



Gebäudeparkmodell

Vorstudie zur Erreichbarkeit der 2000-Watt-Ziele für
Wohn-, Büro- und Schulgebäude in der Stadt Zürich

Anhang zum Schlussbericht: Graue
Energie und Umweltbelastungspunkte

IMPRESSUM

Auftraggeberin:

Stadt Zürich,
Amt für Hochbauten
Fachstelle nachhaltiges Bauen
Amtshaus III, Lindenhofstrasse 21
8021 Zürich

Bearbeitung:

Institut für Bauplanung und Baubetrieb, Professur für Nachhaltiges Bauen
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ)
www.ibb.baug.ethz.ch/de/hb

Projektleitung:

Dr. Heinrich Gugerli
Fachstelle Nachhaltiges Bauen,
Amt für Hochbauten

Projektteam:

Prof. Dr. Holger Wallbaum, [wallbaum @ ibb.baug.ethz.ch](mailto:wallbaum@ibb.baug.ethz.ch) (ETHZ)
Niko Heeren (ETHZ)

Download als pdf von
www.stadt-zuerich.ch/nachhaltiges-bauen
> 2000-Watt-Gesellschaft > Technik

Zürich, Mai 2010

Version: 100621_Anhang GE & UBP v1.2.docx

1. Ausgangslage

Dieses Dokument stellt einen Anhang zu dem Schlussbericht „Gebäudeparkmodell Zürich“ (Wallbaum et al. 2010) dar. In Ergänzung der Beurteilungsparameter „Endenergie“, „Primärenergie, total“, „Primärenergie, fossil“ und „Treibhausgasemissionen“ aus dem Hauptbericht, werden in der nachfolgenden Betrachtung zwei weitere ökologische Parameter bezogen auf den Gebäudepark der Stadt Zürich untersucht.

In einem ersten Schritt wurde die Methode der „Ökologischen Knappheit“ mit den sogenannten **Umweltbelastungspunkten** als weiteres Kriterium zur Beurteilung der ökologischen Auswirkungen der Betriebsenergie herangezogen. Dies erscheint notwendig, da die bisher betrachteten Grössen nur bedingt Aussagen über Umweltwirkungen unterschiedlicher Energieträger zulassen. Beispielsweise werden in ihnen die Umweltbelastungen durch entstehende Abfälle oder Wasserverschmutzung nicht abgebildet.

Ein weiterer Schritt die „indirekten oder vorgelagerten“ Umweltwirkungen des Gebäudesektors sichtbar zu machen ist die Einbeziehung der sogenannten **Grauen Energie** von Baumaterialien. In einer ersten Betrachtung soll dessen Rolle abgeschätzt werden.

2. Umweltbelastungspunkte

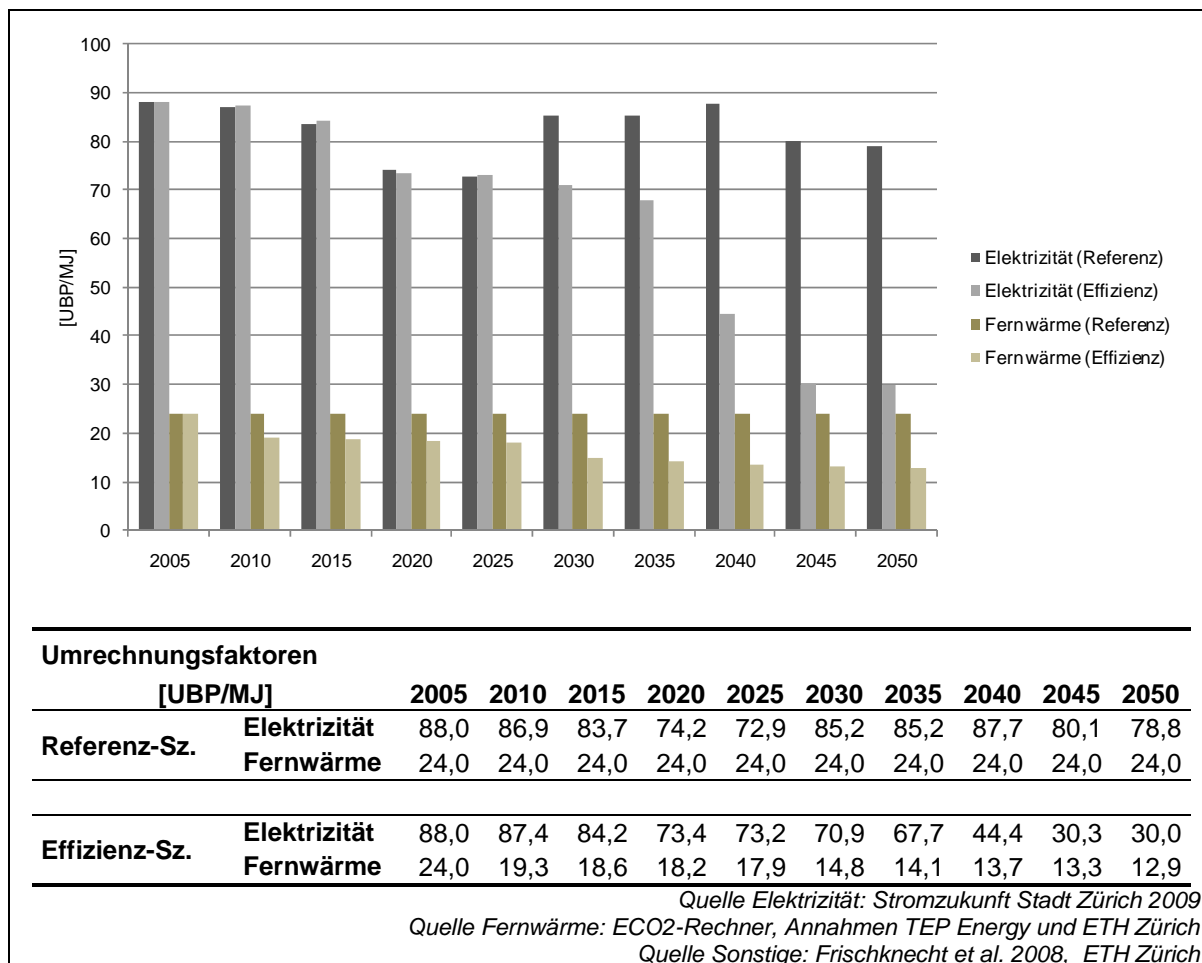
2.1 Rahmenbedingungen

Die Methode der sogenannten ökologischen Knappheit 2006 (nach Brand et al. 1998, Frischknecht et al. 2009) beruht, genauso wie die Grössen Primärenergie und Treibhausgasemissionen, auf Ökobilanzdaten, welche in der ecoinvent Datenbank¹ dokumentiert sind. Das bedeutet, es werden nicht nur die unmittelbaren Auswirkungen eines Prozesses, sondern auch dessen Vorketten bilanziert und können anschliessend mit einer beliebigen LCA-Methode bewertet werden. Bei den Umweltbelastungspunkten (UBP) handelt sich um einen voll-aggregierenden Indikator, welcher die ökologischen Wirkungskategorien „Ressourcen- und Landverbrauch“, „Emissionen in Luft, Gewässer und Boden“ und „Abfälle“ einbezieht und anhand der politischen Zielsetzungen der Schweiz gewichtet.

2.2 Ergebnisse

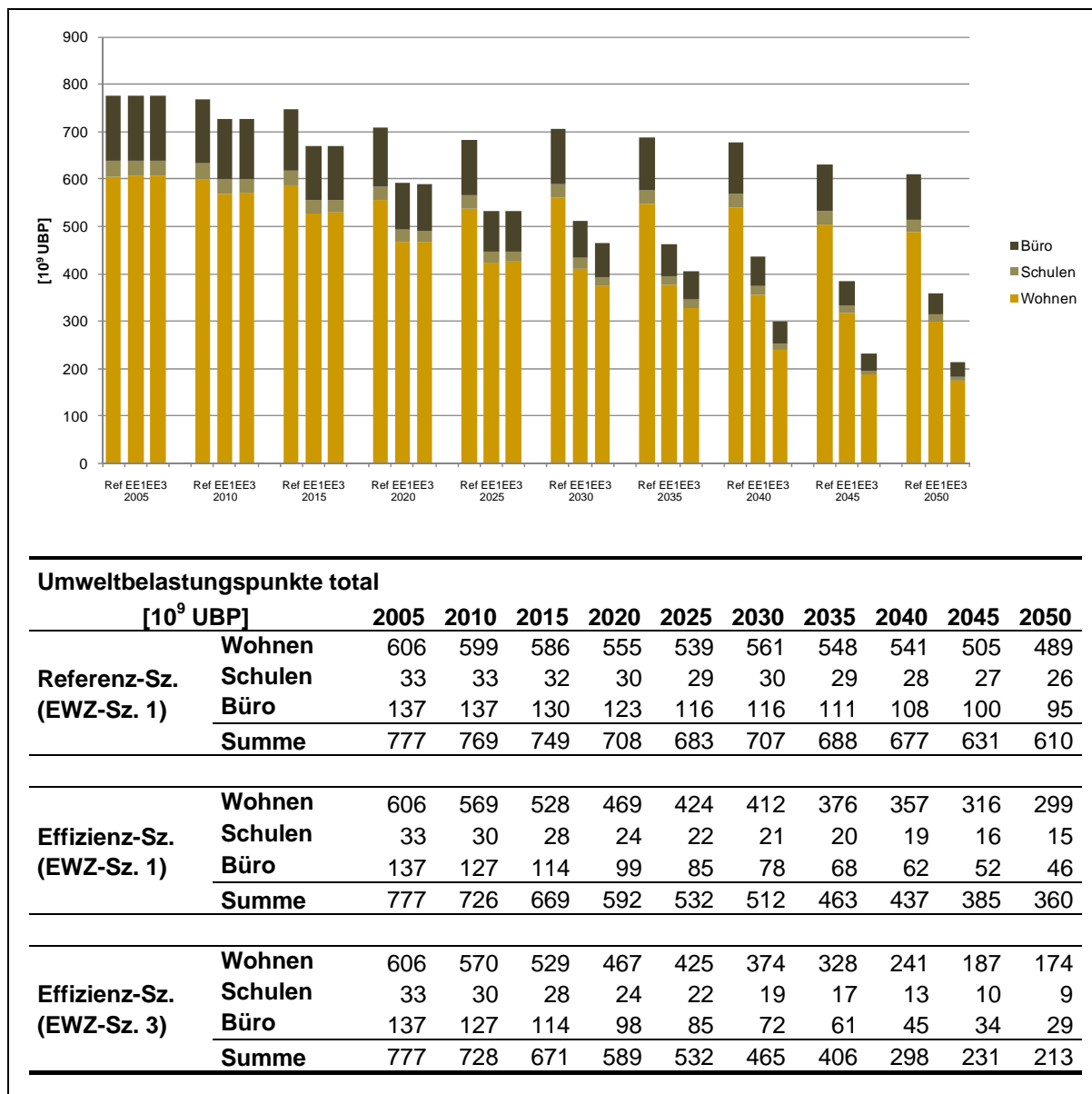
Die nachfolgenden Berechnungen stützen auf den Ergebnissen bezüglich der Betriebsenergie-nachfrage aus dem Schlussbericht ab. Jedoch wurde die Endenergie (ebenfalls am oberen Heizwert orientiert) mit den entsprechenden Umrechnungsfaktoren gewichtet. Jene stammen aus Frischknecht et al. 2008. Analog dem Vorgehen bei Primärenergie und Treibhausgasemissionen wurde für Elektrizität und Fernwärme ein zeitlicher Verlauf berechnet (vgl. Anhang 8.1 in Wallbaum et al. 2010).

¹ www.ecoinvent.ch



Figur 1 Umrechnungsfaktoren Umweltbelastungspunkte für Elektrizität und Fernwärme im Referenz- und Effizienzscenario (Grautöne entspricht Elektrizität; Brauntöne entspr. Fernwärme)

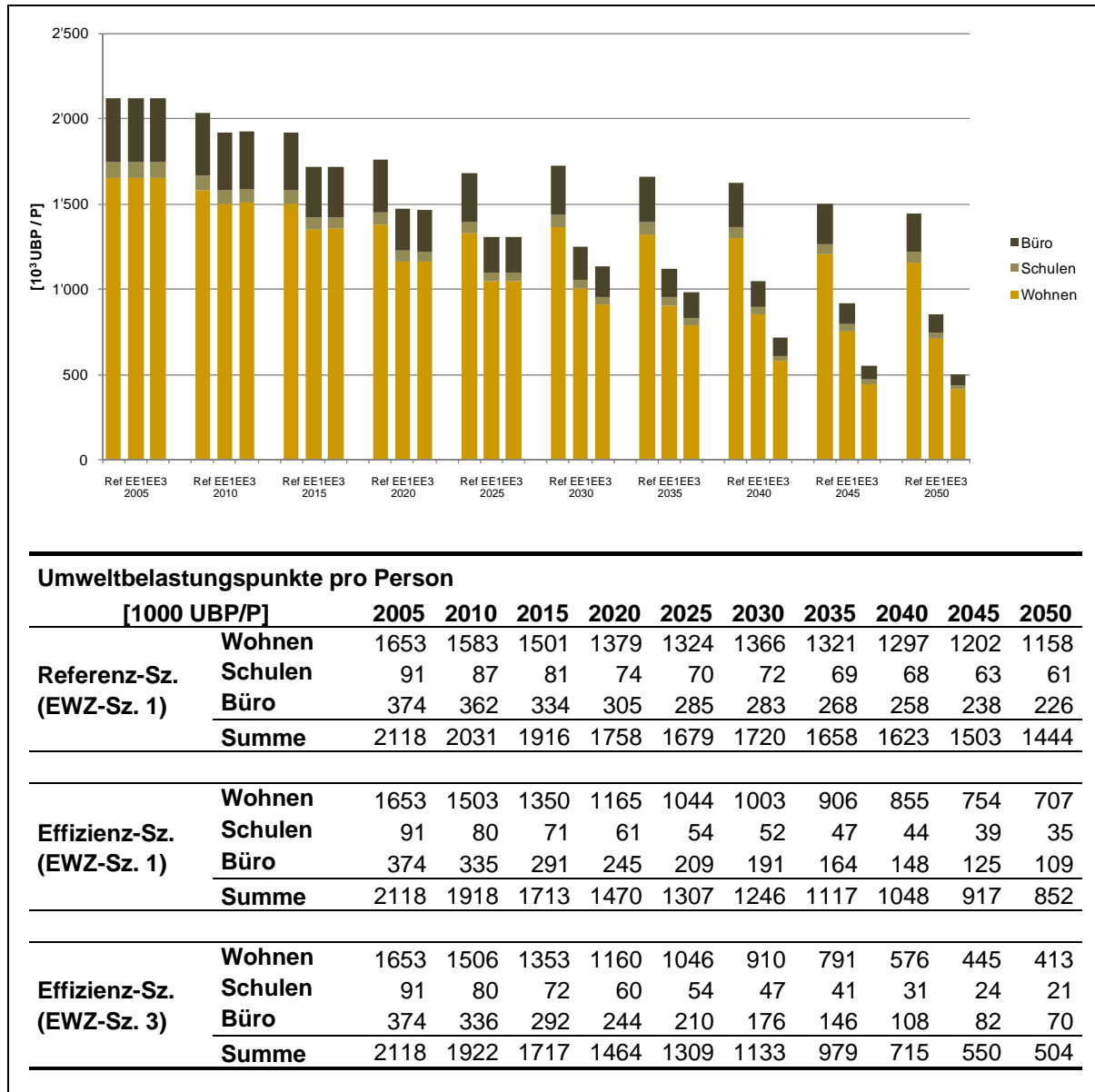
In Figur 1 sind die Umrechnungsfaktoren für Umweltbelastungspunkte je Megajoule dargestellt. Während im Referenzscenario die Faktoren für die Fernwärme bis 2050 konstant bleiben (es wird ein gleichbleibender Erzeugermix angenommen) und sich für die Elektrizität nur relativ geringe Schwankungen ergeben, sind im Effizienzscenario erhebliche Reduktionen der UBP von -46% bzw. -67% zu beobachten. Die Abnahme der UBP pro Megajoule ist bei der Fernwärme auf die Substitution von Gas durch Holz und bei der Elektrizität ausschliesslich auf den Ausstieg aus der Kernenergie zurückzuführen.



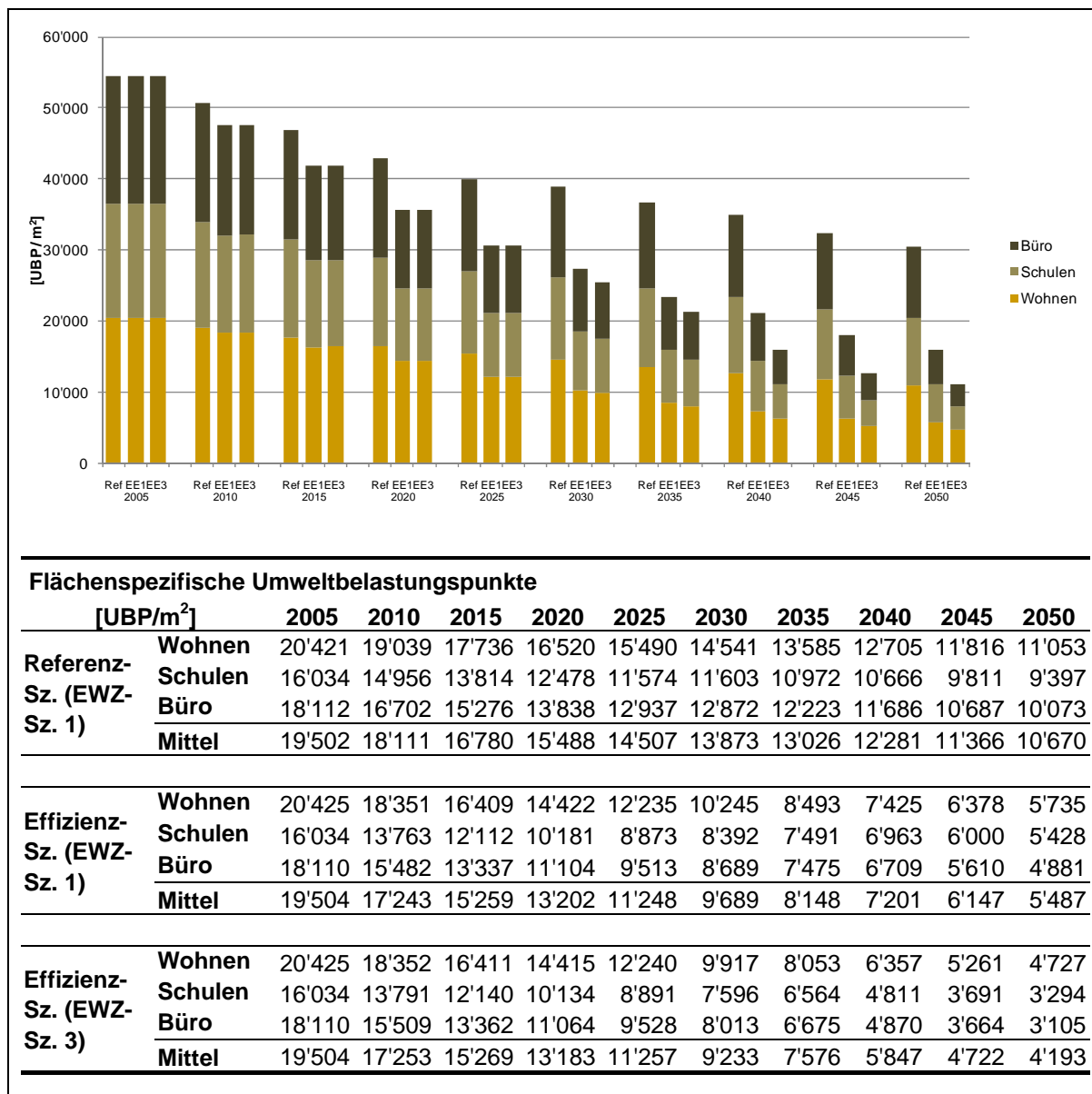
Figur 2 Umweltbelastungspunkte total im Referenzszenario und den Effizienzscenario-Varianten (EWZ-Szenario 1 und 3)

Bei den Umweltbelastungspunkten, welche durch den Betrieb der Büros, Schulen und Wohngebäude hervorgerufen werden, ist eine grosse Reduktionswirkung der beiden Effizienzscenarien (-54% und -73%) zueinander aber auch gegenüber dem Referenzszenario (-21%) sichtbar. Aufgrund identischer Rahmenbedingungen (d.h. Bevölkerung und Energiebezugsfläche) verhält sich die spezifische gegenüber der absoluten Umweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit analog der Energienachfrage. Das bedeutet, die Reduktion 2050 gegenüber 2005 wird durch Zuwachs an Bevölkerung bzw. Energiebezugsfläche verstärkt.

Somit ist die Pro-Kopf-Umweltbelastung nach UBP im Jahre 2050 im Referenzszenario, Effizienzszenario EE1 bzw. EE3 32%, 60% bzw. 76% geringer als im Ausgangsjahr (Figur 3). Die flächenspezifischen Werte reduzieren sich mit 45%, 72% und 79% noch stärker. Dies führt ein weiteres Mal den Effekt des angenommenen steigenden Flächenbedarfs pro Person sowie absolut vor Augen: Obwohl die Effizienz bezogen auf die bereitgestellte Energiebezugsfläche stark ansteigt, ist der Pro-Kopf-Reduktionseffekt weniger ausgeprägt.



Figur 3 Umweltbelastungspunkte pro Person im Referenz- und Effizienzscenario (EWZ-Szenario 1 und 3)



Figur 4 Umweltbelastungspunkte pro Energiebezugsfläche im Referenz- und Effizienzscenario (EWZ-Szenario 1 und 3)

2.3 Schlussfolgerung

Augenscheinlich verhalten sich die UBP mehr oder weniger analog der Entwicklung der nicht-erneuerbaren Primärenergie (vgl. Figur 7 und Wallbaum et al. 2010, Kap. 6.1.3). In Wallbaum et al. 2010 wurde gezeigt, dass die Nachfrage an nicht-erneuerbarer Primärenergie im Referenzszenario bis ins Jahr 2050 um -22% sinkt und im Effizienzscenario um -60% bzw. -89% (EWZ-Szenario 1 bzw. 3). Demgegenüber fällt diese Differenz mit-54% und -73% bei den UBP in den Effizienzscenarien geringer aus als bei der nicht-erneuerbaren Primärenergie (Tabelle 1).

Tabelle 1 Überblick der Reduktionswirkung (2005 auf 2050, alle Gebäude) der Szenarien für die unterschiedlichen Indikatoren

Reduktion von 2005 auf 2050		Nicht-erneuerbare PE (gesamt)	Totale PE	THG-Emissionen	UBP
Total	Referenz-Sz.	-22%	-6%	-40%	-22%
	Effizienz-Sz. EE1	-60%	-36%	-85%	-54%
	Effizienz-Sz. EE3	-89%	-50%	-84%	-73%
Pro Person	Referenz-Sz.	-32%	-19%	-47%	-32%
	Effizienz-Sz. EE1	-65%	-44%	-87%	-60%
	Effizienz-Sz. EE3	-90%	-56%	-86%	76%
Pro Quadratmeter	Referenz-Sz.	-37%	-25%	-51%	-45%
	Effizienz-Sz. EE1	-68%	-48%	-87%	-72%
	Effizienz-Sz. EE3	-91%	-59%	-87%	-79%

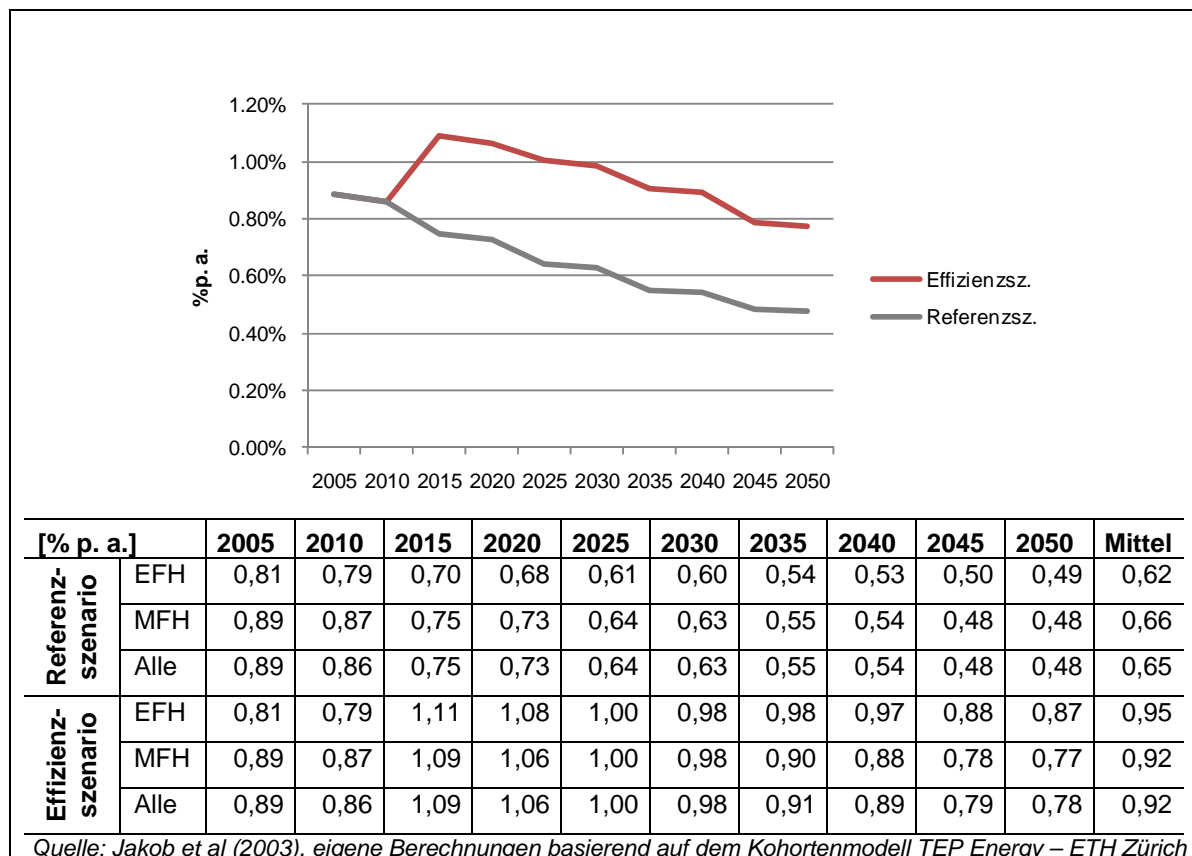
Dies liegt u.a. darin begründet, dass die Umweltbelastungspunkte einen weniger Einzelparameter-orientierten Fokus haben und zusätzlich andere Umweltwirkungen berücksichtigen (anteilig fließen so beispielsweise die THG-Emissionen in die Bilanzierung mit ein). Dennoch zeichnet sich ab, dass die im Gebäudeparkmodell Zürich getroffenen Annahmen und skizzierten Entwicklungen auch bezogen auf die Umweltbelastungspunkte einen sehr positiven ökologischen Reduktionseffekt zur Folge haben. Dies gilt v.a. für das Effizienzscenario in Verbindung mit dem EWZ-Szenario 3.

3. „Graue Energie“-Abschätzung

Bisher wurden ausschliesslich die Wirkungen, welche durch die Betriebsenergienachfrage in Schulen, Büros und Wohngebäuden verursacht werden, betrachtet. In einer ersten Näherung wurde versucht eine Grössenordnung für den durch die Bauteile und Bauaktivitäten hervorgerufene Primärenergienachfrage zu ermitteln.

3.1 Rahmenbedingungen

Der Begriff „Graue Energie“ ist unter anderem im Merkblatt SIA 2032 definiert worden und bezeichnet die in den Bauteilen und deren Vorketten enthaltene nicht-erneuerbare Primärenergie. Grundlage zur Beurteilung dieses Energieaufwands bilden Ökobilanzdatenbanken, wie beispielsweise ecoinvent, welche den Lebenszyklus des jeweiligen Produktes mit einbeziehen. Das bedeutet alle Aufwendungen für Transport, Erstellung, Nutzung und Recycling bzw. Entsorgung des Baustoffs werden bilanziert.



Figur 5 Mittlere Gebäudeerneuerungsraten auf Grundlage der Bauteilerneuerung (in % pro Jahr, pro memoria aus Wallbaum et al. 2010, Kap. 2.2.1)

Hierzu wurde in Wallbaum et al 2010 die mittlere Gebäudeerneuerungsrates auf Grundlage der Bauteilerneuerung der Wohngebäude (Figur 5) errechnet und somit die im jeweiligen Jahres-schritt sanierte Energiebezugsfläche ermittelt. Mit Hilfe von typischen Werten für Graue Energie (Tabelle 2) ergibt sich der jährliche Primärenergiebedarf für ein idealtypisch saniertes Gebäude.

Einerseits wird davon ausgegangen, dass ein Quadratmeter sanierte Energiebezugsfläche wesentlich weniger (40%) Primärenergie benötigt als die neu gebaute Fläche. In Anbetracht dessen, dass die Tragstruktur eines Gebäudes oft die grösste Menge an Grauer Energie enthält, erscheint diese Annahme als sinnvoll. Andererseits wird angenommen, dass Sanierung und Neubau im Effizienzscenario weniger Graue Energie als im Referenzscenario benötigen. Diese Annahme lässt sich mit der Argumentation, dass vermehrt auf wenig thermisch behandelte Baustoffe aus nachwachsenden Materialien zurückgegriffen wird, vertreten. Auf der anderen Seite bedarf es aber diesbezüglich dringend weitere Untersuchungen, da beispielsweise der spezifische Bedarf an Dämmmaterial aufgrund der erhöhten U-Werte vermutlich steigt.

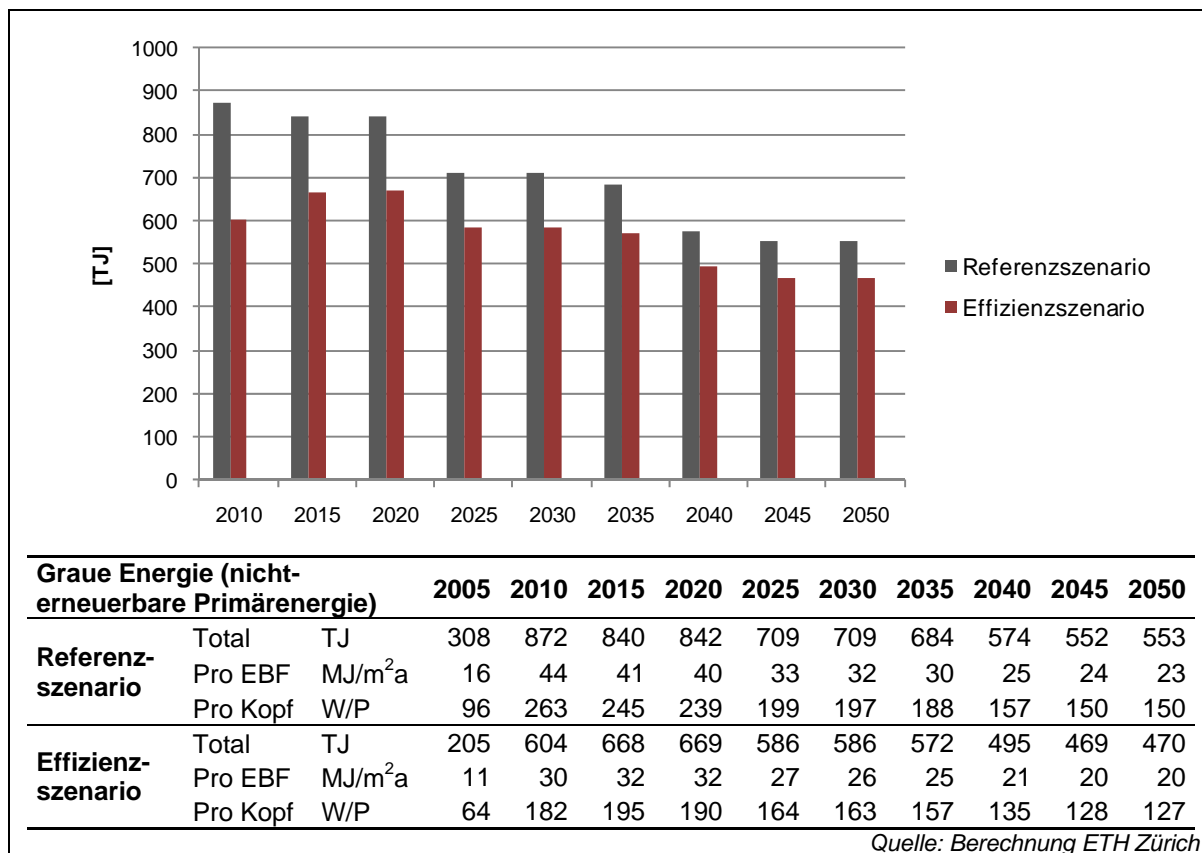
Tabelle 2 Typische Graue Energie-Werte für Bautätigkeit (MJ nicht-erneuerbare Primärenergie pro m² EBF)

Referenzscenario	Neubau	4500 MJ/m ²
	Sanierung	1800 MJ/m ²
Effizienzscenario	Neubau	3150 MJ/m ²
	Sanierung	1200 MJ/m ²

Quelle: Persönliche Mitteilung H. Gugerli (AHB Zürich)

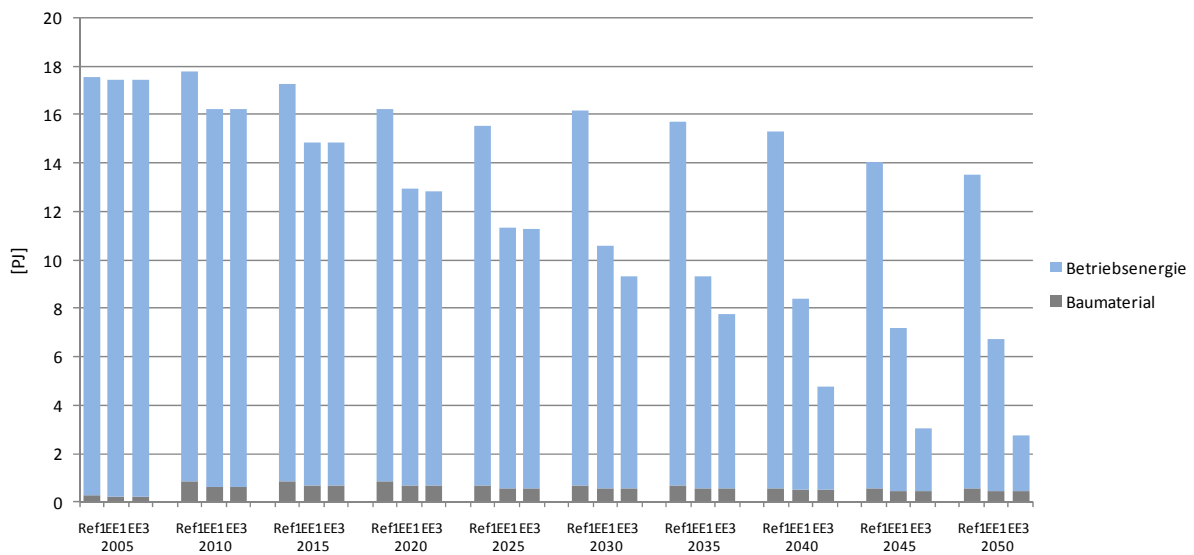
3.2 Ergebnisse

Figur 6 stellt die Ergebnisse der Grauen Energie für Referenz- und Effizienzscenario gegenüber.



Figur 6 Graue Energie als totale, flächen- und personenspezifische Primärenergie (Total in Tj als Grafik)

Da die Erneuerungstätigkeit im Effizienz-szenario ab dem Jahresschritt 2015 wesentlich ausgeprägter ist (s. Figur 5), gleicht sich der Bedarf ab diesem Zeitpunkt stark an die Nachfrage im Referenz-szenario an. Das bedeutet, der im Effizienz-szenario geringere flächenspezifische Bedarf an Grauer Energie, wird unter den getroffenen Annahmen aufgrund der erhöhten Bautätigkeit nahezu kompensiert.



Figur 7 Gegenüberstellung Betriebsenergie und Graue Energie aus den Baumaterialien (in PJ nicht-erneuerbare Primärenergie)

In Figur 7 sind die Ergebnisse Betriebsenergie und Baumaterial einander gegenübergestellt. Im Jahre 2005 stellt der Anteil der Grauen Energie gerade einmal ein Prozent am Gesamt dar. Mit der sinkenden Nachfrage an nicht-erneuerbarer Primärenergie für den Betrieb der Gebäude gewinnen die Baumaterialien an Bedeutung und machen 2050 je nach Szenario 4%, 7% oder 17% (Ref1, EE1, EE3) vom Total aus.

3.3 Schlussfolgerung

Die Berechnung der Grauen Energie dient hier in erster Linie dazu die Wichtigkeit des Themas zu beurteilen. Zudem handelt es sich bei der verwendeten Datengrundlage um eine erste Näherung. Dennoch kann unter den gemachten Annahmen eine erste wichtige Schlussfolgerung gezogen werden: Die erhöhte Bautätigkeit bei einem forcierten Erneuerungsszenario (Effizienz-szenario) kompensiert zu einem grossen Teil die Einsparungen an Grauer Energie, welche durch die Verwendung von Materialien mit geringen nicht-erneuerbaren Primärenergiegehalt gemacht wurden. Somit ergibt sich für das Referenz- und Effizienz-szenario eine nahezu identische Nachfrage an Grauer Energie.

Der Vergleich in Figur 7 lässt die Graue Energie als einen Posten mit einer aktuell untergeordneten Rolle erscheinen. Allerdings gewinnt dieser mit abnehmender Energienachfrage bzw. Umstellung auf erneuerbare Energien an Bedeutung. Somit stellt die Graue Energie im Hinblick auf die Zielsetzungen der 2000-Watt-Gesellschaft, relativ gesehen, dennoch eine ernstzunehmende Grössenordnung dar.

Um belastbare Aussagen machen zu können, sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig. Dies betrifft sowohl die Datengrundlage für die jeweiligen Materialien, als auch die in Bezug auf Systemgrenzen, Allokationen, Bezugsgrösse, usw. zu verwendenden Methoden. Wichtige Grundlage hierzu bilden die Arbeiten von Schneider und Rubli 2008 und auch die SIA 2032. In der weiteren Folge sollte der bauteilbasierte Ansatz des Gebäudeparkmodells dazu verwendet werden, spezifische Massnahmen (z.B. Fenstererneuerung, etc.) zu untersuchen.

4. Fazit

Die Zielsetzung der 2000-Watt-Gesellschaft ist klar auf die Reduzierung der Energienachfrage und des Ausstosses an Treibhausgasen ausgerichtet. Jedoch besteht dabei die Gefahr dass weitere Aspekte der Nachhaltigkeit, wie z.B. Artenschutz oder Umweltverschmutzung, in den Hintergrund rücken. Aus diesem Grund, erscheint die Einbeziehung einer Bewertungsmethode aus dem Bereich Ökobilanzen, welche auch andere Wirkungskategorien als die „herkömmlichen“ Indikatoren (THG-Emissionen, End- und Primärenergie) berücksichtigt, eine sinnvolle Massnahme. Auf der anderen Seite besteht hingegen die Gefahr dass, durch die Einbeziehung weiterer Faktoren, die Komplexität der vom Modell gelieferten Ergebnisse weiter ansteigt. Es bedarf in diesem Fall stärker ausgedehnter Analysen und einer gewissen Sachkenntnis um die Resultate richtig zu interpretieren.

Die Ergebnisse für die Umweltbelastungspunkte stimmen nahezu mit denjenigen der nicht-erneuerbaren Primärenergie (vgl. Tabelle 1) überein. Eine Ursache hierfür liegt darin, dass die Methode der ökologischen Knappheit stark auf den Aspekt Energie fokussiert. Nicht zuletzt aus diesem Grund, erscheint eine Überprüfung, inwiefern diese Methode den Zweck einer komplexeren Bewertungsgrösse erfüllt, angezeigt.

Die Graue Energie, im Sinne von energetischen Aufwendungen für Bauteile gewinnt durch die Energieeffizienz der Gebäude zunehmend an Bedeutung, ist aber wissenschaftlich bisher eher noch ungenügend untersucht worden. Als weitere Schritte empfiehlt es sich den bauteilbasierten Ansatz des Gebäudeparkmodells zu nutzen, um gezielt Massnahmen (z.B. Fenstererneuerung, etc.) zu untersuchen. Es stellt sich dabei die Frage der Datenbelastbarkeit und der Materialisierung der Gebäude. Aktuell laufen zu diesem Thema an der Professur für Nachhaltiges Bauen verschiedene Projekte (z.B. Doktorarbeit John: Ökobilanzierung von Infrastrukturen – Gebäude), welche weitere Erkenntnisse für eine solche Erweiterung des Gebäudeparkmodells liefern werden.

Insbesondere die Kombination der Betrachtungen mittels einer ökologischen Bewertungsmethode und der Aufwendungen für Baustoffe, liesse in Zukunft eine Abwägung unterschiedlicher Aspekte der Bautätigkeit zu. Beispielsweise ist es möglich, dass ein bestimmter Dämmstoff einen sehr guten Wärmedurchgangswiderstand besitzt und somit hilft Heizenergie zu sparen. Enthält dieser Dämmstoff jedoch umweltschädliche Materialien, so könnten hier in Zukunft negative und positive Wirkungen verglichen und eine Handlungsempfehlung abgeleitet werden.

Abschliessend lässt sich festhalten, dass aktuelle Betrachtungen sich zumeist auf die Betriebsenergie beschränken und daher eher singular abgestützte und eingeschränkte Handlungsempfehlungen geben können. Damit werden erhebliche Unsicherheiten in Kauf genommen (Feedback-Loops, etc.). Aus diesen Gründen wird analog dem Schlussbericht (Wallbaum et al 2010, Kap. 6.3) abermals die Empfehlung ausgesprochen, in Zukunft weitere Untersuchungsparameter in das Gebäudeparkmodell mit einzubeziehen. Dies könnten beispielsweise die Berücksichtigung anderer Umweltwirkungskategorien (wie z.B. Umweltbelastungspunkte), die Einbeziehung der Grauen Energie und im Idealfall eine Kombination aus beidem sein.