausserdem den Einfluss der Zusammensetzung der Stromerzeugung auf. In Figur 71 [10] ist ersichtlich, dass die Wahl des Elektrizitäts-Szenarios (EE1 und EE3) eine moderate Auswirkung auf die Nachfrage an Gesamtprimärenergie bis 2050 hat (Reduktion von -36% gegenüber -50%). Hingegen ist die Reduktion der nicht-erneuerbaren Primärenergie bis 2050 im Effizienzszenario in Verbindung mit EWZ-Strommix 3 mit -89% noch sehr viel ausgeprägter als in der Kombination mit dem EWZ-Szenario 1 (-60%). Im Gegensatz dazu ist der Unterschied zwischen EWZ-Szenario 1 und 3 in Bezug auf die Treibhausgas-Emissionen vernachlässigbar (Figur 78 in [10]).

Beide Effekte können mit der Substitution der Kernkraft durch erneuerbare Energien (hauptsächlich Geothermie, Wasserkraft und Solarthermie) erklärt werden: Zum einen besitzt die Kernkraft einen hohen Primärenergiefaktor von 4,1 (99,8% davon sind nicht-erneuerbarer Anteil). Somit sinkt der mittlere Primärenergiefaktor für Elektrizität aufgrund des Rückgangs der Kernenergie bis 2050 stark ab (vgl. Anhang 8.1 in [10]) Zum anderen hat die Kernenergie nach [13] mit 5 t CO<sub>2</sub>-äq./TJ bereits einen geringeren THG-Emissionsfaktor als die meisten erneuerbaren Energieträger, was zur Folge hat, dass die THG-Emissionen im EWZ-Szenario 3 minim ansteigen.

Relativ gesehen sinken die Treibhausgasemissionen pro Kopf im Effizienz-Szenario ungefähr gleich stark wie die fossile Primärenergie pro Kopf. Die strukturellen Verschiebungen hin zum Strom wirken sich also bzgl. Treibhausgasemissionen bei der unterstellten Stromerzeugung nicht nachteilig aus.

### 3.3 Vergleich zwischen der Schweiz und der Stadt Zürich

Die Vergleichbarkeit der beiden Gebäudeparkmodelle Zürich [10] und Schweiz [9] ist erwünscht und mit einigen Einschränkungen auch möglich<sup>3</sup>. Zum Verständnis der unterschiedlichen Ergebnisse zwischen der Schweiz und der Stadt Zürich ist zunächst die Verteilung der Energiebezugsflächen zu beachten, welche sich sehr unterschiedlich darstellt (siehe Tab. 3). Der Anteil an Ein- und Mehrfamilienhäusern macht für die Stadt Zürich einen Anteil von rund 67% der

<sup>3</sup> In [10] (Kapitel 1.4 und 6.2.2) und punktuell in den übrigen Berichtsteilen, wurde auf die unterschiedlichen Rahmenbedingungen bei der Abdeckung des jeweiligen Gebäudeparks eingegangen.

betrachteten Gebäudekategorien aus (schweizweit beträgt dieser Wert rd. 88%). Dahingegen ist der Anteil der Mehrfamilienhäuser an diesen 67% in Zürich überproportional hoch im Vergleich zur nationalen Verteilung. Um ca. den Faktor 4 übersteigt auch der Anteil an Bürofläche in Zürich den Schweizer Durchschnitt. Der Anteil an Schulen liegt mit 7% um ca. 2% über den Anteilen in der Schweiz.

	EFH	MFH	Büro / Handel	Büro mit RZ	Büro / Banken	Höh. Schule	Volks- schule	Büro / übr. DL	Alle
Schweiz	39%	48%	1%	0%	1%	1%	4%	5%	100%
Zürich	6%	61%	2%	2%	7%	4%	3%	14%	100%

Tab. 3: Gegenüberstellung der im Gebäudeparkmodell Schweiz und Zürich behandelten Energiebezugsflächen

In der Ausgangslage (2005) weist das Gebäudeparkmodell Zürich eine höhere spezifische Dauerleistung an Endenergie und Primärenergie (rund 2'800 Watt im Vergleich zu 2'400 Watt PE für die Schweiz) und einen geringfügig höheren nicht-erneuerbaren Anteil am Total auf (89% anstatt 84% für CH, vgl. Tab. 4). Die Ursache hierfür ist vor allem struktureller Natur, denn im Verhältnis zur betrachteten Bevölkerung verfügt die Stadt Zürich über einen wesentlich höheren Anteil an Büros und Schulen. Zudem kommt so die höhere Primärenergienachfrage dieser Gebäude (bedingt durch die relativ ausgeprägte Elektrizitätsnachfrage) stärker zum Tragen (vgl. auch Figur 72 in [10]). Im Schweizer Modell sind Büros und Schulen für 13% und im Zürcher Teil für 39% der gesamten Primärenergienachfrage (des betrachteten Gebäudeparks) verantwortlich. Da im Zürcher Modell angenommen wird, dass die Nachfrage an Endenergie deutlich wirksamer reduziert werden kann (-44% statt -28%) und die nicht-erneuerbaren Energieträger stärker durch erneuerbare Energie ersetzt werden, als dies im Gesamtschweizer Modell der Fall ist, kehrt sich die Rangfolge bei Primärenergie und THG-Emissionen zwischen Schweiz und Zürich bis 2050 schliesslich um:

Die Treibhausgasemissionen sind hingegen im Schweizer Modell höher. Denn aufgrund der nicht nachgewiesenen Importe von Strom aus unbekanntem Quellen aus dem UCTE-Raum ist die Elektrizitätsproduktion in diesem Modell wesentlich stärker treibhausgasintensiv (Faktor 7, vgl. Tab.4 in [10]).

Kriterium	2000-Watt-Gesellschaft			GPM CH*			GPM ZH*		
	2005	Ziel 2050	Δ 2005 / 2050	Basis 2005	Effizienz 2050	Δ 2005 / 2050	Basis 2005	Effizienz 2050	Δ 2005 / 2050
Endenergie [W/P]	n/a	n/a	n/a	1'422	1029	-28%	1'666	931	-44%
davon Elektrizität [W/P]	n/a	n/a	n/a	412	364	-12%	501	396	-21%
Totale PE [W/P]	6'300 <sup>i</sup>	3'500 <sup>i</sup>	-44%	2'389	1'517	-37%	2'762	1'208	-56%
nicht-erneuerbare PE [W/P]	5'800*	2'000 <sup>ii</sup>	-66%	2'013	793	-61%	2'454	237	-90%
THG-Emissionen [t CO <sub>2</sub> äq./P]	8,7 <sup>i</sup>	2,0 <sup>i</sup>	-77%	3,15	0,94	-70%	2,83	0,39	-86%

\*gemäss Ergebnissen dieser Analysen<sup>i</sup> Methodikpapier der Stadt Zürich [8]<sup>ii</sup> Annahme der Autoren

Tab. 4: Gegenüberstellung der Ergebnisse Gebäudeparkmodell Zürich und Schweiz (Energienachfrage und THG-Emissionen)

Die Ergebnisse zeigen, dass die mutmasslichen Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft (d.h. Primärenergie -44%, THG-Emissionen -77%) für den gesamtschweizerischen Gebäudepark unter den getroffenen Annahmen nicht oder nur sehr knapp eingehalten werden können (siehe. Tabelle 4[10]). Die Reduktion der verschiedenen Indikatoren (spezifische Primärenergienachfrage und

Treibhausgasemissionen) bleibt im GPM *CH* zwischen 15 und 30 Prozentpunkten hinter derjenigen des GPM *ZH* zurück. Die Ursache hierfür liegt in erster Linie in den zugrunde gelegten Annahmen, vor allem bezüglich der erneuerbaren Energien bei der Raumheizung und beim Strommix, welche im Fall der Schweiz als wesentlich konservativer zu bezeichnen sind.

Die Annahmen bezüglich Gebäudehülle und -erneuerung sind in beiden Modellen weitgehend identisch und resultieren in einem ähnlichen spezifischen Heizwärmebedarf der Bestandsbauten. Die Neubauten wurden im Zürcher Gebäudeparkmodell allerdings als energetisch effizienter angenommen. Weiterhin unterscheiden sich die beiden Modelle in gewissen Annahmen, so z.B. im Anteil der Einzelofensysteme, Lüftungsanlagen, etc.

Hingegen gehen die Annahmen beim Anteil der erneuerbaren Energien zur Wärme- und Elektrizitätserzeugung im Fall des Gebäudeparkmodells *Zürich* auftragsgemäss wesentlich weiter. Beispielsweise wird davon ausgegangen, dass gerade einmal 11% der Bestandsbauten (BJ <2005) der Mehrfamilienhäuser im Jahr 2050 mittels Öl und Gas beheizt werden, während dies im GPM *CH* noch bei 48% dieser Gebäude der Fall ist.

Die Ergebnisse und die Arbeiten am Gebäudeparkmodell Schweiz haben gezeigt, welches die einflussreichsten Hebel des Gebäudeparkmodells sind. Die Begleitgruppe hat das Projektteam dazu veranlasst, im GPM *Zürich* weitreichendere Annahmen zu treffen, so dass die Ziele erreicht (und gar leicht übererfüllt) werden konnten. Damit kann letztlich aufgezeigt werden, welche Voraussetzungen und Bedingungen für die Realisierung der 2000-Watt-Gesellschaft geschaffen werden müssen.

Beim Vergleich der Ergebnisse zwischen der Schweiz und *Zürich* erscheint auf den ersten Blick die Zielerreichung der 2000 Watt- und 1 Tonne CO<sub>2</sub>-Gesellschaft in *Zürich* realisierbarer als auf der nationalen Ebene. Es handelt sich jedoch v.a. um ein annahmen-bedingtes Ergebnis. Zum Teil ist es auch durch die strukturell unterschiedliche Ausgangslage bedingt.

#### **4. Fazit und Ausblick**

Mit dem Gebäudeparkmodell (GPM) der ETH *Zürich* und der TEP Energy wurde ein Instrument entwickelt, mit welchem, energiepolitische Ziele auf nationaler, kantonaler und kommunaler Ebene konkretisiert und überprüft werden können. Durch seinen konsequenten Bottom-up-Ansatz auf Ebene der einzelnen Gebäudeteile, -technikelemente und Geräte auf der einen Seite und seinen Bezug zur systemischen Ebene von gesetzlichen Vorschriften, Normen und Labels lässt sich eine Vielzahl von Fragestellungen bearbeiten.

Seit Abschluss der beiden erwähnten Projekte sind denn auch bereits zwei weitere Anwendungen des GPM zu erwähnen:

- Ex-ante Wirkungsanalyse der 7-Meileschritte-Politik der Stadt *Zürich* für Wohn-, Büro- und Schulgebäude [14]
- erste Ergebnisse bezgl. grauer Energie und Umweltbelastungspunkte (UBP) [16]
- Ausarbeitung eines 2000-Watt-tauglichen Energiekonzepts für die Stadt *Zürich* [17]

Im Rahmen des letztgenannten Projekts wird das GPM derzeit auf die übrigen Gebäudetypen erweitert und vor allem innerstädtisch räumlich differenziert, um lokale Verhältnisse der Potenziale der erneuerbaren Energien und der Gebäudeerneuerungen adäquat berücksichtigen zu können. Das Modell könnte in dieser Art auch auf weitere Städte und Gemeinden angepasst werden.

#### **5. Literatur/Referenzen**

- [1] Jochem et al. (2004). A White Book for R&D of Energy-Efficient-Technologies. CEPE/ETH *Zürich* und Novatlantis, *Zürich*
- [2] Koschenz (2005). „Potential Wohngebäude. Energie- und Gebäudetechnik für die 2000-Watt-Gesellschaft“; Faktor Verlag; *Zürich*.
- [3] Preisig et al. (2006). „SIA Effizienzpfad Energie“; Dokumentation D 0216; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; *Zürich*.

- [4] Prognos (2007). „Die Energieperspektiven 2035 – Band 2 – Szenarien I bis IV“, i. A. Bundesamte für Energie, Juli.
- [5] Hofer (2007). „Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte, 1990—2035. Ergebnisse der Szenarien I bis IV und der zugehörigen Sensitivitäten BIP hoch, Preise hoch und Klima wärmer“; Prognos AG, Basel im Auftrag des Bundesamtes für Energie BFE, Bern, Mai 2007.
- [6] Aebischer B. Catenazzi G. (2007). Der Energieverbrauch der Dienstleistungen und der Landwirtschaft, 1990 – 2035 Ergebnisse der Szenarien I bis IV und der zugehörigen Sensitivitäten. BIP hoch, Preise hoch und Klima wärmer. CEPE/ETHZ i.A. BFE, Bern, März.
- [7] Schneider, M. und Rubli, S. (2008). „Ressourcenmodell der mineralischen Baustoffe auf der Ebene Stadt Zürich. Schlussbericht der Phase II. Dynamische Modellierung 1995—2050“; Wertstoff-Börse GmbH im Auftrag des Tiefbauamtes der Stadt Zürich und des Amtes für Hochbauten der Stadt Zürich.
- [8] Bébié B., Gugerli H., Püntener T. W., Lenzlinger M., Frischknecht R., Hartmann C., Hammer S. (2009). Grundlagen für ein Umsetzungskonzept der 2000-Watt-Gesellschaft, LSP 4 - "Nachhaltige Stadt Zürich - auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft", Ein Gemeinschaftsprojekt von Stadt Zürich, Bundesamt für Energie, EnergieSchweiz für Gemeinden und Novatlantis.
- [9] Wallbaum H., Heeren N., Jakob M., Gabathuler, M. Gross N., Martius G. (2009). Gebäudeparkmodell SIA Effizienzpfad Energie Dienstleistungs- und Wohngebäude - Vorstudie zum Gebäudeparkmodell Schweiz – Grundlagen zur Überarbeitung des SIA Effizienzpfades Energie. I.A. Bundesamt für Energie (BFE), Bern, September.<sup>4</sup>
- [10] Wallbaum H., Jakob M., Heeren N., Gross N., Martius G. (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 i.A. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle nachhaltiges Bauen, Zürich, Mai.
- [11] Rits V, Kirchner, A.(2007). Die Energieperspektiven 2035 – Band 5, Analyse und Bewertung des Elektrizitätsangebotes. i.A. des Bundesamts für Energie, Bern, Juni.
- [12] Boese, S. et al. (2008). Die Energie hat langfristige Perspektiven. Stromzukunft Stadt Zürich. Projektbericht. Ewz (Hrsg.), Zürich, November.
- [13] Frischknecht und Tuchschildt (2008). Primärenergiefaktoren von Energiesystemen, v.1.4. ESU-services GmbH, Uster, Dezember.
- [14] Wallbaum H., Jakob M., Heeren N., Toloumis Ch. (2010). 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.
- [15] Jakob M., Gross N., de Haan P., Jochem E. (2009). Quantifizierung der Energieeffizienzpotenziale, der Substitutionseffekte und der Energienachfrage in der Schweiz bis 2050. Bericht im Auftrag des Energie Trialog Schweiz (ETS), Zürich, Juli.
- [16] Wallbaum H., Heeren N. (2010a). Gebäudeparkmodell Vorstudie zur Erreichbarkeit der 2000-Watt-Ziele für Wohn-, Büro- und Schulgebäude in der Stadt Zürich, Anhang zum Schlussbericht : Graue Energie und Umweltbelastungspunkte. ETH Zürich und TEP Energy i.A. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle nachhaltiges Bauen, Zürich, Mai.
- [17] Jakob M., Flury K, Heeren N., Sunarjo B., Wallbaum H. (2010, geplant). 2000-Watt-taugliches Energiekonzept für die Stadt Zürich. TEP Energy und ETH Zürich i.A. Stadt Zürich.

---

<sup>4</sup> Weiterführende Literatur ist auch auf folgenden Websites zu finden:  
[www.ibi.ethz.ch/nb](http://www.ibi.ethz.ch/nb); [www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen](http://www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen); [www.tep-energy.ch](http://www.tep-energy.ch)