



Gebäudeparkmodell

Büro-, Schul- und Wohngebäude

Vorstudie zur Erreichbarkeit der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft für den Gebäudepark der Stadt Zürich

Schlussbericht

IMPRESSUM

Auftraggeberin:

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

Auftragnehmer:

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

TEP Energy GmbH
Technology Economics Policy - Research and Advice
www.tep-energy.ch

Bearbeitung:

Prof. Dr. Holger Wallbaum, wallbaum@ibb.baug.ethz.ch (ETHZ)
Niko Heeren (ETHZ)
Dr. Martin Jakob, (TEP Energy), martin.jakob@tep-energy.ch
Gregor Martius, Nadja Gross (TEP Energy)

Begleitgruppe:

Dr. Heinrich Gugerli (AHB Zürich)
Toni Püntener (Umweltschutzfachstelle der Stadt Zürich)
Bruno Bébié (Energiebeauftragter Stadt Zürich; nur nachrichtlich)
Dr. Martin Lenzlinger (SIA)
Dr. Stefan Rubli (Energie- und Ressourcen-Management GmbH)
Martin Schneider (Energie- und Ressourcen-Management GmbH)

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

Zürich, Mai 2010

Danksagung

Das Projektteam möchte sich an dieser Stelle sehr herzlich bei dem Auftraggeber und der Begleitgruppe für das Vertrauen und die konstruktive und fachkundige Unterstützung bedanken. Dank der guten Zusammenarbeit und dem Austausch von Erfahrungen, gelang es wichtige Erkenntnisse über die Wirkungsmechanismen innerhalb des Gebäudeparks Zürich und zu seiner weiteren Entwicklung zu sammeln.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	12
Abstract	14
Zusammenfassung	15
Abkürzungen	17
1. Ausgangslage, Zielsetzung und methodisches Vorgehen im Überblick	19
1.1 Ausgangslage	19
1.2 Zielsetzung	20
1.3 Methodisches Vorgehen	21
1.4 Abgrenzung Gebäudeparkmodell Schweiz	23
1.5 Das Gebäudeparkmodell	25
2. Annahmen Wohngebäude	30
2.1 Entwicklung der Energiebezugsfläche, Haushalte und Personenanzahl	30
2.2 Raumwärme	31
2.2.1 Erneuerung Gebäudehülle	31
2.2.2 Heizwärmedarf	37
2.2.3 Lüftung	39
2.2.4 Mittlerer Nutzungsgrad Heizungsanlage	41
2.2.5 Beheizungsstruktur Neubauten	42
2.2.6 Beheizungsstruktur Gebäudebestand	44
2.3 Warmwasser	46
2.4 Übrige Verwendungszwecke	48
2.4.1 Elektrizität	48
2.4.2 Kochen Ausstattung der Haushalte	48
3. Ergebnisse Wohngebäude	49
3.1 Endenergie	49
3.2 Primärenergienachfrage und Treibhausgas-Emissionen	50
3.2.1 Primärenergie nach Gebäudetyp	50
3.2.2 Totale Primärenergie nach Art der Primärenergieträger	51
3.2.3 Flächenspezifische Primärenergie nach Gebäudetyp und Verwendungszwecken	52
3.2.4 Totale Treibhausgasemissionen	55
3.2.5 Totale Treibhausgasemissionen nach Verwendungszwecken	56
3.3 Totaler Betriebsenergiebedarf pro Person	57
3.4 Sensitivitätsanalyse der Annahmen für Wohngebäude	57
4. Annahmen Büro und Schulgebäude	60
4.1 Modellansatz und Abgrenzung	60
4.2 Energiebezugsfläche (EBF)	62

4.3	Diffusionsrate (DR) der Energiedienstleistungen	62
4.3.1	Betriebseinrichtungen.....	63
4.3.2	Lüftung und Klima.....	65
4.3.3	Beleuchtung und übrige Gebäudetechnik	66
4.4	Spezifische Energienachfragewerte.....	66
4.4.1	Raumheizung	67
4.4.2	Betriebseinrichtungen.....	74
4.4.3	Diverse Gebäudetechnik	74
4.4.4	Beleuchtung.....	75
4.4.5	Lüftung und Kühlung	76
4.4.6	Entwicklung der spezifischen Stromnachfragewerte im Überblick.....	78
5.	Ergebnisse Schulen und Bürogebäude	80
5.1	Endenergienachfrage bei Schul- und Bürogebäuden	80
5.1.1	Raumklima.....	80
5.1.2	Warmwasser.....	82
5.1.3	Beleuchtung, Betriebseinrichtungen und diverse Gebäudetechnik	83
5.1.4	Stromnachfrage nach Branche und Gebäudetyp	85
5.2	Primärenergienachfrage bei Schul- und Bürogebäuden	88
5.2.1	Primärenergienachfrage der Schul- und Bürogebäude im Total.....	88
5.2.2	Primärenergie nach Art der Energieträger	90
5.2.3	Primärenergienachfrage nach Verwendungszweck.....	91
5.3	Treibhausgasemissionen der Schul- und Bürogebäuden	94
5.3.1	Treibhausgasemissionen im Total.....	94
5.3.2	Treibhausgasemissionen nach Verwendungszweck	94
5.4	Sensitivitätsanalysen	96
6.	Synthese der Ergebnisse, Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	99
6.1	Resultate	99
6.1.1	<i>Endenergienachfrage</i>	99
6.1.2	<i>Primärenergienachfrage</i> gesamt nach Gebäudenutzung	102
6.1.3	Struktur der <i>Primärenergienachfrage</i> nach Art der Energieträger	104
6.1.4	Spezifische <i>Primärenergienachfrage</i> gesamt	105
6.1.5	Personenspezifische <i>Primärenergienachfrage</i>	106
6.1.6	Treibhausgasemissionen	109
6.2	Schlussfolgerungen	114
6.2.1	Zielüberprüfung	114
6.2.2	Vergleich zwischen der Schweiz und der Stadt Zürich	115
6.2.3	Methodische Schlussfolgerungen	116
6.3	Empfehlungen	117
6.3.1	Methodische Arbeiten.....	117

6.3.2	Realisier- und Machbarkeit der 2000-Watt-Gesellschaft überprüfen	118
7.	Literaturhinweise	119
8.	Anhang	121
8.1	Anhang A –Treibhausgaskoeffizienten und Primärenergiefaktoren für Elektrizität und Fernwärme	121
8.2	Anhang B – Annahmen Wohngebäude.....	123
8.2.1	Energieeffizienz der Gebäudehülle	123
8.2.2	Erneuerungsraten.....	130
8.2.3	Heizwärmebedarf Neubauten.....	134
8.3	Anhang C – Begriffliche Zuordnungen	135

Abbildungsverzeichnis

Figur 1	Gegenüberstellung der im Gebäudeparkmodell Schweiz und Zürich behandelten Energiebezugsflächen	24
Figur 2	Schematische Darstellung des Modellaufbaus	26
Figur 3	Entwicklung der Bevölkerung und Haushalte.....	30
Figur 4	Entwicklung der Energiebezugsfläche nach EFH und MFH	31
Figur 5	Erneuerungsrate Flachdach (ausgedrückt als Anteil pro Jahr).....	32
Figur 6	Erneuerungsrate Steildach (ausgedrückt als Anteil pro Jahr).....	33
Figur 7	Erneuerungsrate Wand (ausgedrückt als Anteil pro Jahr) bei der	34
Figur 8	Erneuerungsrate Fenster (ausgedrückt als Anteil pro Jahr)	35
Figur 9	Erneuerungsraten (Keller-)Boden (ausgedrückt als Anteil pro Jahr)	36
Figur 10	Mittlere Gebäudeerneuerungsraten auf Grundlage der Bauteilerneuerung (in % pro Jahr)	37
Figur 11	Resultierender Heizwärmebedarf eines auf Grundlage der Erneuerungsrate und -massnahmen idealtypisch erneuerten Gebäudes.....	38
Figur 12	Durchschnittlicher Heizwärmebedarf Bestandsgebäude (BP1-4) und Neubauten (BP5-13) nach EFH und MFH im gewichteten Durchschnitt (Bauperiode 2005 bis 2050)	39
Figur 13	Durchdringung Lüftungsanlagen zum jeweiligen Jahresschritt (t) bei Neubauten Gebäudeerneuerungen und im nicht-erneuerten Bestand.....	40
Figur 14	Durchschnittlicher flächenspezifische Elektrizitätsnachfrage der zum jeweiligen Zeitpunkt (t) eingebauten Lüftungsanlagen.....	40
Figur 15	Mittlere Nutzungsgrade der Heizungsanlage im Bestand	41
Figur 16	Mittlere Nutzungsgrade der Heizungsanlage bei Neubauten (Referenz- und Effizienz-Szenario)	42
Figur 17	Annahmen zur Markanteilsentwicklung der Heizwärmeerzeuger bei EFH-Neubauten ...	43
Figur 18	Annahmen zur Markanteilsentwicklung der Heizwärmeerzeuger bei MFH-Neubauten ...	44
Figur 19	Diffusion der Heizwärmeerzeuger bei EFH-Bestandsbauten (Mittelwert zum jeweiligen Zeitpunkt).....	45
Figur 20	Diffusion der Heizwärmeerzeuger bei MFH-Bestandsbauten (Mittelwert zum jeweiligen Zeitpunkt).....	46
Figur 21	Jahresnutzungsgrade der Wassererwärmungsanlagen.....	47
Figur 22	Diffusionsraten der Wasserwärmeanlagen	47
Figur 23	Diffusion der Kochgeräte	48
Figur 24	Endenergienachfrage der Wohngebäude für alle Anwendungen nach Endenergieträgern [PJ]	49
Figur 25	Absolute Primärenergienachfrage der Wohngebäude [PJ].....	50
Figur 26	Absoluter Primärenergiebedarf der Wohngebäude nach Art der Primärenergieträger [PJ].....	51

Figur 27	Mittlerer spezifischer Bedarf totale Primärenergie nach Gebäudenutzung und Szenario [MJ/m ² a]	52
Figur 28	Totale Primärenergie nach Verwendungszweck – Referenz-Szenario (Primärenergiefaktoren für Elektrizität gemäss EWZ-Szenario 1)	53
Figur 29	Totale Primärenergie nach Verwendungszweck – Effizienz-Szenario (Primärenergiefaktoren für Elektrizität gemäss EWZ-Szenario 1)	54
Figur 30	Totale Primärenergie nach Verwendungszweck – Effizienz-Szenario (Primärenergiefaktoren für Elektrizität gemäss EWZ-Szenario 3)	54
Figur 31	Absolute Treibhausgasemissionen der Wohngebäude [Mt CO ₂ -äq.].....	55
Figur 32	Personenspezifische Treibhausgasemissionen nach Verwendungszweck (Alle Szenarien)	56
Figur 33	Dauerleistung der Wohngebäude nach Art der Primärenergieträger und pro Person [W/P].....	57
Figur 34	Energiebezugsfläche für Altbauten (linke grafische Darstellung) und Neubauten (inkl. Ersatzneubau, rechte grafische Darstellung) sowie für den Gesamtbestand (tabellarisch) (in Mio. m ²).....	62
Figur 35	Diffusion der Betriebseinrichtungen in Neubauten (links) und im Altbestand (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.	64
Figur 36	Diffusion der diversen Gebäudetechnik in Neubauten (links) und im Altbestand (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.....	65
Figur 37	Diffusion Klima/Lüftung in Neubauten (links) und im Altbestand (rechts), im Referenzszenario(oben) und im Effizienzszenarios(unten),für den Zeitraum von 2005 bis 2050.	66
Figur 38	Resultierende spezifische Heizwärmebedarfswerte für Raumwärme (Q _h) der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.....	71
Figur 39	Heizenergieträgerstruktur von Büro/Schulgebäuden (oben) und der Hochschulen (unten) für das Referenz-Szenario (links) und das Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.....	72
Figur 40	Spezifische Stromnachfragewerte der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) für Hilfsenergie Raumwärme und Warmwasser im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.....	73
Figur 41	Spezifische Stromnachfragewerte der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) für Betriebseinrichtung im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.	74
Figur 42	Spezifische Stromnachfragewerte der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) für diverse Gebäudetechnik im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.....	75
Figur 43	Spezifische Stromnachfragewerte (SEN) der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) für Beleuchtung im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.....	76
Figur 44	Spezifische Stromnachfragewerte der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) für Klima / Lüftung im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.....	77
Figur 45	Gebäudebezogene Energienachfrage (TJ) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario für Raumklima	80

Figur 46	Gebäudebezogene Energienachfrage (TJ) von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario für Raumklima	81
Figur 47	Gebäudebezogene Energienachfrage (TJ) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario für Warmwasser	82
Figur 48	Gebäudebezogene Energienachfrage (TJ) von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario für Warmwasser	83
Figur 49	Stromnachfrage (TJ) für Beleuchtung und Betriebseinrichtungen von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario.....	84
Figur 50	Stromnachfrage (TJ) für Beleuchtung und Betriebseinrichtungen von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario.....	84
Figur 51	Gebäudebezogene Stromnachfrage (TJ) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario, gegliedert nach Branche bzw. Gebäudetyp.....	85
Figur 52	Gebäudebezogene Stromnachfrage (TJ) von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario, gegliedert nach Branche bzw. Gebäudetyp.....	86
Figur 53	Gebäudebezogene Energienachfrage (TJ) ohne Strom von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario.....	87
Figur 54	Gebäudebezogene Energienachfrage (TJ) ohne Strom von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario.....	87
Figur 55	Primärenergienachfrage (PJ) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario (orange) und im Effizienz-Szenario (grün) für zwei EWZ-Strommixszenarien.....	88
Figur 56	Spezifische Dauerleistung (Watt/Person) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario (orange) und im Effizienz-Szenario (grün) für zwei EWZ-Strommixszenarien.....	89
Figur 57	Spezifische Primärenergienachfrage (MJ/m ²) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario (orange) und im Effizienz-Szenario (grün) für zwei EWZ-Strommixszenarien.....	90
Figur 58	Primärenergienachfrage (PJ) der Schul- und Bürogebäude im Referenz-Szenario und im Effizienz-Szenario, gegliedert nach Primärenergieträger.....	91
Figur 59	Spezifische Dauerleistung (Watt/Person) der Schul- und Bürogebäude im Referenz-Szenario und im Effizienz-Szenario (Strommix gemäss EWZ-Szenario 3), gegliedert nach Primärenergieträgern.....	91
Figur 60	Spezifische Primärenergienachfrage (MJ/m ²) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Referenz-Szenario (Primärenergiefaktoren gemäss Mix des EWZ-Szenario 1).....	92
Figur 61	Spezifische Primärenergienachfrage (MJ/m ²) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Effizienz-Szenario mit Primärenergiefaktoren gemäss Mix des EWZ-Szenario 1).....	93
Figur 62	Spezifische Primärenergienachfrage (MJ/m ²) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Effizienz-Szenario (Primärenergiefaktoren gemäss Mix des EWZ-Szenario 3).....	93
Figur 63	Treibhausgasemissionen (Mt CO ₂ -äq.) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario (orange) und im Effizienz-Szenario (grün) für zwei EWZ-Strommixszenarien.....	94
Figur 64	Spezifische Treibhausgasemissionen (t/P) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Referenz-Szenario (Treibhausgaskoeffizienten gemäss Mix des EWZ-Szenario 1).....	95

Figur 65	Spezifische Treibhausgasemissionen (t/Person) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Effizienz-Szenario (Treibhausgaskoeffizient gemäss Mix des EWZ-Szenario 1 [oben] und 3 [unten]).....	96
Figur 66	Gesamtendenergienachfrage nach Gebäudetyp in PJ – Referenz-Szenario	100
Figur 67	Gesamtendenergienachfrage nach Gebäudetyp in PJ – Effizienz-Szenario	100
Figur 68	Gesamtendenergienachfrage nach Anwendung für alle Gebäudenutzungen in PJ – Referenz-Szenario.....	101
Figur 69	Gesamtendenergienachfrage nach Anwendung für alle Gebäudenutzungen in PJ – Effizienz-Szenario.....	102
Figur 70	Totale Primärenergienachfrage nach Gebäudenutzung in PJ – Referenz-Szenario und Effizienz-Szenario-Varianten im Vergleich (PEF Elektrizität nach EWZ-Sz. 1 und 3).....	103
Figur 71	Gesamtenergienachfrage totale Primärenergie nach Primärenergieträgern in PJ – Referenz-Szenario und Effizienz-Szenario im Vergleich (PEF Elektrizität nach EWZ-Sz. 1 und 3)	104
Figur 72	Spez. Gesamtprimärenergienachfrage nach Gebäudetyp – Referenz-Sz. (PEF Elektrizität nach EWZ-Sz. 1)	105
Figur 73	Spezifische Gesamtprimärenergienachfrage nach Gebäudetyp – Effizienz-Sz. (PEF Elektrizität nach EWZ-Sz. 3)	106
Figur 74	Dauerleistung totale Primärenergie pro Person nach Gebäudetyp – Referenz-Sz. (PEF Elektrizität nach EWZ-Sz. 1)	106
Figur 75	Dauerleistung totale Primärenergie pro Person nach Gebäudetyp – Effizienz-Sz. (PEF Elektrizität nach EWZ-Sz. 3)	107
Figur 76	Personenspezifische Dauerleistung in Primärenergie nach Primärenergieträgern für alle drei Gebäudenutzungen; Referenz-Szenario mit EWZ-Stromszenario 1 [W/P].....	108
Figur 77	Personenspezifische Dauerleistung in Primärenergie nach Primärenergieträgern für alle drei Gebäudenutzungen; Effizienz-Szenario mit EWZ-Stromszenario 3 [W/P].....	109
Figur 78	Totale Treibhausgasemissionen in Mt CO ₂ -äquivalenten nach Gebäudetyp; Referenz- und Effizienz-Szenario-Varianten (Elektrizität nach EWZ-Sz. 1 bzw. 3).....	110
Figur 79	Gesamte Treibhausgasemissionen per capita – Referenz- und Effizienz-Szenario (PEF Elektrizität nach EWZ-Sz. 1 bzw. 3).....	111
Figur 80	Treibhausgasemissionen pro Fläche und Anwendung im Referenz-Szenario (PEF Elektrizität nach EWZ-Sz. 1)	112
Figur 81	Treibhausgasemissionen pro Fläche und Anwendung im Effizienz-Sz. (PEF Elektrizität nach EWZ-Szenario 3)	113
Figur 82	Primärenergiefaktoren und spezifische THG-Emissionen im EWZ-Szenario 1 „Weiter wie bisher“	122
Figur 83	Primärenergiefaktoren und spezifische Treibhausgasemissionen im EWZ-Szenario 3 „Geothermie“	123
Figur 84	U-Werte Flachdach.....	124
Figur 85	U-Werte Steildach	125
Figur 86	U-Werte Wand.....	126
Figur 87	U-Werte Boden.....	127
Figur 88	U-Werte Fenster	128

Figur 89 g-Werte Fenster..... 129

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Gebäudehüllzahl im Vergleich – Gebäudeparkmodell Schweiz und Zürich	23
Tabelle 2	Übersicht der im GPM <i>Zürich</i> behandelten Grössen im Jahr 2005	24
Tabelle 3	Übersicht der im GPM <i>Schweiz</i> behandelten Grössen im Jahr 2005	25
Tabelle 4	Gegenüberstellung der Umrechnungsfaktoren Primärenergie und THG-Emissionen aus den Gebäudeparkmodellen Zürich und Schweiz.....	25
Tabelle 5	Ergebnisse aus der Sensitivitätsanalyse.....	58
Tabelle 6	Erneuerungsraten pro Jahr (als Anteil) nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile der Schul- und Bürogebäude im Jahre 2050 für das Referenz-Szenario.....	67
Tabelle 7	Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile der Schul- und Bürogebäude im Jahre 2050 für das Effizienz-Szenario	68
Tabelle 8	Resultierende Erneuerungsraten am Beispiel der Kantonsschulen im Referenz- und im Effizienz-Szenario.....	69
Tabelle 9	Resultierender mittlerer Heizwärmebedarf Q _h am Beispiel der Kantonsschulen im Referenz- und im Effizienz-Szenario.....	70
Tabelle 10	Prozentuale Verbesserung der spezifischen Elektrizitätsnachfrage bei Neubauten im Zeitablauf.....	79
Tabelle 11	Ergebnis der Sensitivitätsanalysen 1 und 2	98
Tabelle 12	Wichtigste Pro-Kopf Ergebnisse des Referenz-Szenario (Strommix EWZ-Sz. 1) und des Effizienz-Szenarios (Strommix EWZ-Sz. 3) aus dem Gebäudeparkmodell <i>Zürich</i> ..	114
Tabelle 13	Vergleich der Betriebsenergie-Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft mit den Ergebnissen des Referenz- (Strommix EWZ-Sz. 1) und Effizienz-Szenarios (Strommix EWZ-Sz. 3).....	115
Tabelle 14	Gegenüberstellung der Ergebnisse Gebäudeparkmodell Zürich und Schweiz (personenspezifische Primärenergie und THG-Emissionen).....	116
Tabelle 15	Strommix des EWZ-Szenarios 1 in GWh	121
Tabelle 16	Strommix des EWZ-Szenarios 3 in GWh	122
Tabelle 17	U-Werte gängiger Baureglements.....	123
Tabelle 18	Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile im Jahre 2050 für Einfamilienhäuser im Referenz-Szenario	130
Tabelle 19	Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile im Jahre 2050 für Mehrfamilienhäuser im Referenz-Szenario	131
Tabelle 20	Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile im Jahre 2050 für Einfamilienhäuser im Effizienz-Szenario	132
Tabelle 21	Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile im Jahre 2050 für Mehrfamilienhäuser im Effizienz-Szenario	133
Tabelle 22	Übersicht über aktuell gültige Grenz- und Zielwerte	134
Tabelle 23	Zuordnung zwischen Modellgrössen und Verwendungszwecken gemäss SIA 416/1	134

Tabelle 24	Vergleich der Verwendungszwecke Zentrale Dienste und Arbeitshilfen gemäss SIA 380/4:1995 mit Betriebseinrichtungen gemäss SIA 380/4:2006	135
------------	--	-----

Abstract

The project's objective was to find the conditions in which the specific goals of the 2000-Watt-Society for residential, school and office buildings could be reached within the city of Zurich. Considered indicators are the per capita primary energy use in terms of average power and greenhouse gas emissions.

A bottom-up model which was developed for the case of Switzerland was adjusted to the city of Zurich to estimate final and primary energy demand of the mentioned building types, broken down by different types of energy utilisation. Assumptions were made regarding the most important physical drivers as well as for regarding energy efficiency parameters of new buildings, building retrofits, building technologies and other energy applications in the residential, school and office buildings.

Two basic scenarios were developed: an ambitious efficiency scenario was compared to a reference scenario, which included current and foreseeable energy policy elements. Regarding electricity supply two scenario-variants of the utility EWZ were used: Scenario 1: Business as usual ("Weiter wie bisher") and Scenario 3 intense exploitation of geothermal energy ("Geothermie"). Whereas EWZ Scenario 1 was used only for the reference scenario, both EWZ scenarios were used for the efficiency scenario of this report. With this respect it was found that in the case of the efficiency scenario the influence of the electricity generation mix is relatively small concerning greenhouse gas emissions, yet considerable for (non-renewable) primary energy demand. This finding is explained by the fact that in EWZ Scenario 3 nuclear energy (which is relatively inefficient in terms of primary energy conversion factor) is completely substituted by renewable energies.

The results of the study show that with the underlying assumptions the goals of the 2000-Watt-Society are probably fully met in the city of Zurich: the relative reduction goals of the per capita total primary energy use (-44%), of the non-renewable primary energy use (-66%) and of the greenhouse gas emissions (-77%) are below the target by 10 to 25 percentage points. Primary energy use per capita is reduced by 53% in the case of the residential buildings and by 61% in the case of office and school buildings. Over all building types a reduction of 90% is achieved regarding non-renewable primary use and a reduction of 86% in the case of greenhouse gas emissions.

Zusammenfassung

Das Projekt verfolgte die Zielsetzung eine Orientierung im Hinblick auf die Erreichbarkeit der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft per 2050 für die Stadt Zürich zu geben. Diese Studie setzt die Arbeiten, die im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) zur Überarbeitung des SIA Effizienzpfades Energie durchgeführt auf der Ebene einer Stadt fort. Ziel der vorliegenden Untersuchung war eine Aussage darüber, ob und unter welchen Bedingungen auf die Bereiche Wohnen, Schulen und Büro herunter gebrochenen Zwischenziele der 2000-Watt-Gesellschaft bis 2050 erreicht werden können. Dies betrifft namentlich die spezifische Primärenergiedauerleistung und die spezifischen Treibhausgasemissionen, welche bis 2050 im Vergleich zu 2005 um 44% (entspricht dem Zwischenziel 3500 W/Person) bzw. 77% (entspricht dem Zwischenziel 2 t/Person) zu reduzieren sind. Als ergänzende Bewertungskriterien wurden die nicht-erneuerbare Primärenergie (Reduktionsziel 66%, entsprechend einem Zwischenziel von 2000 W/Kopf) herangezogen.

Zur Beantwortung der angestrebten Projektziele wurde ein bottom-up Modell verwendet, mit welchem die End- und Primärenergienachfrage sowie die Treibhausgasemissionen im Gebäudebetrieb, je separat für die erwähnten Gebäudetypen 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, insbesondere im Strombereich, getroffen.

Es wurden zwei grundsätzliche Szenarien untersucht: Zu Vergleichszwecken wurde zunächst ein Referenz-Szenario, welches die aktuelle und absehbare Energiepolitik beinhaltet, entwickelt. Ausgehend von dessen Annahmen wurde hierauf ein ambitioniertes Effizienz-Szenario konzipiert, wobei ein Ziel-orientierter Ansatz verfolgt wurde. Das bedeutet, dass die Annahmen so festgelegt wurden, dass die eingangs erwähnten Zielsetzungen in etwa erreicht werden. In Bezug auf die Stromerzeugung wurden die zwei Szenarien des ewz-Stromzukunft-Berichts „Weiter wie bisher“ und „Geothermie“ verwendet, um den Einfluss des Stromerzeugungsmixes auf die Ergebnisse aufzuzeigen.

Die Ergebnisse der Modellrechnungen zeigen, dass die proportional auf die einzelnen Gebäudetypen herunter gebrochenen Zwischenziele der 2000-Watt-Gesellschaft bei den getroffenen Annahmen übererfüllt werden: die relativen Zielsetzungen der pro Kopf-Bemessungsgrössen totale Primärenergie (-44%), nicht-erneuerbare Primärenergie (-66%) und Treibhausgas-Emissionen (-77%) werden im Jahr 2050 um je 10 bis 25%-Punkte unterschritten, bezogen auf 2005. Bei der totalen Primärenergie pro Kopf wird bei den Wohngebäuden eine Reduktion von 53% erreicht und bei den Büro- und Schulgebäuden eine solche von 61%. Bei der nicht-erneuerbaren Primärenergie wird über alle Gebäudetypen sogar eine Reduktion von 90% erreicht und bei den Treibhausgasemissionen pro Kopf eine solche von 86%.

Diese Ergebnisse sind nicht zuletzt Ausdruck des ziel-orientiert getroffenen Annahmensets. Aufgrund ihres Ansatzes zeigt die Studie den grossen Handlungsbedarf auf verschiedenster Ebene auf. Gefordert sind insbesondere ambitionierte Neubau- und Erneuerungsstandards, eine erhöhte Gebäudeerneuerungstätigkeit, eine hoch-effiziente Verwendung von Elektrizität in den verschiedensten Bereichen sowie ein substantieller Strukturwandel in Richtung erneuerbare Energien bei der Beheizung von Gebäuden.

Zudem zeigte sich, dass der Einfluss des Stromerzeugungsmixes im Effizienz-Szenario in Bezug auf Treibhausgasemissionen relativ gering ist, jedoch die (nicht-erneuerbare) Primär-

energienachfrage durch das ewz Geothermie-Szenario bedeutend reduziert werden kann. Ausschlaggebend hierfür ist die Substitution der Kernenergie durch erneuerbare Energien, welche bezogen auf die Primärenergie effizienter abschneiden.

Abkürzungen

AH	Arbeitshilfen
AHB	Amt für Hochbauten
B	Beleuchtung
Bev	Bevölkerung
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
BP	Bauperiode
BP1-4	entspricht Bestandsbauten; BP1: Baujahr vor 1947, BP2: 1947-1975, BP3: 1976-1986, BP4: 1986-2005
BP5-13	entspricht Neubauten (in Fünf-Jahres-Schritten bis 2050)
CEPE	Centre for Energy Policy and Economics, ETH Zürich
CO ₂ -äq.	CO ₂ -äquivalente / Treibhausgasemissionen (Gewichtung klimawirksamer Luftemissionen im Verhältnis zu CO ₂)
DL	Dienstleistung, Dienstleistungssektor
DR	Diffusionsrate
EBF	Energiebezugsfläche
EE1	Energieeffizienzscenario (in Zusammenhang mit EWZ-Elektrizitätsmix 1 „Weiter wie bisher“ und ECO2-Fernwärmeszenario „Trend“)
EE3	Energieeffizienzscenario (in Zusammenhang mit EWZ-Elektrizitätsmix 3 „Geothermie und modifiziertes ECO2-Fernwärmeszenario „2000-Watt“)
EFH	Einfamilienhaus
GuD	Gas- und Dampf (Kombikraftwerk)
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
JAZ	Jahresarbeitszahl
JNG	Jahresnutzungsgrad
KEA	Kumulierter (Primär-) Energieaufwand
MFH	Mehrfamilienhaus
Minergie	Schweizerisches Gebäudelabel
MJ	Megajoule (10 ⁶ J)
MuKE	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
PE	Primärenergie
PEF	Primärenergiefaktor
PJ	Petajoule (10 ¹⁵ J)
Ref-Sz.	Referenzscenario
Q _n	Spezifischer Heizwärmebedarf pro Jahr (MJ/m ² pro Jahr), nach Definition SIA 380/1
RW	Raumwärme
SEN	Spezifischer Energienachfrage

SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
THG	Treibhausgas
TJ	Terajoule (10^{12} J)
TWh	Terawattstunden (10^{12} Wh)
UW	Umweltwärme
VIP	Vakuum Isolations-Panel
VZ	Volkszählung
WP	Wärmepumpe
WW	Warmwasser
ZD	Zentrale Dienste

1. Ausgangslage, Zielsetzung und methodisches Vorgehen im Überblick

1.1 Ausgangslage

Nach dem SIA-Absenkepfad von 1996 veröffentlichte der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverband (SIA) im Jahr 2006 den SIA Effizienzpfad Energie (Preisig et al. 2006). Das neue Instrument war als Umsetzungshilfe konzipiert, um die energetischen Ziele, wie sie im Kyoto-Protokoll und in der Schweizer Bundesverfassung festgeschrieben sind, zu erreichen. Der SIA Effizienzpfad Energie wendet sich an drei Zielgruppen (Politiker und Behörden, Bauherrschaften und Investierende sowie Planende), für die jeweils spezifische Anreize und Strategien formuliert wurden. Der SIA Effizienzpfad Energie erhebt explizit den Anspruch, praxisrelevant und ein Instrument für die bezeichneten Zielgruppen zu sein. Inhaltlich umfasst er die Nutzungskategorien Wohnen, Schulen, Büro und trifft Aussagen zu den damit verbundenen Energiedienstleistungen Raumklima, Warmwasser, Licht+Apparate sowie Baumaterialien und Mobilität.

Im SIA Effizienzpfad Energie 2006 wurde zudem ein Bezug zu den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft hergestellt: es wurden Zielwerte für 2000-Watt-Gesellschafts-„kompatible“ (Zielwert A) bzw. entsprechend „-fähige“ (Zielwert B) für Gebäude- und Energiedienstleistungsbereiche definiert. Des Weiteren wurden die Zielwerte des Wohnbereichs (als Leistungsgrösse) mit den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft verglichen (Preisig et al. 2006, S. 127). Der Vergleich zwischen SIA Effizienzpfad Energie und den 2000-Watt-Gesellschaft Zielen erfolgte auf der Ebene der Zielwerte für einzelne Gebäude; nicht jedoch für den Gebäudepark als Ganzes. Nicht näher betrachtet wurde der zeitliche Entwicklungspfad, der zu den genannten Zielen für den Gebäudepark führt.

Solche Szenarien-Betrachtungen wurden für die Schweiz im Rahmen der Energieperspektiven des Bundesamts für Energie (BFE) und für die Stadt Zürich mit dem ECO2-Rechner durchgeführt. Eines der betrachteten Szenarien, das Szenario IV des BFE, war ein Zielszenario, welches die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft explizit erwähnt („auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft“). Dasselbe gilt für das 2000 Watt Szenario des ECO2-Rechners der Stadt Zürich.

Allerdings lässt sich ein Bezug auf die Ziele und eine Zielüberprüfung aus verschiedenen Gründen nicht direkt herstellen:

- der Betrachtungshorizont der Energieperspektiven ist beschränkt auf die Periode bis 2035, was im Gebäudebereich eine zu kurze Fristigkeit darstellt, um die Frage der Zielerreichbarkeit schlüssig beantworten zu können.
- die Festlegung der erforderlichen Annahmen erfolgte - vor allem im Bereich der Gebäudeerneuerung – auf einer Ebene, welche den direkten Bezug zu wichtigen Teilen der Gebäude (namentlich die Gebäudehülle) nicht direkt zulässt.
- es erfolgte keine (mittelfristige) Zielüberprüfung auf Ebene der wichtigsten Kennwerte der 2000-Watt-Gesellschaft (Primärenergie, aufgeteilt nach erneuerbar / nicht-erneuerbar, und Treibhausgasemissionen, je pro Kopf).

Obwohl im Rahmen der erwähnten Projekte (Preisig et al. 2006, BFE-Energieperspektiven, ECO2-Rechner) umfangreiche Grundlagen erarbeitet wurden, fehlt letztlich ein direkter Bezug zwischen praxisrelevanten Instrumenten (Effizienzpfad Energie, 7-Meilen Schritte der Stadt Zürich) und der 2000-Watt-Gesellschaft, dies u.a. auch, weil die beiden Projekte zeitlich parallel entstanden. Seit der Erstellung des SIA Effizienzpfades Energie, der Fertigstellung der Energieperspektiven und der ECO2-Rechner-Betrachtungen haben sich zudem gewisse Rahmenbedingungen verändert, welche für die Betrachtung von Relevanz sind (Bevölkerungsprognosen, neu initiierte energiepolitische Massnahmen wie z.B. Aktualisierung der MuKE etc.).

Nach ersten Erfahrungen mit dem SIA Effizienzpfad Energie in der Praxis und aufgrund der erwähnten Entwicklungen beschloss der SIA 2008 eine Überarbeitung des 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 (Wallbaum et al. 2009).

Die Stadt Zürich, welche – seit November 2008 demokratisch legitimiert – die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft verfolgt, ist ebenfalls an entsprechenden Grundlagen und einer Vorstudie eines Gebäudeparkmodells interessiert. Der hiermit vorliegende Bericht dokumentiert die entsprechenden Modellierungsarbeiten, die Annahmen und Ergebnisse für das Gebiet der Stadt Zürich.

1.2 Zielsetzung

Ziel der Untersuchung ist eine Aussage darüber, ob und unter welchen Bedingungen die vorgeschlagenen Maximalwerte der 2000-Watt-Gesellschaft im Jahr 2050 und die dazu notwendigen Zwischenschritte erreicht werden können. Vor dem oben skizzierten Hintergrund, stellen sich einige ganz konkrete Fragen, welche im Rahmen des Projektes untersucht und beantwortet werden sollen:

- Wie viel End- und (indirekt) Primärenergie wird je in Wohngebäuden (getrennt nach Ein- und Mehrfamilienhäusern), privaten und öffentlichen Bürogebäuden und Schulen verwendet? Es sind Daten für den Ist-Zustand, per 2035 sowie per 2050 zu ermitteln.
- Welche Entwicklung des Gebäudebestandes (Neubau, Ersatzbau, sanierte Gebäude, nicht sanierte Gebäude) für Wohnungen, Bürogebäude und Schulen von heute bis 2050 wird erreicht: Unbeeinflusst (Referenz-Szenario) und bei forcierter Erneuerungsstrategie (Politik- bzw. Effizienz-Szenario)?
- Welche Energiekennwerte können Neu- und Ersatzbauten bzw. erneuerte Gebäude inkl. Gebäudetechnik und Geräte konkret erreichen und welche (bau-)technischen Massnahmen müssen dafür ergriffen werden? Kann der Durchschnitt der Gebäude im Effizienz-Szenario die Zwischenziele der 2000-Watt-Gesellschaft im Jahr 2050 erreichen?
- Welche Auswirkung hat der zugrunde gelegte Strommix (heutiger EWZ-Verbrauchermix, EWZ-Szenario 1 ("Weiter wie bisher") und Szenario 3 ("Geothermie")) auf die Erreichbarkeit der Maximalwerte auf Primärenergiestufe?

Je nach Ergebnis sind Empfehlungen für die Umsetzung des Effizienz-Szenarios oder für eine Anpassung der vorgeschlagenen Maximalwerte der 2000-Watt-Gesellschaft (Primärenergienachfrage nicht erneuerbar: 2000 W/P, Primärenergienachfrage total (Summe nicht erneuerbar und erneuerbar): 3500 W/P und Treibhausgasemissionen (als CO₂-Äquivalent): 2t/P zu formulieren.

1.3 Methodisches Vorgehen

Referenz- und Effizienzscenario

Es wird eine energiewirtschaftlich orientierte bottom-up Modellierung mit Systemgrenze Stadt Zürich durchgeführt, wobei zwei Szenarien betrachtet werden:

- eine von weiteren Politikmassnahmen unbeeinflusste Entwicklung (Referenz-Szenario), und
- eine forcierte Effizienz- und Erneuerbaren-Strategie (als Effizienz-Szenario bezeichnet).

Mit der Bezeichnung Effizienz-Szenario wird angedeutet, dass zu dessen Realisierung nach Einschätzung der Autoren und der Begleitgruppe weitergehende Politikmassnahmen erforderlich sind, wobei gleichzeitig darauf hingewiesen wird, dass auf diese im Rahmen des Berichtes nicht explizit bzw. nur punktuell eingegangen wird. Das Effizienzscenario wird in Verbindung mit zwei unterschiedlichen Stromszenarien der EWZ betrachtet. Für künftige Zeiträume werden das EWZ-Szenario 1: ("Weiter wie bisher") und Szenario 3 ("Geothermie") zugrunde gelegt. Bzgl. Fernwärme wurde im Referenzscenario das Trendszenario des ECO2-Rechners verwendet und im Effizienzscenario wurden auf Grundlage des 2000-Watt-Szenarios des ECO2-Rechners und von persönlichen Mitteilungen des Netzbetreibers eigene Annahmen getroffen.

Konzeptioneller Ansatz und Abgrenzung

Ein Teil des Gebäudesektors, nämlich die Wohngebäude sowie die Schul- und Bürogebäude auf Stadtgebiet, werden explizit modelliert, und zwar jeweils die gesamte Endenergienachfrage inklusive dem nicht direkt gebäudebezogenen Strom für Betriebseinrichtungen (d.h. inklusive Haushaltgeräte, IKT etc.) sowie die damit verbundene Primärenergienachfrage.

Die energiewirtschaftlich orientierte bottom-up Modellierung unterscheidet zwischen folgenden drei Stufen:

- 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).
- 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.

- Primärenergienachfrage, Umweltbelastungspunkte¹ 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 Tuchschild (2008) bzw. Methodikpapier der Stadt Zürich² 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.³ Für die Bewertung sind die Primärenergie- und Treibhausgas-Emissionsfaktoren gemäss Frischknecht und Tuchschild 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

Ausgehend von Annahmen, welche sich zum einen am GPM der Schweiz (Wallbaum et al. 2009) orientieren und zum anderen weitere Literatur, Erkenntnisse und Daten mit einbeziehen, wird die Endenergienachfrage, absolut und für alle drei erwähnten Gebäudetypen differenziert, für die Jahre 2005 bis 2050 mittels des Modells ausgewiesen.

Um die skizzierten Zielsetzungen zu erreichen, wurde ein vom Projektteam für die Schweiz entwickeltes berechenbares bottom-up-Simulations-Modell auf die Verhältnisse der Stadt Zürich adaptiert. Dieses bildet den Ist-Zustand an Wohngebäuden (Ein- und Mehrfamilienhäuser), Bürogebäuden und Schulen in Zürich in einem bottom-up Ansatz ab und projiziert die Entwicklung für die beiden erwähnten Szenarien in die Zukunft. Als Quelle für die erforderlichen Daten dienen aktuelle Studien und Stadt Zürich spezifische Unterlagen (Wallbaum et al. 2009, ECO2-Rechner, Schneider und Rubli 2008), aber auch weitere Literatur, eigene Daten der Studienverfasser (Jakob et al. 2009) und Annahmen und Inputs der Begleitgruppe. Das Modell weist eine Differenzierung der Endenergienachfrage, der Primärenergienachfrage, der Treibhausgas-Emissionen und Umweltbelastungspunkte¹ je Gebäudetyp und Energieträger auf.

Es wird die Entwicklung des Gebäudebestandes (Neubau, Ersatzbau, erneuerte Gebäude, nicht sanierte Gebäude) für Wohn-, Büro- und Schulgebäude von 2005 bis 2050 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 können 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.

¹ Die Untersuchung nach Umweltbelastungspunkten bzw. ecological scarcity 2006 wurden in einer Zusatzstudie untersucht. Deren Ergebnisse werden in einem separaten Dokument festgehalten.

² Die Umrechnungsfaktoren für Primärenergie und UBP des Methodikpapiers der Stadt Zürich sind aus „Primärenergiefaktoren von Energiesystemen“ von Frischknecht und Tuchschild 2008 übernommen worden. Sie sind daher identisch.

³ 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.

1.4 Abgrenzung Gebäudeparkmodell Schweiz

In Wallbaum et al. 2009 wurde eine Vorstudie eines Gebäudeparkmodells (GPM) für die Gesamtschweiz entwickelt und dokumentiert. Da die verwendete Methode weitgehend identisch ist, sind gewisse Quervergleiche möglich. In diesem Kapitel werden die wichtigsten Unterschiede der beiden Modelle (Annahmen, Abdeckung) kurz erläutert.

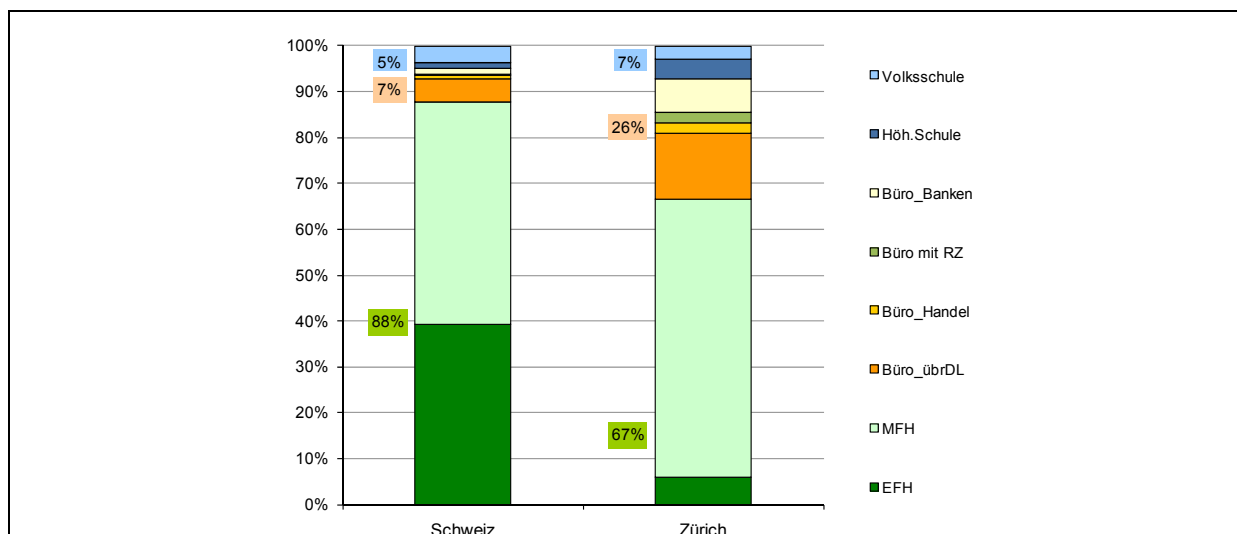
Tabelle 1 verdeutlicht die sehr unterschiedliche Struktur des Gebäudeparks der Stadt Zürich im Vergleich zur Gesamtschweiz anhand der Gebäudehüllzahl, die hier miteinander verglichen wird. Die Zürcher Gebäude weisen über alle Bauperioden eine niedrigere Gebäudehüllzahl auf. Die Gebäude sind also im städtischen Kontext durchschnittlich kompakter.

Tabelle 1 Gebäudehüllzahl im Vergleich – Gebäudeparkmodell Schweiz und Zürich

Bauperiode		vor 1947	1947-75	1976-90	1991-2005	2006-2020	2021-2035	2036-2050
Schweiz	Büro	1,49	1,29	1,18	1,18	1,11	1,11	1,11
	Schule	1,53	1,29	1,23	1,23	1,22	1,22	1,22
	EFH ⁴	2,06	1,96	1,90	1,93	-	-	-
	MFH ⁴	1,99	1,53	1,43	1,43	-	-	-
Zürich	Büro	1,35	1,17	1,07	1,07	1,01	1,01	1,01
	Schule	1,32	1,13	1,08	1,08	1,06	1,06	1,06
	EFH	1,86	1,76	1,71	1,74	1,74	1,67	1,67
	MFH	1,79	1,36	1,28	1,28	1,28	1,23	1,23

Ebenfalls sehr unterschiedlich stellt sich die Verteilung der Energiebezugsflächen für die GPM der Schweiz und der Stadt Zürich dar (Figur 1). Der Anteil an Ein- und Mehrfamilienhäusern macht für die Stadt Zürich rund 67% 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.

⁴ In der Kategorie Wohnen verfügt das Gebäudeparkmodell Schweiz (Wallbaum et al. 2009) über kein vollständiges Kohortenmodell für die Bauperioden nach 2005.



Figur 1 Gegenüberstellung der im Gebäudeparkmodell Schweiz und Zürich behandelten Energiebezugsflächen

Tabelle 2 gibt einen Überblick welcher Anteil an Energiebezugsfläche, End-, Primärenergie, Strom und THG-Emissionen der Stadt Zürich mittels des Gebäudeparkmodells betrachtet werden. Obwohl ein Grossteil der auf dem Stadtgebiet befindlichen Gebäude mit einbezogen wird (83% der Energiebezugsfläche), sind nur gut die Hälfte der Emissionen und der Energienachfrage damit abgedeckt. Begründet liegt dies darin, dass weitere energie- und stromintensive Gebäudetypen und Sektoren wie der Detailhandel, das Gesundheitswesen sowie Hotels und Restaurants sowie der ganze Verkehrsbereich nicht im GPM abgebildet sind.

Tabelle 2 Übersicht der im GPM Zürich behandelten Grössen im Jahr 2005

Grösse	EBF	Endenergie	Strom	Primär-energie	THG-Emissionen
Einheit	Mio. m ²	PJ	PJ	PJ	Mt CO ₂ -äq.
Wohnen*	19,3	12,4	2,4	18,7	0,77
Büro*	7,6	6,8	3,4	10,9	0,22
Schulen*	2,1				0,05
Übrige DL u. Industrie**	6,0	10,4	4,5	16,4	0,47
Verkehr**	-	6,3	0,7	9,0	0,49
Total Stadt Zürich**	34,9	35,9	11,0	57,4	2,00
Abdeckung durch GPM ZH	83%	54%	53%	56%	52%

* Gemäss Gebäudeparkmodell TEP Energy / ETH Zürich

** Daten aus ECO2-Rechner / Energiebilanz der Stadt Zürich

Im Vergleich zur gesamtschweizerischen Studie (siehe Tabelle 3) ist festzuhalten, dass alle behandelten Grössen im GPM Zürich einen grösseren Anteil am Total abdecken. Grund hierfür sind insbesondere der gesamtschweizerisch höheren Anteile des Industrie- und des Verkehrssektors (v.a. des Individualverkehrs). Beispielsweise sind die Verkehrsemissionen in der Stadt Zürich deutlich geringer als z.B. diejenigen des Wohnsektors, währendem sie gesamtschweizerisch grösser sind. Dasselbe gilt für den nicht abgedeckten Teil der Wirtschaftssektoren.

Tabelle 3 Übersicht der im GPM Schweiz behandelten Grössen im Jahr 2005

Grösse	EBF	Endenergie	Strom	Primär-energie	THG-Emissionen
Einheit	Mio. m ²	PJ	PJ	PJ	Mt CO ₂ -äq.
Wohnen*	444,0	291,7	82,3	486,3	14,47
Büro*	36,5	28,6	14,7	51,4	2,22
Schulen*	25,0	14,4			1,19
Übrige DL u. Industrie**	167,5	267,8	98,6	464,7	22,52
Verkehr**	-	287,9	10,7	395,8	24,89
Total CH**	673,1	890,4	206,4	1'421,6	65,29
Abdeckung durch GPM CH	75%	38%	47%	39%	27%

* Gemäss Gebäudeparkmodell TEP Energy / ETH Zürich

** Daten aus Gesamtenergiestatistik 2005 bzw. mit Primärenergie- und THG-Emissionsfaktoren gemäss Tabelle 4 daraus berechnet

In Tabelle 4 sind die Primärenergie- und THG-Umrechnungsfaktoren, welche in den jeweiligen Modellen und auch für obige Tabellen verwendet wurden, dokumentiert.

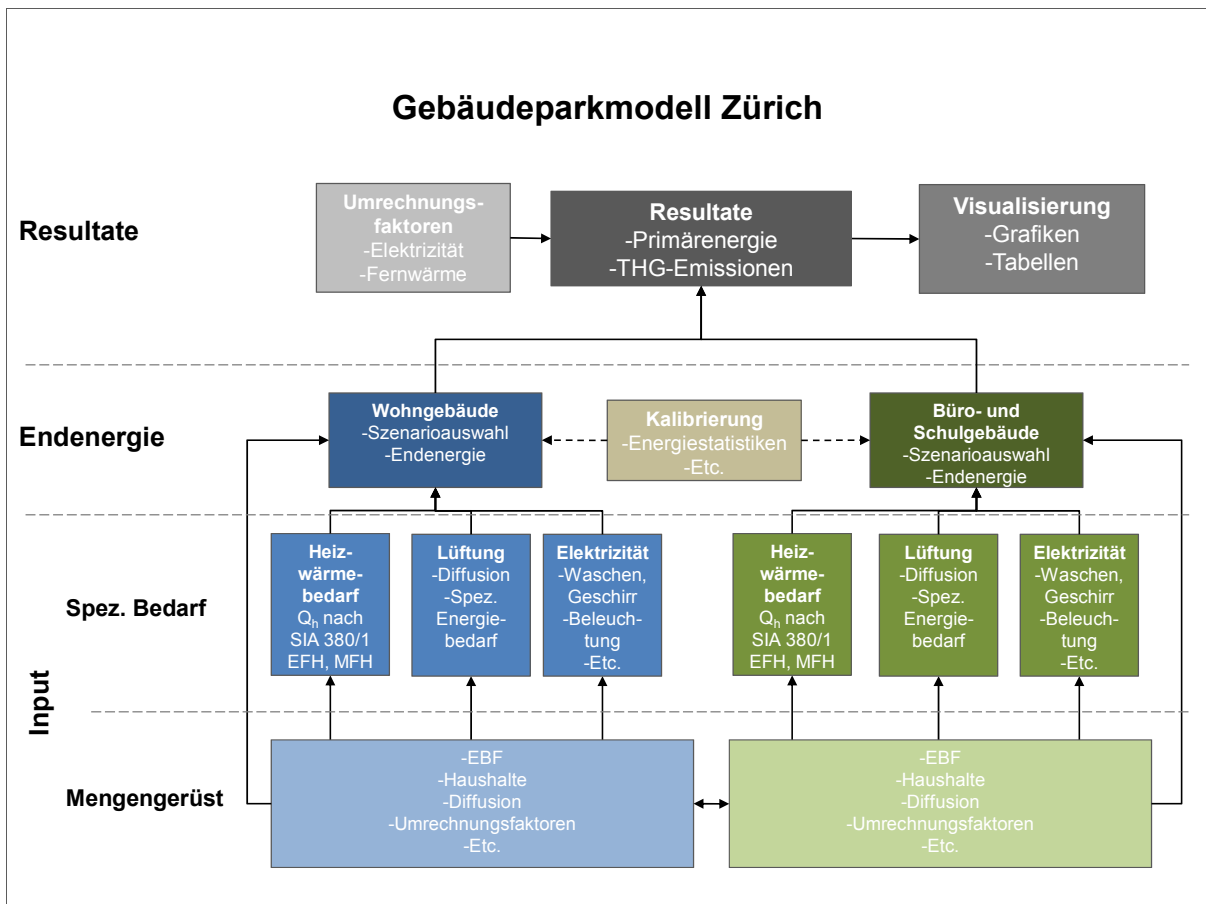
Tabelle 4 Gegenüberstellung der Umrechnungsfaktoren Primärenergie und THG-Emissionen aus den Gebäudeparkmodellen Zürich und Schweiz

	Primärenergie [TJ/TJ]		THG-Emissionen [t CO ₂ -äq./TJ]	
	ZH	CH	ZH	CH
Erdölbrennstoffe		1,33	87,7	
Elektrizität	2,67	2,62	7,6	53,6
Gas		1,28	74,4	
Kohle	-	1,66	-	120,0
Holz		1,14	3,0	
Fernwärme	0,85	0,85	46,0	44,0

Quelle: Frischknecht et al. 2008, Prognos et al. 2008, ETH Zürich

1.5 Das Gebäudeparkmodell

Nachfolgend erfolgt einleitend eine kurze Beschreibung der Struktur für das Rechenmodell zu den Wohngebäuden (Ein- und Mehrfamilienhäuser), als auch zu den ausgewählten Dienstleistungsgebäuden (Schulen und Bürogebäude). Die Annahmen, welche den Modellen als Input dienen, werden in den Kapiteln zu den jeweiligen Gebäudenutzungen und im Anhang ausgeführt.



Quelle: ETH Zürich, TEP Energy

Figur 2 Schematische Darstellung des Modellaufbaus

Das in Excel erstellte bottom-up Rechenmodell bildet den Zeitraum von 2005 bis 2050 in 5-Jahresschritten ab. Die Dynamik im Modell ergibt sich über eine exogene Veränderung der Inputgrößen sowie über die damit verbundenen strukturellen Entwicklungen. Fortschreibungen und Perspektiven über eine zukünftige Entwicklung der Parameter erfolgen dabei nicht modellendogen, sondern werden in Form von Annahmen ins Modell eingegeben. Es ist möglich, mit Funktionen Werte für einzelne Zeitpunkte zu berechnen (z. B. kann mit der Funktion „Trend“ die Regressionsgerade einer Wertereihe ermittelt werden und weitere, in der Zukunft liegende Werte, linear extrapolieren). In der Regel ist die Fortschreibung der Parameter allerdings nicht linear, denn bei der Annahmespezifikation werden Sättigungseffekte und Interaktionen von Parametern berücksichtigt.

Die Eingabedaten in das Modell gliedern sich in die folgenden Bereiche und unterscheiden sich zunächst von den Verwendungszwecken des SIA Effizienzpfades Energie und der SIA 416/1, werden aber anschliessend so aggregiert, dass eine Zuordnung ermöglicht wird (siehe in Anhang C – Begriffliche Zuordnungen):

- Raumwärme
- Warmwasser
- Lüftungsanlagen und Komfortkühlung
- Hilfstechnik für Raumwärme und Warmwasser
- Kochen
- Waschen und Geschirrspüler
- Weitere Haushaltgeräte

- Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)
- Weitere Betriebseinrichtungen in Büro und Schulgebäuden
- Diverse, nicht direkt raumbezogene Gebäudetechnik

Die Energienachfrage dieser Verwendungszwecke und Energieanwendungen wurde in mehreren Submodulen und zum Teil in Nebenrechnungen, wie zum Beispiel der Elektrizitätsbedarf von Lüftungssystemen, durchgeführt. Die Eingabedaten erfolgen in der Regel auf der Stufe der Nutzenergie (ausser elektrische Geräte inkl. IKT, Haustechnik und Beleuchtung) und werden mithilfe eines Jahresnutzungsgrades in Endenergie umgewandelt. Die Endenergie wird hierauf nach Energieträger getrennt aggregiert und mittels spezifischer Faktoren werden damit Primärenergienachfrage und Treibhausgas-Emissionen berechnet.

Verwendungszwecke gemäss dem SIA Effizienzpfad Energie

Die oben beschriebenen Daten dienen als Eingangsgrössen für die anschliessende Ergebnisausgabe nach den Verwendungszwecken des SIA Effizienzpfades Energie, welche sich an der SIA 416/1 orientiert. Die Zuordnung der Eingabegrössen des Modells für Wohngebäude hin zu den einzelnen Verwendungszwecken ist im Anhang C – Begriffliche Zuordnungen aufgeführt.

- Raumklima
- Warmwasser
- Beleuchtung
- Betriebseinrichtungen

Beim Verwendungszweck Raumklima wird zu Dokumentationszwecken wiederum in Lüftung und Raumheizung unterschieden.

Raumwärme

Im Bereich der Raumwärme wurde ein Kohortenmodell entwickelt und angewendet. Dieses erlaubt es, mit definierten Entwicklungsszenarien verschiedene Aspekte der Fragestellungen über eine festgelegte Zeitperiode zu betrachten. Um die spezifischen Heizwärmebedarfs-werte der Wohn-, Büro- und Schulgebäude gemäss SIA 380/1 zu berechnen, werden diese in Bauperioden eingeteilt. Jede Gebäudekohorte der verschiedenen Bauperioden wird separat modelliert. Die Gebäude werden in 13 Bauperioden (BP) differenziert erfasst, von denen die ersten vier die vor 2005 errichteten Gebäude umfassen und welche in der Folge als Gebäudebestand bezeichnet werden:

- BP01 (<1946)
- BP02 (1947-1975)
- BP03 (1976-1990)
- BP04 (1991-2005)
- BP05 (2006-2010)
- BP06 (2011-2015)
- BP07 (2016-2020)
- BP08 (2021-2025)
- BP09 (2026-2030)
- BP10 (2031-2035)
- BP11 (2036-2040)
- BP12 (2041-2045)
- BP13 (2046-2050)

Die vier Kohorten des im Basisjahr 2005 bestehenden Gebäudeparks (BP1-4) sowie die Neubauten werden mit Hilfe von den jeweils bauperiodentypischen geometrischen Bauteilverhältnissen abgebildet. Hierbei wurde von Hintergrundinformationen zum Bericht Wüest und Partner (2004) ausgegangen und durch eigene Überlegungen auf die Verhältnisse der Stadt Zürich angepasst (im Vergleich zur Schweiz tendenziell mehr Stockwerke pro Gebäudegrundfläche, mehr zusammengebaute Gebäude, v.a. Blockrandbebauungen).

Um die Entwicklung des Heizwärmebedarfs zu beschreiben, werden für die einzelnen Perioden über die Modelllaufzeit Erneuerungsraten und Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) für die Bauteile angenommen. Damit wird der energetische Zustand der vier wichtigsten Bauteile (Wand, Dach, Fenster, Boden) anteilmässig und bzgl. ihres energie-technischen Zustandes im Zeitablauf verfolgt. Die Annahmen für die Erneuerungsraten stützen sich auf eine Erhebung des CEPE im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) aus dem Jahre 2003 (Jakob und Jochem 2003) und wurden bauteilspezifisch bis 2050 fortgeschrieben. Analog wurden Annahmen zu Büro- und Schulgebäuden getroffen, wobei an dieser Stelle auf den Umstand hinzuweisen ist, dass eine empirische Fundierung zu energetischen Erneuerungszyklen im Dienstleistungssektor in der Schweiz und auch in Zürich weitgehend fehlt. Es wurde jeweils darauf geachtet, dass die Erneuerungsanteile in der Summe bis 2050 den Wert von 100% nicht überschreiten. Alle Kennwerte unterscheiden sich sowohl nach der Bauperiode wie auch nach dem Szenario.

Die Eingabedaten (Bauteilfläche, U-Wert) werden in eine SIA 380/1: 2009 Berechnung gespeist, um so den Heizwärmebedarf (Q_h) der erneuerten Gebäude sowie der Neubauten für die jeweilige Bauperiode und jede Modellperiode zu ermitteln. Mittels der jeweiligen Erneuerungsraten und der energetischen Verbesserung der Bauteile kann die Auswirkung der energetischen Erneuerungstätigkeit auf den mittleren Heizwärmebedarf für die einzelnen Modellperioden ermittelt werden, d.h. der Effekt der Bauteilverbesserung und -erneuerung kann evaluiert und als durchschnittlicher Heizwärmebedarf Q_h ausgedrückt werden (siehe Figur 12 und Figur 38).

Der Heizwärmeenergiebedarf Q_h der Neubauten (BP5-13) wurde ebenfalls mittels des Berechnungsverfahrens 380/1 sowie entsprechenden Annahmen bestimmt, wobei die Berechnung für Stützjahre im Zehnjahresabstand durchgeführt wurde. Die bestehenden Grenz- und Zielwerte der MuKE und von Minergie-P lieferten dabei indirekt Anhaltspunkte für das Festlegen der künftigen U-Werte.

Weitere Energiedienstleistungen

Die Modellierung hat einen starken gebäude- und energiewirtschaftlichen Bezug. Beim hier verfolgten Ansatz geht es darum massgebliche Entwicklungen, welche die stadtzürcher Energienachfrage beeinflussen, zu berücksichtigen. Im Fokus stehen nicht einzelne Gebäude, sondern der Gebäudepark (bzw. der im SIA Effizienzpfad Energie betrachtete Teil davon, d.h. die Wohn-, Büro- und Schulgebäude). Zu den berücksichtigten Einflussfaktoren gehören insbesondere

- Mengenausdehnungen durch Neubauten,
- Mengenausdehnungen durch eine weitere Ausrüstung der Gebäude durch energieverbrauchende Anwendungen,
- strukturelle Änderungen, indem beispielsweise Neubauten im Vergleich zum Gebäudebestand üblicherweise effizienter sind,
- technische Effizienzentwicklungen bei neuen Geräten, Anlagen und Gebäuden,
- Erneuerungen und Ersatz des bestehenden Parks an Geräten, Anlagen und Gebäuden und
- Betriebsoptimierungen.

Um diese Entwicklungen zu berücksichtigen, basiert die Modellierung der gebäudebezogenen Energienachfrage auf folgendem bottom-up-Ansatz:

- Grund-Mengengerüst: Energiebezugsfläche des Gebäudeparks Zürich sowie dessen Fortschreibung bis 2050.
- Diffusion Energiedienstleistungen (Diffusionsrate): relative Durchdringung bzw. Ausrüstung des Grundmengengerüsts mit Energiedienstleistungen und Geräten.
- Spezifische (Teil-)Energieverbrauchs- oder Nachfragewerte, d.h. MJ oder kWh pro Jahr und pro Einheit des Grund-Mengengerüsts, der entsprechend „vollständig“ ausgerüsteten Gebäude.

Die Diffusionsrate ist dabei wie folgt definiert: eine Rate von 100% ist dann erreicht, wenn die Räume „vollständig“ mit solchen Energiedienstleistungen ausgerüstet sind, welche typisch sind für solche Dienstleistungen (Lüftungen sind z.B. für Büroräume typisch, nicht aber für Verkehrsflächen oder Lagerräume). Bei den Diffusionsraten handelt es sich um Kennwerte, welche den Gebäudepark charakterisieren (nicht einzelne Gebäude). Die Diffusionsrate wurde definiert, um Entwicklungen bei der Gebäudetechnisierung und bei der Ausrüstung der Gebäude und bei der Nutzung von verschiedensten Betriebseinrichtungen berücksichtigen und quantifizieren zu können.

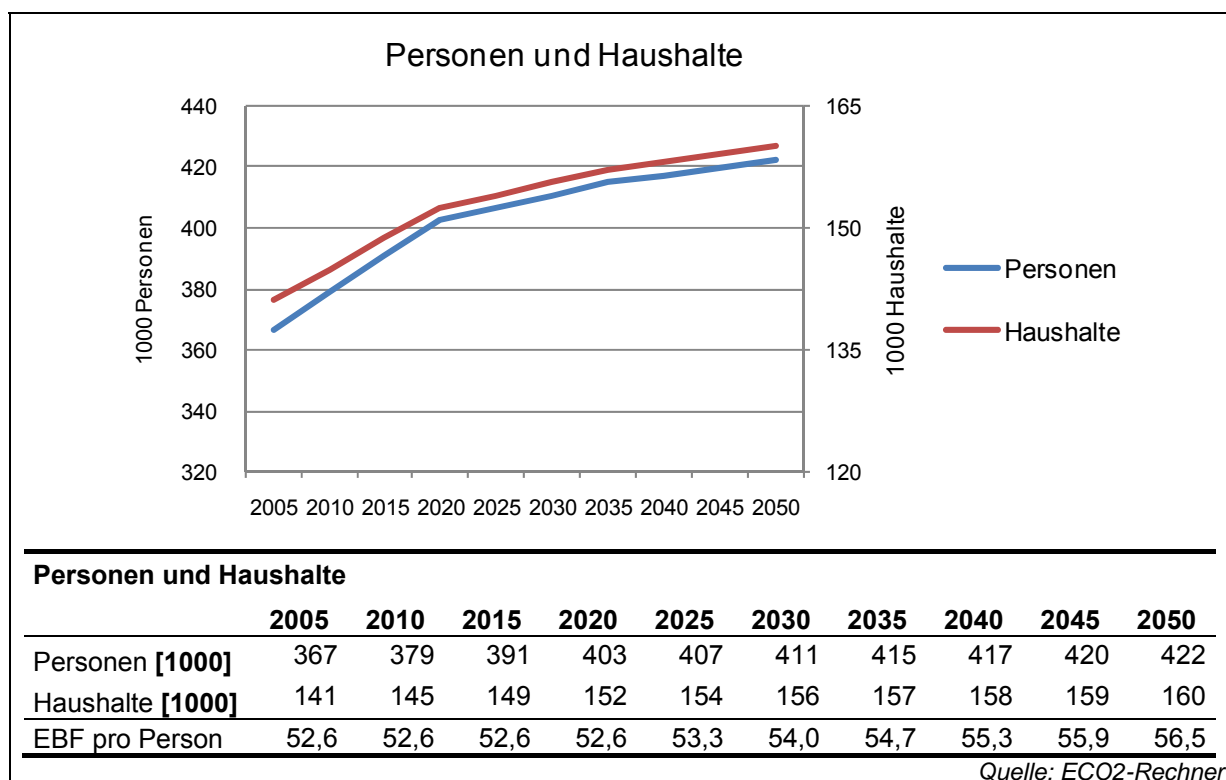
Die spezifischen Energienachfragewerte (SEN) gelten für denjenigen Anteil des gesamten Gebäudebestandes, welcher mit der entsprechenden Energiedienstleistung (z.B. Lüftung) „vollständig“ (wie oben definiert) ausgerüstet ist. Unter der Annahme von typischen Gebäuden, welche sich aus unterschiedlichen Raumnutzungen zusammensetzen, lassen sich die entsprechenden Werte mit Kennwerten der SIA (z.B. SIA 2024) vergleichen. Des Weiteren sind sie mit Kennwerten von gemessenen Gebäuden vergleichbar (als Gebäudedurchschnitt), sofern die entsprechenden Gebäude jeweils „vollständig“ mit der entsprechenden Energieanwendung ausgerüstet sind. Der gesamtschweizerische Durchschnitt ergibt sich, indem die SEN zusätzlich mit der Diffusionsrate multipliziert werden (gegebenenfalls als flächengewichteter Durchschnitt).

2. Annahmen Wohngebäude

Im Folgenden werden die Annahmen des Gebäudeparkmodells für Wohngebäude für die Szenarien „Referenz“ und „Effizienz“ beschrieben.

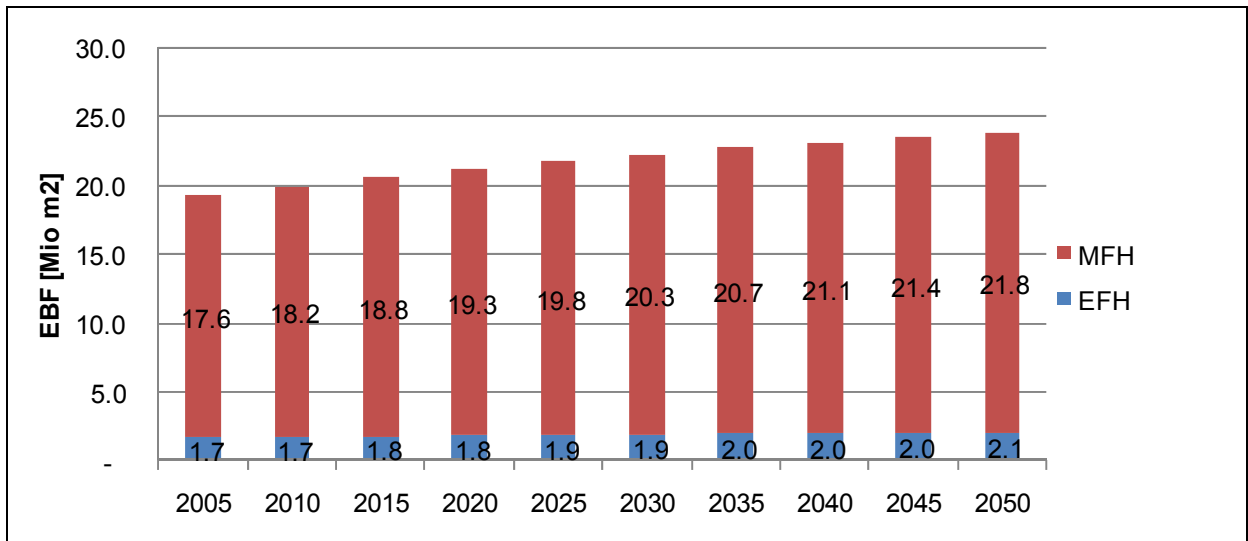
2.1 Entwicklung der Energiebezugsfläche, Haushalte und Personenanzahl

Die Entwicklung der Energiebezugsfläche (EBF, in der SIA 380/1: 2009 gekennzeichnet durch das Symbol A_E) ist aus dem ECO2-Rechner übernommen und basiert auf der Prognose für die Bevölkerungsentwicklung der Stadt Zürich. Die Aufteilung der EBF zwischen Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern (EFH / MFH) wurde gemäss dem ECO2-Rechner bis 2050 fortgeschrieben. Die Anzahl der Haushalte wurde ebenfalls dem ECO2-Rechner entnommen.



Figur 3 Entwicklung der Bevölkerung und Haushalte

Es ist zu beobachten, dass die Zahl der Haushalte analog zur Bevölkerung anwächst. Der Grund hierfür ist eine Tendenz zu kleineren Haushalten (demographische Entwicklung und Lebensstil-Änderung). Aufgrund der für die Zukunft erhöhten Raumnachfrage pro Person (anhand der Daten des ECO2-Rechners der Stadt Zürich ergibt sich eine Zunahme der Nachfrage von ca. 52,6 m² EBF auf über 56,5 m² EBF im Jahre 2050), erhöht sich die Energiebezugsfläche von 19,3 Mio. m² in 2005 auf 23,9 Mio. m² in 2050 (das entspricht einer Zunahme von +24%). Dieser Anstieg an Flächennachfrage in der Stadt Zürich ist damit gerade einmal halb so gross wie derjenige in der Gesamtschweiz (+56% Zunahme total; vgl. Wallbaum et al. 2009). Die Annahmen gelten sowohl für das Referenz- wie auch das Effizienz-Szenario. Alle drei Grössen (EBF, Anzahl Haushalte, Bevölkerung) werden zur Berechnung einzelner Verbrauchswerte benötigt (z.B. errechnet sich der Warmwasserbedarf anhand der Bevölkerung).



Quelle: ECO2-Rechner

Figur 4 Entwicklung der Energiebezugsfläche nach EFH und MFH

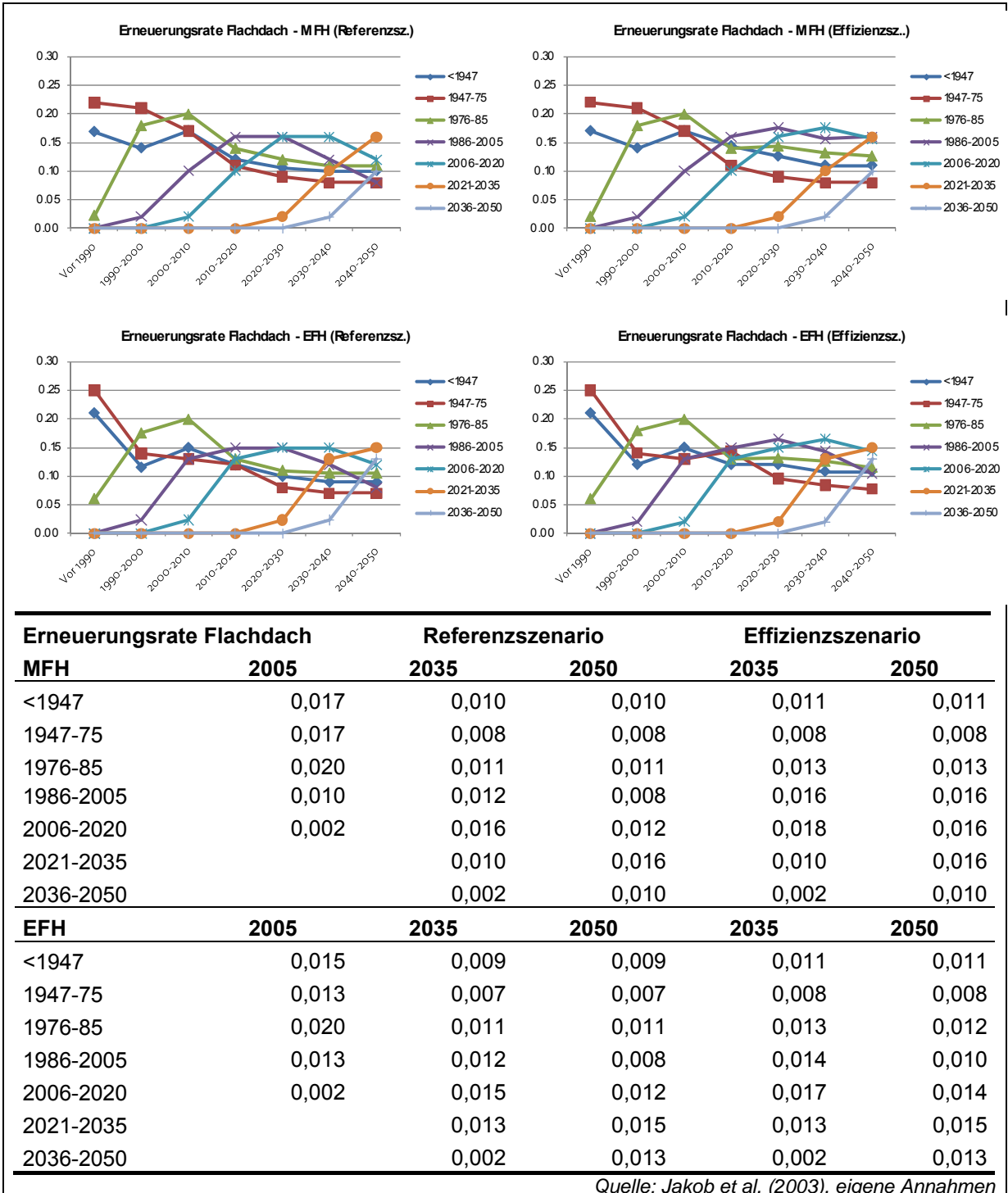
Für die Energiebezugsfläche der Bestandsgebäude wird im Referenz-Szenario eine Abbruchrate von 0,1% p. a. und für das Effizienz-Szenario von 0,25% p. a. angenommen (eigene Annahmen basierend auf Koschütz 2005 sowie Schneider und Rubli 2008). Das bedeutet, dass die Anzahl der Bestandsbauten (BP1-4) jährlich um den entsprechenden Wert abnimmt.

2.2 Raumwärme

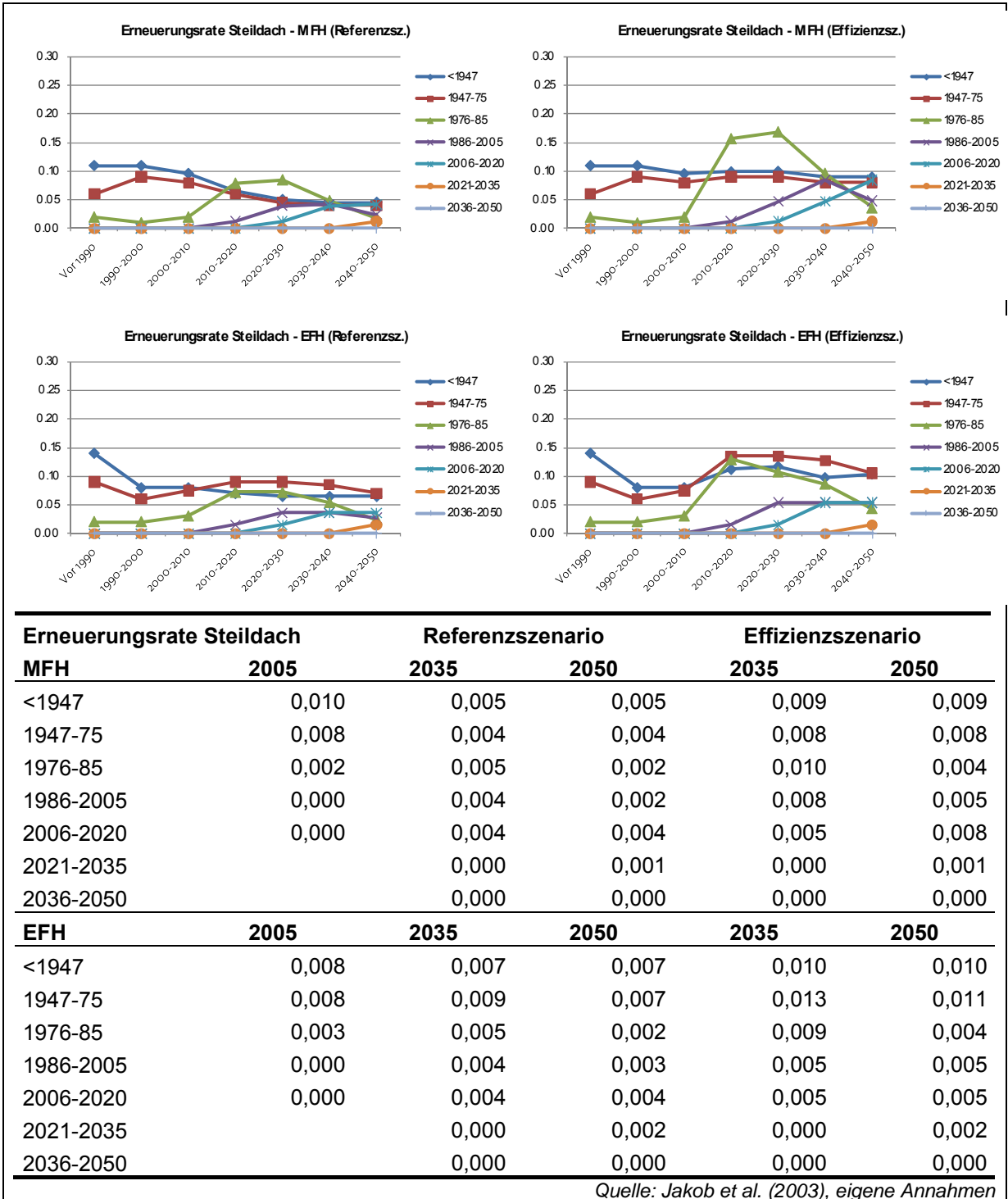
Das Raumwärmemodul / Kohortenmodell ist in Kapitel 1.5 im Detail beschrieben. In der Folge werden die zugrunde liegenden Annahmen für das Wohngebäude-Modell erläutert.

2.2.1 Erneuerung Gebäudehülle

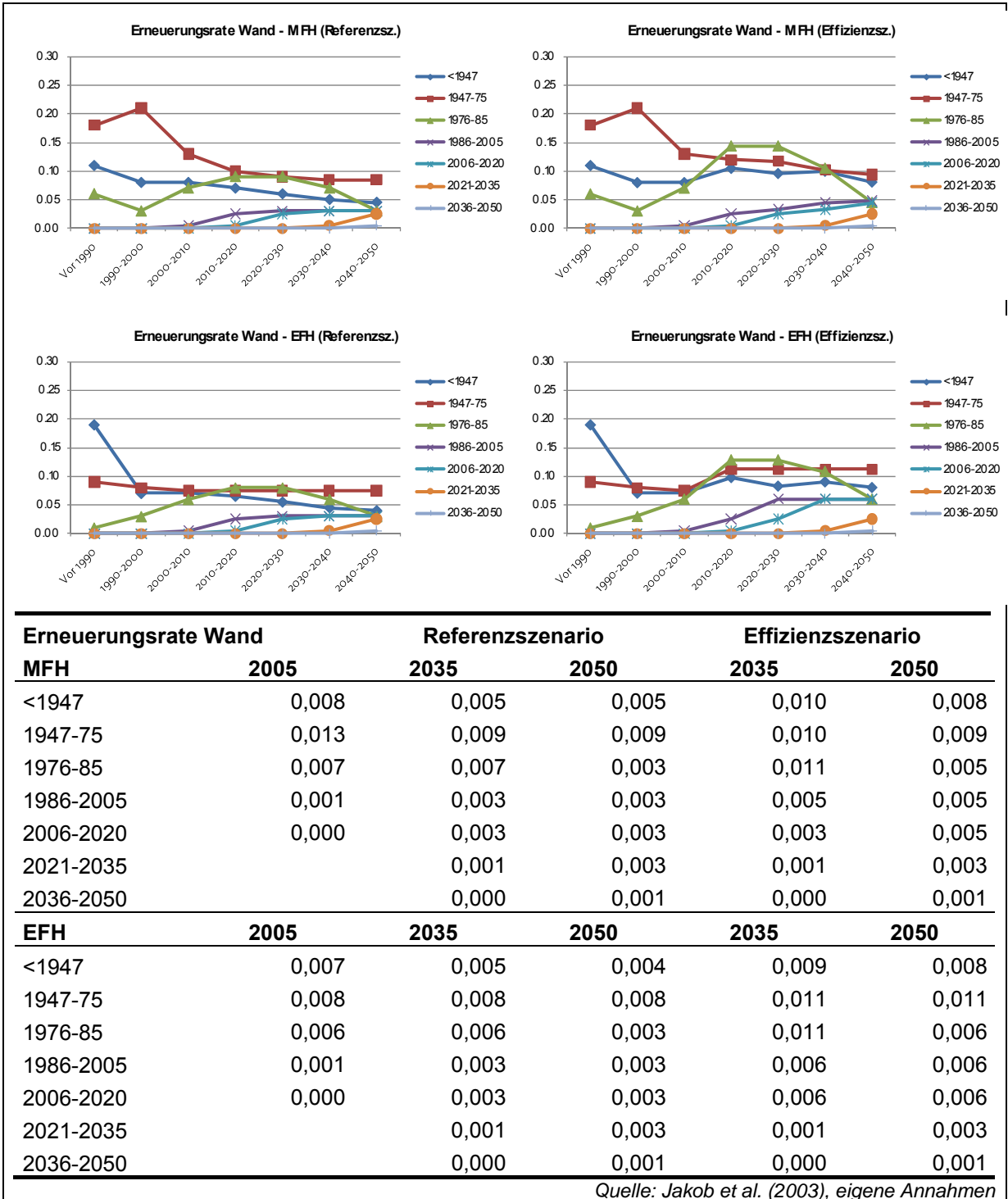
Figur 5 bis Figur 9 weisen die angenommenen Bauteil-Erneuerungsraten pro Jahr für EFH und MFH aus. Die zugrunde gelegten jährlichen energetischen Erneuerungsraten liegen in der Regel sowohl bei den EFH wie auch bei den MFH im Referenzfall unter 1% pro Jahr. Eine Ausnahme bilden die Fenster sowie zum Teil die Flachdächer mit höheren Erneuerungsraten. In Tabelle 18 bis Tabelle 20, im Anhang (Seiten 130ff) ist in der jeweils letzten Spalte der kumulierte Anteil der energetisch erneuerten Bauteile zwischen 2000 und 2050 angegeben. Augenfällig ist, dass im Referenz-Szenario die Erneuerungsanteile meist unter 50% liegen. Im Effizienz-Szenario liegen die Raten vermehrt um 60% und teilweise auch darüber. Die Erneuerungsraten sind identisch zum GPM Schweiz. Da das GPM Zürich im Gegensatz zum Schweizer Modell die Neubauten in einem vollständigen Kohortenmodell abbildet, werden zusätzlich die Annahmen der Bauperioden nach 2005 (BP 5-13) dokumentiert.



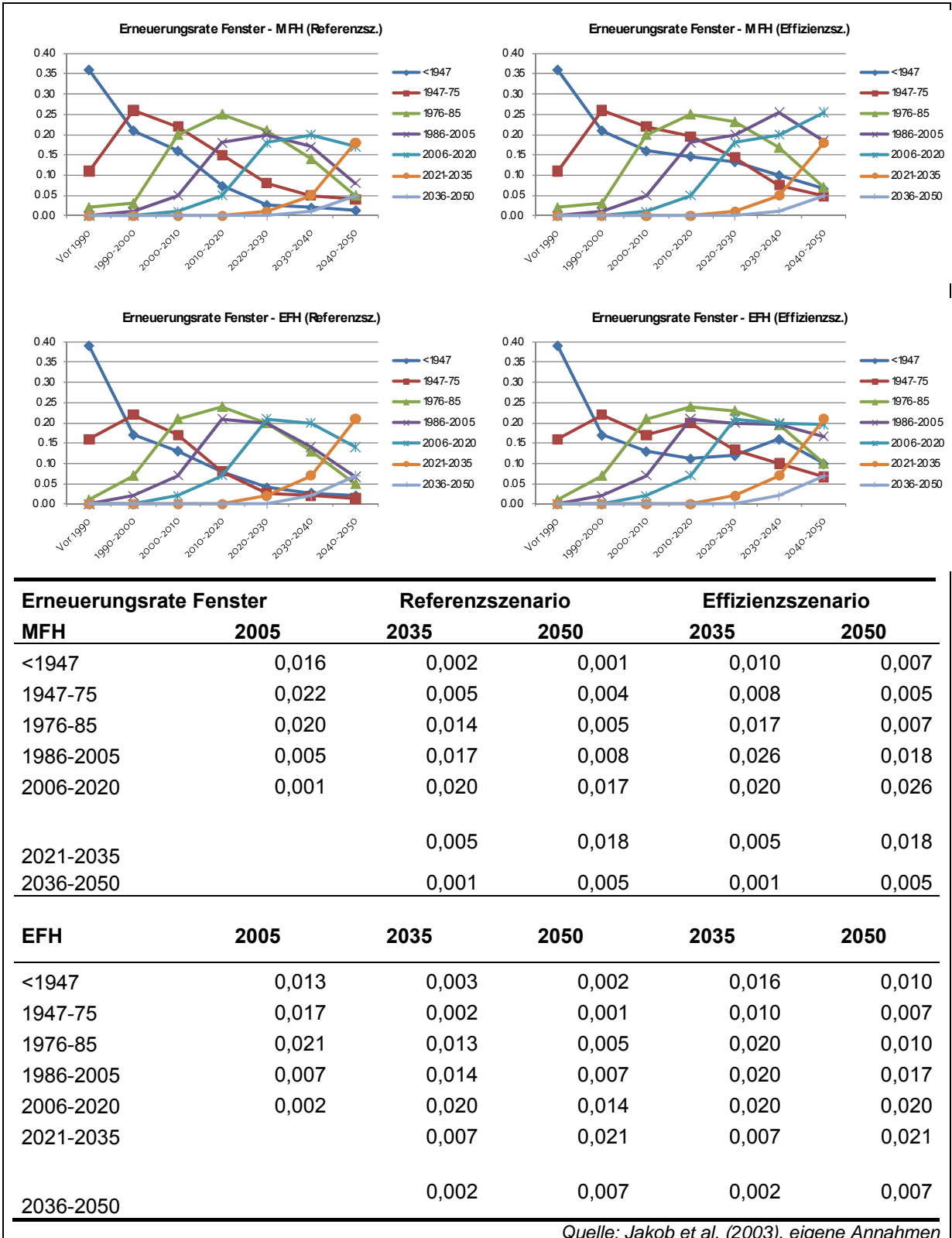
Figur 5 Erneuerungsrate Flachdach (ausgedrückt als Anteil pro Jahr)



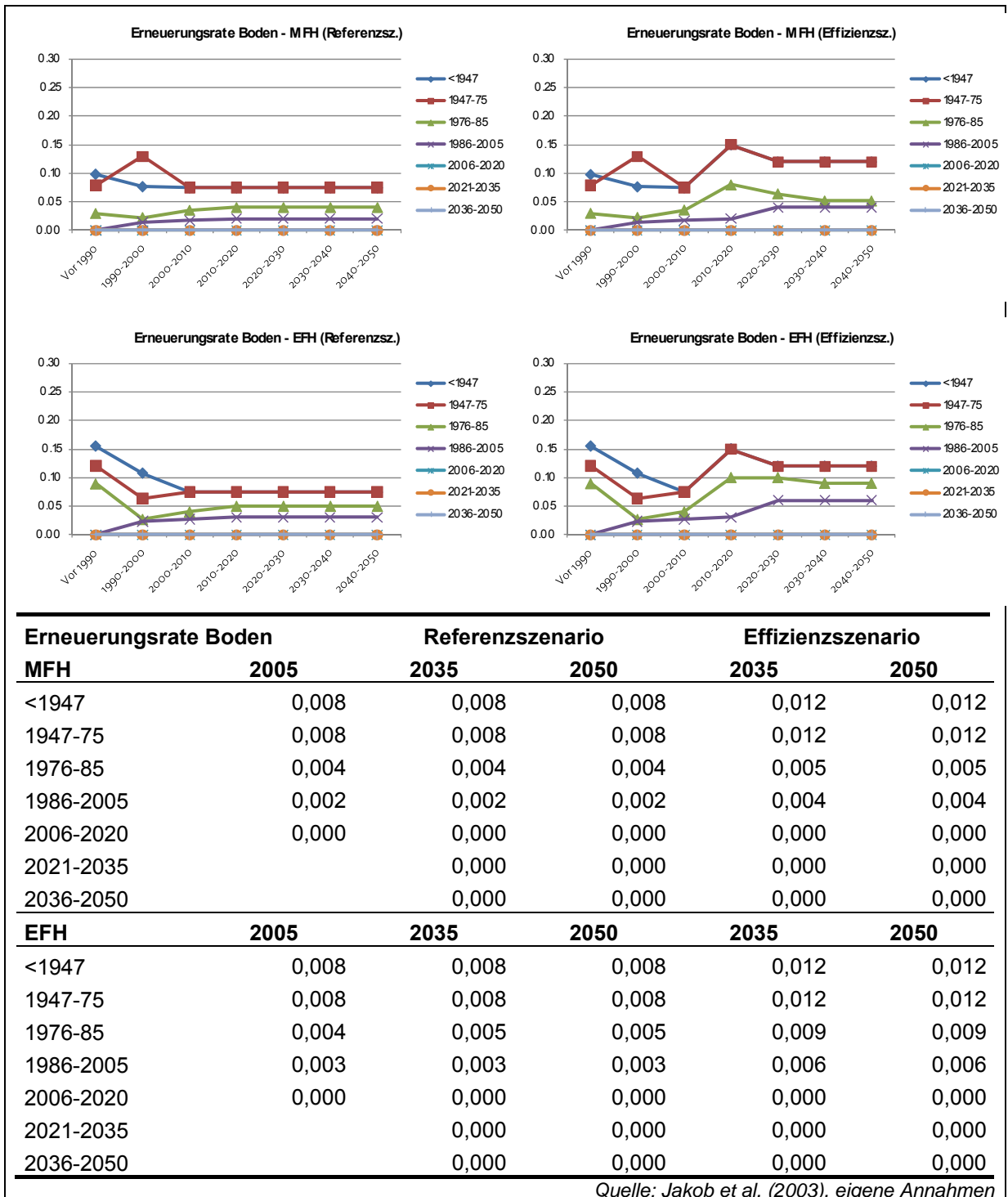
Figur 6 Erneuerungsrate Steildach (ausgedrückt als Anteil pro Jahr)



Figur 7 Erneuerungsrate Wand (ausgedrückt als Anteil pro Jahr) bei der

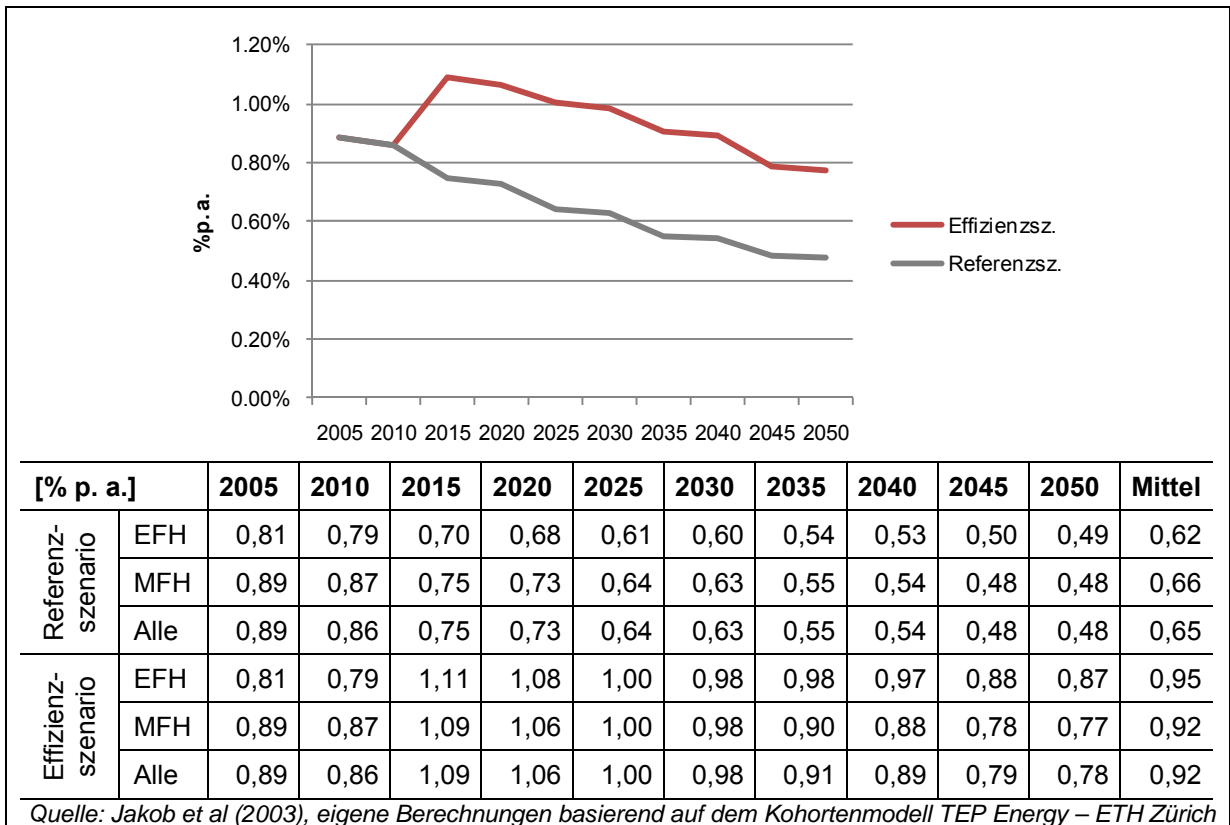


Figur 8 Erneuerungsrate Fenster (ausgedrückt als Anteil pro Jahr)



Figur 9 Erneuerungsrate (Keller-)Boden (ausgedrückt als Anteil pro Jahr)

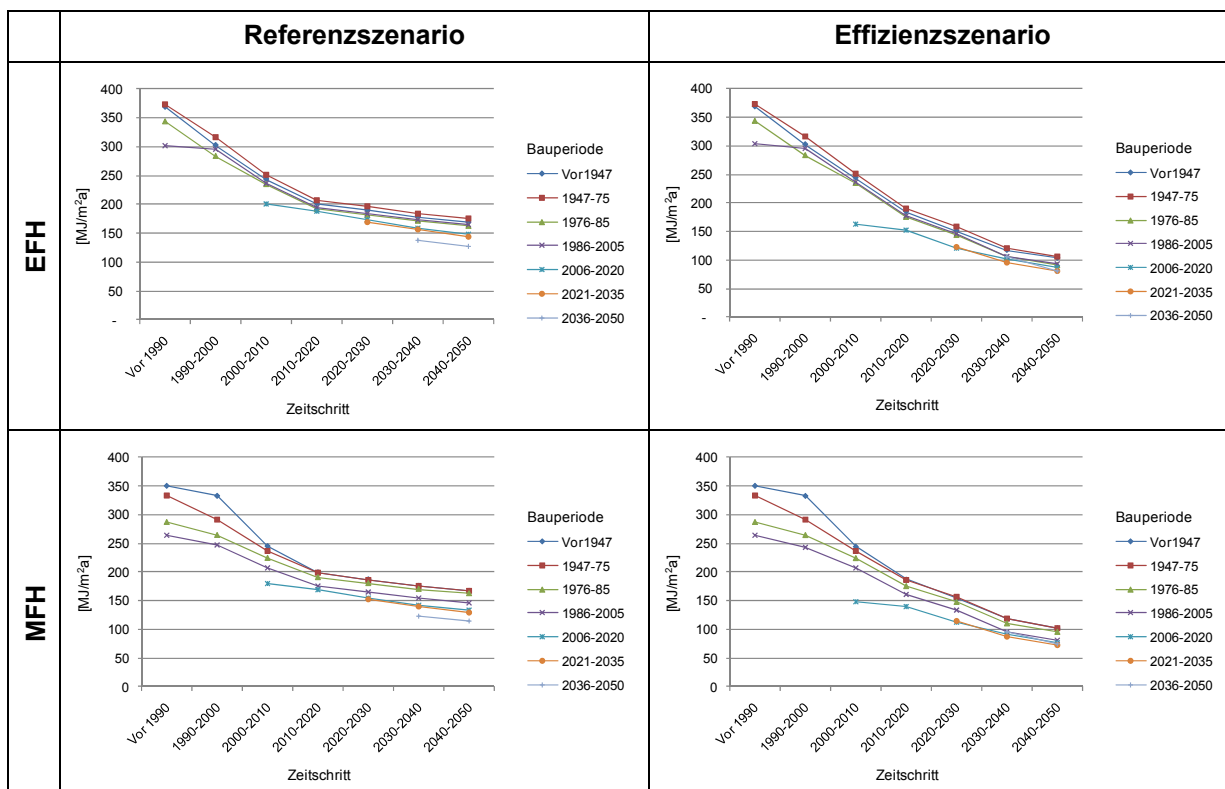
In Figur 10 sind die Erneuerungsrate umgerechnet auf ein einzelnes idealtypisch erneuertes Gebäude dargestellt. Diese betrug in der jüngeren Vergangenheit zwischen 0,8% und 1,0% pro Jahr. Da die älteren Bauperioden gerade am Ende eines Erneuerungszyklus stehen und weil unterstellt wurde, dass die Neubauten ab 2005 einen insgesamt geringeren energetischen Erneuerungsbedarf aufweisen werden, geht die mittlere energetische Gebäudeerneuerungsrate im Referenzszenario (graue Linie) im Zeitablauf bis 2050 relativ stark zurück. Im Effizienzzenario wird angenommen, dass die Erneuerungsrate relativ rasch um etwa 30% gesteigert werden kann. Generell ergibt sich eine mittlere Erneuerungsrate, die über die gesamte Periode rund 42% höher ist im Vergleich zum Referenz-Szenario.



Figur 10 Mittlere Gebäudeerneuerungsraten auf Grundlage der Bauteilerneuerung (in % pro Jahr)

2.2.2 Heizwärmedarf

Die mittleren Gebäudeerneuerungsraten (Figur 10) führen zusammen mit den jeweiligen Massnahmen (U-Wert, g-Wert) zu einer Reduzierung des Heizwärmebedarfs. In Figur 11 sind die resultierenden Reduktionseffekte zusammengefasst. Das heisst die Anwendung aller Massnahmen auf ein idealtypisches Gebäude reduziert den Heizwärmebedarf auf den entsprechenden Wert. Der Einfluss des Lüftungssystems ist hierbei nicht berücksichtigt.



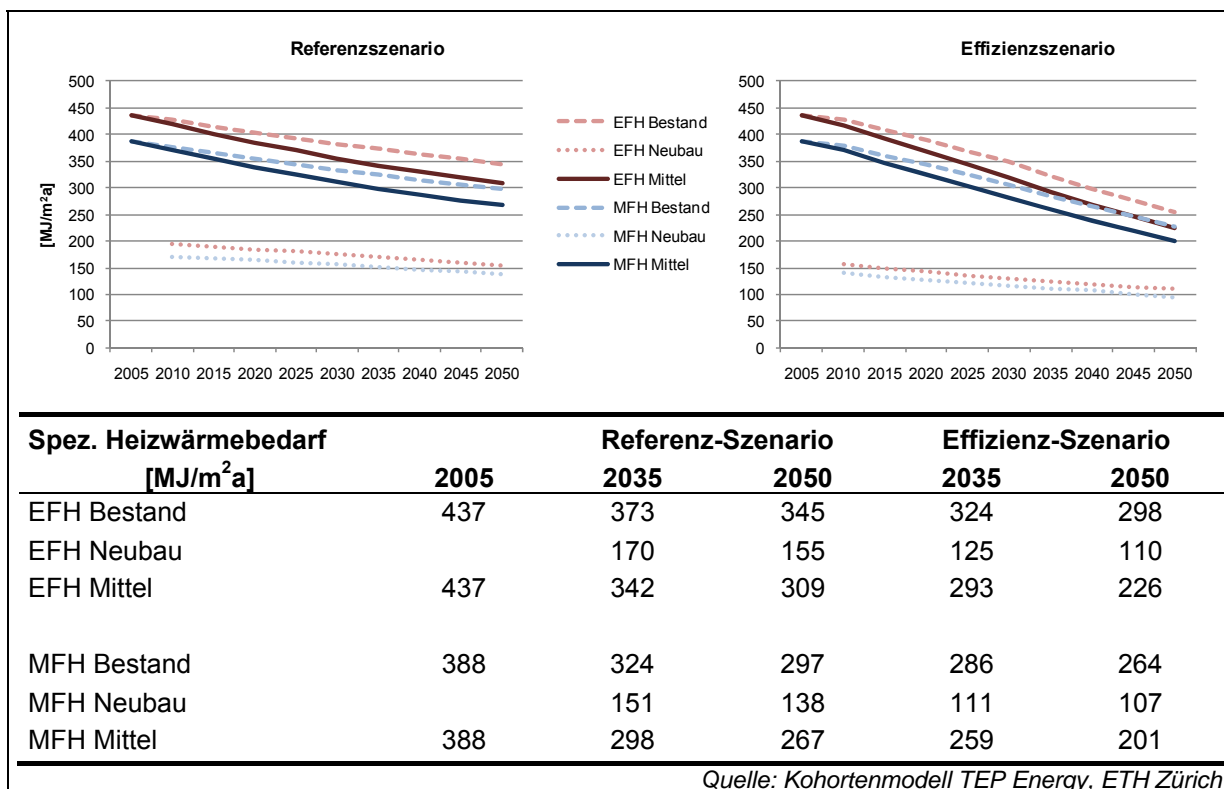
	Spez. Heizwärmebedarf		Referenz-Szenario		Effizienz-Szenario	
	[MJ/m ² a]	2005	2035	2050	2035	2050
EFH						
Vor1947		243	178	169	117	103
1947-75		251	184	175	120	106
1976-85		235	171	163	105	92
1986-2005		237	173	164	106	93
2006-2020		163	160	149	102	87
2021-2035		-	156	144	95	80
2036-2050		-	-	126	-	82
MFH						
Vor1947		245	175	166	118	103
1947-75		236	176	167	118	102
1976-85		224	169	162	110	95
1986-2005		207	154	146	95	81
2006-2020		180	142	132	92	76
2021-2035		-	139	129	88	72
2036-2050		-	-	114	-	74

Quelle: Kohortenmodell TEP Energy, ETH Zürich

Figur 11 Resultierender Heizwärmebedarf eines auf Grundlage der Erneuerungsrate und -massnahmen idealtypisch erneuerten Gebäudes.

Der resultierende durchschnittliche Heizwärmebedarf der Wohngebäude (Figur 12) ergibt sich massgeblich aus der Modellierung nach SIA 380/1. Aufgrund der oben erläuterten Erneuerungsraten, U-Werte und der thermisch wirksamen Luftwechselraten ergeben sich die in Figur 12 dargestellten durchschnittlichen Heizwärmebedarfswerte für den Gebäudebestand und der nach 2005 erstellten Gebäude. Die zugrunde liegenden Annahmen werden in Anhang B – Annahmen Wohngebäude – im Detail wiedergegeben. Im

Effizienz-Szenario wird davon ausgegangen, dass auch bei den Neubauten die durchschnittliche Gebäudehüllzahl (A_{th}/A_E) sinkt (vgl. Tabelle 1). Das bedeutet, dass die Bauperiode 13 (Baujahr 2046-2050) etwa einen Minergie-P Grenzwert einhält. Beispielsweise haben die EFH der BP13 im Effizienz-Szenario einen Heizwärmebedarf von 89 MJ/m²a und die MFH (BP13) 76 MJ/m²a, wobei bei den EFH von einem A_{th}/A_E -Verhältnis von 1,67 statt 1,74 und bei den MFH von 1,23 statt 1,28 ausgegangen wurde (vgl. Tabelle 22). Die resultierenden Durchschnittswerte aller Neubauten ab Bauperiode 2005 sinken entsprechend ab (Figur 12).



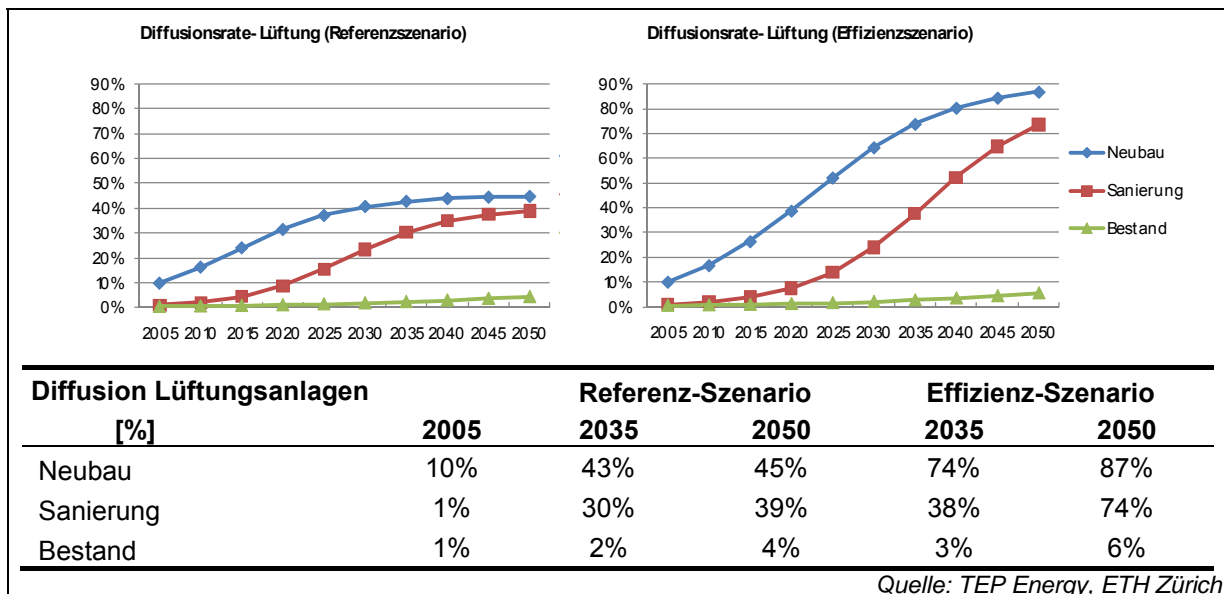
Figur 12 Durchschnittlicher Heizwärmebedarf Bestandsgebäude (BP1-4) und Neubauten (BP5-13) nach EFH und MFH im gewichteten Durchschnitt (Bauperiode 2005 bis 2050)

Bei der Ermittlung des Heizwärmebedarfs wurde auch dem Umstand Rechnung getragen, dass nicht alle Nutzflächen permanent bewohnt bzw. genutzt werden und somit auch nicht voll umfänglich beheizt werden. Aus diesem Grund wurde, in Abhängigkeit des Wärmeerzeugersystems, ein Abminderungsfaktor für den Heizwärmebedarf eingeführt. Die hier verwendeten Daten wurden aus der VZ 2000 abgeleitet (Einzelofensysteme).

2.2.3 Lüftung

Das Modul Lüftung erlaubt eine Abschätzung der Elektrizitätsnachfrage für die Luftförderung. Es wird von einem durchschnittlichen Luftwechsel von 30 m³ pro Person und Stunde ausgegangen.

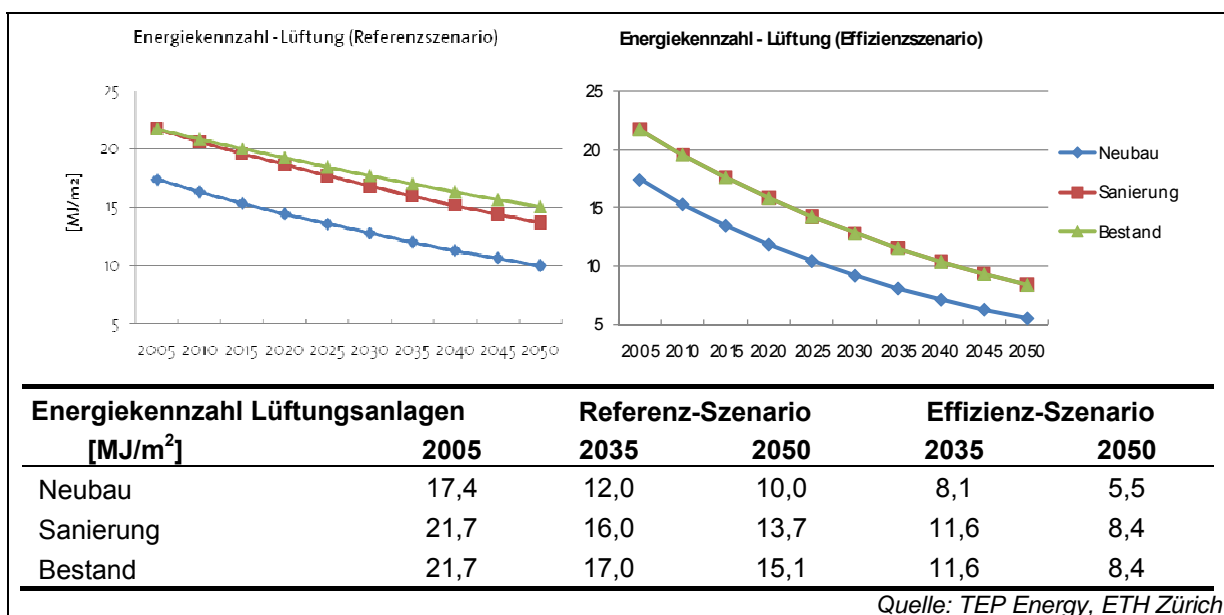
Im Effizienz-Szenario wird angenommen, dass sich der Anteil der Wohnungslüftungsanlagen und der nach Minergie zertifizierten Wohngebäude stark erhöht und somit Lüftungssysteme in einem Grossteil der Neubauten zur Anwendung kommen werden.



Figur 13 Durchdringung Lüftungsanlagen zum jeweiligen Jahresschritt (t) bei Neubauten Gebäudeerneuerungen und im nicht-erneuerten Bestand

Im Folgenden wird die Elektrizitätsnachfrage für die Luftförderung wiedergegeben (Figur 14). Hierbei handelt es sich um den Wert der im Jahr t neu gebauten bzw. erneuerten Gebäude. Es wird unterschieden in Gebäude, welche im Jahr 2005 bereits mit einer solchen Anlage ausgestattet sind („Bestand“), Gebäude, welche bei Sanierung nachgerüstet werden („Erneuerung“) oder um Neubauten, welche zukünftig mit einer Lüftungsanlage ausgestattet werden („Neubauten“).

NB: Die zurückgewonnene thermische Energie wird in Form eines reduzierten thermischen Luftwechsels in der SIA 380/1: 2009 Berechnung berücksichtigt.



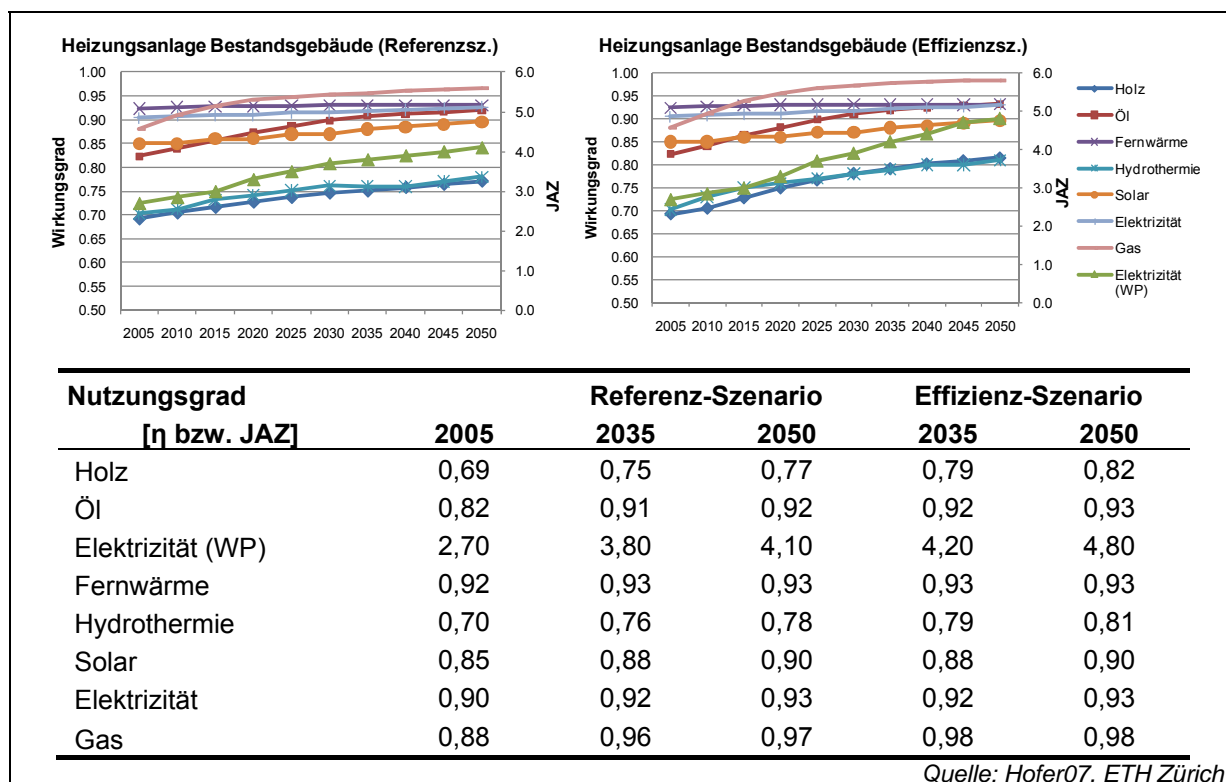
Figur 14 Durchschnittlicher flächenspezifische Elektrizitätsnachfrage der zum jeweiligen Zeitpunkt (t) eingebauten Lüftungsanlagen

Bezüglich der Elektrizitätsnachfrage für die Luftförderung (Figur 14) wurden im Ausgangsjahr eher konservative Annahmen gemacht. Für das Ausgangsjahr entspricht dies Komfort-

lüftungs-Systemen mit einer hohen spezifischem Elektrizitätsnachfrage ($> 0,5 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$; Zielwert SIA 2023: $0,42 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$) und einem Luftwechsel ($> 0,5 \text{ h}^{-1}$; Standardluftwechsel: $0,3 \text{ h}^{-1}$), welche ganzjährig in Betrieb sind. Solche relativ hohen Werte sind bei mangelhafter Planung und Wartung auch im Wohnungsbau keine Seltenheit. Im Effizienzscenario wird 2050 eine Elektrizitätsnachfrage von $5,5 \text{ MJ}/\text{m}^2$ angenommen, was einem optimierten und nachfragegesteuerten System entspricht (sachgemässe Einregulierung, CO_2 -Fühler, etc.).

2.2.4 Mittlerer Nutzungsgrad Heizungsanlage

Bei den mittleren Nutzungsgraden handelt es sich um einen totalen Systemnutzungsgrad, welcher sich auf den unteren Heizwert bezieht.⁵ Im Fall der Nutzungsgrade bzw. Jahresarbeitszahlen (JAZ) bei Wärmepumpen wird angenommen, dass EFH und MFH ähnliche Werte erreichen. Es wird jedoch in Bestands- und Neubauten unterschieden, da unterschiedliche Ausgangslagen für die erfolgreiche Installation der jeweiligen Systeme vorliegen.

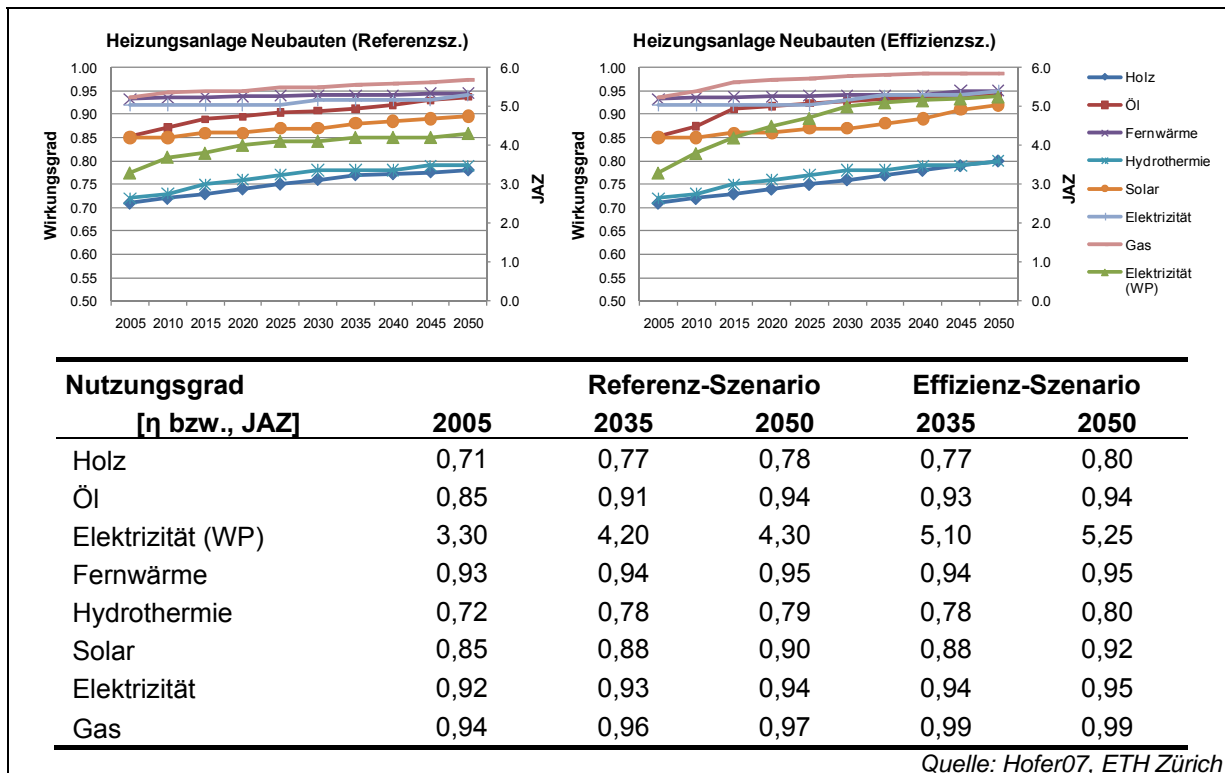


Figur 15 Mittlere Nutzungsgrade der Heizungsanlage im Bestand

Für die mittleren jährlichen Nutzungsgrade wurde in der Regel bis zum Jahr 2035 auf Hofer (2007) abgestützt und anschliessend, dem Trend bzw. eigenen Annahmen folgend, fortgeschrieben. In Abweichung dazu wurden bei der Jahresarbeitszahl (JAZ) der Wärmepumpen geringere Ausgangswerte für das Jahr 2005 angenommen; dies geschah basierend auf den Praxismessungen des FAWA-Berichtes (FAWA 2004) und aufgrund der Stagnation im Markt. Bei der Fortschreibung wurde eine im Vergleich zu den Perspektiven um zehn Jahre verzögerte Entwicklung unterstellt. Es sei betont, dass ein Steigerungspotential technisch durchaus möglich ist. Die Annahmen im Effizienz-Szenario sind, im Hinblick auf die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft, ambitioniert, aber nicht unrealistisch hoch gewählt. Es wird davon

⁵ Analog zu Bébié et al. 2009, wird die Primärenergie als oberer Heizwert angegeben. Die Korrektur der Nutzungsgrade erfolgt bei der Umrechnung in Primärenergie bzw. Treibhausgasemissionen und unter Einbeziehung eines Korrekturfaktors für den Brennwert / oberen Heizwert nach Frischknecht R. und Tuchschnid M. (2008), S. 5f.

ausgegangen, dass in den Neubauten bessere Voraussetzungen vorherrschen, einen hohen mittleren Nutzungsgrad zu erreichen.



Figur 16 Mittlere Nutzungsgrade der Heizungsanlage bei Neubauten (Referenz- und Effizienz-Szenario)

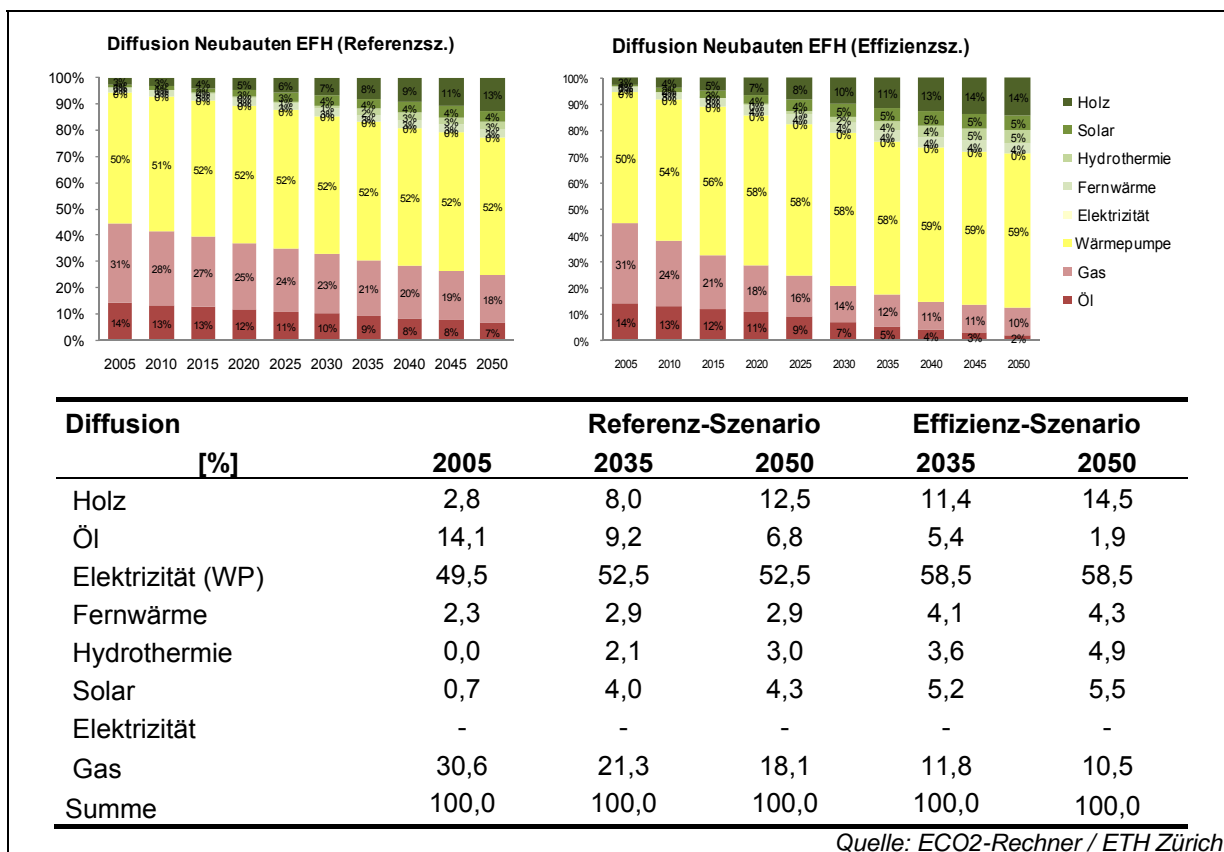
2.2.5 Beheizungsstruktur Neubauten

Bei der Verteilung der Heizwärmeerzeuger wird zwischen Gebäudebestand / Neubauten und EFH / MFH unterschieden. Während die Entwicklung des Gebäudebestandes durch eine Verteilungsstruktur modelliert wird, können den Neubauten Markanteile bei der Erstausrüstung sowie Substitutionsraten, bzw. Weggang und Zugang der jeweiligen Heizsysteme für spätere Veränderungen zugewiesen werden.⁶

Als Ausgangslage wird die Beheizungsstruktur der Neubauten an die Struktur des ECO2-Rechners der Stadt Zürich angelehnt. Die weitere Entwicklung wird gemäss Annahmen der Autoren und der Begleitgruppe fortgeschrieben. Dieses Vorgehen weicht von der Energienachfrageberechnung des ECO2-Rechners ab (Entwicklung der Energiebezugsfläche aller Wohngebäude wird exogen festgelegt) und geht folglich von einer unterschiedlichen Grundlage bezüglich der Beheizungsstruktur des Gebäudeparks aus.

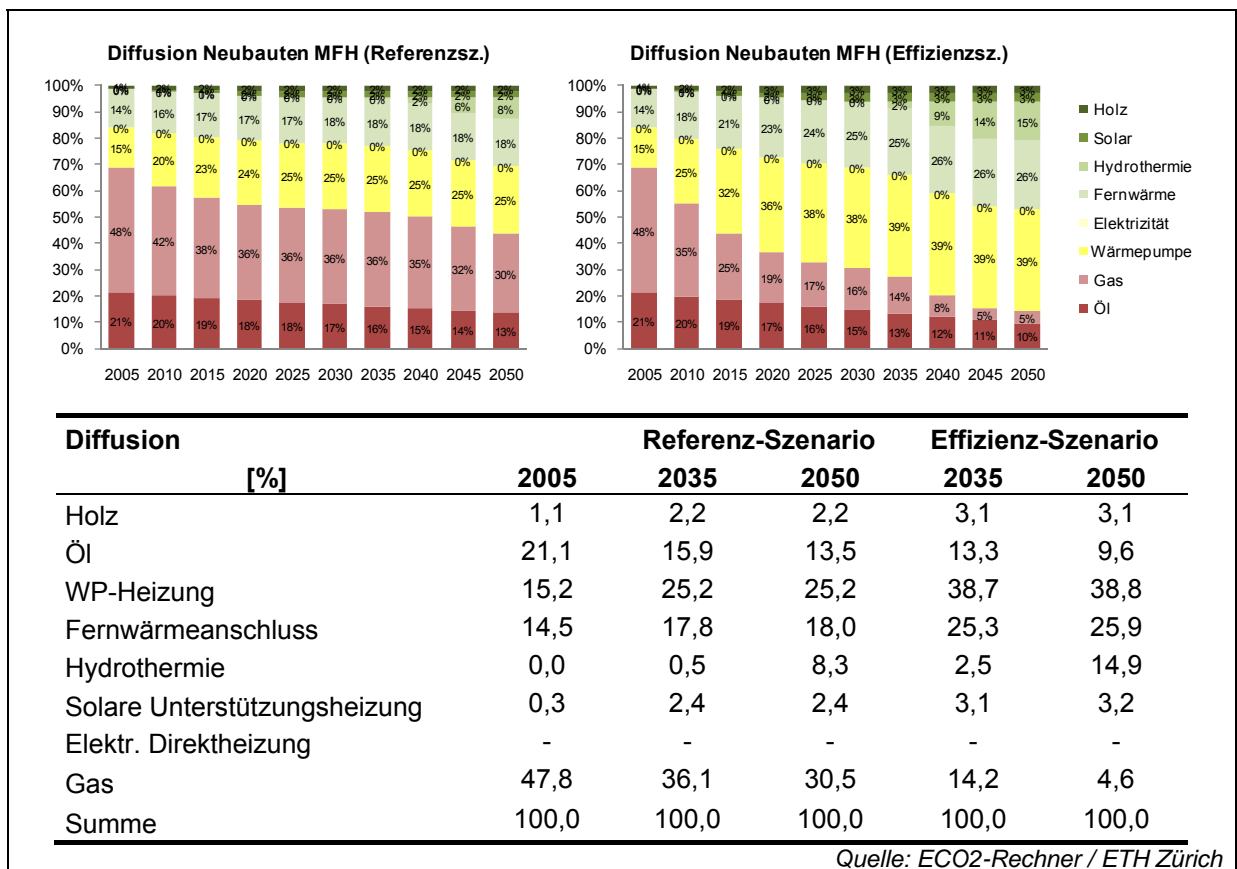
Es wird davon ausgegangen, dass die Beheizungsstruktur sich zunehmend von den fossilen Energieträgern (Öl, Gas) zugunsten der Wärmepumpen, der Hydrothermie und der Holznutzung verschieben wird. Der Anstieg der Fernwärme sowie der solaren Wärmeerzeugung geschieht tendenziell ebenfalls ansteigend, aber mit geringeren Zuwächsen (Figur 17).

⁶ Es ist geplant, diese Funktionalität auch für die Gebäudekohorten des Gebäudebestandes zu implementieren.



Figur 17 Annahmen zur Marktanteilsentwicklung der Heizwärmeerzeuger bei EFH-Neubauten

Diese Annahmen spiegeln sich auch in der Beheizungsstruktur der Mehrfamilienhäuser wider. Aufgrund der niedrigeren Diffusion der Wärmepumpen in diesem Immobiliensegment (2005 nur 15% im Vergleich zu rund 50% bei EFH) wird auch deren Anteil bis zum Jahr 2050 geringer angenommen, entsprechend verbleiben höhere Anteile an fossilen Energieträgern (Figur 18).

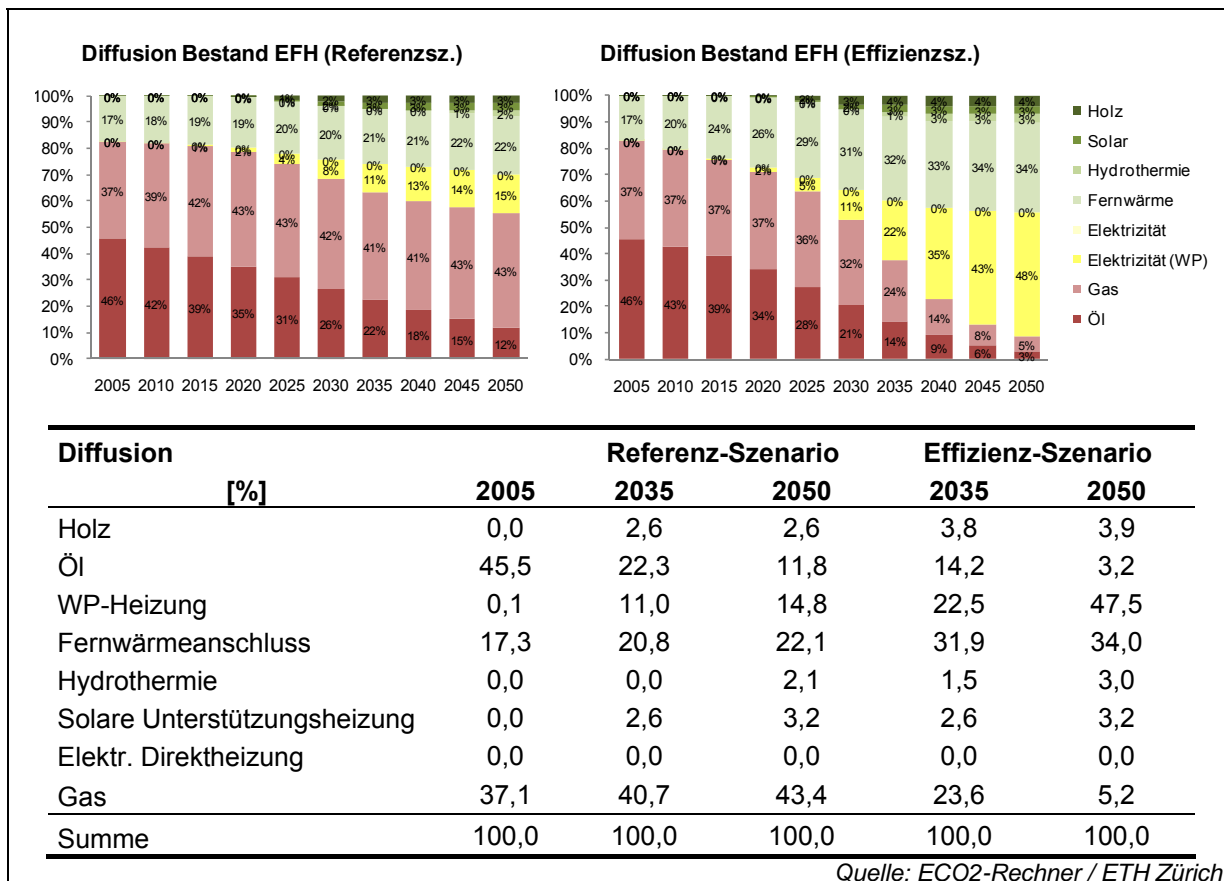


Figur 18 Annahmen zur Marktanteilsentwicklung der Heizwärmeerzeuger bei MFH-Neubauten

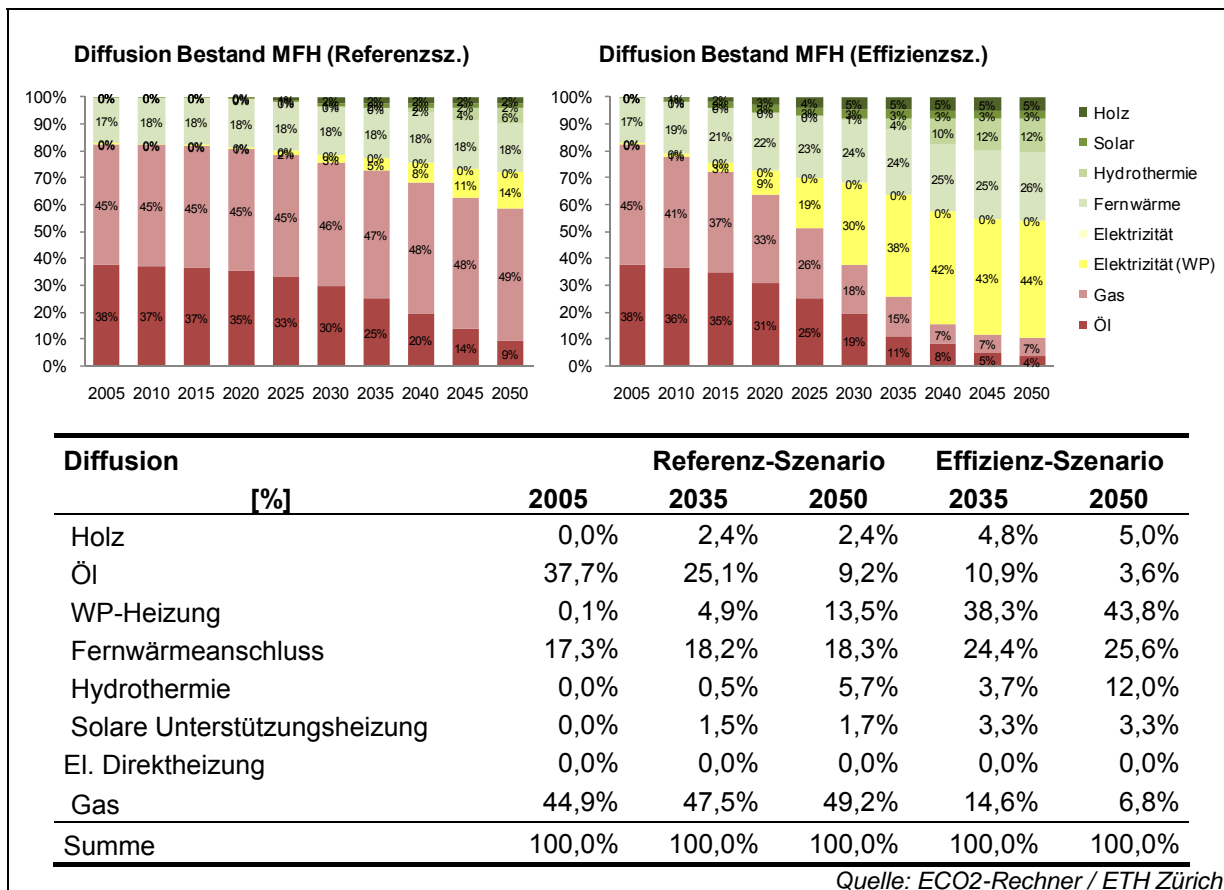
2.2.6 Beheizungsstruktur Gebäudebestand

Bei den Diffusionsraten für den Gebäudebestand handelt es sich um exogen festgelegte Werte, welche ausgehend vom aktuellen Stand über die einzelnen Jahresschritte fortgeschrieben wurden. Als Datengrundlage dienen die Daten des ECO2-Rechners der Stadt Zürich. Die weitere Entwicklung des Gebäudebestandes wird gemäss Annahmen der Autoren und der Begleitgruppe fortgeschrieben.

Bei den EFH wird angenommen, dass die Wärmepumpe bereits im Referenz-Szenario zunehmend an Bedeutung gewinnt und im Effizienz-Szenario einen wichtigen Marktanteil von immerhin knapp 50% erreichen wird (Figur 19). Im Gegensatz zur Gesamtschweiz haben die Elektrodirektheizungen in der Stadt Zürich keine nennenswerte Bedeutung.



Figur 19 Diffusion der Heizwärmeerzeuger bei EFH-Bestandsbauten (Mittelwert zum jeweiligen Zeitpunkt)

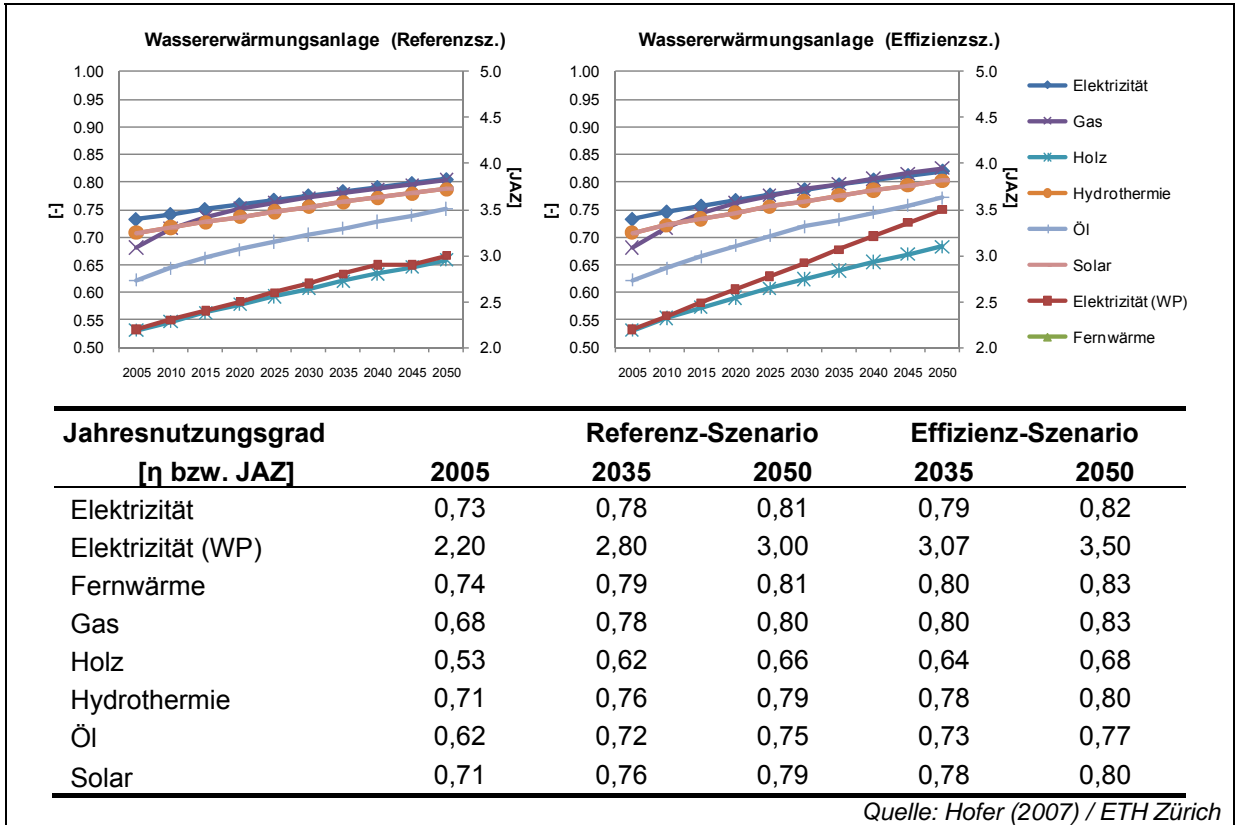


Figur 20 Diffusion der Heizwärmeerzeuger bei MFH-Bestandsbauten (Mittelwert zum jeweiligen Zeitpunkt)

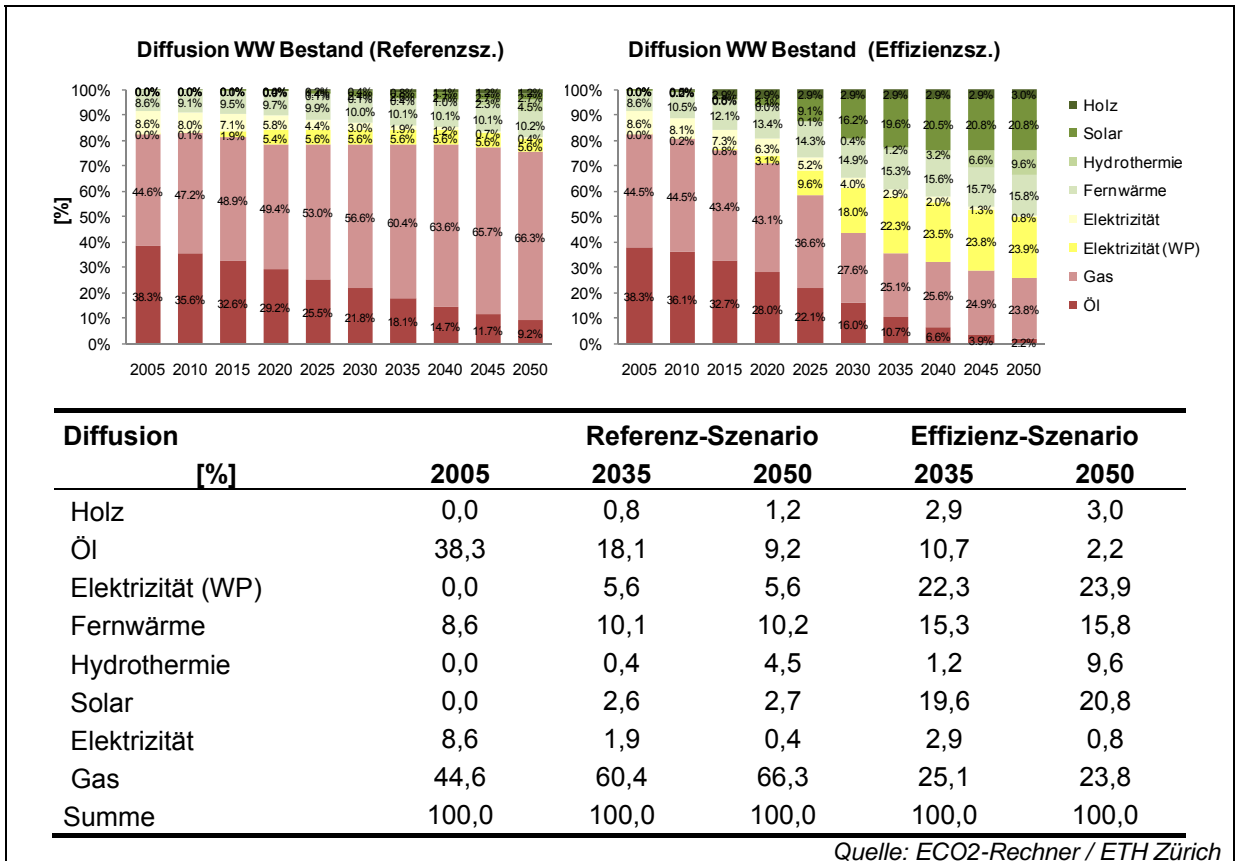
2.3 Warmwasser

Das Modul für Warmwasser berechnet die Energienachfrage aufgrund des Warmwasserbedarfs pro Person und des Nutzungsgrads für die Wärmeerzeugung und Warmwasserverteilung. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich einerseits die benötigte Wärmeenergie durch Massnahmen wie z.B. Wärmedämmung, verbesserte Produkte (z.B. Speicher mit VIP), wassersparende Armaturen, etc. reduzieren wird und sich andererseits die Speicher- und Verteilverluste durch eine geringere Temperatur des bereitgestellten Warmwassers in Zukunft reduzieren lassen. Letztere ermöglichen auch höhere JNG bei Wärmepumpen. Die angenommenen Jahresnutzungsgrade unterscheiden sich zwischen dem Referenz- und dem Effizienz-Szenario dennoch nur geringfügig (Figur 21).

Die Diffusionsraten orientieren sich an den Annahmen des ECO2-Rechners, nur dass zusätzlich die Kategorie Hydrothermie eingeführt wurde. Während im Referenzszenario vermehrt gasgefeuerte Systeme den Markt durchdringen, geht das Effizienz-Szenario davon aus, dass sich besonders Wärmepumpen und Solarenergie bei Warmwassererwärmung durchsetzen werden (Figur 22). Zudem gewinnen Fernwärme und Hydrothermie an Bedeutung. Nach MuKE 2008 Art. 1.14 (EnDK 2008) sind Elektroheizungen für die Brauchwarmwassererwärmung nur zulässig, wenn dieses entweder „während der Heizperiode mit dem Wärmeerzeuger für Raumheizung erwärmt oder vorgewärmt wird oder [...] primär mittels erneuerbaren Energien oder nicht anders nutzbarer Abwärme erwärmt wird.“ Da im Effizienz-Szenario vermehrt Solarenergie zur Wassererwärmung eingesetzt wird, wird auch hier angenommen, dass Elektrizität selbst im Effizienz-Szenario als ergänzendes System v.a. im Gebäudebestand nicht restlos vom Markt verschwinden wird.



Figur 21 Jahresnutzungsgrade der Wassererwärmungsanlagen



Figur 22 Diffusionsraten der Wasserwärmearnenlagen

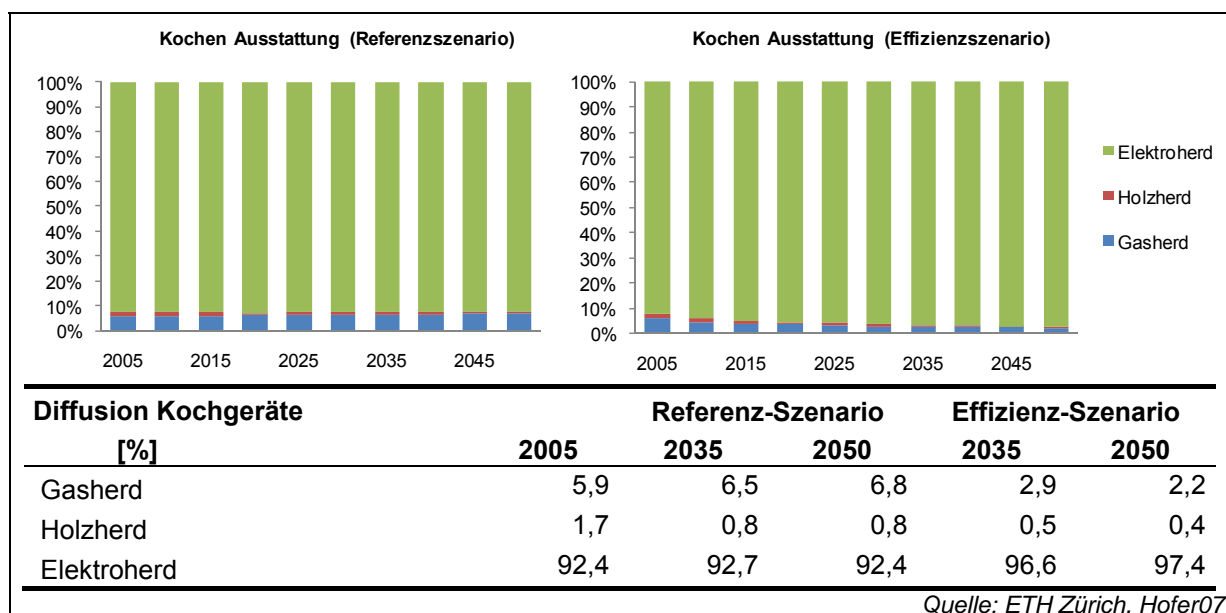
2.4 Übrige Verwendungszwecke

2.4.1 Elektrizität

Für dieses Projekt wurde kein eigenes Stromnachfragemodell erstellt und die Ergebnisse des Energienavigators bzw. des ECO2-Rechners verwendet. Einzig die Stromnachfrage der Beleuchtung, Lüftungssysteme und des Kochens werden separat gerechnet und vom Ergebnis des ECO2-Rechners abgezogen.

2.4.2 Kochen Ausstattung der Haushalte

Die Ausstattung der Haushalte zum Kochen wird sich voraussichtlich auch zukünftig nicht massgeblich verändern. In den beiden Szenarien divergiert hauptsächlich das Verhältnis zwischen Gas- und Elektroherd, wobei der Elektroherd eindeutig das Gesamtbild dominiert. Im Effizienz-Szenario wird davon ausgegangen, dass der Anteil an Gasherden, zulasten von Holz- und Elektroherden, steigen wird und die Effizienz aller drei Systeme sich stark verbessert.



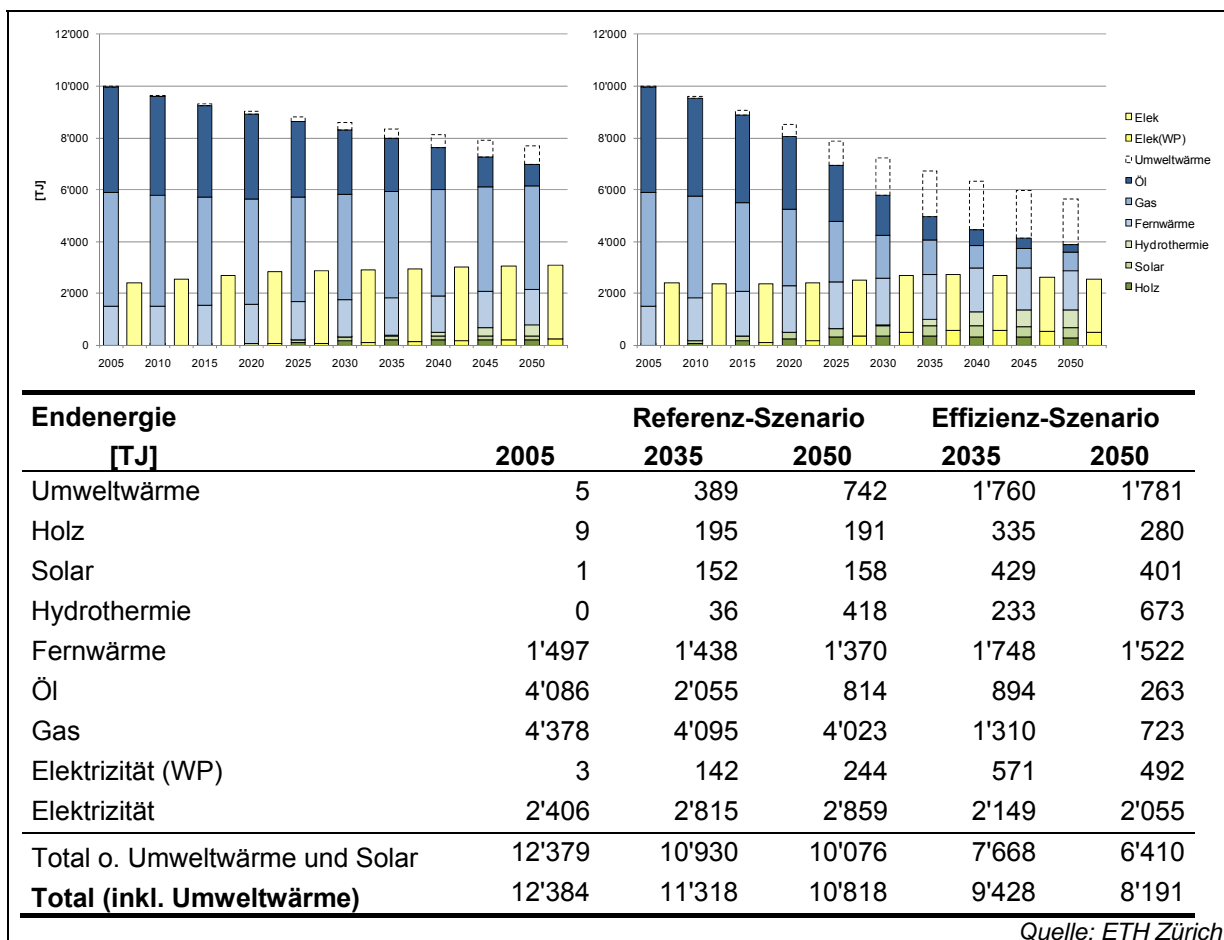
Figur 23 Diffusion der Kochgeräte

3. Ergebnisse Wohngebäude

3.1 Endenergie

Die Gesamtendenergienachfrage der Wohngebäude sinkt bis 2050 von 12,4 PJ (2005) um nur rund 13% im Referenz-Szenario (10,8 PJ) und sinkt im Effizienz-Szenario um immerhin 48% bzw. 34% auf 6,4 PJ bzw. 8,2 PJ (ohne bzw. mit Umweltwärme). Dabei wird eine deutlich höhere Abnahme der Diffusion der fossilen Heizenergieträger Öl und Erdgas erwartet. Erdgas als der bedeutendere davon wird im EffizienzszENARIO bereits vor dem Jahr 2035 von der Elektrizität als massgeblichen Faktor der Gesamtenergienachfrage abgelöst. Zu einem massgeblichen Teil handelt es sich hierbei nicht direkt um gebäudebezogene Stromnachfrage, sondern solche von Haushalt- und IKT-Geräten.

Des Weiteren wird in beiden Szenarien von einer deutlichen Zunahme der Bedeutung von Fernwärme sowie Wärmepumpenstrom zur Deckung der Endenergienachfrage der Wohngebäude ausgegangen. Figur 24 stellt die Elektrizität (gelbe Balken) getrennt von den übrigen Endenergieträgern dar. Diese Darstellungsform trägt einerseits der unterschiedlichen Wertigkeit von elektrischer und thermischer Energie Rechnung und erlaubt zudem Rückschlüsse auf die Entwicklung der Wärmeerzeugung allgemein und den Stellenwert der Elektrizität am gesamten Endenergiebedarf.

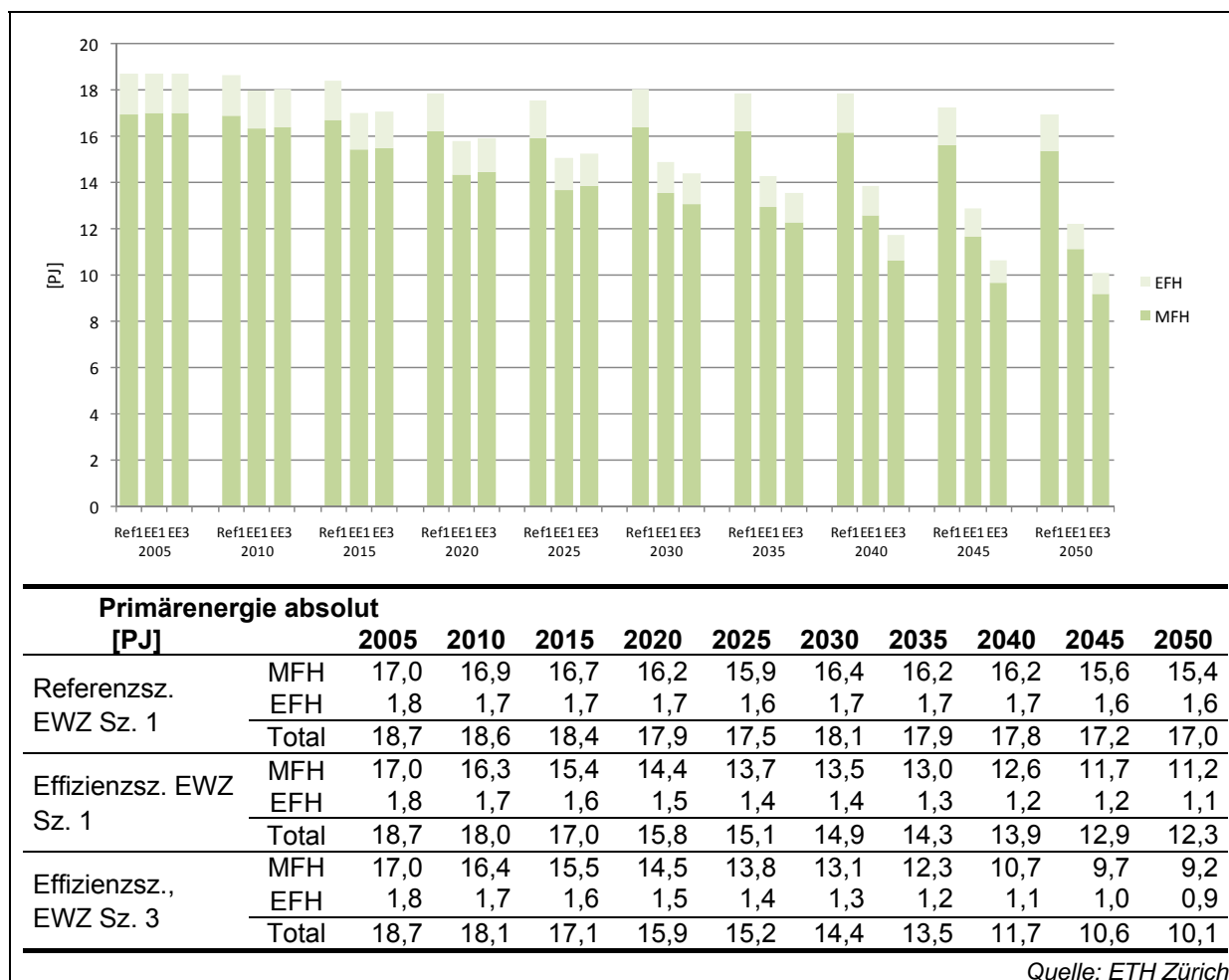


Figur 24 Endenergienachfrage der Wohngebäude für alle Anwendungen nach Endenergieträgern [PJ]

3.2 Primärenergienachfrage und Treibhausgas-Emissionen

3.2.1 Primärenergie nach Gebäudetyp

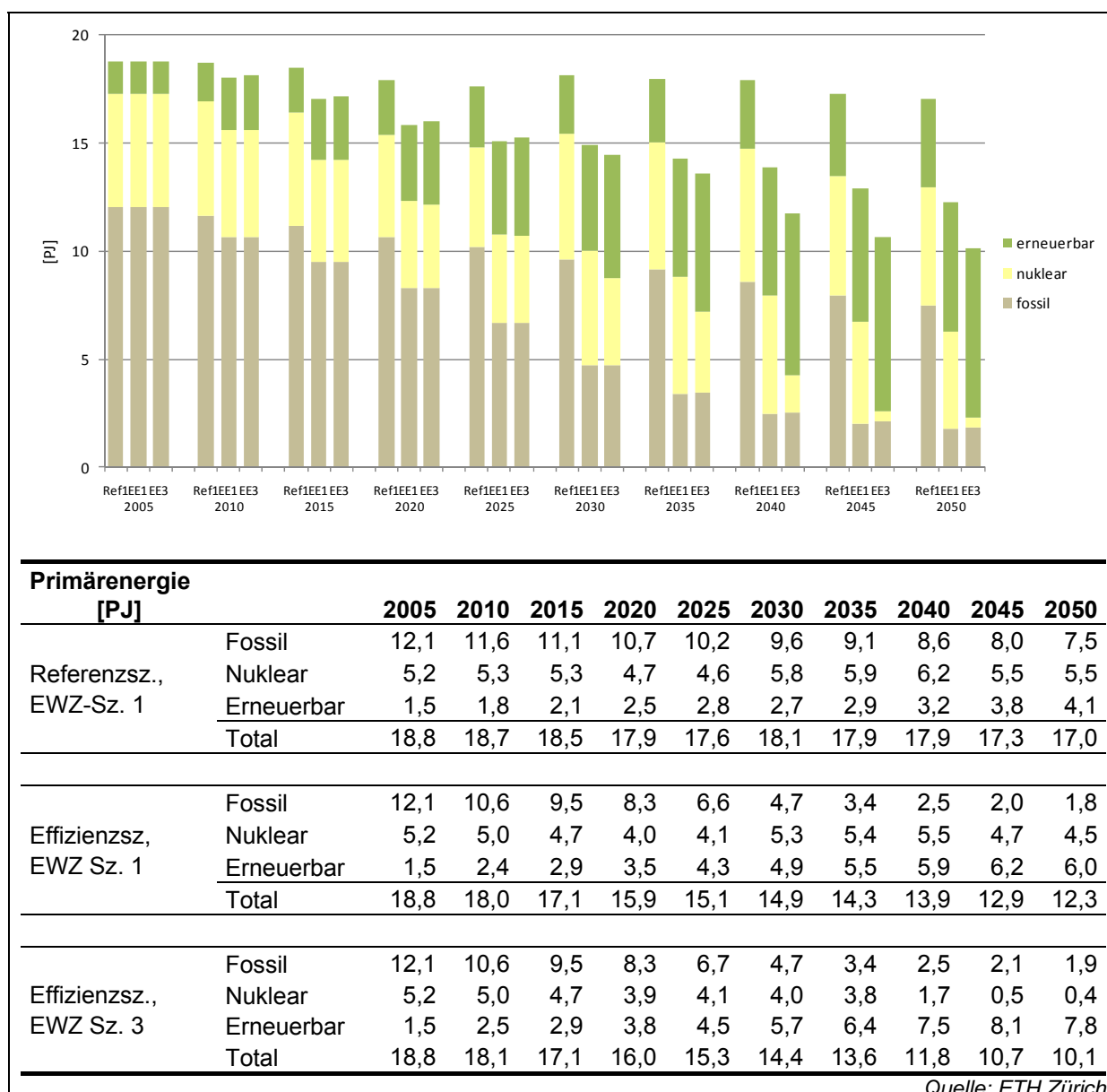
Wie eingangs in Kapitel 1.3 beschrieben, wird bei der Primärenergienachfrage zwischen verschiedenen Energieerzeugerparcs unterscheiden. Aus diesem Grund werden für das (Energie-) Effizienzscenario zwei unterschiedliche Ergebnisse ausgegeben. Es handelt sich bei der Elektrizität um die EWZ-Szenarien 1 „Weiter wie bisher“ und 3 „Geothermie“. Bei der Fernwärme wurde das Trendszenario und das 2000-Watt-Szenario (in leicht modifizierter Form) aus dem ECO2-Rechner verwendet (vgl. auch Anhang A – Treibhausgaskoeffizienten und Primärenergiefaktoren für Elektrizität und Fernwärme, S. 121). Das Referenzscenario wird ausschliesslich in Zusammenhang mit den jeweils erstgenannten Erzeugersystem-Szenarios betrachtet. Es wird in den folgenden Figuren mit „Ref1“ und die Effizienzscenarios werden mit „EE1“ und „EE3“ abgekürzt. In Figur 25 ist die totale Primärenergienachfrage für die Wohngebäude ausgewiesen. Im Gegensatz zum Gebäudeparkmodell Schweiz, wo der Primärenergieverbrauch in den kommenden Jahren zunächst weiter ansteigt, nimmt die Nachfrage des Züricher Gebäudeparks annahmengenässig bereits im Referenzscenario um 9% bis 2050 ab. Eine Reduzierung um bis zu 46% kann mit dem Effizienz-Szenario, in Kombination mit dem EWZ-Stromscenario 3, erreicht werden. Das stärker Nuklearstrom-basierte EWZ-Stromscenario 1 erscheint weniger effizient und reduziert die Primärenergienachfrage gegenüber 2005 lediglich um 34%.



Figur 25 Absolute Primärenergienachfrage der Wohngebäude [PJ]

3.2.2 Totale Primärenergie nach Art der Primärenergieträger

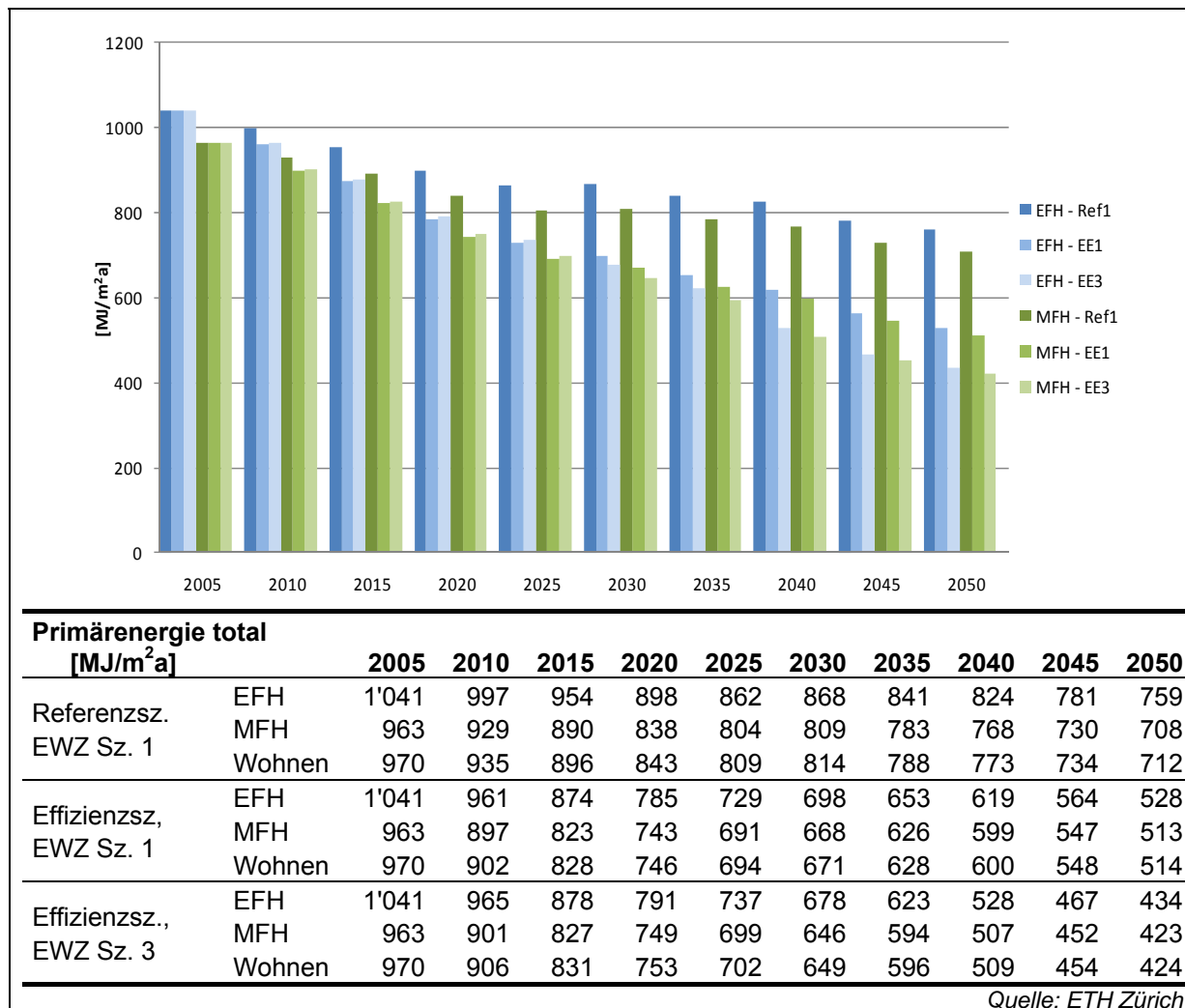
In den nachfolgenden Figuren ist die Primärenergienachfrage nach Art des Primärenergieträgers in fossil, nuklear und erneuerbar für alle drei Szenarien differenziert ausgewiesen. Es reduziert sich bei allen drei Szenarien der Anteil fossiler Energieträger: im Szenario Ref1 um rd. 38% und in den Szenarien EE1 und EE3 sogar um ca. 85%. Der Anteil an nuklearer Primärenergie nimmt im Referenz-Szenario um 5% ab, während die Effizienz-szenarien EE1 und EE3 14% bzw. 92% abnehmen. Die starke Abnahme ist eine direkte Konsequenz des stark sinkenden Anteils an Nuklearstrom im Mix des EWZ-Szenarios 3 (vgl. Kapitel 8). Die durch den geringeren nuklearen Strombezug entstehende Lücke wird durch einen höheren Anteil erneuerbarer Energien kompensiert und dies bei einer geringeren absoluten Primärenergienachfrage. Es ist zu betonen, dass im EWZ-Szenario 3 von Boese et al (2008) eine leichte Reduzierung der Elektrizitätsnachfrage unterstellt ist (EE3, vgl. Anhang 8.1), was aus Konsistenzgründen nur in Kombination mit einem Effizienz-Szenario denkbar ist (im konkreten Fall ist der relative Rückgang der Stromnachfrage im hier modellierten Effizienz-Szenario etwas stärker als bei Boese et al. (2008)).



Figur 26 Absoluter Primärenergiebedarf der Wohngebäude nach Art der Primärenergieträger [PJ]

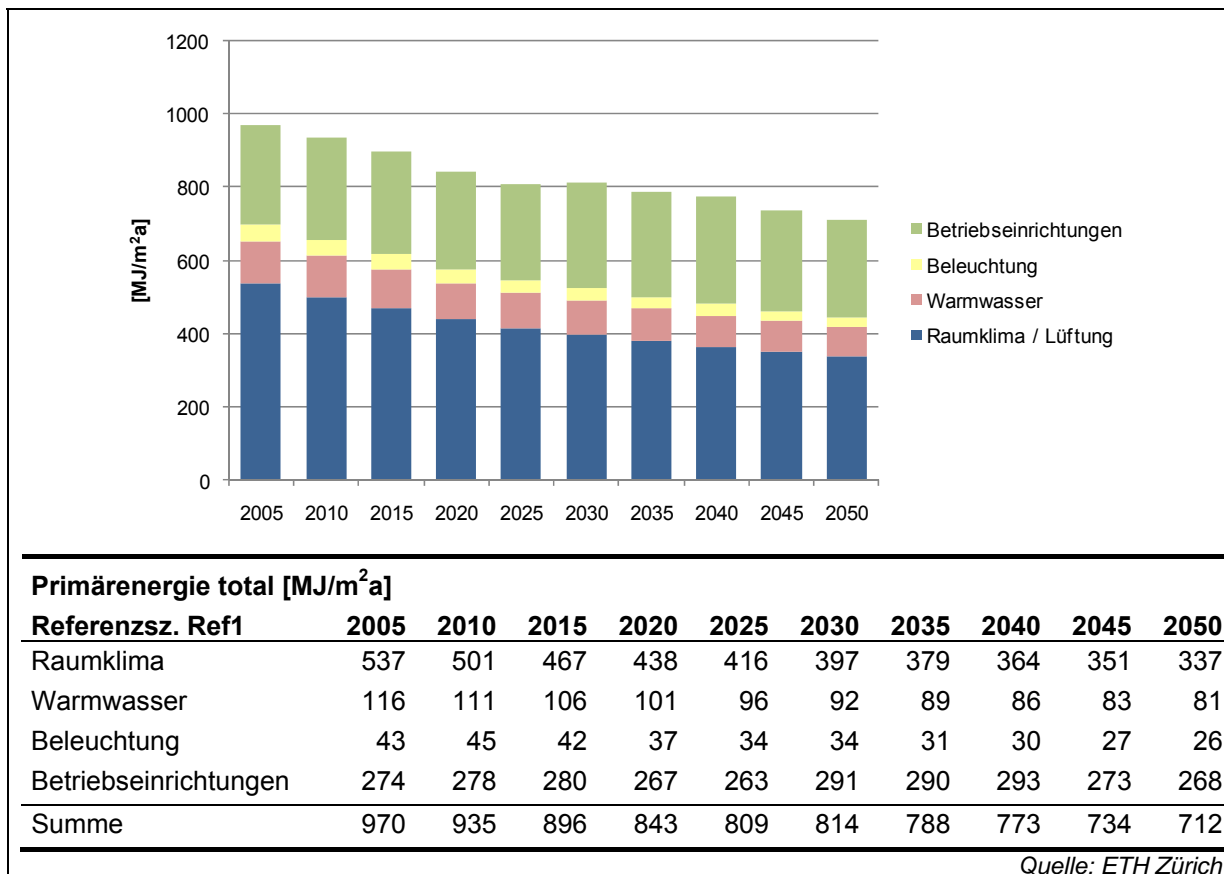
3.2.3 Flächenspezifische Primärenergie nach Gebäudetyp und Verwendungszwecken

In allen drei Szenarien der mittleren spezifischen Primärenergienachfrage (totale Primärenergie) ist eine deutliche Abnahme zwischen 2005 und 2050 festzustellen, wobei die Reduktionspotentiale bei den beiden Effizienzszenarioszenarien -47% (EWZ-Sz. 1) bzw. -56% (EWZ-Sz. 3) ausmachen (Figur 27).



Figur 27 Mittlerer spezifischer Bedarf totale Primärenergie nach Gebäudenutzung und Szenario [MJ/m²a]

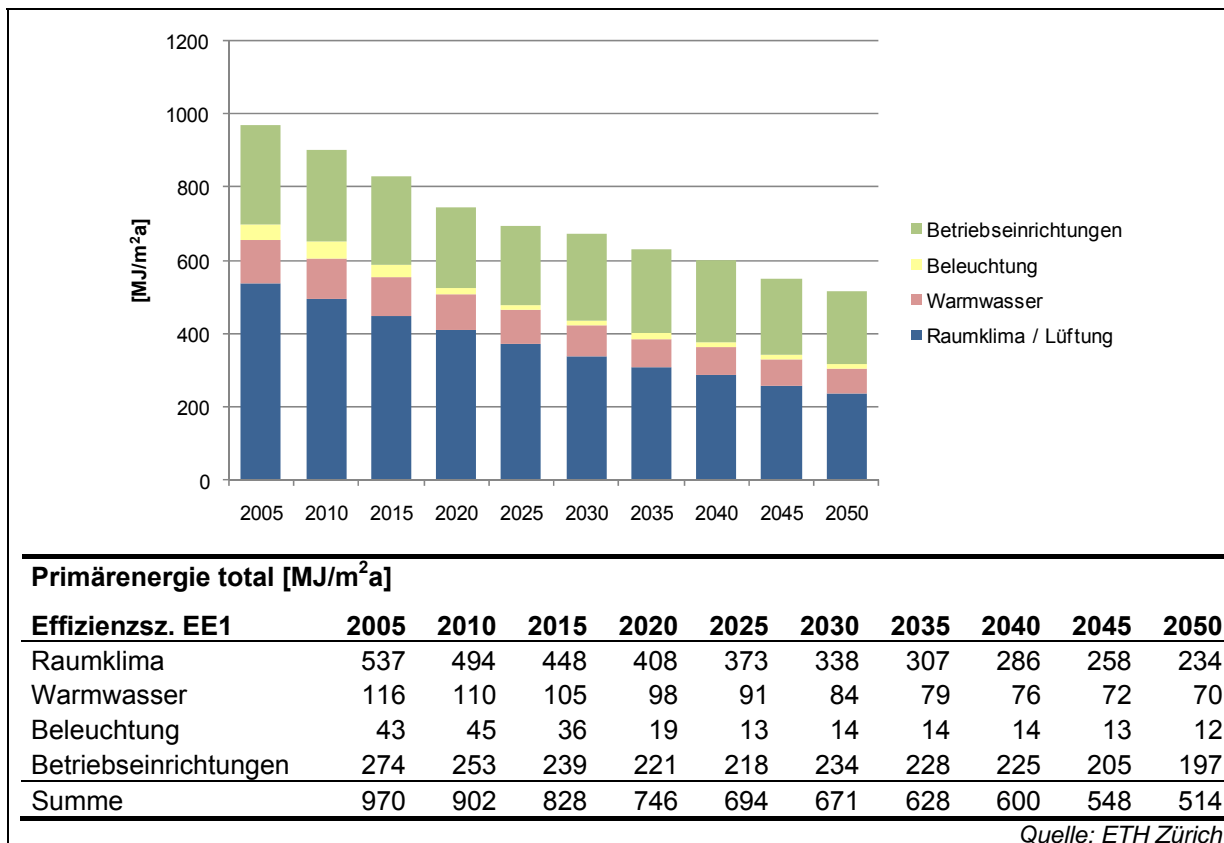
Figur 28 bis Figur 30 ist zu entnehmen, wie sich dieser Primärenergiebedarf auf die Verwendungszwecke verteilt. Die Raumheizung ist die dominierende Grösse in allen drei Szenarien, gefolgt von den Betriebseinrichtungen und dem Warmwasser. Im Referenz-Szenario (Figur 28) sind Einsparungen insbesondere beim „Raumklima“ (-37%) und der „Beleuchtung“ (-40%) bis 2050 möglich. Auch absolut gesehen liegt das grösste Effizienzpotential mit -200 MJ/m²a bei der Raumwärme.



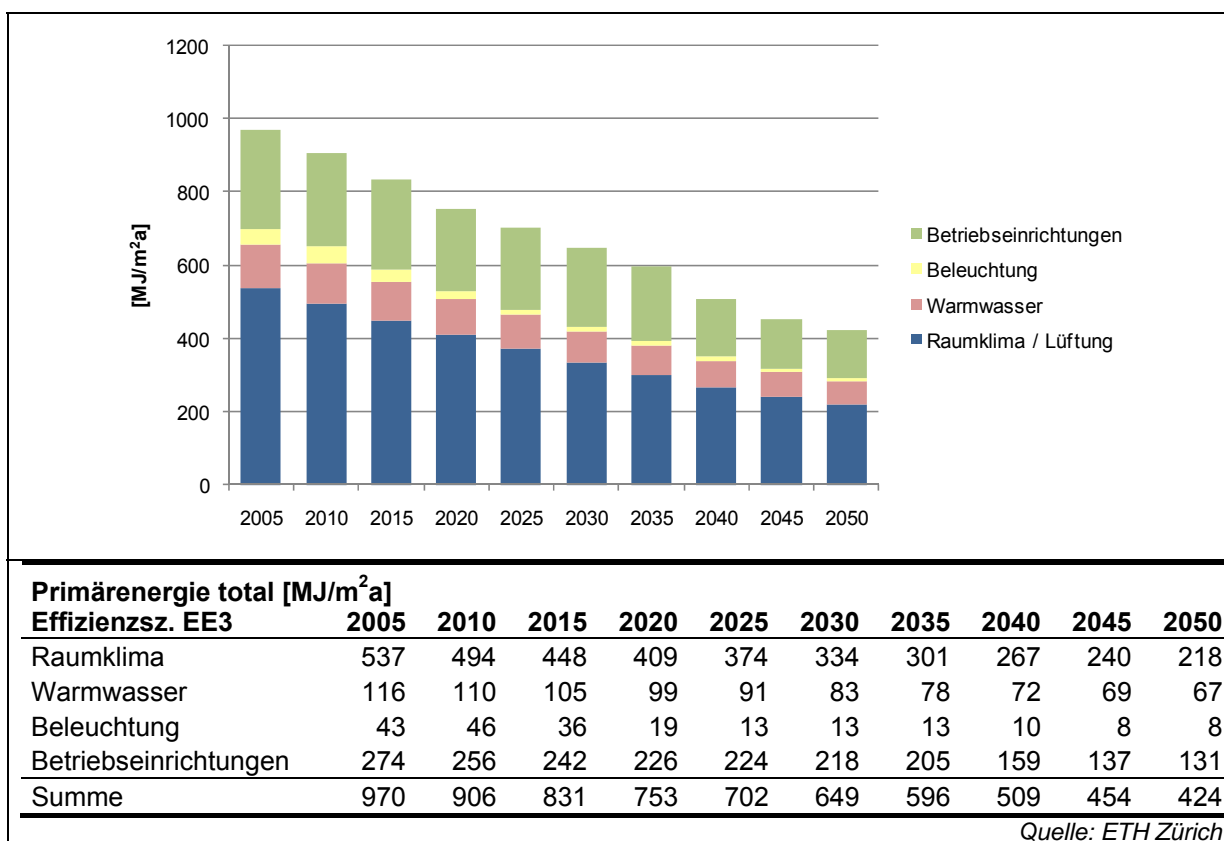
Figur 28 Totale Primärenergie nach Verwendungszweck – Referenz-Szenario (Primärenergiefaktoren für Elektrizität gemäss EWZ-Szenario 1)

Im Effizienz-Szenario in Kombination mit dem EWZ-Stromszenario 1 sinkt der Bedarf noch deutlicher ab. Der Bereich der Raumwärme allein trägt mit rund -300 MJ/m²a zwei Drittel der möglichen Einsparungen bei.

In Figur 30 (EffizienzszENARIO in Kombination mit EWZ-Szenario 3) gehen vor allem die strombasierten Anwendungen noch stärker zurück als in Figur 29. Insgesamt kann der flächenspezifische Verbrauch an Primärenergie um 56% reduziert werden.



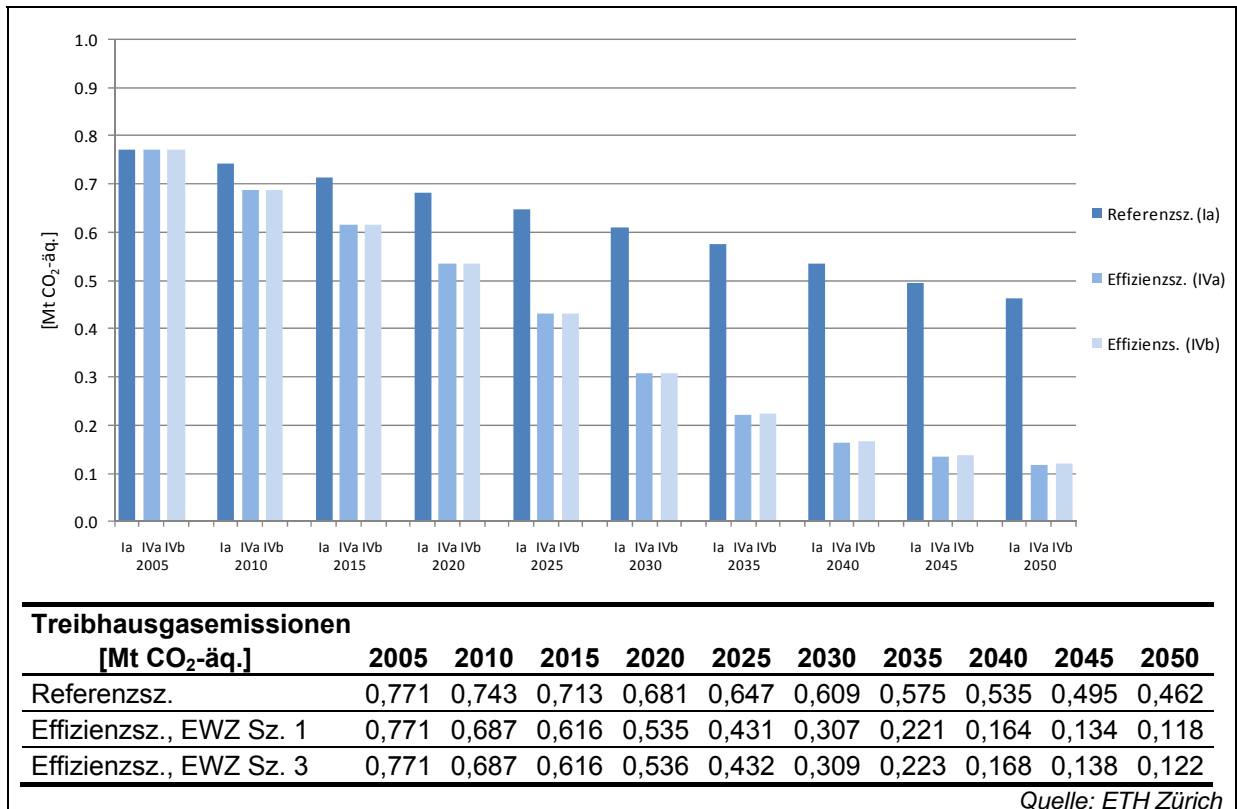
Figur 29 Totale Primärenergie nach Verwendungszweck – Effizienz-Szenario (Primärenergiefaktoren für Elektrizität gemäss EWZ-Szenario 1)



Figur 30 Totale Primärenergie nach Verwendungszweck – Effizienz-Szenario (Primärenergiefaktoren für Elektrizität gemäss EWZ-Szenario 3)

3.2.4 Totale Treibhausgasemissionen

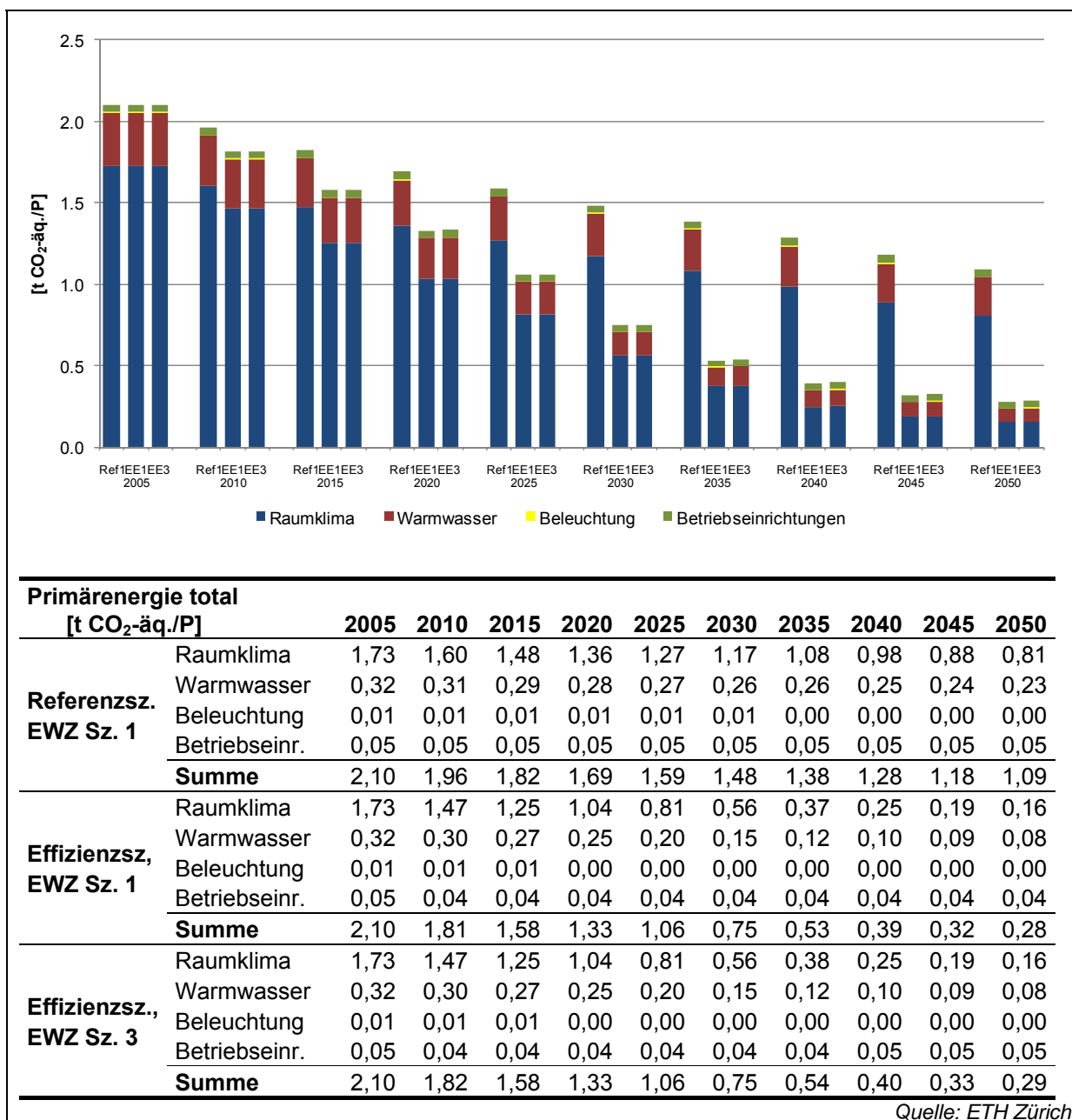
Die Treibhausgasemissionen der Wohngebäude können total, je nach Szenario des Strommixes, von heute 0,77 Mt CO₂-Äquivalente im Referenz-Szenario auf rd. 0,12 Mt (-85%) im Szenario EE1 und EE3 gesenkt werden. Im Referenzszenario Ref1 gelingt dies nur um -40% auf 0,46 Mt CO₂-äq.



Figur 31 Absolute Treibhausgasemissionen der Wohngebäude [Mt CO₂-äq.]

3.2.5 Totale Treibhausgasemissionen nach Verwendungszwecken

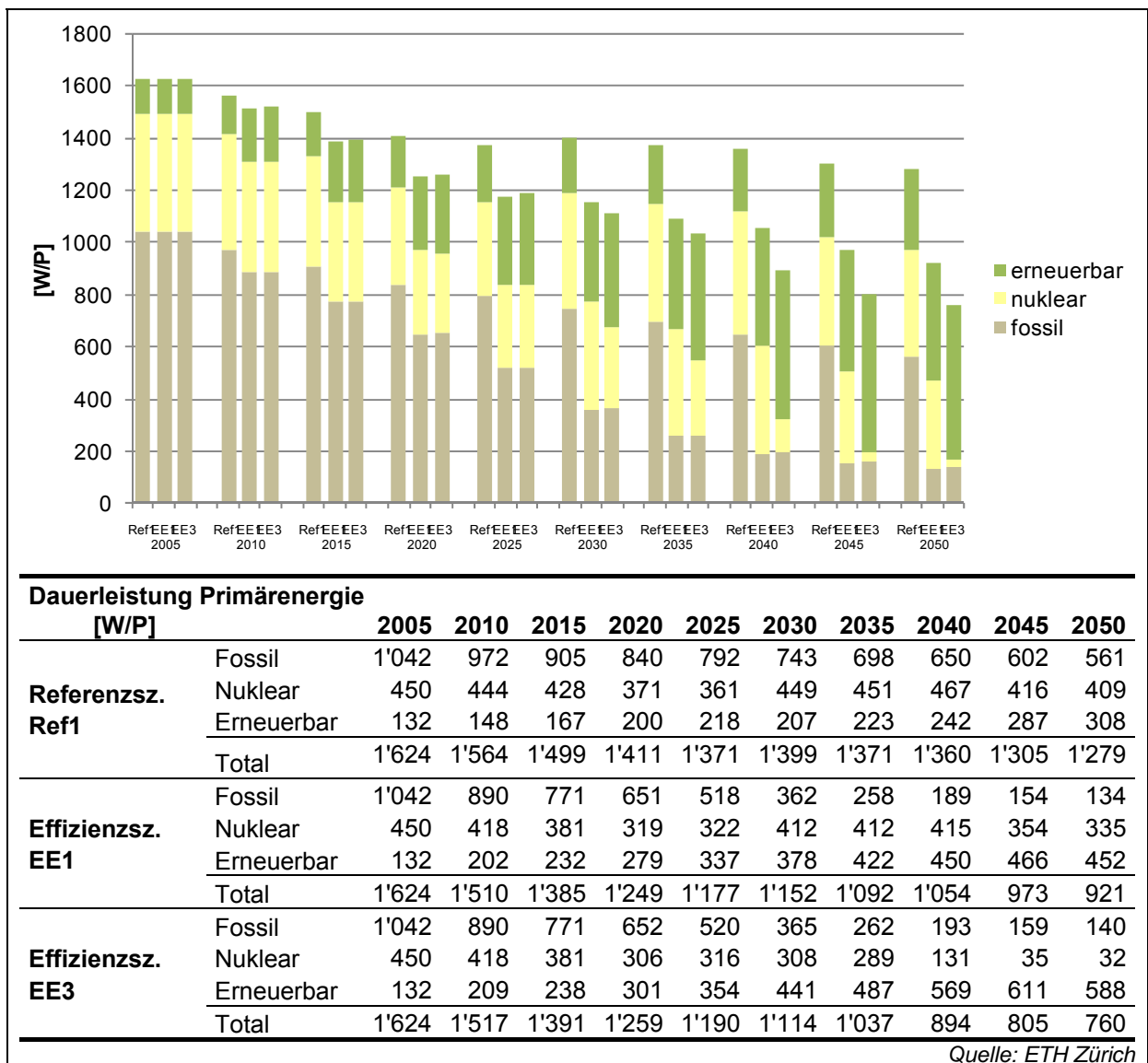
Der grösste Anteil an den totalen Treibhausgasemissionen entfällt im Jahr 2050 auf die Kategorie Raumklima mit 72% (Referenzsz. Ref1, Figur 32) bzw. 50% (Effizienzsz. EE3, Figur 32). Die Warmwasserversorgung folgt mit grossem Abstand als zweitwichtigster Verwendungszweck (23% bzw. 31%). Die dabei mögliche Reduktion ist beachtlich, wenn man den Endenergiebedarf dem THG-Ausstoss für die Warmwasserzeugung gegenüberstellt: Das EffizienzszENARIO erreicht gegenüber dem Referenzszenario eine Reduktion von 18% an Endenergie, während die THG-Emissionen um 75% abnehmen.



Figur 32 Personenspezifische Treibhausgasemissionen nach Verwendungszweck (Alle Szenarien)

3.3 Totaler Betriebsenergiebedarf pro Person

Figur 33 zeigt den Betriebsenergiebedarf (in Primärenergie total) der Wohngebäude für alle drei Szenarien auf. Der Startwert von rd. 1'624 W/P kann bis zum Jahr 2050 auf 760 W/P im Effizienz-Szenario EE3 gesenkt werden und liegt damit rund 41% niedriger als für das Referenz-Szenario 2050 angenommen wird (1'279 W/P).



Figur 33 Dauerleistung der Wohngebäude nach Art der Primärenergieträger und pro Person [W/P]

3.4 Sensitivitätsanalyse der Annahmen für Wohngebäude

Der grundlegende Treiber im Wohngebäudebereich ist die Energiebezugsfläche, die im Total laut ECO2-Rechner bis zum Jahr 2035 um knapp 18% zunimmt; dies als Folge des Zuwachses der Bevölkerung sowie der Wohnflächennachfrage pro Kopf. Der Zuwachs verflacht zwar zunehmend, aber auch bis 2050 ist gemäss dem ECO2-Rechner ein weiterer Anstieg zu erwarten (+23% im Vergleich zu 2005).

Auf Anfrage des Auftraggebers wurden zwei Sensitivitäten für das Gebäudeparkmodell der Stadt Zürich untersucht. Sensitivität 1 (S1) betrachtet den Effekt der Gebäudehüllenerneuerung. Zu diesem Zweck wird das SIA 380/1 Berechnungsmodul des Effizienzzenarios auf das Referenzzenario angewendet. Das bedeutet, es werden ausschliesslich die folgenden Annahmen des Effizienzzenarios übernommen:

- Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte),
- Rate Bauteilerneuerung und
- Diffusion Lüftungsgeräte bzw. Wärmerückgewinnung.

Sensitivität 2 (S2) soll die Auswirkungen der Energieerzeugerstruktur auf den Energiebedarf und die THG-Emissionen untersuchen. In diesem Fall werden alle Annahmen des Referenzzenarios verwendet (inkl. Strommix), ausser:

- Diffusion Wärmeerzeuger für Warmwasser und Raumwärme
- Systemnutzungsgrad der Wärmeerzeuger für Warmwasser und Raumwärme
- Zusammensetzung der Wärmeerzeuger für Fernwärme

Diese Werte werden aus dem Effizienzzenario übernommen.

Tabelle 5 Ergebnisse aus der Sensitivitätsanalyse

Szenario	Kategorie	Einheit	2005	2035	2050	2050 / 2005	ggü. Ref1	∑ S1 & S2
Referenzsz. Ref1	Endenergie	PJ	12,4	11,3	10,8	87,4%	0,0%	
	PE(tot)	PJ	18,7	17,9	17,0	90,7%	0,0%	
	THG	Mt CO ₂ -äq.	0,77	0,58	0,46	60,0%	0,0%	
	PE(tot) p. P.	W/P	1'620	1'369	1'276	78,8%	0,0%	
	THG p. P.	t CO ₂ -äq./P	2,10	1,39	1,10	52,2%	0,0%	
Effizienzsz. EE3	Endenergie	PJ	12,4	9,4	8,2	66,1%	24,3%	16,7%
	PE(tot)	PJ	18,7	13,5	10,1	53,8%	40,7%	16,9%
	THG	Mt CO ₂ -äq.	0,77	0,22	0,12	15,7%	73,9%	86,5%
	PE(tot) p. P.	W/P	1'620	1'034	757	46,7%	40,7%	16,9%
	THG p. P.	t CO ₂ -äq./P	2,10	0,54	0,29	13,6%	73,9%	86,5%
Sensitivität S1 - „Gebäude- hülle“	Endenergie	PJ	12,4	10,4	9,2	74,5%	14,7%	
	PE(tot)	PJ	18,7	16,8	15,0	80,2%	11,5%	
	THG	Mt CO ₂ -äq.	0,77	0,52	0,38	49,1%	18,2%	
	PE(tot) p. P.	W/P	1'620	1'283	1'129	69,7%	11,5%	
	THG p. P.	t CO ₂ -äq./P	2,10	1,25	0,90	42,6%	18,2%	
Sensitivität S2 „Energie- träger“	Endenergie	PJ	12,4	11,0	10,6	85,7%	1,9%	
	PE(tot)	PJ	18,7	17,1	16,1	85,9%	5,4%	
	THG	Mt CO ₂ -äq.	0,77	0,25	0,15	19,1%	68,2%	
	PE(tot) p. P.	W/P	1'620	1'308	1'208	74,6%	5,4%	
	THG p. P.	t CO ₂ -äq./P	2,10	0,60	0,35	16,6%	68,2%	
„2050/2005“:	Veränderung Jahr 2050 gegenüber 2005 im jeweiligen Szenario							
„ggü.Ref1“:	Veränderung des jeweiligen Szenarios im Jahr 2050 gegenüber dem Referenzszenario im Jahr 2050							
„∑ S1 & S2“:	Summe der Effekte aus Sensitivität 1 (S1 – Gebäudehülle) und Sensitivität 2 (S2 – Energieträger)							

Es zeigt sich, dass bei den zugrundeliegenden Annahmen die Gebäudehüllenerneuerung (S1) in Bezug auf den End- und Primärenergiebedarf das effektivere Mittel ist. So lassen sich

allein mit den im Effizienzscenario zugrunde gelegten Erneuerungsmassnahmen (trotz Flächenwachstum) bis 2050 ca. 25% Endenergie und 20% Primärenergie einsparen. Auch der THG-Ausstoss geht absolut um mehr als die Hälfte zurück. Das entspricht einer 18% stärkeren Reduktion als im Referenzscenario.

Die zweite Sensitivität (S2), welche die Energieerzeuger betrachtet, reduziert weniger die End- oder Primärenergienachfrage (-14% und -14%), sondern hat vor allem einen Einfluss auf die Abnahme der THG-Emissionen. Diese werden absolut um 80% und pro Person um 83% auf 0,35 t/P im Jahr 2050 reduziert. Das entspricht nahezu der Wirkung des Effizienzscenarios EE3 (-84% und -86%)⁷.

Faktisch entspricht die Kombination der Massnahmen nahezu dem Effizienzscenario EE1. Daher sind die kumulierten Effekte der beiden Sensitivitäten S1 und S2 nahe dem Effizienzscenario EE1 und haben auch ein höheres THG-Reduktionspotential als das Effizienzscenario EE3 (vgl. äusserste rechte Spalte in Tabelle 5). Die Ursache hierfür ist der deutlich geringere THG-Ausstoss des EWZ Szenarios 1 (vgl. Kapitel 8).

⁷ In den weiteren Diskussionen wird aber noch davon zu sprechen sein, dass auch die Stadt Zürich Bestandteil des nationalen Energienetzes ist. Allfällige städtische Massnahmen sind immer vor diesem Hintergrund zu reflektieren.

4. Annahmen Büro und Schulgebäude

Im Dienstleistungssektor ist die Elektrizität von vergleichbarer Bedeutung wie in den Sektoren Wohnen und Industrie; dies im Gegensatz zur Nachfrage der übrigen Energieträger, bei denen der Wohnsektor eine klar höhere Bedeutung hat. Der Strombedarf des Dienstleistungssektors verdient also a priori ein besonderes Augenmerk, zumal er sich in den vergangenen Jahren besonders dynamisch entwickelt hat. Er setzt sich aus gebäudebezogenen Energieanwendungen (Gebäudetechnik im weitesten Sinn und Energiedienstleistungen in Gebäuden) und weiteren Nachfragesegmenten ausserhalb von Gebäuden zusammen. Zu letzteren gehören Infrastrukturbereiche wie Strassenbeleuchtung, Tunnelbelüftung, Abwasserreinigung etc. Diese werden nachfolgend nicht weiter betrachtet.

4.1 Modellansatz und Abgrenzung

Das eingesetzte TEP Modell verfolgt in vielen Bereichen im Grundsatz einen ähnlichen Ansatz wie das Modell, das für die BFE-Energieperspektiven verwendet wurde (Aebischer et al. 2007). Das TEP Modell verfügt jedoch über eine vereinfachte und gleichzeitig auch transparentere Struktur. Es unterscheidet zum einen zwischen verschiedenen Wirtschaftsbranchen und dafür typischen Gebäuden und zum anderen zwischen verschiedenen Energiedienstleistungen (nicht jedoch zwischen homogenen Gruppen und dem abstrakten Technisierungsgrad).

Die Modellierung unterscheidet, ähnlich wie bei den Wohngebäuden, zwischen dem Heizwärmebedarf auf der einen Seite und den übrigen Energiedienstleistungen auf der anderen Seite.

Heizwärmebedarf:

Die Berechnung des Heizwärmebedarfs erfolgt mittels eines bauteilorientierten Kohortenansatzes, analog zu demjenigen der Wohngebäude (siehe Kap. 1.5). Über Annahmen zu Neubauten, Erneuerungsraten und energie- und gebäudetechnische Kennwerte (U-Werte, g-Werte, Luftwechselraten etc.) wird die Entwicklung des spezifischen Heizwärmebedarfs gemäss SIA 380/1: 2009 berechnet und fortgeschrieben (siehe Kap. 1.5 sowie die nachfolgende Beschreibung der Annahmen). Die Entwicklung der Energieträger, welche den so berechneten Heizwärmebedarf decken, wurde für den Gebäudebestand und die Neubauten separat festgelegt.

Warmwasser:

Die Fortschreibung des spezifischen Warmwasserbedarfs sowie die Energieträgerstruktur zu dessen Deckung wurden pro Gebäudetyp separat vorgenommen.

Übrige Energiedienstleistungen (Verwendungszwecke):

Für die übrigen Energiedienstleistungen, welche im Bereich Büro und Schulen in der Regel mit Elektrizität erbracht werden, wurde auf die Norm SIA 380/4 „Elektrizität im Hochbau“ Bezug genommen. Inhaltlich wird dabei von den in Aebischer (2007) verwendeten Datengrundlagen ausgegangen, welche sich auf die Einteilung der Version von 1995 stützt. So weit als möglich werden die Annahmen gemäss der SIA 416 bzw. des SIA Effizienzpfades Energie kategorisiert.

Wirtschaftsbranchen und Gebäudetypen:

Für das vorliegende Projekt wurden folgende Branchen berücksichtigt, für welche insgesamt 6 Gebäudekategorien definiert werden, nämlich 4 Bürogebäude unterschiedlicher Nutzungsintensität (je nach Wirtschaftsbranche) und 2 Typen von Schulgebäuden (Volk- und Hochschulen) :

- Finanzwesen (Banken/Versicherungen): 2 Bürogebäude (mit bzw. ohne Rechenzentren)
- Handel (Gross- und Detailhandel): Bürogebäude
- Erziehungswesen: Gebäude für Volksschulen sowie für Hochschulen
- Übrige Dienstleistungsbranchen: Bürogebäude

Nicht in die Modellierung einbezogen werden weitere spezifische Gebäudetypen der genannten Branchen sowie das Gastgewerbe inkl. Hotellerie und das Gesundheitswesen (Spitäler, Heime).

Zuordnung zwischen SIA 380/4: 1995 und SIA 380/4: 2006

Im Gebäudebereich werden im Modell TEP Demand DL verschiedene Energieanwendungen unterschieden. Zu beachten ist hierbei, dass die Annahmen zu einem grossen Teil auf den Energieperspektiven beruhen, welche auf die Kennwerten der SIA 380/4: 1995 Bezug nehmen. Zwischen der SIA 380/4: 1995 und der aktuellsten Definition der Verwendungszwecke des SIA (SIA 416/1) besteht folgender Zusammenhang (siehe auch Anhang C):

- Die Arbeitshilfen gemäss SIA 380/4: 1995 sind Bestandteil der Betriebseinrichtungen
- Die „zentralen Dienste“ gemäss SIA 380/4: 1995 sind bei Büro- und Schulgebäuden zu einem grossen Teil ebenfalls Bestandteil der Betriebseinrichtungen. Zu einem geringen Teil sind sie der Rubrik „diverse Gebäudetechnik“ der SIA 416/1 zuzuordnen (Lifte, gebäudetechnische Anlagen wie USV, Schliessanlagen, Gebäudemanagement)

Folgend diesen Gegebenheiten wurde die Elektrizitätsnachfrage der zentralen Dienste als Annahme zu 80 % auf die Betriebseinrichtungen und zu 20 % auf die diverse Gebäudetechnik zugeordnet.

Weitere Unterschiede betreffen die Hilfstechik der Raumheizung und des Warmwassers, welche nicht mehr der diversen Gebäudetechnik, sondern der Raumheizung zugeordnet werden. Die übrigen Verwendungszwecke (Beleuchtung, Lüftung / Klima, Warmwasser) sind mehr oder weniger deckungsgleich. Es werden folgende Verwendungszwecke unterschieden:

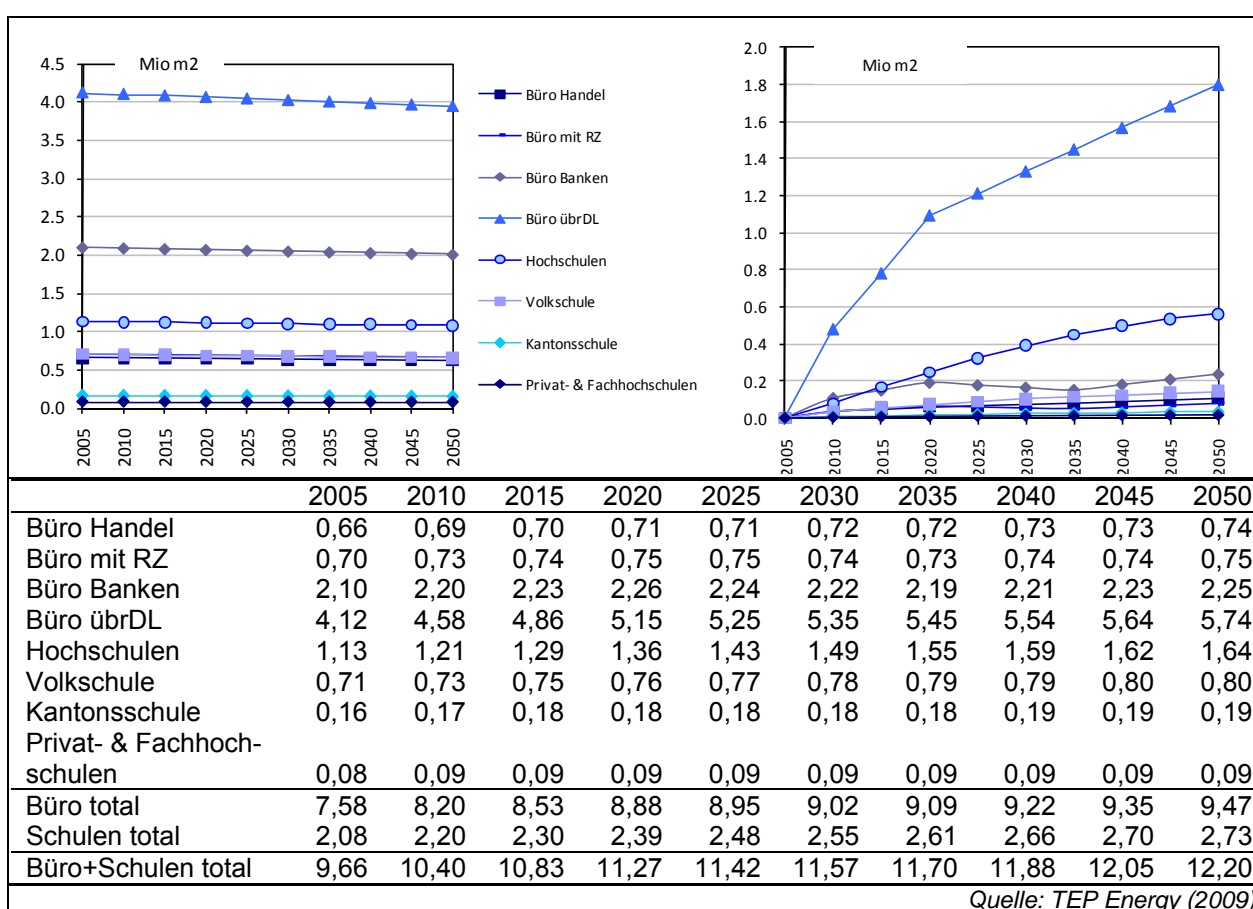
- Beleuchtung
- Klima/Lüftung (inkl. Transport der Luft und/oder des Kälte-trägers)
- Betriebseinrichtungen (beinhalten die Arbeitshilfen gemäss der SIA 380/4: 1995 sowie 80 % der zentralen Dienste gemäss SIA 380/4: 1995)
- Diverse Gebäudetechnik (beinhaltet 20 % der zentralen Dienste gemäss SIA 380/4: 1995)
- Raumheizung (Elektrowärme/WP, Hilfsenergie für Raumheizung, typischerweise Pumpen, Brennergebläse werden separat ausgewiesen)
- Warmwasser

Weitere Details zum Modell werden in Kapitel 1.5 erläutert.

4.2 Energiebezugsfläche (EBF)

Der grundlegende Treiber im Gebäudebereich des Dienstleistungssektors ist die Energiebezugsfläche (EBF). Diese nimmt, je nach Branche in unterschiedlichem Mass, weiter zu. Im Total ist mit einem Ausbau um knapp 17 % bis 2035 zu rechnen; trotz eines nur geringen Zuwachses an Beschäftigten (ECO2-Rechner). Der EBF-Zuwachs verflacht sich zwar zunehmend; aber auch nach 2035 ist gemäss unserer Fortschreibung ein weiterer Anstieg zu erwarten.

In der Finanzbranche (Banken und Versicherungen) werden die Gebäude mit ausgeprägten Rechenzentren (RZ) separat modelliert. Diese machen jedoch nur einen relativ geringen Anteil der Flächen aus (Figur 34). In der Summe aller hier betrachteten Gebäudetypen nimmt die EBF von 9.66 im Jahr 2005 auf 11.27 Mio. m² im Jahr 2035 und auf 11.57 Mio. m² im Jahr 2050 zu (+ 17 % bzw. + 20 %).



Figur 34 Energiebezugsfläche für Altbauten (linke grafische Darstellung) und Neubauten (inkl. Ersatzneubau, rechte grafische Darstellung) sowie für den Gesamtbestand (tabellarisch) (in Mio. m²)

4.3 Diffusionsrate (DR) der Energiedienstleistungen

Nebst den Energiebezugsflächen ist die Diffusion der Energiedienstleistungen bzw. die Ausrüstung der Gebäude und der Räume ein weiterer wichtiger Treiber der Energienachfrage im DL-Sektor. Die Diffusion der diversen Energiedienstleistungen, Betriebseinrichtungen (je nach Branche Computer, Geräte, gewerbliche Kälte, Kochen, Restauration) diverse Gebäudetechnik (z.B. Fahrstühle, Sicherheitsanlage etc.) sowie Komfortkühlung und Lüftung ist stark unterschiedlich je nach Branche und Energieanwendung. Dies gilt nicht nur

für den Ausgangszustand, sondern auch für deren Entwicklung. Für gewisse Anwendungen ist anzunehmen, dass die Diffusion auf dem heutigen Stand konstant bleibt. In anderen Bereichen, z.B. im Bereich der Komfortkühlung und der Lüftung, ist von einer Steigerung der Durchdringung auszugehen.

Es wird davon ausgegangen, dass sich die Diffusionsraten grundsätzlich in beiden Szenarien gleich entwickeln. Mit anderen Worten: die Gebäude werden in beiden Szenarien in gleichem Mass mit Energieanwendungen wie z.B. Lüftungs- oder Kühlanlagen ausgerüstet. Eine Ausnahme bilden Lüftungsanlagen, welche aus Effizienzgründen (Minergie) im Effizienz-Szenario (im Sinne einer Sensitivitätsanalyse) mit einer erhöhten Rate zu Anwendung kommen. Die Diffusionsentwicklungen werden nachfolgend für die verschiedenen Energiedienstleistungen einzeln diskutiert. Bei der Raumwärme wird davon ausgegangen, dass die Diffusion in beiden Szenarien 100% beträgt (und dass die Raumtemperaturen konstant bleiben über den künftigen Zeitablauf).

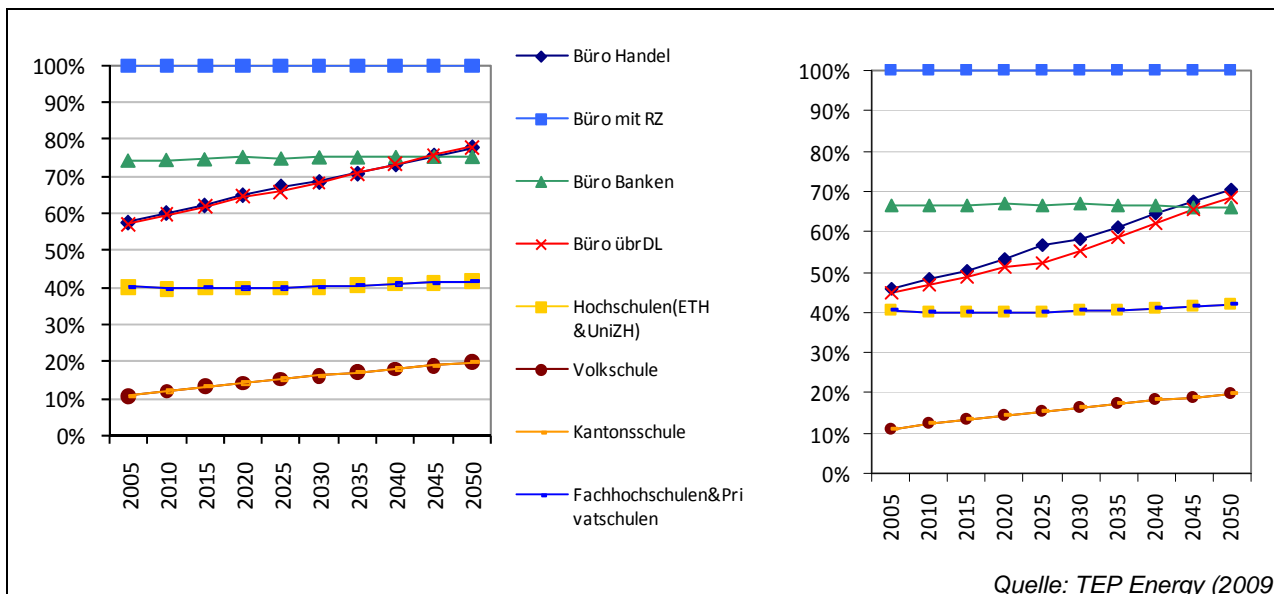
4.3.1 Betriebseinrichtungen

Pro Gebäude bzw. Gebäudeunterkategorie wurden für die Stadt Zürich dieselben Diffusionsraten angewandt wie für die Schweiz als Gesamtes (Wallbaum et al 2009). Unterschiede zwischen der Schweiz und Zürich ergeben sich demzufolge vor allem aus strukturellen Gründen (die relative Bedeutung der Gebäude-Untergruppen gemessen an EBF ist unterschiedlich).

Im Büro- und Schulbereich beinhaltet die Rubrik Betriebseinrichtungen⁸ typischerweise Energieanwendungen des IKT Bereichs, also Computer, Printer und Multifunktionsgeräte und audiovisuelle Geräte (Projektoren, Beamer etc.), aber auch weitere Betriebseinrichtungen wie zum Beispiel Kaffee- und Verpflegungsautomaten.

Der Ausrüstungsgrad der Betriebseinrichtungen variiert stark zwischen den verschiedenen Branchen und Gebäudetypen. Während Volksschulen bisher selten „vollständig“ mit Computern ausgerüstet sind, ist dies im Bürobereich des Finanzsektors weitgehend der Fall. In vielen Branchen ist von einer ansteigenden Diffusion auszugehen. Bei den Diffusionsraten wird im Modell zwischen Gebäudebestand und Neubau unterschieden (Figur 35). Tendenziell sind die Diffusionsraten bei Neubauten höher als im Gebäudebestand, weil es sich bei Neubauten tendenziell um „modernere“ Gebäude handelt, welche Unternehmen anziehen, die oben genannten Betriebseinrichtungen intensiver nutzen und weil die Flächen aus Kostengründen eher intensiver genutzt werden (mehr Gruppen- und Grossraumbüros im Vergleich zum Gebäudebestand).

⁸ Gemäss SIA 416/1: 2007: Betrieb der Geräte, welche der Nutzung der Räume dienen, in denen sie installiert sind, oder welche diesen Räumen zugeordnet werden können (ohne Beleuchtung und Lüftung / Klimatisierung, welche separate Kategorien darstellen).

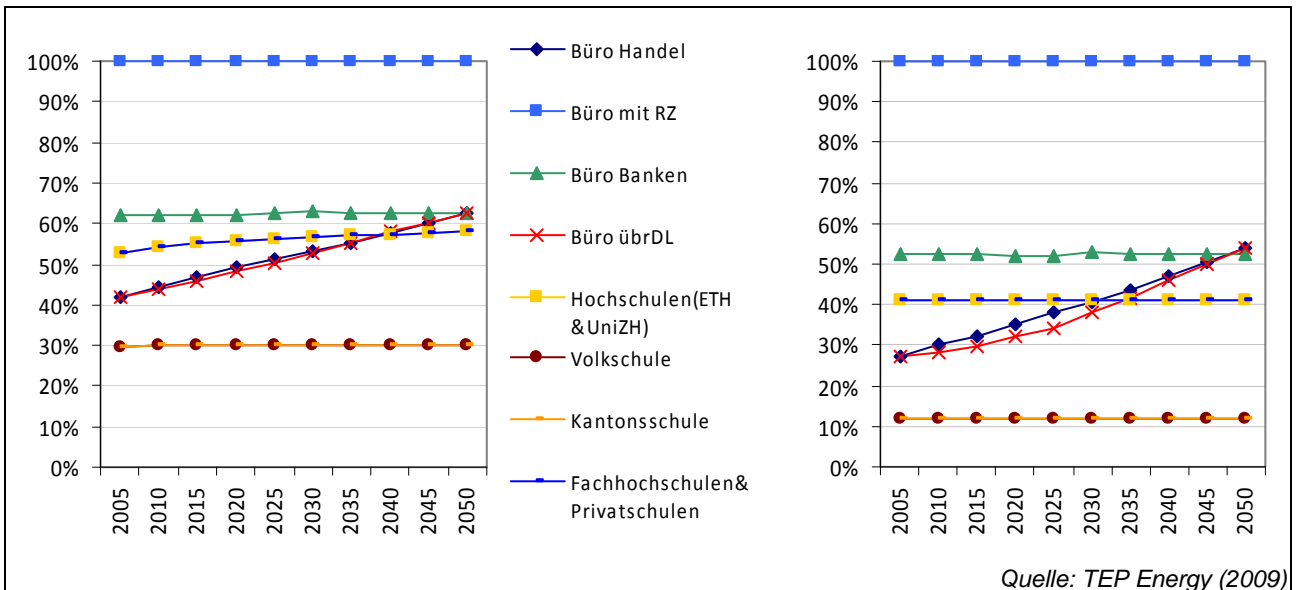


Figur 35 Diffusion der Betriebseinrichtungen in Neubauten (links) und im Altbestand (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.

Die Rubrik „Zentrale Dienste“ (ZD) gemäss der Ausgabe 1995 der SIA Norm 380/4 „Elektrizität im Hochbau“ ist bei den hier betrachteten Gebäuden (Schulen und Bürogebäude) zu einem grossen Teil in die Rubrik „Betriebseinrichtungen“ der SIA 416/1 integriert worden (zentrale EDV, Telefonzentralen etc.). Zum einem geringeren Teil (20% des spezifischen Stromverbrauchs der ZD) sind die Verwendungswicke der Rubrik Diverse Gebäudetechnik gemäss SIA 416/1 zugeordnet worden (USV, Gebäudemanagement etc.).

Im Bereich Bürogebäude und Schulen umfassen die verwendeten Grundlagen der Energieperspektiven (Aebischer et al. 2007) zum einen die zentralen EDV-Anlagen und Telefonzentralen. Zum anderen sind die in die entsprechenden Gebäude integrierten Restaurants und Mensen sowie deren Küchen mit enthalten. Dies in dem Mass, wie es für den Park an Bürogebäuden der betrachteten Wirtschaftsbranchen typisch ist.

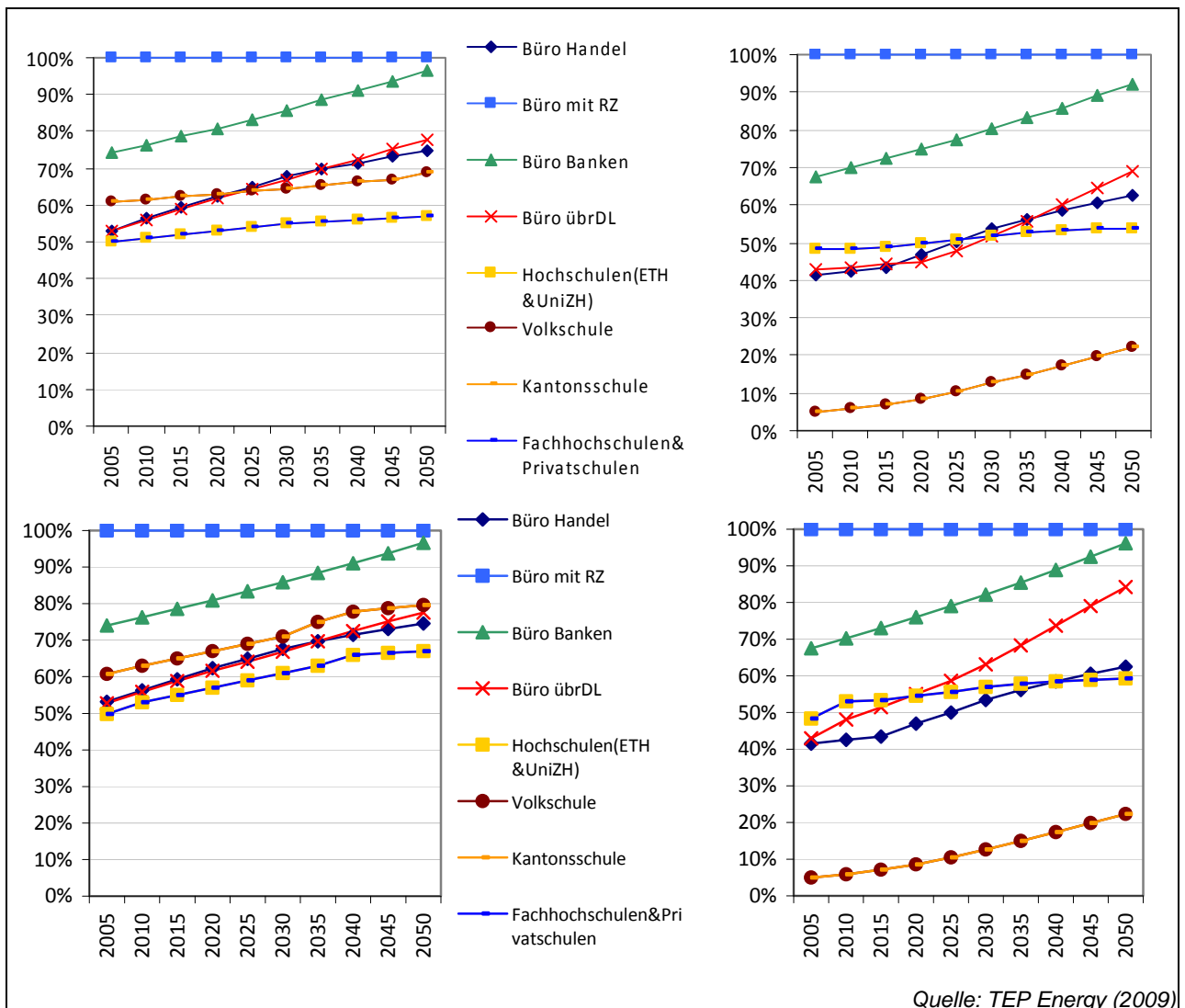
Die Diffusion von übrigen Energieanwendungen der ursprünglichen Rubrik „Zentrale Dienste“ hat in den meisten hier betrachteten Gebäudetypen ein gewisses Sättigungsniveau erreicht (es sind vielmehr die Betriebseinrichtungen, welche ansteigend sind). Einzig bei den Bürogebäuden der „übrigen Dienstleistungsbranchen“ gehen wir für die nächsten vier Dekaden von einem weiteren Anstieg aus (Figur 36), dies insbesondere weil es sich hierbei zu einem grossen Anteil um neue Gebäude handelt.



Figur 36 Diffusion der diversen Gebäudetechnik in Neubauten (links) und im Altbestand (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.

4.3.2 Lüftung und Klima

Lüftung und Kühlung ist zwischen den verschiedenen Branchen und Gebäudetypen recht unterschiedlich verbreitet. Eine weiterhin deutliche Dynamik wird insbesondere bei Bürogebäuden erwartet (Figur 37). Begründet wird dies nicht zuletzt mit steigenden Komfortansprüchen im Zusammenhang mit gekühlten Verkehrsmitteln. Die Entwicklung der Diffusionsraten ist zwischen den beiden Szenarien als gleich angenommen. Eine Ausnahme bilden lediglich die Volksschulen/Kindergärten sowie die höheren Schulen, bei welchen im Effizienz-Szenario ein höherer Anteil des Minergie-Standards und damit von Lüftungsanlagen unterstellt wurde.



Quelle: TEP Energy (2009)

Figur 37 Diffusion Klima/Lüftung in Neubauten (links) und im Altbestand (rechts), im Referenzszenario (oben) und im Effizienz-szenarios(unten),für den Zeitraum von 2005 bis 2050.

4.3.3 Beleuchtung und übrige Gebäudetechnik

Für die Energieanwendungen „Beleuchtung“ und die Hilfsenergie für Raumwärme und Warmwasser (Pumpen, Heizungsgebläse) wird eine Diffusionsrate von 100 % angenommen.

4.4 Spezifische Energienachfragewerte

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass sich die spezifischen Nachfragewerte im Effizienz-Szenario im Vergleich zum Referenz-Szenario rascher und weitergehend verbessern. Zudem wird angenommen, dass bei energetischen Erneuerungen die Potentiale weitergehend ausgeschöpft werden.

Das Effizienz-Szenario orientiert sich, wie Wallbaum et al (2009), an den Szenarien III und IV der Energieperspektiven. Szenario III gemäss Aebischer et al. (2007) - Zitat:

Szenario III geht von „best practice“ Potentialen aus. Im Falle der Stromnachfrage von Bürogebäuden ist „best practice“ durch die Zielwerte der neuen Empfehlung 380/4 der SIA (2006) definiert. Diese Zielwerte liegen für die Anwendung „Klima/Lüftung“ um -40 % und für die „Beleuchtung“

“ um -30% unter den Grenzwerten. Für die übrigen Anwendungen (Arbeitshilfen, Zentrale Dienste, Haustechnik und Elektrowärme) werden bescheidenere Verbesserungen von -20 % angenommen. Über alle Anwendungen gemittelt liegen die Zielwerte für die drei Bürogebäudetypen zwischen -27 % und -30 % unter den Grenzwerten im Szenario 1.

4.4.1 Raumheizung

Die Abschätzung der künftigen Entwicklung des spezifischen Heizwärmebedarfs erfolgte in einem separaten Gebäudekohorten-Modell (s. Kap. 1.5). Tabelle 6 und Tabelle 7 zeigen die angenommenen Erneuerungsraten pro Jahr. Mangels empirischer Grundlagen, welche sich spezifisch auf Büro- oder Schulgebäude beziehen, orientieren sich die Raten in ihrer Grössenordnung an denjenigen der MFH. Berücksichtigt wurden insbesondere die zum Teil komplexeren Fassadenstrukturen, welche energetische Erneuerungen aufwändiger machen. Ebenso schränken architektonische Überlegungen Aussenwärmedämmungen bis zu einem gewissen Mass ein, insbesondere bei Schulgebäuden der Bauperiode vor 1947. Entsprechend liegen die Erneuerungsraten in diesem Bereich bei nur etwa 0.5% pro Jahr (im Referenz-Szenario, siehe Tabelle 6). Im Fensterbereich wurde berücksichtigt, dass zwischen 1990 und heute bereits ein beträchtlicher Anteil der Fenster ersetzt wurde, v.a. bei den älteren Gebäuden.

Die Tabellen zeigen auch den resultierenden kumulierten Anteil der energetisch erneuerten Bauteile zwischen 2000 und 2050. Daraus wird ersichtlich, dass im Referenz-Szenario in den meisten Bereichen die Anteile unter 50% liegen.

Tabelle 6 Erneuerungsraten pro Jahr (als Anteil) nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerten Bauteile der Schul- und Bürogebäude im Jahre 2050 für das Referenz-Szenario

Bauteil	Bauperiode	Erneuerungsperiode					Kumuliert 2000-2050
		2005-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050	
Flachdach	Vor1947	0,014	0,010	0,008	0,008	0,008	0,48
	1947-75	0,014	0,009	0,007	0,006	0,006	0,42
	1975-85	0,016	0,011	0,010	0,009	0,009	0,54
	1985-2000	0,008	0,013	0,013	0,010	0,006	0,50
Steildach	Vor1947	0,008	0,005	0,004	0,004	0,004	0,24
	1947-75	0,006	0,005	0,004	0,003	0,003	0,21
	1975-85	0,002	0,006	0,007	0,004	0,001	0,20
	1985-2000	0,000	0,001	0,003	0,003	0,002	0,09
Wand	Vor1947	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,19
	1947-75	0,008	0,006	0,006	0,005	0,005	0,31
	1975-85	0,004	0,006	0,006	0,004	0,002	0,22
	1985-2000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,08
Fenster	Vor1947	0,016	0,007	0,003	0,002	0,001	0,29
	1947-75	0,022	0,015	0,008	0,005	0,004	0,54
	1975-85	0,020	0,025	0,021	0,014	0,005	0,85
	1985-2000	0,005	0,018	0,020	0,017	0,008	0,68
Boden	Vor1947	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,38
	1947-75	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,38
	1975-85	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,20
	1985-2000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,10

Quelle: TEP Energy (2009)

Im Effizienz-Szenario wurde, je nach Bauteil unterschiedlich, von höheren energetischen Erneuerungsraten ausgegangen. Beim Flachdach kann aus bautechnischen Gründen davon

ausgegangen werden kann, dass seit den 1990er-Jahren bereits hohe Anteile erneuert wurden. Aus diesem Grund ist bei diesen Dächern die Steigerung weit geringer als beispielsweise beim Steildach, bei dem im Referenz-Szenario relativ geringe Raten angenommen wurden, welche dann im Effizienz-Szenario deutlich gesteigert wurden (Tabelle 7). Es sei an dieser Stelle zudem darauf hingewiesen, dass sich ein nicht-vernachlässigbarer Teil von Büronutzungen in wohngebäudeähnlichen Bauten befindet, welche ähnliche Erneuerungsmöglichkeiten wie Wohngebäude aufweisen, gerade auch im Dachbereich.

Tabelle 7 Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile der Schul- und Bürogebäude im Jahre 2050 für das Effizienz-Szenario

Bauteil	Bauperiode	Erneuerungsperiode					Kumuliert 2000- 2050	Veränderung im Vergleich zum RefSz.
		2005-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050		
Flachdach	Vor1947	0,016	0,013	0,012	0,010	0,010	0,61	27%
	1947-75	0,017	0,011	0,009	0,008	0,008	0,53	26%
	1975-85	0,020	0,014	0,015	0,013	0,013	0,75	39%
	1985-2000	0,009	0,014	0,015	0,014	0,014	0,66	32%
Steildach	Vor1947	0,009	0,010	0,010	0,009	0,009	0,46	92%
	1947-75	0,008	0,010	0,010	0,008	0,008	0,44	110%
	1975-85	0,003	0,016	0,018	0,010	0,004	0,51	155%
	1985-2000	0,000	0,001	0,004	0,007	0,004	0,17	89%
Wand	Vor1947	0,005	0,008	0,007	0,007	0,006	0,33	74%
	1947-75	0,011	0,010	0,010	0,009	0,008	0,49	58%
	1975-85	0,006	0,013	0,013	0,009	0,004	0,44	100%
	1985-2000	0,000	0,002	0,002	0,003	0,003	0,10	25%
Fenster	Vor1947	0,016	0,015	0,013	0,010	0,007	0,61	110%
	1947-75	0,023	0,020	0,014	0,008	0,005	0,69	28%
	1975-85	0,020	0,025	0,023	0,017	0,007	0,92	8%
	1985-2000	0,005	0,018	0,020	0,026	0,018	0,87	28%
Boden	Vor1947	0,008	0,015	0,012	0,012	0,012	0,59	55%
	1947-75	0,008	0,015	0,012	0,012	0,012	0,59	55%
	1975-85	0,004	0,008	0,006	0,005	0,005	0,28	40%
	1985-2000	0,002	0,002	0,004	0,004	0,004	0,16	60%

Quelle: TEP Energy (2009)

Zwischen den Annahmen auf Bauteilebene und einer Betrachtung auf Gebäudeebene kann ein eindeutiger Bezug hergestellt werden:

Die Erneuerungsraten auf Bauteilebene können durch eine flächengewichtete Mittelwertbildung auf eine Rate auf Gebäudeebene aggregiert werden. Flächengewichtung bezieht sich hierbei auf die geometrischen Flächenverhältnisse der betrachteten Gebäudetypen. Mittels dieser Rate und der Wirkung der angenommenen Bauteilerneuerungen auf den gesamten Gebäudepark kann der durchschnittliche Erneuerungserfolg (Reduktion des spezifischen Heizwärmebedarf Q_h) einer Gebäudesanierung errechnet werden, dies separat für jeden Gebäudetyp und jede Betrachtungsperiode. Die genannten Kennwerte sind in den Tabellen 9 bis 12 nach Szenario und Gebäudetyp aufgelistet.

Das Kohorten-Modell liefert demnach für jede Bauperiode und für jeden betrachteten Zeitpunkt der Modellierung die Erneuerungsraten pro Gebäude, die Wirkung einer für die Periode idealtypischen Erneuerung sowie die durchschnittlichen spezifischen Heizwärmebedarfs- werte des gesamten Gebäudeparks. Idealtypisch bedeutet im vorliegenden Kontext, dass die

Erneuerungswirkung nicht gezwungenermassen am selben Gebäude durchgeführt wird, sondern dass es sich hierbei um eine Betrachtung über eine grosse Population von Gebäuden handelt.

Das beschriebene Vorgehen erlaubt es zum einen, die Annahmen auf einer relativ konkreten Ebene zu treffen und sie gleichzeitig auf eine reduzierte und abstraktere Form überführen zu können. Dies wurde nachfolgend am Beispiel der Schulgebäude für die beiden Szenarien exemplarisch durchgeführt. NB: die Wirkung von Lüftungsanlagen mit WRG, ist in der nachfolgenden Darstellung aus Transparenzgründen (Aufzeigen des Effekts von Gebäudehüllen-erneuerungen) nicht mit einbezogen, wurde aber im Gesamtmodell sehr wohl berücksichtigt.

Die aus den Annahmen der bauteilorientierten Erneuerungsraten (Tabelle 6 und Tabelle 7) und den bautechnischen Annahmen (U-Werte, g-Werte, ähnlich wie bei den Wohngebäuden, siehe Anhang B – Annahmen Wohngebäude) resultierende gewichtete Erneuerungsrate beträgt in der Regel deutlich weniger als 1% pro Jahr. Im Zeitverlauf bis 2050 ist sie bei den älteren Gebäuden zunächst hoch und danach abnehmend und bei den jüngeren Gebäuden umgekehrt. Letztere kommen erst in einigen Jahren bis Jahrzehnten in die Erneuerungsphase. Auch die Erneuerungswirkung pro idealtypische Erneuerung ist von der Bauperiode abhängig und verändert sich im Zeitablauf. Die Erneuerungsraten und die energetische Wirkung pro Erneuerung sind im Effizienz-Szenario höher als im Referenz-Szenario (Tabelle 8 und Tabelle 9).

Tabelle 8 Resultierende Erneuerungsraten am Beispiel der Kantonsschulen im Referenz- und im Effizienz-Szenario

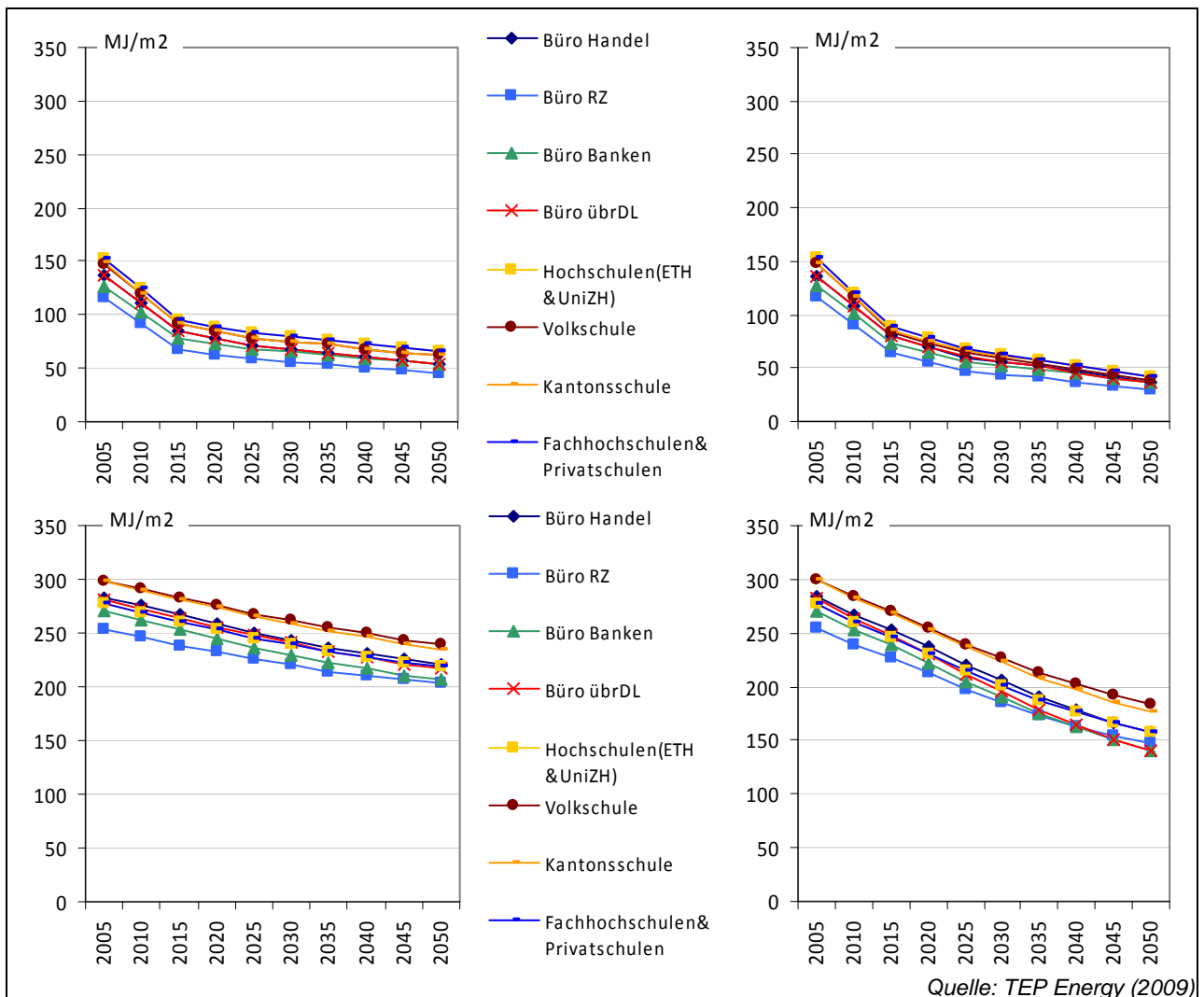
Erneuerungsraten	Vor 1990	1990-2000	2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050	
	kumm.	pro Jahr						
Referenzszenario								
Vor1947	11%	0.80%	0.73%	0.62%	0.56%	0.49%	0.42%	
1947-75	10%	1.50%	1.07%	0.88%	0.79%	0.66%	0.57%	
1975-85	3%	0.31%	0.78%	0.97%	0.90%	0.69%	0.44%	
1985-2000	0%	0.07%	0.21%	0.57%	0.66%	0.58%	0.35%	
Effizienzszenario								
Vor1947	11%	0.80%	0.80%	1.09%	1.04%	0.96%	0.82%	
1947-75	10%	1.50%	1.27%	1.36%	1.27%	1.02%	0.87%	
1975-85	3%	0.31%	0.88%	1.48%	1.45%	1.07%	0.65%	
1985-2000	0%	0.07%	0.22%	0.58%	0.75%	0.92%	0.74%	
Ausgangszustand								
Erneuerungsraten (pro 10 J. bzw. kumm. ("vor 1990"))								
Vor1947		11%	0.80%	0.73%	0.62%	0.56%	0.49%	0.42%
1947-75		10%	1.50%	1.07%	0.88%	0.79%	0.66%	0.57%
1975-85		3%	0.31%	0.78%	0.97%	0.90%	0.69%	0.44%
1985-2000		0%	0.07%	0.21%	0.57%	0.66%	0.58%	0.35%
Mittleres Qh Ende Betrachtungsperiode								
Vor1947	378	367	346	322	298	278	261	247
1947-75	374	362	341	321	300	280	264	248
1975-85	281	280	277	268	250	233	219	210
1985-2000	223	223	223	222	214	205	196	190

Tabelle 9 Resultierender mittlerer Heizwärmebedarf Q_h am Beispiel der Kantonsschulen im Referenz- und im Effizienz-Szenario

Mittleres Q_h	Ausgangs- zustand	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Referenzszenario								
Vor1947	378	367	346	322	298	278	261	247
1947-75	374	362	341	321	300	280	264	248
1975-85	281	280	277	268	250	233	219	210
1985-2000	223	223	223	222	214	205	196	190
EffizienzszENARIO								
Vor1947	377	365	344	330	302	270	240	214
1947-75	374	362	341	318	282	244	213	187
1975-85	281	280	277	267	240	208	182	165
1985-2000	223	223	223	221	213	198	178	160
Ausgangszustand		Vor 1990	1990-2000	2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Erneuerungsrate (pro 10 J. bzw. kumm. ("vor 1990"))								
Vor1947		11%	0.80%	0.80%	1.09%	1.04%	0.96%	0.82%
1947-75		10%	1.50%	1.27%	1.36%	1.27%	1.02%	0.87%
1975-85		3%	0.31%	0.88%	1.48%	1.45%	1.07%	0.65%
1985-2000		0%	0.07%	0.22%	0.58%	0.75%	0.92%	0.74%
Mittleres Q_h Ende Betrachtungsperiode								
Vor1947	377	365	344	330	302	270	240	214
1947-75	374	362	341	318	282	244	213	187
1975-85	281	280	277	267	240	208	182	165
1985-2000	223	223	223	221	213	198	178	160

Analog zum Gebäudebestand wird der Heizwärmebedarf der Neubauten durch eine Modellierung auf Bauteilebene und eine SIA 380/1-Berechnung bestimmt. Hierbei wird im Effizienz-Szenario eine relativ rasche und weitgehende Reduktion der U-Werte (analog der Wohngebäude) sowie des thermisch wirksamen Luftwechsels unterstellt.

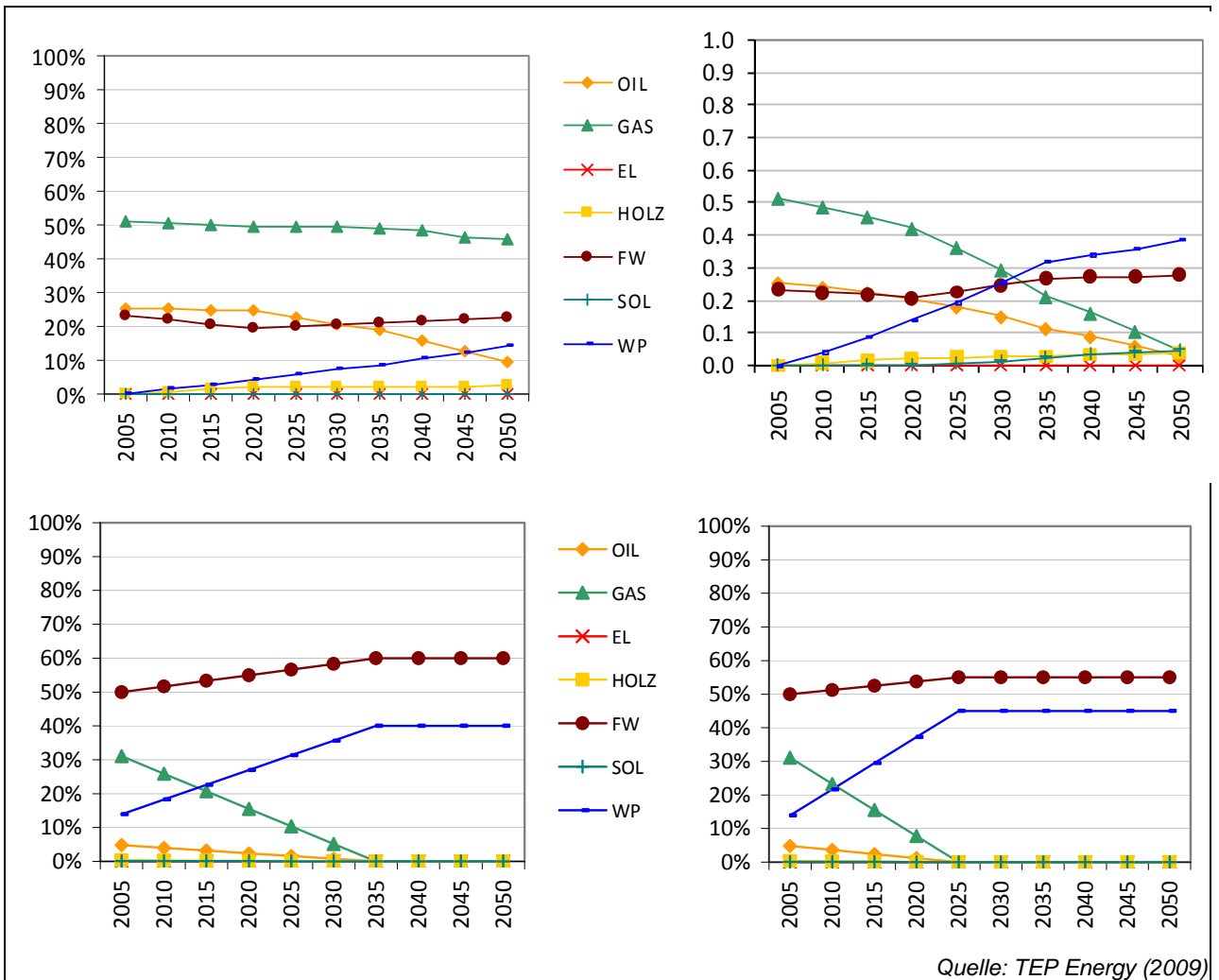
Die resultierenden Heizwärmebedarfswerte der Neubauten und des Gebäudebestandes sind aus Figur 38 ersichtlich.



Figur 38 Resultierende spezifische Heizwärmebedarfswerte für Raumwärme (Q_h) der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.

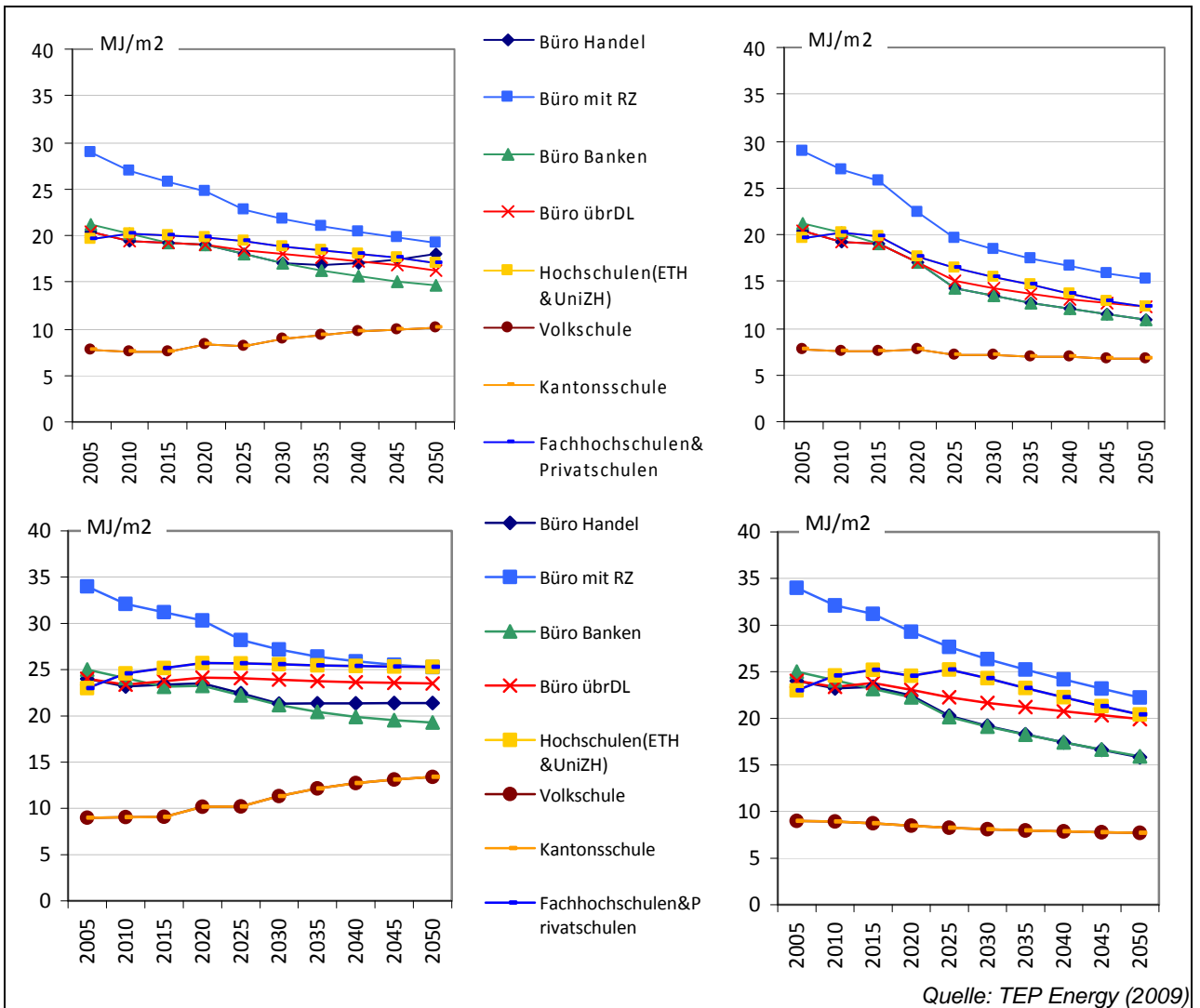
Neben der Entwicklung des Heizwärmebedarfs geht das Modell auch von einer Veränderung der Heizenergeträgerstruktur aus. Ergänzend zu Elektrodirektheizungen wurde in beiden Szenarien eine Wärmepumpenentwicklung unterstellt. Im Referenz-Szenario wird von einem moderaten Anstieg ausgegangen (weniger als 10 % in Neubauten bis 2050), während im Effizienz-Szenario damit gerechnet wird, dass technisch geeignete Gebäudestandorte für die WP-Nutzung erschlossen werden. Hierbei wird bis 2050 von rund einem Drittel WP-Anteile in Neubauten ausgegangen.

Bei den Hochschulen wurde die konkrete geplante Entwicklung, zum Beispiel bei der WP-Nutzung in Science City der ETH ZH, so weit wie möglich berücksichtigt.



Figur 39 Heizenergieträgerstruktur von Büro/Schulgebäuden (oben) und der Hochschulen (unten) für das Referenz-Szenario (links) und das Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.

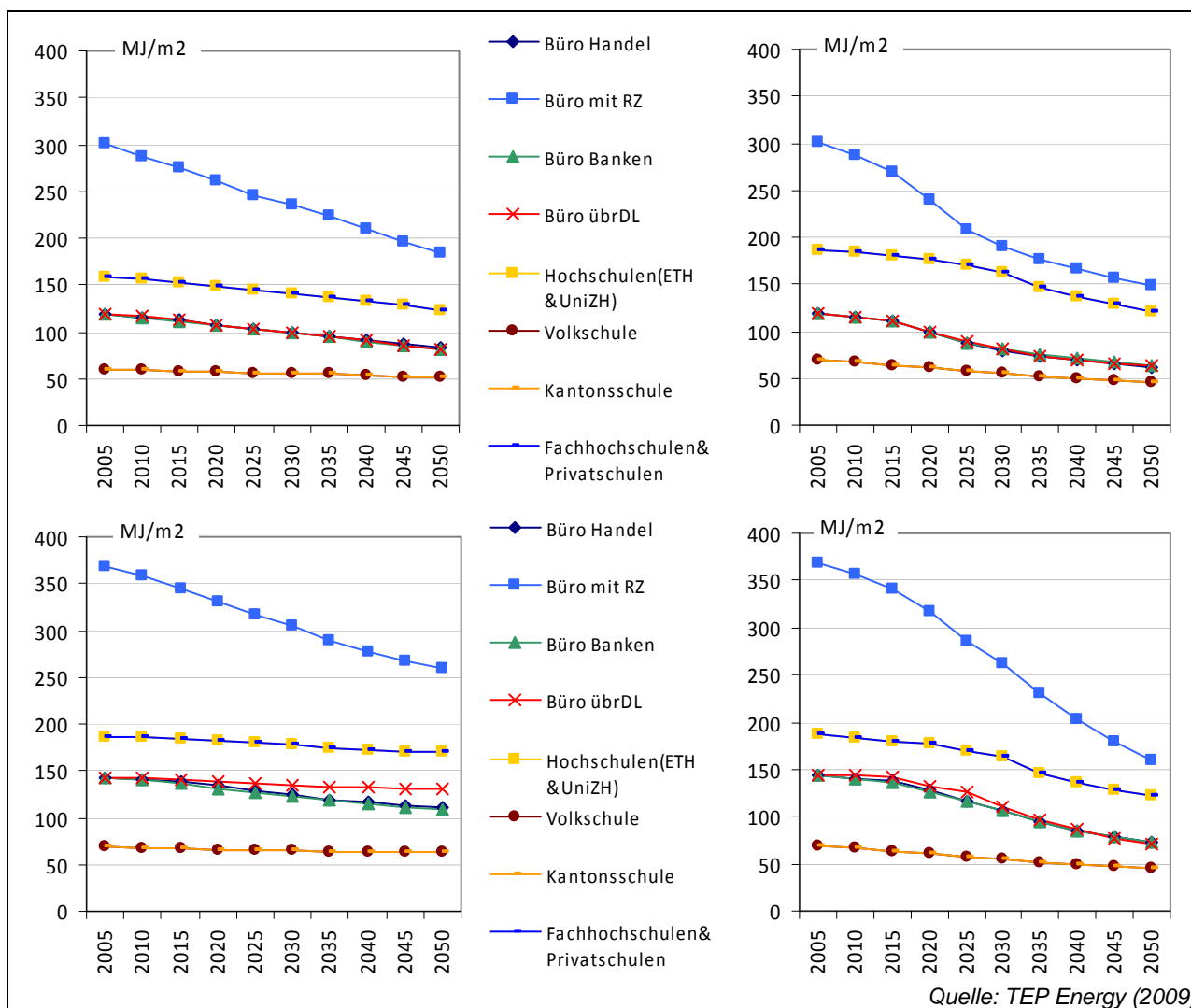
Die SEN der Hilfsenergie Raumwärme und Warmwasser, welche insbesondere Heizverteilerpumpen und Heizungsgebläse beinhaltet, weisen im Vergleich zu den übrigen strombasierten Verwendungszwecken ein markant geringeres Niveau auf (in der Regel unter 35 MJ/m² pro Jahr). Grundsätzlich ist jedoch in diesem Bereich aufgrund laufender Erneuerungen und struktureller Effekte auch im Referenz-Szenario ebenfalls von einer Abnahme der durchschnittlichen SEN auszugehen (Figur 40).



Figur 40 Spezifische Stromnachfragewerte der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) für Hilfsenergie Raumwärme und Warmwasser im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.

4.4.2 Betriebseinrichtungen

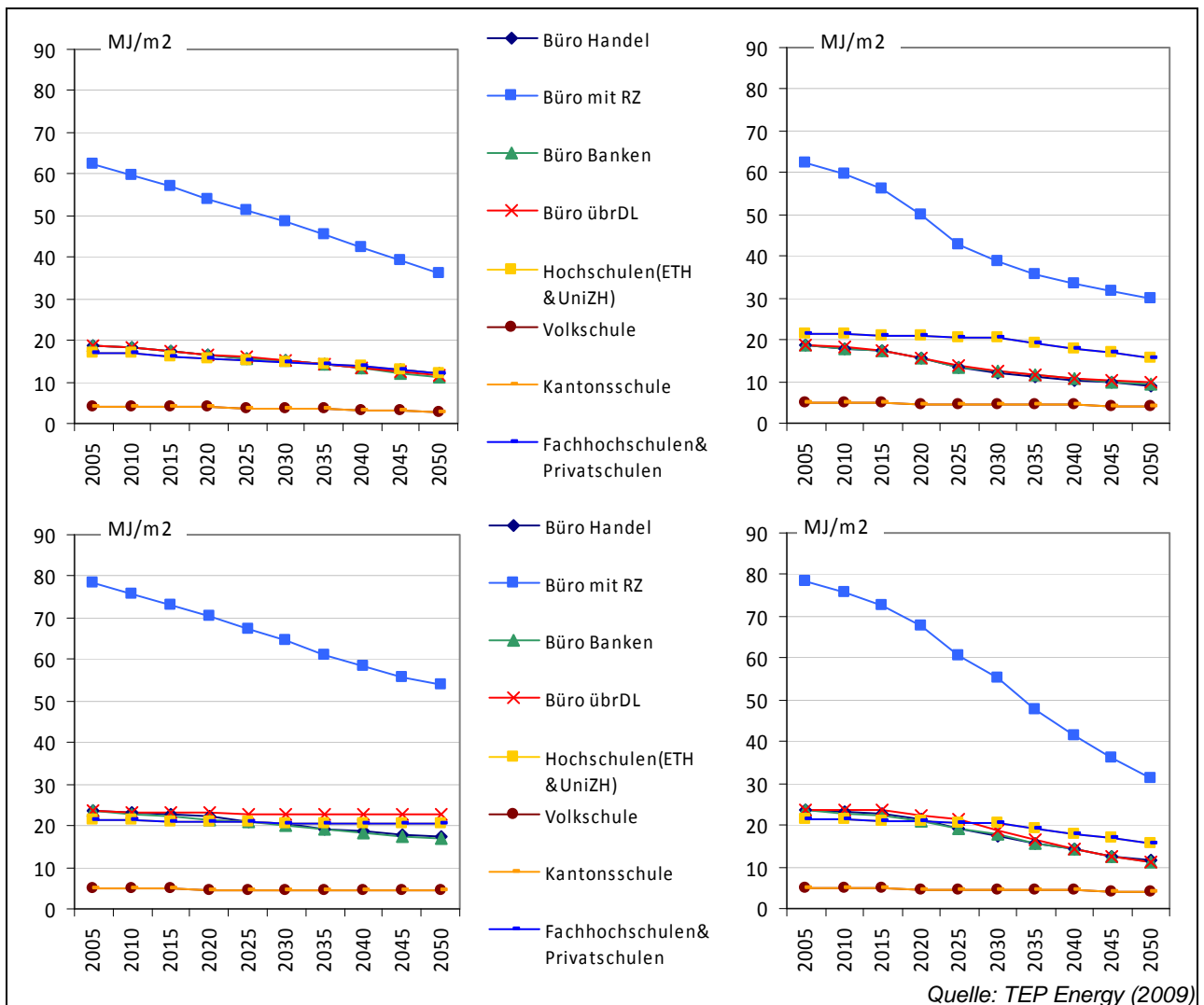
Die SEN der Betriebseinrichtungen sind bereits im Referenz-Szenario leicht abnehmend. Im Effizienz-Szenario wird unterstellt, dass die SEN für Betriebseinrichtungen stärker abnehmen im Vergleich zum Referenz-Szenario (Figur 41). Dies kann u.a. durch EU-weite Standards im Geräte- und IKT-Bereich begründet werden. Zu berücksichtigen ist jedoch auch, dass die Effizienzpotentiale von typischen Prozessenergien wie Kochen geringer sind als bei gebäudetechnikähnlichen Anwendungen.



Figur 41 Spezifische Stromnachfragewerte der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) für Betriebseinrichtung im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.

4.4.3 Diverse Gebäudetechnik

Im Vergleich zu den Betriebseinrichtungen ist die spezifische Stromnachfrage der diversen Gebäudetechnik im Niveau deutlich geringer. Es ist jedoch auch in diesem Bereich von verfügbaren Effizienzpotentialen auszugehen, gerade auch bei den hochtechnisierten Gebäuden mit Rechenzentren (Figur 42).



Figur 42 Spezifische Stromnachfragewerte der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) für diverse Gebäudetechnik im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.

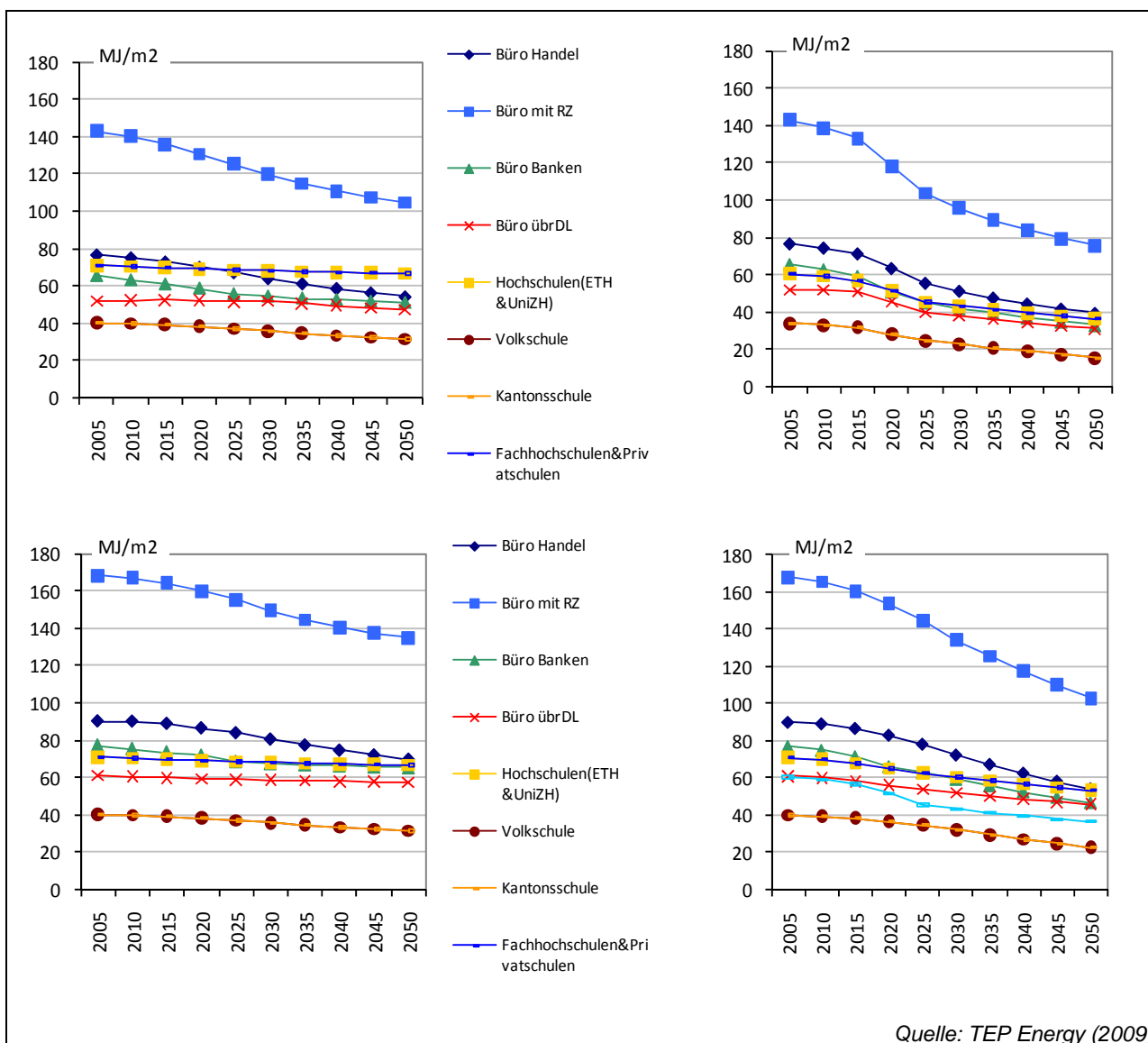
4.4.4 Beleuchtung

Die Beleuchtung machte im Jahr 2006 rund einen Viertel der Stromnachfrage des Dienstleistungssektors aus (vgl. Prognos et al. 2008). Im Quervergleich zu Büro- und Schulgebäuden im Allgemeinen weisen Bürogebäude im Finanz- und Versicherungssektor die zweithöchsten spezifischen Stromnachfragewerte für Beleuchtungszwecke auf (an erster Stelle im Dienstleistungssektor steht der Detailhandel, der aber hier nicht betrachtet wird). Im Quervergleich sind die SEN für Beleuchtung in Volksschulen und Kindergärten wesentlich geringer.

Die SEN ist im Referenz-Szenario leicht und im Effizienz-Szenario deutlicher abnehmend. Abgesehen von einzelnen Ausnahmen, in einzelnen Branchen mit einer Zunahme, gilt dies für die meisten Branchen bzw. Gebäudesektoren (Figur 43).

Die unterstellten Effizienzentwicklungen wurden differenziert nach Branche bzw. idealtypischer Gebäudekategorie getroffen. Sie betragen in der Referenz bis 2035 10 % bis 20 % (in einzelnen Branchen weniger) und bis 2050 10 % bis 30 % bei den Neubauten und fünf bis zehn Prozentpunkte weniger im Gebäudebestand. Im Effizienz-Szenario wurde – in Anlehnung an die Erkenntnisse aus Jakob et al. (2006), Aiulfi et al. (2009) und gestützt auf

die SIA 380/4 – ein weitergehender spezifischer Effizienzfortschritt unterstellt (20 % bis 30 % bis 2035 und 20 % bis über 40 % bis 2050).



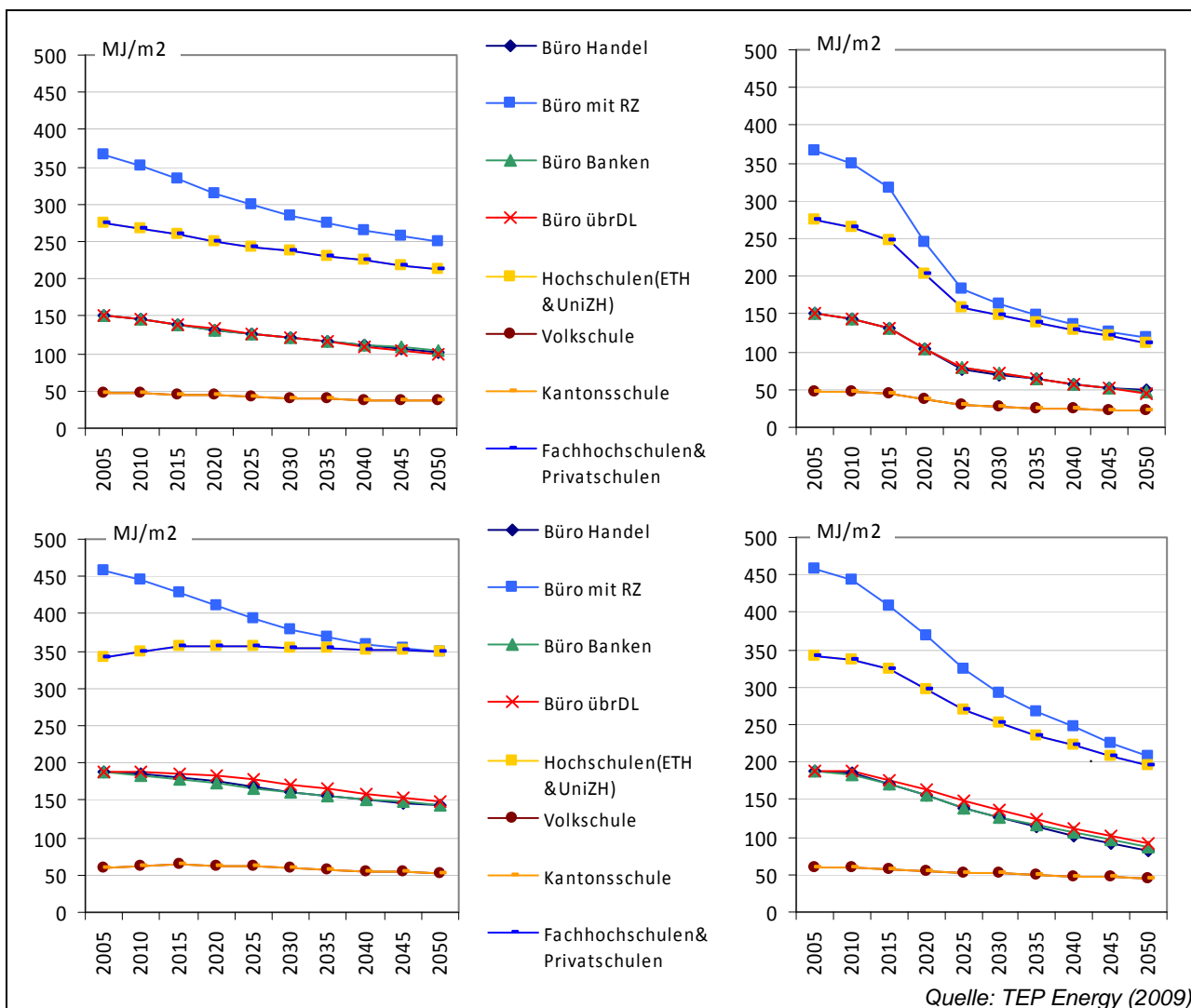
Figur 43 Spezifische Stromnachfragewerte (SEN) der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) für Beleuchtung im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.

Technologisch werden diese Entwicklungen durch effizientere Leuchtmittel (inkl. Vorschaltgerät), effizientere Leuchten (z.B. Minergie-Leuchten), die Nutzung von präsenz- und tageslicht-basierten Steuerungen begründet. Je nach Branche, Gebäudetyp und Raumnutzung ist von unterschiedlichen Effizienzvarianten auszugehen. Längerfristig werden weitere Effizienzpotentiale durch die Anwendung von LED ermöglicht.

4.4.5 Lüftung und Kühlung

Die höchsten spezifischen Stromnachfragewerte für Kühlung und Lüftung weisen die Bürogebäude im Finanz- und Versicherungssektor und die Hochschulen auf (Figur 44).

Die Energieeffizienzpotentiale im Lüftungsbereich sind als gross zu bezeichnen, insbesondere weil mehrere Ansatzpunkte kombiniert werden können, welche sich gegenseitig ergänzen. Sowohl die adäquate Auslegung als auch die bedarfsgerechte Steuerung reduzieren die Strömungsgeschwindigkeit und damit die Druckverluste in den Leitungen. Damit ergibt sich nicht nur eine geringere zu transportierende Luftmenge, sondern auch ein geringerer spezifischer Energiebedarf für die verbleibende Menge.



Figur 44 Spezifische Stromnachfragewerte der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) für Klima / Lüftung im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.

Abgesehen von einigen wenigen Ausnahmen ist im Referenz-Szenario von einer sukzessiven Abnahme der spezifischen Stromnachfrage auszugehen, dies dank laufender Erneuerungen von alten, ineffizienten Anlagen, aber auch aus strukturellen Gründen (da neue Anlagen effizienter sind im Vergleich zum durchschnittlichen Gebäudebestand).

Die Annahmen stützen sich auf Jakob et al. (2006), Kegel et al. (2007), Aiulfi et al. (2009) und auf die Norm SIA 380/4. Die erwähnten Forschungsberichte und die SIA Norm weisen beträchtliche Effizienzunterschiede von deutlich über 50% zwischen bestehende Anlagen im Gebäudebestand sowie zwischen neuen Standard- und effizienten Anlagen auf.

4.4.6 Entwicklung der spezifischen Stromnachfragewerte im Überblick

Tabelle 10 stellt für drei Zeitpunkte die prozentuale Verbesserung der spezifischen Energienachfragewerte relativ zum Basisjahr 2005 dar. Das Effizienz-Szenario geht von einer markanteren Verbesserung der spezifischen Stromnachfragewerte aus. Bis zum Jahr 2050 nimmt die spezifische Energienachfrage je nach Anwendung zwischen einem und zwei Dritteln ab, letzteres vor allem im Bereich Lüftung und Gebäudekühlung. Einzig bei der Haustechnik werden tiefere Werte angenommen.

Tabelle 10 Prozentuale Verbesserung der spezifischen Elektrizitätsnachfrage bei Neubauten im Zeitablauf

		Referenz-Szenario			Effizienz-Szenario		
		Verbesserung bis zum Jahr			Verbesserung bis zum Jahr		
		2020	2035	2050	2020	2035	2050
Betriebs- einrichtung	Büro Handel	-11%	-20%	-30%	-17%	-38%	-48%
	Hochtech. Geb. mit RZ	-13%	-26%	-39%	-20%	-41%	-50%
	Büro Banken	-11%	-21%	-32%	-17%	-37%	-47%
	Büro, übr. DL-Branchen	-11%	-21%	-33%	-17%	-38%	-47%
	Hochschulen	-7%	-14%	-23%	-14%	-29%	-37%
	Volkschulen	-5%	-9%	-15%	-15%	-33%	-41%
	Kantonsschulen	-5%	-9%	-15%	-15%	-33%	-41%
	Fachhoch-&Privatschulen	-7%	-14%	-23%	-14%	-29%	-37%
Diverse Gebäude- technik	Büro Handel	-12%	-24%	-37%	-18%	-40%	-52%
	Hochtech. Geb. mit RZ	-14%	-27%	-42%	-20%	-43%	-53%
	Büro Banken	-13%	-25%	-41%	-18%	-39%	-50%
	Büro, übr. DL-Branchen	-12%	-24%	-40%	-18%	-40%	-49%
	Hochschulen	-8%	-16%	-29%	-14%	-29%	-37%
	Volkschulen	-4%	-12%	-30%	-11%	-30%	-37%
	Kantonsschulen	-4%	-12%	-30%	-11%	-30%	-37%
	Fachhoch-&Privatschulen	-8%	-16%	-29%	-14%	-29%	-37%
Beleuchtung	Büro Handel	-9%	-20%	-29%	-17%	-38%	-48%
	Hochtech. Geb. mit RZ	-9%	-20%	-27%	-17%	-38%	-47%
	Büro Banken	-11%	-19%	-22%	-22%	-40%	-50%
	Büro, übr. DL-Branchen	0%	-3%	-9%	-12%	-31%	-40%
	Hochschulen	-4%	-10%	-14%	-14%	-32%	-40%
	Volkschulen	-9%	-20%	-29%	-17%	-39%	-54%
	Kantonsschulen	-9%	-20%	-29%	-17%	-39%	-54%
	Fachhoch-&Privatschulen	-4%	-10%	-14%	-14%	-32%	-40%
Klima/Lüftung	Büro Handel	-12%	-23%	-32%	-31%	-58%	-68%
	Hochtech. Geb. mit RZ	-14%	-25%	-32%	-33%	-59%	-68%
	Büro Banken	-12%	-23%	-31%	-31%	-57%	-68%
	Büro, übr. DL-Branchen	-12%	-23%	-34%	-31%	-58%	-70%
	Hochschulen	-8%	-16%	-22%	-26%	-50%	-59%
	Volkschulen	-9%	-18%	-25%	-25%	-47%	-55%
	Kantonsschulen	-9%	-18%	-25%	-25%	-47%	-55%
	Fachhoch-&Privatschulen	-8%	-16%	-22%	-26%	-50%	-59%
Hilfs- energie RW und WW	Büro Handel	-7%	-18%	-12%	-17%	-38%	-47%
	Hochtech. Geb. mit RZ	-14%	-27%	-33%	-23%	-40%	-48%
	Büro Banken	-11%	-24%	-31%	-20%	-40%	-49%
	Büro, übr. DL-Branchen	-7%	-14%	-20%	-17%	-33%	-40%
	Hochschulen	1%	-6%	-13%	-9%	-25%	-38%
	Volkschulen	8%	22%	33%	1%	-9%	-12%
	Kantonsschulen	8%	22%	33%	1%	-9%	-12%
	Fachhoch-&Privatschulen	1%	-6%	-13%	-9%	-25%	-38%

Quelle: TEP Energy

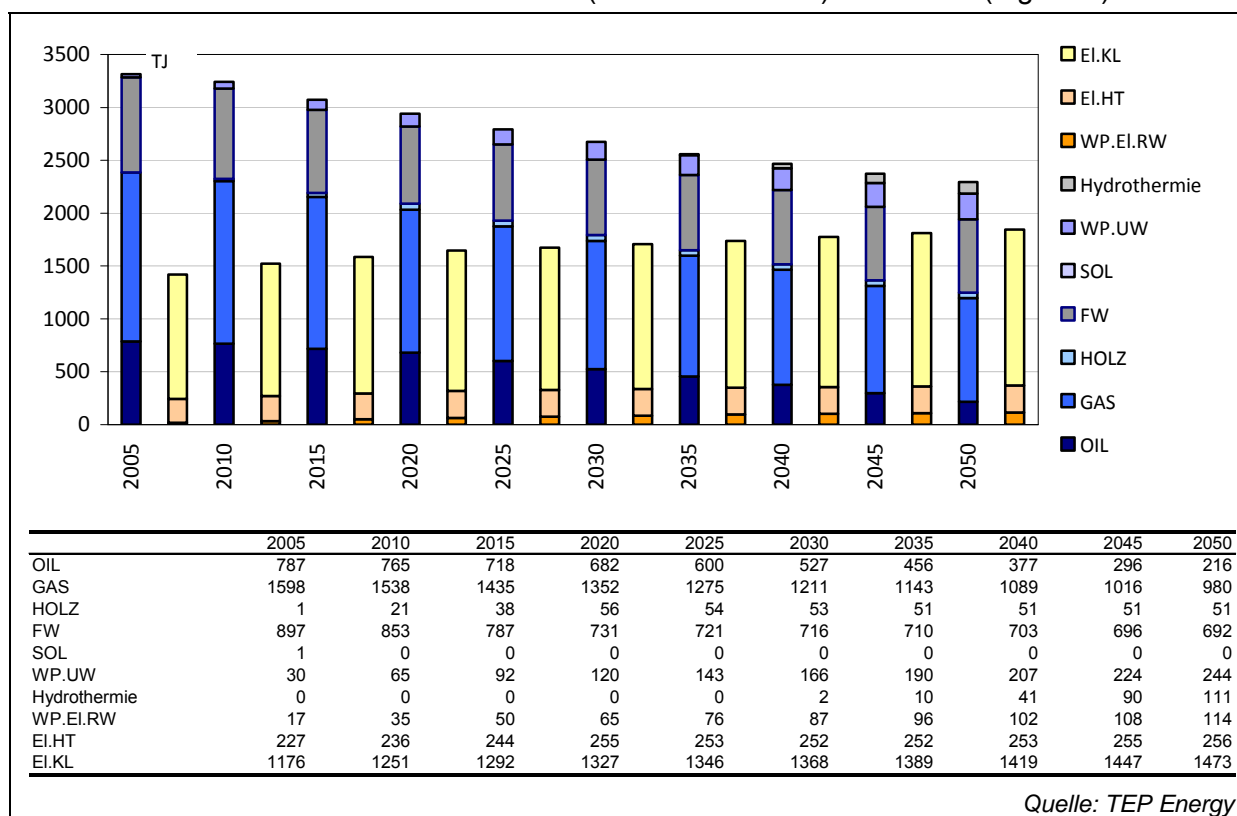
5. Ergebnisse Schulen und Bürogebäude

5.1 Endenergienachfrage bei Schul- und Bürogebäuden

5.1.1 Raumklima

Die Modellrechnungen ergeben für die betrachteten Gebäudetypen Schulen und Bürogebäude eine gesamte Endenergienachfrage für den Bereich Raumklima (Raumwärme, Lüftung und Kühlung inkl. „Hilfsenergie“ für Brenner, Pumpen etc.) von 4.7 PJ für das Jahr 2005. Drei Viertel dieser Nachfrage ist bedingt durch die Raumheizung, der Rest durch Lüftung und Komfortkühlung. Im Referenz-Szenario ist der Verlauf der gesamten Energienachfrage (ohne Gewichtung nach Energieträgern) der Büro- und Schulgebäude für Raumklima zwischen 2005 und 2050 um rund 13% rückläufig. Dies ist das Ergebnis von gegenläufigen Entwicklungen: Nachfragesteigernde Faktoren wie das Flächenwachstum und die steigende Diffusion von Komfortkühlung / Lüftung werden durch Nachfrage mindernde Faktoren wie die Gebäudehüllenerneuerung und v.a. auch den Heizanlagenersatz und den damit verbundenen Effizienzsteigerungen mehr oder weniger kompensiert. Bei Kühlung / Lüftung vermag die zunehmende Effizienz die Mengenausdehnung der ansteigenden Diffusion, d. h. der Ausrüstung der Gebäude mit solchen Anlagen, im Referenzszenario nicht zu kompensieren. Erneuerungen von Lüftungsanlagen verbessern zwar sowohl die Stromeffizienz als auch den Heizwärmebedarf durch angepasste Luftwechselraten, allgemein verbesserte Steuerung und Wärmerückgewinnung, aber nicht in genügendem Ausmass.

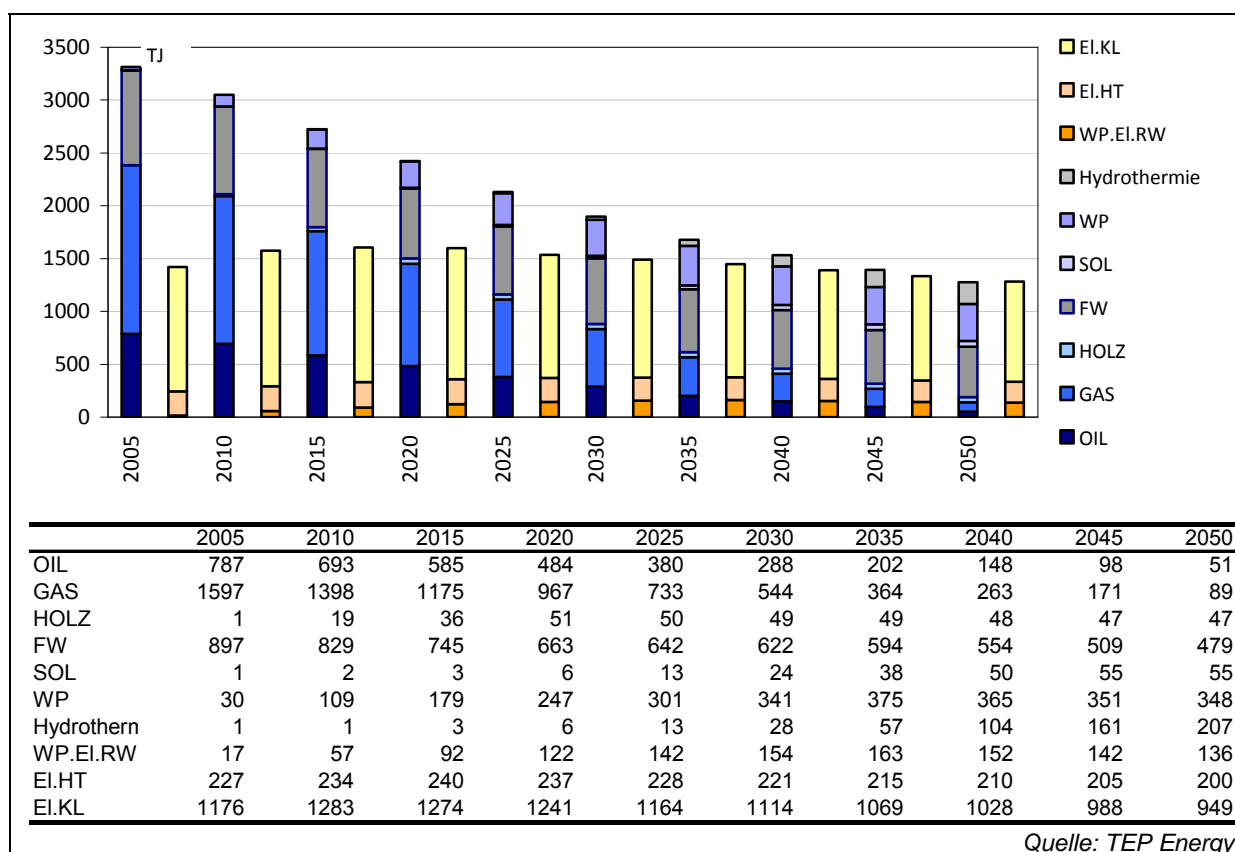
Für die Raumwärme wird innerhalb der Energieträger die strukturelle Änderung, welche bei Neubau und Bestand unterstellt wurde, ersichtlich: Gas, Holz, Umweltwärme aus WP und WP-Strom werden zu Lasten von Öl relativ (und auch absolut) zunehmen (Figur 45).



Figur 45 Gebäudebezogene Energienachfrage (TJ) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario für Raumklima

Im Effizienz-Szenario ist der Verlauf der gesamten Endenergienachfrage (ohne Gewichtung nach Energieträgern) der Büro- und Schulgebäude für Raumklima bereits ab 2005 rückläufig. Besonders ausgeprägt ist dieser Rückgang im Bereich der Raumwärme. Die nachfragesteigernden Faktoren wie das Flächenwachstum werden durch nachfragemindernde Faktoren (Gebäudehüllenerneuerung, Minergie-Lüftungsanlagen im Büro- und Schulbereich) deutlich überkompensiert (Figur 46). Innerhalb der Energieträger ist die strukturelle Änderung annahmengenässig im Vergleich zum Referenz-Szenario deutlicher. Umweltwärme aus Wärmepumpen und Wärmepumpenstrom nehmen im Zeitablauf stärker zu und die fossilen Energieträger nehmen stärker ab. Dies betrifft auch Erdgas; in der Summe beträgt der Anteil der fossilen Energieträger weniger als 10% der Endenergienachfrage für RW., d.h. es kann von einem eigentlichen Ausstieg aus den fossilen Energieträgern gesprochen werden. Holz und Umweltwärme inklusive Hydrothermie sind die Gewinner dieser Entwicklung.

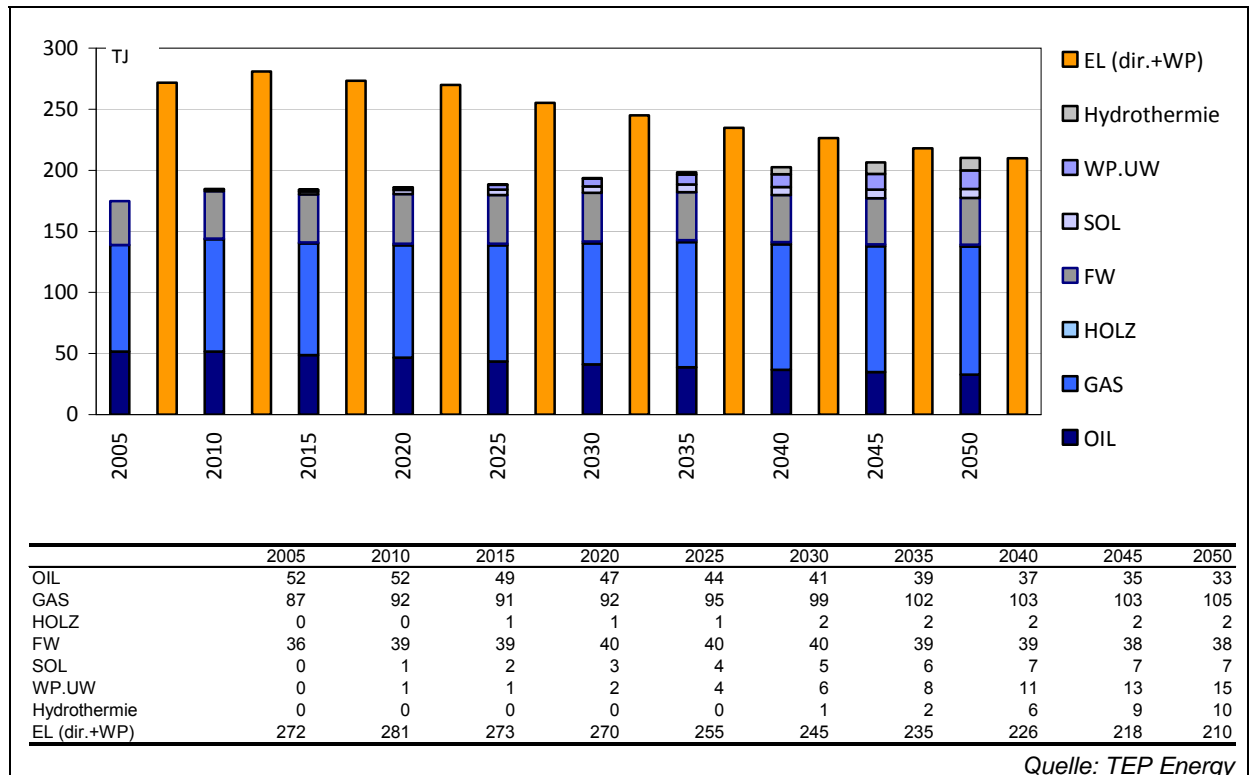
Bei Kühlung / Lüftung vermag die zunehmende Effizienz die Mengenausdehnung der ansteigenden Diffusion zu kompensieren, die Stromnachfrage des Verwendungszwecks Raumklima stagniert ab 2015.



Figur 46 Gebäudebezogene Energienachfrage (TJ) von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario für Raumklima

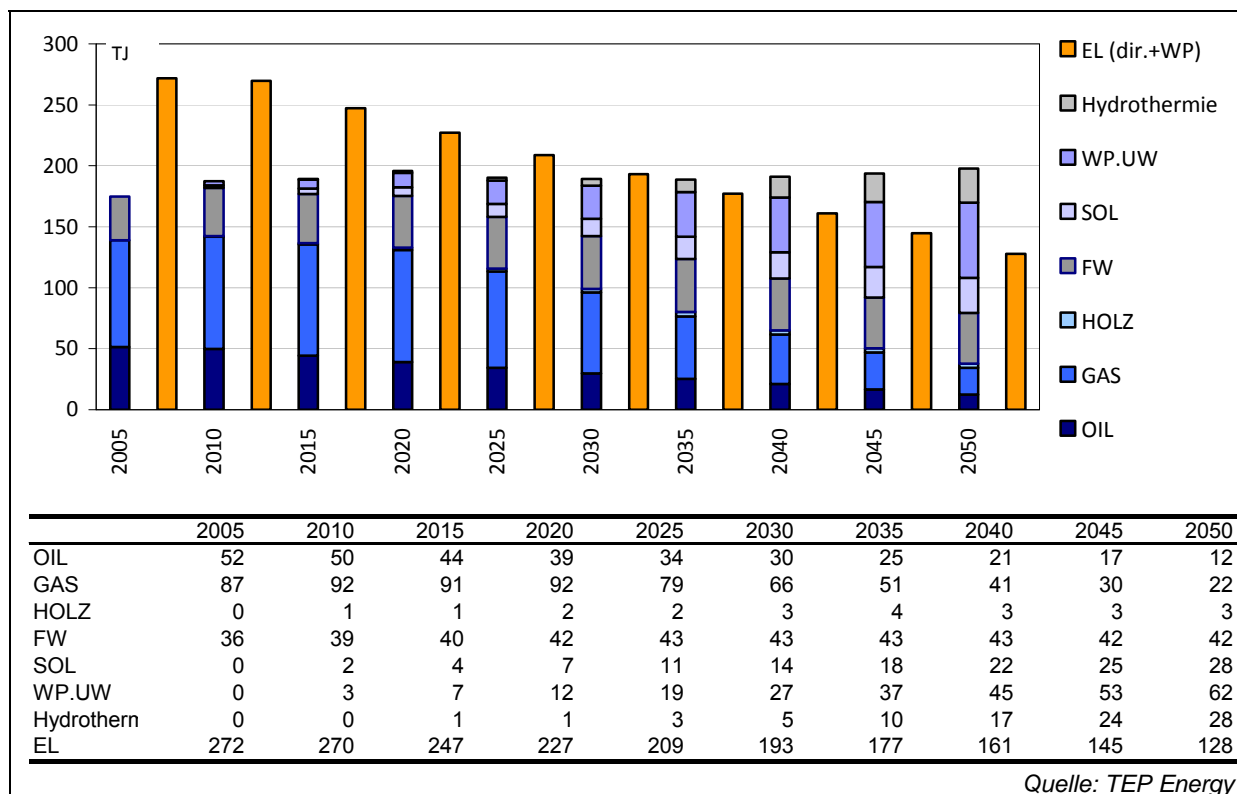
5.1.2 Warmwasser

Die Energienachfrage für Warmwasser ist geringer im Vergleich zum Raumklima und beläuft sich auf rund 0.45 PJ. Auch beim Warmwasser ist im Referenz-Szenario ein nahezu konstanter Verlauf über die nächsten rund vierzig Jahre festzustellen. Diese ähnliche Entwicklung resultiert aufgrund ähnlicher Annahmen bzgl. der Strukturentwicklung der Energieträger.



Figur 47 Gebäudebezogene Energienachfrage (TJ) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario für Warmwasser

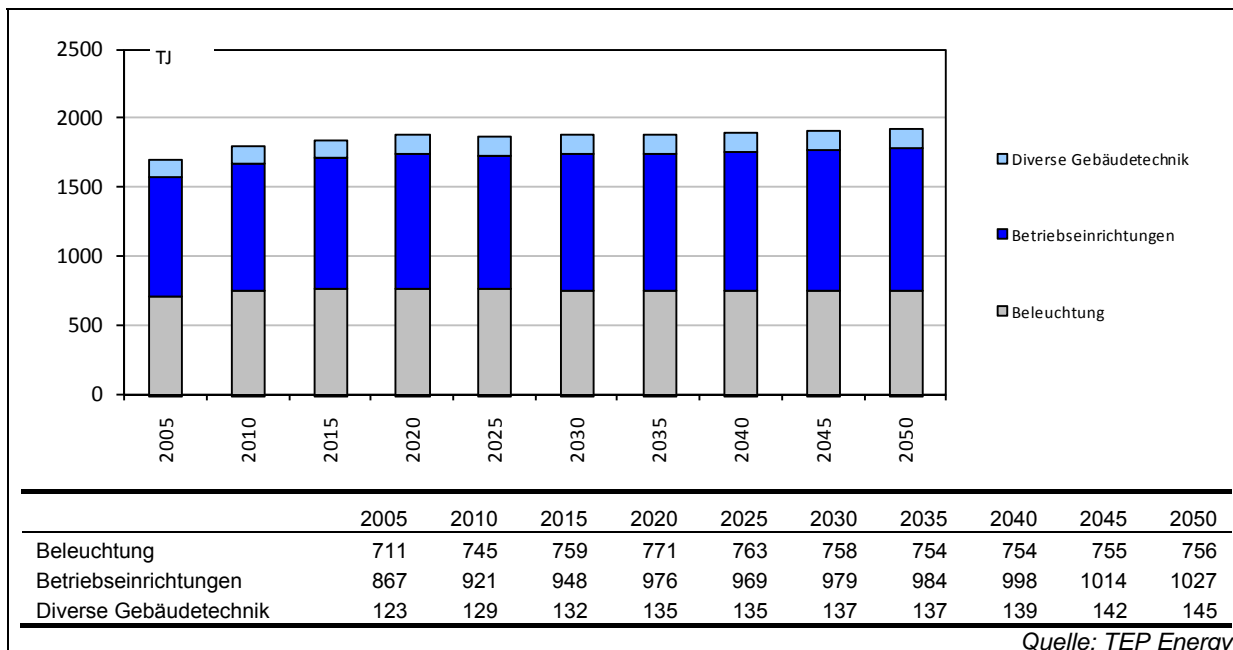
Im Effizienz-Szenario ist die gesamte Energienachfrage des Verwendungszwecks Warmwasser rückläufig. Im Vergleich zur Raumheizung sind die Effizienzgewinne annahmengenäss weniger ausgeprägt.



Figur 48 Gebäudebezogene Energienachfrage (TJ) von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario für Warmwasser

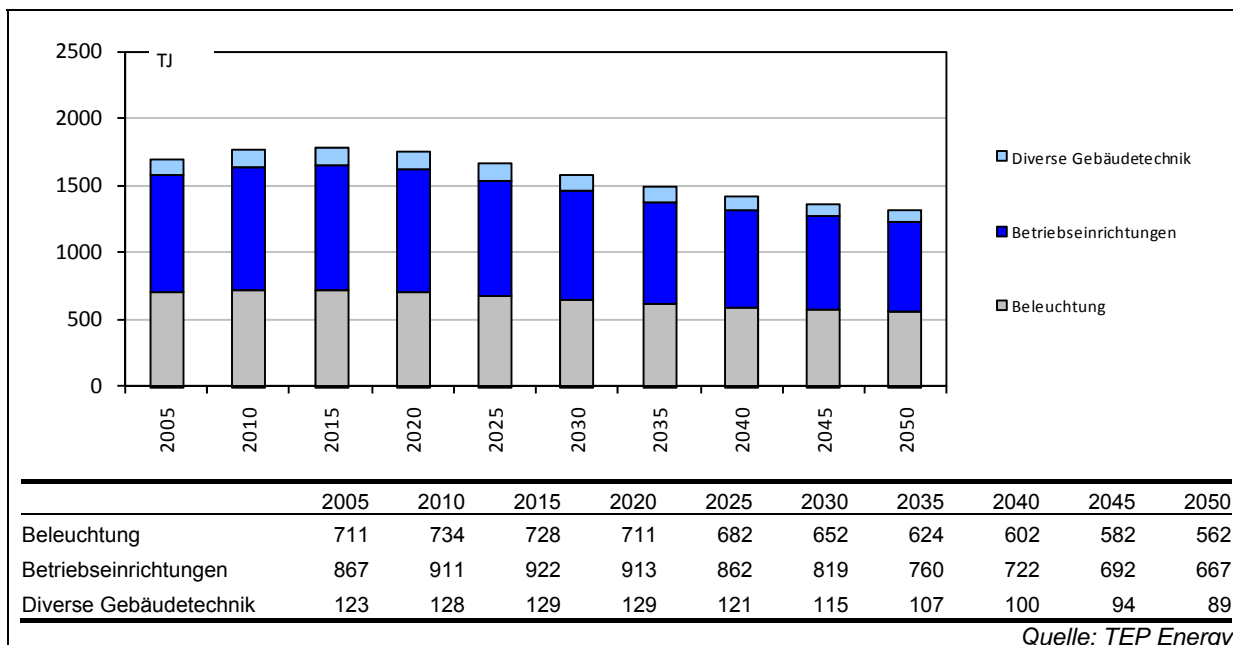
5.1.3 Beleuchtung, Betriebseinrichtungen und diverse Gebäudetechnik

Die Stromnachfrage für Beleuchtung und Betriebseinrichtungen steigt im Referenz-Szenario von 1,7 PJ um rund 13% auf 1,9 PJ an (Figur 49). Die zunehmende Effizienz vermag das Flächenwachstum sowie die zunehmende Mengenausdehnung der Betriebseinrichtungen aber nicht zu kompensieren. Die Bereiche Beleuchtung und Betriebseinrichtung sowie diverse Gebäudetechnik verhalten sich damit im Quervergleich zu den anderen Verwendungszwecken am dynamischsten. Sie sind als einzige über die ganze Betrachtungsperiode deutlich ansteigend. Im Gegensatz zu den übrigen Bereichen ist nur eine langsame Abflachung des ansteigenden Trends zu vermerken und der Anstieg ist im Vergleich zum Flächenwachstum leicht überproportional. Das bedeutet, dass die zunehmende Verbreitung solcher Energiedienstleistungen sowie die höhere Nutzungsintensität die ebenfalls unterstellten Effizienzfortschritte des Referenz-Szenarios nicht zu kompensieren vermögen.



Figur 49 Stromnachfrage (TJ) für Beleuchtung und Betriebseinrichtungen von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario

Im Effizienz-Szenario erreicht die Elektrizitätsnachfrage der Verwendungszwecke Beleuchtung, Betriebseinrichtungen sowie diverse Gebäudetechnik im Jahr 2015 mit 1.8 PJ den Höchstwert und geht bis 2050 wieder leicht auf 1,3 PJ zurück (Figur 50). Die Beleuchtung leistet zu diesem Ergebnis einen grösseren relativen und absoluten Beitrag als die übrigen hier angesprochenen Verwendungszwecke.

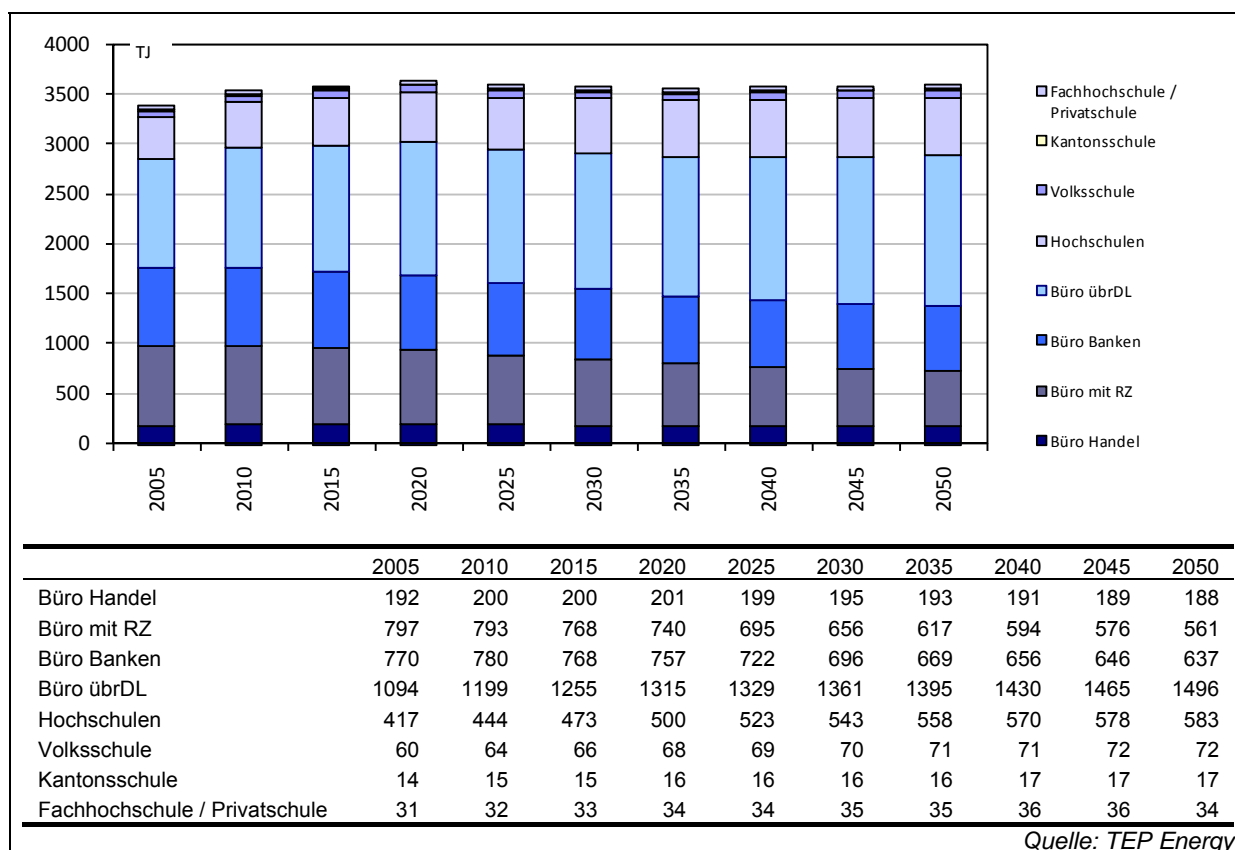


Figur 50 Stromnachfrage (TJ) für Beleuchtung und Betriebseinrichtungen von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario

5.1.4 Stromnachfrage nach Branche und Gebäudetyp

Im Referenz-Szenario steigt die gebäudebezogene Elektrizitätsnachfrage der Büro- und Schulgebäude gemäss den Modellrechnungen bis 2035 und darüber hinaus deutlich an (Figur 51).

In der Summe steigt die Stromnachfrage von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario von fast 3.4 PJ um ca. 5% auf rund 3,6 PJ im Jahr 2035 und bleibt dann bis 2050 ungefähr auf diesem Niveau. Erklärt wird diese Entwicklung zum einen durch die steigende Energiebezugsfläche und zum anderen durch die weitere Diffusion von Energieanwendungen in den verschiedenen Gebäudetypen bzw. Dienstleistungsbranchen. Im Vergleich zur gesamtschweizerischen Entwicklung in diesem Bereich ist der Anstieg moderater, dies insbesondere, weil die EBF weniger stark anwächst.



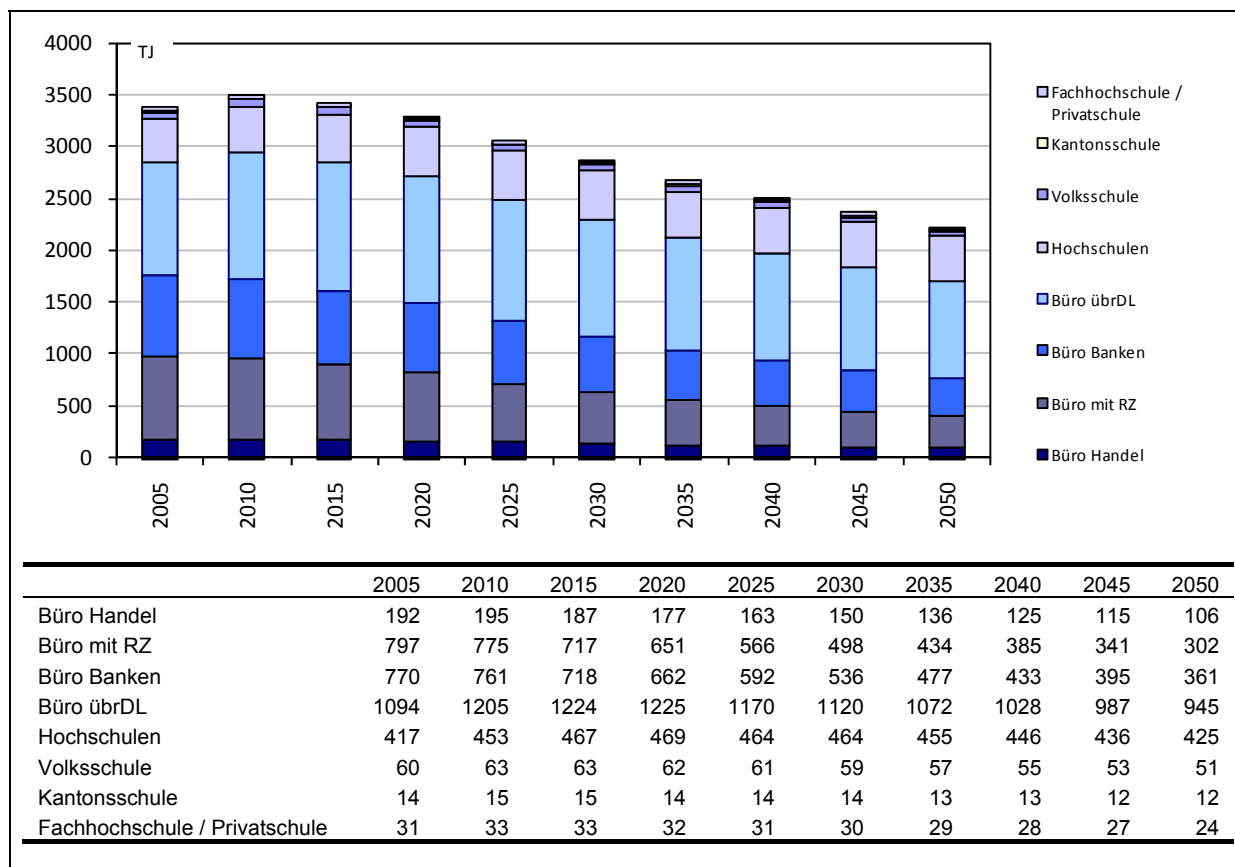
Figur 51 Gebäudebezogene Stromnachfrage (TJ) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario, gegliedert nach Branche bzw. Gebäudetyp.

Die Stromnachfrage bei Büro- und Schulgebäuden steigt im Effizienz-Szenario bis etwa 2010 weiterhin an, wenn auch weniger stark im Vergleich zur Referenz, nämlich von knapp 3,4 PJ auf etwa 3,5 PJ (+4%), sinkt danach bis 2050 kontinuierlich auf rund 2,2 PJ. Verglichen mit dem Referenz-Szenario bedeutet dies netto eine zusätzliche Effizienzsteigerung von 38% bis 2050, was etwa 1% pro Jahr entspricht.

Diese Entwicklung wird wesentlich durch zusätzliche Effizienzgewinne in den Bereichen Raumkühlung, Lüftererneuerung und Beleuchtung ermöglicht. Diese betreffen zum einen die effiziente und adäquate Auslegung der Gebäudetechnik (installierte Leistung gemessen in W/m², Luftvolumenstrom in m³/h pro m²) und zum anderen zeitliche und bedarfsabhängige Steuerung und Regelung. Je nach Fall und Ausgangslage betragen die entsprechenden Effizienzpotentiale 30% bis über 70%. Die Effizienzgewinne überwiegen Substitutionszugänge

durch erhöhte WP-Nutzung deutlich, dies v.a. weil der Raumwärmebedarf im DL-Sektor vergleichsweise gering ist und weiter rückläufig sein wird.

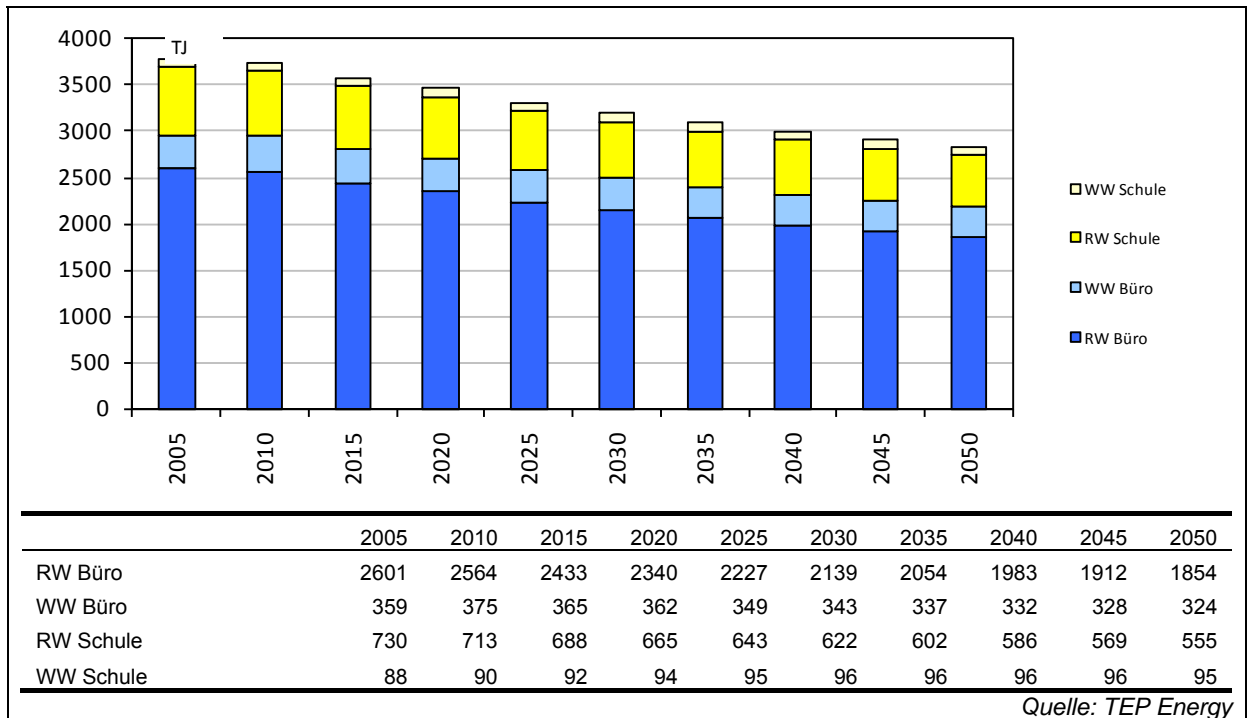
Im Vergleich zum Referenz-Szenario ist im Effizienz-Szenario bei allen Branchen zwischen 2020 und 2030 eine Abflachung und Trendumkehr der Stromnachfrage erkennbar (Figur 52). In der Summe über alle Sektoren ist die gebäudebezogene Stromnachfrage ab etwa 2030 leicht rückläufig. Zum Wachstum tragen die Branchen Handel, Schulen (insbesondere auch die Hochschulen aufgrund des Flächenwachstums), sowie die „übrigen DL-Branchen“ bei.



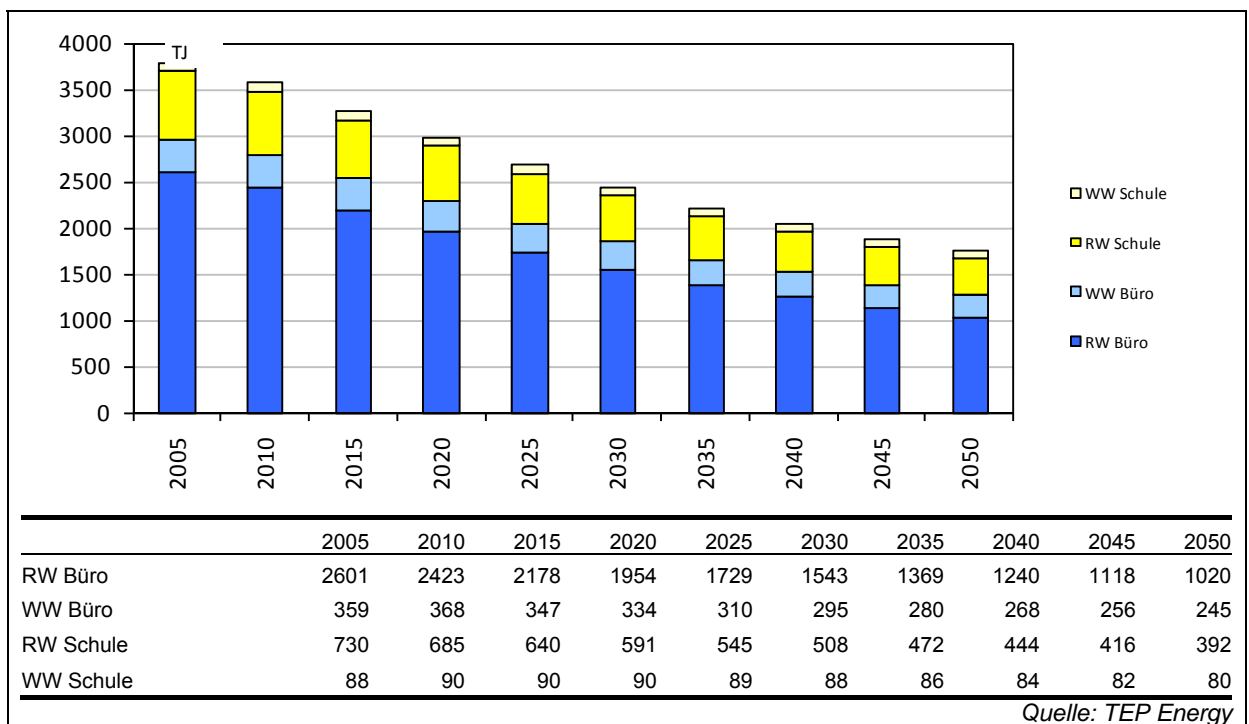
Figur 52 Gebäudebezogene Stromnachfrage (TJ) von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario, gegliedert nach Branche bzw. Gebäudetyp.

Die Summe der Endenergienachfrage ohne Elektrizität ist in Figur 53 und in Figur 54 dargestellt. Verwendet wird die Energie in den Bereichen Raumwärme und Warmwasser, wobei die Raumwärme über 85% der Nachfrage bedingt. Die Bürogebäude bedürfen im Effizienz-Szenario im Jahr 2050 rund drei Viertel dieser Energie, was vor allem auf deren grösseren Flächenanteil zurückzuführen ist.

Der Verlauf der Nachfragekurve sowie die Unterschiede zwischen dem Referenz- und dem Effizienz-Szenario folgen den in Kapitel 5.1.1 und 5.1.2 genannten Gründen.



Figur 53 Gebäudebezogene Energienachfrage (TJ) ohne Strom von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario

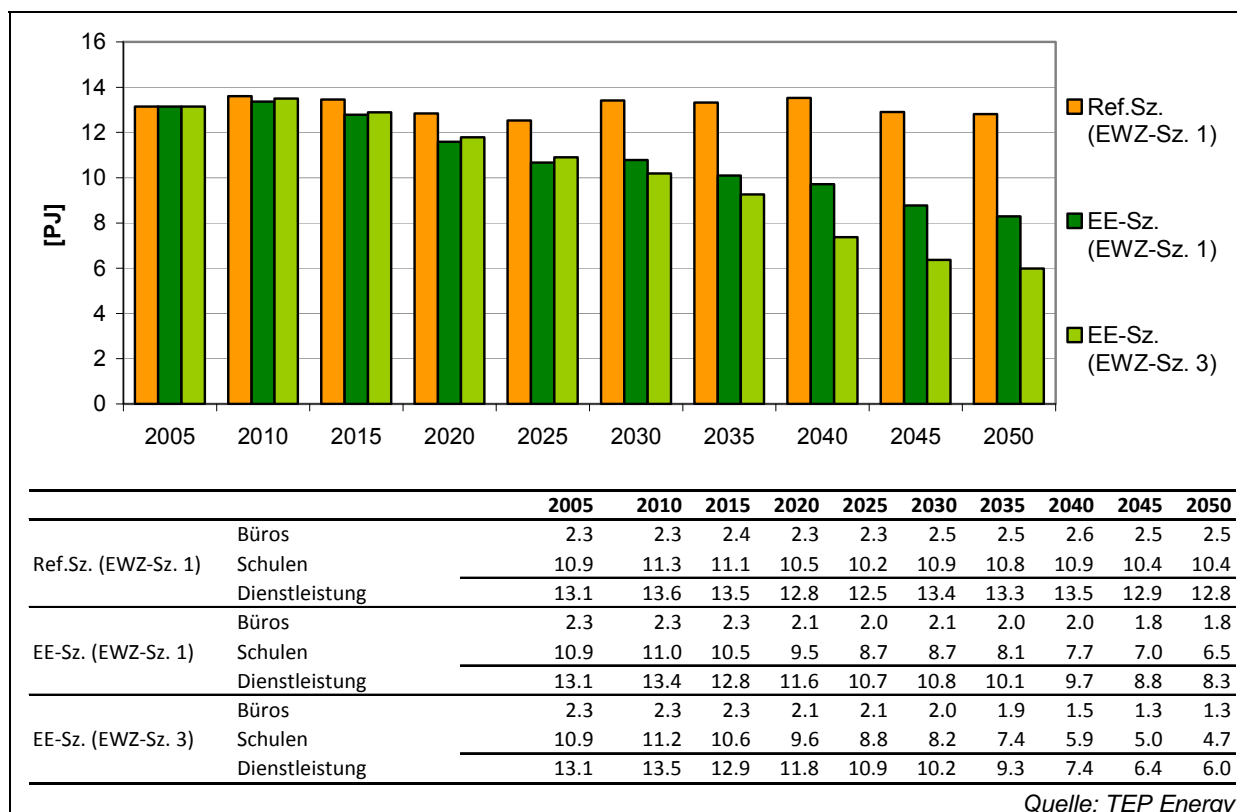


Figur 54 Gebäudebezogene Energienachfrage (TJ) ohne Strom von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario

5.2 Primärenergienachfrage bei Schul- und Bürogebäuden

5.2.1 Primärenergienachfrage der Schul- und Bürogebäude im Total

Die Primärenergienachfrage ergibt sich durch eine Multiplikation der Endenergienachfrage mit den Primärenergiefaktoren (siehe Anhang A). Im Referenz-Szenario mit dem EWZ Strommix Szenario 1 entwickelt sich die Primärenergienachfrage der Schul- und Bürogebäude im Zeitablauf von 2005 bis 2050 von 13,1 PJ auf 12,8 PJ d.h. er bleibt ungefähr konstant (Figur 55). Im Effizienz-Szenario (EWZ Szenario 3) nimmt die Primärenergienachfrage von 13,1 PJ auf 6 PJ ab. Dies entspricht einer Reduktion um mehr als die Hälfte.

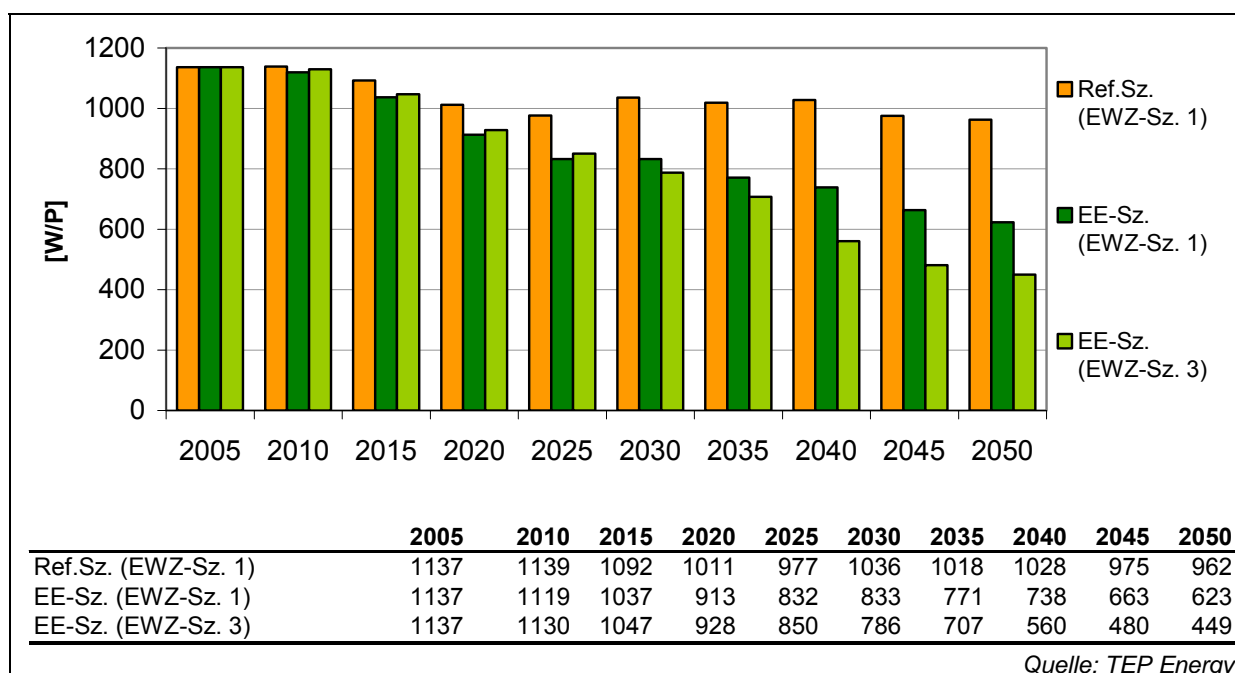


Figur 55 Primärenergienachfrage (PJ) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario (orange) und im Effizienz-Szenario (grün) für zwei EWZ-Strommixszenarien

Umgerechnet auf die Dauerleistung pro Einwohner entspricht die Primärenergienachfrage im Jahr 2005 einer Leistung von 1'137 Watt pro Kopf.⁹ Die relative Veränderung im Zeitablauf entspricht nicht der relativen Veränderung der Gesamtenergienachfrage. Anfangs nimmt die nachgefragte Dauerleistung pro Kopf auch im Referenz-Szenario klar ab (Figur 56). Ab 2025 resultiert ein erneuter Anstieg der Primärenergienachfrage des Büro- und Schulbereichs pro Kopf der Bevölkerung wenn auch nur ein leichter. Im Jahr 2050 erreicht die Dauerleistung im Referenz-Szenario einen Wert von 960 Watt pro Kopf, d.h. 15% weniger als im Jahr 2005. Im Effizienz-Szenario kann die Dauerleistung um über 500 Watt auf rund 450 Watt/Person gesenkt werden. Im Quervergleich zur Gesamtschweiz liegen diese Werte mehr als doppelt so hoch, dies ist bedingt durch die höhere Bedeutung der betrachteten Gebäudetypen des DL-Sektors im Vergleich zu den Wohngebäuden.

⁹ Hinweis: die Primärenergieleistung wird auf die gesamte Einwohnerzahl der Stadt Zürich bezogen und NICHT auf die Nutzenden dieser Gebäude.

Die Unterscheidung zwischen Bürogebäuden und Schulhäusern ist im Synthesekapitel in Figur 76 ersichtlich.

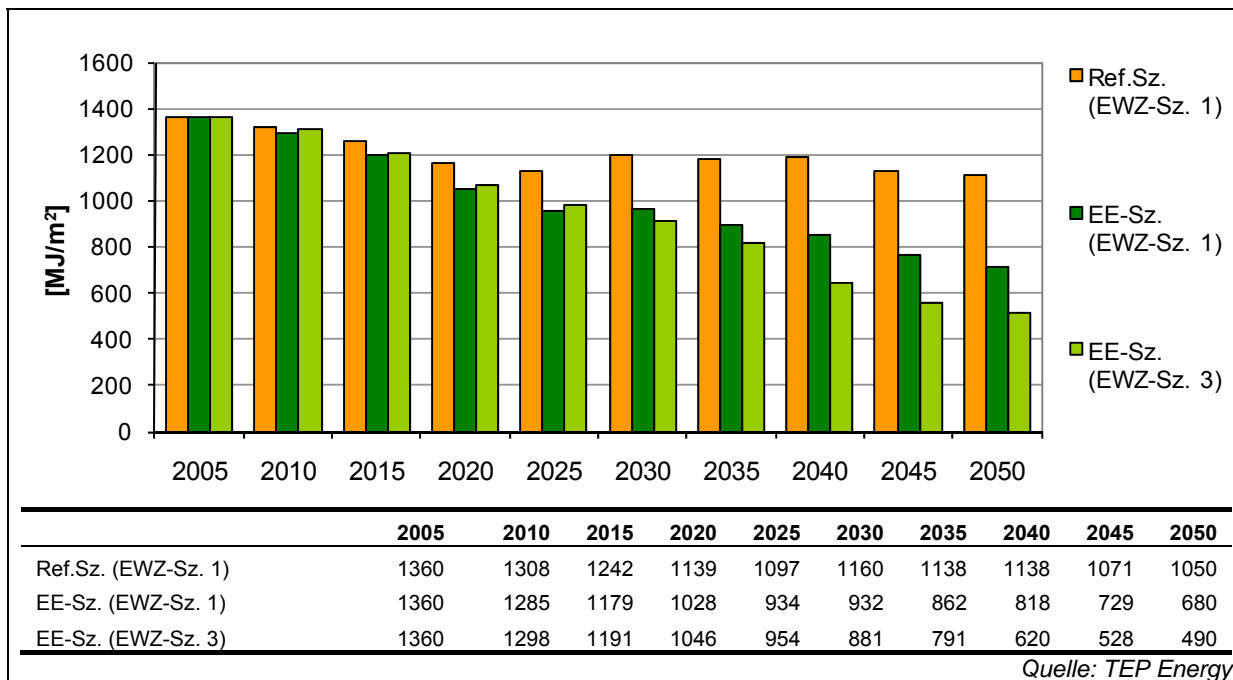


Figur 56 Spezifische Dauerleistung (Watt/Person) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario (orange) und im Effizienz-Szenario (grün) für zwei EWZ-Strommixszenarien

Der Indikator Primärenergie der Schulen und Büro pro Kopf der Bevölkerung ist also nur im Querbezug zur Bevölkerungsentwicklung zu interpretieren. Die Betrachtung der spezifischen Primärenergienachfrage pro Quadratmeter Energiebezugsfläche ist direkter aussagekräftig und erlaubt zwei neue Erkenntnisse.

- Zum einen ist bereits im Referenz-Szenario eine sinkende spezifische Energienachfrage durch die steigende Effizienz erkennbar, bis zum Jahr 2025 sinkt dieser um etwa 18% auf 1'119 MJ/m² (Figur 57). Die Absenkung findet trotz der steigenden Diffusion von Energiedienstleistungen wie z.B. den Betriebseinrichtungen statt. Nach 2025 erfolgt ein erneuter leichter Anstieg, gefolgt von einer erneuten Absenkung, welche im Jahr 2050 zu einer im Vergleich zu 2005 um 20% geringeren Nachfrage führt.
- Zum anderen werden die ambitionierten Annahmen des Effizienz-Szenarios ersichtlich. Die spezifische Primärenergienachfrage sinkt um etwa 62% von 1'360 MJ/m² auf 517 MJ/m². Diese Absenkung findet wiederum trotz der zusätzlichen Diffusion der Energiedienstleistungen statt.

In der Figur 73 im Synthesekapitel wird die Primärenergienachfrage pro Fläche nach Schulhäusern und Bürogebäuden separat ausgewiesen.



Figur 57 Spezifische Primärenergienachfrage (MJ/m²) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario (orange) und im Effizienz-Szenario (grün) für zwei EWZ-Strommixszenarien

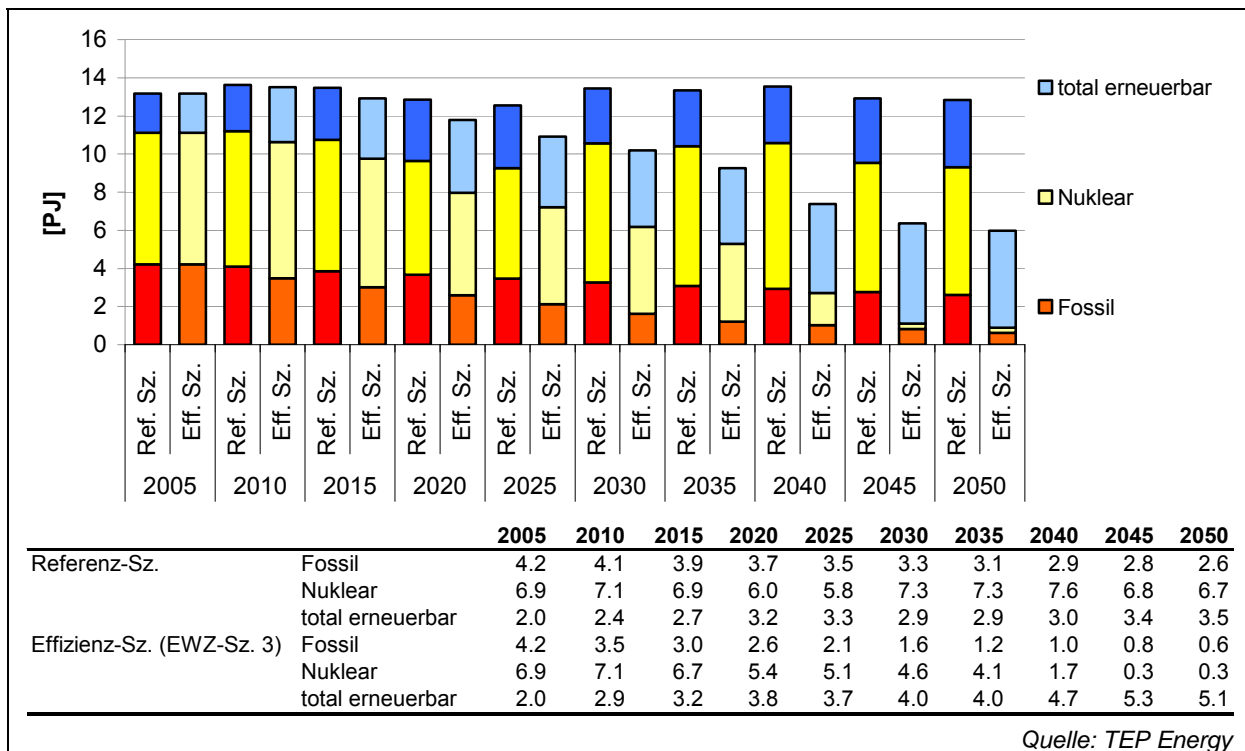
5.2.2 Primärenergie nach Art der Energieträger

In den nachfolgenden Figuren ist die Primärenergienachfrage nach Art des Primärenergieträgers (fossil, nuklear oder erneuerbar) ausgewiesen. Für das Referenz-Szenario ist der Strommix des Szenarios 1 des EWZ Berichts Strom Zukunft und für das Effizienz-Szenario der Strommix des EWZ-Szenarios 3 angenommen.

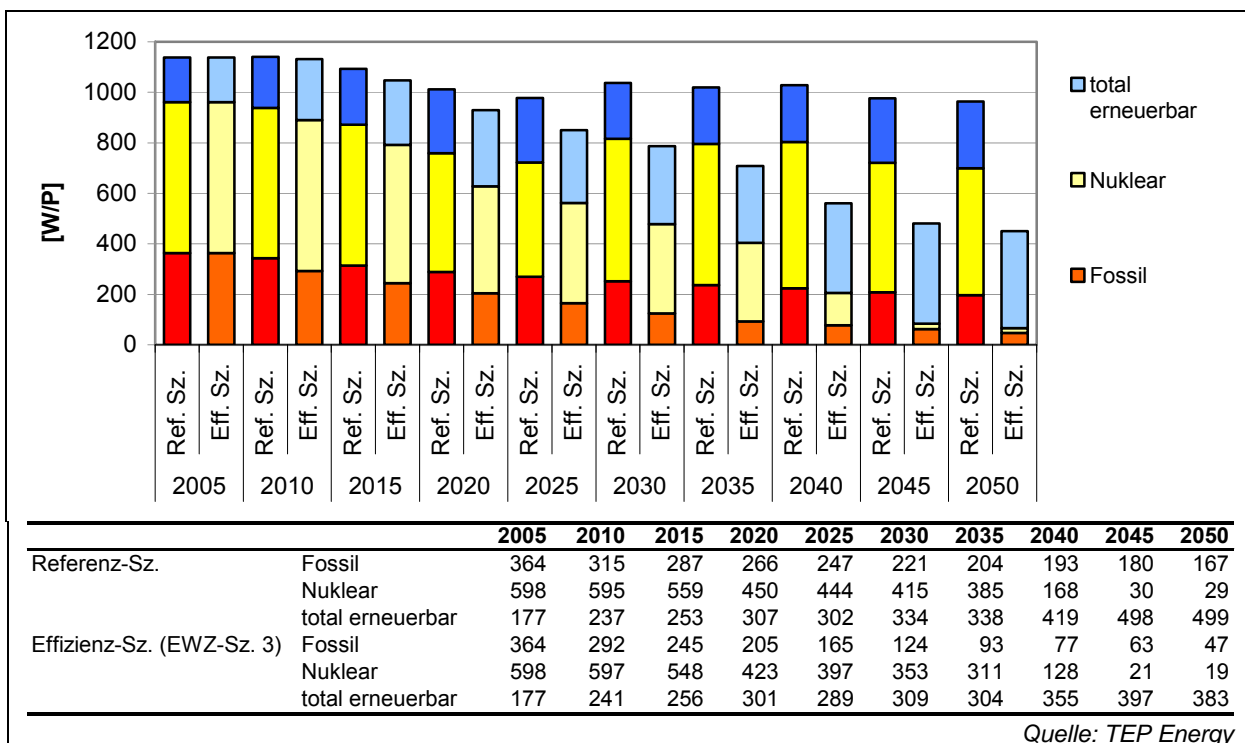
Der fossile Anteil beträgt im Basisjahr 2005 rund 30%. Der Rest, rund 70%, entfällt auf die Primärenergieträger nukleare und erneuerbare Quellen. Diese letzteren Quellen entsprechen in etwa, aber nicht vollständig, dem Anteil der Primärenergie, welcher der Stromnachfrage zugeordnet werden kann.

In beiden Szenarien ergibt sich, dass sich der Beitrag der fossilen Energieträger reduzieren wird (Figur 58). Im Referenz Szenario um rund 38% und in den Effizienz Szenarien sogar um 86%. Im Referenz-Szenario wird Rückgang der Primärenergie der nuklearen Stromerzeugung um 3% verzeichnet. Im Effizienz-Szenario sinkt die PE-Nachfrage aus nuklearen Energiequellen auf beinahe Null (0.3 PJ), dies gemäss Annahmen des EWZ-Szenarios. Die Differenz wird durch einen erhöhten Anteil an erneuerbaren Energieträgern kompensiert.

Strukturell lassen sich vergleichbare Aussagen bei der Pro-Kopf-Darstellung der Primärenergiedauerleistung erzielen (Figur 59).



Figur 58 Primärenergienachfrage (PJ) der Schul- und Bürogebäude im Referenz-Szenario und im Effizienz-Szenario, gegliedert nach Primärenergieträger



Figur 59 Spezifische Dauerleistung (Watt/Person) der Schul- und Bürogebäude im Referenz-Szenario und im Effizienz-Szenario (Strommix gemäss EWZ-Szenario 3), gegliedert nach Primärenergieträgern

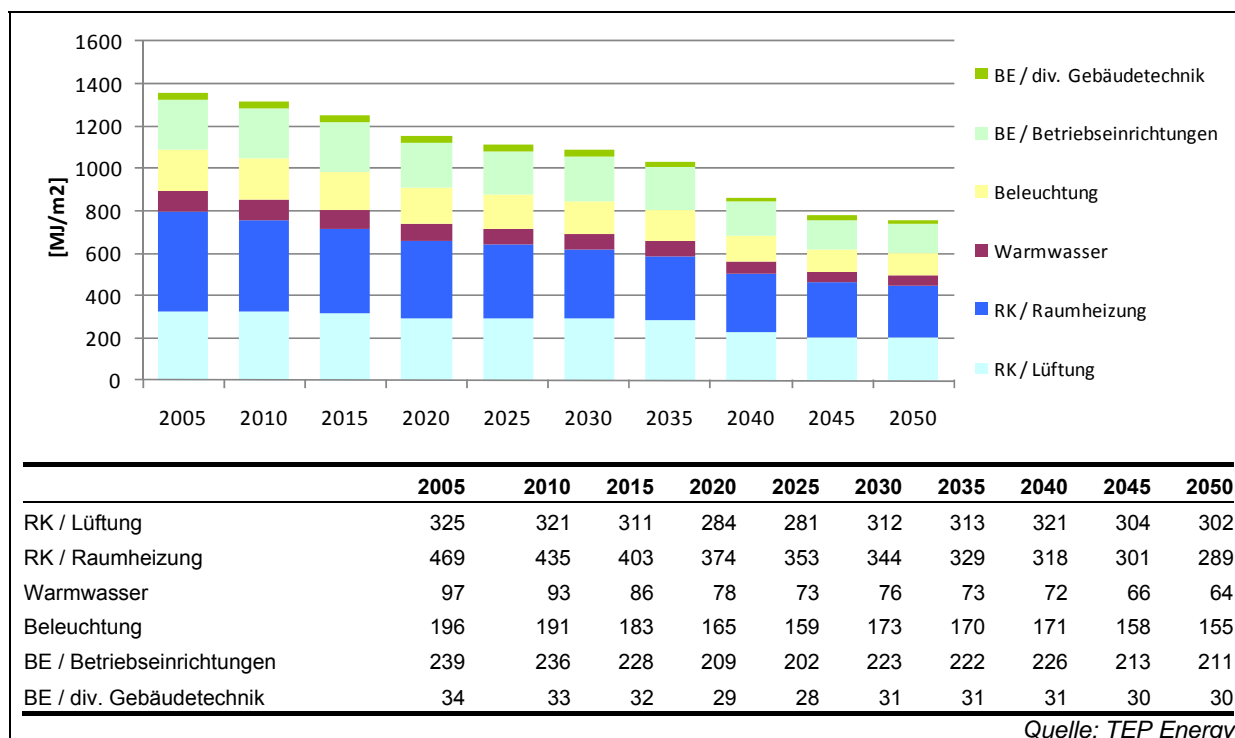
5.2.3 Primärenergienachfrage nach Verwendungszweck

Im Referenz-Szenario ergeben sich knapp 60% der flächenspezifischen Primärenergienachfrage durch den Verwendungszweck Raumklima (Raumheizung und Lüftung). Die

Betriebseinrichtungen und die Beleuchtung machen 14% bzw. 18% der Primärenergie-nachfrage aus, während Warmwasser nur für rund 7% verantwortlich ist. Strom wird hierbei vor allem bei den Betriebseinrichtungen einschliesslich der diversen Gebäudetechnik und der Beleuchtung (ausschliesslich) sowie bei der Lüftung (hauptsächlich) eingesetzt.

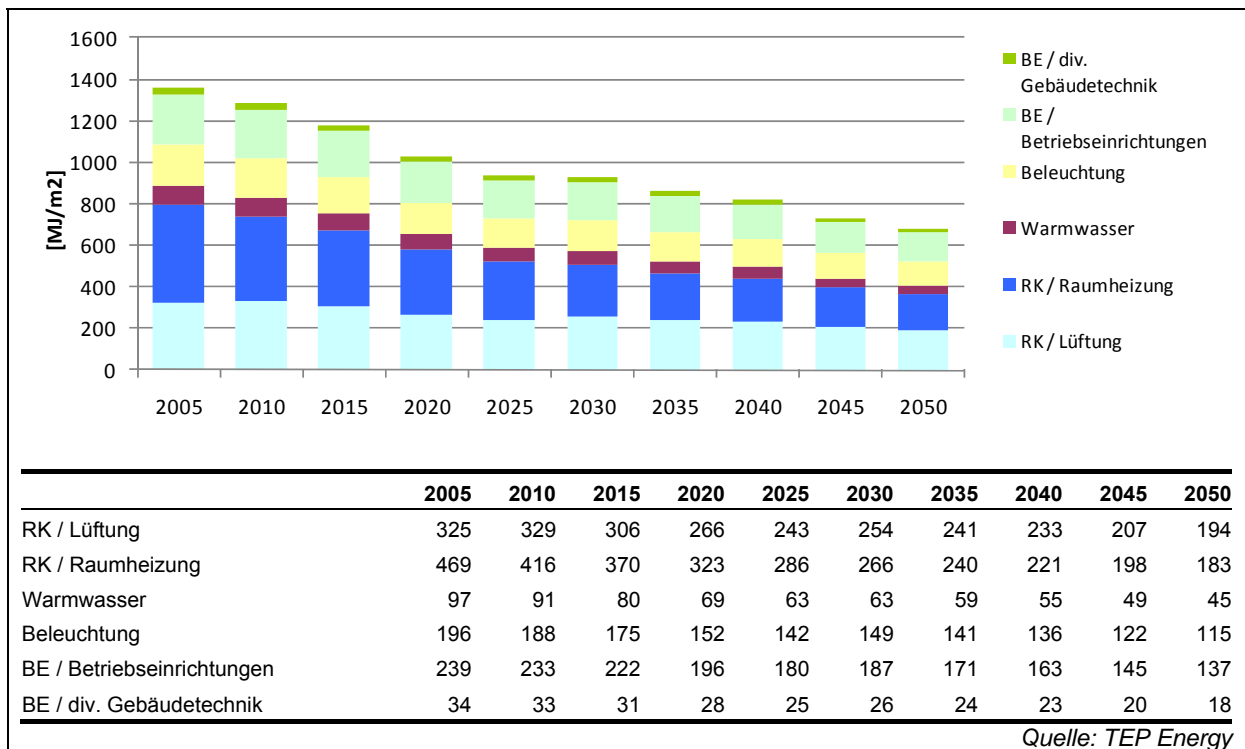
Im Zeitablauf nimmt die Primärenergienachfrage der Lüftungen und der Betriebs-einrichtungen relativ langsam ab, d.h. sie nimmt gesprochen an zusätzlicher Bedeutung (Figur 60) zu. Bei diesen Anwendungen schlagen das Wachstum der EBF sowie die zusätzliche Diffusion auf das Endergebnis durch. Der Bereich Raumheizung hingegen geht relativ und auch absolut zurück. Im Jahr 2050 macht die strombedingte Primärenergie-nachfrage einen Anteil von mehr als 700 MJ/m² aus, dies bei einem Total von rund 1'100 MJ/m².

Einen Überblick über die spezifische Primärenergienachfrage von Schulen, Büros und Wohnungen findet sich im Synthesekapitel in Figur 72 (Referenz-Szenario) und Figur 73 (Effizienz-Szenario).

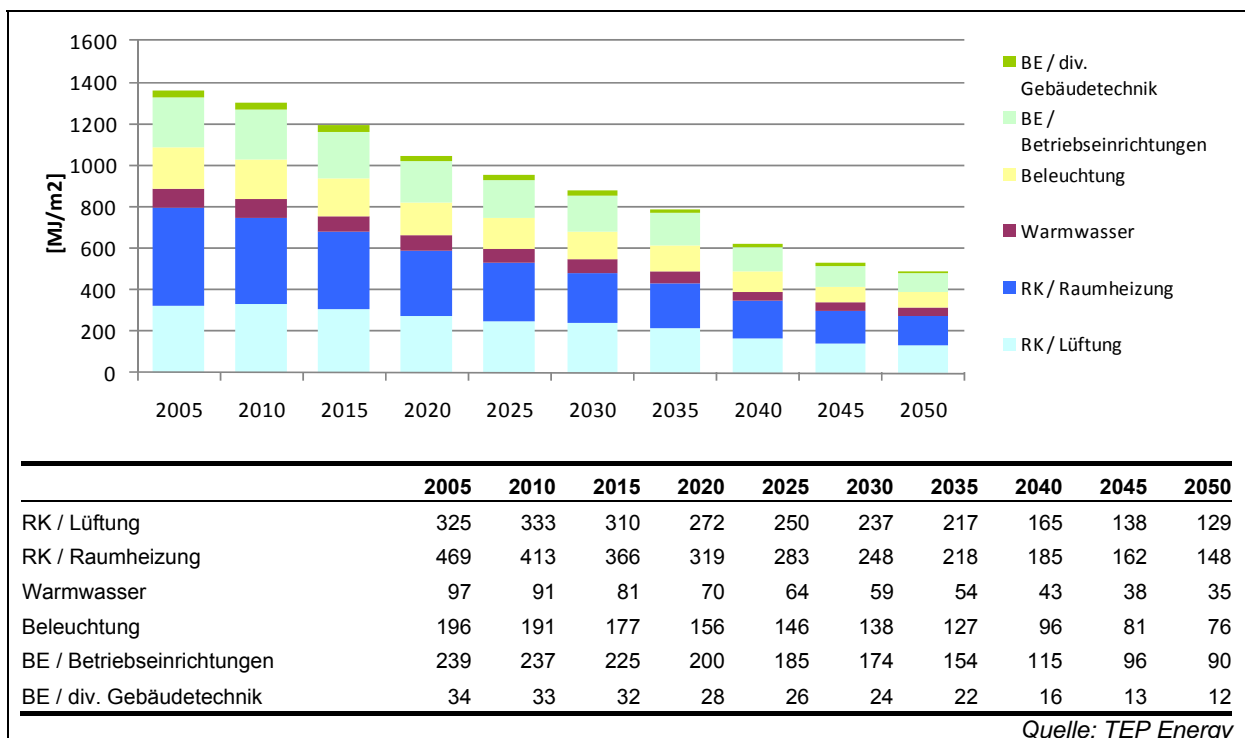


Figur 60 Spezifische Primärenergienachfrage (MJ/m²) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Referenz-Szenario (Primärenergiefaktoren gemäss Mix des EWZ-Szenario 1)

Im Effizienz-Szenario sind qualitativ dieselben Trends und Entwicklungen zu erkennen (siehe Figur 61 für das EWZ-Szenario 1, Figur 62 für das EWZ-Szenario 3). Hervorzuheben sind die noch höheren Effizienzgewinne im Bereich Raumheizung. Die Primärenergienachfrage für Raumheizung sinkt um über 60% bis zum Jahr 2050 und damit überproportional. Im Total sinkt die spezifische Primärenergienachfrage um rund die Hälfte.



Figur 61 Spezifische Primärenergienachfrage (MJ/m²) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Effizienz-Szenario mit Primärenergiefaktoren gemäss Mix des EWZ-Szenario 1)



Figur 62 Spezifische Primärenergienachfrage (MJ/m²) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Effizienz-Szenario (Primärenergiefaktoren gemäss Mix des EWZ-Szenario 3)

Zwischen den beiden Varianten mit unterschiedlichem Strommix bestehen nur geringe Unterschiede, auch bedingt durch die Tatsache, dass die Wasserkraft in beiden Varianten einen gleich hohen Anteil, der beträchtlich ist, einnimmt.

5.3 Treibhausgasemissionen der Schul- und Bürogebäuden

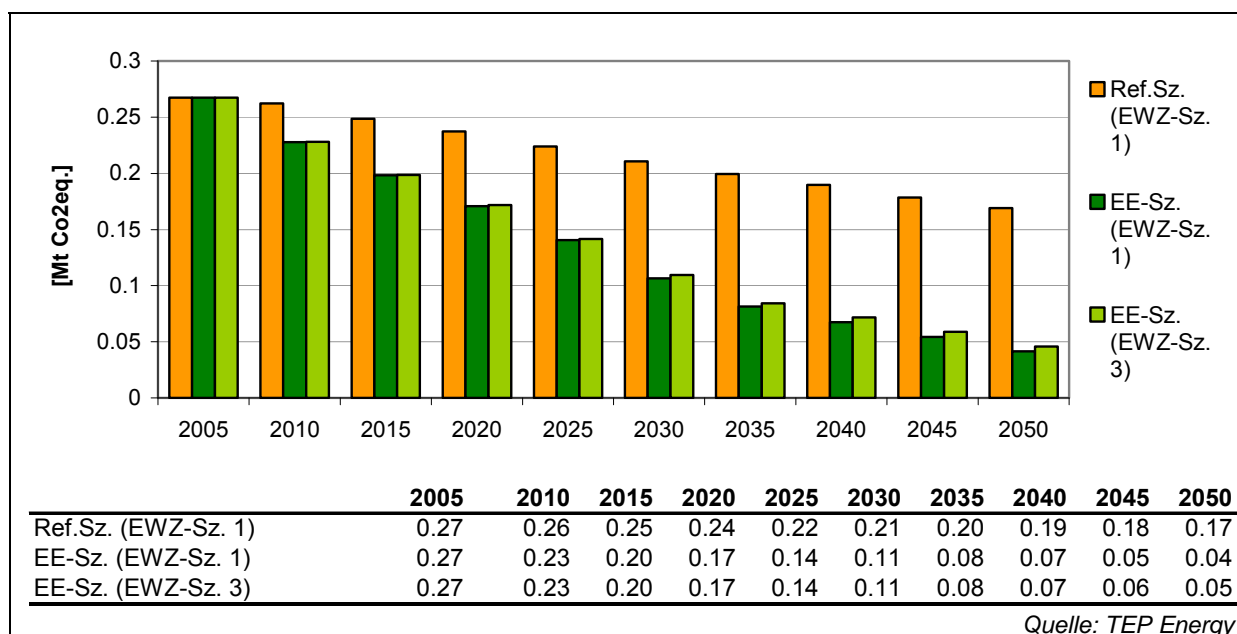
5.3.1 Treibhausgasemissionen im Total

Anhand der spezifischen Treibhausgasintensität des jeweiligen Umwandlungssystems (Frischknecht und Tuchschnid 2008) lässt sich der durch die Energieanwendungen verursachte Treibhausgasausstoß berechnen. Dieser wird in Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten (Mt CO₂-äq.) ausgewiesen.

Im Referenz-Szenario gehen die Treibhausgasmissionen der Büro- und Schulen um fast 37% zurück, dies trotz eines nur leichten Rückgangs der absoluten Primärenergienachfrage. Die Reduktion ist v.a. strukturell bedingt und liegt in der Substitution von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energien (inkl. Umweltwärme) und primärenergie-intensiven Strom sowie durch geringere fossile Stromimporte begründet.

Im Effizienz-Szenario sinken die jährlichen Treibhausgasemissionen der Büro- und Schulgebäude von einem Ausgangsniveau im 2005 von 0,27 Mt um 80% auf ein Niveau von noch 0,04 Mt, respektive 0,05 Mt. Entscheidend sind hierbei sowohl die Reduktion der Primärenergie (um rund 54%, siehe Figur 58) als auch die Reduktion der Treibhausgas-Intensität der eingesetzten Primärenergie, namentlich des Stroms: beim EWZ Szenario hat die Wasserkraft relativ gesehen am Ende der Betrachtungsperiode eine hohe Bedeutung (weil die Nachfrage insgesamt gering ist, der Sockel der Wasserkraft aber konstant) und die übrige Stromnachfrage weist annahmenbedingt ebenfalls eine geringe THG-Intensität auf.

Figur 78 im Synthesekapitel enthält zusätzlich noch Angaben über die Treibhausgasemissionen aufgeteilt nach Wohnen, Schulen und Büro.



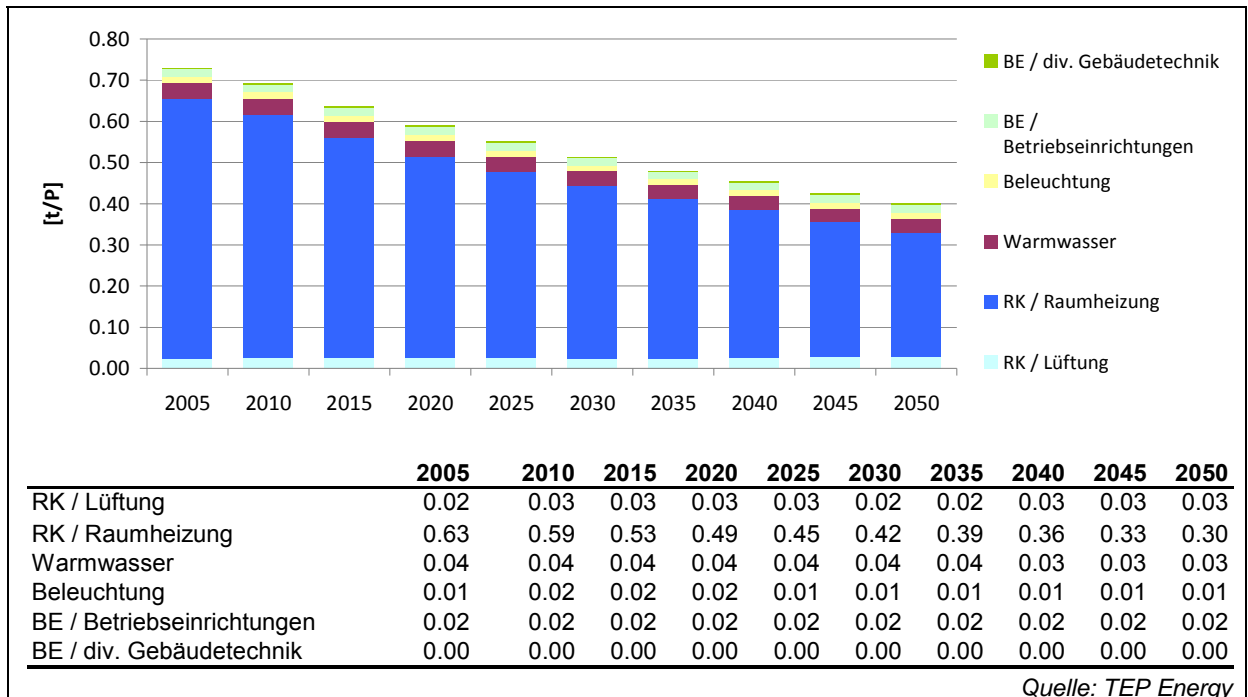
Figur 63 Treibhausgasemissionen (Mt CO₂-äq.) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario (orange) und im Effizienz-Szenario (grün) für zwei EWZ-Strommixszenarien

5.3.2 Treibhausgasemissionen nach Verwendungszweck

Die folgenden Grafiken zeigen die Treibhausgasemissionen des Totals der Büro- und Schulgebäude in Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Einwohner und Jahr, gegliedert nach den

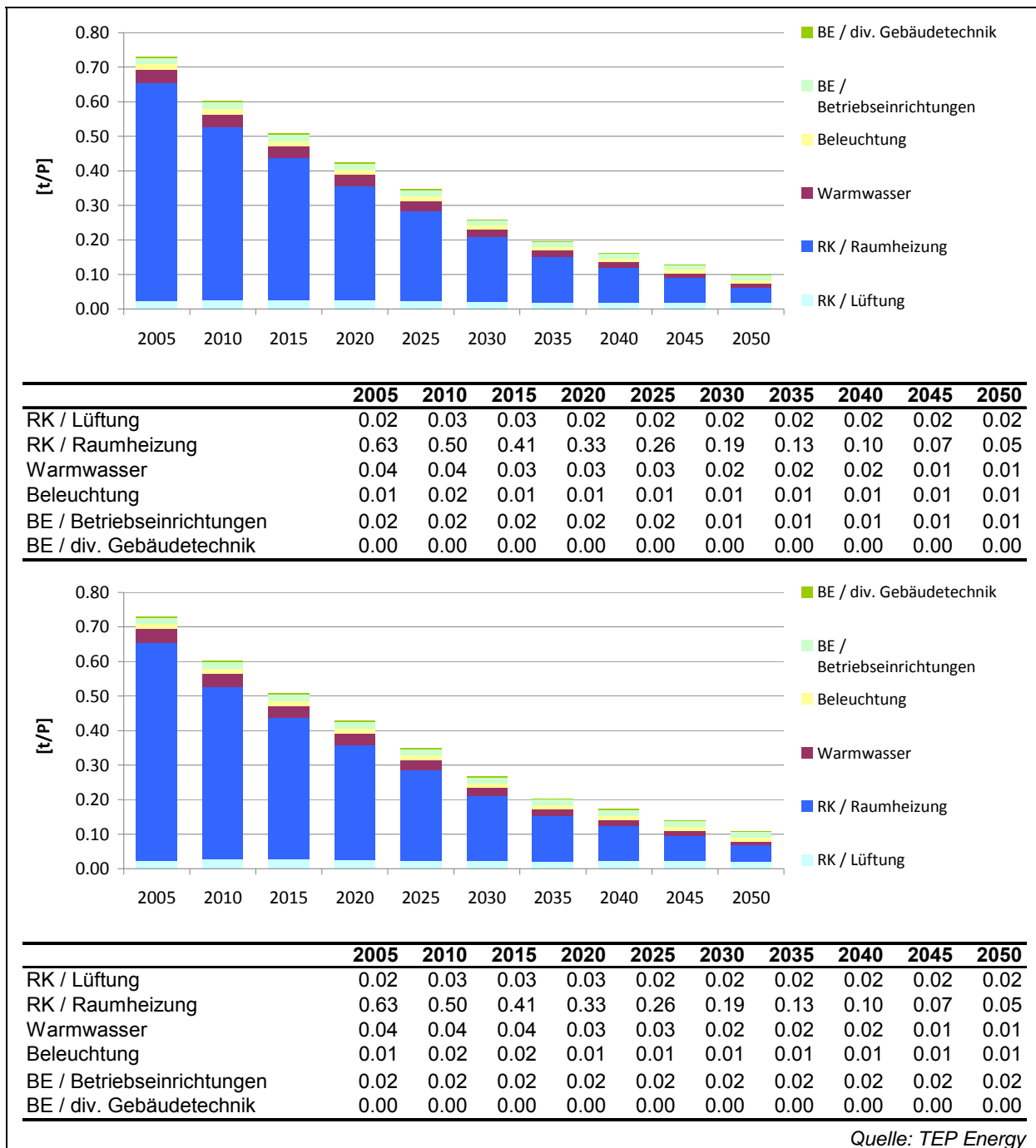
verschiedenen Energieverwendungszwecken. Im Total belaufen sich die Emissionen der Schul- und Bürogebäude im Jahr 2005 auf 0,72 t/Kopf. Im Referenz-Szenario nehmen die Treibhausgasemissionen um 46% auf 0,4 t/Kopf ab. Energieanwendungen, welche Elektrizität nutzen, haben einen relativ geringeren Anteil an den Treibhausgasemissionen (Figur 64).

Die spezifischen Treibhausgasemissionen im Referenz- wie auch im Effizienz-Szenario sind in Figur 75 im Synthesekapitel einzeln für Wohnen, Schulen und Büro separat ausgewiesen. In Figur 76 und Figur 77. im Syntheseteil sind zudem die Treibhausgasemissionen pro Fläche ersichtlich.



Figur 64 Spezifische Treibhausgasemissionen (t/P) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Referenz-Szenario (Treibhausgaskoeffizienten gemäss Mix des EWZ-Szenario 1)

Im Effizienz-Szenario (EWZ Szenario 3) nehmen die spezifischen Treibhausgasemissionen um 76% ab, auf rund 0,1 t/Kopf im Jahr 2050 (Figur 65). Mit 0,05 t/Kopf hat die Raumheizung nach wie vor den höchsten Anteil an den Emissionen.



Figur 65 Spezifische Treibhausgasemissionen (t/Person) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Effizienz-Szenario (Treibhausgaskoeffizient gemäss Mix des EWZ-Szenario 1 [oben] und 3 [unten])

5.4 Sensitivitätsanalysen

Sensitivität 1 (S1) betrachtet den Effekt der Gebäudehüllenerneuerung. Zu diesem Zweck wird das SIA 380/1 Berechnungsmodul des Effizienzszenarios auf das Referenzszenario angewendet. In S1 werden also folgende Annahmen des Effizienzszenarios übernommen:

- Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte),
- Rate Bauteilerneuerung und
- Diffusion Lüftungsgeräte bzw. Wärmerückgewinnung.

Sensitivität 2 (S2) soll die Auswirkungen der Energieerzeugerstruktur auf die Energienachfrage und die THG-Emissionen untersuchen. In diesem Fall werden alle Annahmen des Referenzszenarios verwendet (inkl. Strommix), ausser die folgenden, welche aus dem Effizienzzenario übernommen werden:

- Diffusion Wärmeerzeuger für Warmwasser und Raumwärme
- Systemnutzungsgrad der Wärmeerzeuger für Warmwasser und Raumwärme
- Zusammensetzung der Wärmeerzeuger für Fernwärme

Wie bei den Wohngebäuden zeigt sich, dass die Gebäudehüllenerneuerung (S1) in Bezug auf die End- und Primärenergienachfrage das effektivere Mittel ist. So lassen sich allein mit den im Effizienzzenario zugrunde gelegten Erneuerungsmassnahmen (trotz Flächenwachstum) bis 2050 ca. 17% Endenergie und 9% Primärenergie einsparen. Auch der THG-Ausstoss würde absolut um mehr als die Hälfte zurückgehen. Das sind immerhin 6%-Punkte mehr als im Referenzszenario.

Die zweite Sensitivität (S2), welche die Energieerzeuger betrachtet, reduziert weniger die End- oder Primärenergienachfrage (-8% und -6%), sondern hat vor allem einen Einfluss auf die Abnahme der THG-Emissionen. Diese werden absolut um 88% und pro Person um 80% auf 0,14 t/P im Jahr 2050 reduziert. Das entspricht zu einem grossen Teil der Wirkung des Effizienzzenarios EE3 (-83% und -85%).

Die Kombination der Effekte bzw. Massnahmen der beiden Sensitivitäten S1 und S2 entspricht weitgehend dem Effizienzzenario EE1 und hat ein höheres THG-Reduktionspotential als das Effizienzzenario EE3 (vgl. rechte Spalte in Tabelle 11). Die Ursache hierfür ist der geringere THG-Ausstoss des EWZ Szenarios 1 (vgl. Kapitel 8).

Tabelle 11 Ergebnis der Sensitivitätsanalysen 1 und 2

Szenario	Kategorie	Einheit	2005	2035	2050	2050 / 2005	ggü. Ref1	∑ S1 & S2
Referenzsz. Ref1	Endenergie	PJ	6,9	6,6	6,5	94,3%	0,0%	
	PE(tot)	PJ	13,1	13,3	12,8	97,5%	0,0%	
	THG	Mt CO ₂ -äq.	0,27	0,20	0,17	63,2%	0,0%	
	PE(tot) p. P.	W/P	1136,6	1018,4	962,1	84,7%	0,0%	
	THG p. P.	t CO ₂ -äq./P	0,73	0,48	0,40	54,9%	0,0%	
Effizienzsz. EE3	Endenergie	PJ	6,9	5,0	4,2	61,1%	35,2%	14,1%
	PE(tot)	PJ	13,1	9,3	6,0	45,5%	53,3%	10,7%
	THG	Mt CO ₂ -äq.	0,27	0,08	0,05	17,2%	72,9%	87,8%
	PE(tot) p. P.	W/P	1136,6	707,5	449,3	39,5%	53,3%	10,7%
	THG p. P.	t CO ₂ -äq./P	0,73	0,20	0,11	14,9%	72,9%	87,8%
Sensitivität S1 - „Gebäude- hülle“	Endenergie	PJ	6,9	6,0	5,7	83,5%	11,4%	
	PE(tot)	PJ	13,1	12,7	11,9	90,7%	6,9%	
	THG	Mt CO ₂ -äq.	0,27	0,17	0,13	48,8%	22,8%	
	PE(tot) p. P.	W/P	1136,6	967,2	895,4	78,8%	6,9%	
	THG p. P.	t CO ₂ -äq./P	0,73	0,40	0,31	42,4%	22,8%	
Sensitivität S2 „Energie- träger“	Endenergie	PJ	6,9	6,4	6,3	91,8%	2,6%	
	PE(tot)	PJ	13,1	12,9	12,3	93,8%	3,7%	
	THG	Mt CO ₂ -äq.	0,27	0,11	0,06	22,2%	65,0%	
	PE(tot) p. P.	W/P	1136,6	985,1	926,1	81,5%	3,7%	
	THG p. P.	t CO ₂ -äq./P	0,73	0,26	0,14	19,2%	65,0%	
„2050/2005“:	Veränderung Jahr 2050 gegenüber 2005 im jeweiligen Szenario							
„ggü.Ref1“:	Veränderung des jeweiligen Szenarios im Jahr 2050 gegenüber dem Referenzszenario im Jahr 2050							
„∑ S1 & S2“:	Summe der Effekte aus Sensitivität 1 (S1 – Gebäudehülle) und Sensitivität 2 (S2 – Energieträger)							

6. Synthese der Ergebnisse, Schlussfolgerungen und Empfehlungen

In der Folge werden die Resultate aus den vorangegangenen Kapiteln zu den beiden Gebäudeparkmodellen (Büro- und Wohngebäude sowie Wohngebäude) zusammengefasst und Handlungsempfehlungen abgeleitet.

6.1 Resultate

In der gesamthaften Betrachtung der Büro-, Schul- und Wohngebäude zeigt sich, dass zwar der flächenspezifische Verbrauch an Primärenergie bei den Büros am höchsten ist, jedoch die Wohngebäude die pro-Kopf-der-Bevölkerung-spezifische und absolute Primärenergienachfrage dominieren, wenn auch nicht so stark wie im gesamtschweizerischen Fall (siehe Wallbaum et al. 2009).¹⁰ Darüber hinaus weisen die Wohngebäude ein grosses Potential für eine Reduktion der flächenspezifischen Energienachfrage auf. Diese beiden Faktoren lassen ihnen eine wichtige Rolle auf dem Weg hin zu einer 2000-Watt-Gesellschaft zukommen, auch wenn zu betonen ist, dass die übrigen Bereiche (übriger DL-, Industrie- und Verkehrssektor) in der Summe einen höheren Anteil aufweisen (siehe Kap. 1.4).

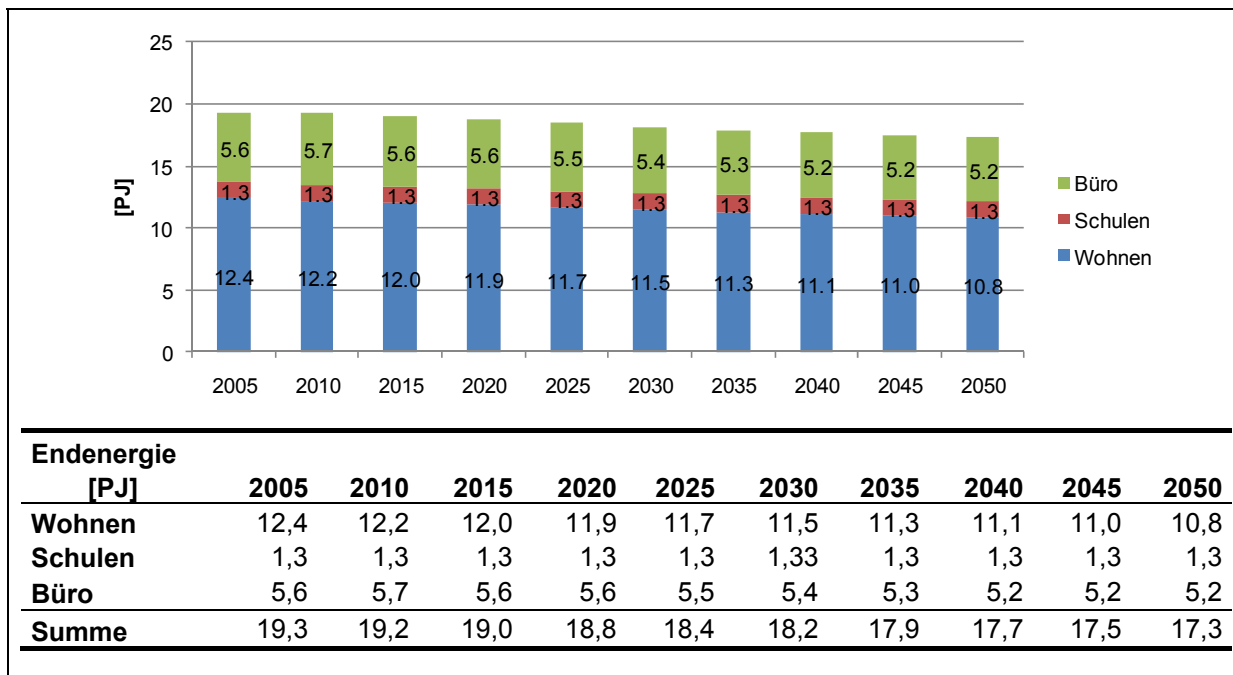
6.1.1 Endenergienachfrage

Wie bereits in Kapitel 4 erläutert, ist im Referenz-Szenario für die Büro- und Schulgebäude nur eine geringe Reduktion bei der (absoluten) Energienachfrage zu erwarten. Bei den Wohngebäuden lässt sich festhalten, dass der Mehrbedarf an Energiebezugsfläche von insgesamt 4,5 Mio. m² (+24%) zwischen 2005 und 2050 bereits im Referenz-Szenario mehr als kompensiert wird und der *Endenergie*bedarf gesamthaft um etwa 2 PJ, d.h. um gut 20% sinkt.

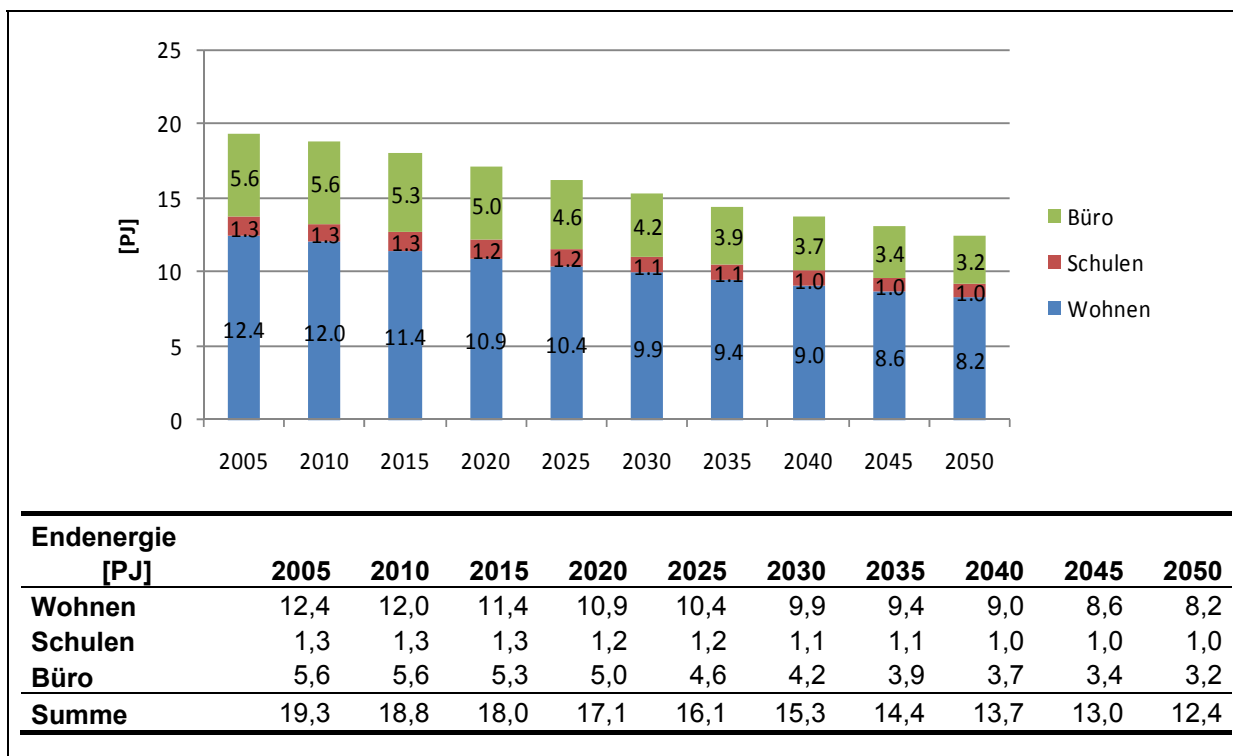
Im Effizienz-Szenario reduziert sich die Endenergienachfrage über den Betrachtungszeitraum hinweg für alle Gebäudetypen merklich. Die stärkste Reduktion gegenüber 2005 wird mit 42% bzw. 34% für die Büros und Wohngebäude erwartet; aber auch die Schulen leisten mit 26% einen wichtigen Beitrag. Insgesamt sinkt die *Endenergienachfrage* über alle Gebäudetypen bis 2050 um 36%.

Sowohl im Referenz- als auch im Effizienz-Szenario ist ein Strukturwandel zwischen den einzelnen Endenergieträgern erkennbar. Die steigende Nachfrage nach Elektrizität wird in der Aufgliederung nach Energieträgern, vor allem im Referenz-Szenario (Figur 68), klar erkennbar – Elektrizität macht nahezu 41% der gesamten Endenergienachfrage im Jahr 2050 aus, also wesentlich mehr als 2005 (30%). Im Effizienz-Szenario (Figur 69) kann ein bedeutsamer Anteil der Endenergienachfrage mittels erneuerbaren Energien (Umweltwärme, Holz, Solar und Hydrothermie) gedeckt werden. Im Jahr 2050 werden noch etwa 9% der Endenergienachfrage direkt durch fossile Energieträger (mehrheitlich Gas mit einem Restanteil Öl) gedeckt. Der Elektrizitätserzeugerpark spielt potentiell eine bedeutende Rolle, denn die Elektrizität hat auch im Effizienz-Szenario einen Anteil von 43%.

¹⁰ Zur Erinnerung: Die Pro-Kopf-Angaben beziehen sich auf die Stadtzürcher Wohnbevölkerung und nicht auf die jeweiligen Personen, welche die Gebäude nutzen.

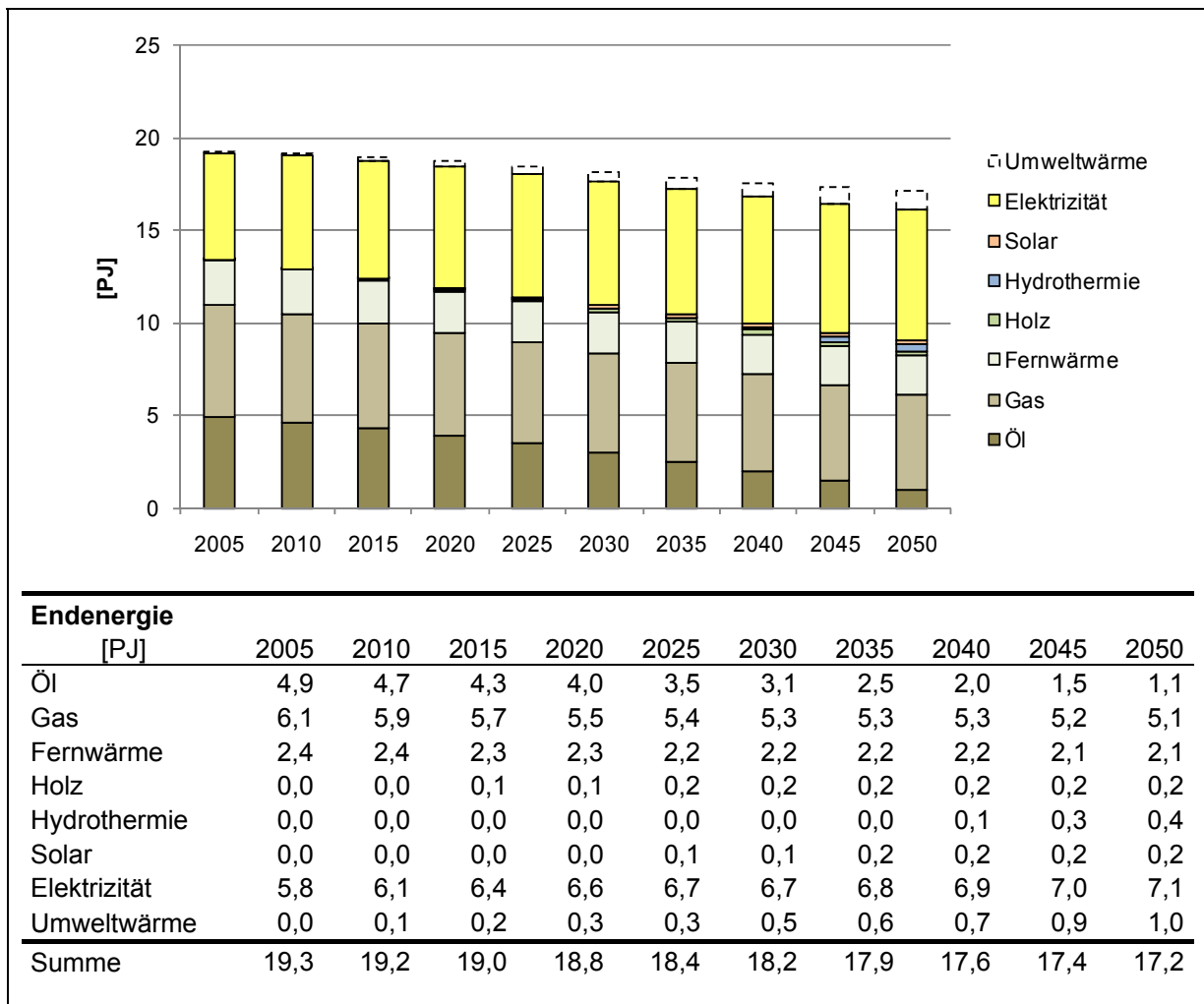


Figur 66 Gesamtendenergienachfrage nach Gebäudetyp in PJ – Referenz-Szenario

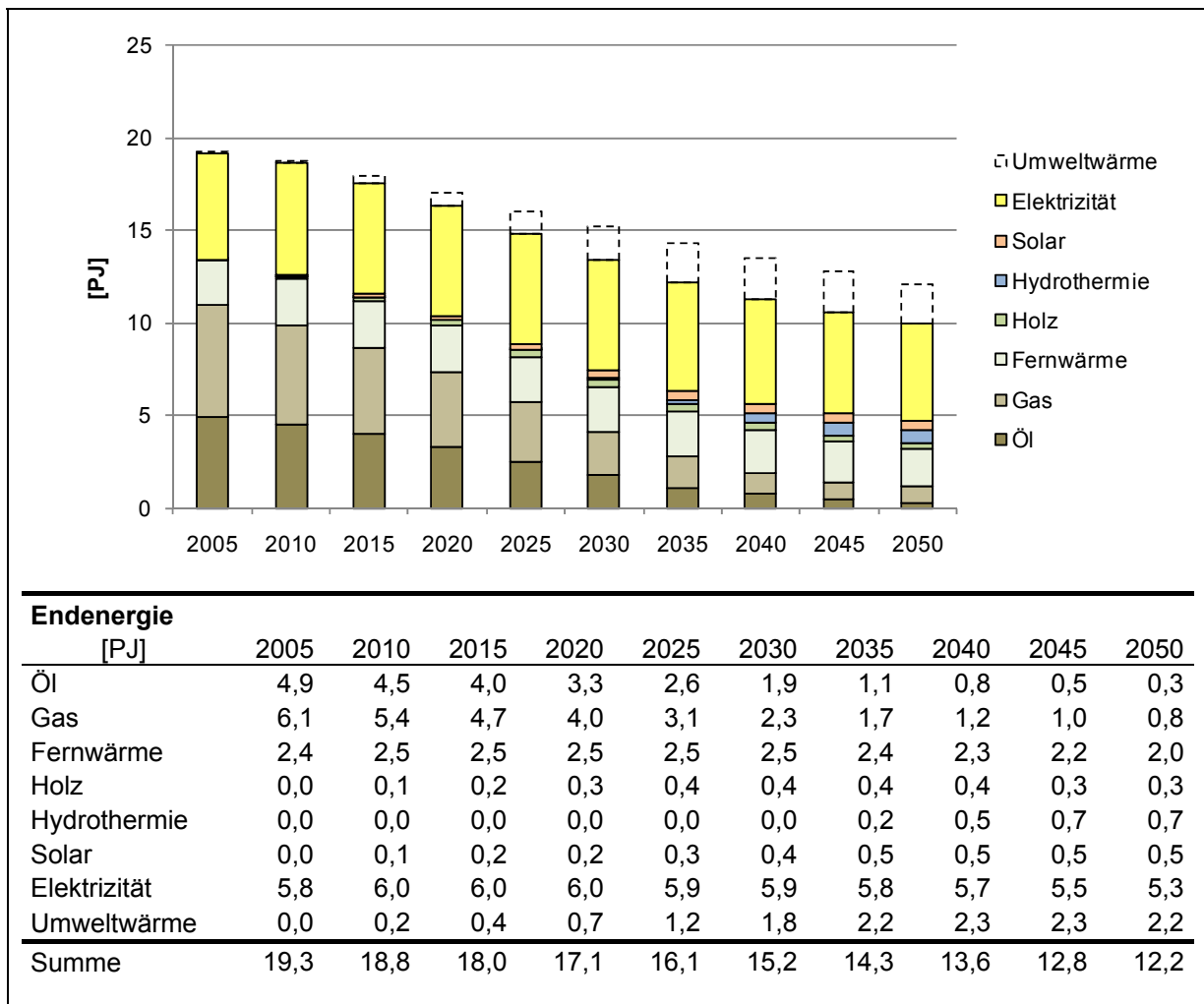


Figur 67 Gesamtendenergienachfrage nach Gebäudetyp in PJ – Effizienz-Szenario

Absolut gesehen steigt die Stromnachfrage im Referenz-Szenario bis 2050 mit +22% weiter an (siehe Figur 68). Im Effizienz-Szenario erfolgt nach einem anfänglichen Anstieg bis etwa 2015 wieder eine Reduktion der Stromnachfrage, so dass diese 2050 rund 9% unter dem Niveau von 2005 zu liegen kommt (Figur 69). Die Nachfrage nach Erdgas und vor allem Öl nehmen in beiden Szenarien ab. Während die Holznachfrage leicht zunimmt, ist bei den übrigen erneuerbaren Energien, vor allem bei der Umweltwärme, ein starker Zuwachs festzustellen; im Effizienz-Szenario liegt die Nachfrage im Jahr 2050 10-mal höher als 2010.



Figur 68 Gesamtendenergienachfrage nach Anwendung für alle Gebäudenutzungen in PJ – Referenz-Szenario

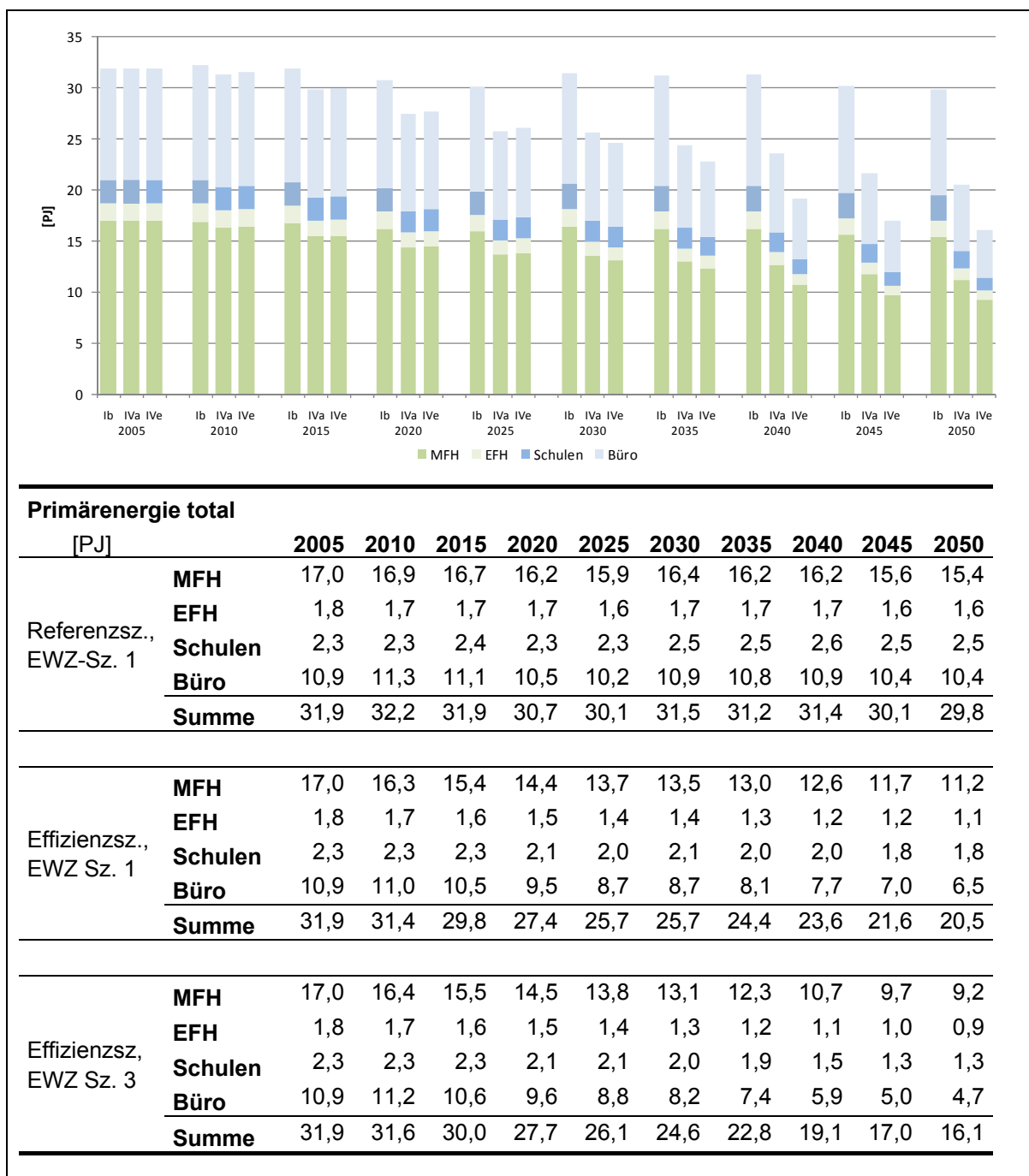


Figur 69 Gesamtendenergienachfrage nach Anwendung für alle Gebäudenutzungen in PJ – Effizienz-Szenario

6.1.2 Primärenergienachfrage gesamt nach Gebäudenutzung

Die Gesamtprimärenergienachfrage nimmt im Referenz-Szenario um etwa 7%, d.h. weniger stark als die Endenergie (-11%) ab. Die Differenz lässt sich namentlich mit der Zunahme der Elektrizitätsnachfrage bis 2050 erklären, denn im Vergleich zu den anderen Energieträgern ist Elektrizität primärenergieintensiver. Auch auf Ebene der Primärenergienachfrage kann die Steigerung der Energiebezugsfläche in der Summe kompensiert werden; dies aufgrund einer sinkenden Nachfrage, v.a. bei den Wohngebäuden. Im Teilbereich der Schulgebäude ist dies im Referenz-Szenario jedoch nicht der Fall – es ist ein leichter Anstieg zu beobachten (Figur 70), was vornehmlich auf die Ausbautwicklung im Hochschulbereich zurück zuführen ist.

In den Effizienz-Szenario-Varianten kann in die Gesamt-Primärenergienachfrage bis 2050 durch weiterreichende nachfrageseitige Effizienzverbesserungen um einen Drittel (Szenario-Variante mit EWZ-Szenario 1) bzw. um die Hälfte (mit EWZ-Szenario 3) gesenkt werden, dies trotz Bevölkerungswachstum, zunehmender Elektrizitätsnachfrage und Steigerung der EBF pro Person. Die zusätzliche Wirkung in der Variante mit dem EWZ-Szenario 3 ist strukturellen Effizienzgewinnen im Umwandlungssektor zu verdanken: Zum einen erfolgt bis 2045 ein Totalausstieg bei der Kernenergie, welche sehr primärenergieintensiv ist. Zum anderen wird der entstehende Deckungsbedarf allein durch regenerative Energien gedeckt (in Reihenfolge des Gewichts: Windenergie aus dem Ausland (offshore und onshore), Solarthermie aus dem Ausland und Geothermie).

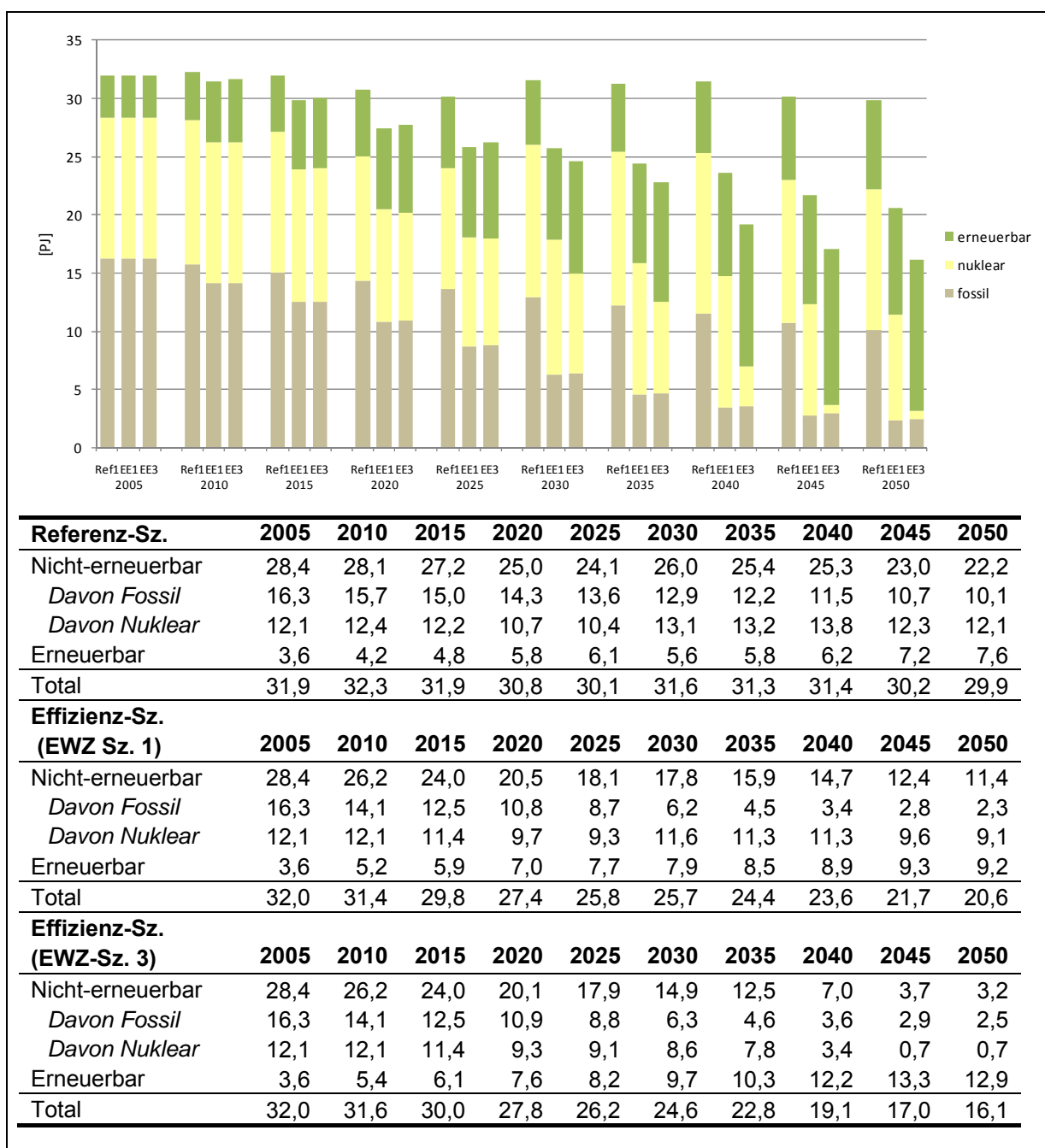


Figur 70 Totale Primärenergienachfrage nach Gebäudenutzung in PJ – Referenz-Szenario und Effizienz-Szenario-Varianten im Vergleich (PEF Elektrizität nach EWZ-Sz. 1 und 3)

Die Art der Elektrizitätsproduktion hat einen gewissen, aber nicht dominierenden Einfluss auf die gesamte Primärenergienachfrage: bei der Szenario-Variante mit dem EWZ-Szenario 3 ist sie nochmals um etwa ein Viertel tiefer. Die Erzeugung von Elektrizität durch nukleare Energieträger ist, nach den Daten aus Frischknecht und Tuchschnid (2008), weniger primärenergieeffizient. Dies resultiert in einem erhöhten Primärenergiefaktor, woraus sich im Effizienz-Szenario mit dem EWZ Szenario 1 eine im Vergleich zum EWZ Szenario 3 erhöhte Nachfrage (ca. +4,4 PJ) im Jahr 2050 ergibt. Von diesem Unterschied ist hauptsächlich der Primärenergieaufwand der nuklearen und erneuerbaren Stromproduktion betroffen; der Sockel der Wasserkraft nimmt dabei nur geringfügig ab.

6.1.3 Struktur der Primärenergienachfrage nach Art der Energieträger

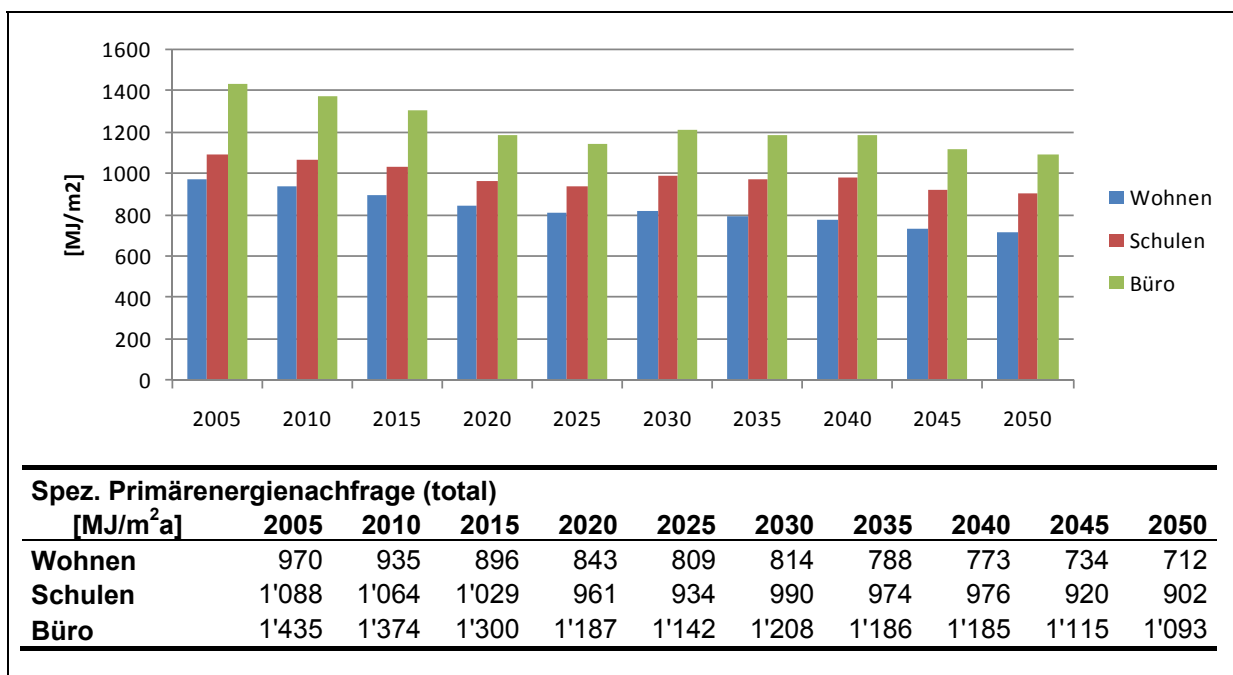
Die Aufteilung der Gesamtprimärenergienachfrage nach Primärenergieträgern zeigt im Referenz-Szenario (Figur 71) die Bedeutung der Reduktion der fossilen Energieträger (von rund der Hälfte auf ein Drittel). Diese wird durch eine *relative* Zunahme des nuklearen und vor allem des Anteils der erneuerbaren Energien kompensiert. Dieser Übergang zu überwiegend kohlenstofffreien Energieträgern erklärt die sinkenden Treibhausgasemissionen im Abschnitt 6.1.6.



Figur 71 Gesamtenergienachfrage totale Primärenergie nach Primärenergieträgern in PJ – Referenz-Szenario und Effizienz-Szenario im Vergleich (PEF Elektrizität nach EWZ-Sz. 1 und 3)

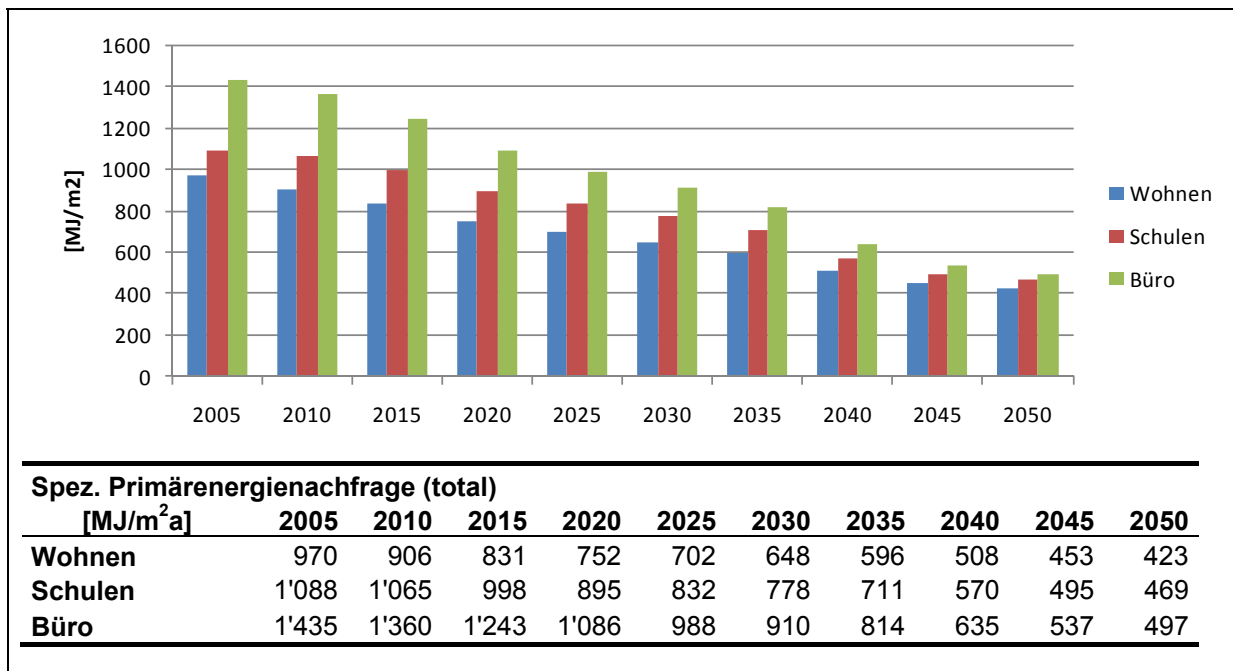
6.1.4 Spezifische Primärenergienachfrage gesamt

Der Vergleich der spezifischen Gesamtprimärenergienachfrage und dessen Reduktion zwischen den verschiedenen Gebäudetypen gibt Aufschluss über die verschiedenen Reduktionspotentiale der einzelnen Sektoren und somit auch über deren möglichen Beitrag hin zu einer 2000-Watt-Gesellschaft. Im Referenz-Szenario reduziert sich die flächenspezifische Nachfrage bis 2050 vor allem bei den Wohngebäuden, nämlich um etwa 27%. Für die Schulen wird eine etwas geringere Reduktion von 17% erwartet. Die abnehmenden Trends an Primärenergienachfrage-Reduktion im Referenz-Szenario verdeutlichen auch den sich bereits abzeichnenden Effizienzgewinn durch den techno-ökonomischen Fortschritt, neue Baunormen und ähnliche Massnahmen sowie strukturelle Effekte (zunehmender Anteil an effizienteren Neubauten), siehe Figur 72.



Figur 72 Spez. Gesamtprimärenergienachfrage nach Gebäudetyp – Referenz-Sz. (PEF Elektrizität nach EWZ-Sz. 1)

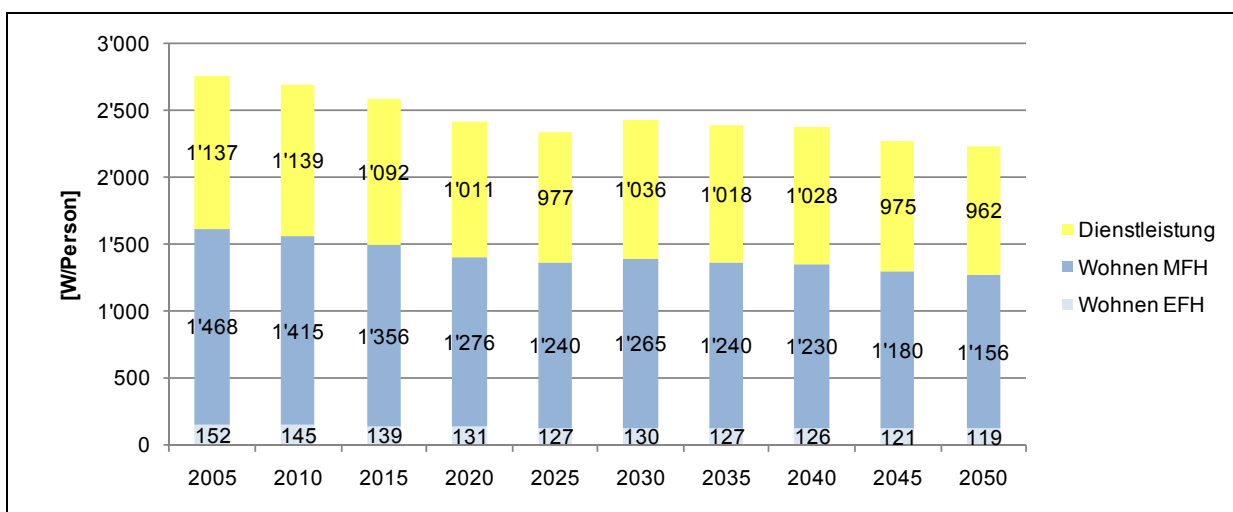
Im Effizienz-Szenario (mit dem EWZ-Strommix 3) resultiert bei allen drei Gebäudetypen eine signifikante Reduktion der flächenspezifischen Gesamtprimärenergienachfrage bis 2050 (Figur 73). Vor allem die Büros können einen wichtigen Beitrag in Richtung der 2000-Watt-Gesellschaft leisten und reduzieren ihre spezifische Nachfrage um 65%. Bei den Schulen und Wohngebäuden sind die Reduktionen mit 57% bzw. 56% etwas geringer. Die Wohngebäude weisen aber trotzdem auch noch am Ende der Betrachtungsperiode die geringsten spezifischen Werte auf.



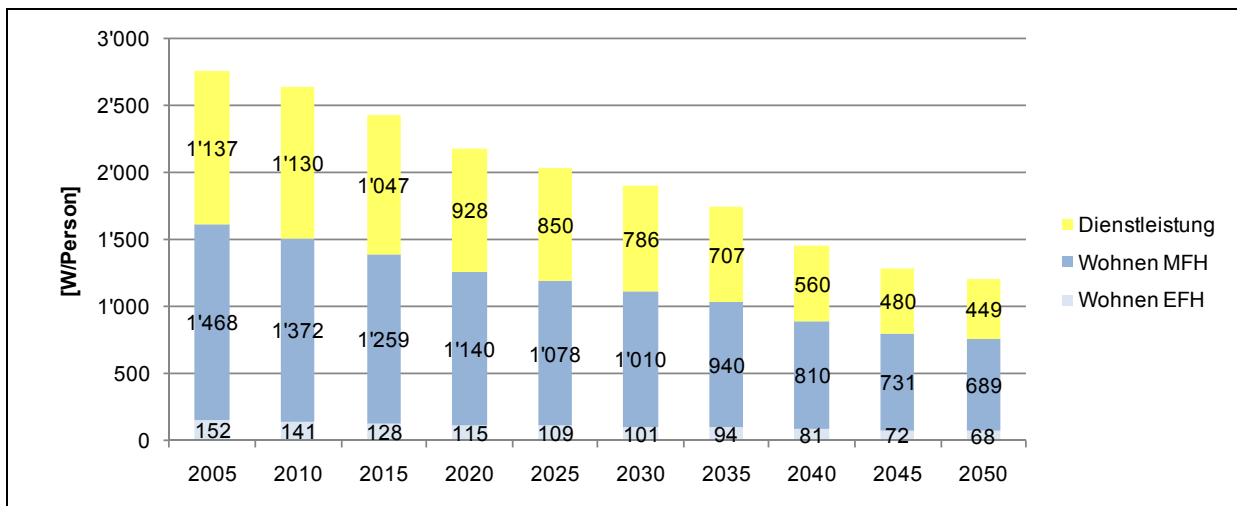
Figur 73 Spezifische Gesamtprimärenergienachfrage nach Gebäudetyp – Effizienz-Sz. (PEF Elektrizität nach EWZ-Sz. 3)

6.1.5 Personenspezifische Primärenergienachfrage

Die spezifische Dauerleistung an totaler Primärenergie pro Kopf der Bevölkerung verhält sich in etwa analog zur Gesamtprimärenergienachfrage im vorhergehenden Kapitel. Im Gegensatz zur Gesamtprimärenergienachfrage, die nahezu konstant bleibt und nur geringfügig sinkt, reduziert sich durch den Anstieg der Bevölkerung die personenbezogene Dauerleistung stärker, d.h. gesamthaft von rund 2'756 Watt/P im Jahr 2005 auf 2'238 Watt/P in 2050 (-19%), siehe Figur 74. Im Effizienz-Szenario wird bis 2050 eine spezifische Dauerleistung von rund 1'200 Watt pro Person erreicht (Figur 75), was einer Reduktion um 56% entspricht.

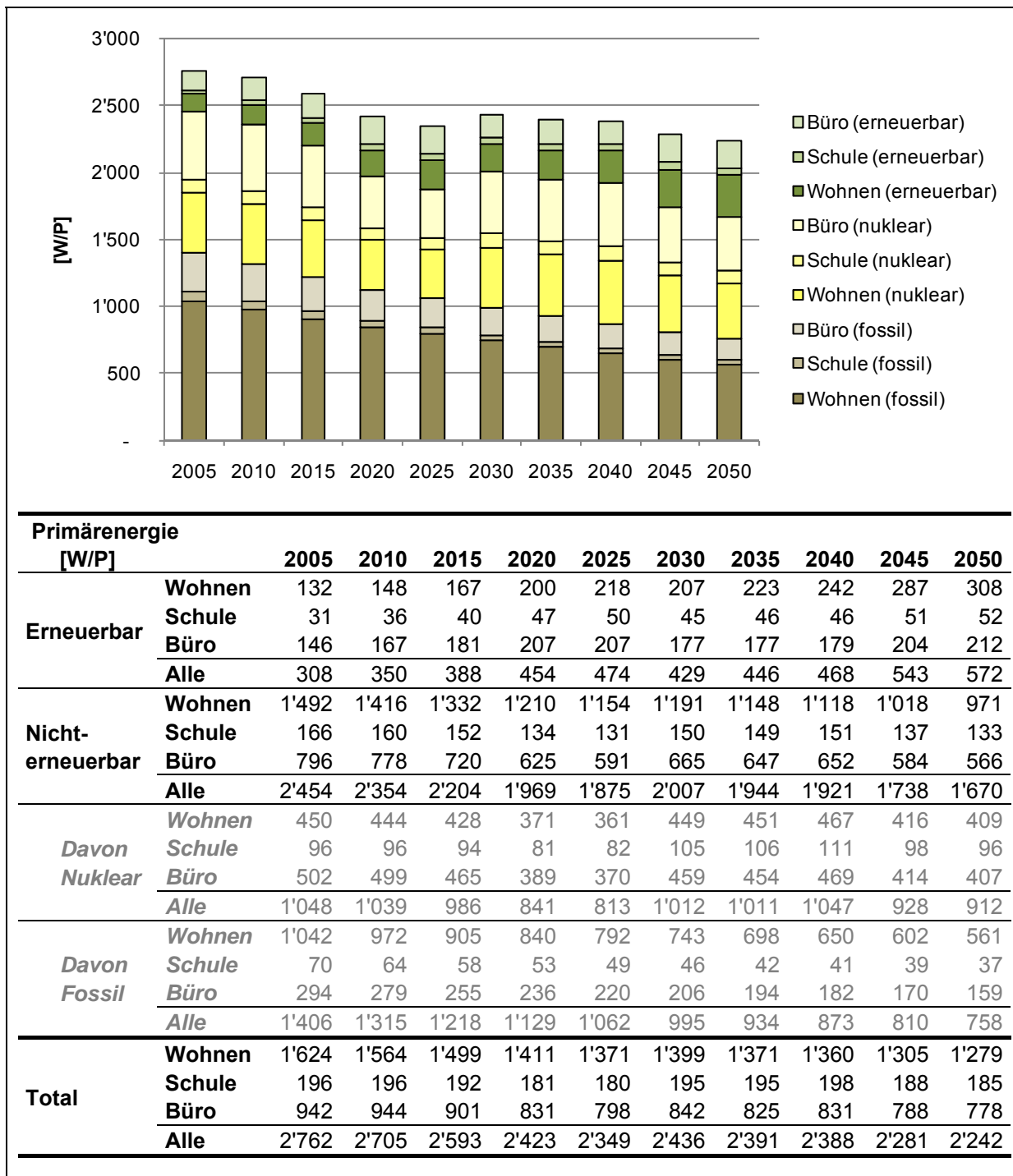


Figur 74 Dauerleistung totale Primärenergie pro Person nach Gebäudetyp – Referenz-Sz. (PEF Elektrizität nach EWZ-Sz. 1)



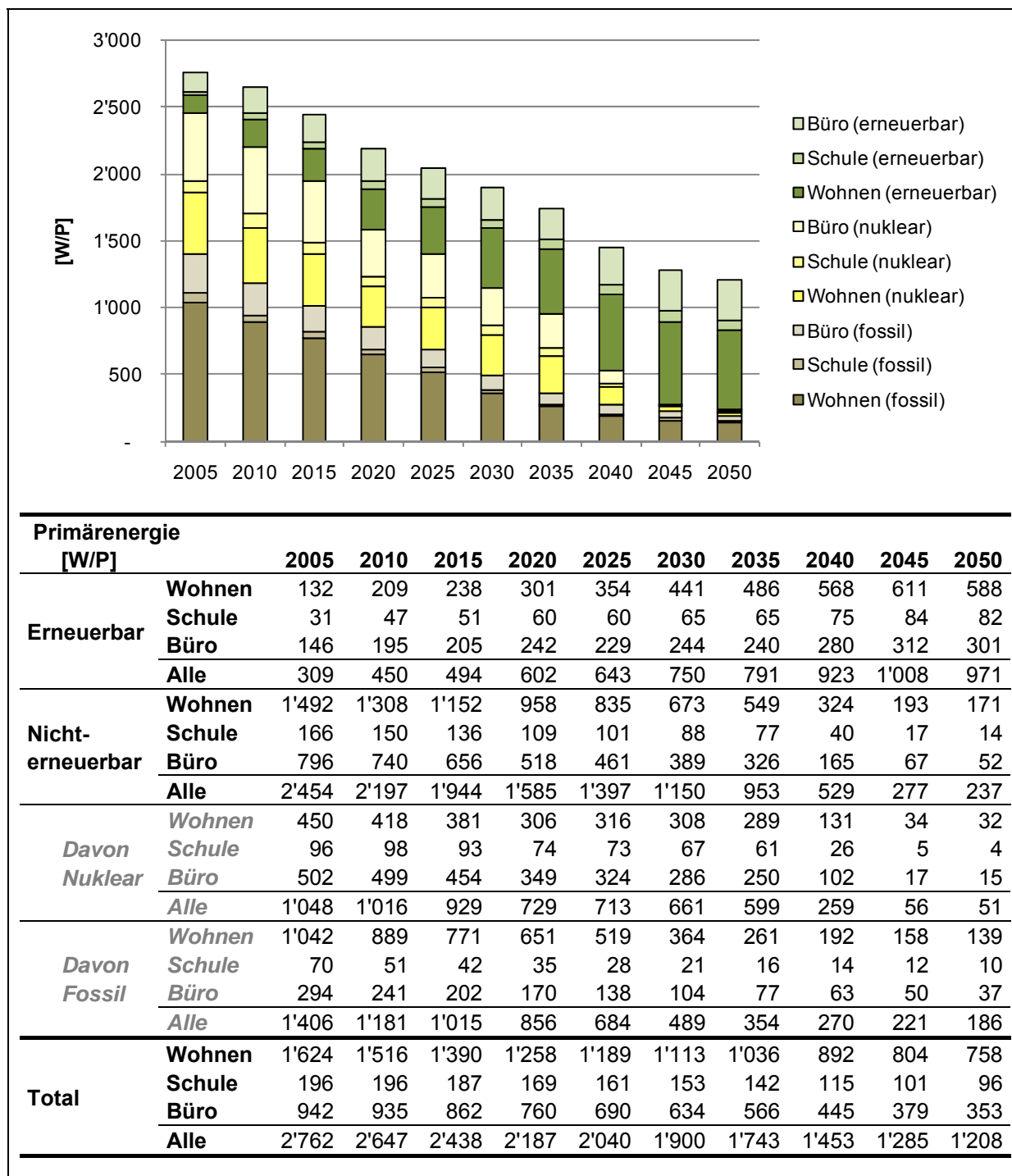
Figur 75 Dauerleistung totale Primärenergie pro Person nach Gebäudetyp – Effizienz-Sz. (PEF Elektrizität nach EWZ-Sz. 3)

Die pro-Kopf-Dauerleistung an erneuerbaren Primärenergien steigt im Referenz-Szenario vor allem bei den Wohngebäuden an. Die Dienstleistungsgebäude weisen bei der Primärenergie aus erneuerbaren Quellen eine etwas geringere Steigerung im Vergleich zu den Wohngebäuden (bedingt durch ihren vergleichsweise höheren Anteil der Elektrizität und der Endenergienachfrage). Bei zwei der drei Gebäudenutzungstypen reduziert sich der Anteil an nuklearer Primärenergie bis 2050, bei den Schulen bleibt er im Referenz-Szenario ungefähr konstant. Jedoch können alle drei Gebäudenutzungstypen die Pro-Kopf-Nachfrage an fossiler Primärenergie bereits im Referenz-Szenario reduzieren (Figur 76).



Figur 76 Personenspezifische Dauerleistung in Primärenergie nach Primärenergieträgern für alle drei Gebäudenutzungen; Referenz-Szenario mit EWZ-Stromszenario 1 [W/P]

Im Effizienz-Szenario werden für das Referenz-Szenario (Figur 76) festgestellte Effekte weiter verstärkt. Die totale Pro-Kopf-Nachfrage aller drei Gebäudenutzungen sinkt mit 56% stark ab, wobei dabei die fossilen Primärenergieträger mit -1'220 W/P den grössten Anteil der Reduktion ausmachen (Figur 77).



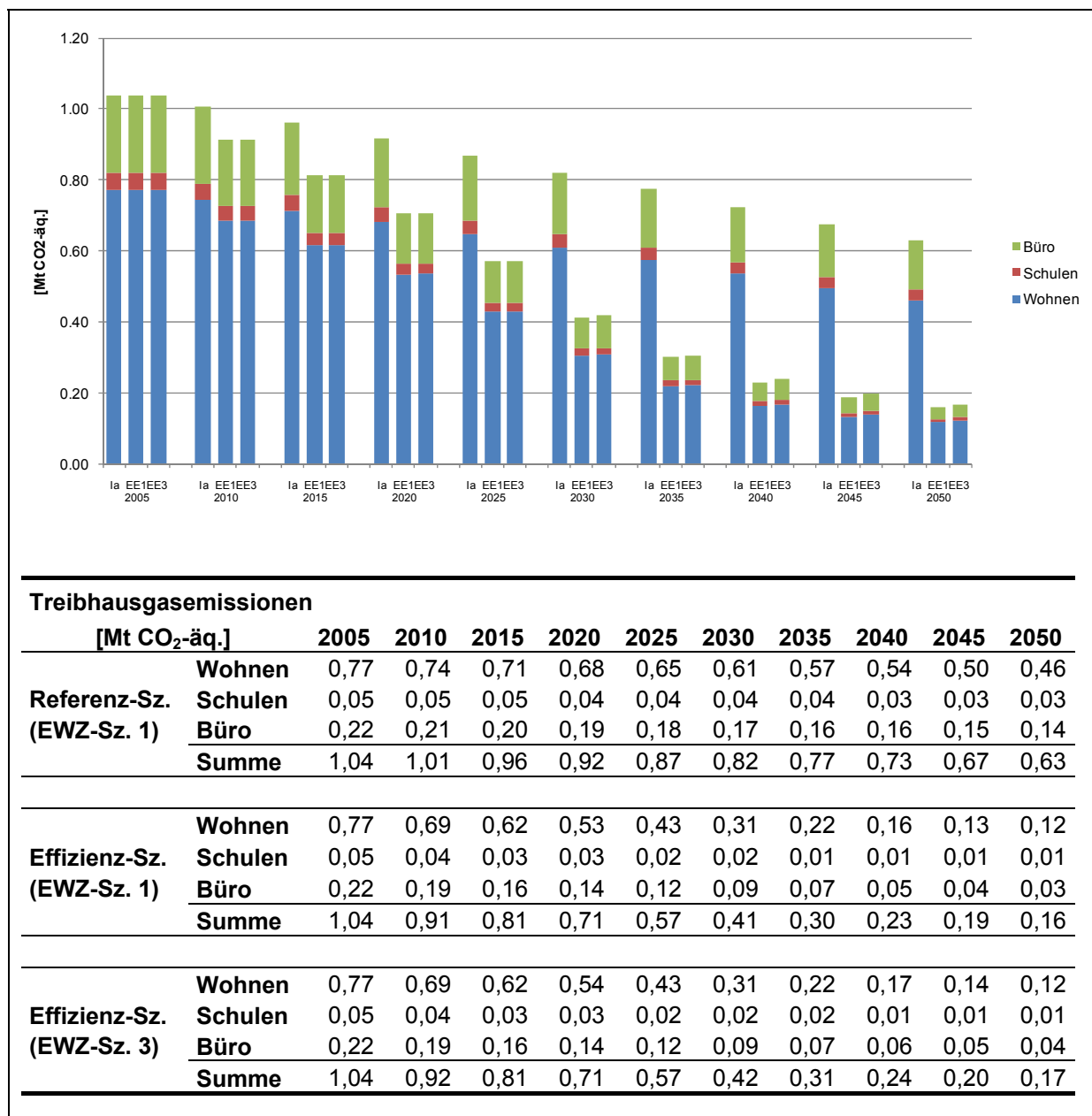
Figur 77 Personenspezifische Dauerleistung in Primärenergie nach Primärenergieträgern für alle drei Gebäudenutzungen; Effizienz-Szenario mit EWZ-Stromszenario 3 [W/P]

6.1.6 Treibhausgasemissionen

Auch bei den Treibhausgasemissionen gilt, dass die zunehmende Nachfrage an Elektrizität eine entscheidende Rolle spielt. In allen Szenarien erfolgt die Deckung der Elektrizitätsnachfrage in Zukunft annahmengenäss durch weniger treibhausgasintensive Primärenergieträger (vgl. Kapitel 8.1). Da bereits das Referenz-Szenario auf CO₂-arme oder -freie Stromerzeugung setzt, lässt sich durch Substitutionseffekte bis 2050 im Vergleich zu 2005 eine bedeutende Reduktion der jährlichen Treibhausgasemissionen von knapp 0,4 Mt CO₂-äq. bzw. 40% erreichen. Der Trend der sinkenden Treibhausgasemissionen verstärkt sich weiter, wenn, wie im Effizienz-Szenario, gleichzeitig die Energienachfrage reduziert wird (siehe

Effizienz-Szenario in Figur 78). Im Jahr 2050 beläuft sich der Unterschied zwischen den beiden Effizienz-Szenario-Varianten und dem Referenz-Szenario auf knapp 0,5 Mt CO₂-äq. d.h. rund 75%.

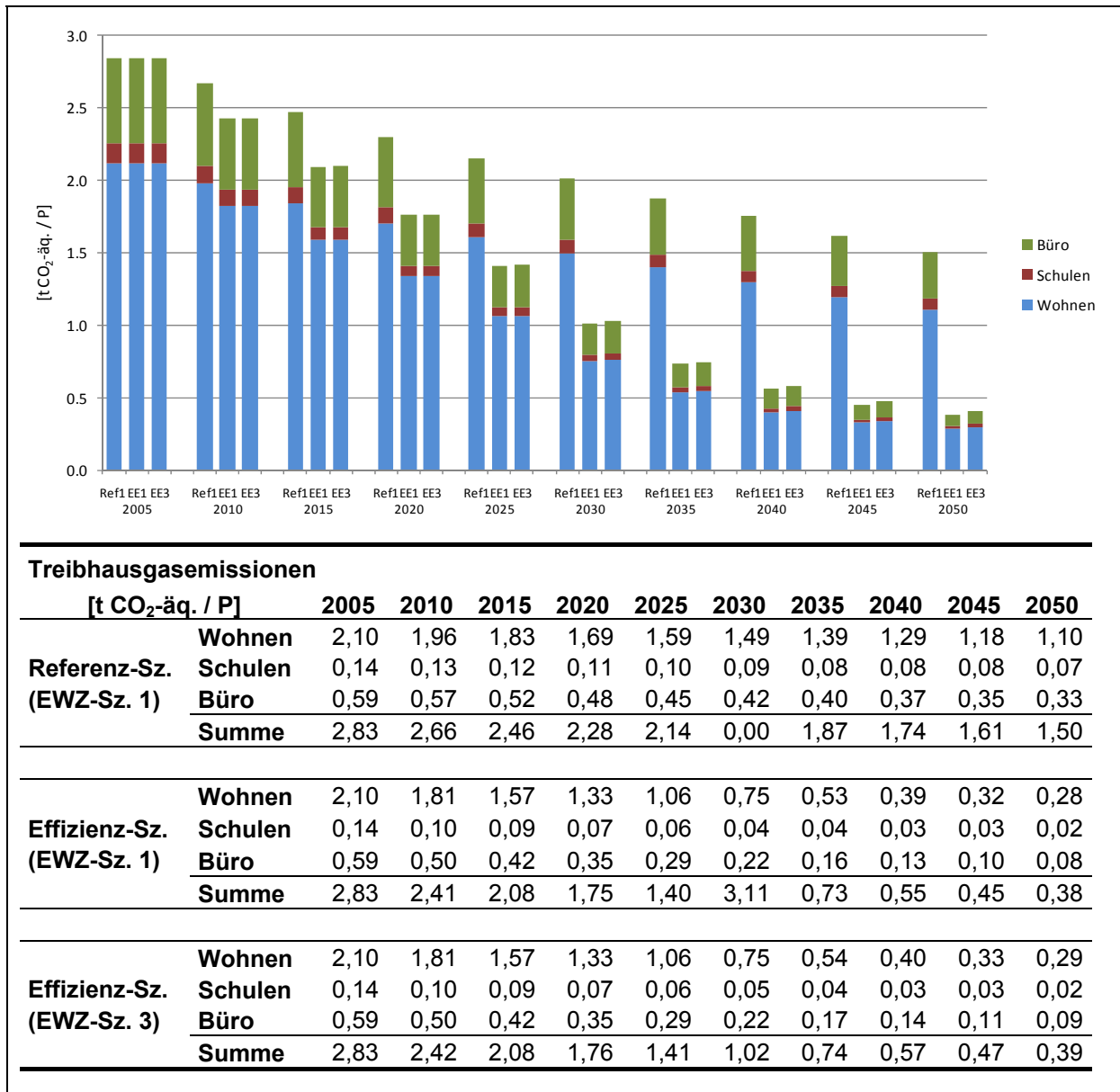
Die Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen sinken in den kommenden Jahren stärker als die absoluten Emissionen, da die Bevölkerung leicht wächst, wodurch strukturelle Effekte, wie zum Beispiel der eines höheren Anteils an effizienteren Neubauten, stärker zum Tragen kommen.



Figur 78 Totale Treibhausgasemissionen in Mt CO₂-äquivalenten nach Gebäudetyp; Referenz- und Effizienz-Szenario-Varianten (Elektrizität nach EWZ-Sz. 1 bzw. 3)

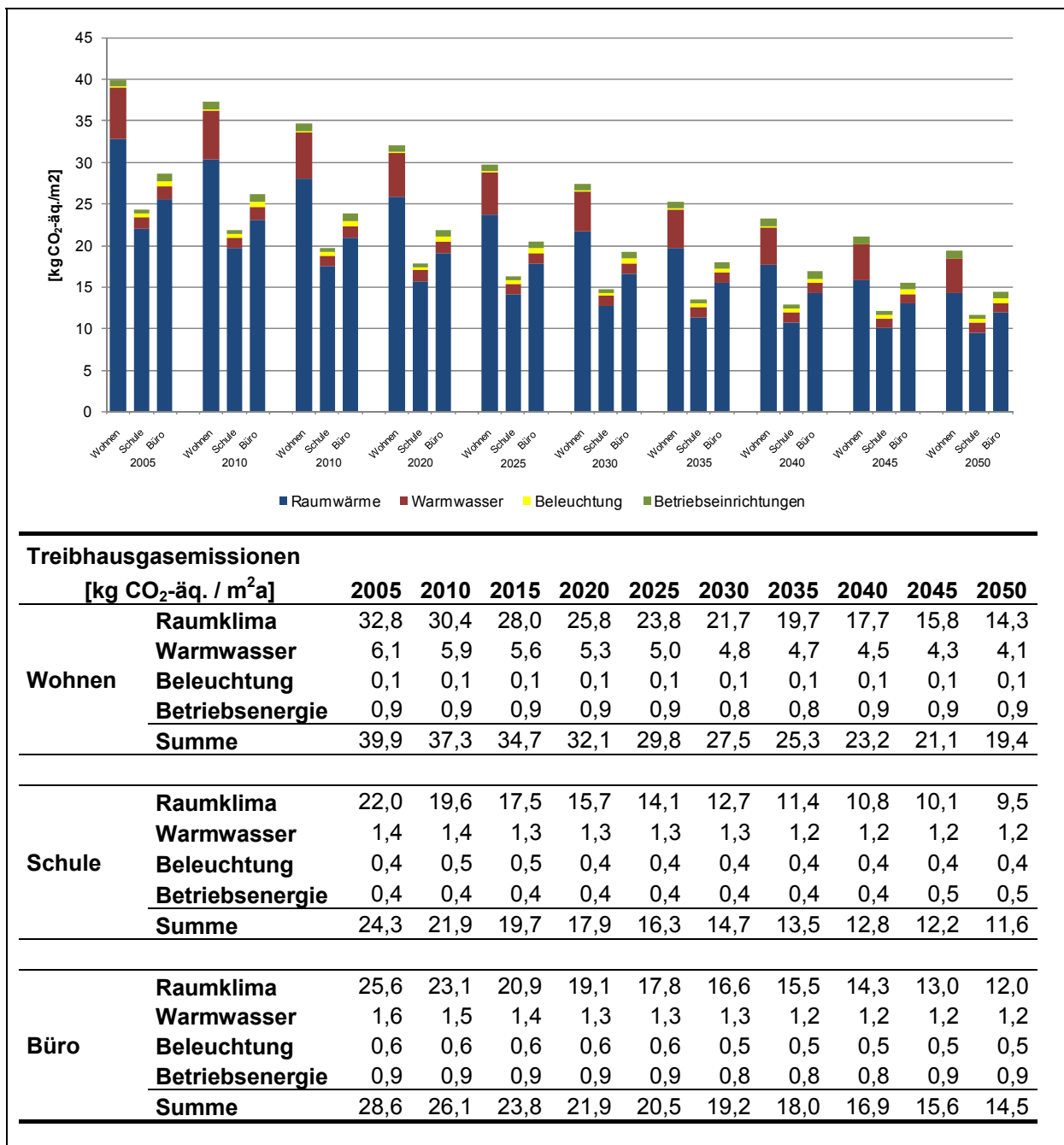
Im Referenz-Szenario werden im Jahre 2050 etwa 1,5 t CO₂-äq. pro Person für den in diesem Projekt betrachteten Gebäudepark ausgestossen (Figur 79), also bereits deutlich weniger als 2005 (2,8 t CO₂-äq. pro Person). Unter Berücksichtigung weiterer, hier nicht näher betrachteter, Emittentengruppen (wie Verkehr und weitere Dienstleistungsgebäude) werden die Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft damit im Referenz-Szenario erwartungs-

gemäss klar verfehlt. Im Effizienz-Szenario werden im Jahr 2050 etwa 0,4 t CO₂-äq. pro Person ausgestossen. Damit macht der betrachtete Teil des Gebäudesektors rund 40% der angestrebten Zielgrösse der 2000-Watt-Gesellschaft aus. Da das GPM Zürich rund die Hälfte der 2005 ausgestossenen THG-Emissionen abdeckt (vgl. Kap. 1.4, Tabelle 2), drängt sich somit die Frage nach dem Reduktionspotential der übrigen Emittenten in der Stadt Zürich auf.



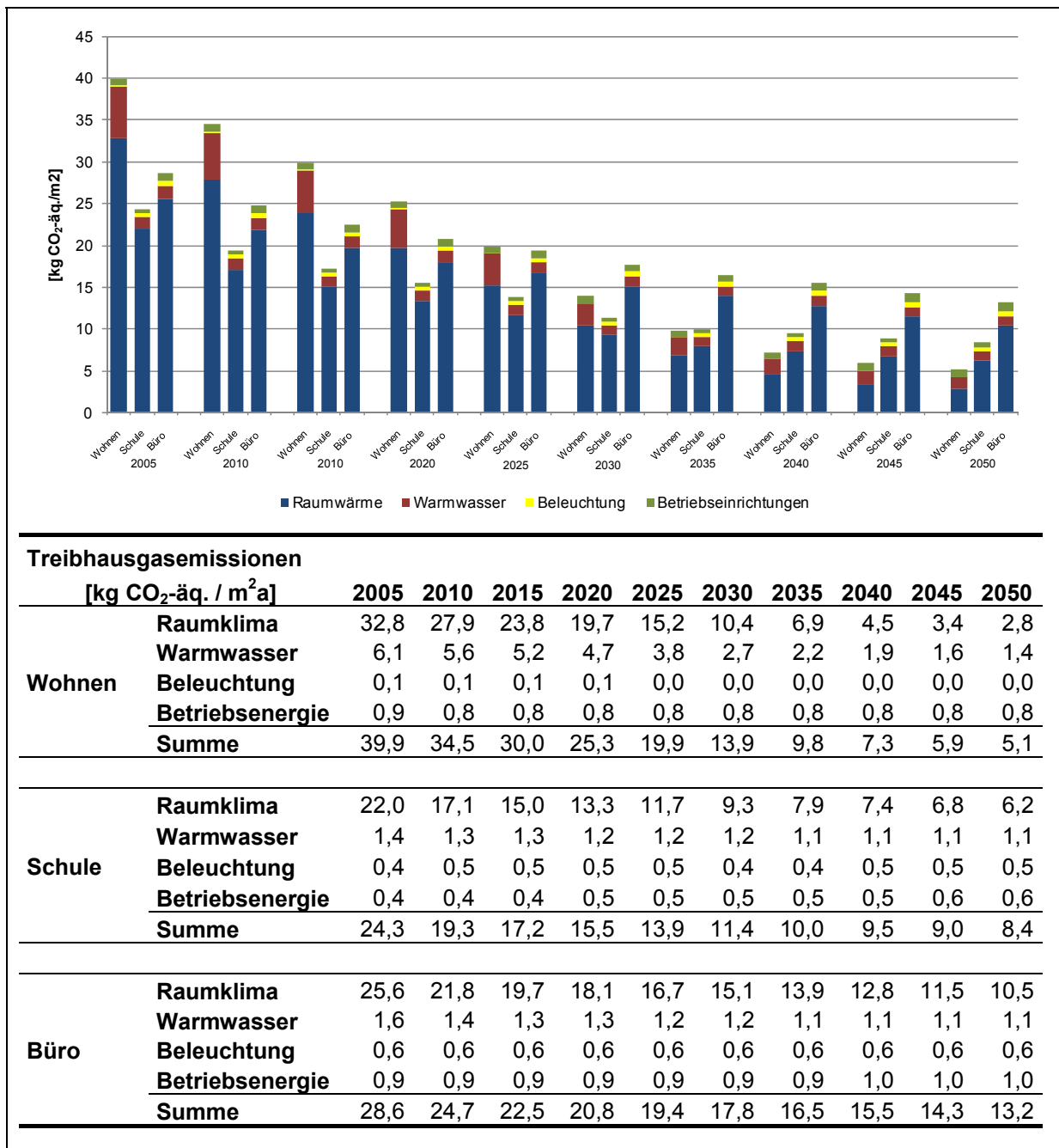
Figur 79 Gesamte Treibhausgasemissionen per capita – Referenz- und Effizienz-Szenario (PEF Elektrizität nach EWZ-Sz. 1 bzw. 3)

Das Total der flächenspezifischen Treibhausgasemissionen verhält sich analog den eben erläuterten personenspezifischen Emissionskennwerten. Dies ist nachvollziehbar, da bis 2050 einerseits die Bevölkerung und andererseits auch die Pro-Kopf-Flächennachfrage ansteigt (vgl. auch Kapitel 2.1 und 3.4). Während die personenspezifischen Emissionen bis 2050 im Referenz-Szenario um etwa die Hälfte sinken, gehen die flächenspezifischen um 52% zurück (Figur 80). Bei allen drei Gebäudetypen ist es sowohl absolut wie auch relativ gesehen das Raumklima, welches die grösste Reduktion ausmacht. Dennoch bleibt dieser Anwendungsbereich bis ins Jahr 2050 der wichtigste Verursacher von Treibhausgasemissionen.



Figur 80 Treibhausgasemissionen pro Fläche und Anwendung im Referenz-Szenario (PEF Elektrizität nach EWZ-Sz. 1)

Auch im Effizienz-Szenario (Figur 81) ist es das Raumklima, welches einen hohen Anteil der Treibhausgasemissionen im Jahre 2050 verursacht. Es verliert im Vergleich zu den anderen Anwendungen allerdings an Bedeutung. Dies spricht für vergleichsweise höhere Reduktionspotentiale des Bereichs Raumklima. Erwartungsgemäss hat das Warmwasser in allen Szenarien den geringsten Nachfragerückgang und leistet entsprechend den geringsten Beitrag zur Reduktion der Emissionen im Effizienz-Szenario. Die gesamten flächenspezifischen THG-Emissionen nehmen im Effizienz-Szenario bis 2050 um nahezu 87% ab, was sowohl auf die starke Steigerung der Endenergieeffizienz, vor allem aber auch auf die starken Substitutionseffekte zurück zu führen ist.



Figur 81 Treibhausgasemissionen pro Fläche und Anwendung im Effizienz-Sz. (PEF Elektrizität nach EWZ-Szenario 3)

6.2 Schlussfolgerungen

Die Schlussfolgerungen werden in inhaltliche und methodische Schlussfolgerungen strukturiert. Zu ersteren gehört die Zielüberprüfung (6.2.1) und ein Vergleich zwischen Zürich und der Gesamtschweiz (6.2.2).

6.2.1 Zielüberprüfung

Mittels des Gebäudeparkmodells für Wohn-, Schul- und Bürogebäude wurden die gesamte und die nicht-erneuerbare Primärenergienachfrage sowie die THG-Emissionen pro Kopf für zwei Szenarien bis 2050 berechnet. 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 (Tabelle 12). 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. Als Muster 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.

Tabelle 12 Wichtigste Pro-Kopf Ergebnisse des Referenz-Szenario (Strommix EWZ-Sz.1) und des Effizienz-Szenarios (Strommix EWZ-Sz. 3) aus dem Gebäudeparkmodell *Zürich*

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 ₂ äq./P]	2,83	1,50	0,39	-47%	-86%

Eine wichtige Zielsetzung dieser Studie 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. Bébié et al. 2009, S. 10), ist eine Überprüfung nur näherungsweise möglich. Es wird vorgeschlagen, zu überprüfen, ob die relative Reduktion im Vergleich zum Ausgangszustand grösser oder geringer ist als die relative Reduktion des Gesamtziels.

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% Reduktion mehr (Tabelle 13). 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 Bébié et al. (2009) bei 77% liegt. Das proportional herunter gebrochene Ziel wird auch jeweils bei den Wohngebäuden und bei den Büro- und Schulgebäuden erreicht.

Tabelle 13 Vergleich der Betriebsenergie-Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft mit den Ergebnissen des Referenz- (Strommix EWZ-Sz. 1) und Effizienz-Szenarios (Strommix EWZ-Sz. 3)

	Stand 2005	Ziele 2000-Watt-G.		Referenz-Szenario 2050 *	Effizienz-Szenario 2050 *
		Ziel 2050	Reduktion		
Totale PE** ⁱ [W/P]	6'300	3'500	-44%	-19%	-56%
Nicht-erneuerbare PE [W/P]	5'800*	2'000 ⁱⁱ	-66%	-32%	-90%
THG-Emissionen ⁱ [t CO ₂ -äq./P]	8,7	2,0	-77%	-47%	-86%

* gemäss Ergebnissen dieser Analysen

** bezogen auf KEA

ⁱ Methodikpapier der Stadt Zürich (Bébié et al. 2009)

ⁱⁱ Annahme der Autoren

Die Modellrechnungen zeigten ausserdem den Einfluss der Zusammensetzung der Stromerzeugung auf. In Figur 71 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.

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 bis 2050 stark ab (vgl. Anhang 8.1). Zum anderen hat die Kernenergie mit 5 t CO₂-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 bzgl. Treibhausgasemissionen bei der unterstellten Stromerzeugung nicht nachteilig aus.

6.2.2 Vergleich zwischen der Schweiz und der Stadt Zürich

Die Vergleichbarkeit der beiden Gebäudeparkmodelle Zürich (vorliegender Bericht) und Schweiz (Wallbaum et al. 2009) ist erwünscht und mit einigen Einschränkungen auch möglich. In Kapitel 1.4 und punktuell in den übrigen Berichtsteilen, wurden bereits auf die unterschiedlichen Rahmenbedingungen bei der Abdeckung des jeweiligen Gebäudeparks eingegangen.

In der Ausgangslage (2005) weist das Gebäudeparkmodell Zürich eine höhere spezifische Dauerleistung (2'800 Watt anstatt 2'400 Watt für CH) und einen geringfügig höheren nicht-erneuerbaren Anteil am Total der Primärenergie auf (89% anstatt 84% für CH, vgl. Tabelle 14). 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).

Tabelle 14 Gegenüberstellung der Ergebnisse Gebäudeparkmodell Zürich und Schweiz (personen-spezifische Primärenergie und THG-Emissionen)

Kriterium	GPM ZH			GPM CH		
	Basis-jahr 2005	Effizienzsz. 2050	Δ 2005 / 2050	Basis-jahr 2005	Effizienzsz. 2050	Δ 2005 / 2050
Totale Primärenergie [W/P]	2'762	1'208	-56%	2'389	1'517	-37%
Nicht-erneuerbare PE [W/P]	2'454	237	-90%	2'013	793	-61%
THG-Emissionen [t CO ₂ äq./P]	2,83	0,39	-86%	3,15	0,94	-70%

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 ist der Anteil der erneuerbaren Energien zur Wärme- und Elektrizitätserzeugung im Fall des Gebäudeparkmodells *Zürich* wesentlich optimistischer angenommen worden. 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.

In Wallbaum et al. (2009) wurde gezeigt, dass die mutmasslichen Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft (d.h. Primärenergie -44%, THG-Emissionen -77%, vgl. Kap. 6.2.1) für den gesamtschweizerischen Gebäudepark unter den getroffenen Annahmen nicht oder nur sehr knapp eingehalten werden können (s. Tabelle 13 und 14). 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.

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.

Auf den ersten Blick beim Vergleich der Ergebnisse zwischen der Schweiz und Zürich erscheint die Zielerreichung der 2000 Watt- und 1 Tonnen CO₂-Gesellschaft in Zürich realisierbarer als auf der nationalen Ebene. Es handelt sich jedoch v.a. um ein annahmenbedingtes Ergebnis. Zum Teil ist es auch durch die strukturell unterschiedliche Ausgangslage bedingt.

6.2.3 Methodische Schlussfolgerungen

Mit dem hiermit dokumentierten Vorprojekt konnte abermals gezeigt werden, dass sich die Energienachfrage und die Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors mit einem bauteil-, gebäudetechnik- und energieanwendungsorientierten Ansatz modellieren lassen.

Die Arbeiten und die Ergebnisse verdeutlichen den Mehrwert eines solchen Ansatzes: er erhöht die Transparenz der getroffenen Annahmen und schafft einen direkteren Bezug zu

Bau- und Gebäudetechnik, zu Energiedienstleistungen und zur Gebäudewirtschaft. Er nimmt Bezug zu direkt messbaren oder monitorbaren Grössen wie zum Beispiel zu Ausstattungen, Erneuerungsanteilen, Energieeffizienzkennwerten etc. Beispielsweise liess sich so eine Vergleichbarkeit zu Wallbaum et al. 2009 herstellen.

Im Grundsatz ermöglicht der verfolgte methodische Ansatz auch, die Kosten von verschiedenen Energie-Szenarien besser abzuschätzen. Die Kosten einzelner Gebäudeelemente, Anlagen- und Geräte sind eher bestimmbar als solche von abstrakteren Grössen, wie beispielsweise die mittlere Energiekennzahl.

Die Arbeiten zeigten aber auch methodische Grenzen auf: Es stellt sich die Frage, welches Ziel letzten Endes angestrebt werden soll. Bisher besteht kein wissenschaftlicher Konsens über die genauen (Teil-) Ziele der 2000-Watt bzw. 1 t CO₂-Gesellschaft. Dies gilt für den anzustrebenden Absenkpfad (temporärer Verlauf), die Unterziele der einzelnen Sektoren und auch den Zielhorizont selbst. Für eine Stadt wie Zürich oder andere Gemeinden, welche nur einen Teil der Gesamtschweiz abdecken, ist methodisch zudem ungeklärt, ob relative Reduktionsziele oder absolute Zielwerte angestrebt werden sollen.

6.3 Empfehlungen

Basierend auf den Ergebnissen der in diesem Bericht dokumentierten Arbeiten und auf den oben formulierten Schlussfolgerungen werden nachfolgend Empfehlungen für weiterführende Arbeiten als Voraussetzung für die Umsetzung der 2000-Watt-Gesellschaft formuliert, zum einen in Bezug auf die Methodik und zum anderen in Bezug auf die Umsetzung der Ziele der Stadt Zürich.

6.3.1 Methodische Arbeiten

- **Graue Energie einbeziehen:** In Zukunft sollte dem Aspekt der grauen Energie in begleitenden Studien zunehmend Aufmerksamkeit geschenkt werden. Eine erste Abschätzung wurde bereits in einer Zusatzuntersuchung, welche dem Auftraggeber in Kürze vorliegt, durchgeführt. Eine Gegenüberstellung, zwischen den durch Betrieb der Gebäude und den durch Erstellung, Instandsetzung und Entsorgung entstehenden Umweltwirkungen kann wertvolle Rückschlüsse über die Relevanz der grauen Energie erlauben. Diese könnte somit eine breiter abgestützte Entscheidungsgrundlage für die Fragestellung, ob eher Ersatzneubauten oder Instandsetzungen im Sinne der 2000-Watt-Gesellschaft zu befürworten sind, liefern. Das im Auftrag der Stadt Zürich entwickelte Ressourcenmodell (Schneider und Rubli 2008) stellt für diese Art der Modellierung einen ersten, wertvollen Schritt dar. Wichtig ist in diesem Kontext, dass die Bilanzierung der grauen Energie zukunftsbezogen erfolgt, um eine entscheidungsrelevante Grösse darzustellen. Zudem ist zwischen dem Perimeter Schweiz und übrigen Ländern zu unterscheiden, weil sich auch der Handlungsspielraum diesbezüglich differenziert.
- **Weitere Energienachfragebereiche einbeziehen:** Mit den Wohngebäuden wurde ein markanter Teil der Endenergienachfrage sowie der damit verbundenen Primärenergie und der THG-Emissionen abgedeckt (s. Tabelle 2). Die Büro- und Schulgebäude stellen jedoch nur einen Teil des Dienstleistungssektors dar; weitere Branchen, welche zum Teil Strom- und somit Primärenergie-intensiver sind, fehlen in der Betrachtung dieses Vorprojekts. Ebenso fehlen die Nachfragesektoren Industrie, Gewerbe und Verkehr sowie der Umwandlungsbereich. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, eine Gesamtab-

schätzung vorzunehmen, welche die erwähnten Bereiche mit einbezieht. Damit kann nicht nur eine pro rata Zielüberprüfung erfolgen, sondern es wird eine Gesamtbetrachtung möglich, anhand deren Machbarkeit und Handlungsbedarf aufgezeigt werden.

- **Methodik für die Umsetzbarkeit für Teilbereiche entwickeln:** Es ist eine Methodik zu entwickeln, welche es erlaubt, Unterziele für Teilbereiche festzulegen. Hierzu gehören zum einen einzelne Sektoren (z.B. der Gebäudepark oder ein Teil davon) oder einzelne Teilgebiete der Schweiz wie z.B. eine Stadt wie Zürich oder andere Gemeinden. Hierzu ist zu klären ob relative Reduktionsziele oder absolute Zielwerte angestrebt werden sollen und nach welchen Berechnungsmethoden diese aus den gesamtschweizerischen sektorübergreifenden Zielen abzuleiten sind.

6.3.2 Realisier- und Machbarkeit der 2000-Watt-Gesellschaft überprüfen

Wie aus Kap. 6.2.1 hervorgeht, wurden die pro rata Zwischenziele der 2000 Watt Gesellschaft mit den getroffenen Annahmen jeweils erreicht bzw. sogar übererfüllt. Beim Effizienz-Szenario wurde in vielen Bereichen sehr ambitionierte Annahmen getroffen. Diese sind auf ihre Realisier- und Machbarkeit in der praktischen Umsetzung zu prüfen:

- **Erneuerbaren Energien:** Der Vergleich des Zürcher und des Schweizerischen Gebäudeparkmodells in Kapitel 6.2.2 hat unter anderem gezeigt, dass den beiden Modellen sehr unterschiedliche Annahmen bezüglich dem künftigen Anteil erneuerbarer Energie zugrunde liegen. Dies rückt die Frage welche Potentiale an erneuerbaren Energien die Stadt Zürich tatsächlich besitzt, um ihre Energienachfrage 2000-Watt-gesellschaftstauglich zu befriedigen, in den Fokus. Es geht dabei sowohl um die quantitative, als auch um die lokale bzw. quartierbezogene Verfügbarkeit unterschiedlicher Energieträger. Die Wichtigkeit dieser Fragestellung wurde bereits im Verlauf der Arbeiten des Gebäudeparkmodells Zürich erkannt und eine entsprechende weiterführende Untersuchung zum Energieversorgungskonzept wurde in Auftrag gegeben (Jakob et al. 2010).
- **Wärmeseitige Energieeffizienz:** Die gemachten Annahmen zu den Bauteilerneuerungsraten und den erreichbaren U-Werten bzw. Gesamtenergiedurchlassgraden sollten auf eine belastbarere Grundlage gestellt werden, indem weitere Faktoren, wie sozio-ökonomische Aspekte und die Sanierbarkeit von Bauteilen von Gebäuden aus gewissen Bauperioden noch detaillierter betrachtet werden.
- **Der Stromeffizienz** ist eine höhere Bedeutung zuzumessen. Das wird besonders durch eine Gegenüberstellung der Referenz- mit den Effizienz-Szenarien deutlich, welche das Ausmass der verfügbaren Effizienzpotentiale aufzeigt. Um diese tatsächlich zu erschliessen, ist die Intensität von energiepolitischen Aktivitäten und Anreizen markant zu erhöhen, zumal beim Strom im Vergleich zur Wärme ein Nachholbedarf besteht.

Es liegt bei den politischen Gremien auf legislativer und exekutiver Ebene, der Verwaltung, den stadtzürcherischen Energieanbietern, den Verbänden, der Wirtschaft, der Forschung und weiteren Beteiligten, weitere Massnahmen zu konzipieren und zu ergreifen. In weiteren Projekten sind konkrete Handlungsempfehlungen für alle betroffenen Bereiche (nicht nur Strom) inklusive der Mobilität zuhanden der erwähnten Stakeholder auszuarbeiten und zu formulieren.

7. Literaturhinweise

- Aebischer B. Catenazzi G. (2008). 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 – Anhangband. CEPE/ETH Zürich i.A. BFE, Bern, Februar.
- 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/ETH Zürich i.A. BFE, Bern, März.
- Aiulfi D., Primas, A., Jakob M. et al. (2009). ENERGIEVERBRAUCH VON BÜROGEBÄUDEN UND GROSSVERTEILERN - Erhebung des Strom- und Wärmeverbrauchs, der Verbrauchsanteile, der Entwicklung in den letzten 10 Jahre und Identifizierung der Optimierungspotentiale.
- 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.
- Boese, S. et al. (2008). Die Energie hat langfristige Perspektiven. Stromzukunft Stadt Zürich. Projektbericht. Ewz (Hrsg.), Zürich, November.
- Brand G., Scheidegger A., Schwank O. und Braunschweig A. (1998). Bewertung in Ökobilanzen mit der Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 1997, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) No. Schriftenreihe Umwelt 297, Bern.
- EnDK (2008). Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE n) Ausgabe 2008. Konferenz Kantonalen Energiedirektoren (Hrsg.), Chur, April.
- FAWA (2004). FAWA – Feldanalyse von Wärmepumpen-Anlagen. Tagungsband zur 11. Tagung des Forschungsprogramms Umgebungswärme, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte des Bundesamts für Energie (BFE), Fabrice Rognon (Hrsg.), Bundesamt für Energie, Bern.
- Frischknecht R., Tuchschnid M. (2008). Primärenergiefaktoren von Energiesystemen, v.1.4. ESU-services GmbH, Uster.
- Frischknecht R., Steiner R. und Jungbluth N. (2009). Methode der ökologischen Knappheit – Ökofaktoren 2006. Methode für die Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen. Umwelt-Wissen Nr. 0906. Bundesamt für Umwelt, Bern: 188 S.
- 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.
- Jakob M., Jochem E. (2003). Erhebung des Erneuerungsverhaltens im Bereich Wohngebäude. CEPE, ETH Zürich i.A. Bundesamt für Energie (BFE), Bundesamt für Wohnungswesen (BWO), Kantone ZH, AG, TG, BL und BE.
- Jakob M., Jochem E., Honegger A., Baumgartner A., Menti U., Plüss I. (2006). Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten. Bundesamt für Energie (Hrsg.), Bern, November.
- Jakob M., Widmer D., Volkart K. (2009). CO₂-Intensität des Stromabsatzes an Schweizer Endkunden, i. A. FOGA, FEV, Zürich, Juli.

- Jakob M., Flury K, et al. (geplant 2010). 2000-Watt-taugliches Energiekonzept für die Stadt Zürich.
- Kegel et al. (2007). Zum Thema Kühlung/Lüftung
- Preisig et al. (2006). „SIA Effizienzpfad Energie“; Dokumentation D 0216; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; Zürich.
- Prognos (2007). „Die Energieperspektiven 2035 – Band 2 – Szenarien I bis IV“, i. A. Bundesamte für Energie, Juli
- Prognos et al. (2008). Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2006 nach Verwendungszwecken. Prognos, Basics, CEPE, Infrac i.A. BFE, Bern, April.
- 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
- SIA (2009a). SIA 380/1:2009, Thermische Energie im Hochbau, Zürich.
- SIA (2007). SIA 416/1 Kennzahlen für die Gebäudetechnik - Bauteilabmessungen, Bezugsgrößen und Kennzahlen für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik, Zürich.
- SIA (2006a). SIA Empfehlung 380/4:2006, Elektrische Energie im Hochbau, Ausgabe 2006, Zürich.
- SIA (2006b). Merkblatt 2024, Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik, Zürich.
- SIA (1995). SIA Empfehlung 380/4:1995, Elektrische Energie im Hochbau, Ausgabe 1995, Zürich, November.
- 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.
- Weber, L. (2002). Energie in Bürogebäuden: Verbrauch und energierelevante Entscheidungen, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Wüest & Partner (2004). Zukünftige Entwicklung der Energiebezugsflächen, Perspektiven bis 2035. Bundesamt für Energie. Bern.

8. Anhang

8.1 Anhang A –Treibhausgaskoeffizienten und Primärenergiefaktoren für Elektrizität und Fernwärme

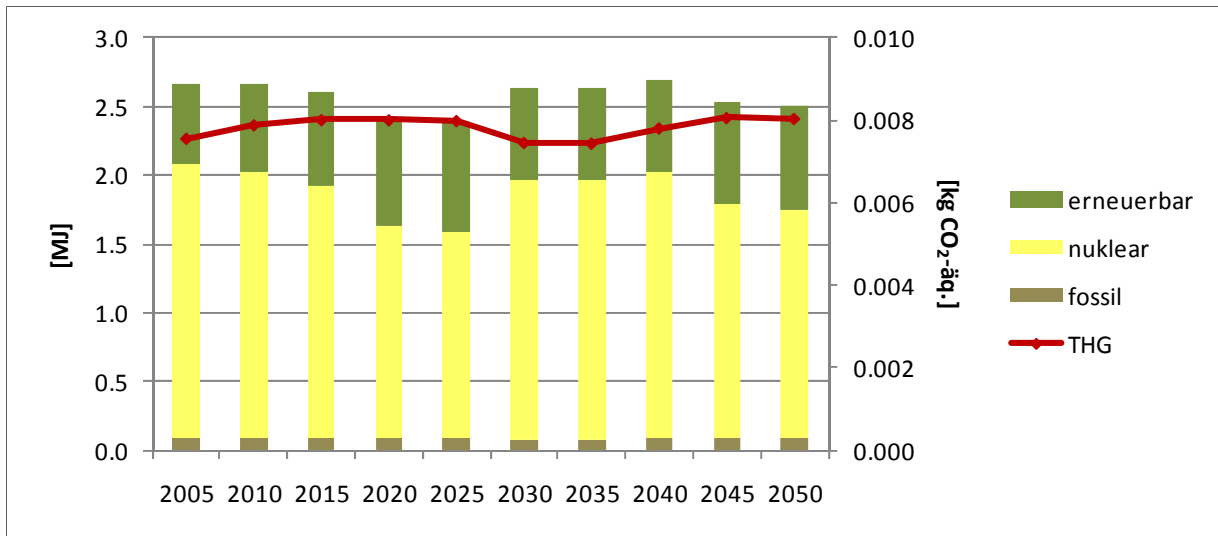
Der Strommix der Jahre 2005 bis 2035 ist dem EWZ-Bericht Stromzukunft (Boese, et al. (2008)) entnommen. Im Folgenden sind die Werte für die zwei verwendeten Szenarios aufgelistet (Tabelle 15 und Tabelle 16).

Tabelle 15 Strommix des EWZ-Szenarios 1 in GWh

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wasserkraft (Speicher)	2069	2069	2069	2199	2199	2199	1910	579	524	310
Rekonzessionierung										
Wasser	0	0	0	0	0	0	108	725	725	831
Laufwasserkraft	159	159	159	193	158	158	158	158	158	158
PV	14	14	14	0	0	0	0	49	49	49
Solarthermie Ausland	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kernenergie	2135	2135	2135	1699	1699	2700	2714	2481	1990	1968
Dezentrale fossile Erz.	42	42	42	38	38	38	38	38	38	38
Wind CH	0	23	65	15	55	65	65	76	84	84
Wind Ausland Onshore	0	54	130	207	270	311	401	466	517	617
Wind Ausland Offshore	0	0	124	164	231	325	421	511	577	653
Biomasse	0	66	108	128	128	128	128	128	128	128
Geothermie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KVA	81	81	81	85	85	85	85	85	85	85
Summe	4501	4643	4928	4727	4862	6009	6027	5295	4874	4920
* Die Werte für Solarthermie wurden 2009 in einer separaten Studie von esu-services im Auftrag des AHB Zürich ermittelt und dem Projektteam mitgeteilt.										

Quelle: Boese et al. (2008)

Die Primärenergiefaktoren, respektive CO₂-äq. Emissionsfaktoren der Elektrizität, sind abhängig von der Zusammensetzung des Erzeugerarks und der Strombeschaffung (und auch im Ausland) des EWZ der Zürich. Um Aussagen über die Auswirkungen der zeitlichen Entwicklung dieses Erzeugerarks machen zu können, wurde die Faktoren in einem Submodell ermittelt. Die Annahmen wurden aus dem EWZ-Bericht Stromzukunft (Boese et al. 2008)) und die Primärenergiefaktoren aus Frischknecht et al. (2008) entnommen.



Quelle: Stromzukunft Stadt Zürich 2009, Frischknecht und Tuchschnid (2008), eigene Berechnungen

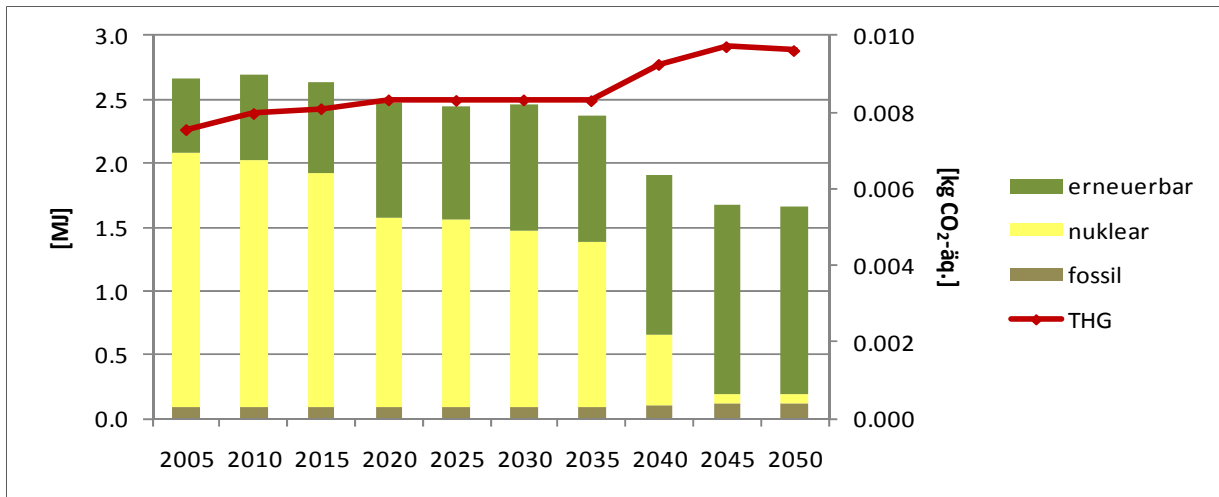
Figur 82 Primärenergiefaktoren und spezifische THG-Emissionen im EWZ-Szenario 1 „Weiter wie bisher“

Tabelle 16 Strommix des EWZ-Szenarios 3 in GWh

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wasserkraft (Speicher)	2069	2069	2069	1997	1532	1267	1173	614	552	332
Rekonzessionierung										
Wasser	0	0	0	157	491	668	668	891	888	1044
Laufwasserkraft	159	159	159	159	159	159	159	159	159	159
PV	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Solarthermie Ausland*	0	0	0	106	106	201	462	691	693	699
Kernenergie	2135	2135	2135	1717	1714	1720	1711	532	0	0
Dezentrale fossile Erz.	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
Wind CH	0	23	65	42	73	85	85	97	92	88
Wind Ausland Onshore	0	54	130	199	261	302	429	482	530	628
Wind Ausland Offshore	0	0	124	182	244	318	400	503	587	668
Biomasse	0	66	108	108	108	108	108	108	108	108
Geothermie	0	0	0	182	150	359	335	332	511	489
KVA	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
Summe	4501	4643	4928	4987	4977	5323	5668	4547	4258	4352

* Die Werte für Solarthermie wurden 2009 in einer separaten Studie von esu-services im Auftrag des AHB Zürich ermittelt und dem Projektteam mitgeteilt.

Quelle: Boese et al. (2008)



Quelle: Stromzukunft Stadt Zürich 2009, Frischknecht und Tuchschnid (2008), eigene Berechnungen

Figur 83 Primärenergiefaktoren und spezifische Treibhausgasemissionen im EWZ-Szenario 3 „Geothermie“

8.2 Anhang B – Annahmen Wohngebäude

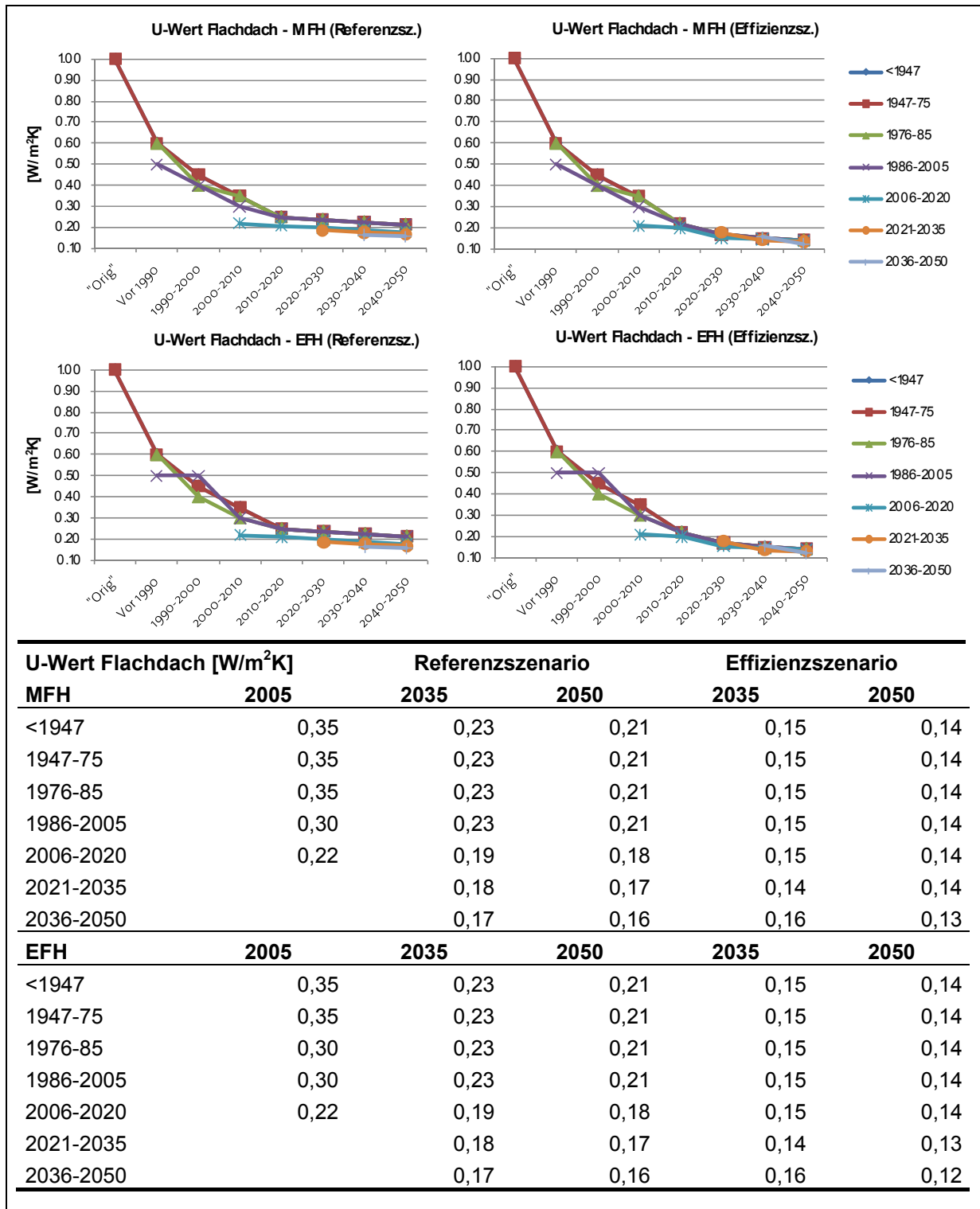
8.2.1 Energieeffizienz der Gebäudehülle

Die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) wurden im Wesentlichen wie folgt angenommen: In der Periode 2010-2020 werden in beiden Szenarien die geforderten Grenzwerte für Sanierungen, wie in MuKE n 2008 bzw. SIA 380/1: 2009 gefordert, eingehalten. Im Trendszenario nimmt der U-Wert dann zwischen 3-5% pro 10 Jahre ab; im Effizienz-Szenario wird im Zeitschritt 2030-2040 der SIA-Zielwert für Sanierungen erreicht und nimmt in der Folgeperiode nochmals zwischen 3-5% ab.

Tabelle 17 U-Werte gängiger Baureglemente

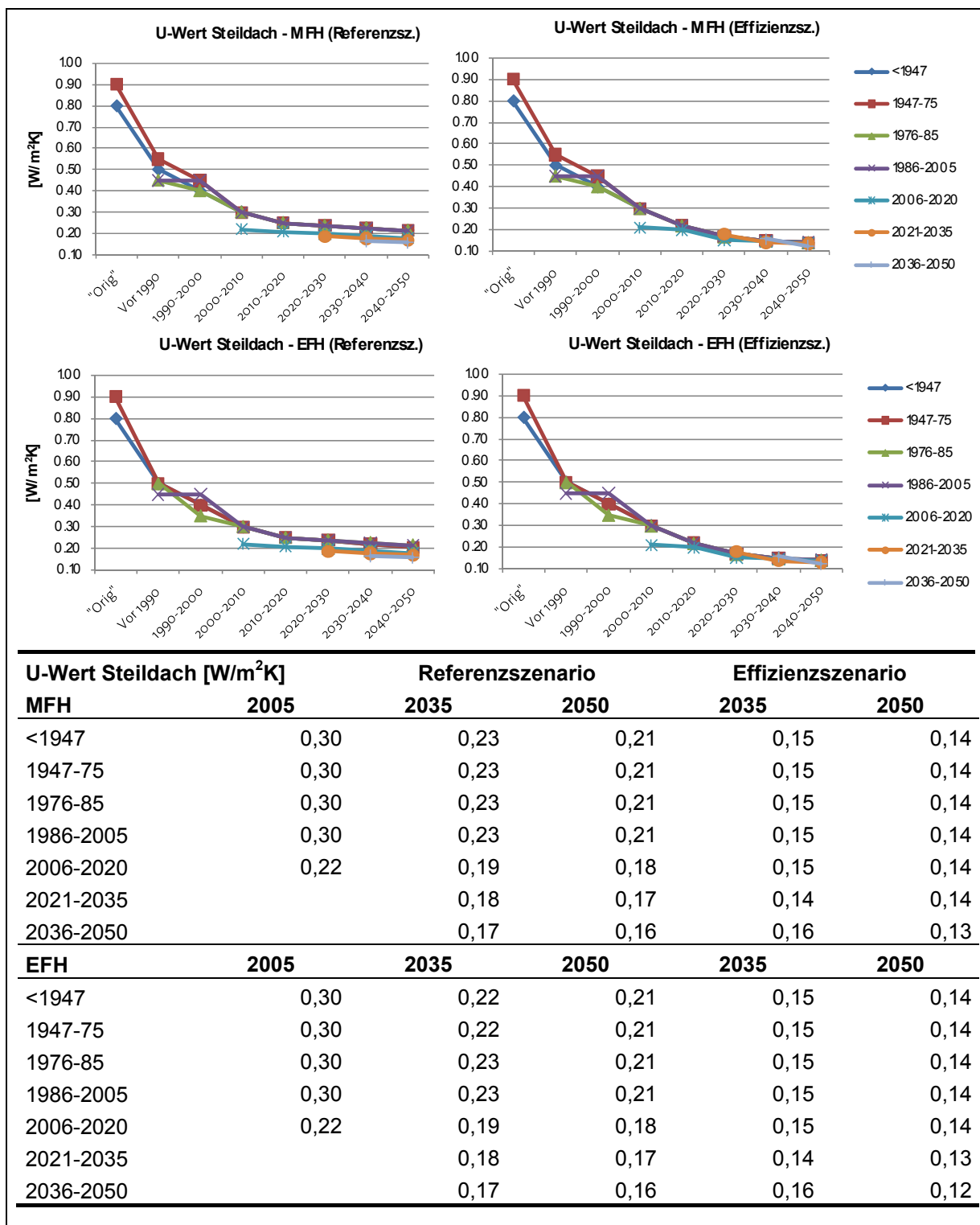
[W/m ² K]	Neubau mit WB-Nachweis MuKE n 08	Neubau ohne WB-Nachweis MuKE n 08	Zielwert SIA 380/1 m. WB-Nachweis	Minergie Standardlösung	Grenzwert Sanierung MuKE n 08	Sanierung Zielwert SIA 380/1
Dach	0,20	0,17	0,09	0,15	0,25	0,15
Wand	0,20	0,17	0,11	0,15	0,25	0,15
Fenster	1,3	1,3	0,90	1,0	1,3	0,90
Boden	0,20	0,17	0,11	0,15	0,25	0,15

U-Werte Flachdach



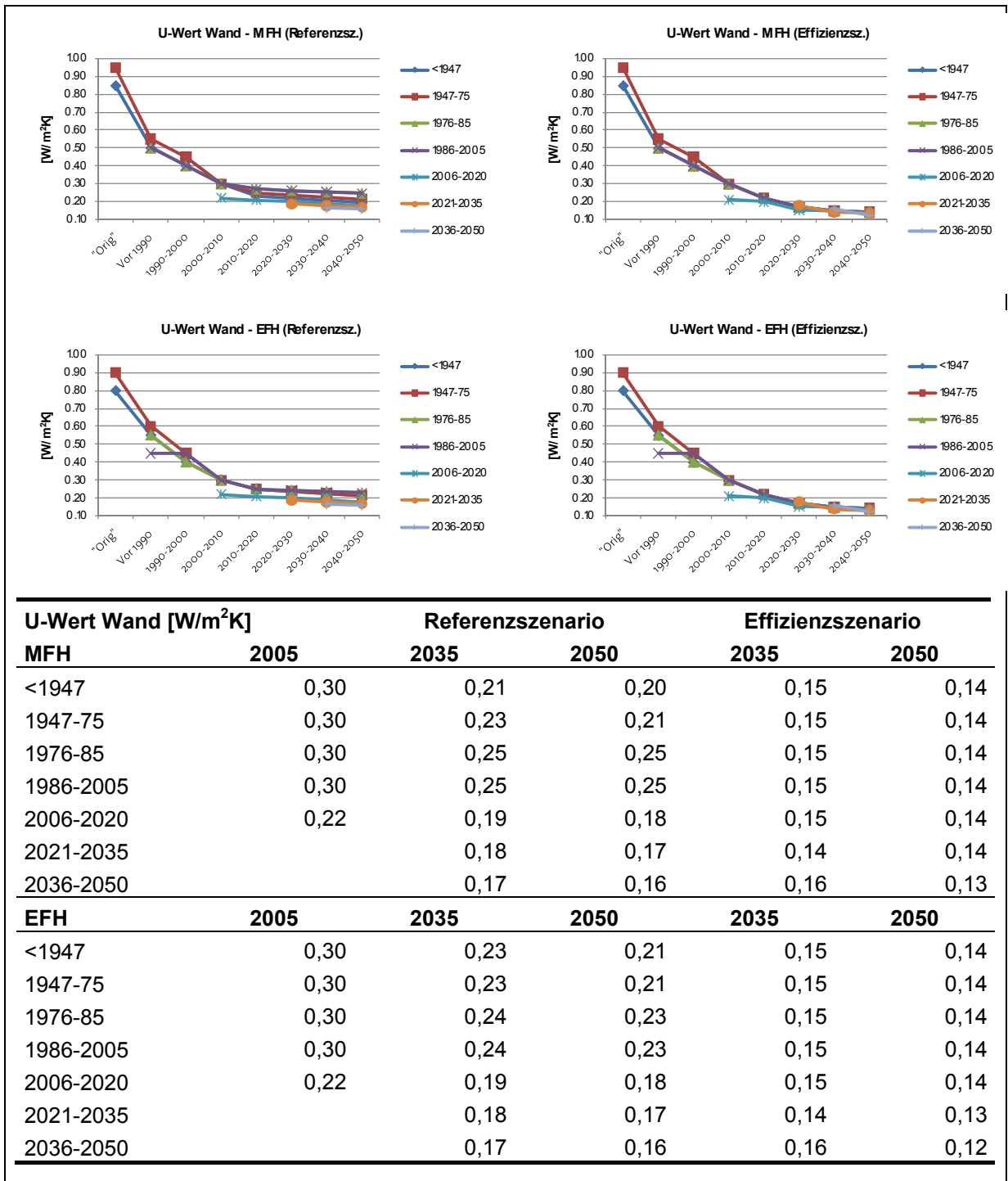
Figur 84 U-Werte Flachdach

U-Werte Steildach



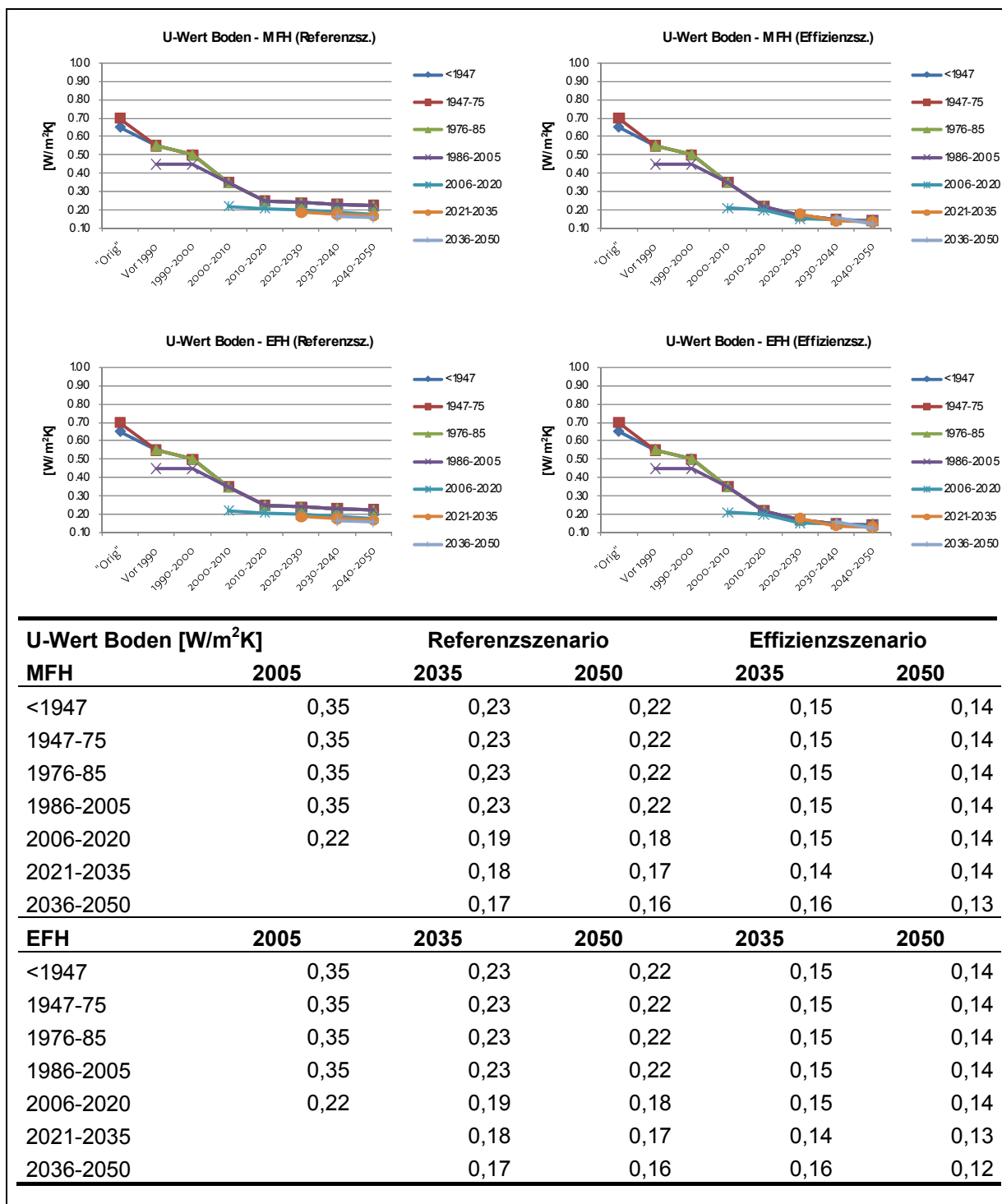
Figur 85 U-Werte Steildach

U-Werte Wand



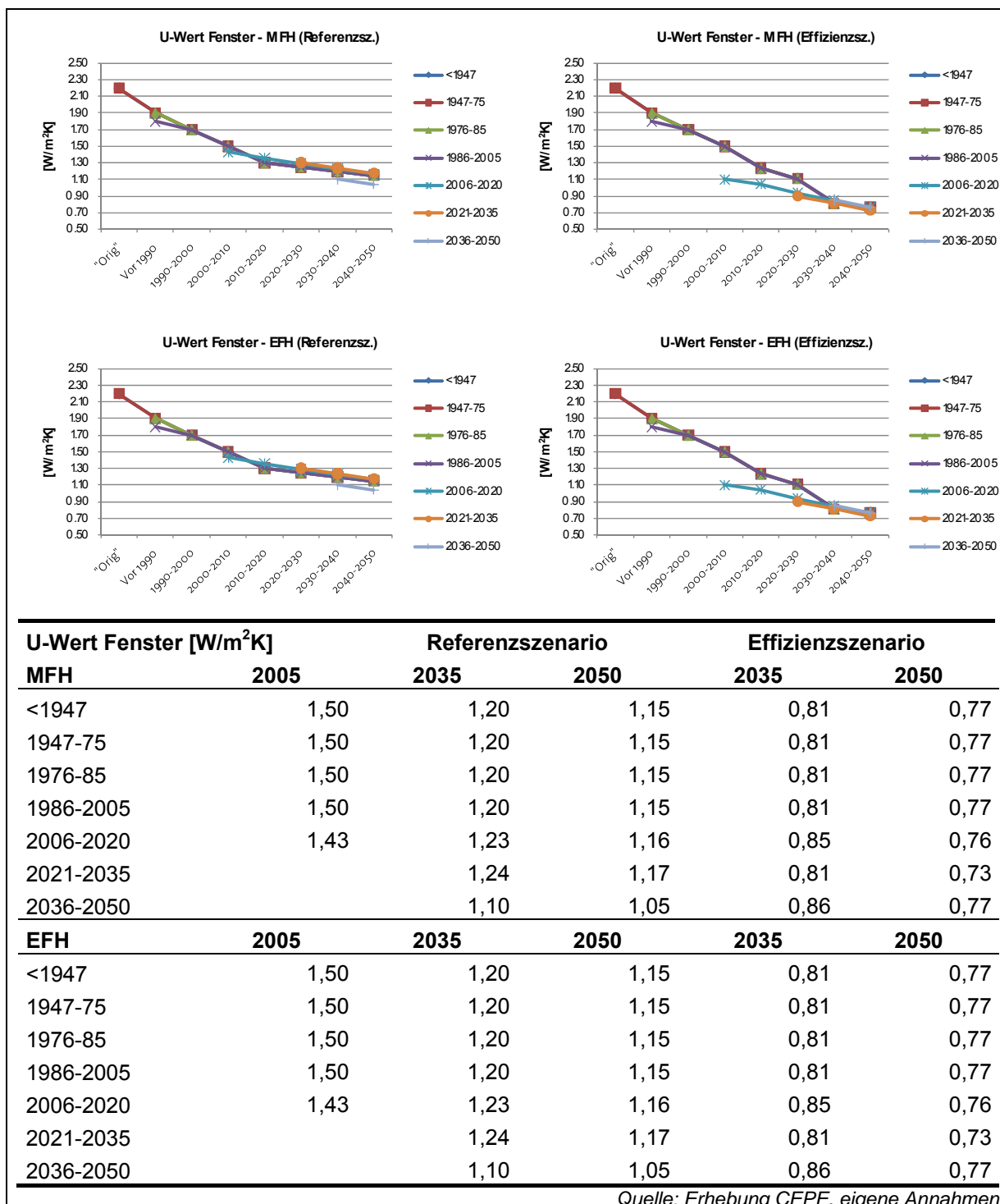
Figur 86 U-Werte Wand

U-Werte Boden



Figur 87 U-Werte Boden

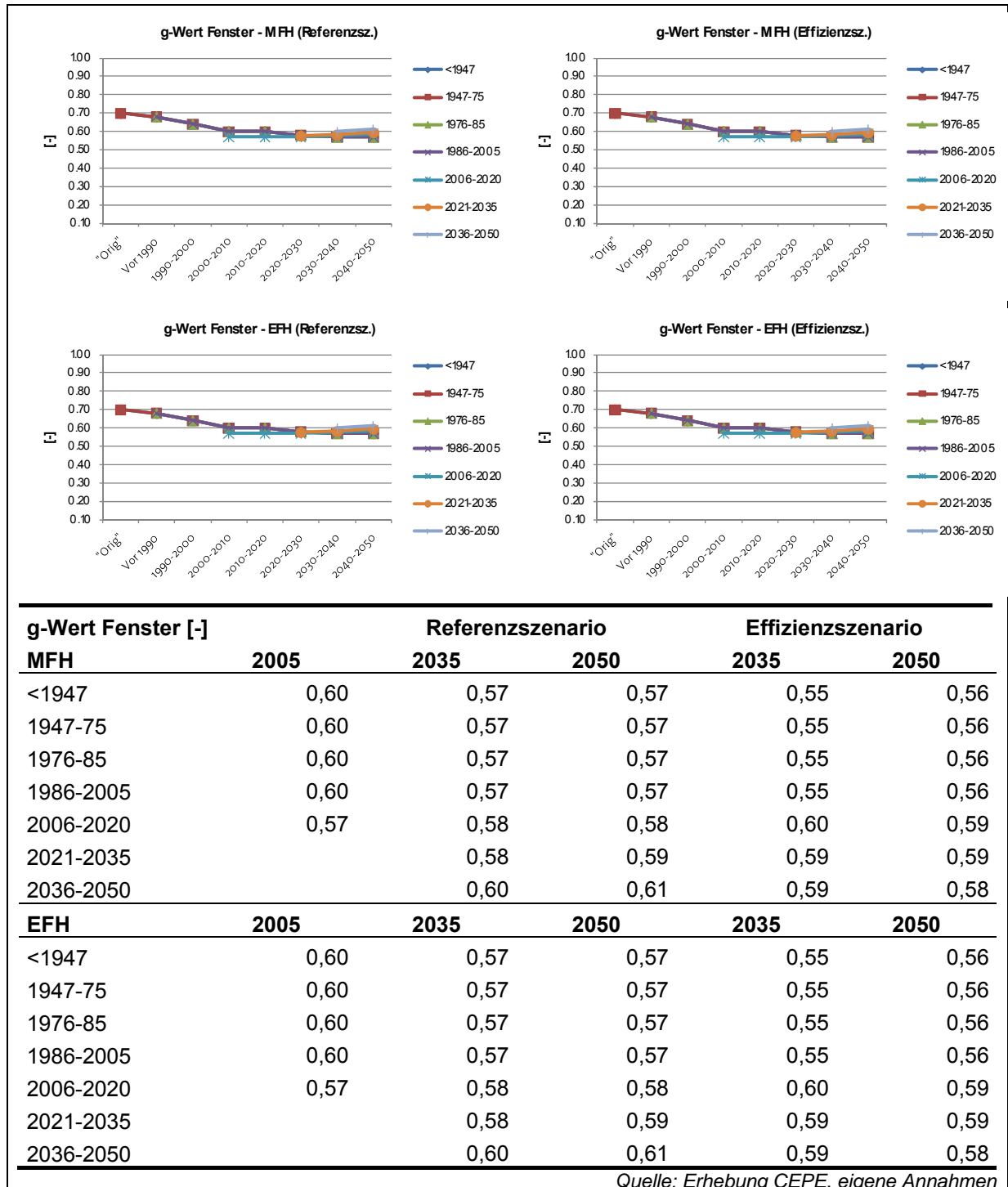
U-Werte Fenster



Figur 88 U-Werte Fenster

g-Werte

Es wird davon ausgegangen, dass im Trendszenario noch knapp Doppelverglasung eingesetzt werden kann, was einem g-Wert von 0,57 entspricht. Der Fenster U-Wert von $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ im Effizienz-Szenario verlangt allerdings den vermehrten Einsatz von Dreifachverglasungen, was den g-Wert in der Periode 2030-2040 auf 0,52 absinken lässt (Berechnung IBB). Es wird davon ausgegangen, dass sich durch technische Innovationen dieser Wert während der Folgeperiode um etwa 10% verbessern lässt.



Figur 89 g-Werte Fenster

8.2.2 Erneuerungsraten

Um den Effekt der Bauteilerneuerung innerhalb des Gebäudeparks beschreiben zu können, werden **energetisch wirksame** Erneuerungsraten für die einzelnen Bauteile angenommen. Die Daten lehnen sich an die Ergebnisse aus den Untersuchungen des CEPE im Auftrag des BfE an. Das Referenz-Szenario beschreibt und führt hierbei jeweils Erneuerungsraten, wie sie in der Vergangenheit, in Abhängigkeit der Bauperiode, durchgeführt wurden fort. Im Referenz-Szenario erhöht sich die Erneuerungsrate um bis zu 100% gegenüber dem Referenz-Szenario. Hierbei wird angenommen, dass Bauteile i.d.R. am Ende ihrer Lebensdauer durch energetisch wirksamere ersetzt werden.

Tabelle 18 Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile im Jahre 2050 für Einfamilienhäuser im Referenz-Szenario

Bauteil	Bauperiode	Erneuerungsperiode					Kumuliert 2000-2050
		2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050	
Flachdach	<1947	0,150	0,120	0,100	0,090	0,090	0,550
	1947-75	0,130	0,120	0,080	0,070	0,070	0,470
	1976-85	0,200	0,130	0,110	0,105	0,105	0,650
	1986-2005	0,130	0,150	0,150	0,120	0,080	0,630
	2006-2020	0,023	0,130	0,150	0,150	0,120	0,573
	2021-2035	0,000	0,000	0,023	0,130	0,150	0,303
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,023	0,130	0,153
Steildach	<1947	0,080	0,070	0,065	0,065	0,065	0,345
	1947-75	0,075	0,090	0,090	0,085	0,070	0,410
	1976-85	0,030	0,072	0,072	0,054	0,024	0,252
	1986-2005	0,000	0,015	0,036	0,036	0,027	0,114
	2006-2020	0,000	0,000	0,015	0,036	0,036	0,087
	2021-2035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,015
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Wand	<1947	0,070	0,065	0,055	0,045	0,040	0,275
	1947-75	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,375
	1976-85	0,060	0,080	0,080	0,060	0,030	0,310
	1986-2005	0,005	0,025	0,030	0,030	0,030	0,120
	2006-2020	0,000	0,005	0,025	0,030	0,030	0,090
	2021-2035	0,000	0,000	0,000	0,005	0,025	0,030
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,005
Fenster	<1947	0,130	0,080	0,040	0,027	0,020	0,297
	1947-75	0,170	0,080	0,027	0,020	0,013	0,310
	1976-85	0,210	0,240	0,200	0,130	0,050	0,830
	1986-2005	0,070	0,210	0,200	0,140	0,067	0,687
	2006-2020	0,020	0,070	0,210	0,200	0,140	0,640
	2021-2035	0,000	0,000	0,020	0,070	0,210	0,300
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,020	0,070	0,090
Boden	<1947	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,375
	1947-75	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,375
	1976-85	0,040	0,050	0,050	0,050	0,050	0,240
	1986-2005	0,027	0,030	0,030	0,030	0,030	0,147
	2006-2020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2021-2035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 19 Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile im Jahre 2050 für Mehrfamilienhäuser im Referenz-Szenario

Bauteil	Bauperiode	Erneuerungsperiode					Kumuliert 2000-2050
		2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050	
Flachdach	<1947	0,170	0,120	0,105	0,100	0,100	0,595
	1947-75	0,170	0,110	0,090	0,080	0,080	0,530
	1976-85	0,200	0,140	0,120	0,110	0,110	0,680
	1986-2005	0,100	0,160	0,160	0,120	0,080	0,620
	2006-2020	0,020	0,100	0,160	0,160	0,120	0,560
	2021-2035	0,000	0,000	0,020	0,100	0,160	0,280
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,020	0,100	0,120
Steildach	<1947	0,096	0,066	0,050	0,045	0,045	0,302
	1947-75	0,080	0,060	0,045	0,040	0,040	0,265
	1976-85	0,020	0,078	0,084	0,048	0,018	0,248
	1986-2005	0,000	0,012	0,039	0,042	0,024	0,117
	2006-2020	0,000	0,000	0,012	0,039	0,042	0,093
	2021-2035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,012
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Wand	<1947	0,080	0,070	0,060	0,050	0,045	0,305
	1947-75	0,130	0,100	0,090	0,085	0,085	0,490
	1976-85	0,070	0,090	0,090	0,070	0,030	0,350
	1986-2005	0,005	0,025	0,030	0,030	0,030	0,120
	2006-2020	0,000	0,005	0,025	0,030	0,030	0,090
	2021-2035	0,000	0,000	0,000	0,005	0,025	0,030
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,005
Fenster	<1947	0,160	0,073	0,027	0,020	0,013	0,293
	1947-75	0,220	0,150	0,080	0,050	0,040	0,540
	1976-85	0,200	0,250	0,210	0,140	0,050	0,850
	1986-2005	0,050	0,180	0,200	0,170	0,080	0,680
	2006-2020	0,010	0,050	0,180	0,200	0,170	0,610
	2021-2035	0,000	0,000	0,010	0,050	0,180	0,240
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,010	0,050	0,060
Boden	<1947	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,375
	1947-75	0,075	0,075	0,075	0,075	0,075	0,375
	1976-85	0,035	0,040	0,040	0,040	0,040	0,195
	1986-2005	0,017	0,020	0,020	0,020	0,020	0,097
	2006-2020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2021-2035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 20 Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile im Jahre 2050 für Einfamilienhäuser im Effizienz-Szenario

Bauteil	Bauperiode	Erneuerungsperiode					Kumuliert 2000-2050
		2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050	
Flachdach	<1947	0,150	0,120	0,120	0,108	0,108	0,606
	1947-75	0,130	0,144	0,096	0,084	0,077	0,531
	1976-85	0,200	0,130	0,132	0,126	0,116	0,704
	1986-2005	0,130	0,150	0,165	0,144	0,104	0,693
	2006-2020	0,020	0,130	0,150	0,165	0,144	0,609
	2021-2035	0,000	0,000	0,020	0,130	0,150	0,300
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,020	0,130	0,150
Steildach	<1947	0,080	0,112	0,117	0,098	0,104	0,511
	1947-75	0,075	0,135	0,135	0,128	0,105	0,578
	1976-85	0,030	0,130	0,108	0,086	0,043	0,397
	1986-2005	0,000	0,015	0,054	0,054	0,054	0,177
	2006-2020	0,000	0,000	0,015	0,054	0,054	0,123
	2021-2035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,015
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Wand	<1947	0,070	0,098	0,083	0,090	0,080	0,420
	1947-75	0,075	0,113	0,113	0,113	0,113	0,525
	1976-85	0,060	0,128	0,128	0,108	0,060	0,484
	1986-2005	0,005	0,025	0,060	0,060	0,060	0,210
	2006-2020	0,000	0,005	0,025	0,060	0,060	0,150
	2021-2035	0,000	0,000	0,000	0,005	0,025	0,030
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,005
Fenster	<1947	0,130	0,112	0,120	0,160	0,100	0,622
	1947-75	0,170	0,200	0,133	0,100	0,067	0,670
	1976-85	0,210	0,240	0,230	0,195	0,100	0,975
	1986-2005	0,070	0,210	0,200	0,196	0,167	0,843
	2006-2020	0,020	0,070	0,210	0,200	0,196	0,696
	2021-2035	0,000	0,000	0,020	0,070	0,210	0,300
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,020	0,070	0,090
Boden	<1947	0,075	0,150	0,120	0,120	0,120	0,585
	1947-75	0,075	0,150	0,120	0,120	0,120	0,585
	1976-85	0,040	0,100	0,100	0,090	0,090	0,420
	1986-2005	0,027	0,030	0,060	0,060	0,060	0,237
	2006-2020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2021-2035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabelle 21 Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile im Jahre 2050 für Mehrfamilienhäuser im Effizienz-Szenario

Bauteil	Bauperiode	Erneuerungsperiode					Kumuliert 2000-2050
		2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050	
Flachdach	<1947	0,170	0,144	0,126	0,110	0,110	0,660
	1947-75	0,170	0,110	0,090	0,080	0,080	0,530
	1976-85	0,200	0,140	0,144	0,132	0,127	0,743
	1986-2005	0,100	0,160	0,176	0,156	0,160	0,752
	2006-2020	0,020	0,100	0,160	0,176	0,156	0,612
	2021-2035	0,000	0,000	0,020	0,100	0,160	0,280
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,020	0,100	0,120
Steildach	<1947	0,096	0,099	0,100	0,090	0,090	0,475
	1947-75	0,080	0,090	0,090	0,080	0,080	0,420
	1976-85	0,020	0,156	0,168	0,096	0,036	0,476
	1986-2005	0,000	0,012	0,047	0,084	0,048	0,191
	2006-2020	0,000	0,000	0,012	0,047	0,084	0,143
	2021-2035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,012
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Wand	<1947	0,080	0,105	0,096	0,100	0,081	0,462
	1947-75	0,130	0,120	0,117	0,102	0,094	0,563
	1976-85	0,070	0,144	0,144	0,105	0,045	0,508
	1986-2005	0,005	0,025	0,033	0,045	0,048	0,156
	2006-2020	0,000	0,005	0,025	0,033	0,045	0,108
	2021-2035	0,000	0,000	0,000	0,005	0,025	0,030
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,005
Fenster	<1947	0,160	0,147	0,133	0,100	0,067	0,607
	1947-75	0,220	0,195	0,144	0,075	0,048	0,682
	1976-85	0,200	0,250	0,231	0,168	0,070	0,919
	1986-2005	0,050	0,180	0,200	0,255	0,184	0,869
	2006-2020	0,010	0,050	0,180	0,200	0,255	0,695
	2021-2035	0,000	0,000	0,010	0,050	0,180	0,240
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,010	0,050	0,060
Boden	<1947	0,075	0,150	0,120	0,120	0,120	0,585
	1947-75	0,075	0,150	0,120	0,120	0,120	0,585
	1976-85	0,035	0,080	0,064	0,051	0,051	0,281
	1986-2005	0,017	0,020	0,040	0,040	0,040	0,157
	2006-2020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2021-2035	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2036-2050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

8.2.3 Heizwärmebedarf Neubauten

Tabelle 22 Übersicht über aktuell gültige Grenz- und Zielwerte

MuKE n 2008 / SIA 380/1 (2009)	$Q_{h,li0}$	$\Delta Q_{h,li}$	A/EBF	Neubau		Sanierung		Minergie		Minergie-P	
				$Q_{h,li}$	Zielwert	Grenzwert	Zielwert	Neubau	Sanierung	Neubau	Sanierung
% $Q_{h,li}$				100%	60%	125%	100%	90%	n/a	60%	80%
MFH [MJ/m²a]	65	65	1,3	150	90	187	150	135	n/a	90	120
EFH [MJ/m²a]	55	65	2,0	185	111	231	185	167	n/a	111	148
MFH [MJ/m²a]	65	65	1,1	137	82	171	137	123	n/a	82	109
EFH [MJ/m²a]	55	65	1,9	179	107	223	179	161	n/a	107	143

Der Heizwärmebedarf (Q_h) der Neubauten orientiert sich einerseits an den in Tabelle 22 aufgeführten Grenz- und Zielwerte nach MuKE n bzw. SIA 380/1. Anhand des SIA 380/1 Rechenmodells wurde die Plausibilität der Kennwerte für den Gebäudepark verifiziert. Ähnlich wie in den Annahmen der U-Wert-Entwicklung (siehe 8.2.1) wird davon ausgegangen, dass in der ersten Neubauperiode (2005 bis 2010) der Grenzwert zu 30% überschritten wird. Die Neubauten im Jahre 2050 nähern sich dann dem Wert für Minergie-Bauten an (Fortschreibung nach Hofer07).

Im Effizienz-Szenario wird davon ausgegangen, dass zunehmend kompaktere Gebäudeformen gebaut werden und der Heizwärmebedarf für Neubauten im Jahre 2050 10-20% unter den Minergie-P Grenzwert liegt (vgl. Kap. 1.4). Die durchschnittlichen Heizwärmebedarfswerte sind in Kapitel 2.2.2 bzw. Figur 12 (Seite 39) wiedergegeben.

Tabelle 23 Zuordnung zwischen Modellgrössen und Verwendungszwecken gemäss SIA 416/1

Eingabegrösse Modell Wohngebäude	Verwendungszweck nach SIA Effizienzpfad
Lüftung	1a Raumklima / Lüftung
Pumpen, Gebläse	1b Raumklima / Raumheizung
Raumwärme	1b Raumklima / Raumheizung
Warmwasser	2 Warmwasser
Beleuchtung EFH	3 Beleuchtung
Beleuchtung MFH	3 Beleuchtung
Computer und Peripherie (inkl. Struktureffekten)	4a Betriebseinrichtungen / Betriebseinrichtungen
Farb-TV (Incl. Nutzerverhaltenskomponente)	4a Betriebseinrichtungen / Betriebseinrichtungen
Geschirrspüler	4a Betriebseinrichtungen / Betriebseinrichtungen
Kochen	4a Betriebseinrichtungen / Betriebseinrichtungen
Kühl-Gefriergerät	4a Betriebseinrichtungen / Betriebseinrichtungen
Kühlschrank	4a Betriebseinrichtungen / Betriebseinrichtungen
Tiefkühlgerät	4a Betriebseinrichtungen / Betriebseinrichtungen
Video (Incl. Substitutionseffekt DVD-VCR)	4a Betriebseinrichtungen / Betriebseinrichtungen
Wäschetrockner	4a Betriebseinrichtungen / Betriebseinrichtungen
Waschmaschine	4a Betriebseinrichtungen / Betriebseinrichtungen
Waschtrockner	4a Betriebseinrichtungen / Betriebseinrichtungen
andere Verwendung	4b Betriebseinrichtungen / Div. Gebäudetechnik

8.3 Anhang C – Begriffliche Zuordnungen

Tabelle 24 Vergleich der Verwendungszwecke Zentrale Dienste und Arbeitshilfen gemäss SIA 380/4:1995 mit Betriebseinrichtungen gemäss SIA 380/4:2006

SIA 380/4: 1995	SIA 380/4: 2006 und SIA 416/1
<p>Arbeitshilfen gemäss SIA 380/4 (1995) Personal-Computer, Bildschirm Drucker (Laser-Drucker, Tintenstrahldrucker usw.) Kopiergerät, Faxgeräte Büromaschine (Schreibmaschine, Rechenmaschine) Kaffeeautomat, Verpflegungsautomat Telekommunikationseinrichtungen (Fax, Telex, Videotext) Kleine Geräte in Gewerbe und Industrie Haushaltgeräte Hobby- und Unterhaltungsgeräte Audiovisuelle Geräte (Projektoren etc.) Ladeneinrichtungen Spitaleinrichtungen</p> <p>Zentrale Dienste Gewerbliche Kücheneinrichtungen Gaststätteneinrichtungen Kühlvitrinen Werkstatteinrichtungen Tankstelleneinrichtungen Zentrale EDV- Anlagen Einrichtungen in gewerblichen Wäschereien Sterilisationseinrichtungen Speditionseinrichtungen Telefonzentralen Prozessanlagen in Industrie und Gewerbe Haushalt-Grossgeräte</p> <p>Sicherheitsanlagen USV-Anlagen</p>	<p>Betriebseinrichtungen (SIA 380/4: 2006) Personal-Computer, Workstation Drucker Kopiergeräte Büromaschinen (Schreibmaschinen, Rechenmaschinen) Telekommunikationseinrichtungen (Telefon, Fax) EDV-Server, zentrale EDV-Anlagen Telefonzentralen Audiovisuelle Geräte (Hellraumprojektor, Beamer) Kaffee- und Verpflegungsautomaten Haushaltgeräte (Klein- und Grossgeräte) Unterhaltungsgeräte Ladeneinrichtungen (Kassen usw.) Kühlregale und -truhen Gaststätteneinrichtungen (Buffet usw.) Gewerbliche Kücheneinrichtungen, Kühlzellen Kleine Geräte in Gewerbe und Industrie Werkstatteinrichtungen Prozessanlagen in Industrie und Gewerbe Spitaleinrichtungen Sterilisationseinrichtungen Einrichtungen in gewerblichen Wäschereien Kleinkühlschränke (in Hotelzimmern)</p> <p>Diverse Gebäudetechnik gemäss SIA 416/1 Transport von Personen und Waren (Personen- und Warenaufzüge, Fahrtreppen, Speditionseinrichtungen usw.). Betrieb von Gebäudemanagementsystemen, Transformatoren, USV-Anlagen, Sicherheitsanlagen, Schliessanlagen, Überwachungskameras, Brandschutzanlagen, Frostschutzheizungen.</p>