



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 1. Oktober 2009

Gebäudeparkmodell SIA Effizienzpfad Energie Dienstleistungs- und Wohngebäude

**Vorstudie zum Gebäudeparkmodell Schweiz –
Grundlagen zur Überarbeitung des
SIA Effizienzpfades Energie**

TEP

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Institut für Bauplanung und Baubetrieb
Professur für Nachhaltiges Bauen
Prof. Dr.-Ing. Holger Wallbaum
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ)
www.ibb.baug.ethz.ch/de/nb
TEP Energy GmbH
Technology Economics Policy - Research and Advice
Dr. Martin Jakob
www.tep-energy.ch

Autoren:

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

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Dr. Charles Filleux

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153628 / 102824

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Begleitgruppe

Das Projektteam möchte sich an dieser Stelle auch ganz herzlich bei den Mitgliedern der Begleitgruppe bedanken, die nachfolgend namentlich aufgeführt werden:

Andreas Eckmanns (BfE),
Dr. Charles Filleux (BfE)
Dr. Heinrich Gugerli (AHB Zürich)
Dr. Peter Hartmann (SIA)
Dr. Michael Kost (BfE)
Dr. Martin Lenzlinger (SIA)
Martin Ménard (SIA)
Katrín Pfäffli (SIA)
Prof. Hansruedi Preisig (SIA)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	12
Abstract.....	14
Zusammenfassung	15
Abkürzungen.....	16
1. Ausgangslage, Zielsetzung und methodisches Vorgehen im Überblick	18
1.1 Ausgangslage.....	18
1.2 Zielsetzung	19
1.3 Methodisches Vorgehen.....	19
1.4 Das Gebäudeparkmodell.....	21
2. Wohngebäude	25
2.1 Entwicklung der Energiebezugsfläche, Haushalte und Personenanzahl	25
2.2 Raumwärme	26
2.2.1 Erneuerung Gebäudehülle	26
2.2.2 Lüftung.....	29
2.2.3 Mittlerer Nutzungsgrad Heizungsanlage	30
2.2.4 Beheizungsstruktur Neubauten	32
2.2.5 Beheizungsstruktur Gebäudebestand	34
2.3 Warmwasser.....	35
2.4 Übrige Verwendungszwecke	37
2.4.1 Grosse Elektrogeräte und Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)	37
2.4.2 Kochen Ausstattung der Haushalte	39
3. Ergebnisse Wohngebäude.....	40
3.1 Endenergie	40
3.2 Primärenergienachfrage und Treibhausgas-Emissionen	41
3.2.1 Primärenergie nach Gebäudetyp	41
3.2.2 Totale Primärenergie nach Art der Primärenergieträger	41
3.2.3 Flächenspezifische Primärenergie nach Gebäudetyp und Verwendungszwecken	42
3.2.4 Totale Treibhausgasemissionen	46
3.2.5 Totale Treibhausgasemissionen nach Verwendungszwecken	48
3.3 Totaler Betriebsenergiebedarf pro Person	50
3.4 Sensitivitätsanalyse der Annahmen für Wohngebäude	50
4. Büro und Schulgebäude.....	53
4.1 Modellansatz und Abgrenzung	53
4.2 Energiebezugsfläche (EBF)	55
4.3 Diffusionsrate (DR) der Energiedienstleistungen	56
4.3.1 Betriebseinrichtungen.....	56

4.3.2	Lüftung und Klima.....	58
4.3.3	Beleuchtung und übrige Gebäudetechnik	59
4.4	Spezifische Energiebedarfswerte.....	59
4.4.1	Raumheizung	59
4.4.2	Betriebseinrichtungen.....	66
4.4.3	Diverse Gebäudetechnik	66
4.4.4	Beleuchtung.....	67
4.4.5	Lüftung und Kühlung	68
4.4.6	Entwicklung der spezifischen Strombedarfswerte im Überblick.....	70
4.4.7	Vergleichswerte	71
5.	Ergebnisse Schulen und Bürogebäude	74
5.1	Endenergie	74
5.1.1	Raumklima.....	74
5.1.2	Warmwasser.....	77
5.1.3	Beleuchtung, Betriebseinrichtungen und diverse Gebäudetechnik	78
5.1.4	Stromnachfrage nach Branche und Gebäudetyp	80
5.2	Primärenergie	83
5.2.1	Primärenergienachfrage der Schul- und Bürogebäude im Total.....	83
5.2.2	Primärenergie nach Art der Energieträger	85
5.2.3	Primärenergiebedarf nach Verwendungszweck.....	87
5.3	Treibhausgasemissionen	89
5.3.1	Treibhausgasemissionen im Total.....	89
5.3.2	Treibhausgasemissionen nach Verwendungszweck	90
5.4	Sensitivitätsanalysen	92
6.	Synthese der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	94
6.1	Resultate	94
6.1.1	<i>Endenergienachfrage</i>	94
6.1.2	<i>Primärenergiebedarf gesamt nach Gebäudenutzung</i>	97
6.1.3	<i>Gesamtprimärenergiebedarf nach Art der Energieträger</i>	99
6.1.4	<i>Spezifischer Primärenergiebedarf gesamt</i>	100
6.1.5	<i>Personenspezifischer Primärenergiebedarf</i>	102
6.1.6	<i>Treibhausgasemissionen</i>	104
6.2	Schlussfolgerungen	110
6.2.1	Zielüberprüfung	110
6.2.2	Diskussion und Einschätzung der Ergebnisse	112
6.2.3	Mögliche weiterführende Arbeiten	113
6.2.4	Methodische Schlussfolgerungen	114
6.3	Empfehlungen	114
7.	Literaturhinweise	116

8.	Anhang A – Strommix sowie Treibhausgaskoeffizienten und Primärenergiefaktoren für Elektrizität.....	119
9.	Anhang B – Annahmen Wohngebäude	122
9.1	Gebäudehülle	122
9.2	U- und g-Werte	123
9.2.1	U-Werte Flachdach.....	123
9.2.2	U-Werte Steildach	124
9.2.3	U-Werte Wand.....	125
9.2.4	U-Werte Boden.....	126
9.2.5	U-Werte Fenster	127
9.2.6	g-Werte	128
9.3	Erneuerungsraten.....	129
9.3.1	Erneuerungsraten Flachdach	130
9.3.2	Erneuerungsraten Steildach	131
9.3.3	Erneuerungsraten Wand	132
9.3.4	Erneuerungsraten Fenster	133
9.3.5	Erneuerungsraten Boden	134
9.4	Heizwärmebedarf Neubauten.....	135
10.	Anhang C – Begriffliche Zuordnungen	136

Abbildungsverzeichnis

Figur 1	Entwicklung der Bevölkerung und Haushalte	25
Figur 2	Entwicklung der Energiebezugsfläche nach EFH und MFH	26
Figur 3	Durchschnittlicher Heizwärmebedarf Bestandsgebäude (BP1-4) und Neubauten (BP5-13) nach EFH und MFH im gewichteten Durchschnitt (Bauperiode 2005 bis 2050)	29
Figur 4	Diffusionsrate Lüftungsanlagen	30
Figur 5	Flächenspezifischer Energiebedarf der Lüftungsanlagen	30
Figur 6	Mittlere Nutzungsgrade der Heizungsanlage im Bestand	31
Figur 7	Mittlere Nutzungsgrade der Heizungsanlage bei Neubauten (Referenz- und Effizienz-Szenario)	32
Figur 8	Diffusion der Heizwärmeerzeuger bei EFH-Neubauten	33
Figur 9	Diffusion der Heizwärmeerzeuger bei MFH-Neubauten	33
Figur 10	Diffusion der Heizwärmeerzeuger bei EFH-Bestandsbauten	34
Figur 11	Diffusion der Heizwärmeerzeuger bei MFH-Bestandsbauten	35
Figur 12	Jahresnutzungsgrade der Wassererwärmungsanlagen	36
Figur 13	Diffusionsraten der Wasserwärmeanlagen	36
Figur 14	Diffusion von Elektrogeräten (pro Haushalt)	37
Figur 15	Gerätespezifischer Energiebedarf Elektrogeräte	38
Figur 16	Energiebedarf übrige Geräte	39
Figur 17	Diffusion der Kochgeräte	39
Figur 18	Endenergiebedarf der Wohngebäude für alle Anwendungen nach Endenergieträgern [PJ]	40
Figur 19	Absoluter Primärenergiebedarf der Wohngebäude [PJ]	41
Figur 20	Absoluter Primärenergiebedarf der Wohngebäude nach Art der Primärenergieträger [PJ]	42
Figur 21	Mittlerer spezifischer Bedarf totale Primärenergie nach Gebäudenutzung und Szenario [MJ/m ² a]	43
Figur 22	Totale Primärenergie nach Verwendungszweck – Referenz-Szenario (Primärenergiefaktoren für Elektrizität gemäss BFE-Szenario I, Variante b)	44
Figur 23	Totale Primärenergie nach Verwendungszweck – Effizienz-Szenario (Primärenergiefaktoren für Elektrizität gemäss BFE-Szenario IV, Variante a)	45
Figur 24	Totale Primärenergie nach Verwendungszweck – Effizienz-Szenario (Primärenergiefaktoren für Elektrizität gemäss BFE-Szenario IV, Variante e)	46
Figur 25	Absolute Treibhausgasemissionen der Wohngebäude [Mt CO ₂ -äq.]	47
Figur 26	Personenspezifische Treibhausgasemissionen nach Verwendungszweck (Referenz-Szenario) (Treibhausgasemissionskoeffizienten gemäss BFE-Szenario I, Stromversorgungsvariante b)	48

Figur 27	Personenspezifische Treibhausgasemissionen nach Verwendungszweck (Referenz-Szenario) (Treibhausgasmissionskoeffizienten gemäss BFE-Szenario IV e, Stromversorgungsvariante e)	49
Figur 28	Totaler Betriebsenergiebedarf der Wohngebäude pro Person [W/P]	50
Figur 29	Energiebezugsfläche für Altbauten (linke grafische Darstellung) und Neubauten (rechte grafische Darstellung) sowie für den Gesamtbestand (tabellarisch) (in Mio. m ²)	55
Figur 30	Diffusion der Betriebseinrichtungen in Neubauten (links) und im Altbestand (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.	57
Figur 31	Diffusion der diversen Gebäudetechnik in Neubauten (links) und im Altbestand (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.....	58
Figur 32	Diffusion Klima/Lüftung in Neubauten (links) und im Altbestand (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.	58
Figur 33	Resultierende spezifische Heizwärmbedarfswerte für Raumwärme (Qh) der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.....	63
Figur 34	Heizergieträgerstruktur der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) das Referenz-Szenario (links) und das Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.	64
Figur 35	Spezifische Strombedarfswerte 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.....	65
Figur 36	Spezifische Strombedarfswerte der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) für Betriebseinrichtung im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.	66
Figur 37	Spezifische Strombedarfswerte der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) für diverse Gebäudebauweise im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.....	67
Figur 38	Spezifische Strombedarfswerte (SEB) der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) für Beleuchtung im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.	68
Figur 39	Spezifische Strombedarfswerte der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) für Klima / Lüftung im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.	69
Figur 40	Exemplarische Darstellung der Entwicklung der spezifischen Energiebedarfswerte für Beleuchtung aufgrund von Erneuerungen im Referenz und im Effizienz-Szenario.....	73
Figur 41	Gebäudebezogene Energienachfrage (TJ oben, PJ unten) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario für Raumklima	75
Figur 42	Gebäudebezogene Energienachfrage (TJ oben, PJ unten) von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario für Raumklima	76
Figur 43	Gebäudebezogene Energienachfrage (PJ) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario für Warmwasser	77
Figur 44	Gebäudebezogene Energienachfrage (PJ) von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario für Warmwasser	78

Figur 45	Stromnachfrage (PJ) für Beleuchtung und Betriebseinrichtungen von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario.....	79
Figur 46	Stromnachfrage (PJ) für Beleuchtung und Betriebseinrichtungen von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario.....	79
Figur 47	Gebäudebezogene Stromnachfrage (PJ) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario, gegliedert nach Branche bzw. Gebäudetyp.	80
Figur 48	Gebäudebezogene Stromnachfrage (PJ) von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario, gegliedert nach Branche bzw. Gebäudetyp.	81
Figur 49	Gebäudebezogene Energienachfrage (PJ) ohne Strom von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario.....	82
Figur 50	Gebäudebezogene Energienachfrage (PJ) ohne Strom von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario.....	82
Figur 51	Primärenergiebedarf (PJ) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario (orange) und im Effizienz-Szenario (grün) für drei BFE-Stommixszenarien.....	83
Figur 52	Spezifische Dauerleistung (Watt/Person) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario (orange) und im Effizienz-Szenario (grün) für drei BFE-Stommixszenarien.....	84
Figur 53	Spezifischer Primärenergiebedarf (MJ/m ²) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario (orange) und im Effizienz-Szenario (grün) für drei BFE-Stommixszenarien.....	85
Figur 54	Primärenergiebedarf (PJ) der Schul- und Bürogebäude im Referenz-Szenario und im Effizienz-Szenario, gegliedert nach Primärenergieträger.....	86
Figur 55	Spezifische Dauerleistung (Watt/Person) der Schul- und Bürogebäude im Referenz-Szenario und im Effizienz-Szenario, gegliedert nach Primärenergieträger	86
Figur 56	Spezifischer Primärenergiebedarf (MJ/m ²) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Referenz-Szenario (Primärenergiefaktoren gemäss Mix des BFE-Szenario I, Stromversorgungsvariante B)	87
Figur 57	Spezifischer Primärenergiebedarf (MJ/m ²) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Effizienz-Szenario mit Primärenergiefaktoren gemäss Mix des BFE-Szenario IV, Stromversorgungsvariante A	88
Figur 58	Spezifischer Primärenergiebedarf (MJ/m ²) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Effizienz-Szenario mit Primärenergiefaktoren gemäss Mix des BFE-Szenario IV, Stromversorgungsvariante E	88
Figur 59	Treibhausgasemissionen (Mt CO ₂ -äq.) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario (orange) und im Effizienz-Szenario (grün) für drei BFE-Stommixszenarien	90
Figur 60	Spezifische Treibhausgasemissionen (t/P) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Referenz-Szenario (Treibhausgaskoeffizienten gemäss Mix des BFE-Szenario I, Stromversorgungsvariante B)	91
Figur 61	Spezifische Treibhausgasemissionen (t/Person) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Effizienz-Szenario (Treibhausgaskoeffizient gemäss Mix des BFE-Szenario IV, Stromversorgungsvariante E).....	92
Figur 62	Gesamtendenergiebedarf nach Gebäudetyp in PJ – Referenz-Szenario.....	95
Figur 63	Gesamtendenergiebedarf nach Gebäudetyp in PJ – Effizienz-Szenario.....	95
Figur 64	Gesamtendenergiebedarf nach Anwendung für alle Gebäudenutzungen in PJ – Referenz-Szenario.....	96

Figur 65	Gesamtendenergiebedarf nach Anwendung für alle Gebäudenutzungen in PJ – Effizienz-Szenario.....	97
Figur 66	Gesamtenergiebedarf totale Primärenergie nach Gebäudenutzung in PJ – Referenz-Szenario und Effizienz-Szenario im Vergleich (PEF Elektrizität nach BFE-Sz. I b / IV a / IV e)	98
Figur 67	Primärenergie für alle Gebäudetypen nach Art der Primärenergieträger; Referenz-Szenario (Elektrizität nach BFE-Sz. I b)	99
Figur 68	Primärenergie für alle Gebäudetypen nach Art der Energieträger; Effizienz-Szenario (Elektrizität nach BFE-Sz. IV e).....	100
Figur 69	Spez. Gesamtprimärenergiebedarf nach Gebäudetyp – Referenz-Sz. (PEF Elektrizität nach BFE-Sz. I b)	101
Figur 70	Spez. Gesamtprimärenergiebedarf nach Gebäudetyp – Effizienz-Sz. (PEF Elektrizität nach BFE-Sz. IV e)	101
Figur 71	Dauerleistung totale Primärenergie pro Person nach Gebäudetyp – Referenz-Sz. (PEF Elektrizität nach BFE-Sz. I b)	102
Figur 72	Dauerleistung totale Primärenergie pro Person nach Gebäudetyp – Effizienz-Sz. (PEF Elektrizität nach BFE-Sz. IV e).....	102
Figur 73	Personenspezifische Dauerleistung in Primärenergie nach Primärenergieträgern für alle drei Gebäudenutzungen; Referenz-Szenario mit BFE-StromszENARIO I b [W/P].....	103
Figur 74	Personenspezifische Dauerleistung in Primärenergie nach Primärenergieträgern für alle drei Gebäudenutzungen; Effizienz-Szenario mit BFE-StromszENARIO IVe [W/P]	104
Figur 75	Totale Treibhausgasemissionen in Mt CO ₂ -äquivalenten nach Gebäudetyp; Referenz- und Effizienz-Szenario (Elektrizität nach BFE-Sz. I b, IV a, IV e)	106
Figur 76	Gesamte Treibhausgasemissionen per capita – Referenz- und Effizienz-Szenario (PEF Elektrizität nach BFE-Sz. I b bzw. IV e)	107
Figur 77	Treibhausgasemissionen pro Fläche und Anwendung im Referenz-Szenario (PEF Elektrizität nach BFE-Sz. I b)	108
Figur 78	Treibhausgasemissionen pro Fläche und Anwendung im Effizienz-Sz. (PEF Elektrizität nach BFE- IV e)	109
Figur 79	Szenario I b aus Prognos07b: „Weiter wie bisher – Nuklear und fossil-zentral“	120
Figur 80	Szenario IV a: „Weg zur 2000 Watt-Gesellschaft – Nuklear“	121
Figur 81	Szenario IV e: „Weg zur 2000 Watt-Gesellschaft – Erneuerbare Energien“	121
Figur 82	U-Werte Flachdach.....	123
Figur 83	U-Werte Steildach	124
Figur 84	U-Werte Wand.....	125
Figur 85	U-Werte Boden.....	126
Figur 86	U-Werte Fenster	127
Figur 87	g-Werte Fenster.....	128
Figur 88	Erneuerungsrate Flachdach	130
Figur 89	Erneuerungsrate Steildach	131
Figur 90	Erneuerungsrate Wand	132
Figur 91	Erneuerungsrate Fenster	133

Figur 92 Erneuerungsraten Boden 134

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile im Jahre 2050 für Einfamilienhäuser und Referenz-Szenario.....	27
Tabelle 2	Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile im Jahre 2050 für Mehrfamilienhäuser und Referenz-Szenario.....	27
Tabelle 3	Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile im Jahre 2050 für Einfamilienhäuser und Effizienz-Szenario.....	28
Tabelle 4	Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile im Jahre 2050 für Mehrfamilienhäuser und Effizienz-Szenario.....	28
Tabelle 5	Sensitivitätsanalyse für das Referenz-Szenario.....	51
Tabelle 6	Sensitivitätsanalyse für das Effizienz-Szenario.....	52
Tabelle 7	Energiebezugsfläche pro Arbeitsplatz für drei verschiedene Branchen (in m ² /Pers.)	56
Tabelle 8	Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile der Schul- und Bürogebäude im Jahre 2050 für das Referenz-Szenario	60
Tabelle 9	Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile der Schul- und Bürogebäude im Jahre 2050 für das Effizienz-Szenario	61
Tabelle 10	Resultierende Erneuerungsrate, resultierende Reduktionswirkung und resultierender mittlerer Heizwärmebedarf Q _h der Schulgebäude im Referenz-Szenario.....	62
Tabelle 11	Resultierende Erneuerungsrate, resultierende Reduktionswirkung und resultierender mittlerer Heizwärmebedarf Q _h der Schulgebäude im Effizienz-Szenario.....	62
Tabelle 12	Prozentuale Verbesserung des spezifischen Elektrizitätsbedarfs bei Neubauten im Zeitablauf	70
Tabelle 13	Vergleich zwischen den SEB (in MJ/m ²) von TEP und von der SIA Norm 380/4. Die Prozentzahl beschreibt die Verbesserung des SIA-Zielwerts relativ zum SIA-Grenzwert respektive die Verbesserung der SEB der beiden Szenarien relativ zum Basisjahr 2005	72
Tabelle 14	Exemplarische Annahmen zur Abschätzung der Wirkung von Beleuchtungserneuerungen auf die mittleren SEB des Gebäudebestandes	72
Tabelle 15	Sensitivitätsanalyse für das Referenz-Szenario.....	93
Tabelle 16	Sensitivitätsanalyse für das Effizienz-Szenario.....	93
Tabelle 17	Absoluter Primärenergiebedarf nach Primärenergieträgern für alle Szenarien in PJ	99
Tabelle 18	Wichtigste Pro-Kopf Ergebnisse des Referenz-Szenario (Strommix BFE-Sz. I b) und des Effizienz-Szenarios (Strommix BFE-Sz. IV e)	110
Tabelle 19	Vergleich der Betriebsenergie-Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft mit den Ergebnissen des Referenz- (Strommix BFE-Sz. I b) und Effizienz-Szenarios (Strommix BFE-Sz. IV e)	111
Tabelle 20	Vergleich der Betriebsenergie-Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft für die Nutzung Wohnen und den Ergebnissen des Referenz- (BFE-Sz. I b) und Effizienz-Szenarios (BFE-Sz. IV e)	112
Tabelle 21	Strommix des Referenz-Szenarios / b für die Jahre 2005, 2035 und 2050 in TWh.....	119

Tabelle 22	Strommix des Effizienz-Szenarios <i>IV a</i> für die Jahre 2005, 2035 und 2050 in TWh	119
Tabelle 23	Strommix des Effizienz-Szenarios <i>IV e</i> für die Jahre 2005, 2035 und 2050 in TWh	120
Tabelle 24	U-Werte gängiger Baureglemente.....	122
Tabelle 25	Übersicht über aktuell gültige Grenz- und Zielwerte	135
Tabelle 26	Vergleich der Verwendungszwecke Zentrale Dienste und Arbeitshilfen gemäss SIA 380/4:1995 mit Betriebseinrichtungen gemäss SIA 380/4:2006	136
Tabelle 27	Zuordnung zwischen Modellgrössen und Verwendungszwecken gemäss SIA 416/1	137

Abstract

The aim of the project was to provide a basis for the revision of the so-called “Efficiency Path” of the Swiss Association of Engineers and Architects (SIA) in the context of the goals of the 2000-Watt-Society. Particularly, the objective is to find the conditions in which the specific goals of the 2000-Watt-Society for residential, school and office buildings could be reached. Considered indicators are the per capita primary energy use in terms of average power and the greenhouse gas emissions.

A bottom-up model was developed 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 three scenario-variants of the so-called Swiss Energy Perspectives of the Swiss Federal Office of Energy (SFOE) were used: variant I b “business-as-usual – nuclear and central fossil plants”, IV a: “Path to the 2000-Watt-Society – nuclear”, and, IV e “Path to the 2000-Watt-Society – renewable energies”. With this respect it was found that in the case of the efficiency scenario the influence of the electricity generation mix is relatively small. This finding is explained by the fact that hydro power (which is held more or less at the current level) has a large share in the power supply mix in the case of the efficiency scenario with moderate electricity demand and that hydro power is efficient in terms of primary energy and has considerably low greenhouse gas emissions.

The results of the study show that with the underlying assumptions the goals of the 2000-Watt-Society are not fully met: 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 exceeded by 5 to 7 percentage points. Primary energy use per capita is reduced by 36% in the case of the residential buildings and by 39% in the case of office and school buildings. A reduction of 61% is achieved regarding non-renewable primary use and a reduction of 70% in the case of greenhouse gas emissions.

Moreover there is evidence the overall target (of all sectors) is also missed. Indeed, in the efficiency scenario, the GHG-emissions of the residential sector alone already account for 40% of the target value of 2 t CO₂-eq./cap. Further investigations are needed to verify whether this share is too large for the residential sector and whether the overall target could be reached by reductions in the other sectors.

Note finally that there is still some leeway also in the case of the efficiency scenario. Although the goal is (slightly) missed it cannot be concluded that the specific target values of the 2000-Watt-Society should be revised. Conversely it is recommended that a target-oriented scenario should be drafted in order to reveal pre-conditions and to derive necessary policy measures.

Zusammenfassung

Das Projekt verfolgte die Zielsetzung, Grundlagen zur Überarbeitung des SIA-Effizienzpfad im Hinblick auf die Erreichung der Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft per 2050 zu ermitteln. Ziel der Untersuchung war eine Aussage darüber, ob und unter welchen Bedingungen auf die Bereiche Wohnen, Schulen und Büro herunter gebrochenen Ziele erreicht werden können. Bewertungskriterien sind die spezifische Dauerleistung in Primärenergie sowie die spezifischen Treibhausgasemissionen. Die Projektergebnisse sollen damit dem SIA eine Grundlage für die geplante Erneuerung des SIA-Effizienzpfades liefern.

Zur Beantwortung der angestrebten Ziele wurde ein bottom-up Modell entwickelt, mit welchem die End- und Primärenergienachfrage, 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, Gebäudetechnik und weiteren Energieanwendungen dieser Gebäudetypen getroffen.

Es wurden zwei grundsätzliche Szenarien entwickelt: ein ambitioniertes Effizienz-Szenario wurde mit einem Referenz-Szenario, welches die aktuelle und absehbare Energiepolitik beinhaltet, verglichen. In Bezug auf die Stromerzeugung wurden die drei BFE-Szenario-Varianten I b: „Weiter wie bisher – Nuklear und fossil-zentral“, IV a: „Weg zur 2000 Watt-Gesellschaft – Nuklear“ und IV e: „Weg zur 2000 Watt-Gesellschaft – Erneuerbare Energien“ verwendet, um den Einfluss des Stromerzeugungsmixes auf die Ergebnisse aufzuzeigen. Dabei zeigte sich, dass der Einfluss des Stromerzeugungsmixes im Effizienz-Szenario relativ gering ist, da bei reduzierter Stromnachfrage die wenig treibhausgasintensive und effiziente Herstellung per Wasserkraft einen grossen Anteil am Strommix hat.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Zielsetzung der 2000-Watt-Gesellschaft bei den getroffenen Annahmen nicht ganz erreicht wird: die relativen Zielsetzungen der pro Kopf-Bemessungsgrößen totale Primärenergie (-44%), nicht-erneuerbare Primärenergie (-66%) und Treibhausgas-Emissionen je (-77%) werden im Jahr 2050 noch um je 5 bis 7%-Punkte überschritten. Bei der totalen Primärenergie pro Kopf wird bei den Wohngebäuden eine Reduktion von 36% erreicht und bei den Büro- und Schulgebäuden eine solche von 39%. Bei der nicht-erneuerbaren Primärenergie wird eine Reduktion von 61% erreicht und bei den Treibhausgasemissionen pro Kopf wird eine solche von 70%.

Auf eine Zielverfehlung im Gesamten deutet auch der Umstand hin, dass im Effizienz-Szenario die Emissionen des Wohngebäudesektors bereits rund 40% des Gesamtziels von 2 t CO₂-äq./P betragen. Hierbei ist in weiteren Arbeiten zu prüfen, ob diese Größenordnung nicht zu hoch ist, um mit weiteren Reduktionen in anderen Sektoren das Gesamtziel erreichen zu können.

Beim Effizienz-Szenario wurde nicht der gesamte Spielraum ausgenutzt. Aus dem (knappen) Verfehlen der proportionalen Ziele wird beim derzeitigen Erkenntnisstand deshalb keine Anpassung der Zielwerte abgeleitet, sondern die Forderung nach dem Konzipieren eines Ziel-orientierten Szenarios, um damit den erforderlichen Handlungsbedarf aufzuzeigen zu können.

Abkürzungen

AH	Arbeitshilfen
AR	Abrissrate
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
EE	Endenergie
EFH	Einfamilienhaus
EKZ	Energiekennzahl
ER	Erneuerungsrate
GuD	Gas- und Dampf (Kombikraftwerk)
I b	Referenz-Szenario (in Kombination mit BFE-Elektrizitätsmix I b)
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
IV a	Effizienz-Szenario (in Kombination mit BFE-Elektrizitätsmix IV a)
IV e	Effizienz-Szenario (in Kombination mit BFE-Elektrizitätsmix IV e)
JAZ	Jahresarbeitszahl
JNG	Jahresnutzungsgrad
KEA	Kumulierter (Primär-) Energieaufwand
MFH	Mehrfamilienhaus
Minergie	Schweizerisches Gebäudelabel
MJ	Megajoule (10^6 J)
MuKEN	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
NE	Nutzenergie
PEF	Primärenergiefaktor
PJ	Petajoule (10^{15} J)
Q _h	Spezifischer Heizwärmebedarf pro Jahr (MJ/m ² pro Jahr)
RH	Raumheizung

RW	Raumwärme
SEB	Spezifischer Energiebedarf
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-Absenpfad 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 ein 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-, „kompatibel“ (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 in einem anderen Kontext, nämlich im Rahmen der Energieperspektiven des Bundesamts für Energie (BFE) durchgeführt. Eines der betrachteten Szenarien, das Szenario IV, war ein Zielszenario, welches die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft explizit erwähnt (namentlich „auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft“). 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) umfangreiche Grundlagen erarbeitet wurden, fehlt letztlich ein direkter Bezug zwischen praxisrelevanten Instrumenten (Effizienzpfad Energie) und der 2000-Watt-Gesellschaft, dies u.a. auch, weil die beiden Projekte zeitlich parallel entstanden. Seit der Erstellung des SIA Effizienzpfades Energie und der Fertigstellung der Energieperspektiven haben sich zudem

gewisse Rahmenbedingungen verändert, welche für die Betrachtung von Relevanz sind (Bevölkerungsprognosen, neu initiierte energiepolitische Massnahmen wie z.B. Aktualisierung der MuKEn 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 zu der 2000-Watt-Gesellschafts durchgeführt werden.

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 (z.B. in Anlehnung an das Szenario IV Energieperspektiven des BFE) sowie per 2050 (z.B. mittels bis 2050 erweitertem Modell) 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 forciert 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 CH-Verbrauchermix, Situation 2050 gemäss 2 Varianten in Anlehnung an die BFE-Energieperspektiven) auf die Erreichbarkeit der Maximalwerte auf Primärenergiestufe?

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

1.3 Methodisches Vorgehen

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

- eine von weiteren Politikmassnahmen unbeeinflusste Entwicklung (Referenz-Szenario, in Anlehnung an das BFE-Szenario I b bzw. Szenario II) und

- eine forcierte Erneuerungsstrategie (als Effizienz-Szenario) bezeichnet.

Mit der Bezeichnung Effizienz-Szenario wird angedeutet, dass zu dessen Realisierung nach unserer Einschätzung weitgehende Politikmassnahmen erforderlich sind, wobei gleichzeitig darauf hingewiesen wird, dass auf diese nicht explizit oder höchstens punktuell eingegangen wird.

Konzeptioneller Ansatz und Abgrenzung

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

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

- Nachfrage auf Nutzenergieebene bzw. Ebene Energiedienstleistungen, gestützt auf Mengengerüste und spezifische Bedarfswerte 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), Lufterneuerungsbedarf (belüftete Fläche und spezifische thermische und elektrische Bedarfswerte), Beleuchtungsbedarf (z.B. in Form von beleuchteter Fläche).
- Endenergiebedarf: Ausgehend vom modellierten Nutzenergiebedarf wird die Endenergie anhand von Energieträgeranteilen, Gerät- und Anlagendurchdringungen sowie Nutzungsgraden und spezifischen Endenergiebedarfskennwerten (z.B. bei Geräten und Lüftungen) bilanziert.
- Primärenergiebedarf und Treibhausgas-Emissionen: ausgehend von der Endenergiennachfrage wird mittels eines einfachen Energieangebotsmodells die Primärenergienachfrage berechnet. Bei den Primärenergieträgern, insbesondere zur Deckung des Heizwärmebedarfs, wird auf Frischknecht und Tuchschmid (2008) abgestützt. Beim Strom beinhaltet dieses Modell für den heutigen Zeitpunkt den aktuellen CH-Produktionsmix und für den Importmix bzw. den Strom aus unbekannten Energiequellen (gemäss Brunner und Farago (2007)) den UCTE-Mix (gemäss Frischknecht und Tuchschmid 2008). Für künftige Zeiträume werden die Angebotsmixe B (für das Referenz-Szenario) sowie A und E (für das Effizienz-Szenario (gemäss den BFE-Perspektiven) zugrunde gelegt (siehe Anhang A).¹

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.² Für die Bewertung sind die

¹ An dieser Stelle ist zu betonen, dass die Perspektiven-Varianten in Bezug auf die Importanteile kritisch zu 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.

Primärenergie- und Treibhausgas-Emissionsfaktoren gemäss Methodikpapier der Stadt Zürich massgebend (ausser Strom). Bei der Stromerzeugung wird auf den Erzeugungsmix der beiden Szenario-Varianten abgestützt. Für den Zeitraum von 2005 bis 2035 wurden die Werte der „Energieperspektiven 2035 – Band 2“ verwendet und anschliessend bis 2050 fortgeschrieben (siehe Anhang A).

Modellierung im Gebäudebereich

Ausgehend von Annahmen, welche sich zum einen an den BFE-Energieperspektiven (Szenario IV) orientieren und zum anderen weitere Literatur, Erkenntnisse und Daten mit einbeziehen, wird die Endenergiennachfrage, 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 in diesem Vorprojekt ein berechenbares bottom-up-Simulations- Modell entwickelt, das den Ist-Zustand an Wohngebäuden (Ein- und Mehrfamilienhäuser, Bürogebäuden und Schulen) in der Schweiz in einem bottom-up Ansatz abbildet und für die beiden erwähnten Szenarien in die Zukunft projiziert. Als Quelle für die notwendigen Daten dienen aktuelle Studien, wie die Energieperspektiven des BFE, aber auch weitere Literatur, eigene Daten der Studienverfasser und Inputs der Begleitgruppe. Das Modell weist eine Differenzierung des Endenergiebedarfs je Gebäudetyp und Energieträger auf.

Es wird die Entwicklung des Gebäudebestandes (Neubau, Ersatzbau, sanierte Gebäude, nicht sanierte Gebäude) für Wohn-, Büro- und Schulgebäude von heute 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.

Sollte dies nicht der Fall sein, dann sind iterativ die Energiekennwerte für die Gebäudetypen und deren Entwicklung im zeitlichen Verlauf bis 2050 zu bestimmen, damit der Durchschnitt der Gebäude 2050 den Maximalwerten der 2000 Watt-Gesellschaft entspricht. Dabei ist ein besonderes Augenmerk auf den zugrunde gelegten Strommix (heutiger CH-Verbrauchermix, Situation 2050 gemäss zwei Varianten der Energieperspektiven) zu legen. Eine Einschätzung hinsichtlich der Relevanz des Strommixes und den Implikationen eines veränderten Strommixes ist Bestandteil des Endberichtes.

1.4 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.

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 extrapoliert). In der Regel ist die Fortschreibung der Parameter allerdings nicht linear, denn bei der Annahmespezifikation werden Sättigungseffekte und Interaktionen 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 Tabelle 27 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 hierauf 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 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 des SIA Effizienzpfades Energie über eine festgelegte Zeitperiode zu betrachten. Um die spezifischen Heizwärmebedarfswerte 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 in der Folge als Gebäudebestand bezeichnet werden:

- BP01 (<1947)
- BP02 (1948-1975)
- 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. Diese stützen sich auf Hintergrundinformationen zum Bericht Wüest und Partner (2004).

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 energietechnischen 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 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 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) für die jeweilige Bauperiode zu ermitteln (s. Figur 3 und Figur 33). 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 Q_h ausgedrückt werden.

Der Heizwärmenenergiebedarf 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 MuKEs 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 den gesamtschweizerischen Energiebedarf beeinflussen, zu berücksichtigen. Im Fokus stehen nicht einzelne Gebäude, sondern der Gebäudepark (bzw. der im SIA Effizienzpfad Energie betrachtete Teil davon). 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 Effizientenzentwicklungen 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 Schweiz sowie dessen Fortschreibung bis 2050.
- Diffusion Energiedienstleistungen (Diffusionsrate): relative Durchdringung bzw. Ausrüstung des Grundmengengerüsts mit Energiedienstleistungen und Geräten.
- Spezifische (Teil-)Energiebedarfswerte, 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.

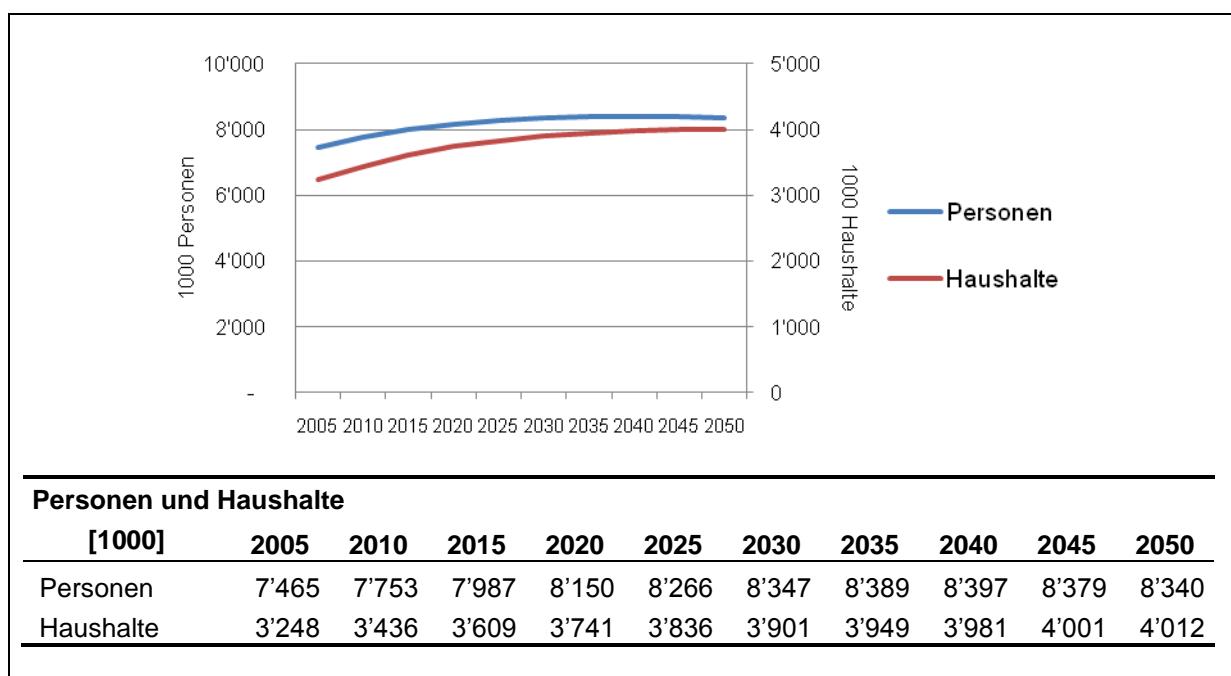
Die spezifischen Energiebedarfswerte (SEB) gelten für denjenigen Anteil des gesamten Gebäudebestandes, welcher mit der entsprechenden Energiedienstleistung (z.B. Lüftung) „vollständig“ (wie oben definiert) ausgerüstet ist. Unter der Annahme von typischen Gebäuden, welche sich aus unterschiedlichen Raumnutzungen zusammen setzen, 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 SEB zusätzlich mit der Diffusionsrate multipliziert werden (gegebenenfalls als flächengewichteter Durchschnitt).

2. Wohngebäude

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

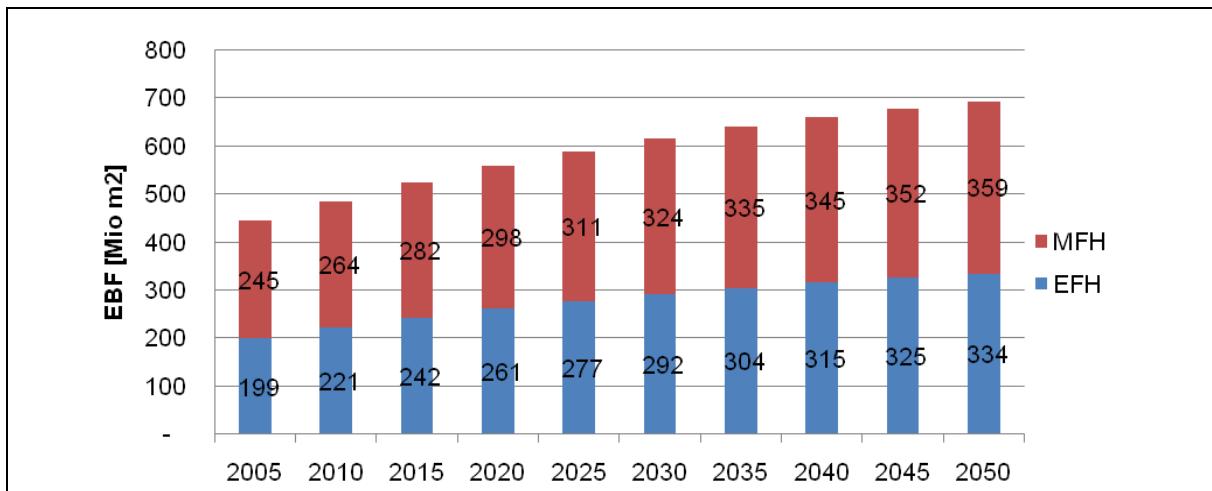
2.1 Entwicklung der Energiebezugsfläche, Haushalte und Personenanzahl

Die Entwicklung der Energiebezugsfläche (EBF, in der SIA 380/1: 2009 gekennzeichnet durch das Symbol A_E) basiert auf der aktuellsten Prognose für die Bevölkerungsentwicklung des BFS (Szenario A-00-2005 "mittel", 2009), mittels welcher die EBF-Fortschreibung der Energieperspektiven angepasst wurde. Die Aufteilung der EBF zwischen Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern (EFH / MFH) wurde gemäss den Energieperspektiven 2035 (Hofer 2007) vorgenommen und bis 2050 fortgeschrieben. Darüber hinaus wurde die Anzahl der Haushalte an eine, im Vergleich zu Hofer (2007), neuere Statistik des BFS (2009) angepasst.



Figur 1 Entwicklung der Bevölkerung und Haushalte

Es ist zu beobachten, dass die Zahl der Haushalte im Vergleich zur Bevölkerung steiler 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 BFS Daten ergibt sich eine Zunahme der Nachfrage von ca. 60 m² EBF auf über 80m² EBF im Jahre 2050), erhöht sich die Energiebezugsfläche von ca. 444 Mio. m² in 2005 auf 693 Mio. m² in 2050 (das entspricht einer Zunahme von 56%). Diese 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).



Figur 2 Entwicklung der Energiebezugsfläche nach EFH und MFH

Quelle: BFS 2008 / 2009 und Hofer 2007

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 Koschenz 2005 und 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 1.4 im Detail beschrieben.

2.2.1 Erneuerung Gebäudehülle

Tabelle 1 bis Tabelle 4 weisen die angenommenen 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 (Tabelle 1 und Tabelle 2). Eine Ausnahme bilden die Fenster sowie zum Teil die Flachdächer mit höheren Erneuerungsraten. In der jeweils letzten Spalte ist 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 (Tabelle 3 und Tabelle 4).

Tabelle 1 Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile im Jahre 2050 für Einfamilienhäuser und Referenz-Szenario

Bauteil	Bauperiode	Erneuerungsperiode					Kumuliert 2000-2050
		2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050	
Flachdach	Vor1947	0,015	0,012	0,010	0,009	0,009	0,55
	1947-75	0,013	0,012	0,008	0,007	0,007	0,47
	1975-85	0,020	0,013	0,011	0,011	0,011	0,65
	1985-2000	0,013	0,015	0,015	0,012	0,008	0,63
Steildach	Vor1947	0,008	0,007	0,007	0,007	0,007	0,35
	1947-75	0,008	0,009	0,009	0,009	0,007	0,41
	1975-85	0,003	0,007	0,007	0,005	0,002	0,25
	1985-2000	0,000	0,002	0,004	0,004	0,003	0,11
Wand	Vor1947	0,007	0,007	0,006	0,005	0,004	0,28
	1947-75	0,008	0,008	0,008	0,008	0,008	0,38
	1975-85	0,006	0,008	0,008	0,006	0,003	0,31
	1985-2000	0,001	0,003	0,003	0,003	0,003	0,12
Fenster	Vor1947	0,013	0,008	0,004	0,003	0,002	0,30
	1947-75	0,017	0,008	0,003	0,002	0,001	0,31
	1975-85	0,021	0,024	0,020	0,013	0,005	0,83
	1985-2000	0,007	0,021	0,020	0,014	0,007	0,69
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	0,005	0,005	0,005	0,005	0,24
	1985-2000	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,15

Tabelle 2 Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile im Jahre 2050 für Mehrfamilienhäuser und Referenz-Szenario

Bauteil	Bauperiode	Erneuerungsperiode					Kumuliert 2000-2050
		2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050	
Flachdach	Vor1947	0,017	0,012	0,011	0,010	0,010	0,60
	1947-75	0,017	0,011	0,009	0,008	0,008	0,53
	1975-85	0,020	0,014	0,012	0,011	0,011	0,68
	1985-2000	0,010	0,016	0,016	0,012	0,008	0,62
Steildach	Vor1947	0,010	0,007	0,005	0,005	0,005	0,30
	1947-75	0,008	0,006	0,005	0,004	0,004	0,27
	1975-85	0,002	0,008	0,008	0,005	0,002	0,25
	1985-2000	0,000	0,001	0,004	0,004	0,002	0,12
Wand	Vor1947	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005	0,31
	1947-75	0,013	0,010	0,009	0,009	0,009	0,49
	1975-85	0,007	0,009	0,009	0,007	0,003	0,35
	1985-2000	0,001	0,003	0,003	0,003	0,003	0,12
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

Tabelle 3 Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile im Jahre 2050 für Einfamilienhäuser und Effizienz-Szenario

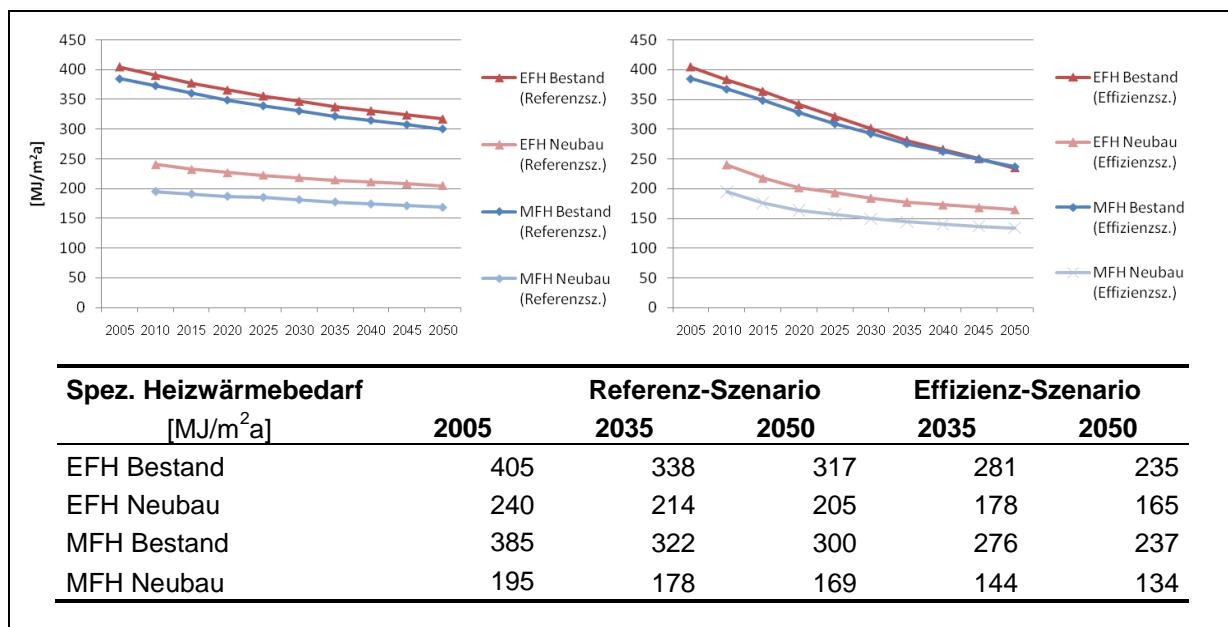
Bauteil	Bauperiode	Erneuerungsperiode					Kumuliert 2000-2050
		2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050	
Flachdach	Vor1947	0,015	0,012	0,012	0,011	0,011	0,61
	1947-75	0,013	0,014	0,010	0,008	0,008	0,53
	1975-85	0,020	0,013	0,013	0,013	0,012	0,70
	1985-2000	0,013	0,015	0,017	0,014	0,010	0,69
Steildach	Vor1947	0,008	0,011	0,012	0,010	0,010	0,51
	1947-75	0,008	0,014	0,014	0,013	0,011	0,58
	1975-85	0,003	0,013	0,011	0,009	0,004	0,40
	1985-2000	0,000	0,002	0,005	0,005	0,005	0,18
Wand	Vor1947	0,007	0,010	0,008	0,009	0,008	0,42
	1947-75	0,008	0,011	0,011	0,011	0,011	0,53
	1975-85	0,006	0,013	0,013	0,011	0,006	0,48
	1985-2000	0,001	0,003	0,006	0,006	0,006	0,21
Fenster	Vor1947	0,013	0,011	0,012	0,016	0,010	0,62
	1947-75	0,017	0,020	0,013	0,010	0,007	0,67
	1975-85	0,021	0,024	0,023	0,020	0,010	0,98
	1985-2000	0,007	0,021	0,020	0,020	0,017	0,84
Boden	Vor1947	0,008	0,015	0,012	0,012	0,012	0,59
	1947-75	0,008	0,015	0,012	0,012	0,012	0,59
	1975-85	0,004	0,010	0,010	0,009	0,009	0,42
	1985-2000	0,003	0,003	0,006	0,006	0,006	0,24

Tabelle 4 Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter Bauteile im Jahre 2050 für Mehrfamilienhäuser und Effizienz-Szenario

Bauteil	Bauperiode	Erneuerungsperiode					Kumuliert 2000-2050
		2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050	
Flachdach	Vor1947	0,017	0,014	0,013	0,011	0,011	0,66
	1947-75	0,017	0,011	0,009	0,008	0,008	0,53
	1975-85	0,020	0,014	0,014	0,013	0,013	0,74
	1985-2000	0,010	0,016	0,018	0,016	0,016	0,75
Steildach	Vor1947	0,010	0,010	0,010	0,009	0,009	0,48
	1947-75	0,008	0,009	0,009	0,008	0,008	0,42
	1975-85	0,002	0,016	0,017	0,010	0,004	0,48
	1985-2000	0,000	0,001	0,005	0,008	0,005	0,19
Wand	Vor1947	0,008	0,011	0,010	0,010	0,008	0,46
	1947-75	0,013	0,012	0,012	0,010	0,009	0,56
	1975-85	0,007	0,014	0,014	0,011	0,005	0,51
	1985-2000	0,001	0,003	0,003	0,005	0,005	0,16
Fenster	Vor1947	0,016	0,015	0,013	0,010	0,007	0,61
	1947-75	0,023	0,020	0,014	0,008	0,005	0,68
	1975-85	0,020	0,025	0,023	0,017	0,007	0,92
	1985-2000	0,005	0,018	0,020	0,026	0,018	0,87
Boden	Vor1947	0,008	0,015	0,012	0,012	0,012	0,59
	1947-75	0,008	0,015	0,012	0,012	0,012	0,59
	1975-85	0,004	0,008	0,006	0,005	0,005	0,28
	1985-2000	0,002	0,002	0,004	0,004	0,004	0,16

Der Heizwärmebedarf ergibt sich massgeblich aus der Modellierung nach SIA 380/1 (2009). Aufgrund der oben erläuterten Erneuerungsraten, U-Werte und der thermisch wirksamen Luftwechselraten ergeben sich die in Figur 3 dargestellten durchschnittlichen Heizwärmebedarfswerte für Gebäudebestand und Neubau. Die zugrunde liegenden Annahmen werden in Anhang B – Annahmen Wohngebäude – im Detail wiedergegeben. Im

Effizienz-Szenario wird davon ausgegangen, dass auch bei den Neubauten architektonische Zugeständnisse gemacht werden und so die durchschnittliche Gebäudehüllzahl (A/EBF) sinkt. Das bedeutet, dass die Bauperiode 13 (Baujahr 2046-2050) einen, im Vergleich zu heute, verschärften Minergie-P Grenzwert einhält. Das bedeutet die EFH der BP13 haben im Effizienz-Szenario einen Heizwärmebedarf von 112 MJ/m²a und die MFH (BP13) 92 MJ/m²a, wobei bei den EFH von einem A/EBF-Verhältnis von 1.1 statt 1.3 und bei den MFH von 1.9. statt 2.0 ausgegangen wurde (vgl. Tabelle 25). Die resultierenden Durchschnittswerte aller Neubauten ab Bauperiode 2005 sinken entsprechend ab (Figur 3).

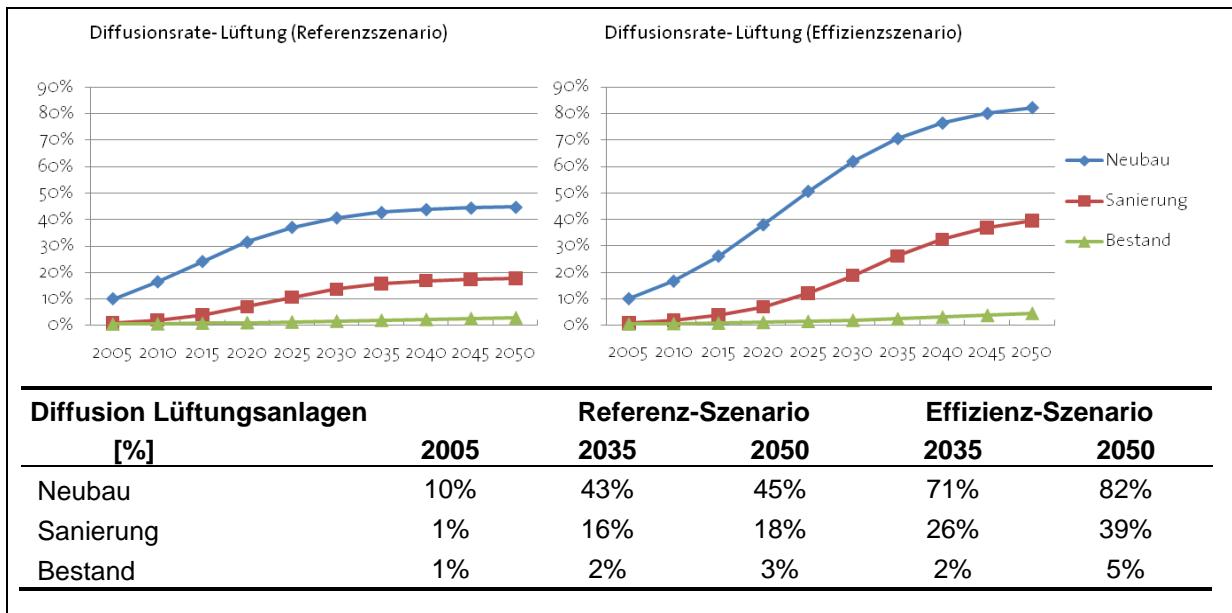


Figur 3 Durchschnittlicher Heizwärmebedarf Bestandsgebäude (BP1-4) und Neubauten (BP5-13) nach EFH und MFH im gewichteten Durchschnitt (Bauperiode 2005 bis 2050)

2.2.2 Lüftung

Das Modul Lüftung erlaubt eine Abschätzung des Elektrizitätsbedarfs für die Luftförderung. Es wird von einem durchschnittlichen Luftwechsel von 30 m³ pro Person ausgegangen.

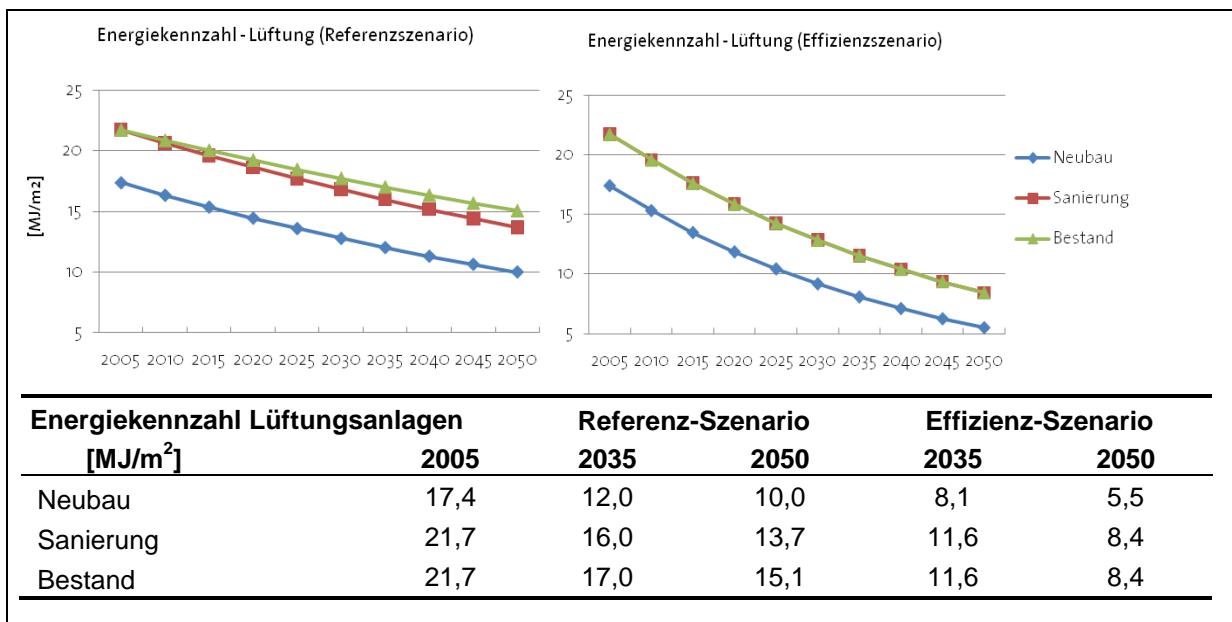
Im Effizienz-Szenario wird angenommen, dass sich der Anteil der Wohnungslüftungsanlagen und der nach Minergie zertifizierten Wohngebäude stark erhöht und somit Lüftungssysteme in einem Grossteil der Neubauten zur Anwendung kommen werden.



Figur 4 Diffusionsrate Lüftungsanlagen

Im Folgenden wird der Elektrizitätsbedarf für die Luftförderung wiedergegeben. 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“) (Figur 5).

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

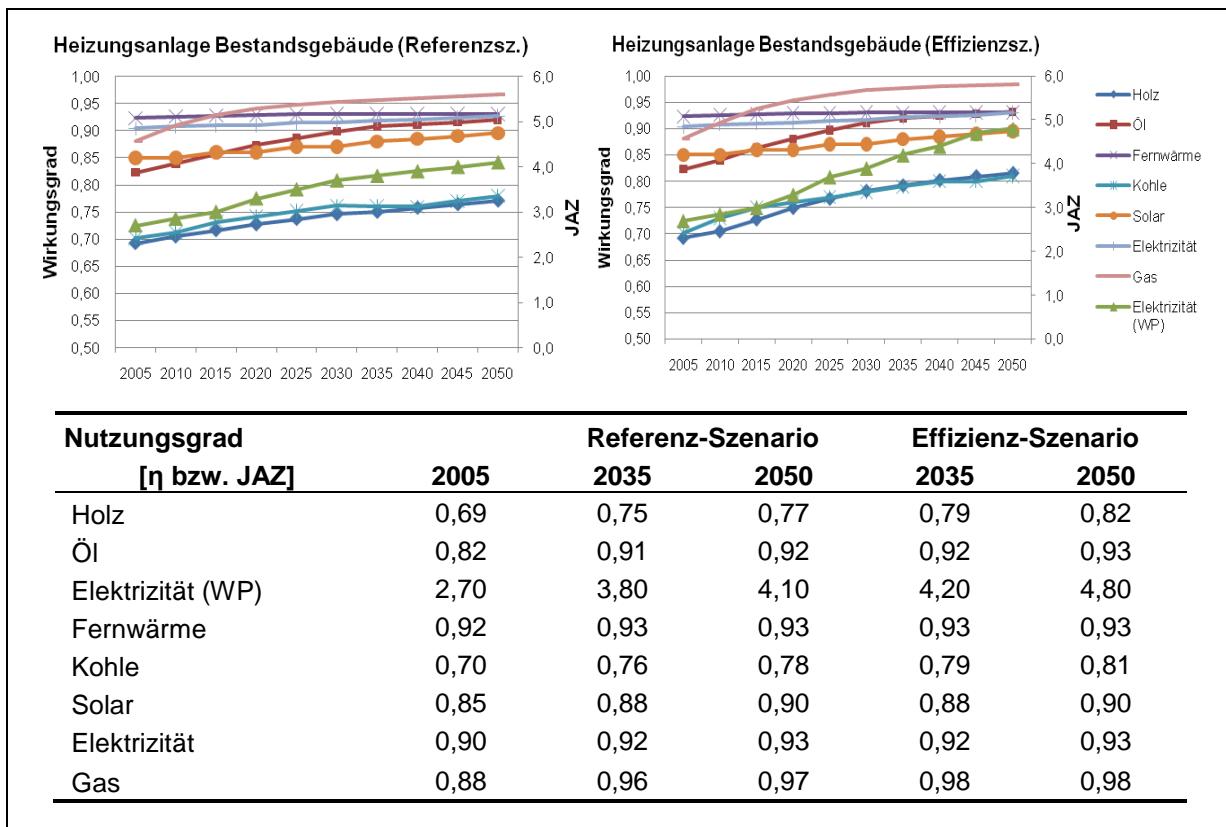


Figur 5 Flächenspezifischer Energiebedarf der Lüftungsanlagen

2.2.3 Mittlerer Nutzungsgrad Heizungsanlage

Bei den Heizanlagen wird im Fall der Neubauten der Jahresnutzungsgrad (JNG) der jeweils neu installierten Anlagen, im Gebäudebestand der Mittelwert des jeweils in Betrieb

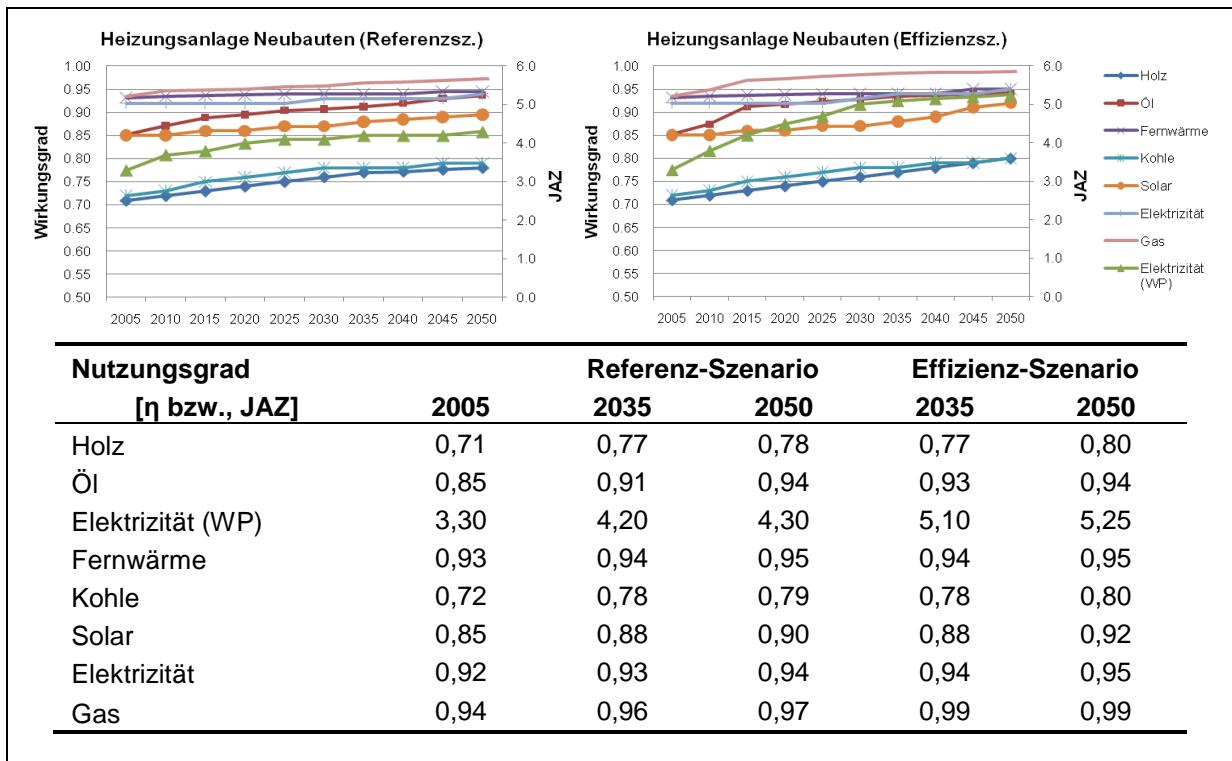
stehenden Anlagenbestandes, spezifiziert. Die mittleren Nutzungsgrade sind aus Hofer (2007) entnommen. Es handelt sich um einen totalen Systemnutzungsgrad, welcher sich auf den unteren Heizwert bezieht.³ Im Fall der Nutzungsgrade bzw. Jahresarbeitszahlen (JAZ) bei Wärmepumpen wird angenommen, dass EFH 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 6 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 Steigerungspotenzial 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 ausgegangen, dass in den Neubauten bessere Voraussetzungen vorherrschen, einen hohen mittleren Nutzungsgrad zu erreichen.

³ 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 Tuchschmid M. (2008), S. 5f.



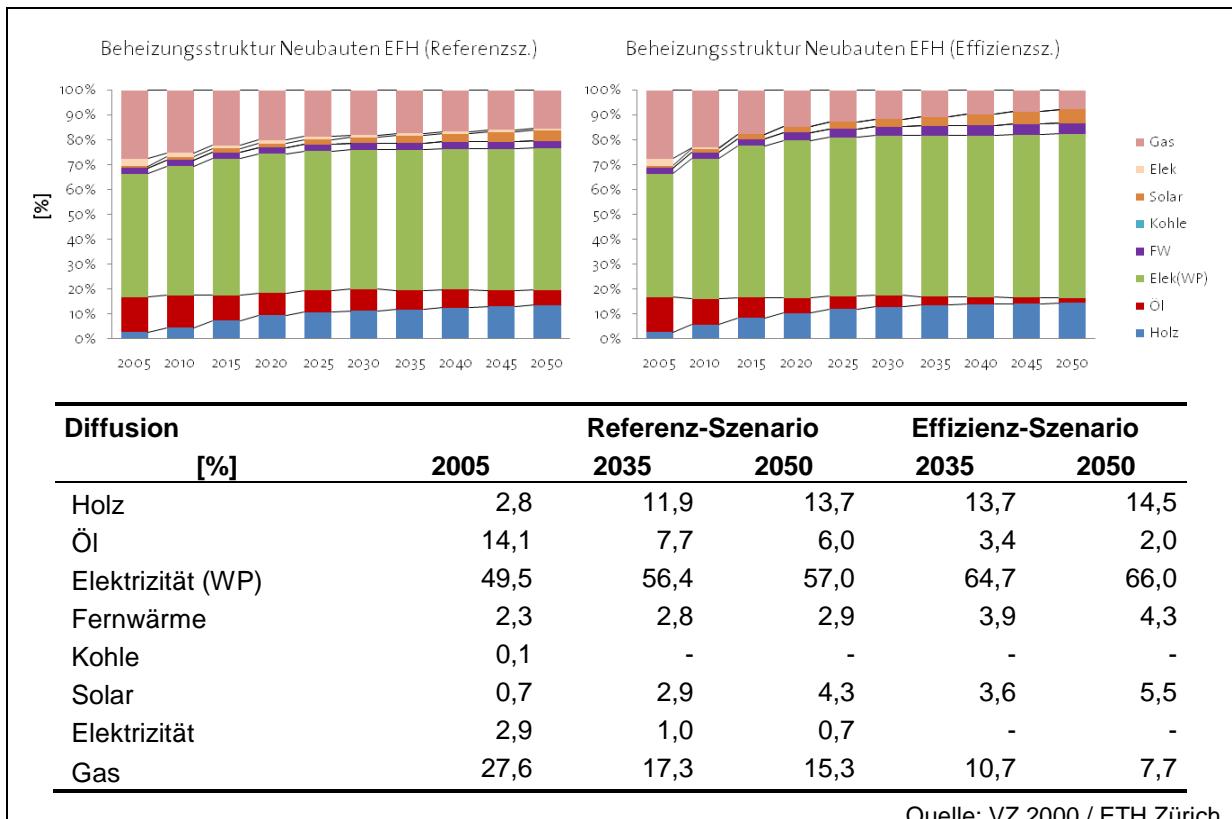
Figur 7 Mittlere Nutzungsgrade der Heizungsanlage bei Neubauten (Referenz- und Effizienz-Szenario)

2.2.4 Beheizungsstruktur Neubauten

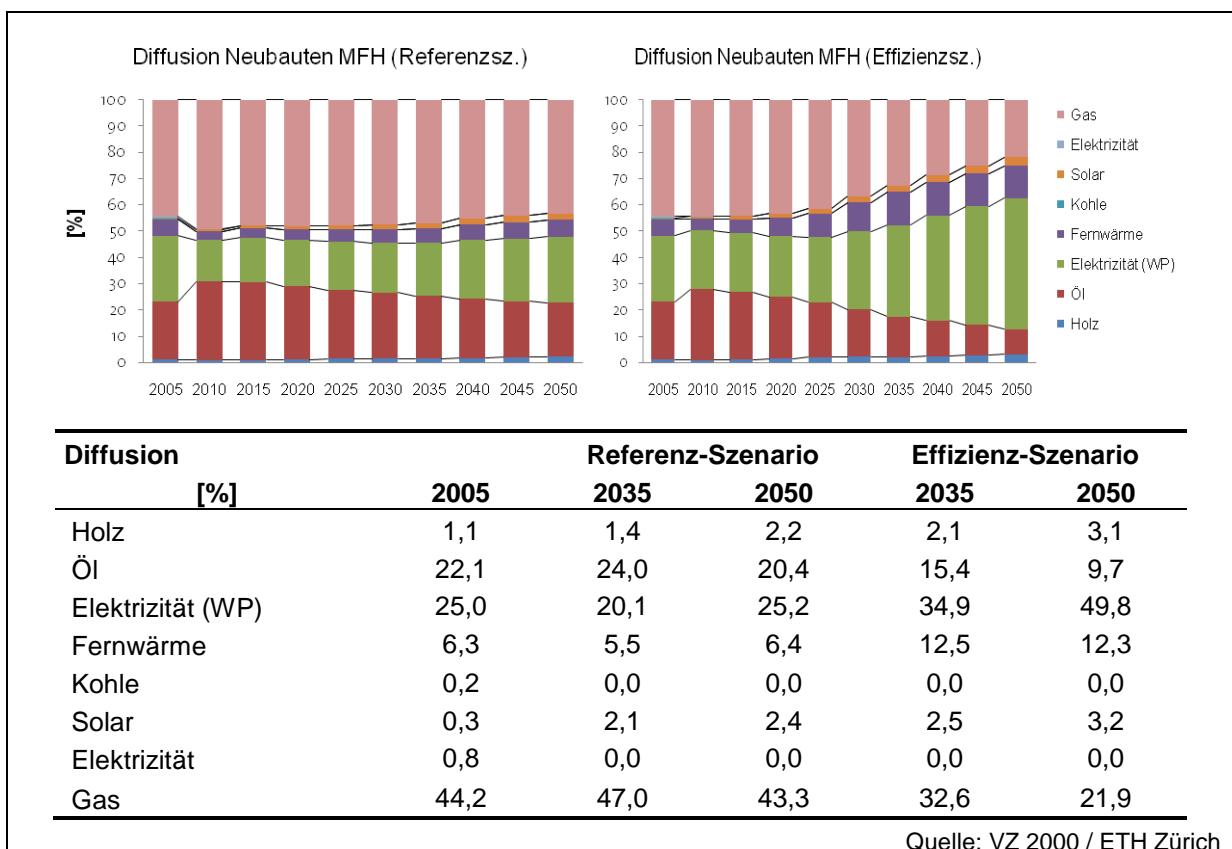
Bei der Verteilung der Heizwärmeerzeuger wird zwischen Gebäudebestand / Neubauten und EFH / MFH unterschieden. Während die Entwicklung des Gebäudebestandes durch eine Verteilungsstruktur bestimmt wird, können den Neubauten Substitutionsraten, bzw. Weggang und Zugang der jeweiligen Heizsysteme zugewiesen werden.

Es wird davon ausgegangen, dass die Beheizungsstruktur sich zunehmend von den fossilen Energieträgern (Öl, Gas) zugunsten der Wärmepumpen und der Holznutzung verschieben wird. Der Anstieg der Fernwärme sowie der solaren Wärmeerzeugung geschieht tendenziell ebenfalls ansteigend, aber mit geringeren Zuwächsen (Figur 8).

Diese Annahmen spiegeln sich auch in der Beheizungsstruktur der Mehrfamilienhäuser wider. Aufgrund der niedrigeren Diffusion der Wärmepumpen in diesem Immobiliensegment (2005 nur 25 % 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 9).



Figur 8 Diffusion der Heizwärmeerzeuger bei EFH-Neubauten

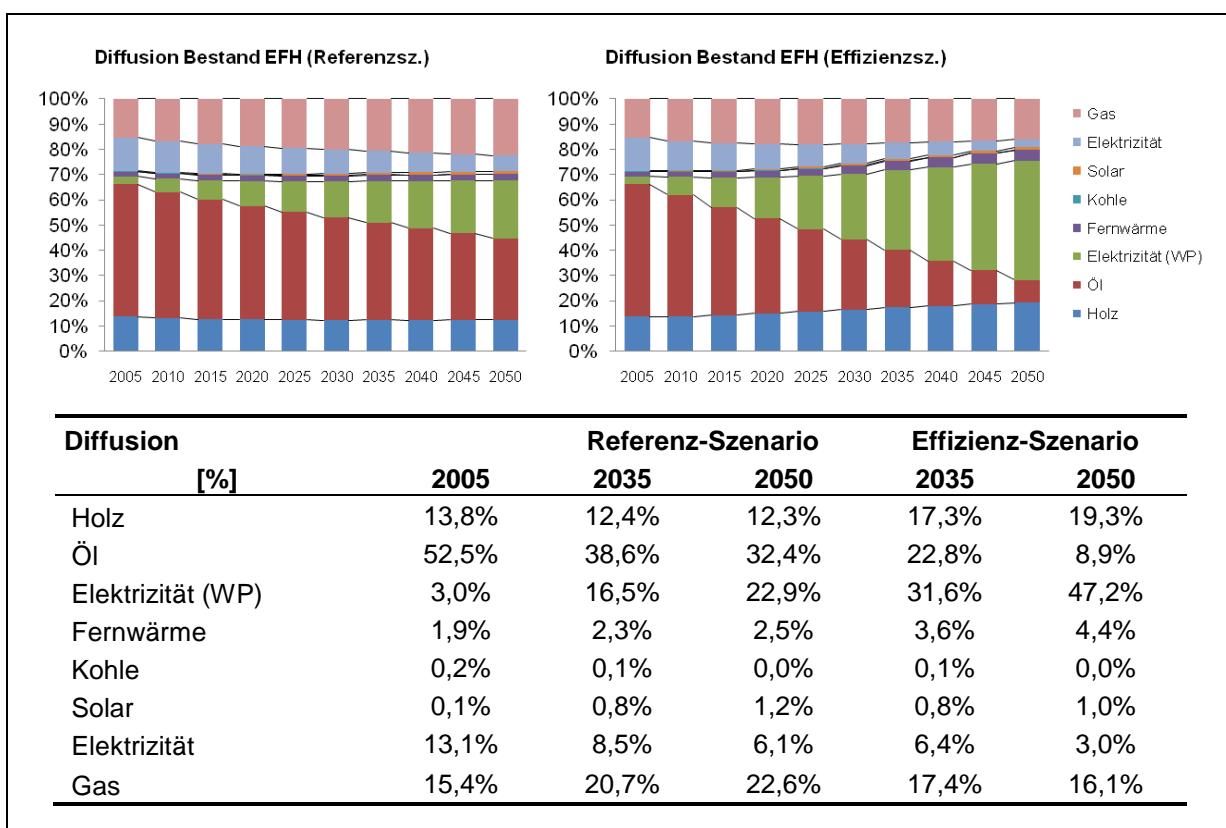


Figur 9 Diffusion der Heizwärmeerzeuger bei MFH-Neubauten

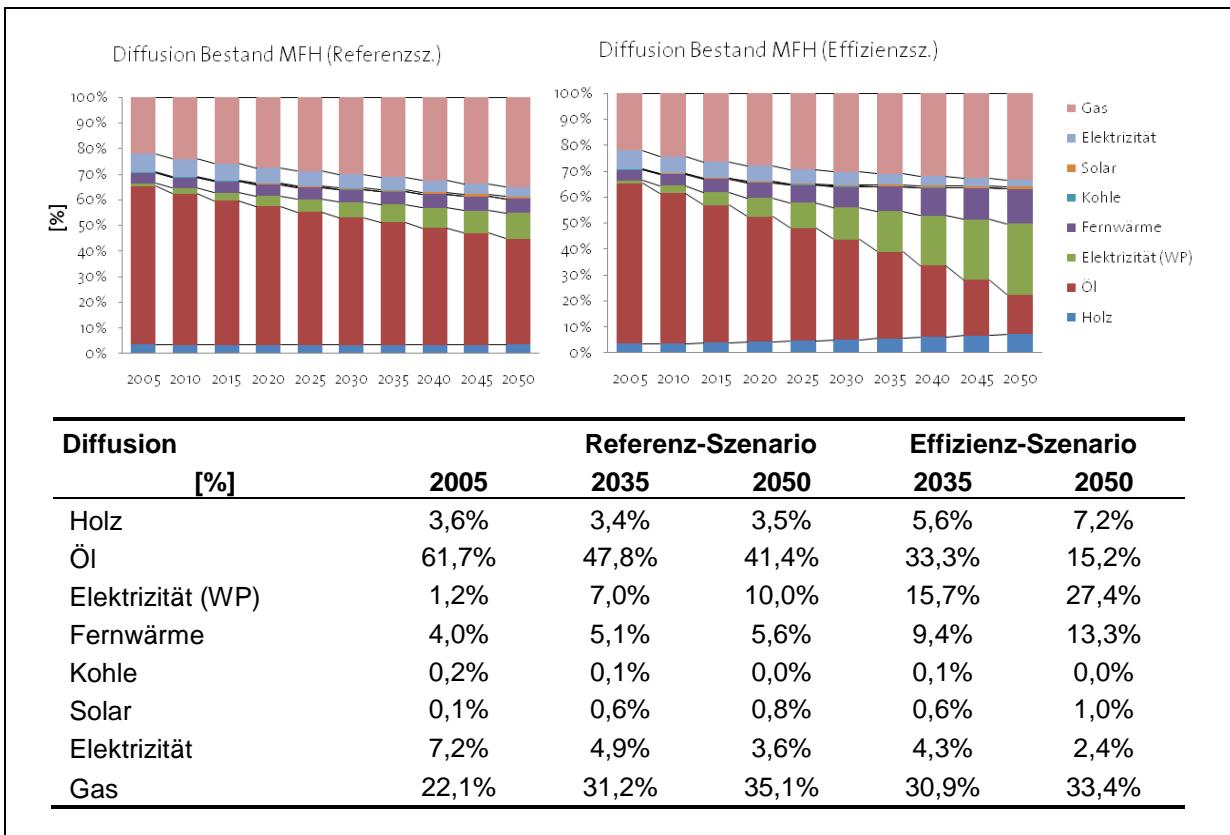
2.2.5 Beheizungsstruktur Gebäudebestand

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 der BFE-Energieperspektiven und der Volkszählung (VZ) 2000.

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 10). Die direktelektrischen Heizungen verlieren zwar zunehmend an Bedeutung, verschwinden aber nicht vollständig aus dem Gebäudepark, da vor allem zeitweise bewohnte Gebäude mittels dieser Geräte beheizt werden. Laut VZ 2000 sind mehr als die Hälfte der, mit direktelektrischen Heizungen ausgestatteten Gebäude, nur teilweise bewohnt.



Figur 10 Diffusion der Heizwärmeerzeuger bei EFH-Bestandsbauten



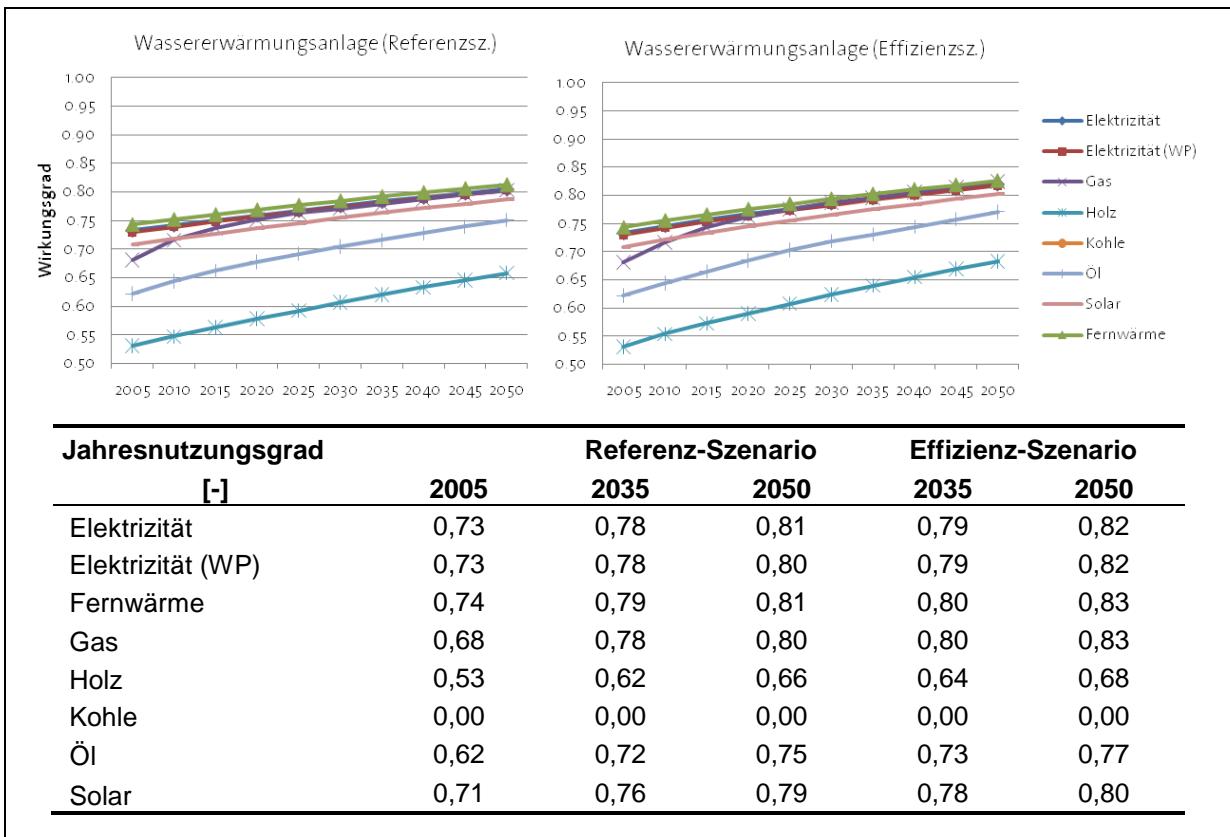
Figur 11 Diffusion der Heizwärmeerzeuger bei MFH-Bestandsbauten

2.3 Warmwasser

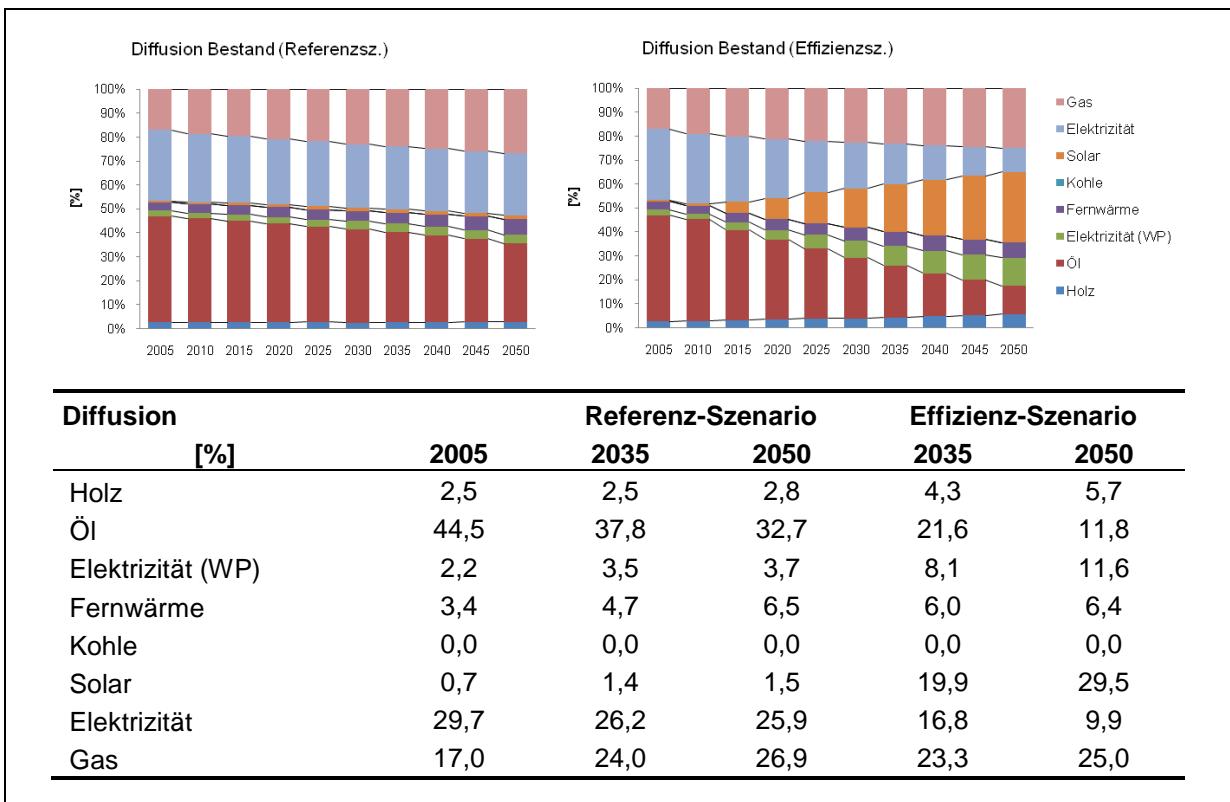
Das Modul für Warmwasser berechnet den Energiebedarf aufgrund des Warmwasserbedarfs pro Person und des Nutzungsgrads für die Wärmeerzeugung und Warmwasserverteilung. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich einerseits die benötigte Wärmeenergie durch Massnahmen wie z.B. Wärmedämmung, verbesserte Produkte (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 12).

Das Effizienz-Szenario geht davon aus, dass vermehrt Wärmepumpen und Solarenergie zur Warmwassererwärmung eingesetzt werden (Figur 13). Zudem gewinnt die Fernwärme an Bedeutung, da diese, je nach eingesetzter Primärenergie, treibhausgasärmer ist.

Nach MuKE n 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 nicht restlos vom Markt verschwinden wird.



Figur 12 Jahresnutzungsgrade der Wassererwärmungsanlagen

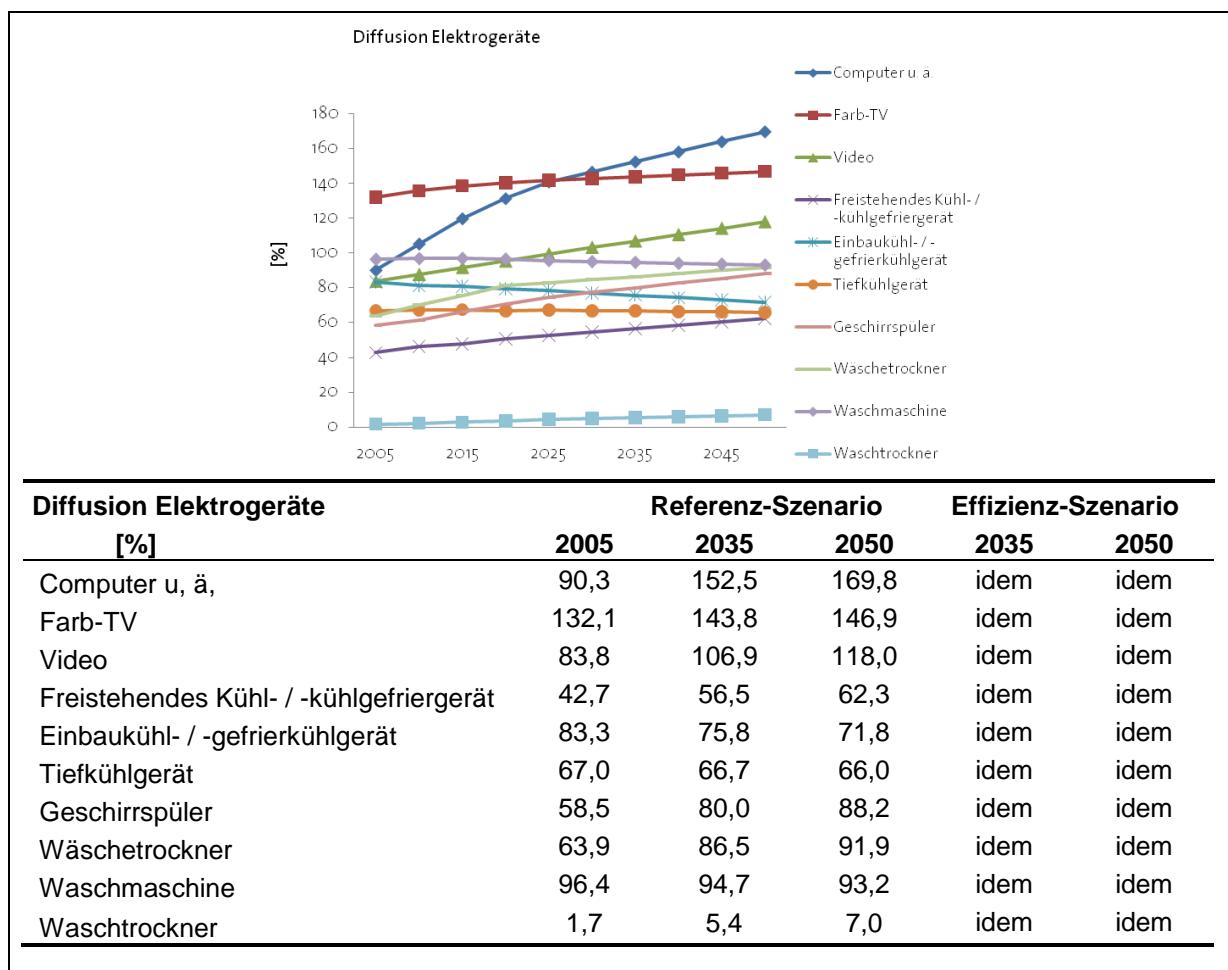


Figur 13 Diffusionsraten der Wasserwärmeanlagen

2.4 Übrige Verwendungszwecke

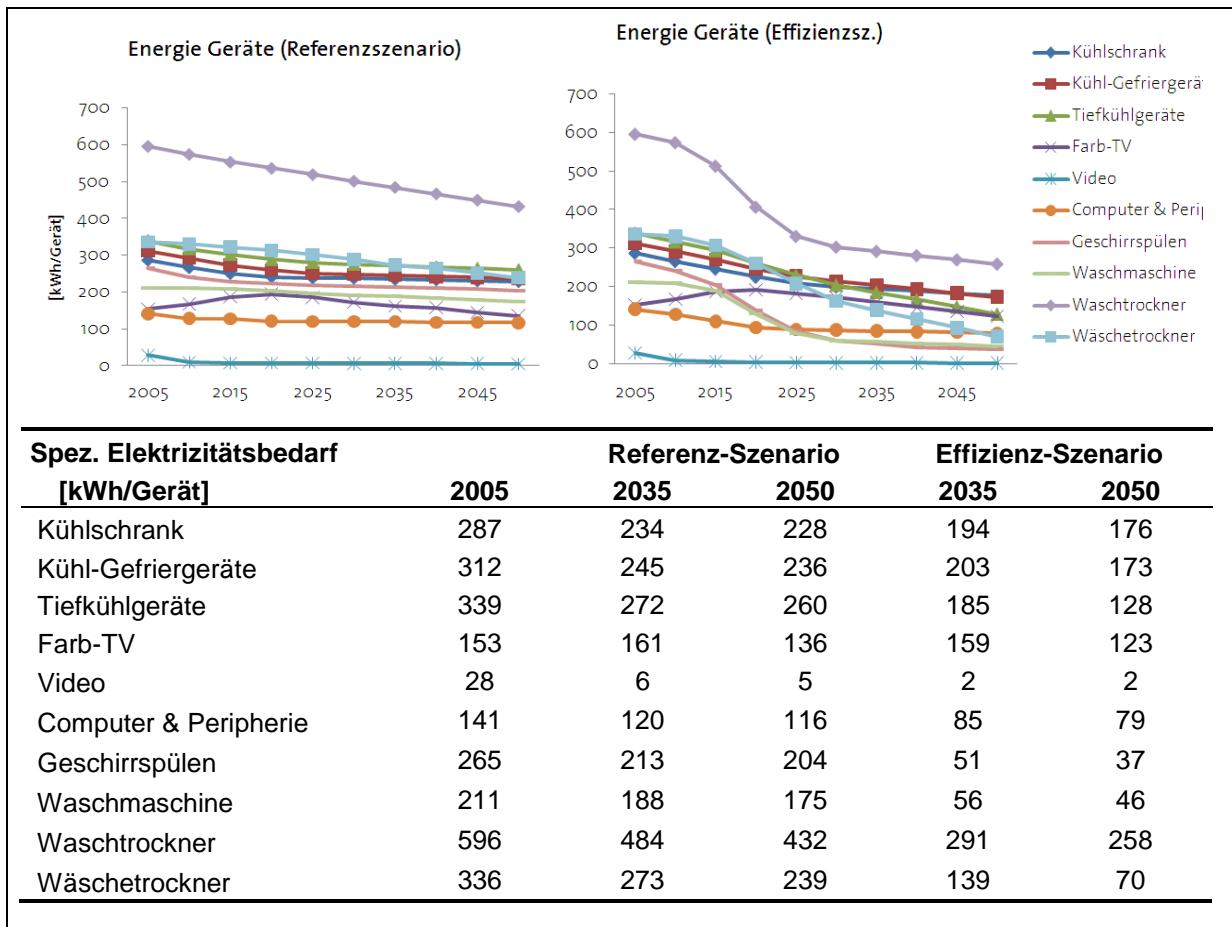
2.4.1 Grosse Elektrogeräte und Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)

Die Entwicklung grosser Elektrogeräte stellt sich sehr heterogen dar. Der grösste Zuwachs wird bei den Computern angenommen, da diese künftig auch durch ältere Menschen vermehrt genutzt werden und weil die Anzahl an Zweitgeräten in den Haushalten, z.B. auch durch die Nutzung von Kindern, deutlich ansteigend erwartet wird. Steigende Zuwächse werden auch für Geschirrspülgeräte, freistehende Kühl- und Kühlgefriergeräte, Wäschetrockner und Videogeräte antizipiert (Figur 14). Auch die Waschetrockner werden pro Haushalt überproportional zunehmen, aber durch ihre geringe absolute Menge einen geringen Einfluss auf den Strombedarf der Haushalte haben. Eine sinkende Tendenz wird für Einbaukühl- und Einbaugefrierkühlgeräte, zugunsten von den freistehenden Geräten, und Waschmaschinen angenommen, da mehr Dienstleistungen in Anspruch genommen werden, insbesondere in kleineren Single- sowie Zweit-Haushalten.



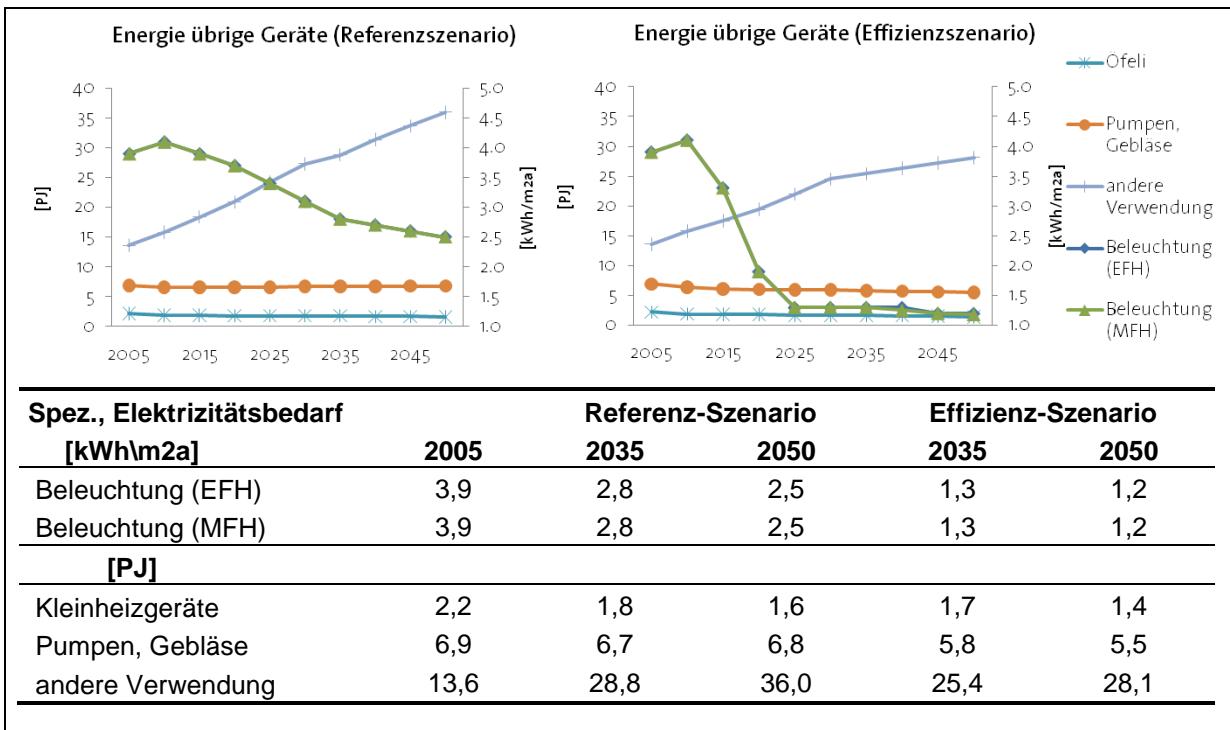
Figur 14 Diffusion von Elektrogeräten (pro Haushalt)

Bei der Entwicklung des Energiebedarfs der Elektrogeräte wird insbesondere bei den Kühl- Gefrier- und Tiefkühlgeräten eine deutliche Effizienzsteigerung erwartet. Auch bei allen anderen Anwendungen werden Effizienzsteigerungen bis zum Jahr 2050 angenommen, wobei alleine bei den Farb-TVs in den nächsten Jahren erst ein sich erhöhender Energiebedarf durch grössere Geräte, umfassendere Funktionen etc. prognostiziert wird (Figur 15).



Figur 15 Gerätespezifischer Energiebedarf Elektrogeräte

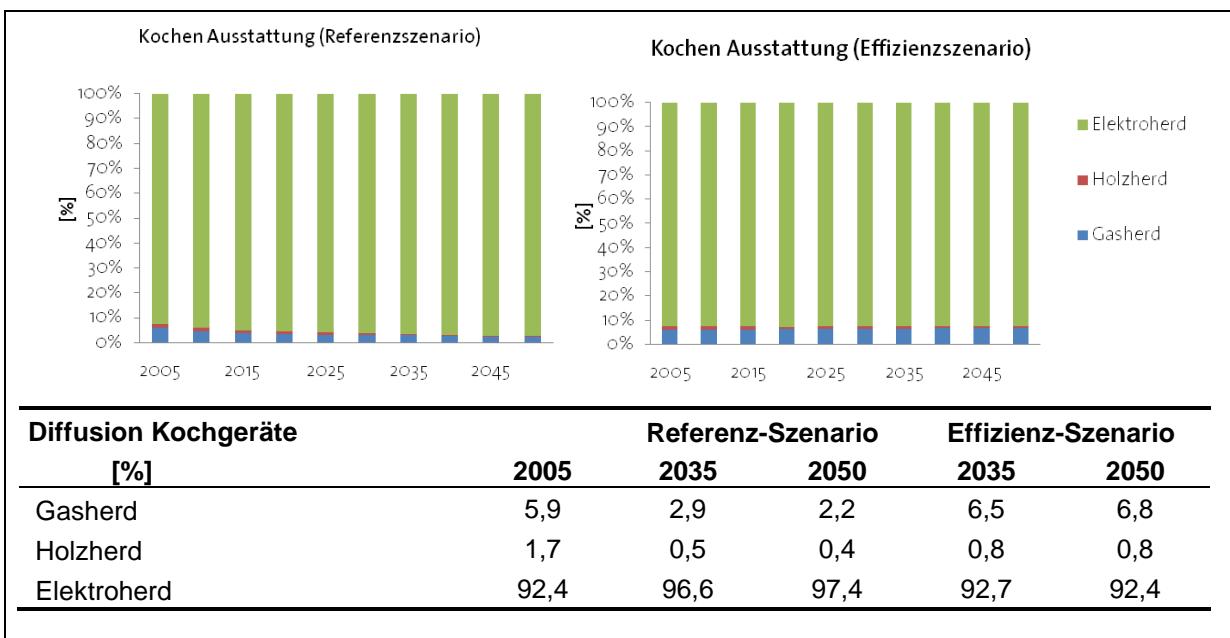
Bei den übrigen Geräten wird in der Mehrheit auch von einer Verbesserung der energetischen Performance ausgegangen, wobei die Beleuchtung im Effizienz-Szenario auf unter ein Drittel des Wertes des Jahres 2005 gesenkt werden soll. Bei den Kleinheizgeräten (Heizöfeli), den Pumpen & Gebläsen werden die Ergebnisse von Hofer (2007) übernommen und an die neue Bevölkerungs-, Haushalt- und Gebäudeentwicklung angepasst. Dasselbe gilt für die in Hofer (2007) mit „andere Verwendung“ bezeichnete Strommenge. Sie wächst im Vergleich zu allen anderen bisher erwähnten Anwendungen am stärksten und ist letztlich für den künftigen Stromanstieg im Referenzfall verantwortlich. Gleichzeitig wurden in diesem Bereich bei Hofer (2007) und auch in diesem Bericht die geringsten Effizienzpotenziale angenommen (Figur 12).



Figur 16 Energiebedarf übrige Geräte

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 (Figur 17). 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.



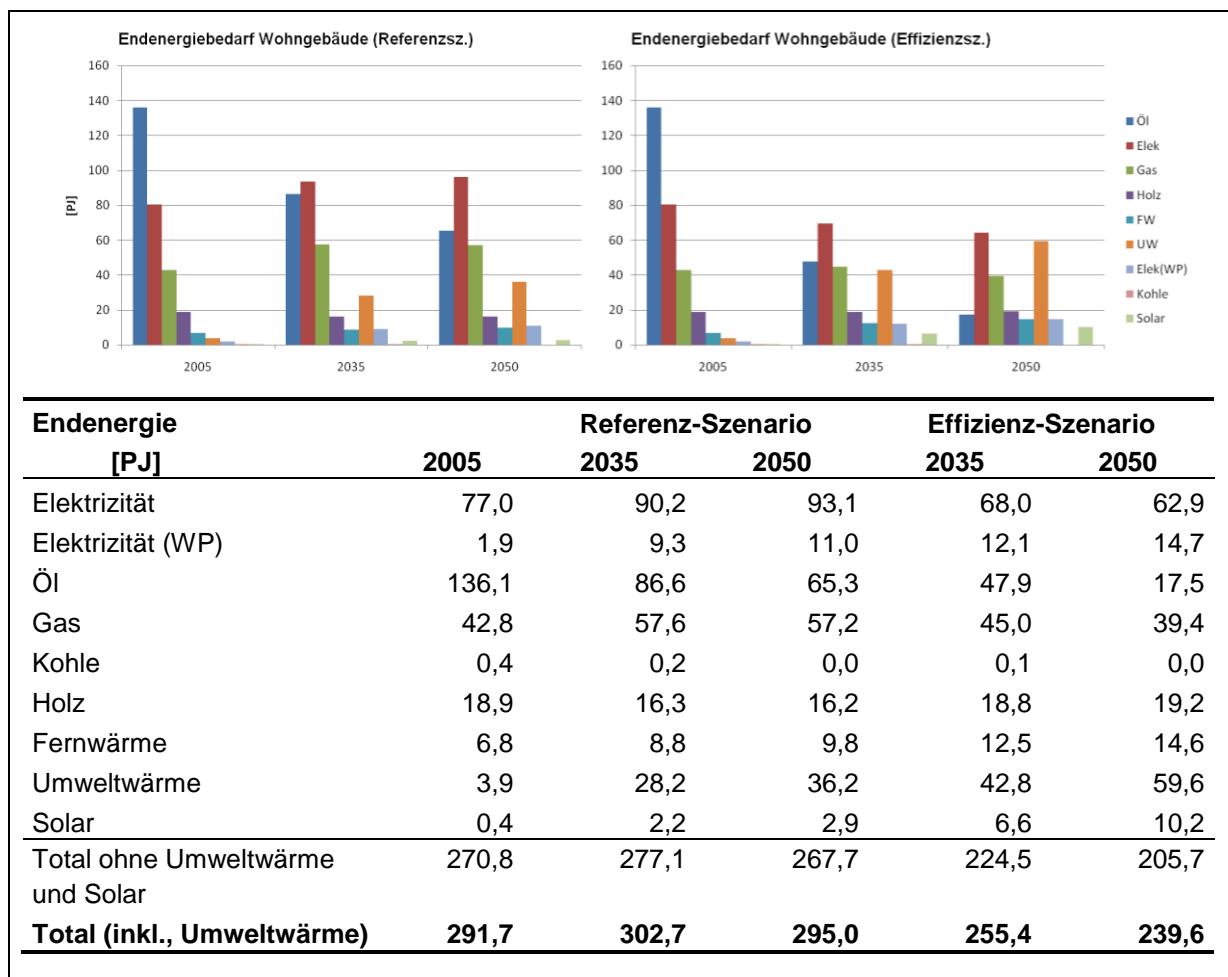
Figur 17 Diffusion der Kochgeräte

3. Ergebnisse Wohngebäude

3.1 Endenergie

Der Gesamtendenergiebedarf der Wohngebäude steigt bis 2050 geringfügig von 292 PJ (2005) um nur rd. 1 % im Referenz-Szenario (295 PJ) und sinkt im Effizienz-Szenario um immerhin 17,9 % auf 240 PJ. Dabei wird eine deutlich höhere Abnahme der Diffusion des Heizenergieträgers Öl erwartet. Dieser wird bereits vor dem Jahr 2035 in beiden Szenarien von der Elektrizität als massgeblichen Faktor der Gesamtenergiennachfrage abgelöst. Zu einem massgeblichen Teil handelt es sich hierbei nicht direkt um gebäudebezogene Stromnachfrage, sondern solche von Haushalt- und IKT-Geräten.

Des Weiteren wird ebenfalls in beiden Szenarien von einer deutlichen Zunahme der Bedeutung von Gas sowie Wärmepumpenstrom zur Deckung der Endenergiennachfrage der Wohngebäude ausgegangen.

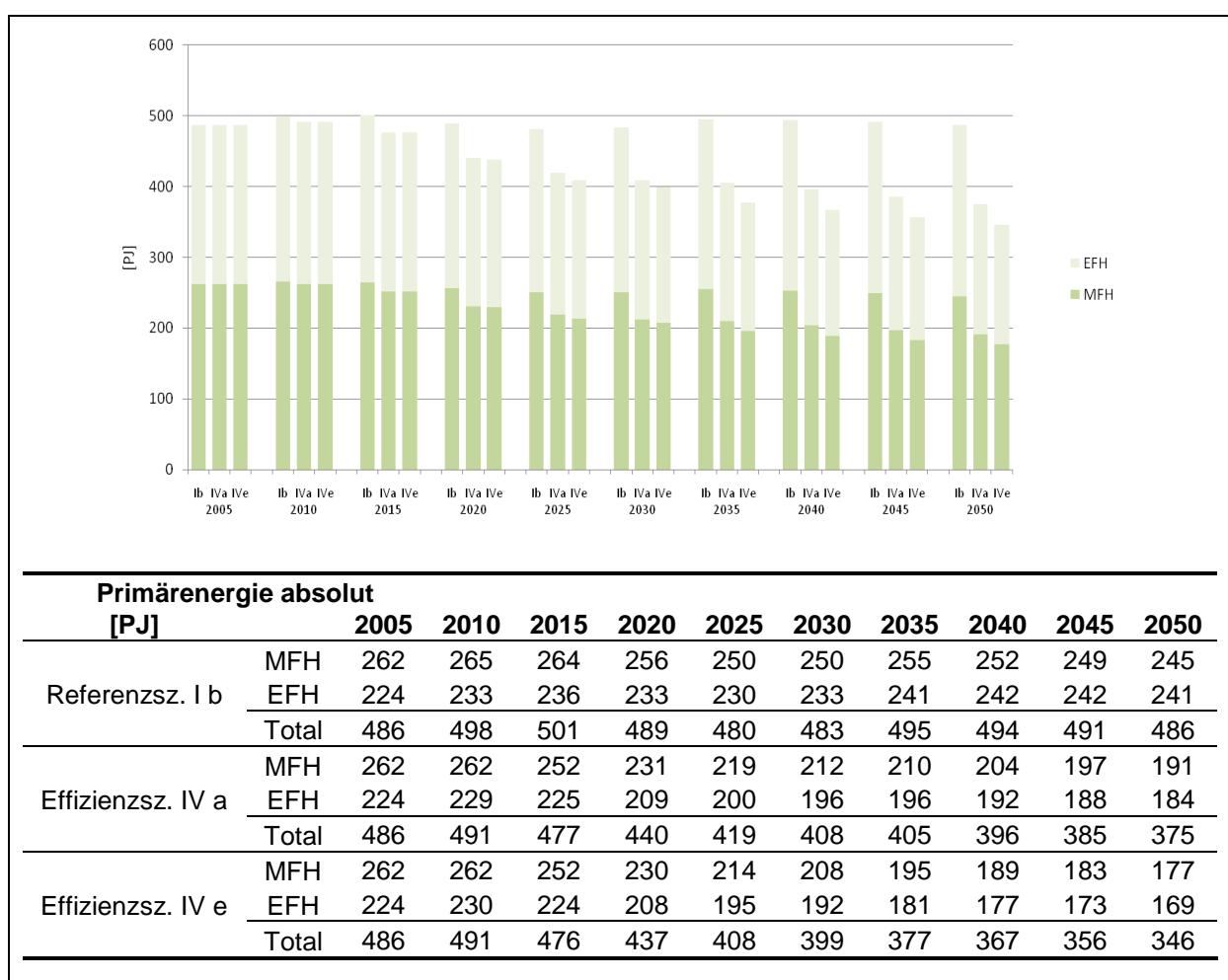


Figur 18 Endenergiebedarf der Wohngebäude für alle Anwendungen nach Endenergieträgern [PJ]

3.2 Primärenergienachfrage und Treibhausgas-Emissionen

3.2.1 Primärenergie nach Gebäudetyp

Die resultierende Primärenergienachfrage ist in Figur 19 nach den drei Strommix-Szenarien der Energieperspektiven des BFE (I b, IV a, IV e; vgl. Anhang A) differenziert ausgewiesen. Das Total der Primärenergie für die Wohngebäude steigt im Referenz-Szenario bis 2035 um knapp 2 % an, um dann bis 2050 wieder sein Initialniveau einzunehmen. Eine Reduzierung um bis zu 29 % kann mit dem Effizienz-Szenario, in Kombination mit dem BFE-Stromszenario IV e, erreicht werden. Das Nuklearstrom-basierte BFE-Stromszenario IV a erscheint weniger effizient und reduziert den Primärenergiebedarf gegenüber 2005 lediglich um 23 %.

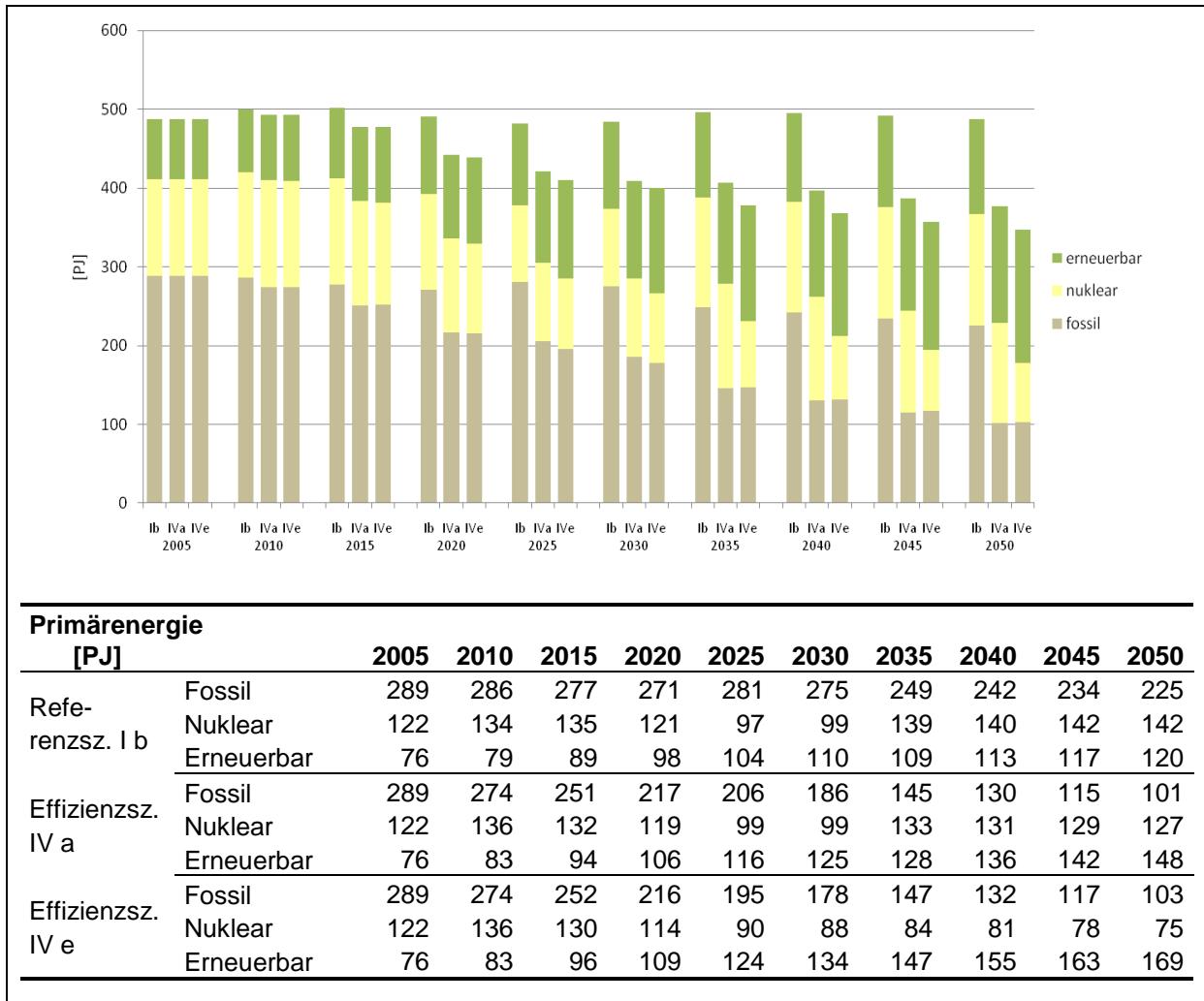


Figur 19 Absoluter Primärenergiebedarf der Wohngebäude [PJ]

3.2.2 Totale Primärenergie nach Art der Primärenergieträger

In den nachfolgenden Figuren ist der Primärenergiebedarf 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 I b um rd. 22 % und in den Szenarien IV a und IV e sogar um über 60 %. Der Anteil an nuklearer Primärenergie nimmt sowohl im Referenz-Szenario, wie auch dem Effizienz-Szenario in Kombination mit dem BFE-Strommix IV a um 16 % bzw. 4 % anteilig zu. Einzig in Kombination mit dem BFE-Strommix IV e verzeichnet das Effizienz-Szenario einen Rückgang des nuklearen Anteils (-39 %). Die Differenz des geringeren nuklearen

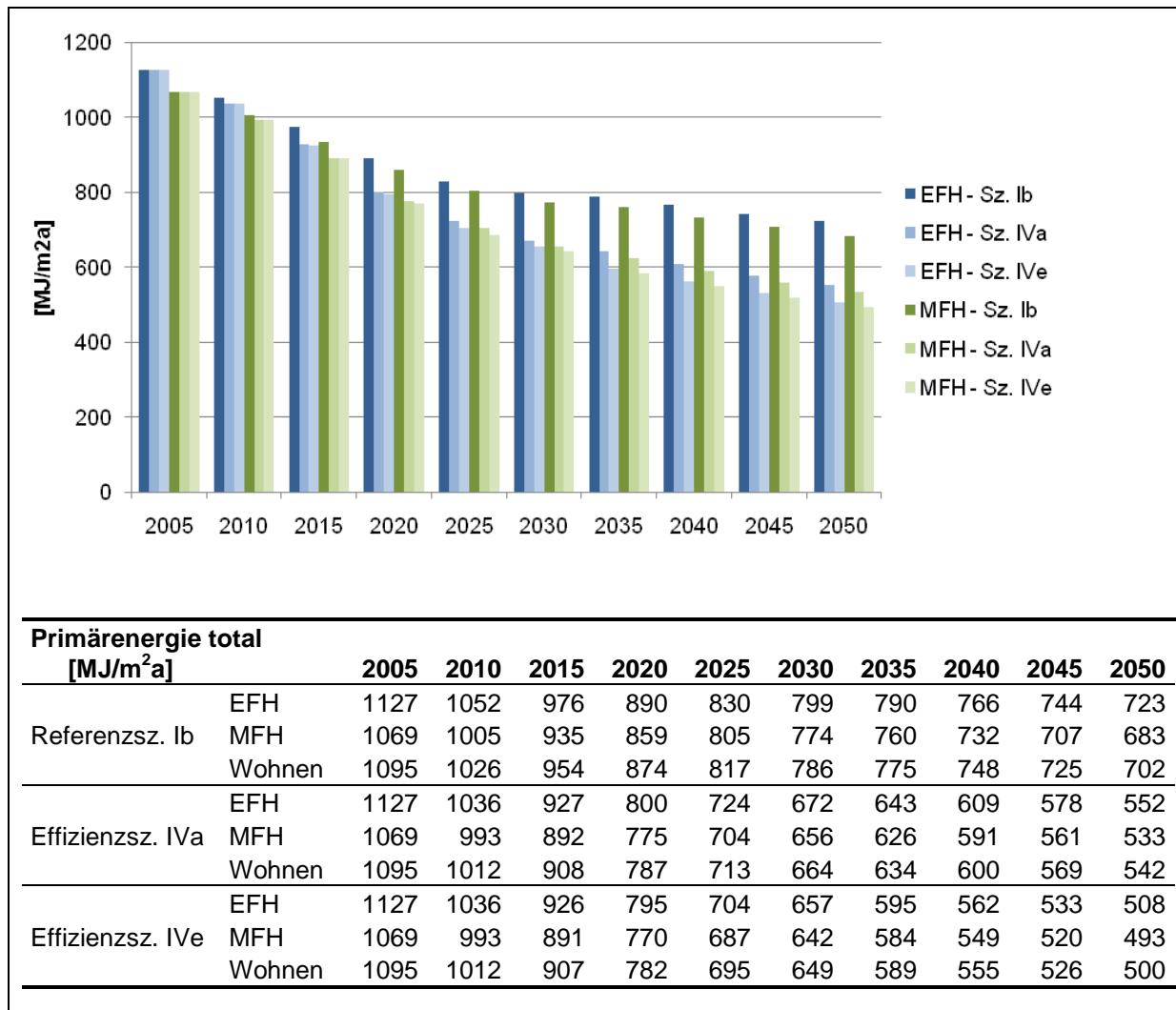
Strombezugs wird durch einen höheren Anteil erneuerbarer Energien kompensiert und dies bei einem geringeren absoluten Primärenergiebedarf. Es ist zu betonen, dass in diesem Szenario eine erhöhte Effizienz bei der Stromproduktion und eine schweizweite Bedarfsreduzierung unterstellt werden, was nur in Kombination (mit dem Effizienz-Szenario) denkbar ist.



Figur 20 Absoluter Primärenergiebedarf der Wohngebäude nach Art der Primärenergieträger [PJ]

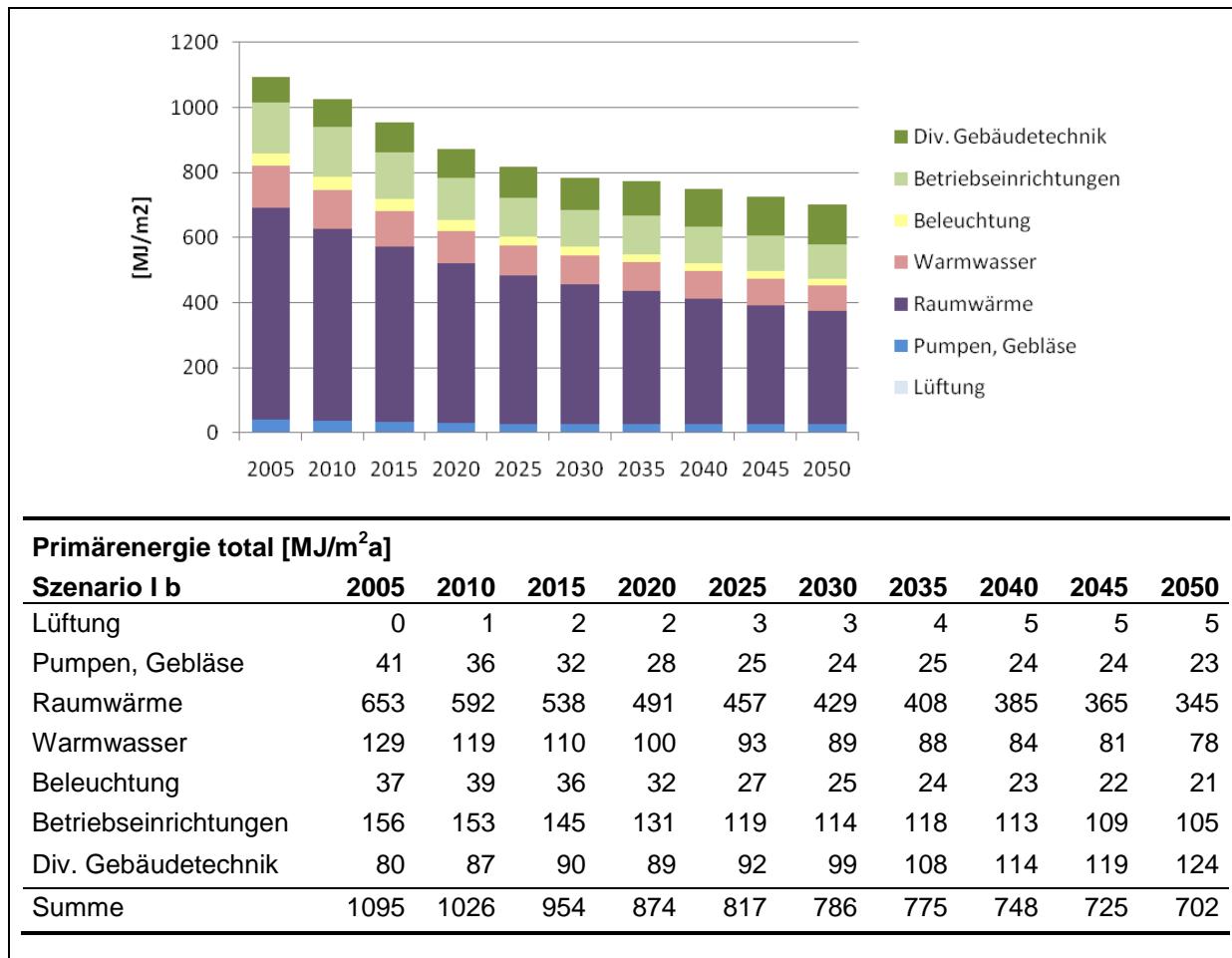
3.2.3 Flächenspezifische Primärenergie nach Gebäudetyp und Verwendungszwecken

In allen drei Szenarien des mittleren spezifischen Primärenergiebedarfs ist eine deutliche Abnahme zwischen 2005 und 2050 festzustellen, wobei die Reduktionspotenziale bei den beiden Effizienzszenarien -50 % (IV a) bzw. -54 % (IV e) ausmachen (Figur 21).



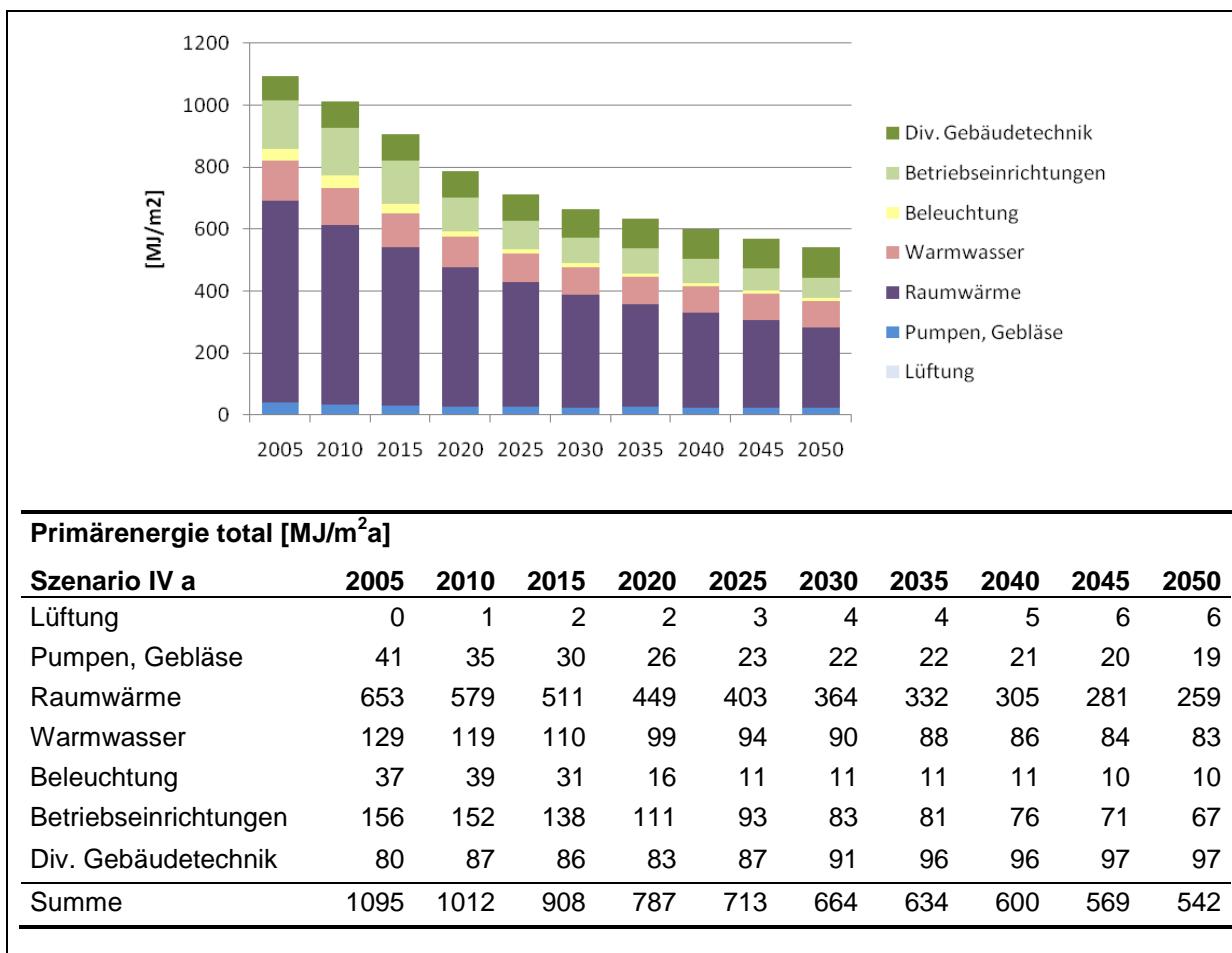
Figur 21 Mittlerer spezifischer Bedarf totale Primärenergie nach Gebäudenutzung und Szenario [MJ/m²a]

Figur 22 bis Figur 24 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 22) sind Einsparungen insbesondere bei den „Betriebseinrichtungen“ (-33 %) und der „Beleuchtung“ (-43 %) bis 2050 möglich. Absolut gesehen liegt das grösste Einsparpotential bei der Raumwärme. Einzig in den Kategorien Lüftung und div. Gebäudetechnik steigt der Primärenergiebedarf an (vgl. dazu auch Absätze 2.2.2 und 2.4.1).

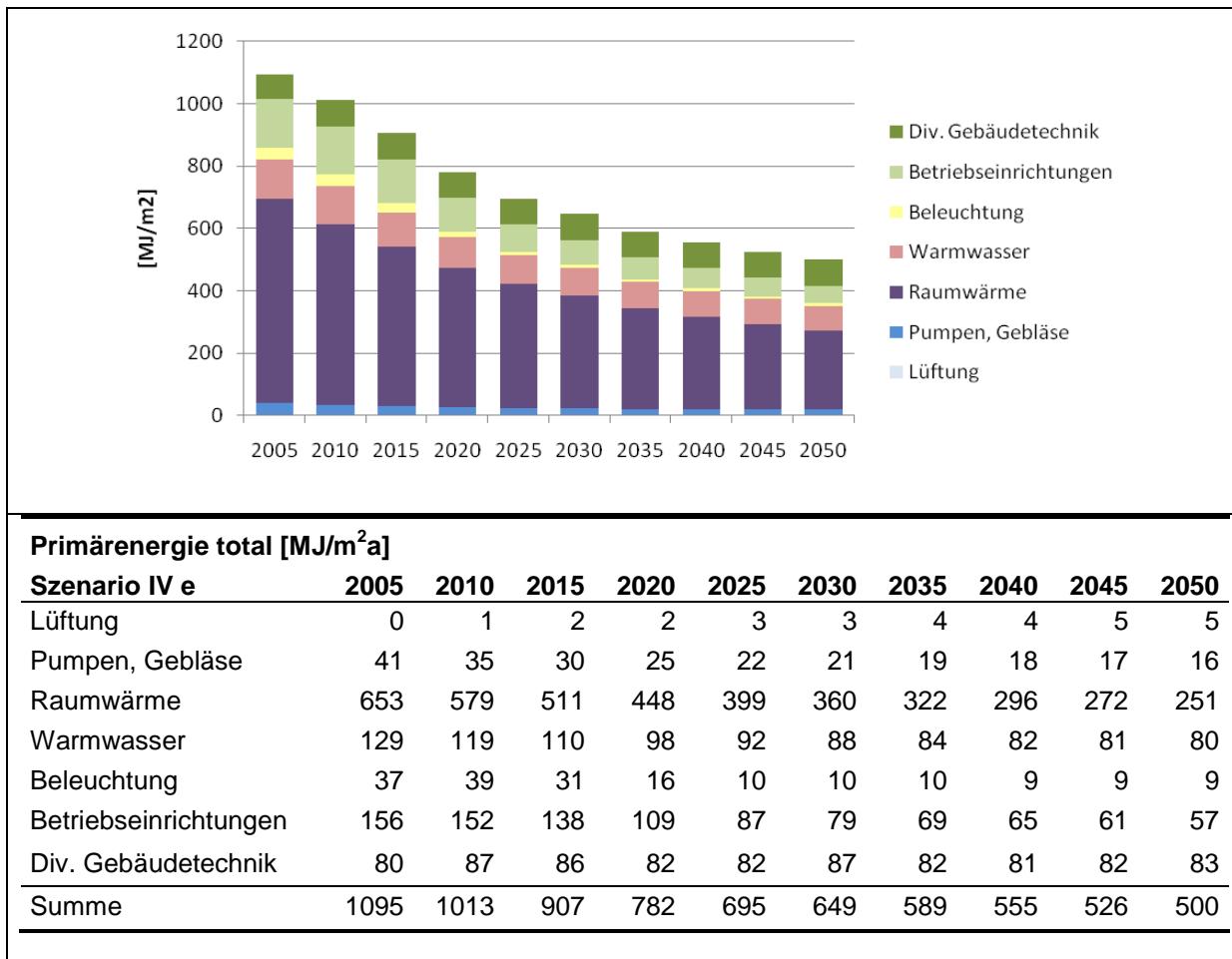


Figur 22 Totale Primärenergie nach Verwendungszweck – Referenz-Szenario
(Primärenergiefaktoren für Elektrizität gemäss BFE-Szenario I, Variante b)

Im Effizienz-Szenario verzeichnet die div. Gebäudetechnik einen bedeutend geringer ausgeprägten Anstieg. In Kombination mit dem BFE-Stromszenario IV e bleibt der Bedarf sogar nahezu konstant. Der Bereich der Raumwärme allein stellt mit rund 400 PJ etwa drei Viertel der möglichen Einsparungen.



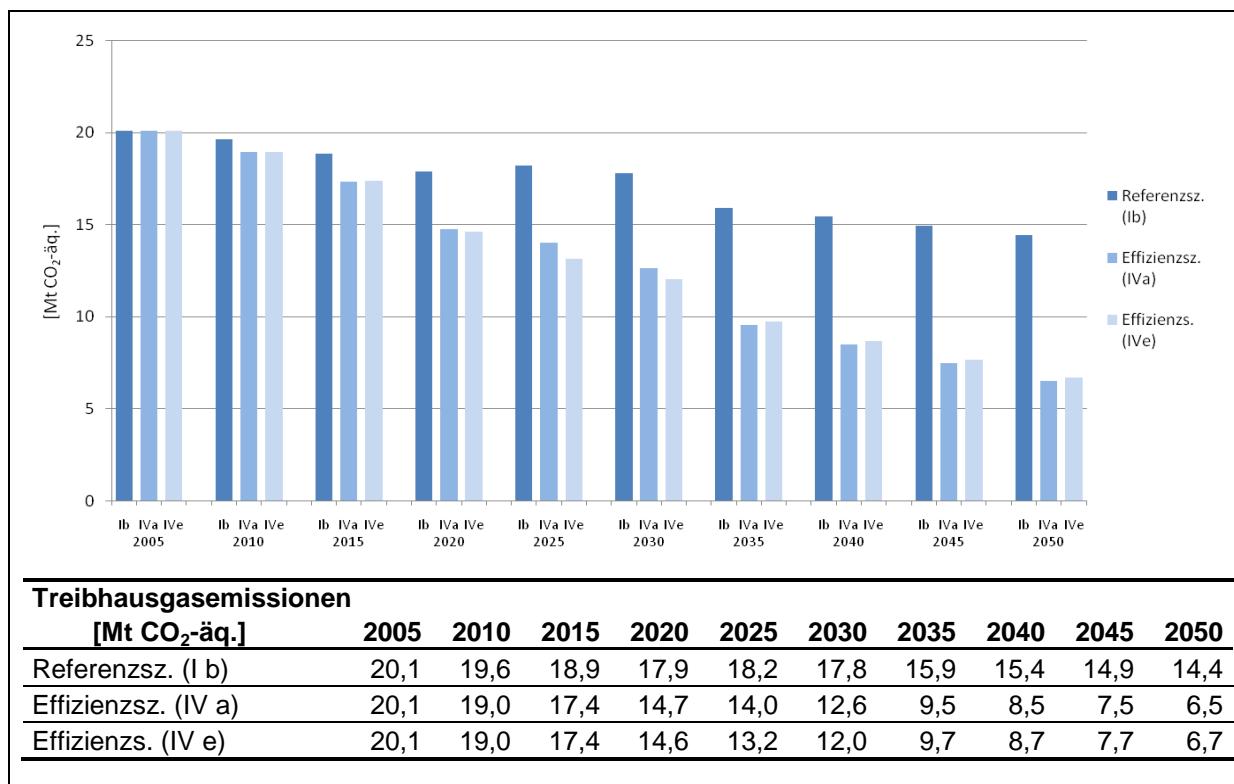
Figur 23 Totale Primärenergie nach Verwendungszweck – Effizienz-Szenario
(Primärenergiefaktoren für Elektrizität gemäss BFE-Szenario IV, Variante a)



Figur 24 Totale Primärenergie nach Verwendungszweck – Effizienz-Szenario
(Primärenergiefaktoren für Elektrizität gemäss BFE-Szenario IV, Variante e)

3.2.4 Totale Treibhausgasemissionen

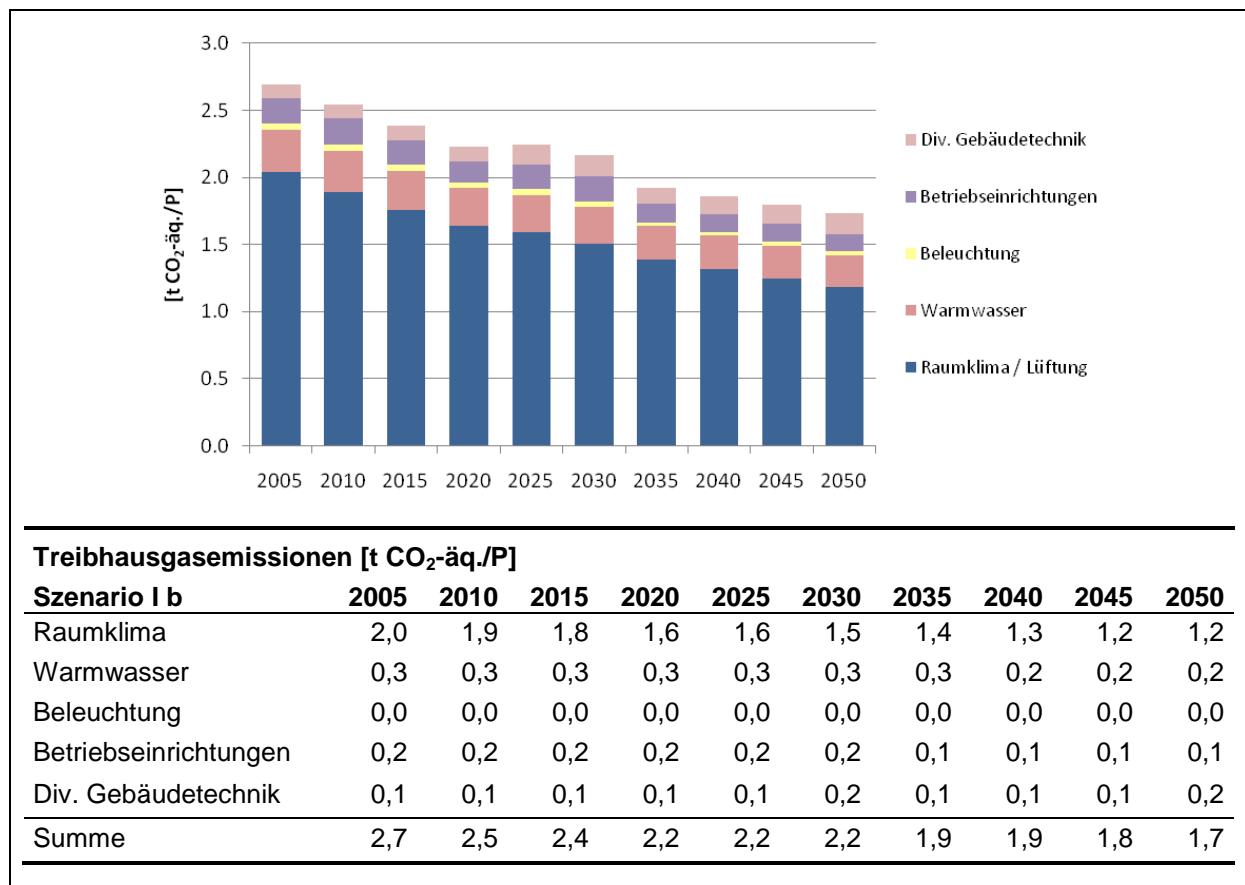
Die Treibhausgasemissionen der Wohngebäude können total, je nach Szenario des Strommixes, von heute 20 Mt CO₂-Äquivalente im Referenz-Szenario auf rd. 7 Mt (-65 %) im Szenario IV a und IV e gesenkt werden. Mit Szenario I b gelingt dies nur um -28 %.



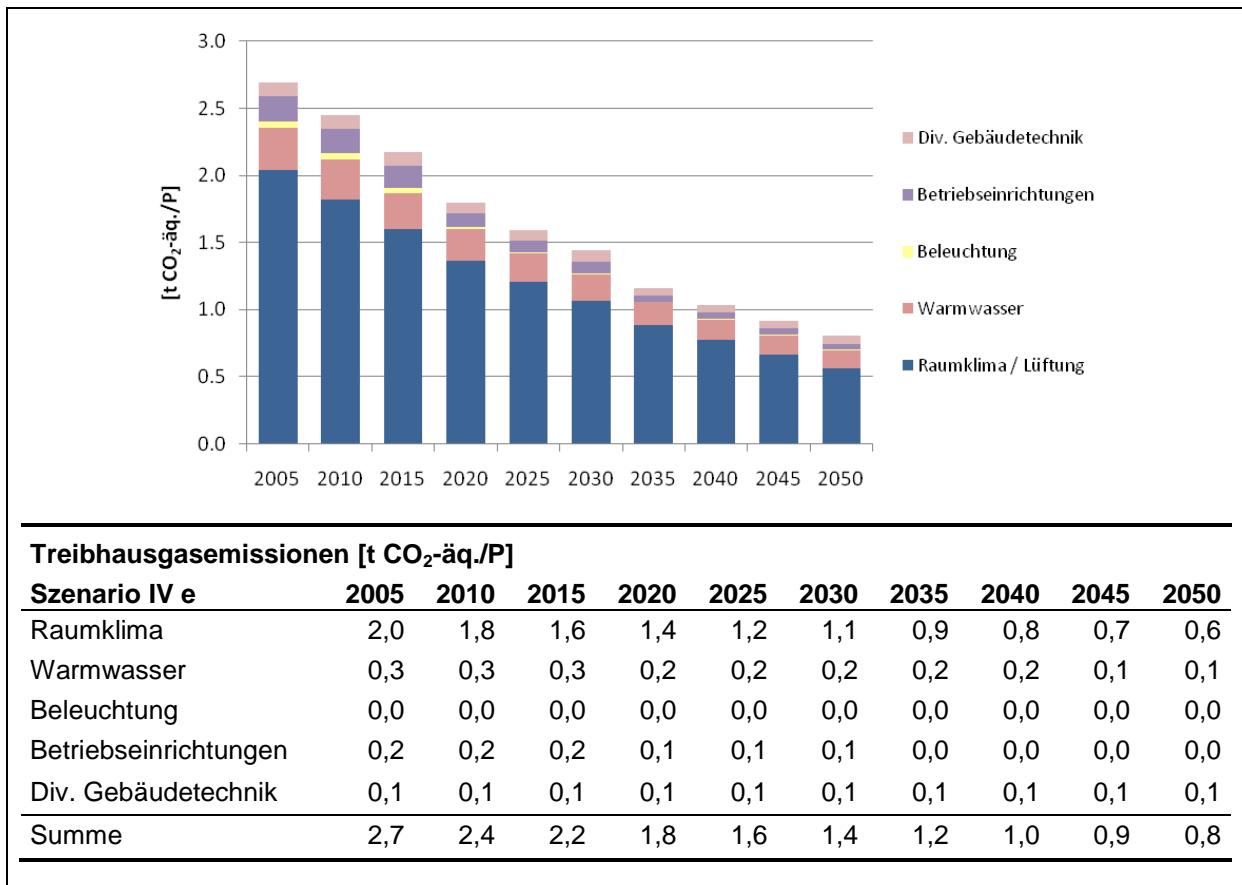
Figur 25 Absolute Treibhausgasemissionen der Wohngebäude [Mt CO₂-äq.]

3.2.5 Totale Treibhausgasemissionen nach Verwendungszwecken

Der grösste Anteil an Treibhausgasemissionen entfällt auf die Raumheizung mit 32 % (Szenario I b, Figur 26) bzw. 26 % (Szenario VI a, Figur 27) im Jahr 2050. Die Warmwasserversorgung folgt mit grossem Abstand als zweitwichtigster Verwendungszweck.



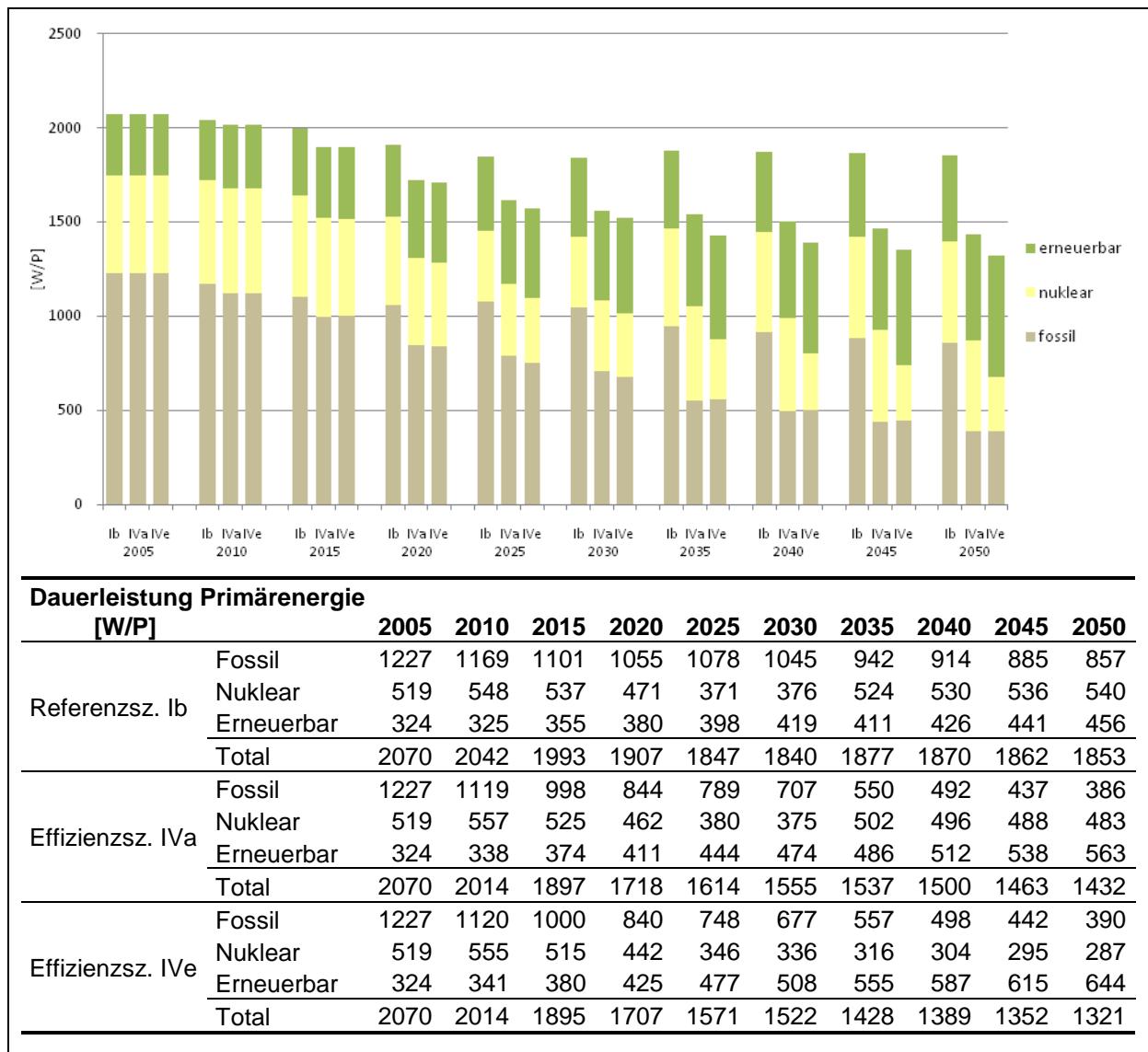
Figur 26 Personenspezifische Treibhausgasemissionen nach Verwendungszweck (Referenz-Szenario) (Treibhausgasemissionskoeffizienten gemäss BFE-Szenario I, Stromversorgungsvariante b)



Figur 27 Personenspezifische Treibhausgasemissionen nach Verwendungszweck (Referenz-Szenario) (Treibhausgasemissionskoeffizienten gemäss BFE-Szenario IV e, Stromversorgungsvariante e)

3.3 Totaler Betriebsenergiebedarf pro Person

Figur 28 zeigt den Betriebsenergiebedarf (in Primärenergie total) der Wohngebäude für alle drei Szenarien auf. Der Startwert von rd. 2065 W/P kann bis zum Jahr 2050 auf 1321 W/P im Effizienz-Szenario IV e gesenkt werden. Dieser liegt damit rund 30 % niedriger als für das Referenz-Szenario 2050 angenommen wird (1853 W/P).



Figur 28 Totaler Betriebsenergiebedarf der Wohngebäude pro Person [W/P]

3.4 Sensitivitätsanalyse der Annahmen für Wohngebäude

Der grundlegende Treiber im Wohngebäudebereich ist die Energiebezugsfläche, die im Total bis zum Jahr 2035 um knapp 44 % zunimmt; als Folge des Zuwachses der Bevölkerung sowie des Wohnflächenbedarfs pro Kopf. Der Zuwachs verflacht zwar zunehmend, aber auch nach 2050 ist gemäss unserer Fortschreibung ein weiterer Anstieg zu erwarten (+52 % im Vergleich zu 2005).

Die Energiebezugsfläche ist somit ein wichtiger Einflussfaktor, der einer Sensitivitätsanalyse unterzogen wird. Neben der Überprüfung der Annahmen des Flächenzuwachses auf das Gesamtergebnis, beeinflusst auch die Abbruchrate des Gebäudebestandes die Gesamtenergiennachfrage von Wohngebäuden. Auch diese soll nachfolgend hinsichtlich ihrer Sensitivität analysiert werden.

Ein geringerer Zuwachs und somit tiefere EBF-Werte führen zu einer geringeren Energienachfrage. Zu beachten ist, dass durch den geringeren Zuwachs die Neubautätigkeit kleiner wird und dadurch der relative Anteil der Altbauten zunimmt. Daher verändert sich die Energienachfrage nicht proportional zur Flächenänderung.

Die erste Sensitivitätsrechnung geht von einer Limitierung des Flächenzuwachses auf 70 m² EBF pro Kopf und Bauperiode aus. Im Referenz- und Effizienz-Szenario dieser Studie wird davon ausgegangen, dass die EBF bis zum Jahr 2050 auf 80 m² steigen wird. In Folge der Reduzierung des Zuwachses der EBF auf 70 m² pro Kopf könnte die Gesamt-EBF bis zum Jahr 2050 um ca. 15,7 % (584 m²) gesenkt werden. Je nach Szenarioannahmen sind die daraus resultierenden Effekte unterschiedlich. So lassen sich im Referenz-Szenario der Primärenergiebedarf um 4,8 % und die Treibhausgasemissionen um 4,1 % im Jahr 2050 senken. Im Effizienz-Szenario könnte mit dieser Entwicklung der Primärenergiebedarf um 4,7 % reduziert werden; die Treibhausgasemissionen liessen sich damit ebenfalls um ca. 3,0 % senken.

Die zweite Sensitivitätsanalyse geht von der gleichen totalen EBF-Entwicklung wie in den Ausgangsszenarien aus. Die Abbruchrate beträgt in dieser Betrachtung 0,5 % anstatt 0,1 % im Referenz-Szenario bzw. 0,25 % im Effizienz-Szenario. Der erhöhte Abbruch wird durch Neubau kompensiert. Durch den erhöhten Neubauanteil ist der Gebäudepark energieeffizienter und der Primärenergiebedarf, sowie die Treibhausgasemissionen sinken. Im Referenz-Szenario geht der Primärenergiebedarf nur um 0,2 % (0,8 PJ) und die Treibhausgasemissionen nur sehr geringfügig zurück. Im Effizienz-Szenario nimmt der Primärenergiebedarf nur um 0,1 % (0,4 PJ), die Treibhausgasemissionen aber immerhin um 1,4 % (0,1 Mt) ab. Der geringere Effekt der Sensitivitätsbetrachtung im Effizienz-Szenario ist massgeblich darauf zurückzuführen, dass die Erhöhung der Abbruchrate nur +0,25 % beträgt. Im Referenz-Szenario wird dagegen der Wert von 0,1 % auf 0,5 % angehoben und bewirkt folglich einen grösseren Effekt bei der Betrachtung der Primärenergieentwicklung.

Tabelle 5 Sensitivitätsanalyse für das Referenz-Szenario

Szenario	Variabel	Einheit	2005	2020	2035	2050
Referenz-Szenario						
	EBF	Mio. m ²	444,0	559,6	639,2	692,3
	Primärenergie	PJ	486,3	489,0	495,2	486,1
	THG-Emissionen	Mt CO ₂ -äq.	20,1	18,2	16,2	14,5
Sensitivität: EBF max. 70 m ² /P						
	EBF	Mio. m ²	444,0	559,6	587,2	583,8
	Primärenergie	PJ	486,3	489,0	482,0	462,9
	THG-Emissionen	Mt CO ₂ -äq.	20,1	18,2	15,8	13,9
Sensitivität: Abbruchrate erhöht von 0,1%/a auf 0,5%/a						
	EBF	Mio. m ²	444,0	559,6	639,2	692,3
	Primärenergie	PJ	486,3	488,6	494,6	485,3
	THG-Emissionen	Mt CO ₂ -äq.	20,1	18,2	16,1	14,4

Tabelle 6 Sensitivitätsanalyse für das Effizienz-Szenario

Szenario	Variabel	Einheit	2005	2020	2035	2050
Effizienz-Szenario						
	EBF	Mio. m ²	444,0	559,6	639,2	692,3
	Primärenergie	PJ	486,3	437,5	376,6	346,3
	THG-Emissionen	Mt CO ₂ -äq.	20,1	14,6	9,7	6,7
Sensitivität: EBF max. 70 m ² /P						
	EBF	Mio. m ²	444,0	559,6	587,2	583,8
	Primärenergie	PJ	486,3	437,5	368,0	330,1
	THG-Emissionen	Mt CO ₂ -äq.	20,1	14,6	9,6	6,5
Sensitivität: Abbruchrate erhöht von 0,25%/a auf 0,5%/a						
	EBF	Mio. m ²	444,0	559,6	639,2	692,3
	Primärenergie	PJ	486,2	437,2	376,3	345,9
	THG-Emissionen	Mt CO ₂ -äq.	20,1	14,6	9,7	6,7

4. Büro und Schulgebäude

Im Dienstleistungssektor ist die Elektrizität von vergleichbarer Bedeutung wie jeweils die 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. 1.4). 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. 1.4 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):

Die übrigen Energiedienstleistungen, welche im Bereich Büro und Schulen in der Regel mit Elektrizität erbracht werden, 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 Gebäudeparkmodell SIA-Effizienzpfad Energie sind folgende Branchen relevant, für welche insgesamt 6 Gebäudekategorien definiert werden, nämlich 4 Bürogebäude unterschiedlicher Nutzungsintensität (je nach Wirtschaftsbranche) und 2 Typen von Schulgebäuden (Volks- 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 den Kennwerten der SIA 380/4: 1995 beruhen. 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, Gebäudemangement)

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

Weitere Unterschiede betreffen die Hilfstechnik 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:

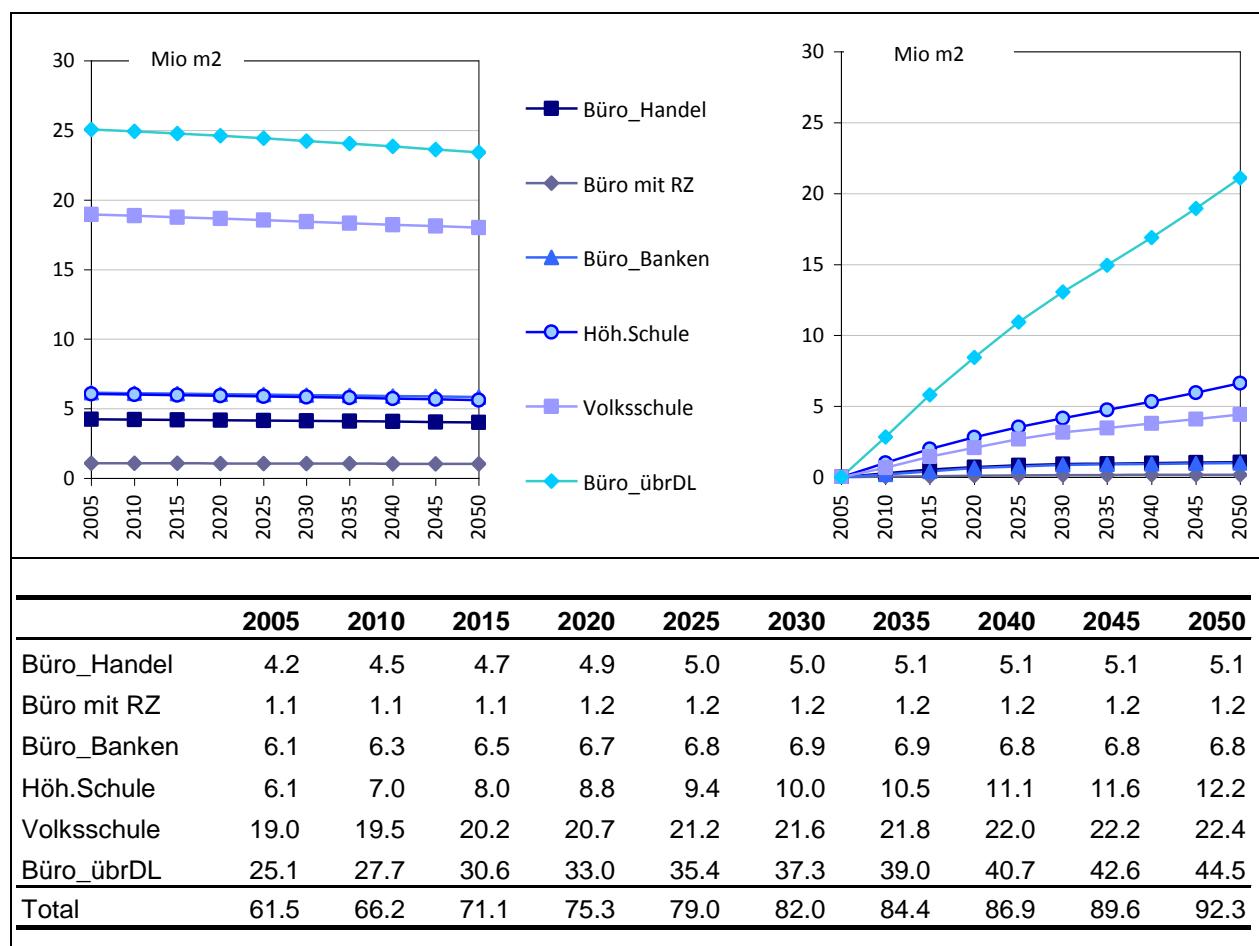
- Beleuchtung
- Klima/Lüftung (inkl. Transport der Luft und/oder des Kälteträgers)
- Betriebseinrichtungen (beinhalten die Arbeitshilfen gemäss der SIA 380/4: 1995 sowie 80 % der zentralen Dienste gemäss SIA 380/4: 1995)
- Diverse Gebäudetechnik (beinhaltet 20 % der zentralen Dienste gemäss SIA 380/4: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

Weitere Details zum Modell werden in Kapitel 1.4 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 30 % bis 2035 zu rechnen; trotz eines nur geringen Zuwachses an Beschäftigten (Aebischer et al. 2007). Dieser verflacht sich zwar zunehmend; aber auch nach 2035 ist gemäss unserer Fortschreibung ein weiterer Zuwachs 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 29). In der Summe aller hier betrachteten Gebäudetypen nimmt die EBF von 62 im Jahr 2005 auf 84 Mio. m² im Jahr 2035 und auf 92 Mio. m² im Jahr 2050 zu (+ 37 % bzw. + 50 %).



Quelle: TEP Energy (2009)

Figur 29 Energiebezugsfläche für Altbauten (linke grafische Darstellung) und Neubauten (rechte grafische Darstellung) sowie für den Gesamtbestand (tabellarisch) (in Mio. m²)

Ebenfalls von Interesse ist, wie sich der Flächenbedarf pro Arbeitsplatz entwickelt. In Tabelle 7 sind die Werte für Banken/Versicherungen, Unterricht und übrige Dienstleistungen aufgelistet. Bei letzterer muss erwähnt werden, dass nicht die gesamte EBF den hier betrachteten Büroflächen zuzuschreiben ist.

Der Verlauf der Kennwerte ergibt sich aus der zitierten Quelle (Aebischer et al. 2007), welche von einem zwischenzeitlichen Anstieg bei den Arbeitsplätzen und einem

anschliessenden Absinken ausgehen, während die Energiebezugsflächen stetig ansteigen, dies mit abflachender Tendenz gegen das Ende der Betrachtungsperiode.

Tabelle 7 Energiebezugsfläche pro Arbeitsplatz für drei verschiedene Branchen (in m²/Pers.)

	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
Banken/Versicherungen	37	35	35	35	36	37	37
Unterrichtswesen	153	156	160	166	174	184	191
Übrige Dienstleistungsbranchen	68	69	73	77	82	87	92

Quelle: Aebischer et al. 2007

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 Betriebeinrichtungen (je nach Branche Computer, Geräte, gewerbliche Kälte, Kochen, Restoration) 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).

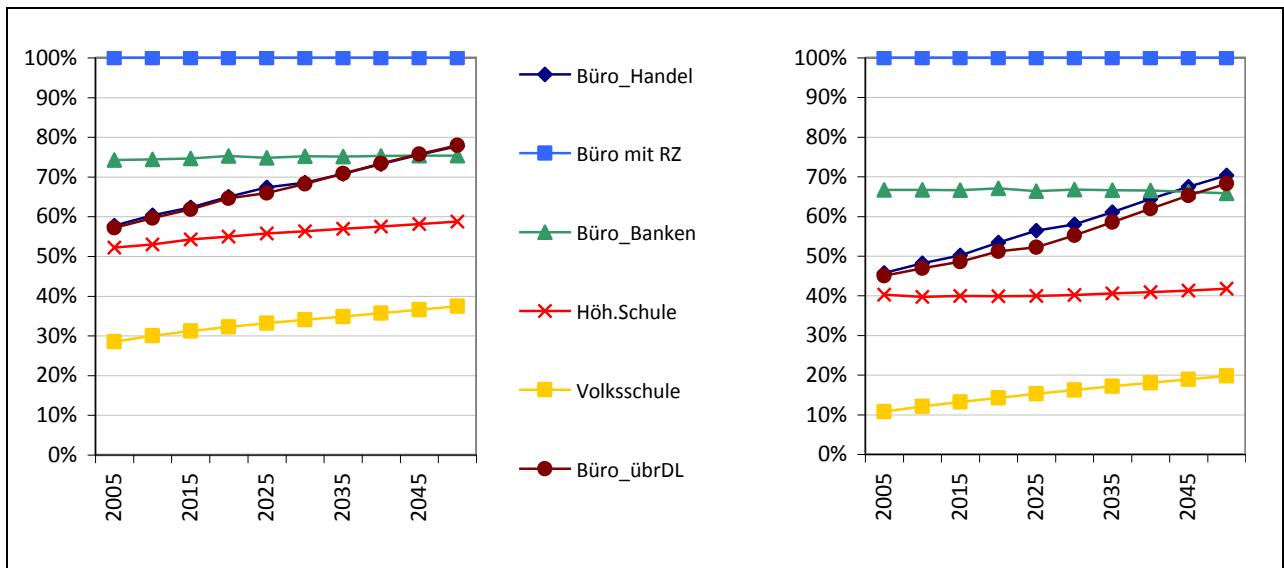
4.3.1 Betriebseinrichtungen

Im Büro- und Schulbereich beinhaltet die Rubrik Betriebseinrichtungen⁴ 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 30). Tendenziell sind die Diffusionsraten bei Neubauten höher als im Gebäudebestand, weil es

⁴ 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).

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).



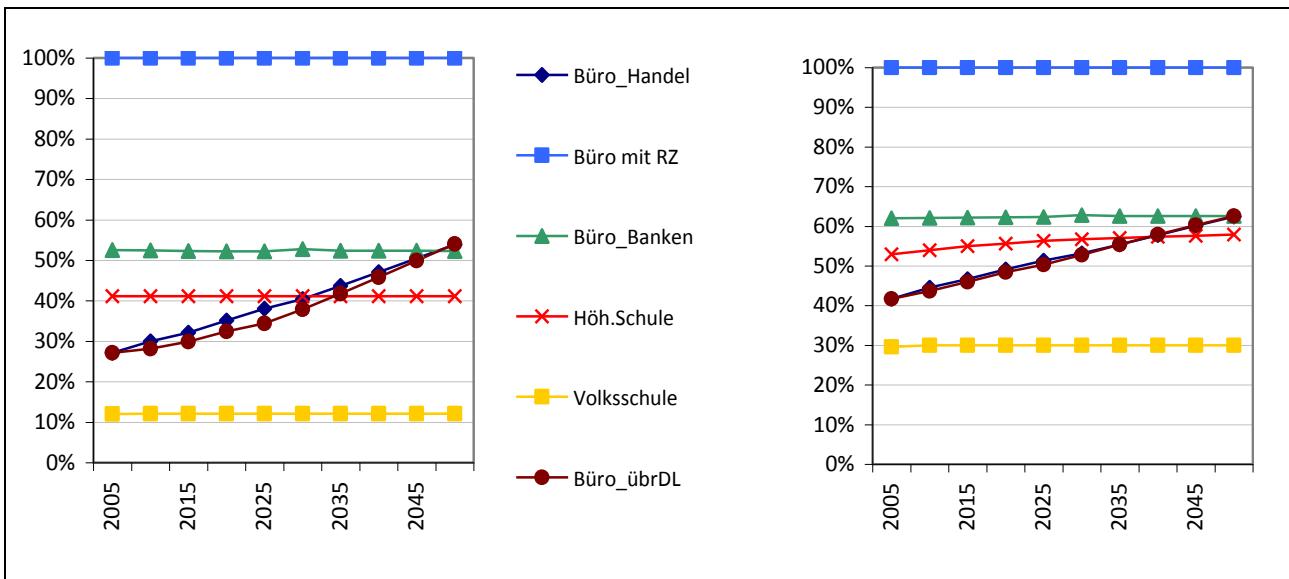
Quelle: TEP Energy (2009)

Figur 30 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 Strombedarfs der ZD) sind die Verwendungswecke der Rubrik Diverse Gebäudetechnik gemäss SIA 416/1 zugeordnet worden (USV, Gebäudemangement 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 Menschen sowie deren Küchen mit enthalten. Dies in dem Mass, wie es für den Park an Bürogebäuden der betrachteten Wirtschaftsbranchen typisch ist. Mit diesem Ansatz soll berücksichtigt werden, dass die Abschätzungen eine gesamtschweizerisch realistische Aussage ergeben.

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 31).

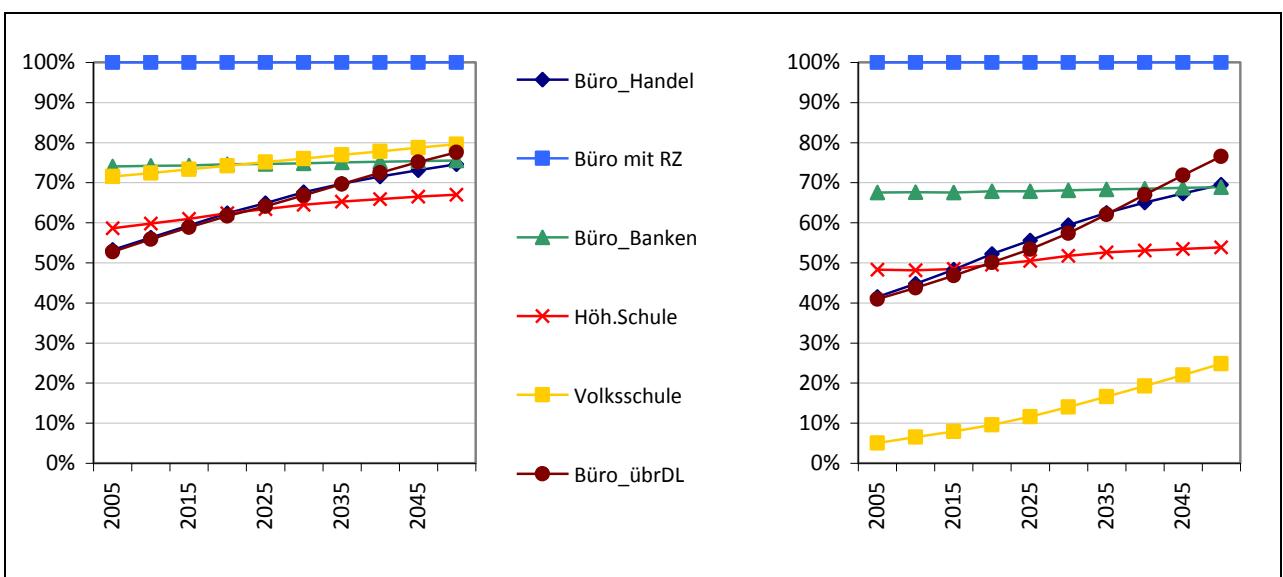


Quelle: TEP Energy (2009)

Figur 31 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 32). 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 32 Diffusion Klima/Lüftung in Neubauten (links) und im Altbestand (rechts) im 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 Energiebedarfswerte

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

Das Effizienz-Szenario orientiert sich 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. 1.4). Tabelle 8 und Tabelle 9 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 Aussenwärmédämmungen 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 8). 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 8 Erneuerungsraten pro Jahr nach Bauteiltyp und kumulierter Anteil energetisch erneuerter 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

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 9). Es sei an dieser Stelle zudem darauf hingewiesen, dass sich ein nicht-ver-nachlässigbarer Teil von Büronutzungen in wohngebäudeähnlichen Bauten befindet, welche ähnliche Erneuerungsmöglichkeiten wie Wohngebäude aufweisen, gerade auch im Dachbereich.

Tabelle 9 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	Verände- rung im Vergleich zum Ref. Sz,
		2005-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050		
Flachdach	Vor1947	0,016	0,013	0,012	0,010	0,010	0,61	0,27
	1947-75	0,017	0,011	0,009	0,008	0,008	0,53	0,26
	1975-85	0,020	0,014	0,015	0,013	0,013	0,75	0,39
	1985-2000	0,009	0,014	0,015	0,014	0,014	0,66	0,32
Steildach	Vor1947	0,009	0,010	0,010	0,009	0,009	0,46	0,92
	1947-75	0,008	0,010	0,010	0,008	0,008	0,44	1,10
	1975-85	0,003	0,016	0,018	0,010	0,004	0,51	1,55
	1985-2000	0,000	0,001	0,004	0,007	0,004	0,17	0,89
Wand	Vor1947	0,005	0,008	0,007	0,007	0,006	0,33	0,74
	1947-75	0,011	0,010	0,010	0,009	0,008	0,49	0,58
	1975-85	0,006	0,013	0,013	0,009	0,004	0,44	1,00
	1985-2000	0,000	0,002	0,002	0,003	0,003	0,10	0,25
Fenster	Vor1947	0,016	0,015	0,013	0,010	0,007	0,61	1,10
	1947-75	0,023	0,020	0,014	0,008	0,005	0,69	0,28
	1975-85	0,020	0,025	0,023	0,017	0,007	0,92	0,08
	1985-2000	0,005	0,018	0,020	0,026	0,018	0,87	0,28
Boden	Vor1947	0,008	0,015	0,012	0,012	0,012	0,59	0,55
	1947-75	0,008	0,015	0,012	0,012	0,012	0,59	0,55
	1975-85	0,004	0,008	0,006	0,005	0,005	0,28	0,40
	1985-2000	0,002	0,002	0,004	0,004	0,004	0,16	0,60

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 Erneuerungsrate pro Gebäude, die Wirkung einer für die Periode idealtypischen Erneuerung sowie die durchschnittlichen spezifischen Heizwärmebedarfswerte des gesamten Gebäudeparks. Idealtypisch bedeutet im vorliegenden Kontext, dass die Erneuerungswirkung nicht gezwungenemassen 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 abstrakttere 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

Gebäudehüllenerneuerungen) nicht mit einbezogen, wurde aber im Gesamtmodell sehr wohl berücksichtigt.

Die aus den Annahmen der bauteilorientierten Erneuerungsraten (Tabelle 8 und Tabelle 9) 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 (Tabelle 11) höher als im Referenz-Szenario (Tabelle 10).

Tabelle 10 Resultierende Erneuerungsraten, resultierende Reduktionswirkung und resultierender mittlerer Heizwärmeverbrauch Q_h der Schulgebäude im Referenz-Szenario

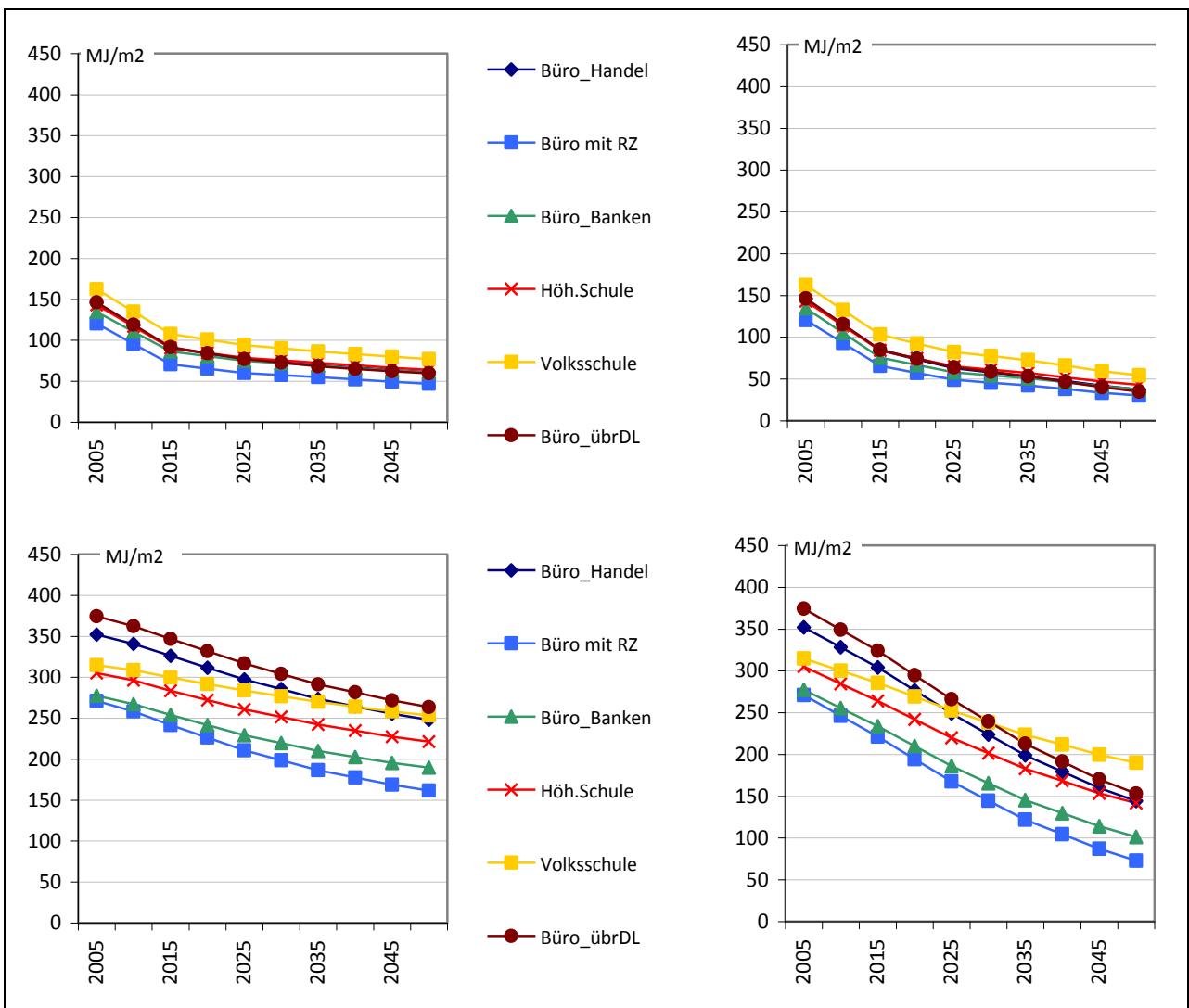
	Vor 1990	1990-2000	2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Erneuerungsraten pro Jahr, bzw. kumm. ("vor 1990")							
Vor1947	11.1%	0.8%	0.7%	0.6%	0.6%	0.5%	0.4%
1947-75	10.3%	1.5%	1.1%	0.9%	0.8%	0.7%	0.6%
1975-85	2.9%	0.3%	0.8%	1.0%	0.9%	0.7%	0.4%
1985-2000	0.0%	0.1%	0.2%	0.6%	0.7%	0.6%	0.3%
Reduktionswirkung auf Q_h pro Erneuerung, bezogen auf die untenstehende Erneuerungsraten							
Vor1947	-111	-152	-176	-227	-209	-213	-211
1947-75	-120	-153	-184	-241	-220	-223	-230
1975-85	-51	-88	-112	-171	-169	-171	-140
1985-2000	-16	-48	-105	-106	-110	-110	-118
Mittleres Q_h Ende Betrachtungsperiode							
Vor1947	404	392	380	367	353	341	331
1947-75	397	385	362	342	321	303	289
1975-85	297	295	293	284	268	252	241
1985-2000	235	235	235	234	228	221	215

Tabelle 11 Resultierende Erneuerungsraten, resultierende Reduktionswirkung und resultierender mittlerer Heizwärmeverbrauch Q_h der Schulgebäude im Effizienz-Szenario

	Vor 1990	1990-2000	2000-2010	2010-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
Erneuerungsraten pro Jahr, bzw. kumm. ("vor 1990")							
Vor1947	11.1%	0.8%	0.8%	1.1%	1.0%	1.0%	0.8%
1947-75	10.3%	1.5%	1.3%	1.4%	1.3%	1.0%	0.9%
1975-85	2.9%	0.3%	0.9%	1.5%	1.4%	1.1%	0.6%
1985-2000	0.0%	0.1%	0.2%	0.6%	0.8%	1.0%	0.8%
Reduktionswirkung auf Q_h pro Erneuerung, bezogen auf die untenstehende Erneuerungsraten							
Vor1947	-111	-281	-179	-248	-288	-287	-274
1947-75	-120	-153	-188	-253	-284	-274	-261
1975-85	-51	-88	-111	-170	-202	-215	-197
1985-2000	-16	-50	-134	-161	-158	-167	-167
Mittleres Q_h Ende Betrachtungsperiode							
Vor1947	404	392	369	355	328	298	271
1947-75	397	385	362	338	303	267	239
1975-85	297	295	293	283	258	229	206
1985-2000	235	235	235	234	226	214	198

Analog zum Gebäudebestand wird der Heizwärmbedarf 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.

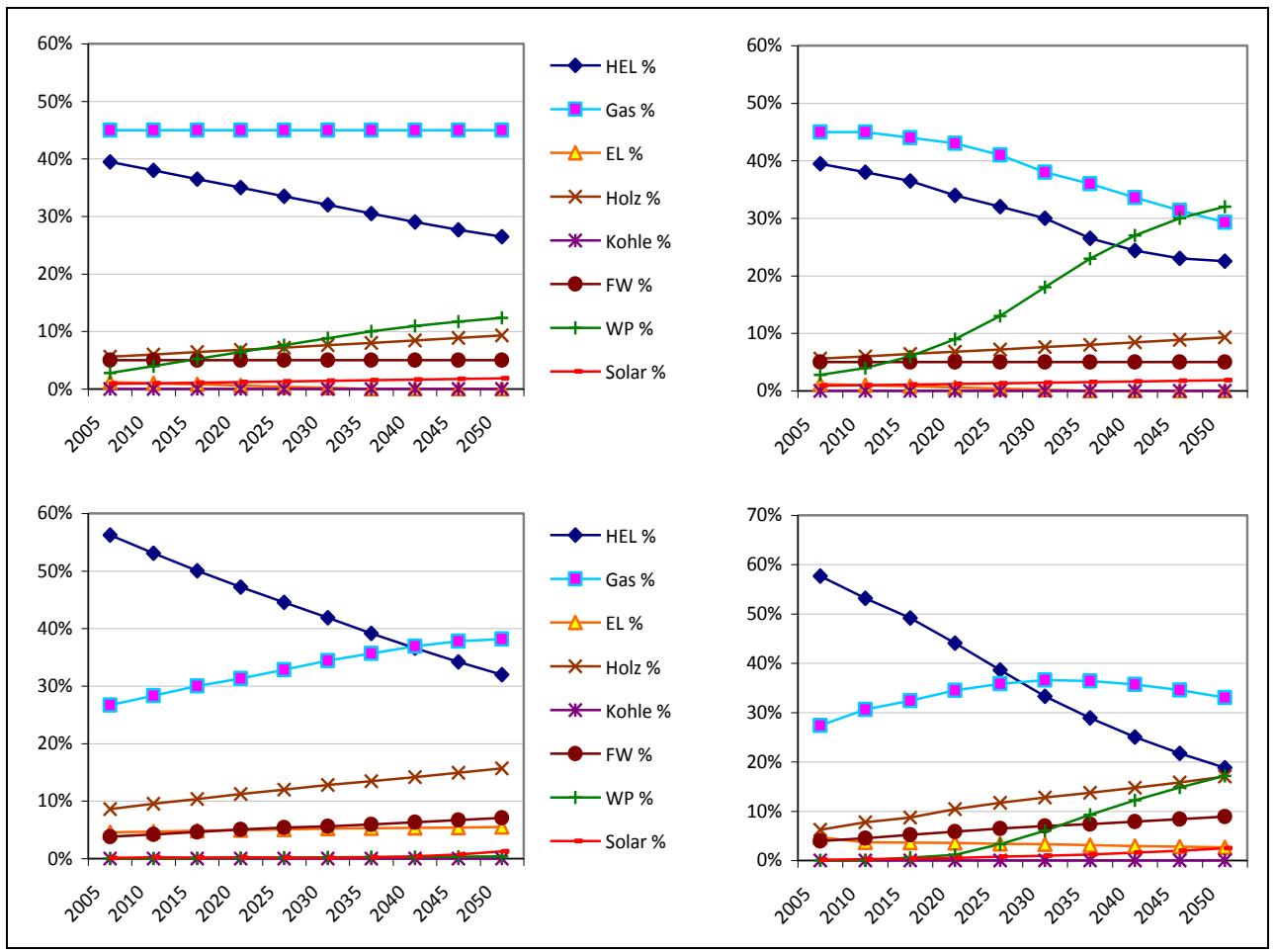
Die resultierenden Heizwärmbedarfswerte der Neubauten und des Gebäudebestandes sind aus Figur 33 ersichtlich.



Quelle: TEP Energy (2009)

Figur 33 Resultierende spezifische Heizwärmbedarfswerte für Raumwärme (Qh) der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.

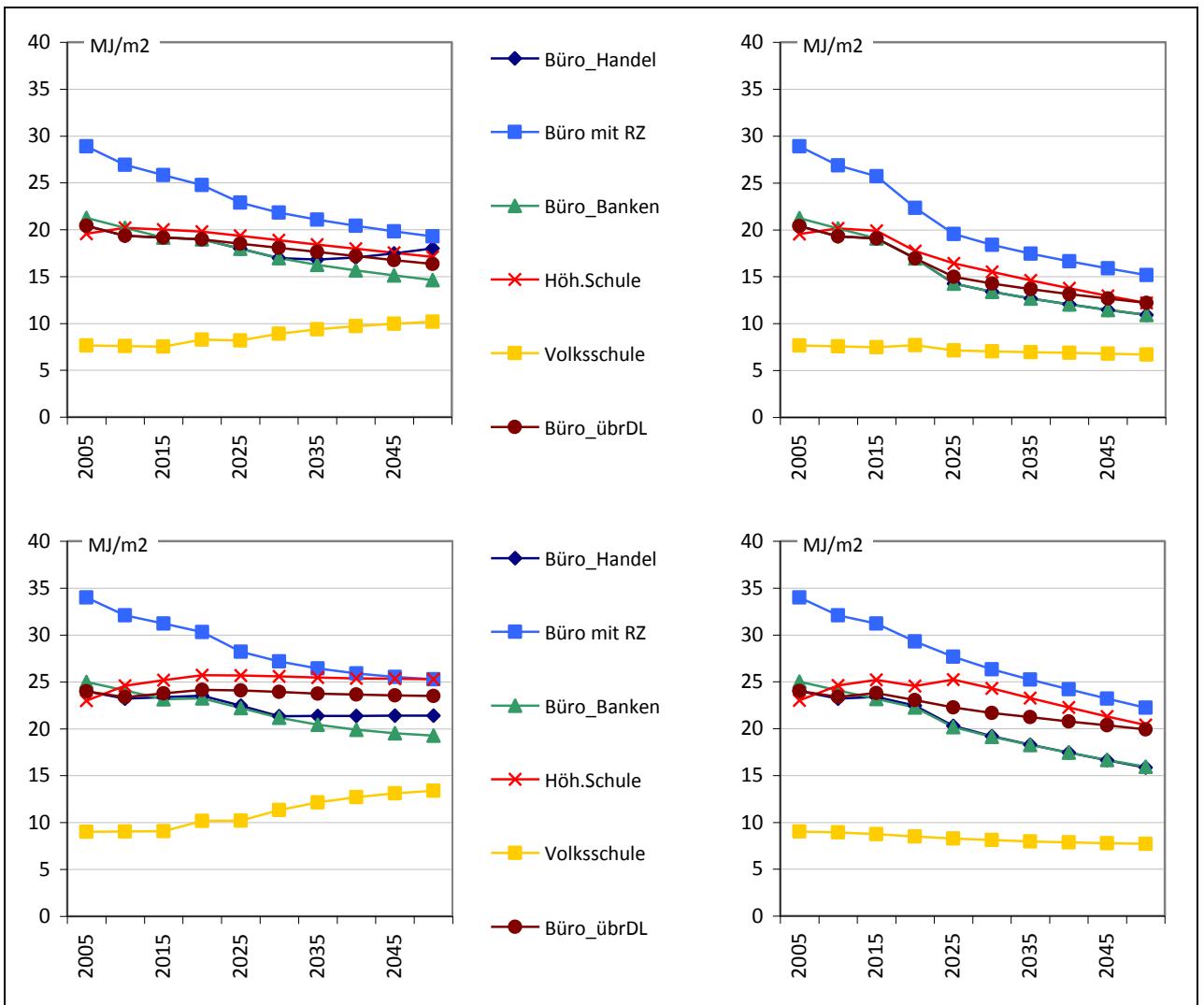
Neben der Entwicklung des Heizwärmeverbrauchs geht das Modell auch von einer Veränderung der Heizenergieträgerstruktur aus. Ergänzend zu Elektrodirektheizungen wurde in beiden Szenarien eine Wärmepumpenentwicklung unterstellt. Im Referenz-Szenario wird von einem moderaten Anstieg ausgegangen (weniger 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.



Quelle: TEP Energy (2009)

Figur 34 Heizenergieträgerstruktur der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) das Referenz-Szenario (links) und das Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.

Die SEB der Hilfsenergie Raumwärme und Warmwasser, welche insbesondere Heizverteilpumpen 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 SEB auszugehen (Figur 35).

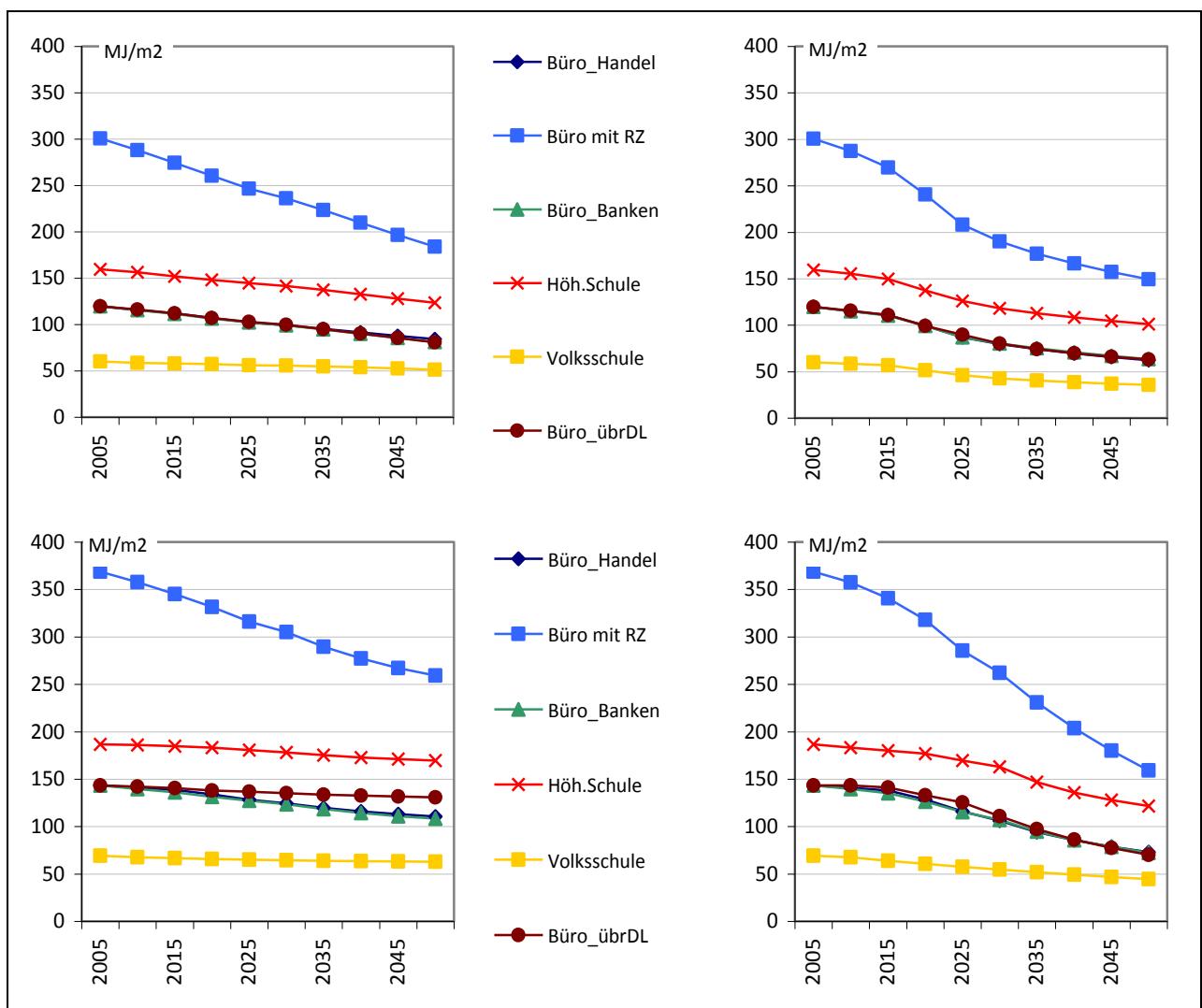


Quelle: TEP Energy (2009)

Figur 35 Spezifische Strombedarfswerte 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 SEB der Betriebseinrichtungen sind bereits im Referenz-Szenario leicht abnehmend. Im Effizienz-Szenario wird unterstellt, dass die SEB für Betriebseinrichtungen stärker abnehmen im Vergleich zum Referenz-Szenario (Figur 36). Dies kann u.a. durch EU-weite Standards im Geräte- und IKT-Bereich begründet werden. Zu berücksichtigen ist jedoch auch, dass die Effizienzpotenziale von typischen Prozessenergien wie Kochen geringer sind als bei gebäudetechnikähnlichen Anwendungen.

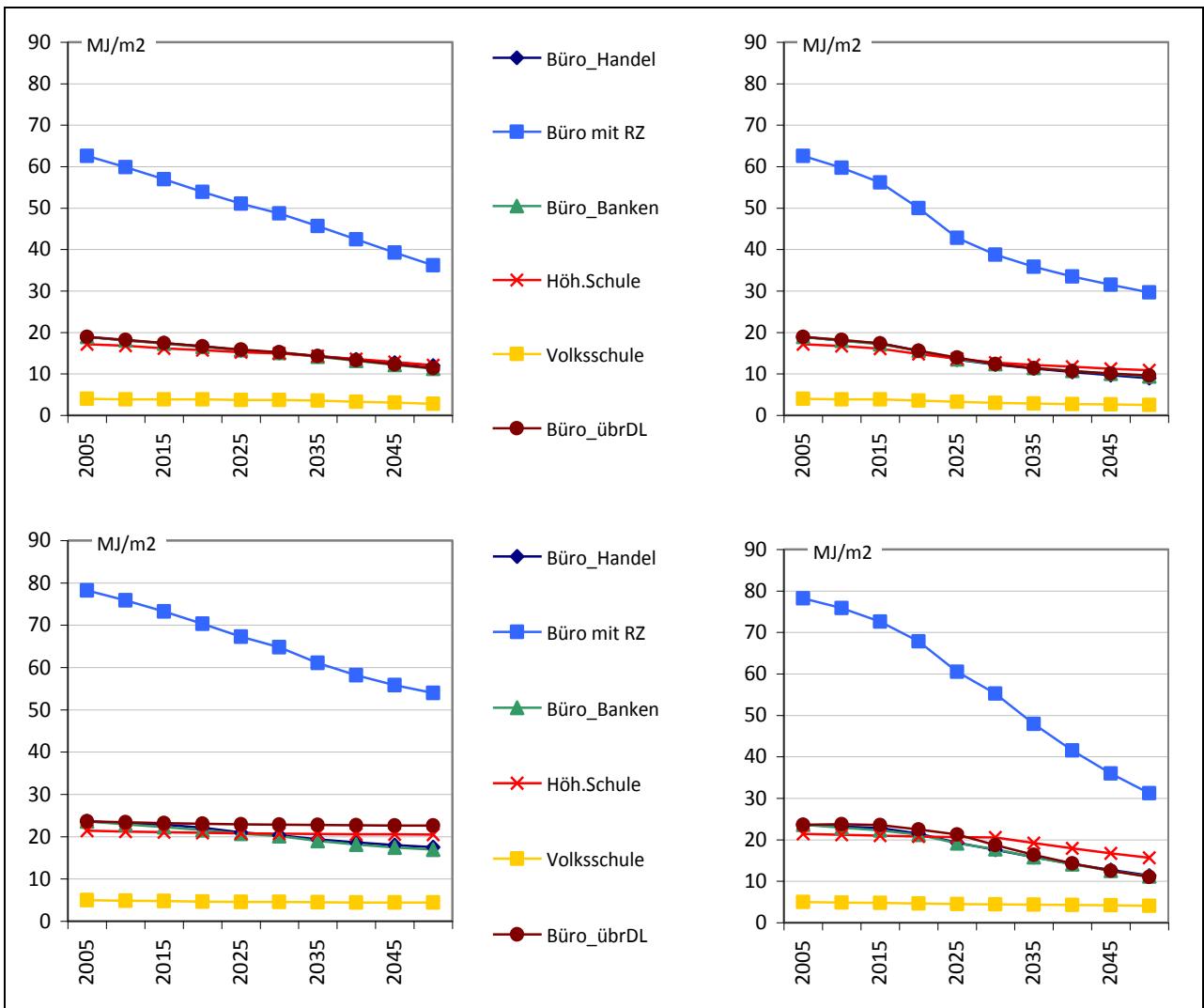


Quelle: TEP Energy (2009)

Figur 36 Spezifische Strombedarfswerte 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 der spezifische Strombedarf der diversen Gebäudetechnik im Niveau deutlich geringer. Es ist jedoch auch in diesem Bereich von verfügbaren Effizienzpotenzialen auszugehen, gerade auch bei den hochtechnisierten Gebäuden mit Rechenzentren (Figur 37).



Quelle: TEP Energy (2009)

Figur 37 Spezifische Strombedarfswerte der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) für diverse Gebäudetechnik im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.

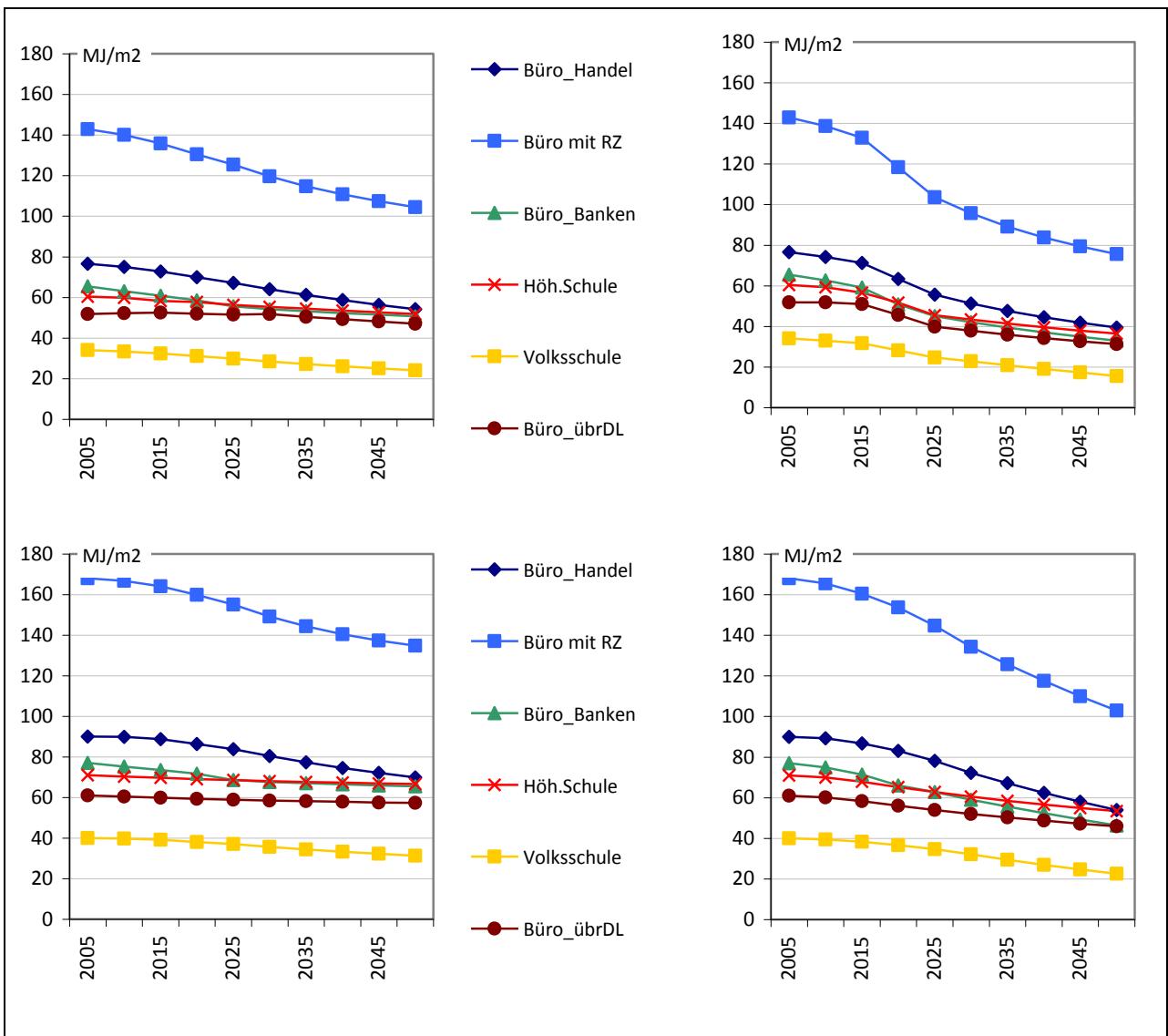
4.4.4 Beleuchtung

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 Strombedarfswerte für Beleuchtungszwecke (an erster Stelle im Dienstleistungssektor steht der Detailhandel, der aber hier nicht betrachtet wird). Im Quervergleich sind die SEB für Beleuchtung in Volksschulen und Kindergärten wesentlich geringer.

Die SEB 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. Gebäude sektoren (Figur 38).

Die unterstellten Effizienzentwicklungen wurden differenziert nach Branche bzw. ideal-typischer 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).



Quelle: TEP Energy (2009)

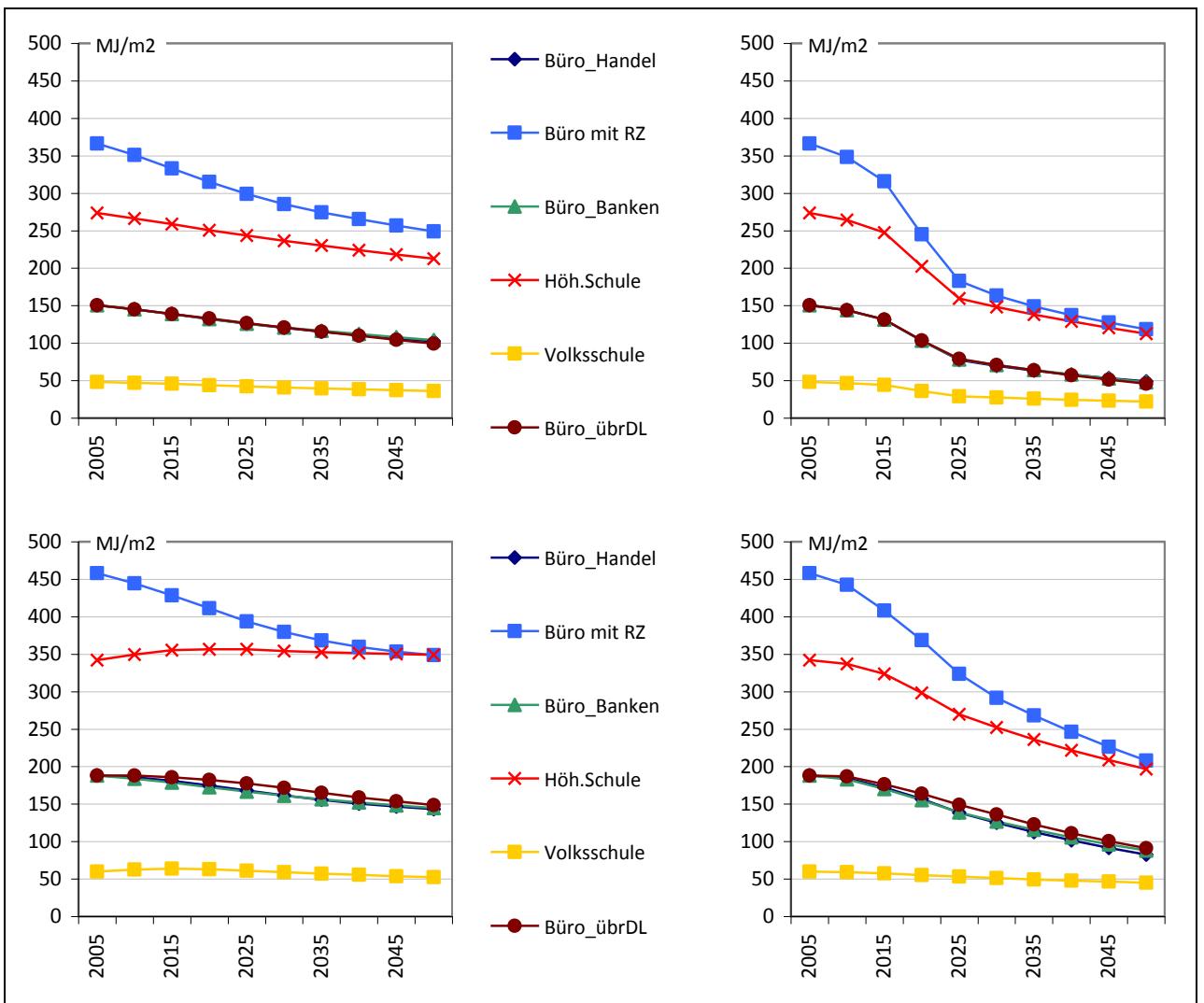
Figur 38 Spezifische Strombedarfswerte (SEB) der Neubauten (oben) und Altbauten (unten) für Beleuchtung im Referenz-Szenario (links) und im Effizienz-Szenario (rechts) im Zeitraum von 2005 bis 2050.

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.

4.4.5 Lüftung und Kühlung

Die höchsten spezifischen Strombedarfswerte für Kühlung und Lüftung weisen die Bürogebäude im Finanz- und Versicherungssektor und die Hochschulen auf (Figur 39).

Die Energieeffizienzpotenziale 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.



Quelle: TEP Energy (2009)

Figur 39 Spezifische Strombedarfswerte 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 des spezifischen Strombedarfs 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 Strombedarfswerte im Überblick

Tabelle 12 stellt für drei Zeitpunkte die prozentuale Verbesserung der spezifischen Energiebedarfswerte relativ zum Basisjahr 2005 dar. Das Effizienz-Szenario geht von einer markanteren Verbesserung der spezifischen Strombedarfswerte aus. Bis zum Jahr 2050 nimmt der spezifische Energiebedarf je nach Anwendung zwischen einem und zwei Dritteln ab. Einzig bei der Haustechnik werden tieferen Werte angenommen.

Tabelle 12 Prozentuale Verbesserung des spezifischen Elektrizitätsbedarfs bei Neubauten im Zeitablauf

	Referenz-Szenario			Effizienz-Szenario		
	Verbesserung bis zum Jahr			Verbesserung bis zum Jahr		
	2020	2035	2050	2020	2035	2050
Betriebseinrichtung						
Büro_Handel	11%	20%	30%	17%	38%	48%
Büro mit RZ	13%	26%	39%	20%	41%	50%
Büro_Banken	11%	21%	32%	17%	37%	47%
Höh. Schule	7%	14%	23%	14%	29%	37%
Volksschule	5%	9%	15%	15%	33%	41%
Büro_überDL	11%	21%	33%	17%	38%	47%
Diverse Gebäudetechnik						
Büro_Handel	12%	24%	37%	18%	40%	52%
Büro mit RZ	14%	27%	42%	20%	43%	53%
Büro_Banken	13%	25%	41%	18%	39%	50%
Höh. Schule	8%	16%	29%	14%	29%	37%
Volksschule	4%	12%	30%	11%	30%	37%
Büro_überDL	12%	24%	40%	18%	40%	49%
Beleuchtung						
Büro_Handel	9%	20%	29%	17%	38%	48%
Büro mit RZ	9%	20%	27%	17%	38%	47%
Büro_Banken	11%	19%	22%	22%	40%	50%
Höh. Schule	4%	10%	14%	14%	32%	40%
Volksschule	9%	20%	29%	17%	39%	54%
Büro_überDL	0%	3%	9%	12%	31%	40%
Klima/Lüftung						
Büro_Handel	12%	23%	32%	31%	58%	68%
Büro mit RZ	14%	25%	32%	33%	59%	68%
Büro_Banken	12%	23%	31%	31%	57%	68%
Höh. Schule	8%	16%	22%	26%	50%	59%
Volksschule	9%	18%	25%	25%	47%	55%
Büro_überDL	12%	23%	34%	31%	58%	70%
Hilfsenergie RW und WW						
Büro_Handel	7%	18%	12%	17%	38%	47%
Büro mit RZ	14%	27%	33%	23%	40%	48%
Büro_Banken	11%	24%	31%	20%	40%	49%
Höh. Schule	-1%	6%	13%	9%	25%	38%
Volksschule	-8%	-22%	-33%	-1%	9%	12%
Büro_überDL	7%	14%	20%	17%	33%	40%

Quelle: TEP Energy

4.4.7 Vergleichswerte

Für die beiden Gebäudetypen Schulhaus und Bürogebäude werden die Annahmen des Modells TEP Demand DL mit denjenigen der SIA 380/4: 2006 verglichen (Anhang B). Das Fallbeispiel „Schulhaus mit Turnhalle“ der SIA 380/4: 2006 entspricht in etwa dem Gebäude- typ Volksschule/Kindergarten des TEP Modells und das Bürohaus entspricht dem Gebäude- typ Büro (Banken/Versicherungen) des TEP Modells (Tabelle 13).

Beim Vergleich ist zu unterscheiden zwischen:

- Niveau der spezifischen Energiebedarfswerte
- Relative Veränderung der spezifischen Energiebedarfswerte bzw. Differenz zwischen Grenz- und Zielwert

Beim Vergleich des absoluten Niveaus der SEB fällt auf, dass im TEP Modell die Werte in der Ausgangslage 2005 in der Regel deutlich höher sind im Vergleich zu den SIA-Grenzwerten, abgesehen von einigen Ausnahmen.

Folgende Feststellungen können getroffen werden:

Der SEB Beleuchtung liegt bei den Schulhäusern deutlich tiefer als der Grenzwert der SIA 380/4. Der SEB Beleuchtung liegt bei den Schulen beim SIA relativ nahe bei denen von Bürogebäuden, dies aufgrund ähnlicher Beleuchtungsanforderungen (Lux). Die Datengrundlage des TEP Modells geht demgegenüber von höheren Unterschieden aus, u.a. mit der Begründung der doch geringeren Vollaststunden im Schulbereich. Umgekehrt ist die SEB für Betriebseinrichtungen im TEP Modell deutlich höher im Vergleich zum SIA-Grenzwert. Sehr gross ist der Niveauunterschied v.a. bei Lüftung/Klima von Bürogebäuden: die Werte im TEP Modell liegen für das Basisjahr 2005 mit 150 MJ/m²a etwa sieben Mal höher als der SIA- Grenzwert. Auch bei Schulhäusern ist das Niveau im Vergleich zu SIA 380/4 ebenfalls deutlich höher (48 statt 19 MJ/m²a).

Die Niveauunterschiede sind insbesondere durch den Umstand zu erklären, dass es sich bei den Grenzwerten um (gute) Neubauten oder erneuerte Gebäude bzw. Energieanwendungen handelt, während es sich bei den Werten des TEP Modells um Bestandswerte des mittleren Gebäudeparks des Jahres 2005 handelt.

Bezüglich der relativen Effizienzunterschiede ist festzustellen, dass diese zwischen den SIA- Grenz- und Zielwert in den meisten Fällen (noch) deutlich höher sind im Vergleich zu den Unterschieden zwischen den beiden betrachteten Szenarien. Im Effizienz-Szenario wird das Effizienzpotenzial, gemessen als Differenz zwischen Grenz- und Zielwert, bei der Beleuchtung in etwa ausgeschöpft. Weniger vollständig ist die Potenzialausschöpfung bei den Betriebseinrichtungen (Effizienzgewinn rund ein Drittel statt 40 % bis 50 %). Bei Lüftung und Klima ist die Effizienzausschöpfung im Schulhaus ebenfalls unvollständig; ein Niveau von 5 MJ/m²a, wie es der SIA Zielwert postuliert, ist allerdings sehr ambitioniert. Bei Komfort- kühlung und Lüftung von Bürogebäuden ist die relative Reduktion im TEP Modell höher als der Unterschied zwischen Grenz- und Zielwert, was allerdings vor dem Hintergrund der sehr geringen SIA-Werte plausibel erscheint.

Tabelle 13 Vergleich zwischen den SEB (in MJ/m²) von TEP und von der SIA Norm 380/4. Die Prozentzahl beschreibt die Verbesserung des SIA-Zielwerts relativ zum SIA-Grenzwert respektive die Verbesserung der SEB der beiden Szenarien relativ zum Basisjahr 2005

	SIA 2006			TEP 2005	TEP 2035				TEP 2050			
	Grenz wert	Ziel- wert	% wert		Ref. Sz.	%	EE. Sz.	%	Ref. Sz.	%	EE. Sz.	%
Beleuchtung												
Schulhaus mit Turnhalle	69	26	-63%	34	27	-20%	21	-39%	24	-29%	15	-54%
Bürohaus	79	30	-62%	65	53	-19%	39	-40%	51	-22%	33	-50%
Betriebseinrichtung												
Schulhaus mit Turnhalle	10	5	-48%	63	58	-9%	43	-33%	54	-15%	38	-41%
Bürohaus	45	26	-43%	135	106	-21%	84	-38%	90	-33%	71	-47%
Lüftung/Klimatisierung												
Schulhaus mit Turnhalle	19	5	-72%	48	39	-18%	26	-47%	36	-25%	22	-55%
Bürohaus	22	16	-29%	150	116	-23%	64	-57%	104	-31%	48	-68%
Diverse Gebäudetechnik												
Schulhaus mit Turnhalle	5			1	1	-12%	1	-30%	1	-30%	1	-37%
Bürohaus	4			4	3	-25%	2	-39%	2	-41%	2	-50%

Quelle: TEP Energy

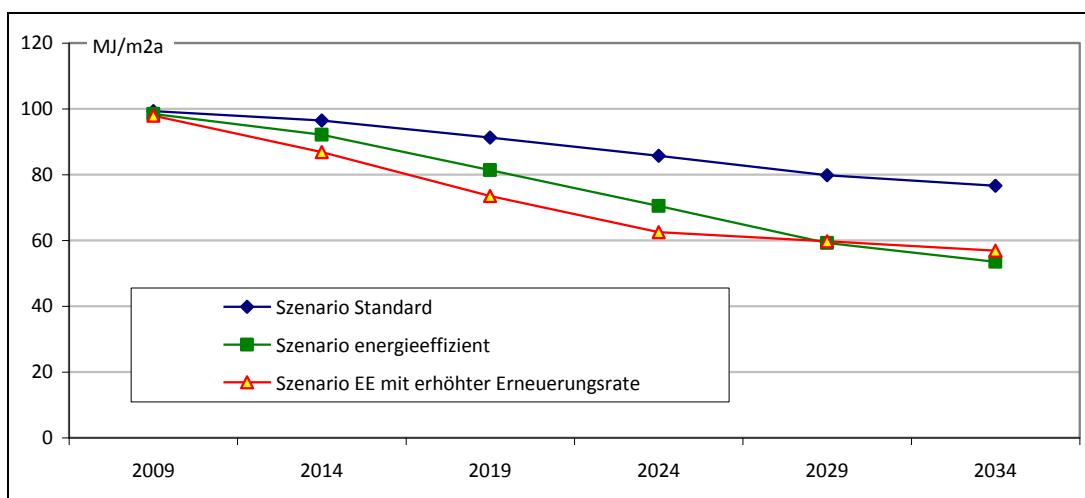
Wie sich unterschiedliche Effizienzpotentiale im Einzelfall sowie unterschiedliche Raten der Ausschöpfung auf die mittleren SEB auswirken, wird exemplarisch anhand der Figur 40 ersichtlich. Dieser liegen die Annahmen gemäss folgender Tabelle 14 zugrunde. In diesem exemplarischen Fallbeispiel wird davon ausgegangen, dass die SEB bei einer Erneuerung im Jahr 2009 im Referenzfall um gut 20 % und im Effizienz-Szenario um gut 50 % verbessert werden kann. Wird die Erneuerung später durchgeführt, erhöht sich die Verbesserung bzw. sinkt die SEB „nach Erneuerung“ annahmengemäss um 0.6 %/a.

Tabelle 14 Exemplarische Annahmen zur Abschätzung der Wirkung von Beleuchtungserneuerungen auf die mittleren SEB des Gebäudebestandes

		2008	2009	2014	2019	2024	2029	2034	2039
Ausgangslage	MJ/m ²	100							
Nach Erneuerung, Referenz	MJ/m ²	80	78	76	74	72	70	69	67
Nach Erneuerung, Effizienz-Szenario	MJ/m ²	50	49	48	46	45	44	43	42
Angenommene Erneuerungsraten									
Referenz-Szenario	%		3%	3%	4%	4%	4%	2%	1%
Effizienz-Szenario	%		3%	3%	4%	4%	4%	2%	1%
Effizienz-Szenario erhöhte Raten	%		4%	5%	5%	4%	1%	1%	1%

Quelle: TEP Energy

Es wird deutlich, dass langfristig weniger die Beschleunigung der Erneuerungsraten als vielmehr das Ausmass der Potentialausschöpfung relevant ist in Bezug auf die anhaltende Nachfragewirkung (Figur 40). Eine erhöhte Erneuerungsrate erhöht demnach eine raschere Absenkung, aber am Ende des Erneuerungszyklus befindet sich der Mittelwert des Gebäudestocks höher als bei nicht-beschleunigter Rate. Dies gilt, wenn bei den U-Werten von einem zeitlich gleichen Absenkpfad ausgegangen wird. In diesem Fall erhalten die tieferen U-Werte der späteren Erneuerungsperiode im Fall der unbeschleunigten Erneuerung ein entsprechend stärkeres Gewicht.



Quelle: TEP Energy (2009)

Figur 40 Exemplarische Darstellung der Entwicklung der spezifischen Energiebedarfswerte für Beleuchtung aufgrund von Erneuerungen im Referenz und im Effizienz-Szenario.

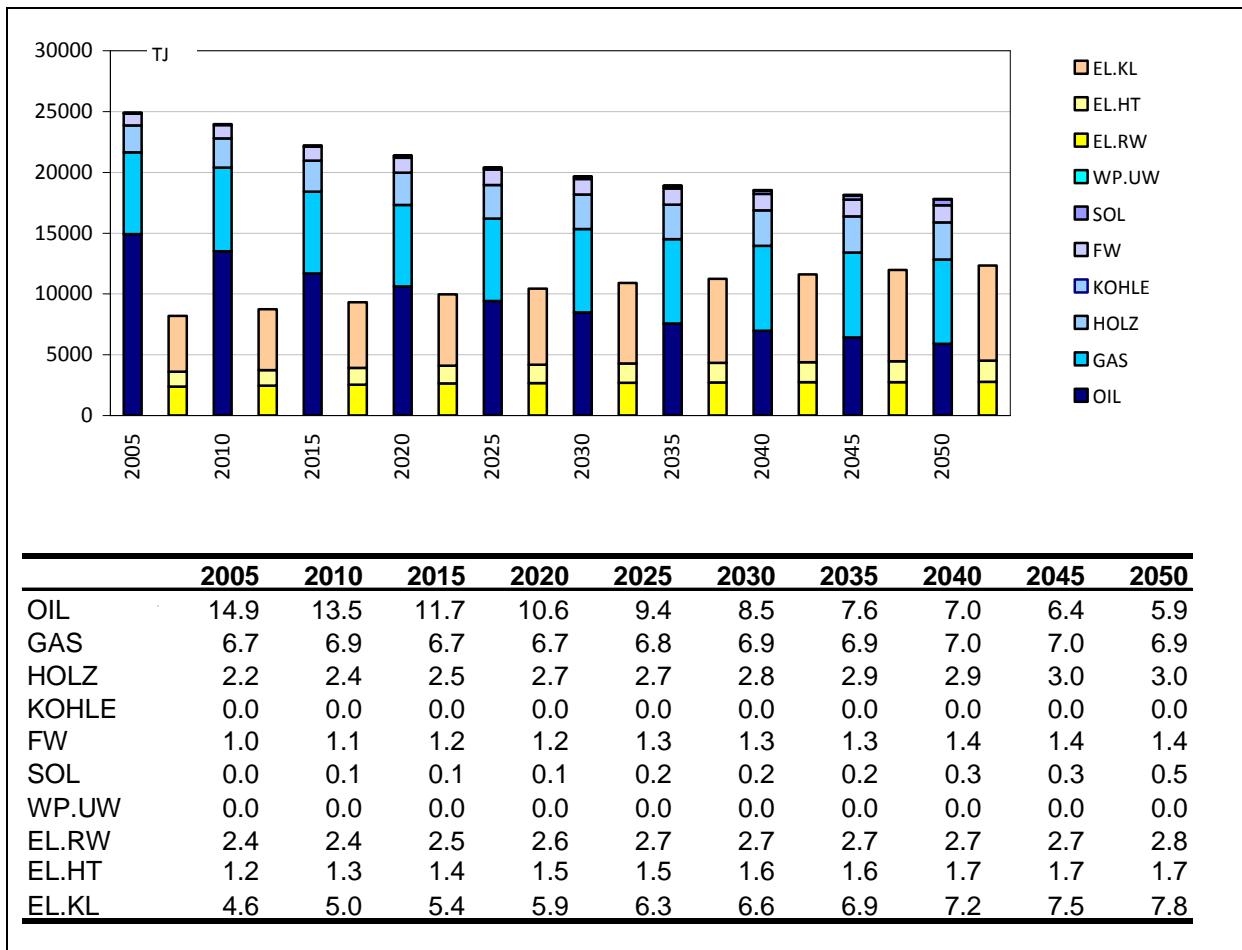
5. Ergebnisse Schulen und Bürogebäude

5.1 Endenergie

5.1.1 Raumklima

Die Modellrechnungen ergeben für die betrachteten Gebäudetypen Schulen und Bürogebäude eine gesamte Endenergiennachfrage für den Bereich Raumklima (Raumwärme, Lüftung und Kühlung inkl. „Hilfsenergie“ für Brenner, Pumpen etc.) von 33 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 10 % 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, erst zwischen 2020 und 2030 in etwa zu kompensieren. Erneuerungen von Lüftungsanlagen vermindern hierbei sowohl die Stromeffizienz als auch den Heizwärmebedarf durch angepasste Luftwechselraten, allgemein verbesserte Steuerung und Wärmerückgewinnung.

Für die Raumwärme wird innerhalb der Energieträger die strukturelle Änderung, welche bei Neubau und Bestand unterstellt wurde, ersichtlich: Gas, Holz, Umweltwärme aus Wärmepumpen und Wärmepumpenstrom werden zu Lasten von Öl relativ (und auch absolut) zunehmen (Figur 41).

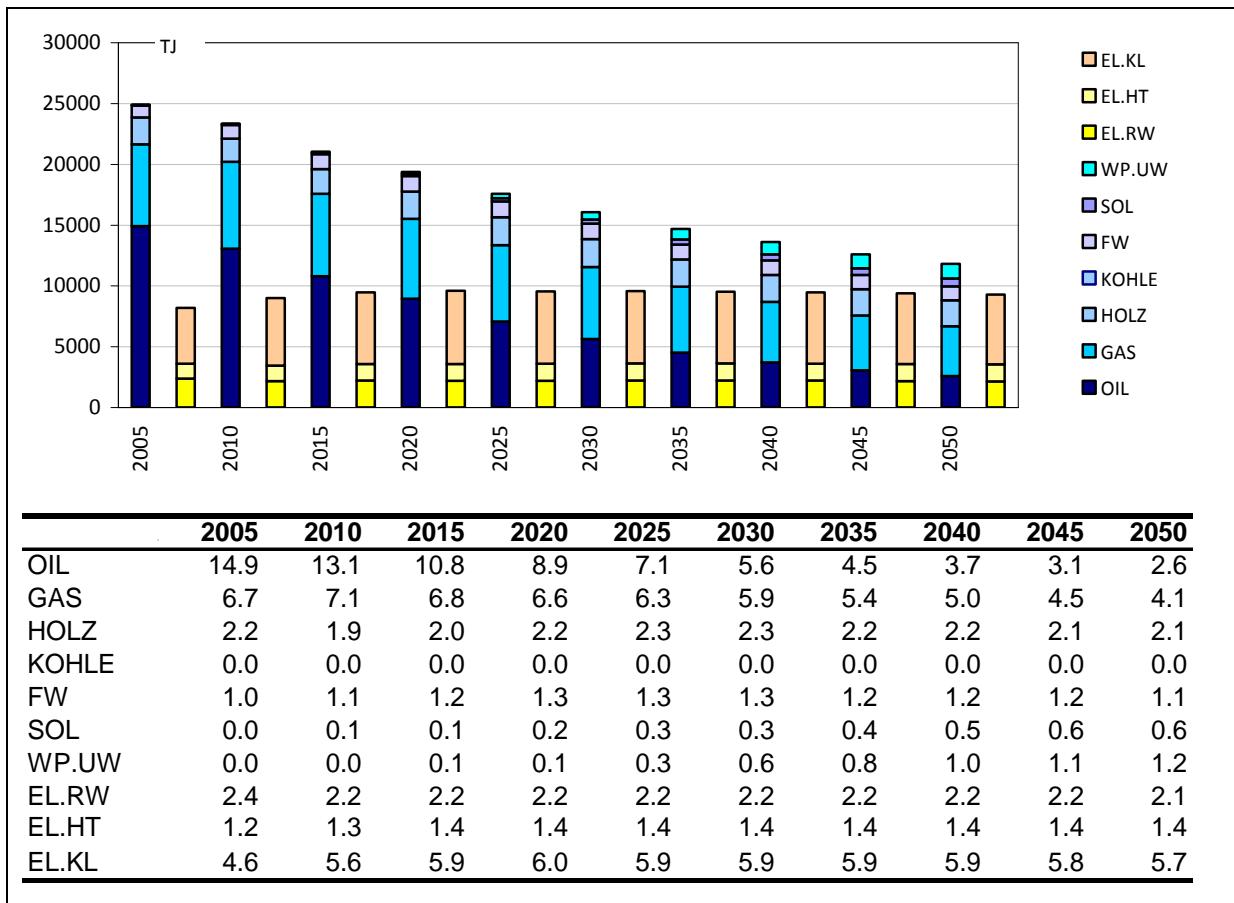


Quelle: TEP Energy

Figur 41 Gebäudebezogene Energienachfrage (TJ oben, PJ unten) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario für Raumklima

Im Effizienz-Szenario ist der Verlauf der gesamten Energienachfrage (ohne Gewichtung nach Energieträgern) der Büro- und Schulgebäude für Raumklima ab etwa 2015 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 42). Innerhalb der Energieträger ist die strukturelle Änderung deutlicher im Vergleich zum Referenz-Szenario. Umweltwärme aus Wärmepumpen und Wärmepumpenstrom nehmen im Zeitablauf stärker zu und die fossilen Energieträger nehmen stärker ab. Dies betrifft nach einer Übergangsphase auch Erdgas. Holz und Umweltwärme 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.

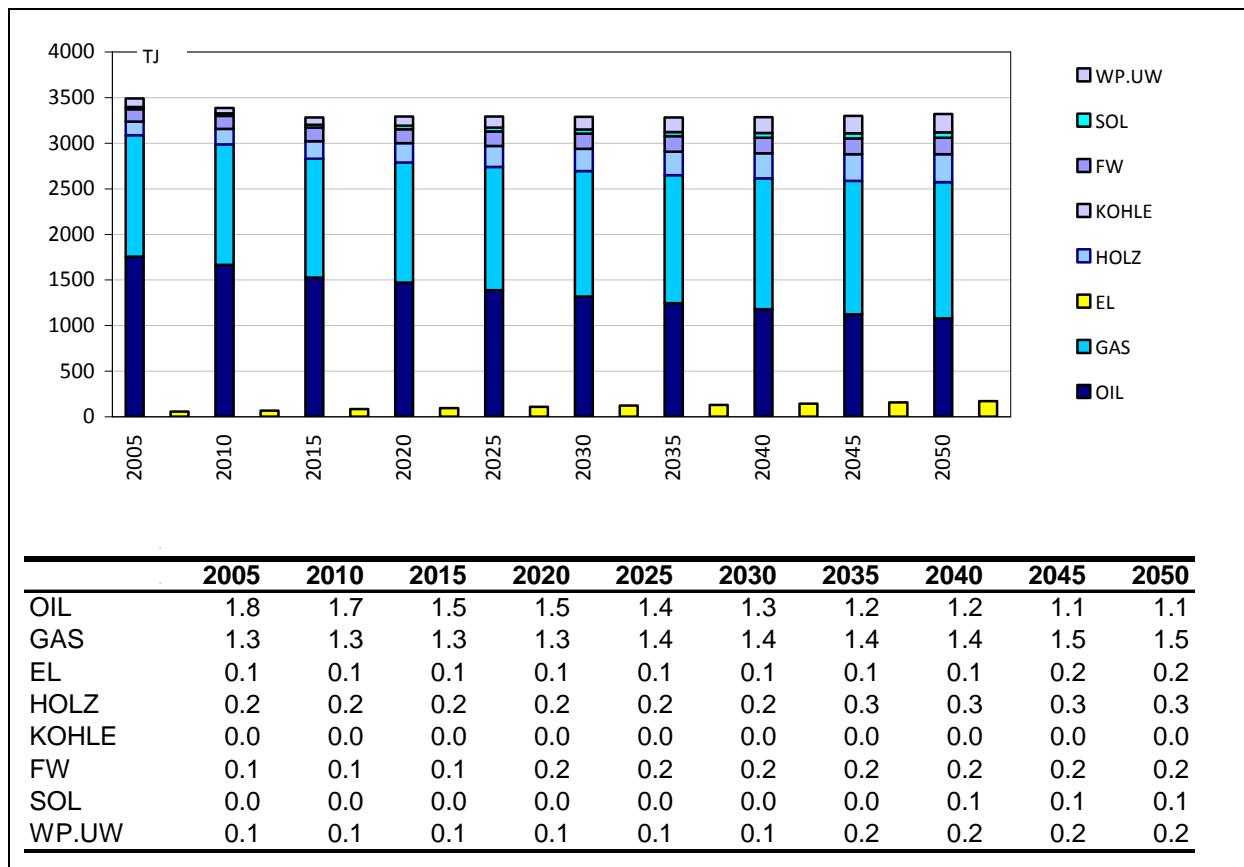


Quelle: TEP Energy

Figur 42 Gebäudebezogene Energienachfrage (TJ oben, PJ unten) von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario für Raumklima

5.1.2 Warmwasser

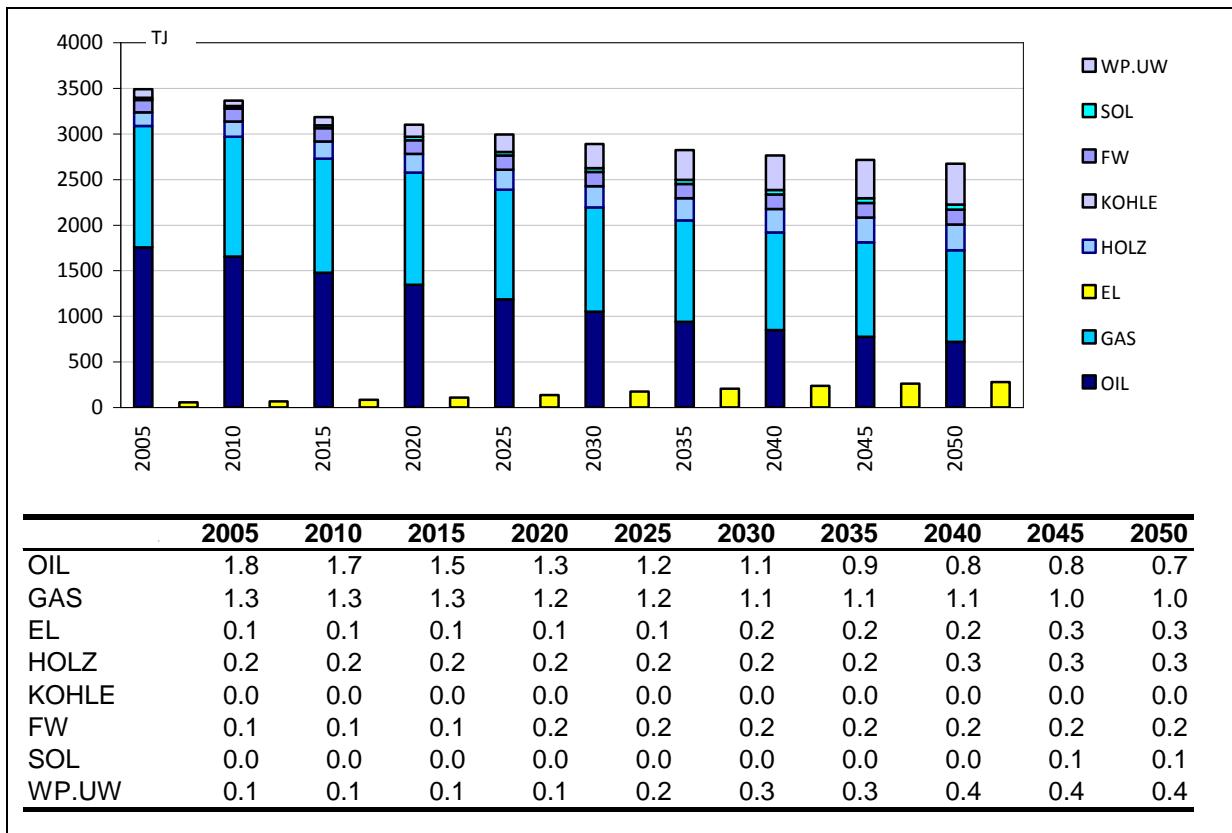
Der Energiebedarf für Warmwasser ist geringer im Vergleich zum Raumklima und beläuft sich auf rund 3,5 PJ. Auch beim Warmwasser ist im Referenz-Szenario ein nahezu konstanter Verlauf über die nächsten rund vierzig Jahre festzustellen. Diese ähnliche Entwicklung resultiert aufgrund ähnlicher Annahmen bzgl. der Strukturentwicklung der Energieträger.



Quelle: TEP Energy

Figur 43 Gebäudebezogene Energienachfrage (PJ) 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 annahmengemäss weniger ausgeprägt.

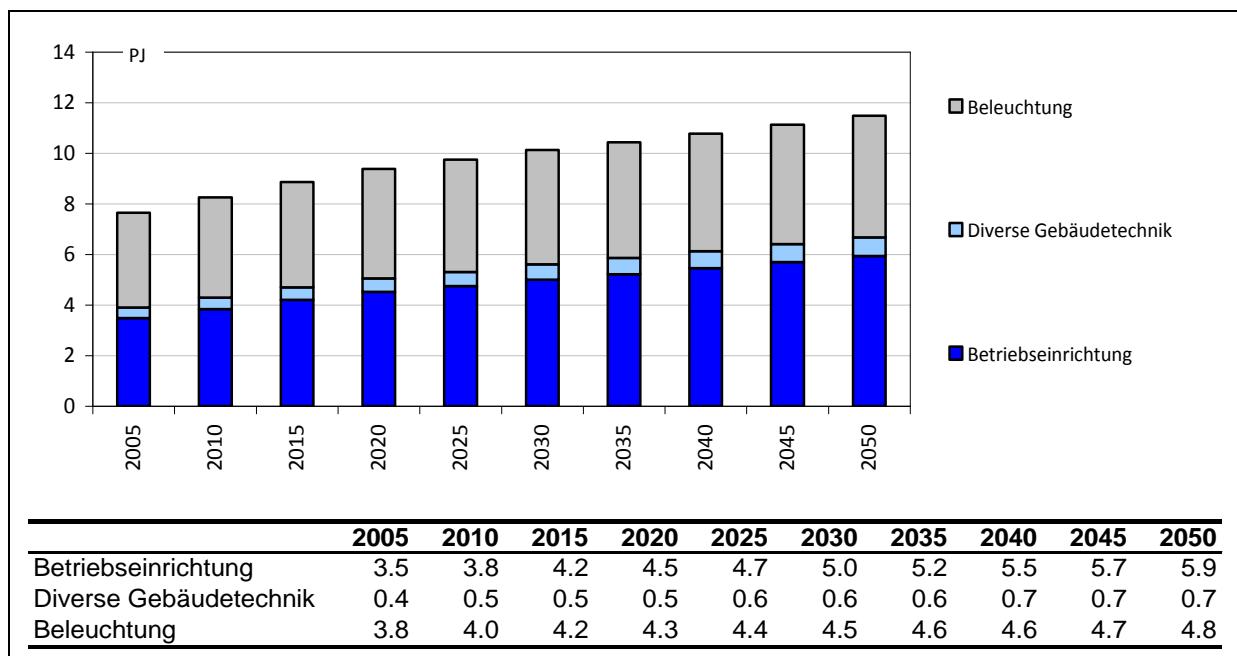


Quelle: TEP Energy

Figur 44 Gebäudebezogene Energienachfrage (PJ) von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario für Warmwasser

5.1.3 Beleuchtung, Betriebseinrichtungen und diverse Gebäudetechnik

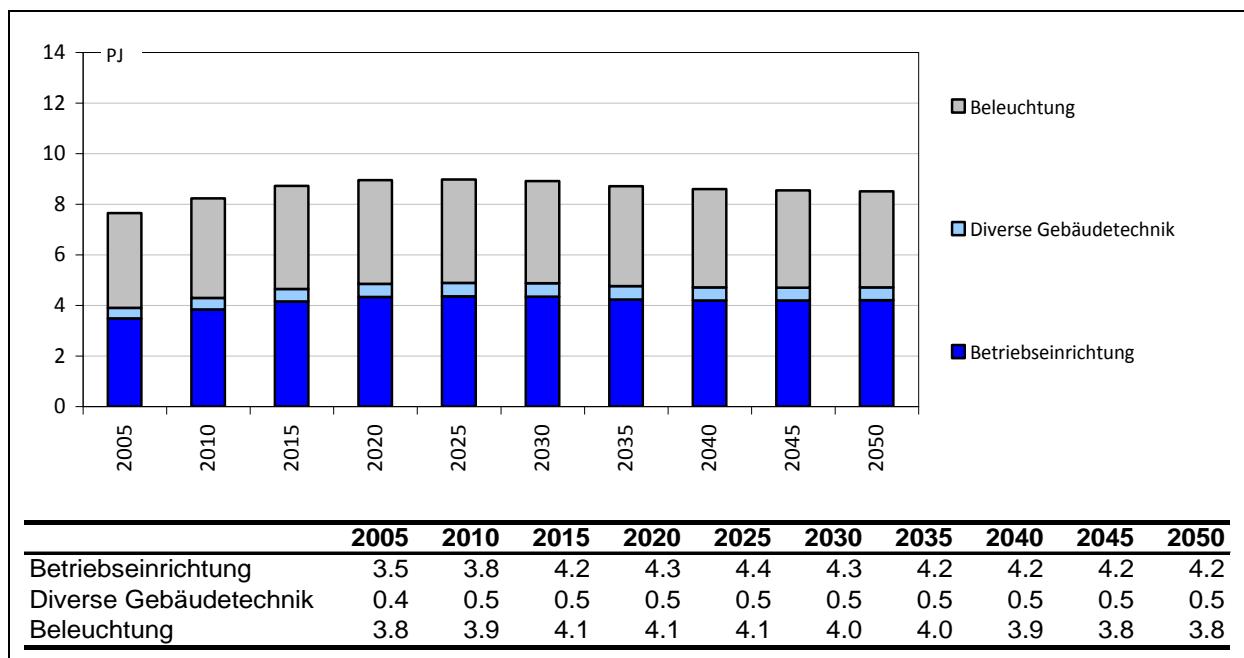
Der Strombedarf für Beleuchtung und Betriebseinrichtungen steigt im Referenz-Szenario von 7,6 PJ um rund 50 % auf 11,5 PJ an (Figur 45). Die zunehmende Effizienz vermag das Flächenwachstum sowie die zunehmende Mengenausdehnung der Betriebseinrichtungen nicht zu kompensieren. Die Bereiche Beleuchtung und Betriebseinrichtung sowie diverse Gebäudetechnik verhalten sich damit im Quervergleich zu den anderen Verwendungszwecken am dynamischsten und 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.



Quelle: TEP Energy

Figur 45 Stromnachfrage (PJ) 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 2025 mit p PJ den Höchstwert und geht bis 2050 wieder leicht auf 8,5 PJ zurück (Figur 46). Die Beleuchtung leistet zu diesem Ergebnis einen grösseren relativen und absoluten Beitrag als die übrigen hier angesprochenen Verwendungszwecke.



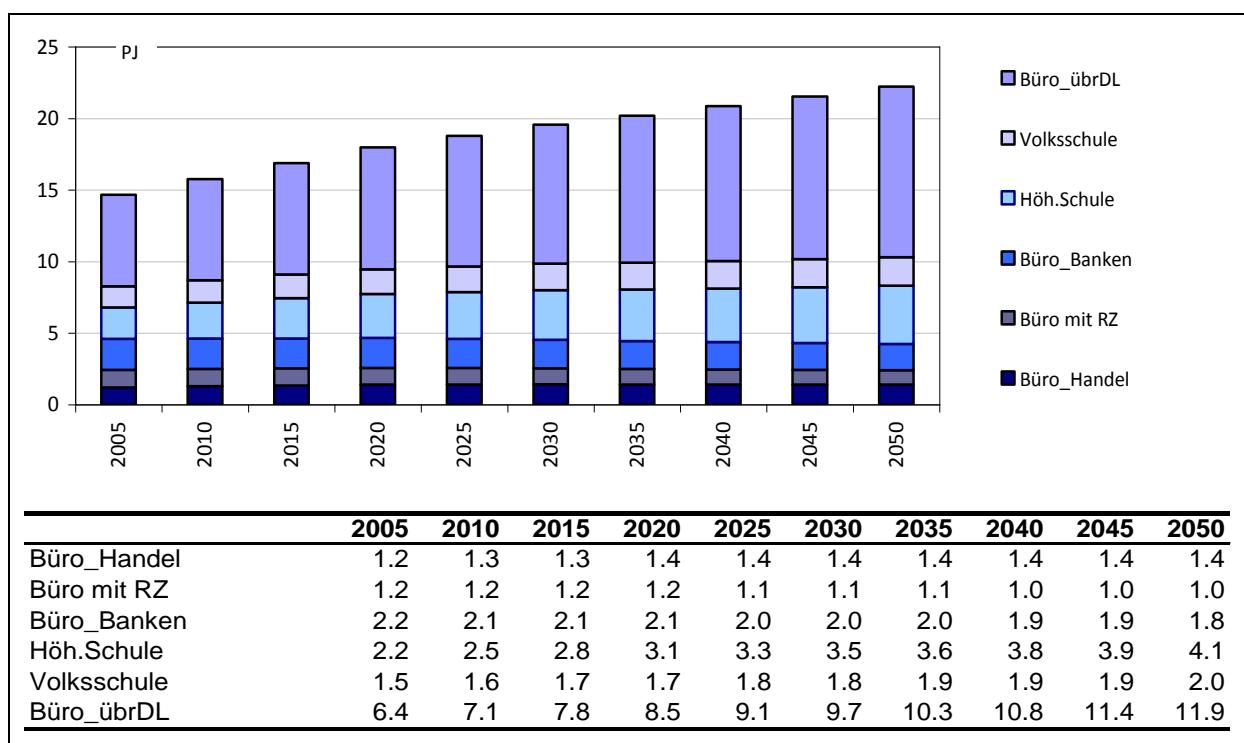
Quelle: TEP Energy

Figur 46 Stromnachfrage (PJ) für Beleuchtung und Betriebseinrichtungen von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario

5.1.4 Stromnachfrage nach Branche und Gebäudetyp

Im Referenz-Szenario steigt der gebäudebezogene Elektrizitätsbedarf der Büro- und Schulgebäuden gemäss den Modellrechnungen bis 2035 und darüber hinaus deutlich an (Figur 47). Für das Referenz-Szenario stimmen die Werte des TEP Modells für die Jahre 2005 und 2035 gut mit den Ergebnissen der BFE-Energieperspektiven überein (Aebischer et al. 2007).

In der Summe steigt der Strombedarf von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario im Vergleich zu den beiden anderen Sektoren relativ gesehen am stärksten an, nämlich von fast 15 PJ einen Drittel auf rund 20 PJ im Jahr 2035 und auf rund 22 PJ im Jahr 2050, was einem Plus von fast 50 % über die ganze Betrachtungsperiode entspricht. Im Gegensatz zum Haushaltsektor ist die Nachfragekurve auch am Ende der Periode noch ansteigend. Erklärt wird diese Entwicklung zum einen durch die stark steigende Energiebezugsfläche und zum anderen durch die weitere Diffusion von Energieanwendungen in den verschiedenen Gebäudetypen bzw. Dienstleistungsbranchen.



Quelle: TEP Energy

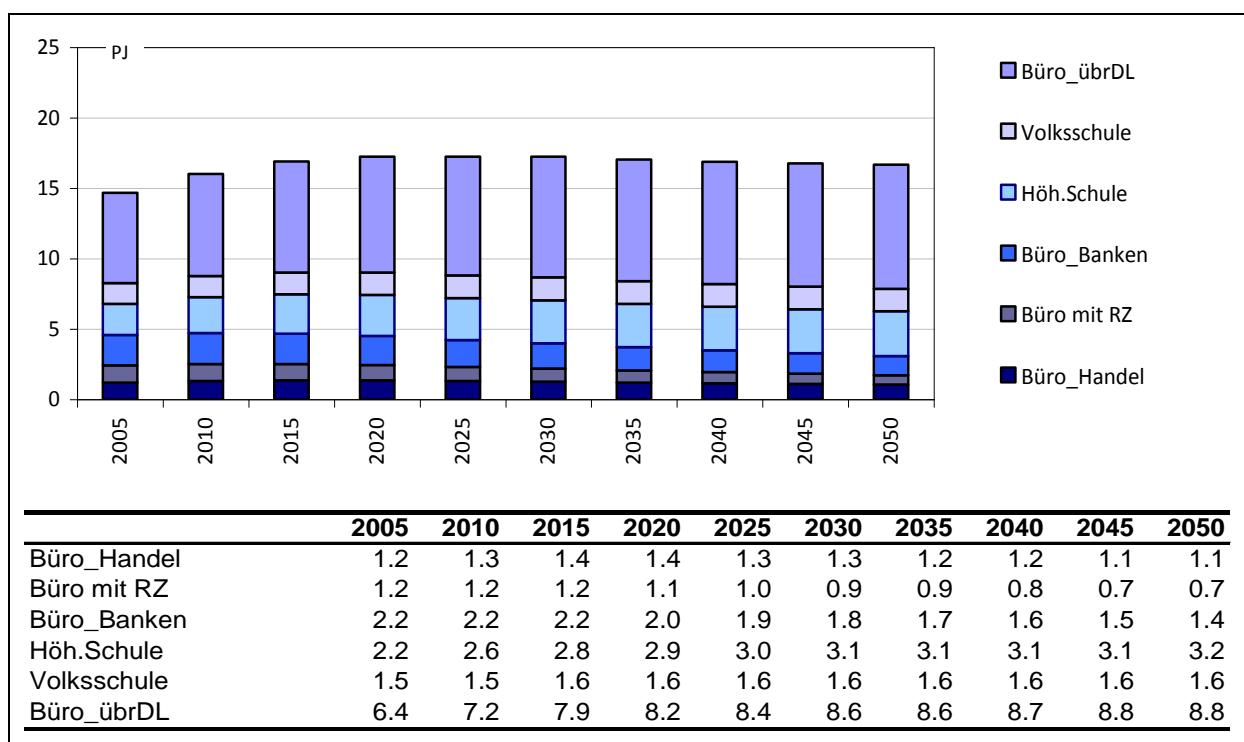
Figur 47 Gebäudebezogene Stromnachfrage (PJ) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario, gegliedert nach Branche bzw. Gebäudetyp.

Die Stromnachfrage bei Büro- und Schulgebäuden steigt im Effizienz-Szenario bis etwa 2025 weiterhin an, wenn auch weniger stark im Vergleich zur Referenz, nämlich von knapp 15 PJ auf etwa 17 PJ (+15 %), sinkt danach geringfügig und bleibt bis 2050 konstant. Verglichen mit dem Referenz-Szenario bedeutet dies netto eine zusätzliche Effizienzsteigerung von 15 % bis 2035 und von 23 % bis 2050, was etwa 0,5 % pro Jahr entspricht.

Diese Entwicklung wird wesentlich durch zusätzliche Effizienzgewinne in den Bereichen Raumkühlung, Lufterneuerung 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 Effi-

zienzpotenziale 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 48). 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.

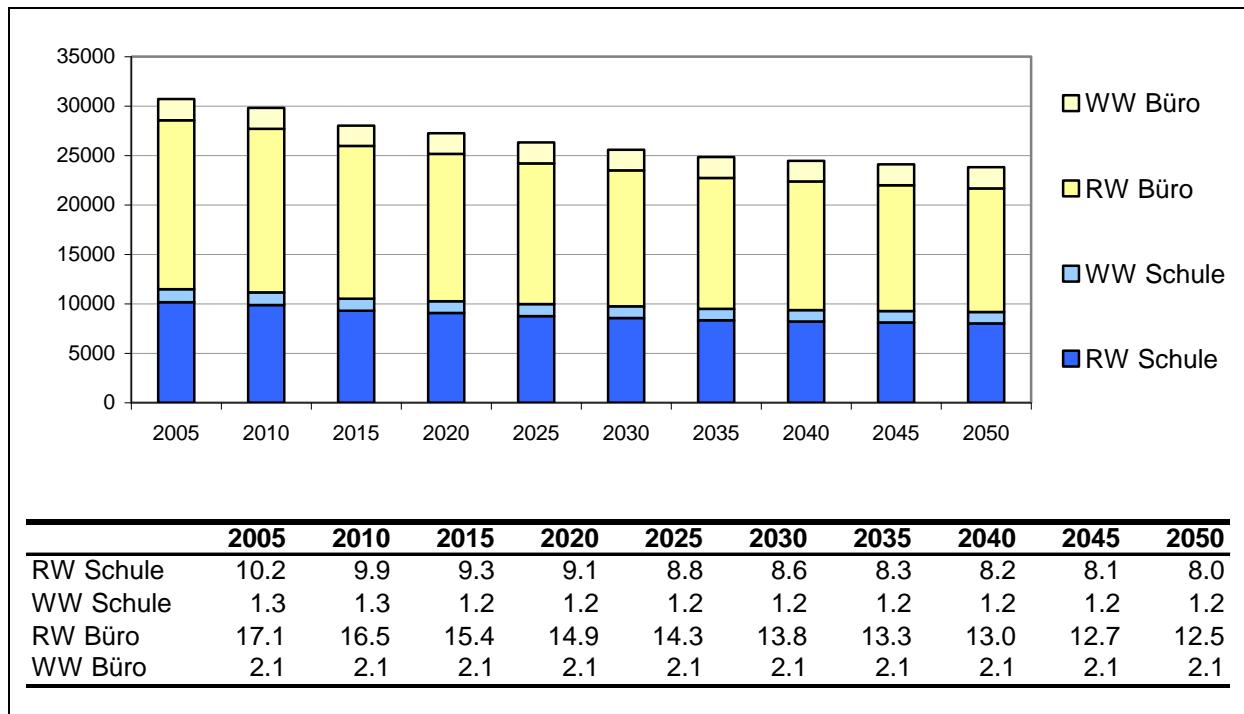


Quelle: TEP Energy

Figur 48 Gebäudebezogene Stromnachfrage (PJ) von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario, gegliedert nach Branche bzw. Gebäudetyp.

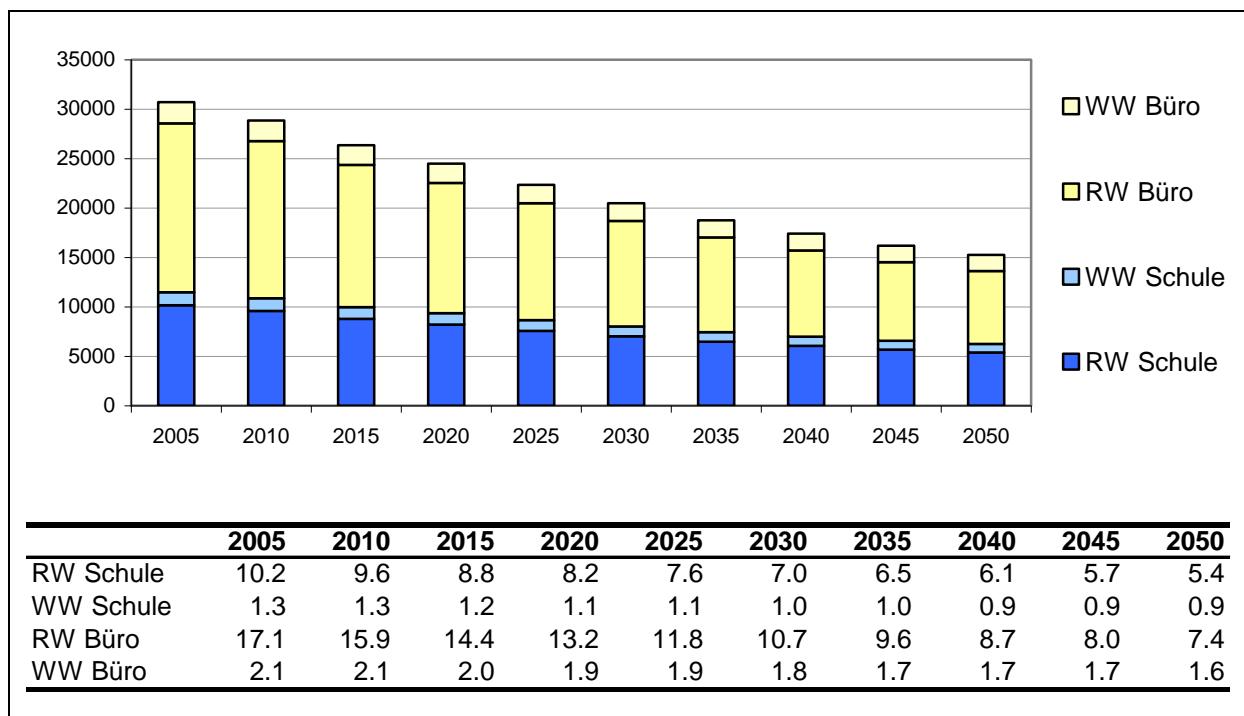
Die Summe der Endenergiennachfrage ohne Elektrizität ist in den Grafiken 50 und 51 dargestellt. Verwendet wird die Energie in den Bereichen Raumwärme und Warmwasser, wobei die Raumwärme über 85 % des Bedarfs bedingt. Die Bürogebäude bedürfen rund zwei Drittel dieser Energie, dies ist vor allem auf deren grösseren Flächenanteil zurückzuführen.

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



Quelle: TEP Energy

Figur 49 Gebäudebezogene Energienachfrage (PJ) ohne Strom von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario



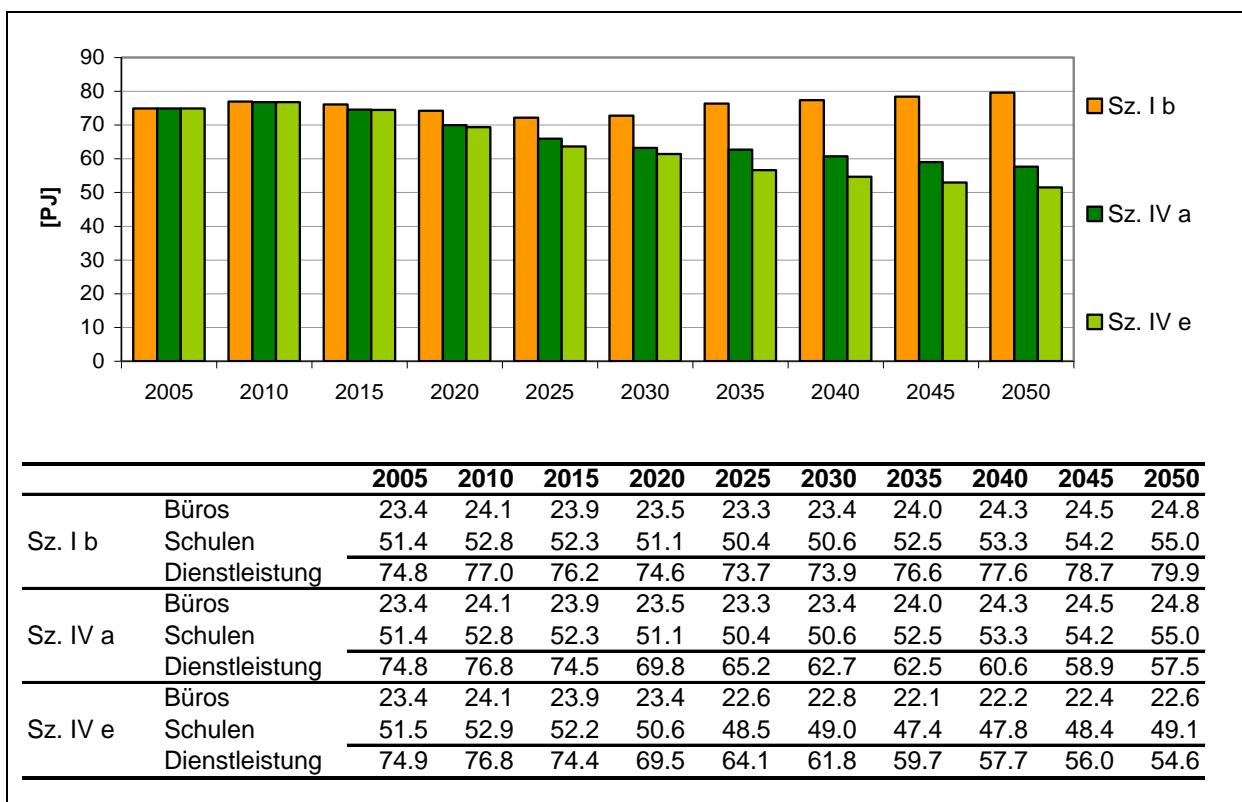
Quelle: TEP Energy

Figur 50 Gebäudebezogene Energienachfrage (PJ) ohne Strom von Büro- und Schulgebäuden im Effizienz-Szenario

5.2 Primärenergie

5.2.1 Primärenergienachfrage der Schul- und Bürogebäude im Total

Die Primärenergienachfrage ergibt sich durch eine Multiplikation der Endenergiennachfrage mit den Primärenergiefaktoren (siehe Anhang A). Im Referenz-Szenario mit dem BFE Strommix I b steigt der Primärenergiebedarf der Schul- und Bürogebäude im Zeitablauf von 2005 bis 2050 um rund 7 % von 75 PJ auf 80 PJ pro Jahr (Figur 51). Im Effizienz-Szenario mit dem Strommix IV e nimmt der Primärenergiebedarf um von 75 PJ auf 51 PJ ab. Dies entspricht einer Reduktion um rund ein Drittel.



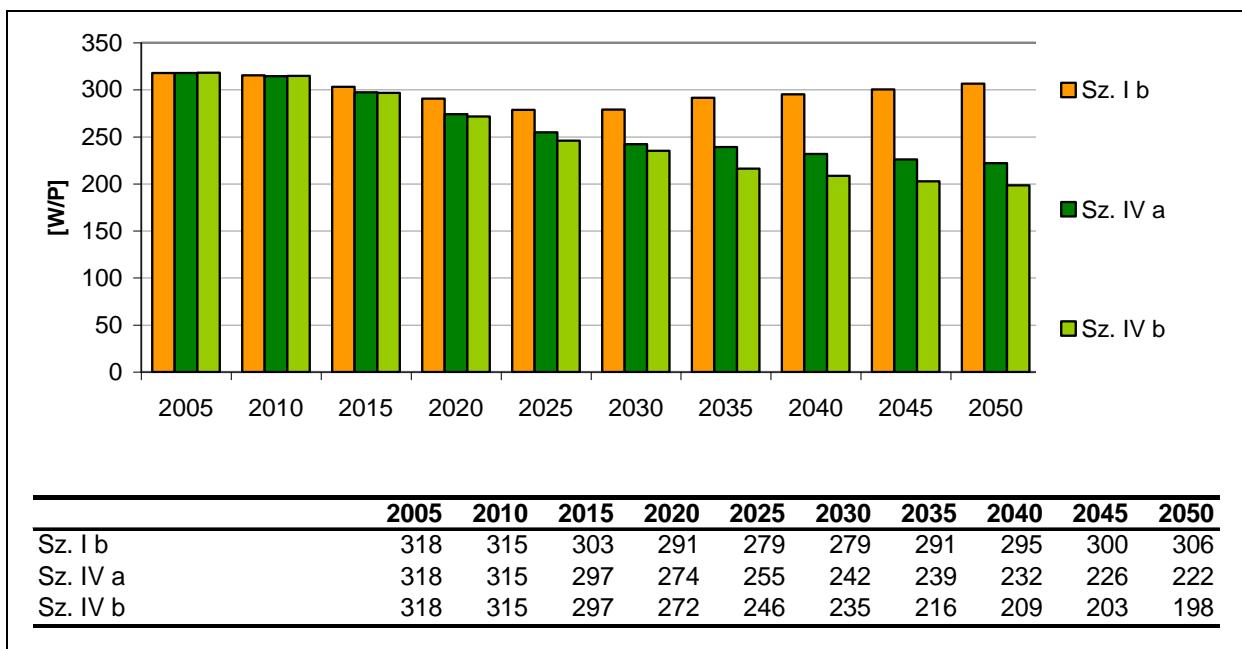
Quelle: TEP Energy

Figur 51 Primärenergiebedarf (PJ) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario (orange) und im Effizienz-Szenario (grün) für drei BFE-Strommixszenarien

Umgerechnet auf die Dauerleistung pro Einwohner entspricht der Primärenergiebedarf im Jahr 2005 einer Leistung von 318 Watt pro Kopf.⁵ Die relative Veränderung im Zeitablauf entspricht nicht der relativen Veränderung der Gesamtenergiennachfrage. Anfangs nimmt die nachgefragte Dauerleistung pro Kopf auch im Referenz-Szenario klar ab (Figur 52). Dies gründet auf der projektierten Entwicklung der Schweizer Bevölkerung, welche bis zu einem gewissen Mass unabhängig von den Entwicklungen im Büro- und Schulbereich ist. Das starke Bevölkerungswachstum bis 2035 (+11 %) führt zu einer Abnahme der spezifischen Dauerleistung. Ab 2035 ist das Bevölkerungswachstum leicht rückläufig bei steigendem Energiebedarf und führt folgend zu einem Anstieg der Primärenergienachfrage des Büro- und Schulbereichs pro Kopf der Bevölkerung. Im Jahr 2050 erreicht die Dauerleistung im Referenz-Szenario nahezu den Ausgangswert von 2005. Im Effizienz-Szenario kann die Dauerleistung um über 100 Watt auf rund 200 Watt/Person gesenkt werden.

⁵ Hinweis: der Primärenergie wird auf die gesamte Einwohnerzahl der Schweiz bezogen und NICHT auf die Nutzenden dieser Gebäude.

Die Unterscheidung zwischen Bürogebäuden und Schulhäusern ist im Synthesekapitel in Figur 73 ersichtlich.



Quelle: TEP Energy

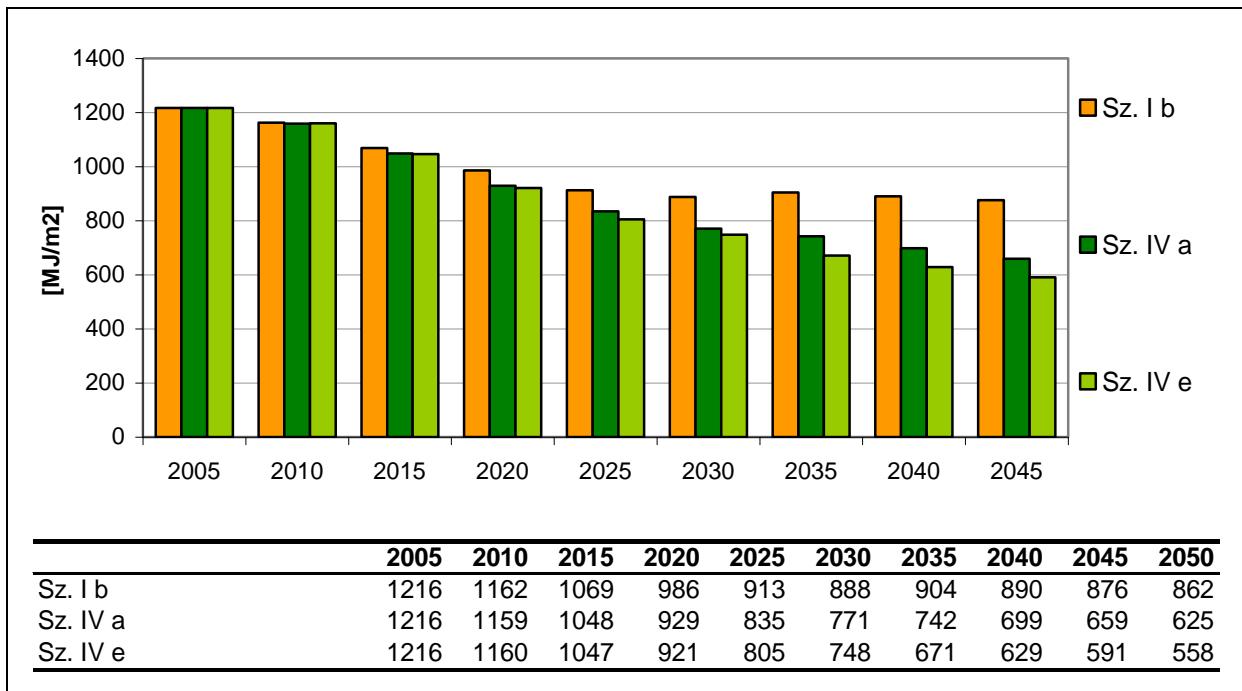
Figur 52 Spezifische Dauerleistung (Watt/Person) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario (orange) und im Effizienz-Szenario (grün) für drei BFE-Strommixszenarien

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 ein sinkender spezifischer Energiebedarf durch die steigende Effizienz erkennbar, bis zum Jahr 2030 sinkt dieser um über 25 % auf 888 MJ/m² (Figur 53). Die Absenkung findet trotz der steigenden Diffusion von Energiedienstleistungen wie z.B. den Betriebseinrichtungen statt. Die steigende Effizienz wird jedoch durch das starke Mengenwachstum überkompensiert und führt im Jahr 2050 trotz eines Rückganges des spezifischen Bedarfs um 30 % zu einer Zunahme des absoluten Bedarfs von 7 % (siehe Figur 51 weiter oben).

Zum anderen werden die ambitionierten Annahmen des Effizienz-Szenarios ersichtlich. Der spezifische Primärenergiebedarf sinkt um etwa 55 % von 1216 MJ/m² auf 558 MJ/m². Diese Absenkung findet wiederum trotz der zusätzlichen Diffusion der Energiedienstleistungen statt.

In der Figur 70 im Synthesekapitel wird der Primärenergiebedarf pro Fläche nach Schulhäusern und Bürogebäuden separat ausgewiesen.



Quelle: TEP Energy

Figur 53 Spezifischer Primärenergiebedarf (MJ/m²) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario (orange) und im Effizienz-Szenario (grün) für drei BFE-Strommixszenarien

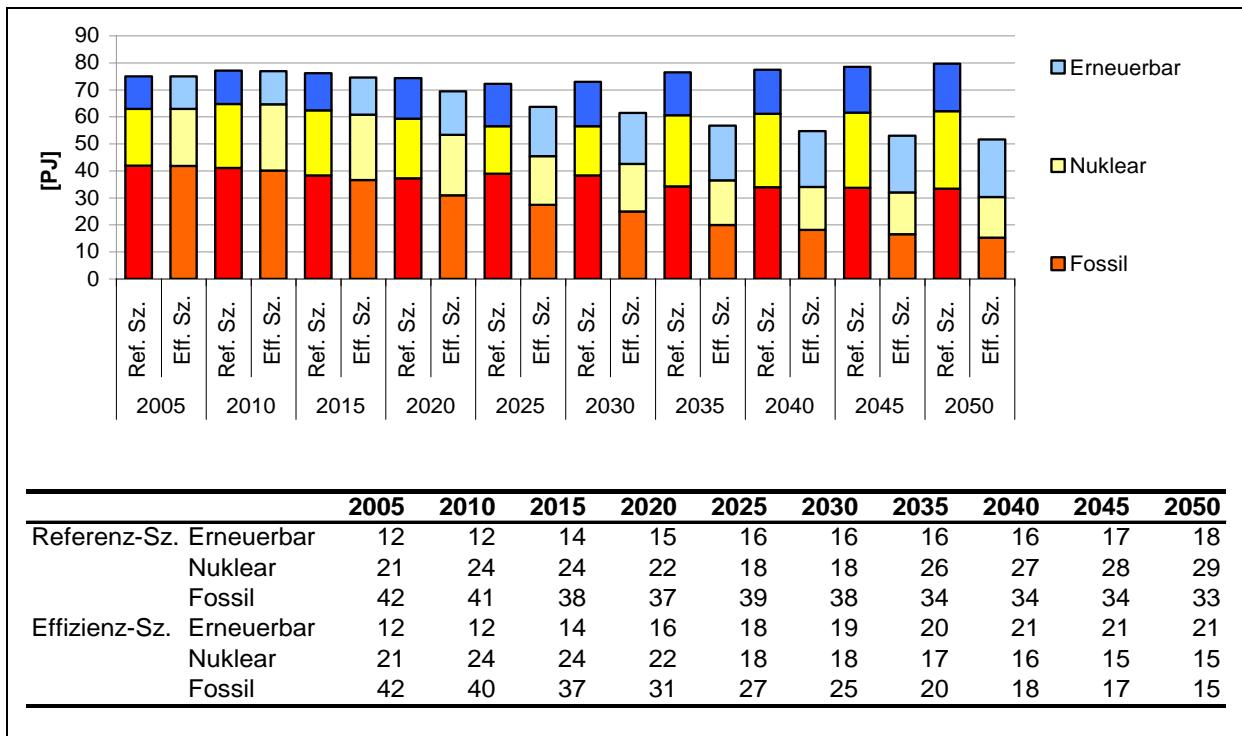
5.2.2 Primärenergie nach Art der Energieträger

In den nachfolgenden Figuren ist der Primärenergiebedarf nach Art des Primärenergieträgers (fossil, nuklear oder erneuerbar) ausgewiesen. Für das Referenz-Szenario ist der Strommix I b und für das Effizienz-Szenario der Strommix IV e des BFE angenommen.

Der fossile Anteil beträgt im Basisjahr 2005 gut die Hälfte. Der Rest, also knapp die Hälfte, entfällt auf die Primärenergieträger nukleare und erneuerbare Quellen. Diese Quellen entsprechen in etwa dem Anteil der Primärenergie, welcher der Stromnachfrage zugeordnet werden kann.

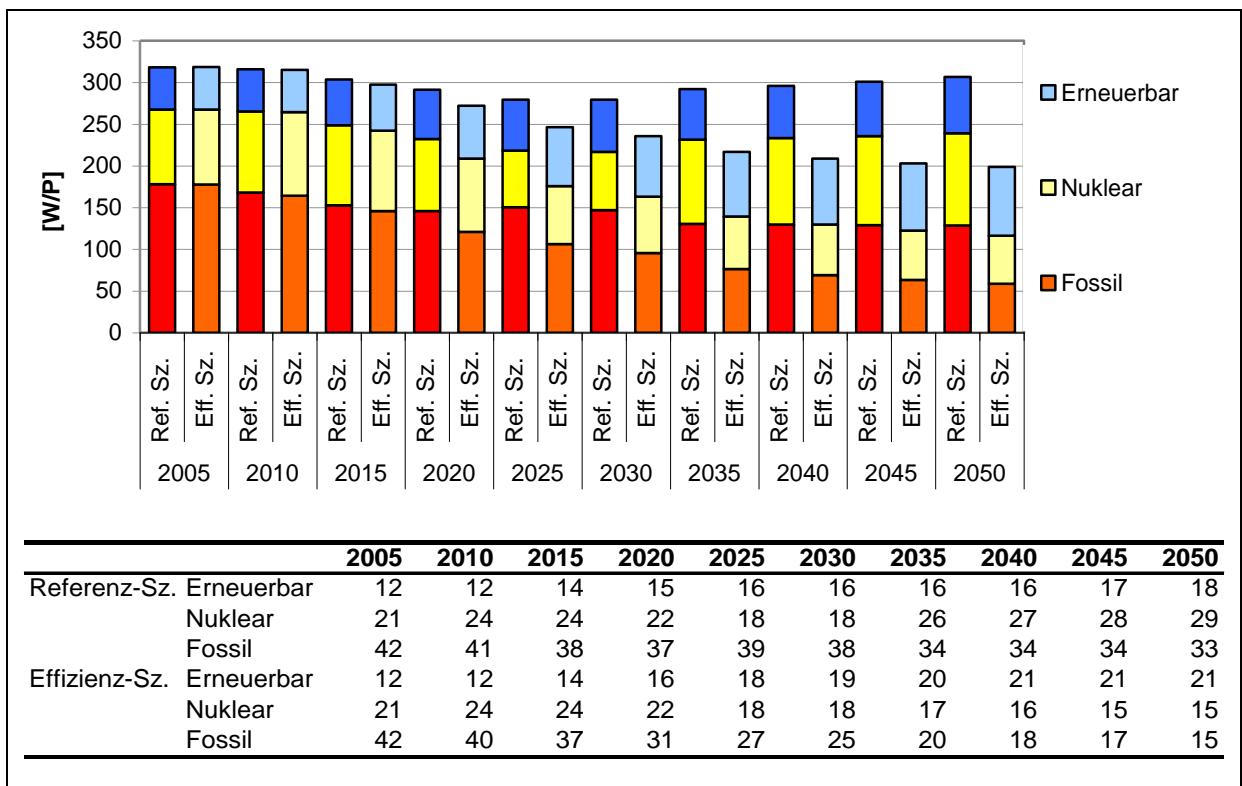
In beiden Szenarien ergibt sich, dass sich der Anteil fossiler Energieträger reduzieren wird (Figur 54). Im Szenario I b um rund 22 % und in den Szenarien VI e sogar um 64 %. Im Referenz-Szenario wird ein Anstieg des nuklearen Stroms von 38 % verzeichnet. Im Gegensatz dazu sinkt der Nuklearstrom im Effizienz-Szenario (Strommix-Variante E) um etwa denselben Anteil. 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 55).



Quelle: TEP Energy

Figur 54 Primärenergiebedarf (PJ) der Schul- und Bürogebäude im Referenz-Szenario und im Effizienz-Szenario, gegliedert nach Primärenergieträger



Quelle: TEP Energy

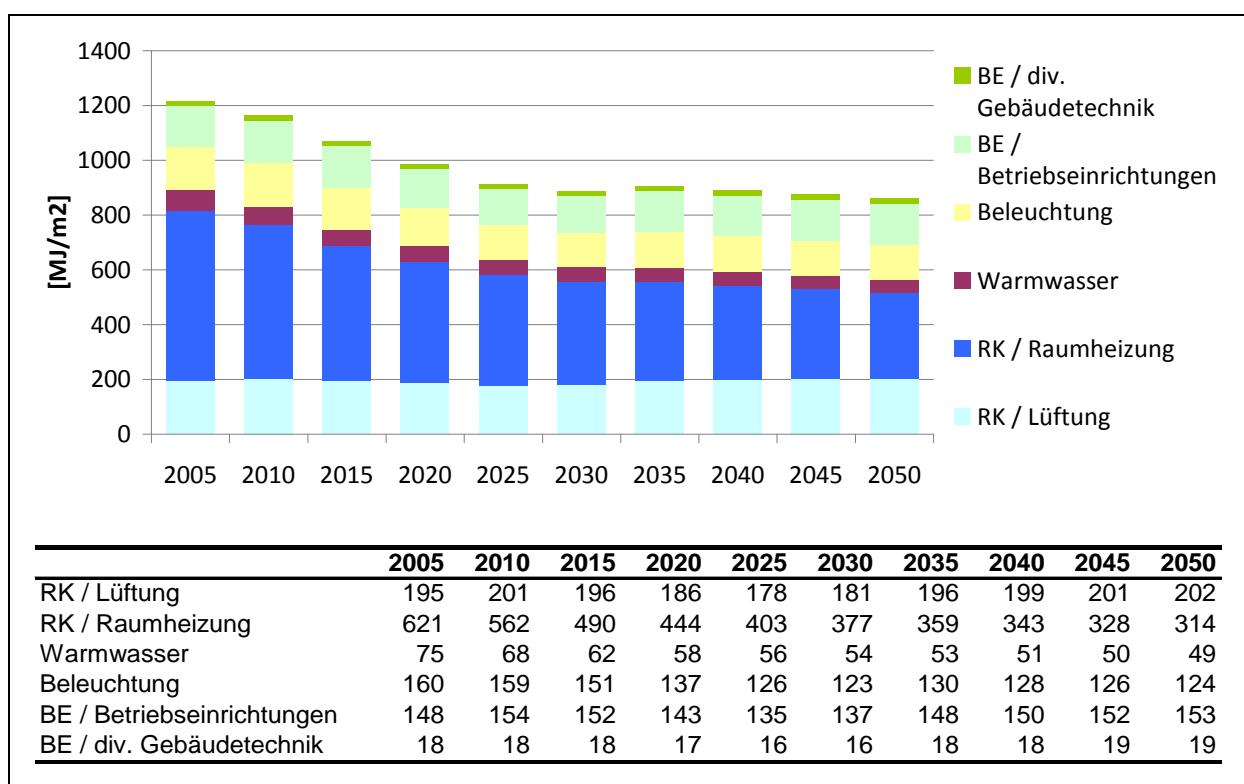
Figur 55 Spezifische Dauerleistung (Watt/Person) der Schul- und Bürogebäude im Referenz-Szenario und im Effizienz-Szenario, gegliedert nach Primärenergieträger

5.2.3 Primärenergiebedarf nach Verwendungszweck

Im Referenz-Szenario ergeben sich über zwei Drittel der flächenspezifischen Primärenergie-nachfrage durch den Verwendungszweck Raumklima (Raumheizung und Lüftung). Die Betriebseinrichtungen und die Beleuchtung machen je rund 13 % der Primärenergie-nachfrage aus, während Warmwasser nur zu rund 6 % 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 gewinnen die Lüftungen und die Betriebseinrichtung relativ und absolut gesprochen an zusätzlicher Bedeutung (Figur 56). 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 stark zurück. Im Jahr 2050 macht der strombedingte Primärenergiebedarf einen Anteil von rund 400 von rund 760 MJ/m² aus.

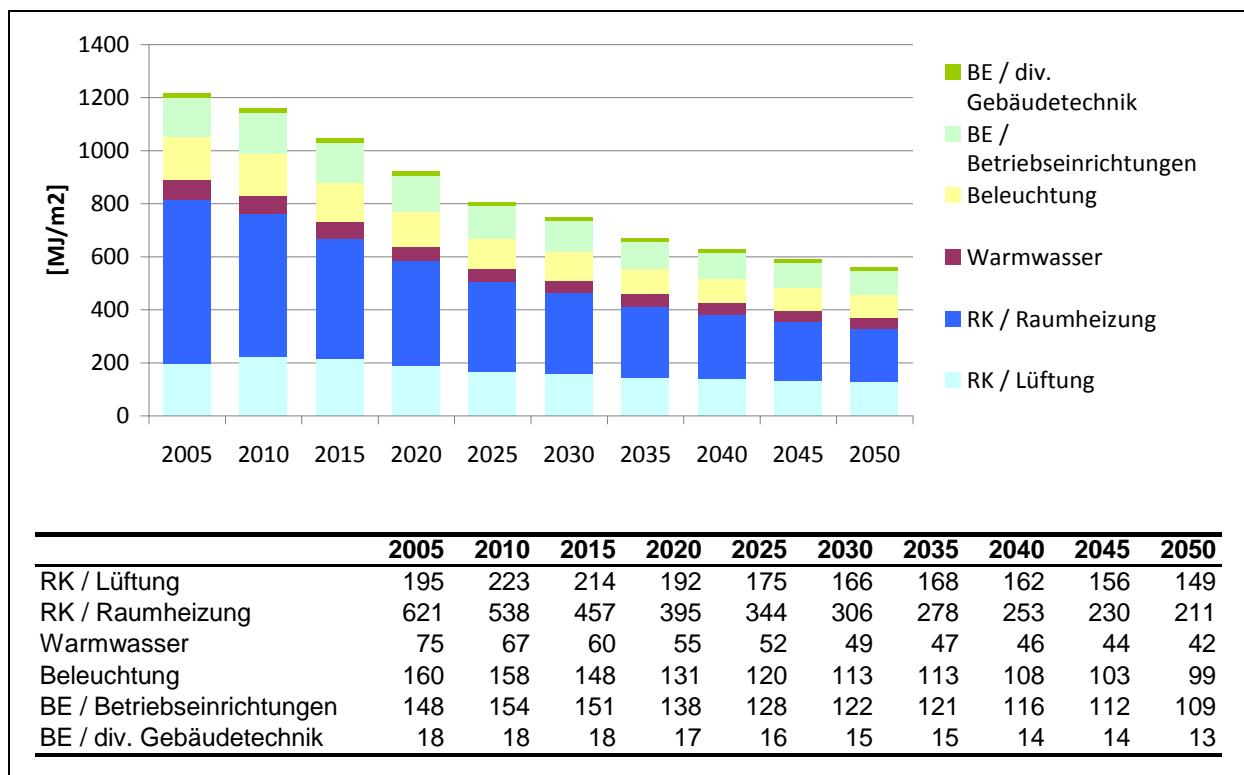
Einen Überblick über den spezifischen Primärenergiebedarf von Schulen, Büros und Wohnungen findet sich im Synthesekapitel in Figur 69 (Referenz-Szenario) und Figur 70 (Effizienz-Szenario).



Quelle: TEP Energy

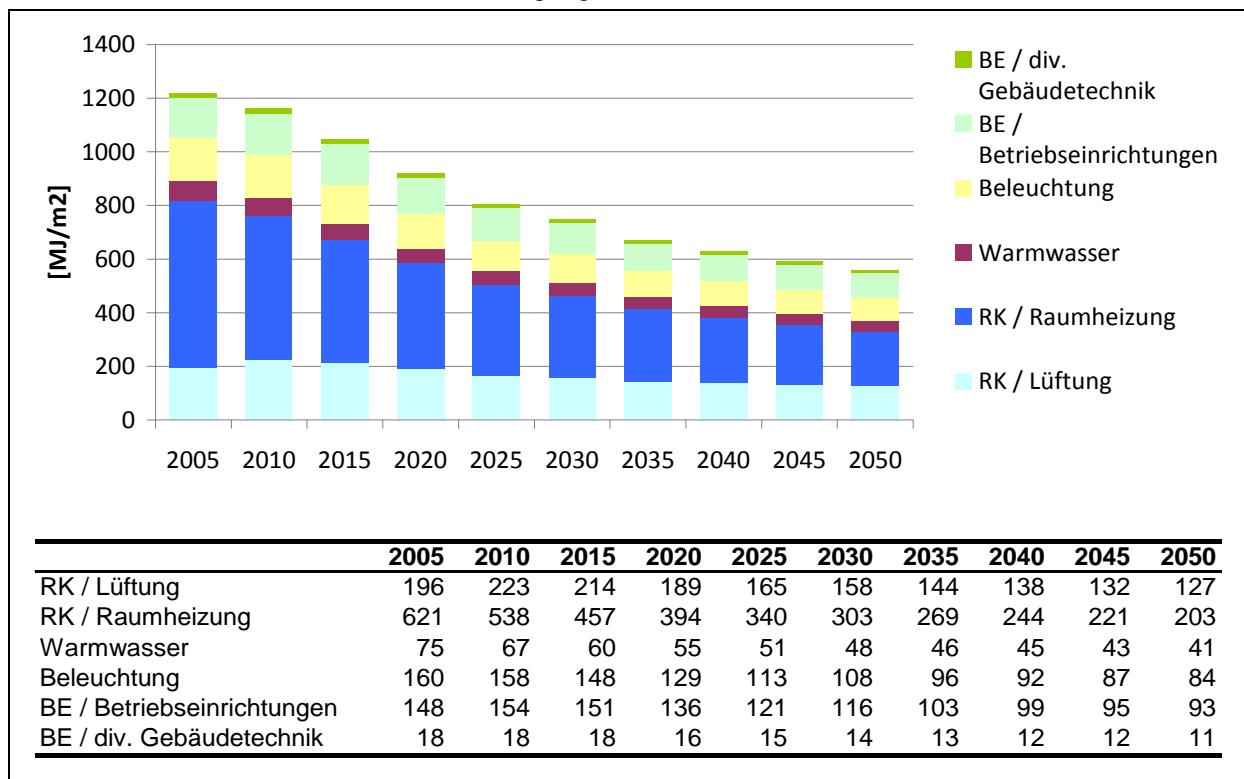
Figur 56 Spezifischer Primärenergiebedarf (MJ/m²) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Referenz-Szenario (Primärenergiefaktoren gemäss Mix des BFE-Szenario I, Stromversorgungsvariante B)

Im Effizienz-Szenario sind qualitativ dieselben Trends und Entwicklungen zu erkennen (siehe Figur 57 für BFE-Szenario IV a, Figur 58 für BFE-Szenario IV e). Hervorzuheben sind die noch höheren Effizienzgewinne im Bereich Raumheizung. Die Primärenergienachfrage für Raumheizung sinkt um über zwei Drittel bis zum Jahr 2050 und damit überproportional. Im Total sinkt die spezifische Primärenergienachfrage um rund 55 %, d.h. um mehr als die Hälfte.



Quelle: TEP Energy

Figur 57 Spezifischer Primärenergiebedarf (MJ/m²) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Effizienz-Szenario mit Primärenergiefaktoren gemäss Mix des BFE-Szenario IV, Stromversorgungsvariante A



Quelle: TEP Energy

Figur 58 Spezifischer Primärenergiebedarf (MJ/m²) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Effizienz-Szenario mit Primärenergiefaktoren gemäss Mix des BFE-Szenario IV, Stromversorgungsvariante E

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

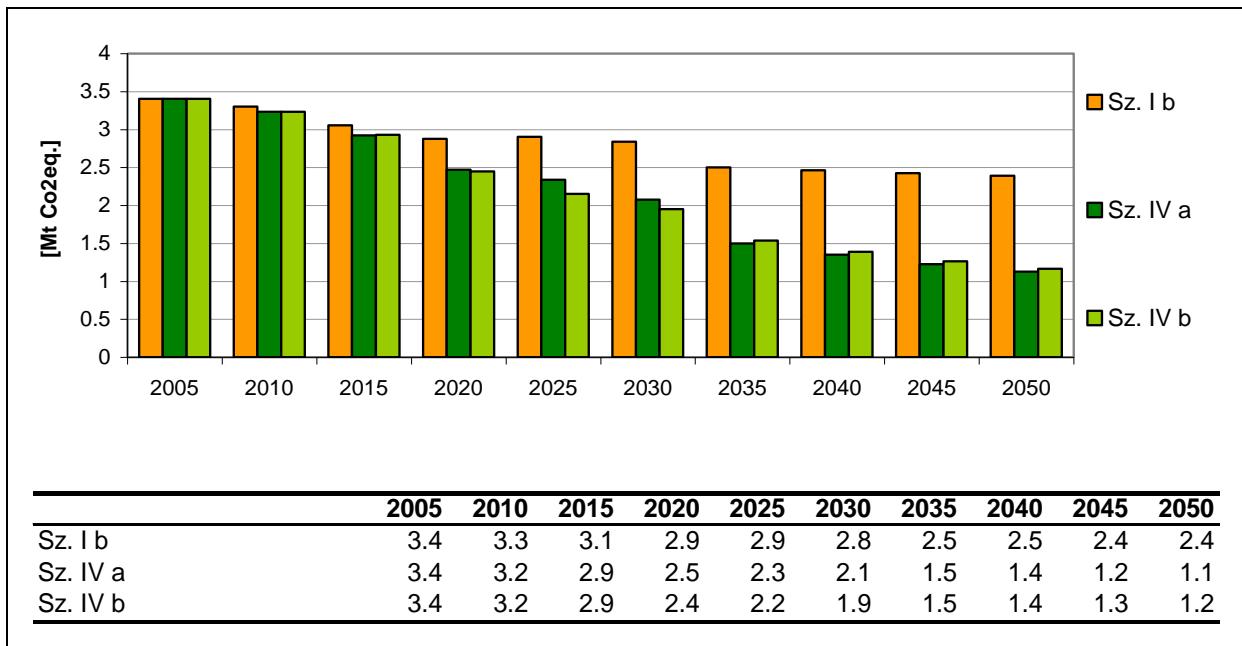
5.3.1 Treibhausgasemissionen im Total

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 30% zurück, dies trotz des Primärenergieanstiegs von rund 7%. Dies ist strukturell bedingt und liegt in der Substitution von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energien 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 3.4 Mt um 65 % auf ein Niveau von noch 1.1 Mt, respektive 1.2 Mt. Entscheidend sind hierbei sowohl die Reduktion der Primärenergie um rund 30 % (siehe Figur 54) als auch die Reduktion der Treibhausgas-Intensität der eingesetzten Primärenergie, namentlich auch des Stroms: in der Variante e des BFE-Szenario IV 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 75 im Synthesekapitel gibt zusätzlich noch Angaben über die Treibhausgasemissionen aufgeteilt nach Wohnen, Schulen und Büro.



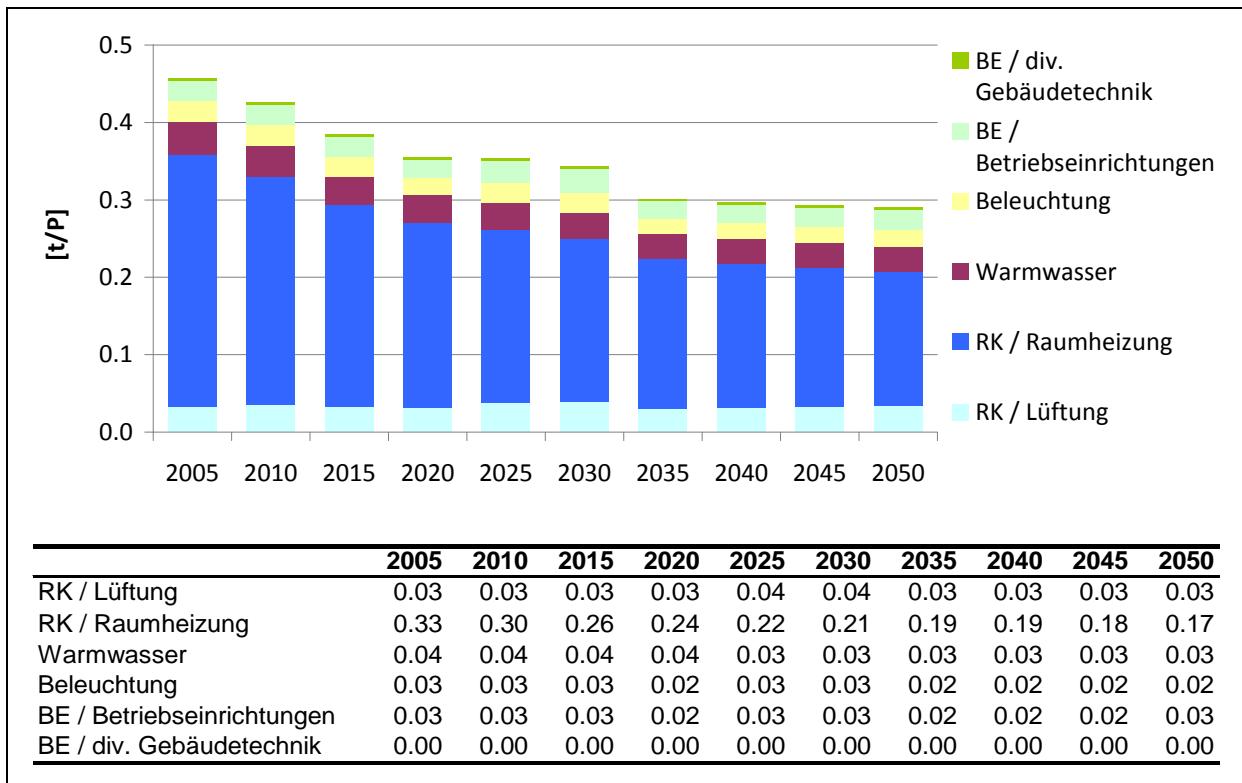
Quelle: TEP Energy

Figur 59 Treibhausgasemissionen (Mt CO₂-äq.) von Büro- und Schulgebäuden im Referenz-Szenario (orange) und im Effizienz-Szenario (grün) für drei BFE-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 0,46 t/Kopf. Im Referenz-Szenario nehmen die Treibhausgasemissionen um 40 % auf 0,28 t/Kopf ab. Energieanwendungen, welche Elektrizität nutzen, haben einen relativ geringeren Anteil an den Treibhausemissionen (Figur 60).

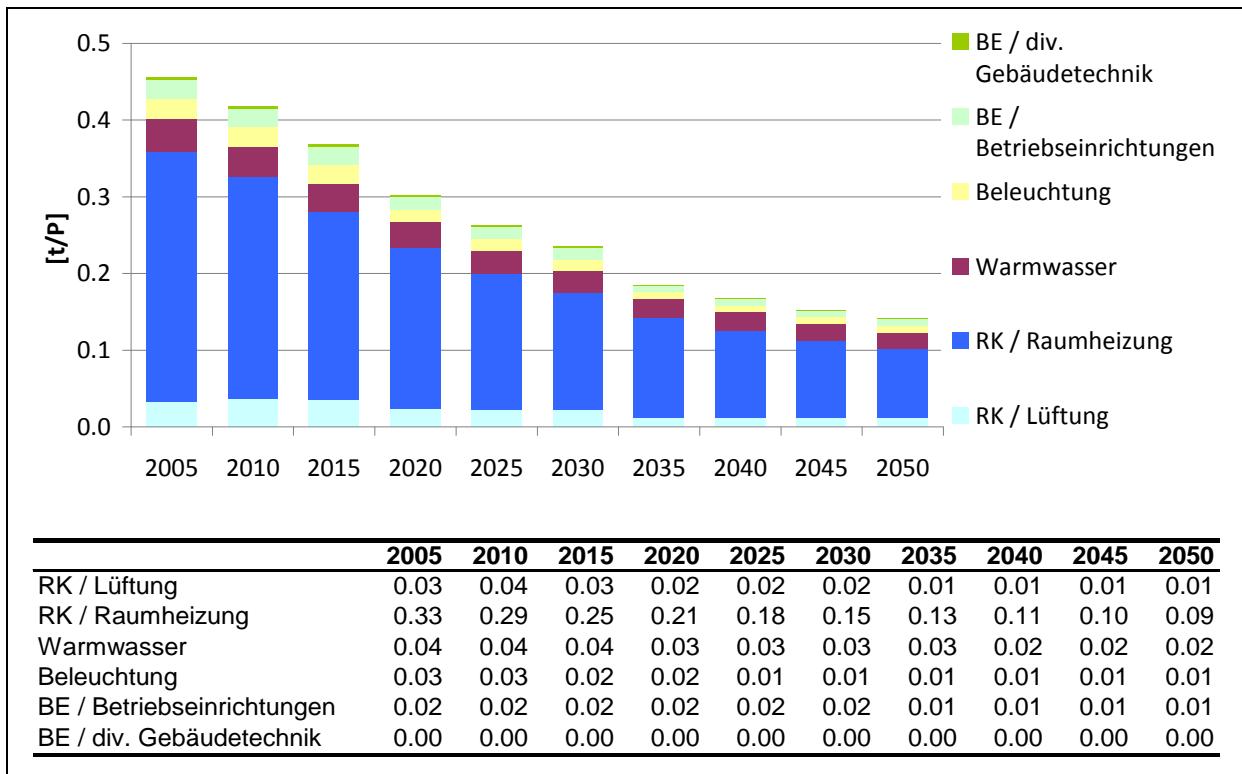
Die spezifischen Treibhausgasemissionen im Referenz- wie auch im Effizienz-Szenario sind in Figur 76 im Synthesekapitel einzeln für Wohnen, Schulen und Büro separat ausgewiesen. In Figur 77 und Figur 78 im Syntheseteil sind zudem die Treibhausgasemissionen pro Fläche ersichtlich.



Quelle: TEP Energy

Figur 60 Spezifische Treibhausgasemissionen (t/P) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Referenz-Szenario (Treibhausgaskoeffizienten gemäss Mix des BFE-Szenario I, Stromversorgungsvariante B)

Im Effizienz-Szenario nehmen die spezifischen Treibhausemissionen um 70 % ab, auf 0,14 t/Kopf im Jahr 2050 (Figur 61). Mit 0,09 t/Kopf hat die Raumheizung nach wie vor den höchsten Anteil an den Emissionen.



Quelle: TEP Energy

Figur 61 Spezifische Treibhausgasemissionen (t/Person) von Büro- und Schulgebäuden nach Verwendungszweck im Effizienz-Szenario (Treibhausgaskoeffizient gemäss Mix des BFE-Szenario IV, Stromversorgungsvariante E)

5.4 Sensitivitätsanalysen

Der grundlegende Treiber im Gebäudebereich des Dienstleistungssektors ist die Energiebezugsfläche. Diese nimmt im Total bis zum Jahr 2035 um knapp 30 % zu, trotz eines nur geringen Zuwachses an Beschäftigten. Der Zuwachs verflacht zwar zunehmend, aber auch nach 2050 ist gemäss unserer Fortschreibung ein weiterer Anstieg zu erwarten. Die Energiebezugsfläche als wichtiger Einflussfaktor eignet sich daher gut für eine Sensitivitätsanalyse. Diese Analyse soll prüfen wie sich andere Annahmen bezüglich des Flächenzuwachses, sowie auch bezüglich der Abrissrate, die Gesamtenergiennachfrage beeinflussen. Ein geringerer Zuwachs und somit tiefere EBF-Werte führen zu einer geringeren Energienachfrage. Zu beachten ist, dass durch den geringeren Zuwachs die Neubautätigkeit kleiner wird und dadurch der relative Anteil der Altbauten zunimmt. Daher verändert sich die Energienachfrage nicht proportional zur Flächenänderung.

Die erste Sensitivitätsrechnung geht von einem um 20 % vermindernden Zuwachs pro Bauperiode aus. Daraus resultiert im Jahr 2050 ein Primärenergiebedarfsrückgang von 6 % (4,2 PJ) im Referenz-Szenario und von 6 % (3,2 PJ) im Effizienz-Szenario. Die Treibhausgasemissionen nehmen im Referenz-Szenario um 5 % (0,12 Mt) ab und im Effizienz-Szenario um 6 % (0,07Mt).

Tabelle 15 Sensitivitätsanalyse für das Referenz-Szenario

Szenario	Variable	Einheit	2005	2020	2035	2050
Referenz-Szenario						
	EBF	Mio. m ²	61,5	75,3	84,4	92,3
	Primärenergie	PJ	71,9	72,1	74,7	78,3
	THG-Emissionen	Mt CO ₂ -äq.	3,4	2,9	2,5	2,4
Sensitivität: EBF-Zuwachs um 20 % vermindert						
	EBF	Mio. m ²	61,5	72,5	79,8	86,1
	Primärenergie	PJ	71,9	70,1	71,4	74,0
	THG-Emissionen	Mt CO ₂ -äq.	3,4	2,8	2,4	2,3
Sensitivität: Abbruchrate erhöht von 0,1%/a auf 0,5%/a						
	EBF	Mio. m ²	61,5	75,3	84,4	92,3
	Primärenergie	PJ	71,9	70,7	72,0	74,0
	THG-Emissionen	Mt CO ₂ -äq.	3,4	2,8	2,4	2,2

Die zweite Sensitivitätsanalyse geht von der gleichen totalen EBF Entwicklung wie in den Ausgangsszenarien aus. Die Abrissrate beträgt neu jedoch 0,5 % anstatt 0,1 %. Der erhöhte Abriss wird durch Neubau kompensiert. Durch den erhöhten Neubauanteil ist der Gebäudepark energieeffizienter und der Primärenergiebedarf und die dadurch bedingten Treibhausgasemissionen sinken. Im Referenz-Szenario geht der Primärenergiebedarf um 6 % (4,3 PJ) und die Treibhausgasemissionen um 8 % (1,9 Mt) zurück. Im Effizienz-Szenario nimmt der Primärenergiebedarf um 4 % (1,9 PJ) und die Treibhausgasemissionen um 4 % (0,05 Mt) ab.

Tabelle 16 Sensitivitätsanalyse für das Effizienz-Szenario

Szenario	Variable	Einheit	2005	2020	2035	2050
Effizienz- Szenario						
	EBF	Mio. m ²	61,5	75,3	84,4	92,3
	Primärenergie	PJ	71,9	67,5	55,7	51,1
	THG-Emissionen	Mt CO ₂ -äq.	3,4	2,5	1,6	1,2
Sensitivität: EBF-Zuwachs um 20 % vermindert						
	EBF	Mio. m ²	61,5	72,5	79,8	86,1
	Primärenergie	PJ	71,9	65,5	53,1	47,9
	THG-Emissionen	Mt CO ₂ -äq.	3,4	2,4	1,5	1,1
Sensitivität: Abbruchrate erhöht von 0,1%/a auf 0,5%/a						
	EBF	Mio. m ²	61,5	75,3	84,4	92,3
	Primärenergie	PJ	71,9	66,3	53,9	49,2
	THG-Emissionen	Mt CO ₂ -äq.	3,4	2,4	1,5	1,2

6. Synthese der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

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

6.1 Resultate

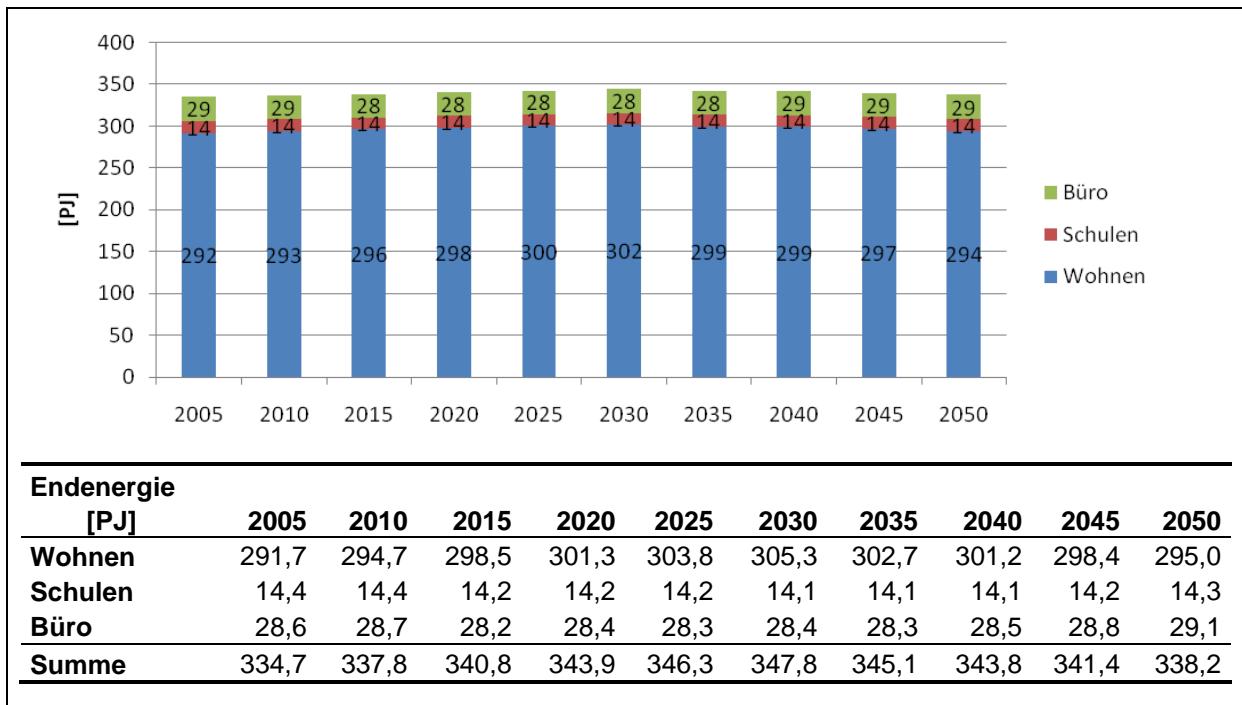
In der gesamthaften Betrachtung der Büro-, Schul - und Wohngebäude zeigt sich, dass zwar der flächenspezifische Verbrauch an Primärenergie bei den Büros am höchsten ist, jedoch die Wohngebäude den pro-Kopf-spezifischen und absoluten Primärenergieverbrauch mit Abstand dominieren. Zur Erinnerung: Die Pro-Kopf-Angaben beziehen sich auf die Schweizer Wohnbevölkerung und nicht auf die Gebäude nutzenden Personen. Darüber hinaus weisen die Wohngebäude ein grosses Potential für eine Reduktion des flächenspezifischen Energiebedarfs auf. Diese beiden Faktoren lassen ihnen eine Schlüsselrolle auf dem Weg hin zu einer 2000-Watt-Gesellschaft zukommen.

6.1.1 Endenergienachfrage

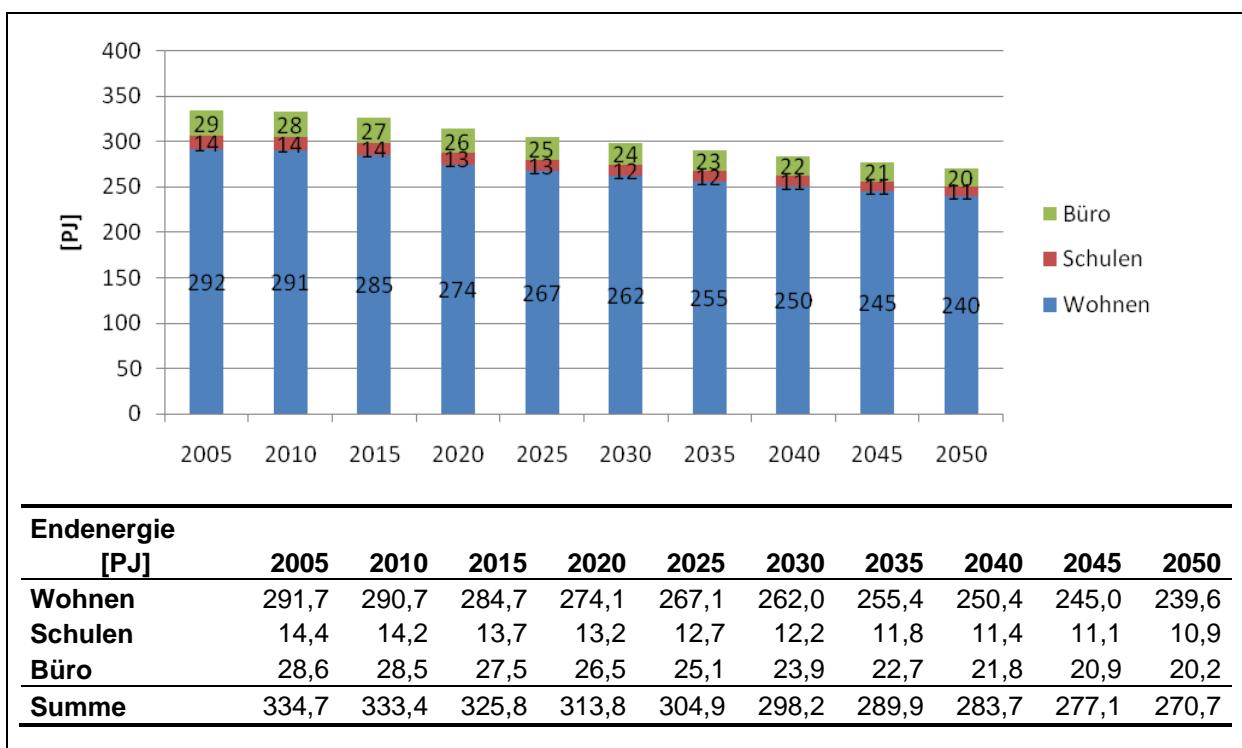
Wie bereits in Kapitel 4 erläutert, ist im Referenz-Szenario für die Büro- und Schulgebäude nur eine sehr geringe bzw. keine Einsparungen im Endenergiebedarf zu erwarten. Auch die Wohngebäude zeigen einen eher steigenden Trend in punkto Endenergiebedarf auf. Es lässt sich aber dennoch festhalten, dass alle Gebäudetypen den Mehrbedarf an Energiebezugsfläche bereits im Referenz-Szenario nahezu kompensieren und der Endenergiebedarf gesamthaft um 2,7 PJ (1 %) bis 2050 nur geringfügig steigt.

Im Effizienz-Szenario reduziert sich der Endenergiebedarf über den Betrachtungszeitraum hinweg für alle Gebäudetypen merklich. Die stärkste Reduktion gegenüber 2005 wird mit 29 % bzw. 24 % für die Büros und Schulen erwartet; aber auch die Wohngebäude können einen wichtigen Beitrag mit 18 % leisten. Insgesamt sinkt der Endenergiebedarf um 19 %.

Sowohl im Referenz- als auch im Effizienz-Szenario ist ein Strukturwandel zwischen den einzelnen Endenergieträger erkennbar. Die steigende Nachfrage nach Elektrizität wird in der Aufgliederung nach Energieträgern, vor allem im Referenz-Szenario (Figur 64), klar erkennbar – nahezu 40 % des gesamten Bedarfs im Jahr 2050 sind Elektrizität. Im Effizienz-Szenario (Figur 65) kann zwar ein bedeutsamer Anteil des Endenergiebedarfs mittels erneuerbaren Energien (Solar, Holz und Umweltwärme) gedeckt werden, doch muss betont werden, dass 2050 weiterhin etwa zwei Drittel der Endenergienachfrage durch nicht-erneuerbare Energieträger und Strom befriedigt werden. In beiden Fällen spielt also der Elektrizitätserzeugerpark potentiell eine bedeutende Rolle.



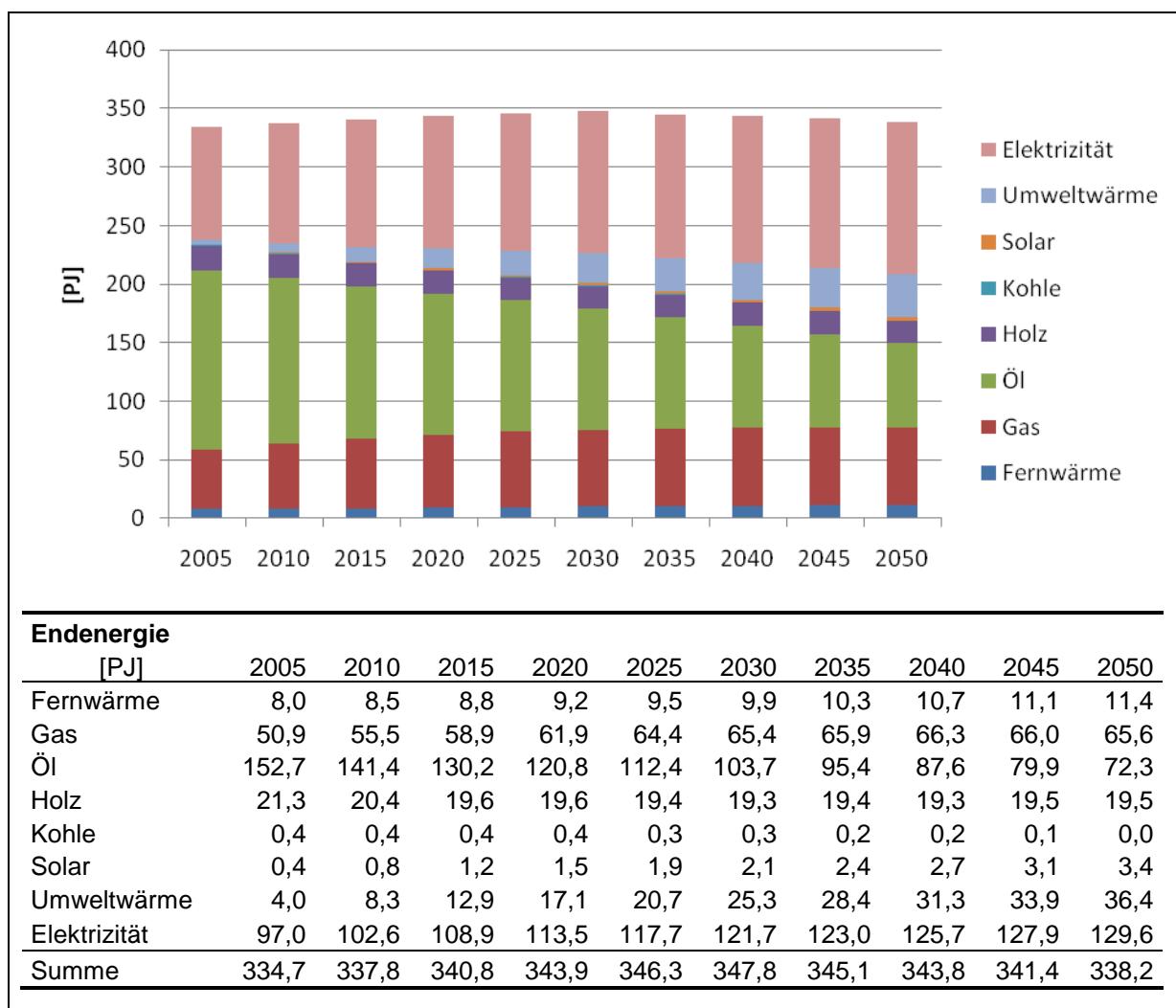
Figur 62 Gesamtendenergiebedarf nach Gebäudetyp in PJ – Referenz-Szenario



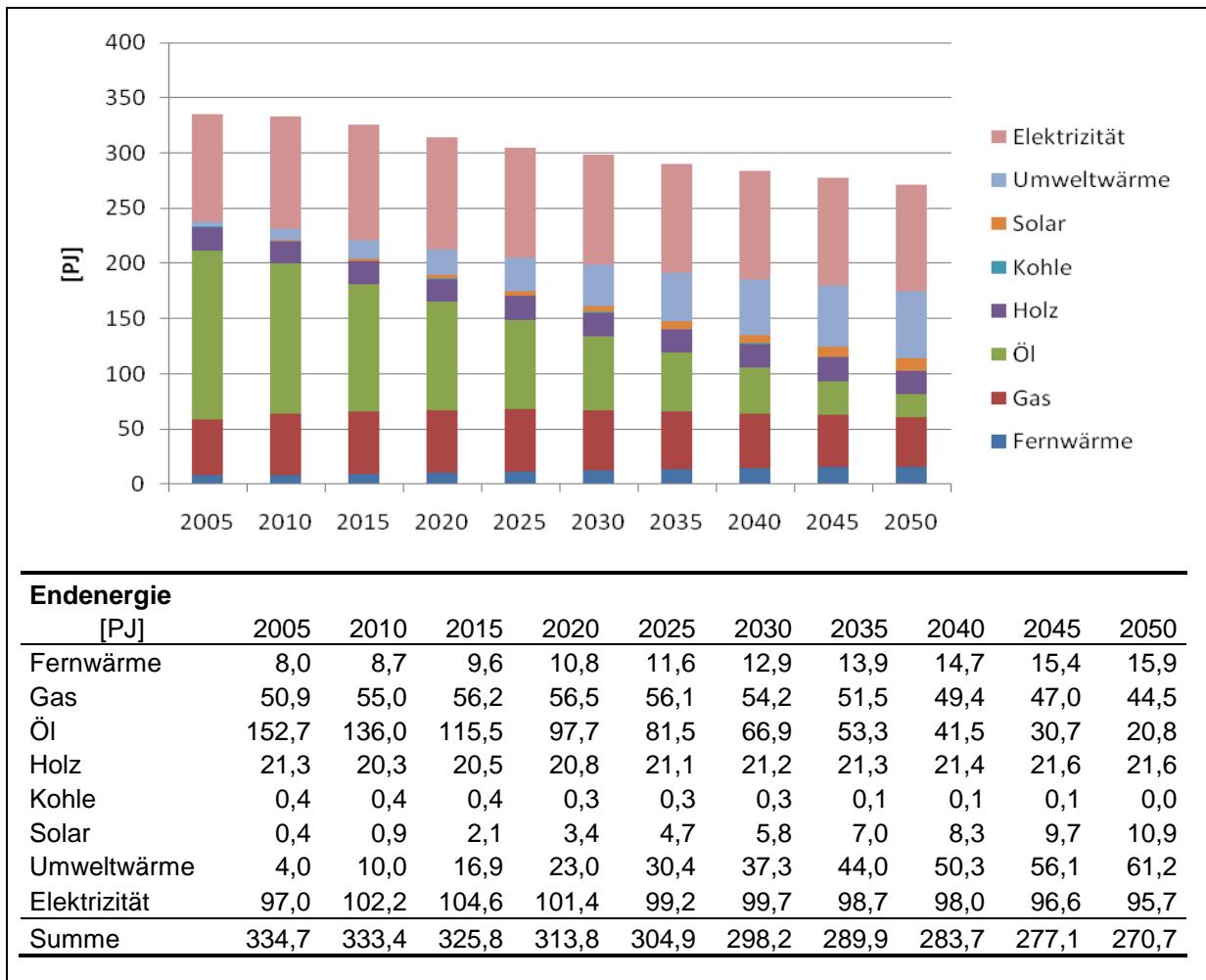
Figur 63 Gesamtendenergiebedarf nach Gebäudetyp in PJ – Effizienz-Szenario

Absolut gesehen steigt die Stromnachfrage im Referenz-Szenario bis 2050 weiter an (um 26 %), siehe Figur 64. Im Effizienz-Szenario erfolgt nach einem anfänglichen Anstieg bis etwa 2015 wieder eine Reduktion der Nachfrage, so dass diese 2050 leicht unter dem Niveau von 2005 zu liegen kommt (Figur 65). Ein qualitativ ähnlicher Verlauf ist beim Erdgas zu verzeichnen, während Öl in beiden Szenarien ab 2005 abnimmt. Während die Holznachfrage ungefähr stabil bleibt, ist bei den übrigen erneuerbaren Energien, vor allem

bei der Umweltwärme ein starker Zuwachs festzustellen; im Effizienz-Szenario liegt die Nachfrage im Jahr 2050 15-mal höher als 2005.



Figur 64 Gesamtendenergiebedarf nach Anwendung für alle Gebäudenutzungen in PJ – Referenz-Szenario

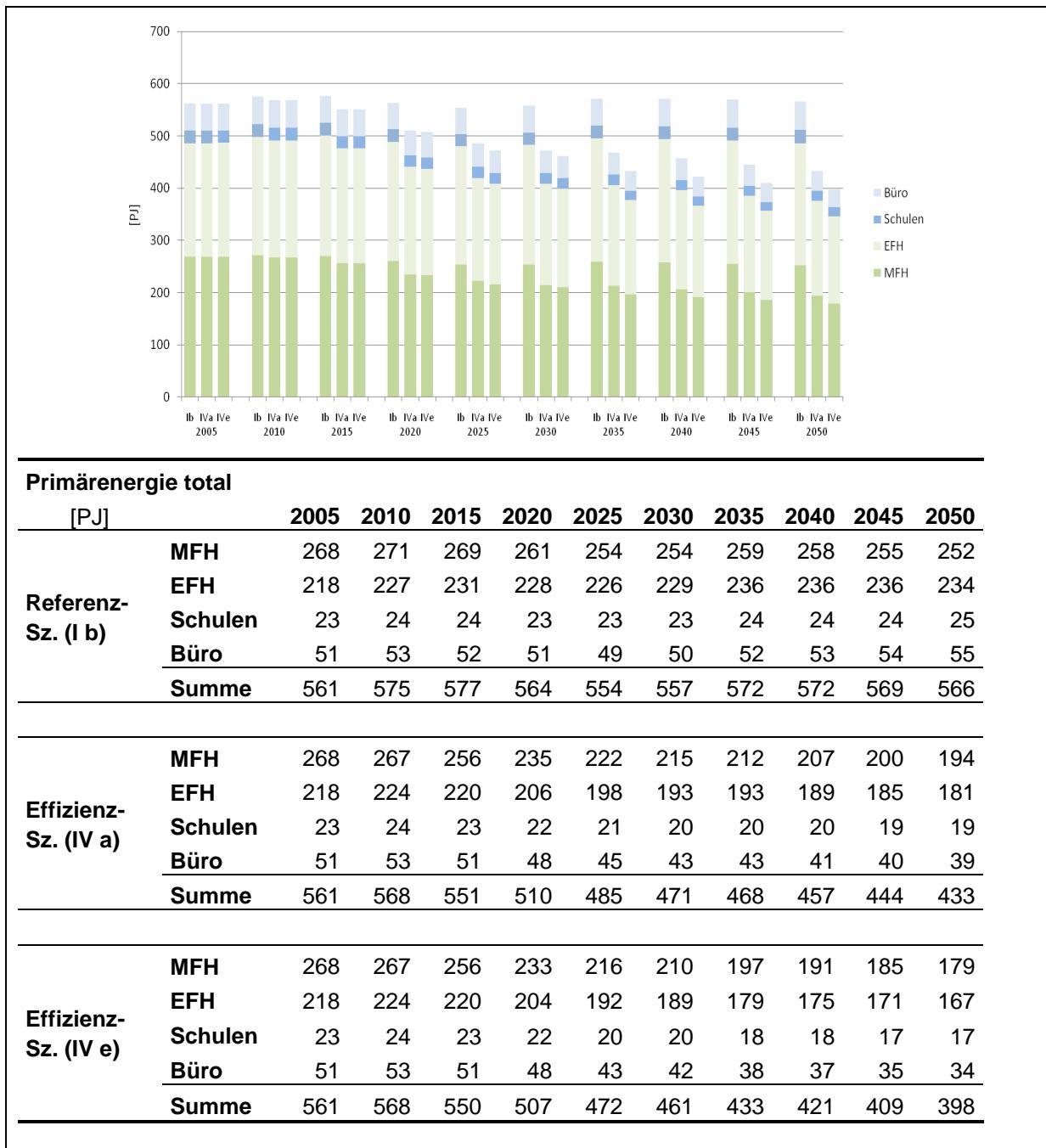


Figur 65 Gesamtendenergiebedarf nach Anwendung für alle Gebäudenutzungen in PJ – Effizienz-Szenario

6.1.2 Primärenergiebedarf gesamt nach Gebäudenutzung

Der Gesamtprimärenergiebedarf steigt im Referenz-Szenario ähnlich wie oben beschrieben geringfügig um etwa 0,5 % an. Die Differenz lässt sich namentlich mit der Zunahme des Elektrizitätsbedarfs bis 2050 erklären. Im Vergleich zu den anderen Energieträgern ist Elektrizität primärenergieintensiver. Auch auf Ebene des Primärenergiebedarfs kann der Mehrbedarf an Energiebezugsfläche in der Summe knapp kompensiert werden; dies aufgrund eines etwa gleichbleibenden Bedarfs bei den Wohngebäuden. Im Teilbereich der Büro- und Schulgebäude ist dies jedoch nicht der Fall – es ist ein leichter Anstieg zu beobachten (Figur 66).

Im Effizienz-Szenario (IV e) kann der Gesamt-Primärenergiebedarf bis 2050 durch eine weiterreichende Nachfragereduktion und eine strukturelle effizientere Elektrizitätserzeugung um 29 % gesenkt werden, dies trotz Bevölkerungswachstum, zunehmendem Elektrizitätsbedarf und Mehrbedarf an EBF pro Person, um 29 % gesenkt werden. Die strukturellen Effizienzgewinne kommen durch den höheren Anteil der Wasserkraft zustande, dessen absolute Menge sich zwischen den Szenarien nicht verändert, dies im Gegensatz zur übrigen Stromproduktion.



Figur 66 Gesamtenergiebedarf totale Primärenergie nach Gebäude Nutzung in PJ – Referenz-Szenario und Effizienz-Szenario im Vergleich (PEF Elektrizität nach BFE-Sz. I b / IV a / IV e)

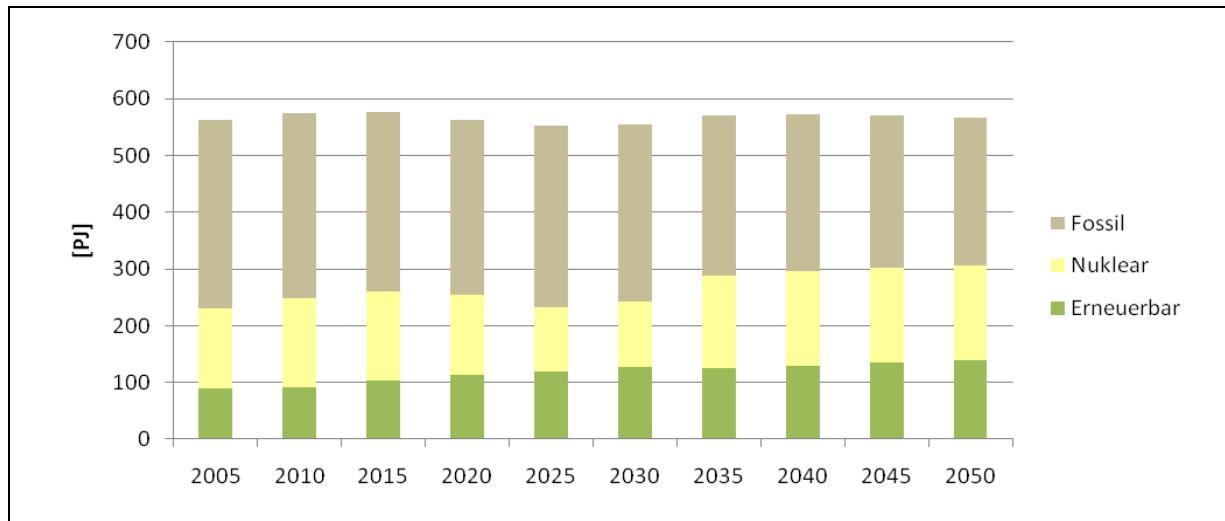
Die Art der Elektrizitätsproduktion (Nachbau KKW im BFE-Sz. IV a und vermehrt erneuerbare Energien im BFE-Sz. IV e) hat einen gewissen, aber nicht dominierenden Einfluss auf die Gesamtprimärenergienachfrage. Die Erzeugung von Elektrizität durch nukleare Energieträger ist, nach den Daten aus Frischknecht R. und Tuchschnid M. (2008), weniger primärenergieeffizient. Dies resultiert in einem erhöhten Primärenergiefaktor, woraus sich im BFE-Sz. IV a im Vergleich zu BFE-Sz. IV e ein geringfügig erhöhter Bedarf (ca. +35PJ / +9 %) im Jahr 2050 ergibt. Von diesem Unterschied ist jedoch nur der Primärenergieaufwand der nuklearen und erneuerbaren Stromproduktion, nicht jedoch der Sockel der Wasserkraft betroffen.

6.1.3 Gesamtprimärenergiebedarf nach Art der Energieträger

Die Aufteilung des Gesamtprimärenergiebedarfs nach Energieträgern zeigt im Referenz-Szenario (Tabelle 17, Figur 67 und Figur 68) die Bedeutung der Reduzierung der fossilen Energieträger. Die Reduktion des fossilen Anteils an Primärenergie (22 %) wird durch eine relative Zunahme des nuklearen sowie des Anteils der erneuerbaren Energien kompensiert. Dieser Übergang zu überwiegend kohlenstofffreien Energieträgern erklärt die sinkenden Treibhausgasemissionen im folgenden Abschnitt 6.1.6.

Tabelle 17 Absoluter Primärenergiebedarf nach Primärenergieträgern für alle Szenarien in PJ

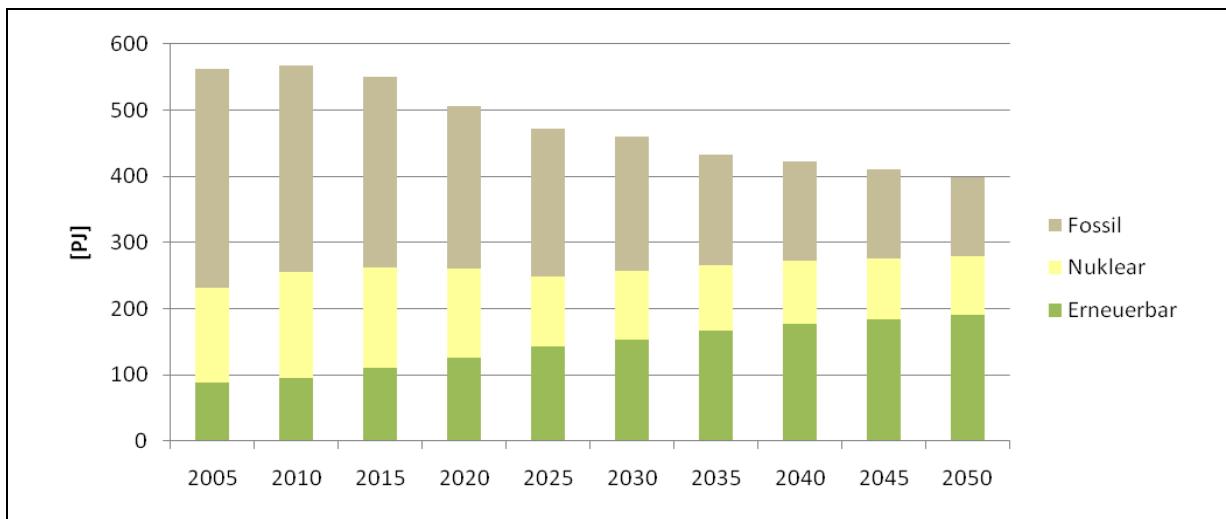
	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Referenz-Sz. (I b)										
Nicht-erneuerbar	474	483	472	448	429	426	444	440	435	428
<i>Davon Fossil</i>	331	325	313	305	315	309	280	273	266	258
<i>Davon Nuklear</i>	143	158	159	143	114	117	165	167	169	171
Erneuerbar	88	92	103	113	119	126	124	129	133	137
Total	562	575	576	563	552	555	570	573	570	566
Effizienz-Sz. (IV a)										
Nicht-erneuerbar	474	475	445	391	354	331	324	306	287	269
<i>Davon Fossil</i>	331	314	288	248	235	213	165	148	132	116
<i>Davon Nuklear</i>	143	161	157	142	119	118	160	158	155	153
Erneuerbar	88	95	108	121	132	142	145	152	159	165
Total	562	569	552	512	487	473	469	458	446	434
Effizienz-Sz. (IV e)										
Nicht-erneuerbar	473	472	439	380	329	307	266	246	226	208
<i>Davon Fossil</i>	331	313	288	246	222	203	167	150	133	118
<i>Davon Nuklear</i>	143	159	152	134	107	104	98	95	92	89
Erneuerbar	89	96	110	126	143	153	167	177	184	191
Total	562	568	550	506	471	460	433	423	410	399



Figur 67 Primärenergie für alle Gebäudetypen nach Art der Primärenergieträger; Referenz-Szenario (Elektrizität nach BFE-Sz. I b)

Im Effizienz-Szenario (BFE-Sz. IV e) kann der Primärenergiebedarf bis 2050 um 163 PJ gesenkt werden (Figur 68). Vor allem hier ist die Bedeutung der abnehmenden fossilen Energieträger ersichtlich; die Nachfrage sinkt auf etwa einen Drittel des Ausgangswertes (2005). In diesem Szenario wird aber auch von einer absoluten Reduzierung der nuklearen

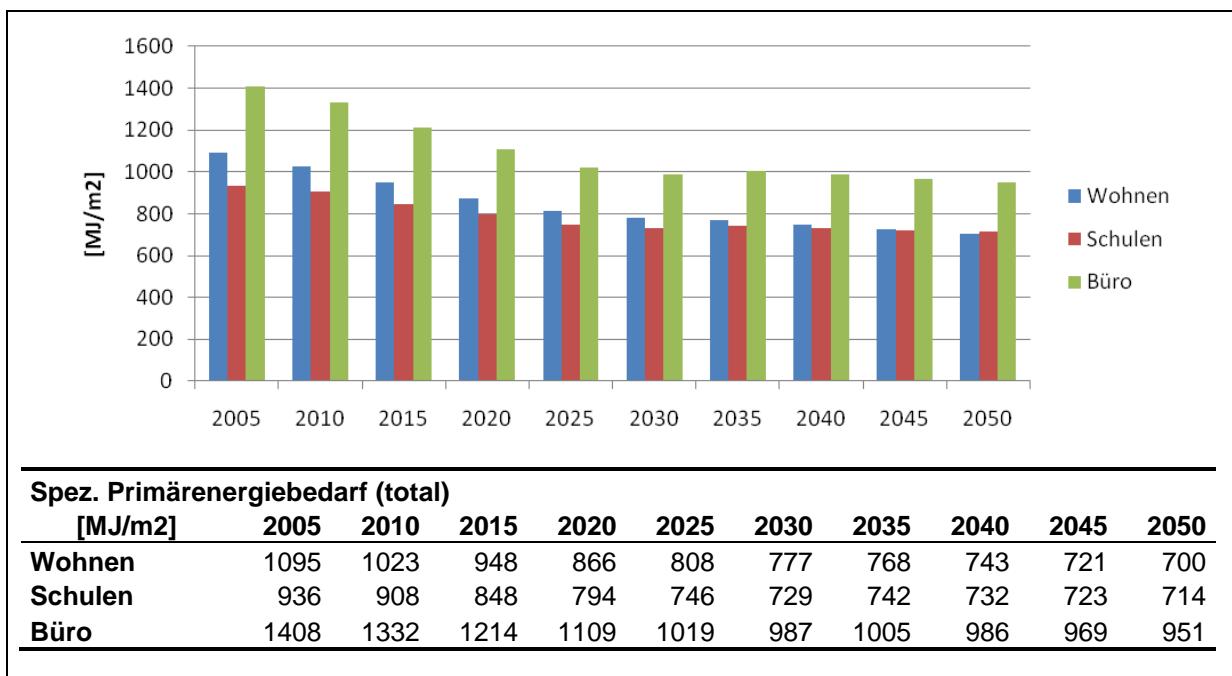
Teilmenge ausgegangen. Diese Abnahme wird durch eine starken Anstieg (+115 %, inkl. Umweltwärme und Solarenergie) der erneuerbaren Energien aufgefangen. Die beiden letztgenannten Entwicklungen stellen massgeblich eine direkte Folge der Annahmen bzgl. Stromerzeugung (Variante e beinhaltet einen geringen Ausbau der Grosswasserkraft und neuen erneuerbaren Energien) und Substitution fossiler Heizwärmeerzeuger dar.



Figur 68 Primärenergie für alle Gebäudetypen nach Art der Energieträger; Effizienz-Szenario (Elektrizität nach BFE-Sz. IV e)

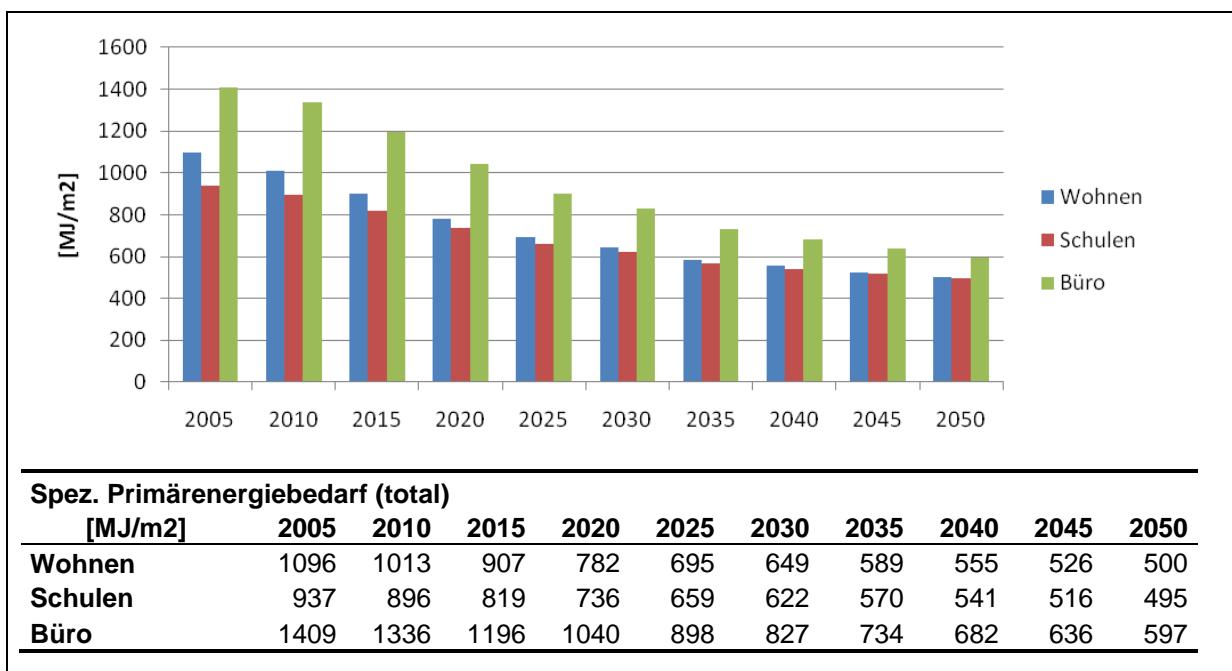
6.1.4 Spezifischer Primärenergiebedarf gesamt

Der Vergleich des spezifischen Gesamtprimärenergiebedarfs zwischen den verschiedenen Gebäudetypen gibt Aufschluss über deren Reduktionspotential und somit auch über den möglichen Beitrag hin zu einer 2000-Watt-Gesellschaft. Im Referenz-Szenario reduziert sich der spez. Bedarf vor allem bei den Wohngebäuden um etwa 36 % bis 2050. Für die Schulen wird eine etwas geringere Reduktion von 24% erwartet (dabei ist das geringere Ausgangsniveau zu beachten). Die abnehmenden Trends an Primärenergiebedarfsreduzierung im Referenz-Szenario verdeutlichen auch den sich bereits abzeichnenden Effizienzgewinn durch den technisch-ökonomischen Fortschritt, neue Baunormen und ähnliche Massnahmen sowie strukturelle Effekte (zunehmender Anteil an effizienteren Neubauten) (Figur 69).



Figur 69 Spez. Gesamtprimärenergiebedarf nach Gebäudetyp – Referenz-Sz. (PEF Elektrizität nach BFE-Sz. I b)

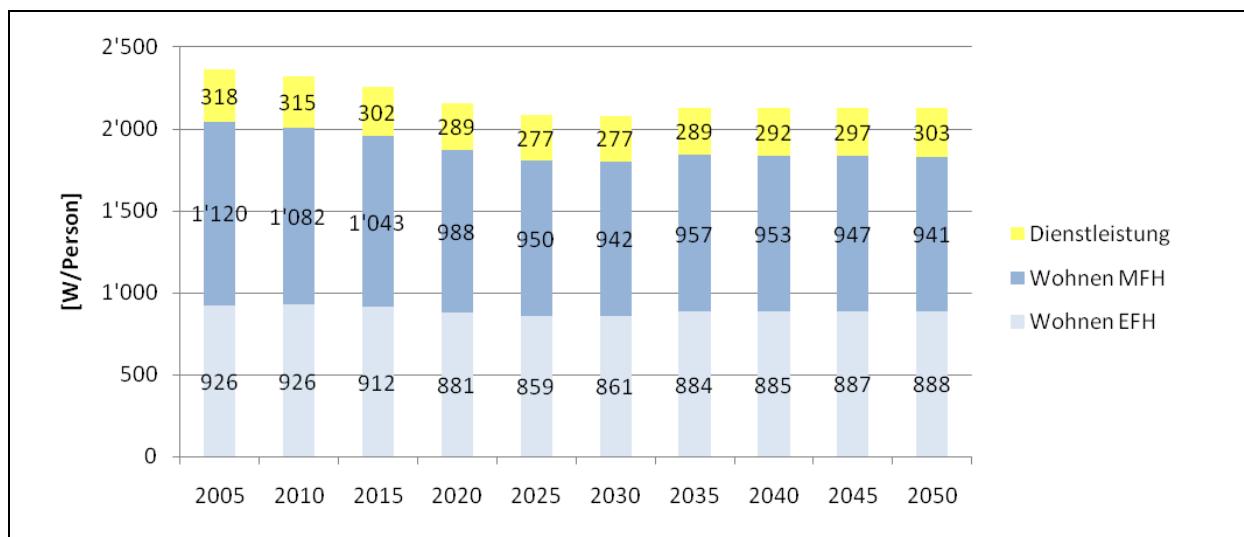
Im Effizienz-Szenario erreichen alle drei Gebäudetypen eine signifikante Reduktion des spez. Gesamtprimärenergiebedarfs bis 2050 (Figur 70). Vor allem die Büros und Wohnungen können einen wichtigen Beitrag in Richtung der 2000-Watt-Gesellschaft leisten und reduzieren ihren spez. Bedarf um 58 %, bzw. 54 %. Die Schulen verhalten sich mit einer Reduktion um 47 % etwas weniger elastisch, weisen aber trotzdem auch noch am Ende der Betrachtungsperiode die geringsten spezifischen Werte auf.



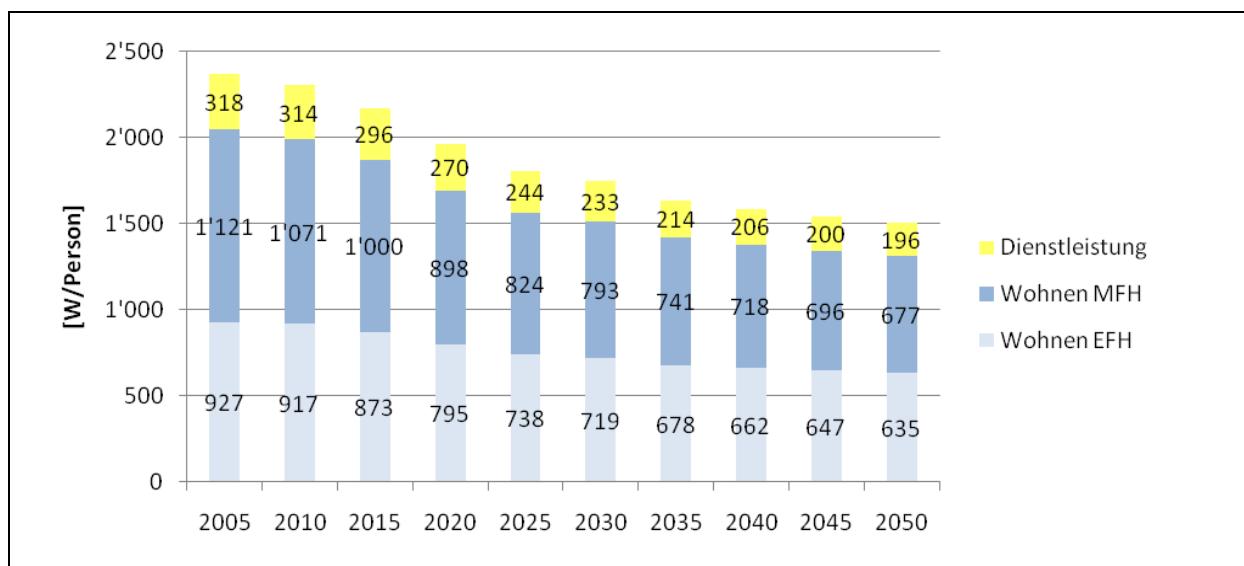
Figur 70 Spez. Gesamtprimärenergiebedarf nach Gebäudetyp – Effizienz-Sz. (PEF Elektrizität nach BFE-Sz. IV e)

6.1.5 Personenspezifischer Primärenergiebedarf

Die spezifische Dauerleistung an totaler Primärenergie pro Kopf der Bevölkerung verhält sich in etwa analog zum Gesamtprimärenergiebedarf im vorhergehenden Kapitel. Im Gegensatz zum Gesamtprimärenergiebedarf, der nahezu konstant bleibt, reduziert sich durch den Anstieg der Bevölkerung die personenbezogene Dauerleistung gesamthaft von rund 2361 Watt im Jahr 2005 auf 2134 Watt in 2050 (-9,6 %). Im Effizienz-Szenario wird 2050 eine spez. Dauerleistung von 1507 Watt pro Person erreicht (Figur 72), was einer Reduktion um 36 % entspricht.



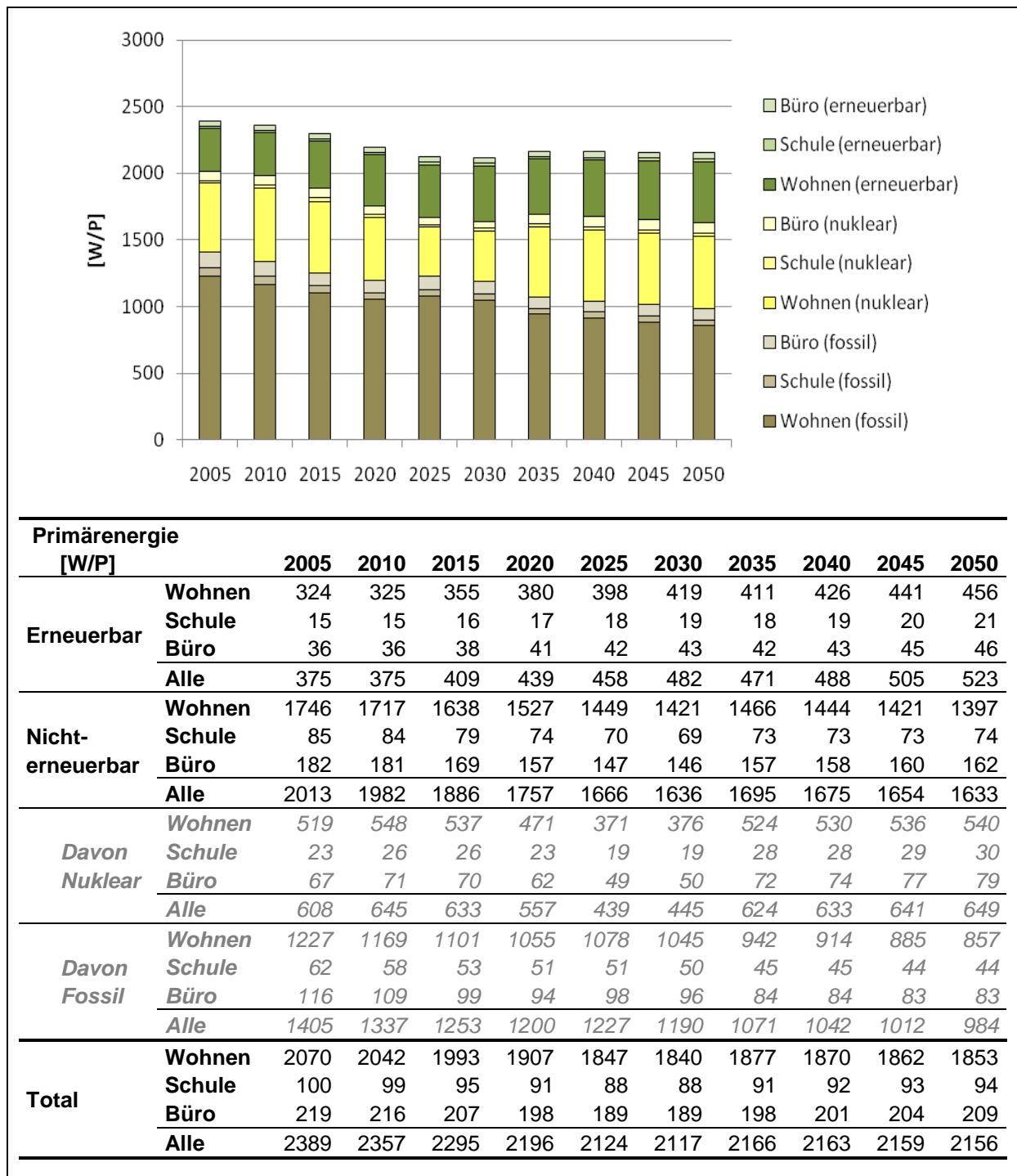
Figur 71 Dauerleistung totale Primärenergie pro Person nach Gebäudetyp – Referenz-Sz. (PEF Elektrizität nach BFE-Sz. I b)



Figur 72 Dauerleistung totale Primärenergie pro Person nach Gebäudetyp – Effizienz-Sz. (PEF Elektrizität nach BFE-Sz. IV e)

Die pro-Kopf-Dauerleistung an erneuerbaren Primärenergien steigt im Referenz-Szenario vor allem bei den Wohngebäuden an. Die Dienstleistungsgebäude steigen (bedingt durch ihren vergleichsweise höheren Elektrizitätsbedarf) nur langsamer auf erneuerbare Energien um, bzw. decken in etwa nur gerade ihren Mehrbedarf an totaler Primärenergie gegenüber 2005 mit solchen Energieträgern. Alle drei Gebäude Nutzungstypen, aber vor allem die Dienstleistungsgebäude, erhöhen dementsprechend ihren Anteil an nuklearer Primärenergie

bis 2050.⁶ Jedoch können alle drei Gebäudenutzungstypen den Pro-Kopf-Bedarf an fossiler Primärenergie bereits im Referenz-Szenario reduzieren (Figur 73).

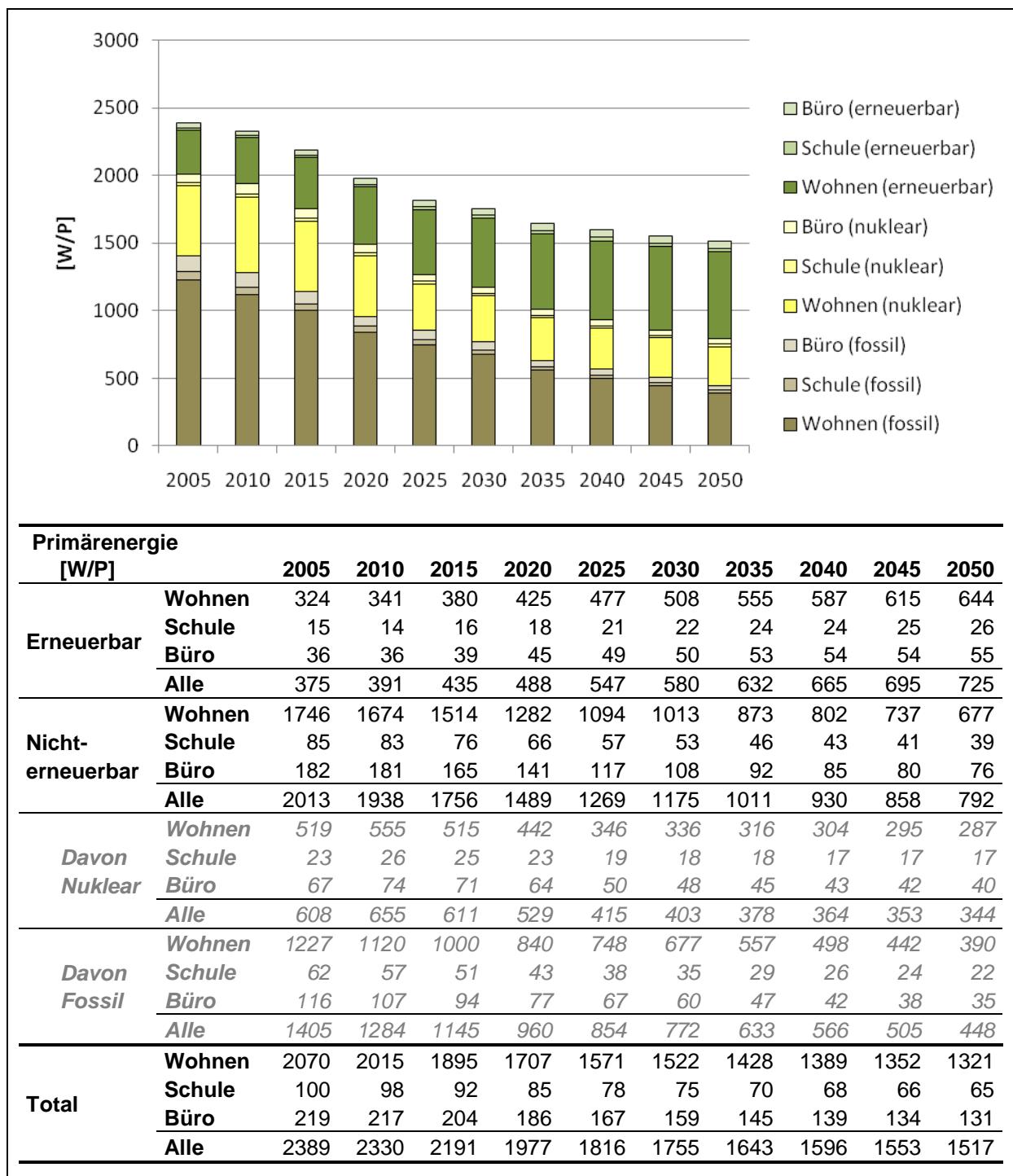


Figur 73 Personenspezifische Dauerleistung in Primärenergie nach Primärenergieträgern für alle drei Gebäudenutzungen; Referenz-Szenario mit BFE-Stromszenario I b [W/P]

Im Effizienz-Szenario werden die in Figur 73 festgestellten Effekte weiter verstärkt. Der totale Pro-Kopf-Verbrauch für alle drei Gebäudenutzungen sinkt mit 34 % stark ab, wobei dabei die

⁶ Das BFE-Elektrizitätszenario I b stützt zur Überbrückung der Stromlücke auf Nachbau an Kernkraftwerken.

fossilen Primärenergieträger mit -313 PJ den grössten Anteil der Reduktion ausmachen (Figur 74).



Figur 74 Personenspezifische Dauerleistung in Primärenergie nach Primärenergieträgern für alle drei Gebäudenutzungen; Effizienz-Szenario mit BFE-Stromszenario IVe [W/P]

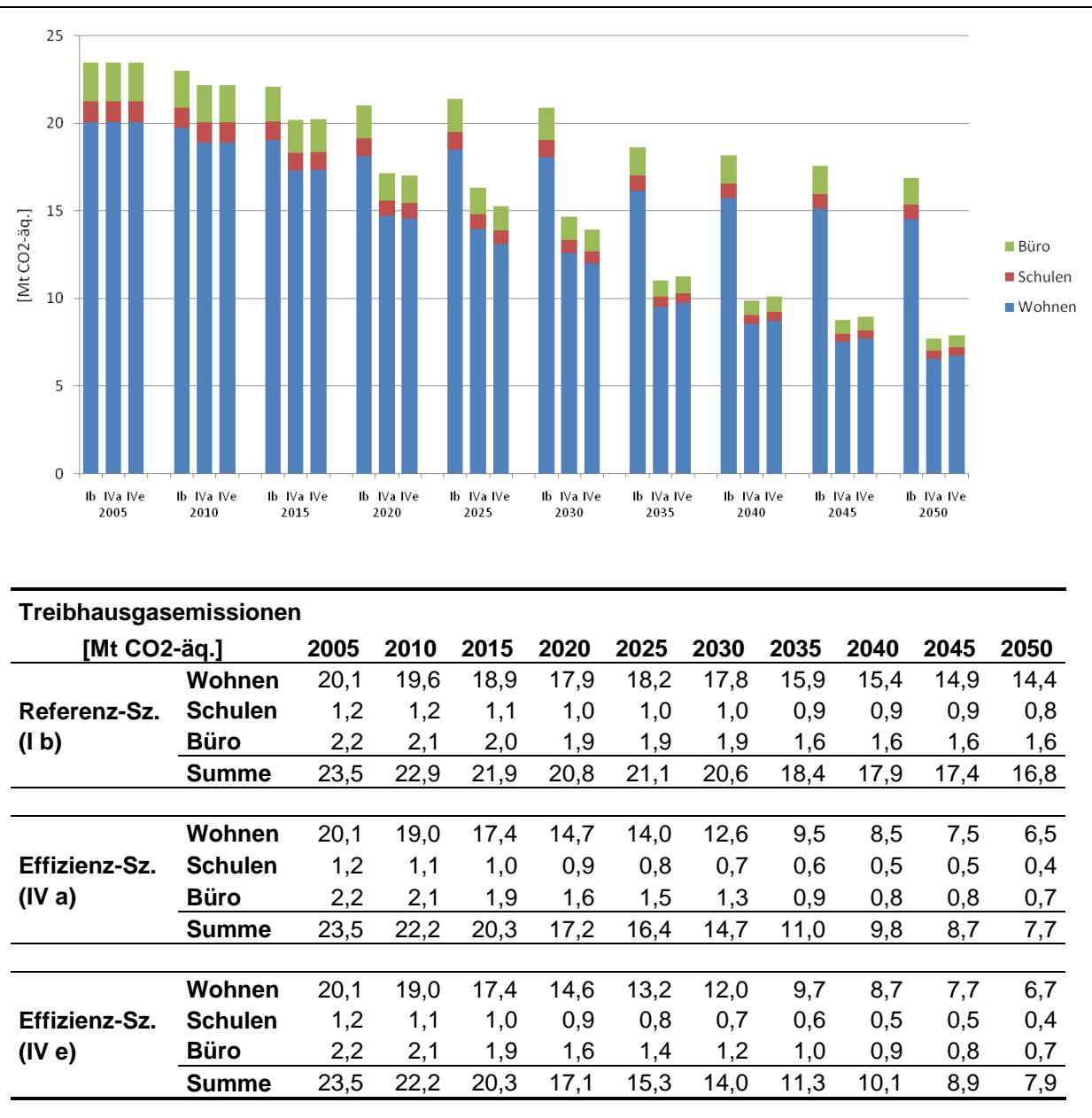
6.1.6 Treibhausgasemissionen

Auch bei den Treibhausgasemissionen gilt, dass der zunehmende Bedarf an Elektrizität eine entscheidende Rolle spielt. In allen Szenarien erfolgt die Deckung des Elektrizitätsbedarfs in Zukunft annahmengemäss durch weniger treibhausgasintensive Energieträger (vgl. Kapitel 8). Da das im Referenz-Szenario verwendete BFE-Elektrizitätsszenario I b auf den Nachbau

von Kernkraftwerken setzt, lässt sich bereits hier bis 2050 eine bedeutende Reduktion der jährlichen Treibhausgasemissionen um 6,6 Mt CO₂-äq. bzw. 28 % beobachten, unter anderem weil in der betreffenden Stromversorgungs-Variante gleichzeitig eine starke Reduktion der Strom-Importe unterstellt wurde. Der Trend der sinkenden Treibhausgasemissionen verstärkt sich weiter, wenn wie im Effizienz-Szenario gleichzeitig die Energienachfrage reduziert wird (s. Effizienz-Szenario in Figur 75). Bis 2050 reduzieren sich im Referenz-Szenario die Emissionen gegenüber 2005 um rund 6 Mt CO₂-äq. beziehungsweise um rund 28 %. Im Jahr 2050 beläuft sich der Unterschied zwischen dem Effizienz-Szenario und dem Referenz-Szenario auf 9 Mt CO₂-äq. beziehungsweise 46 %.

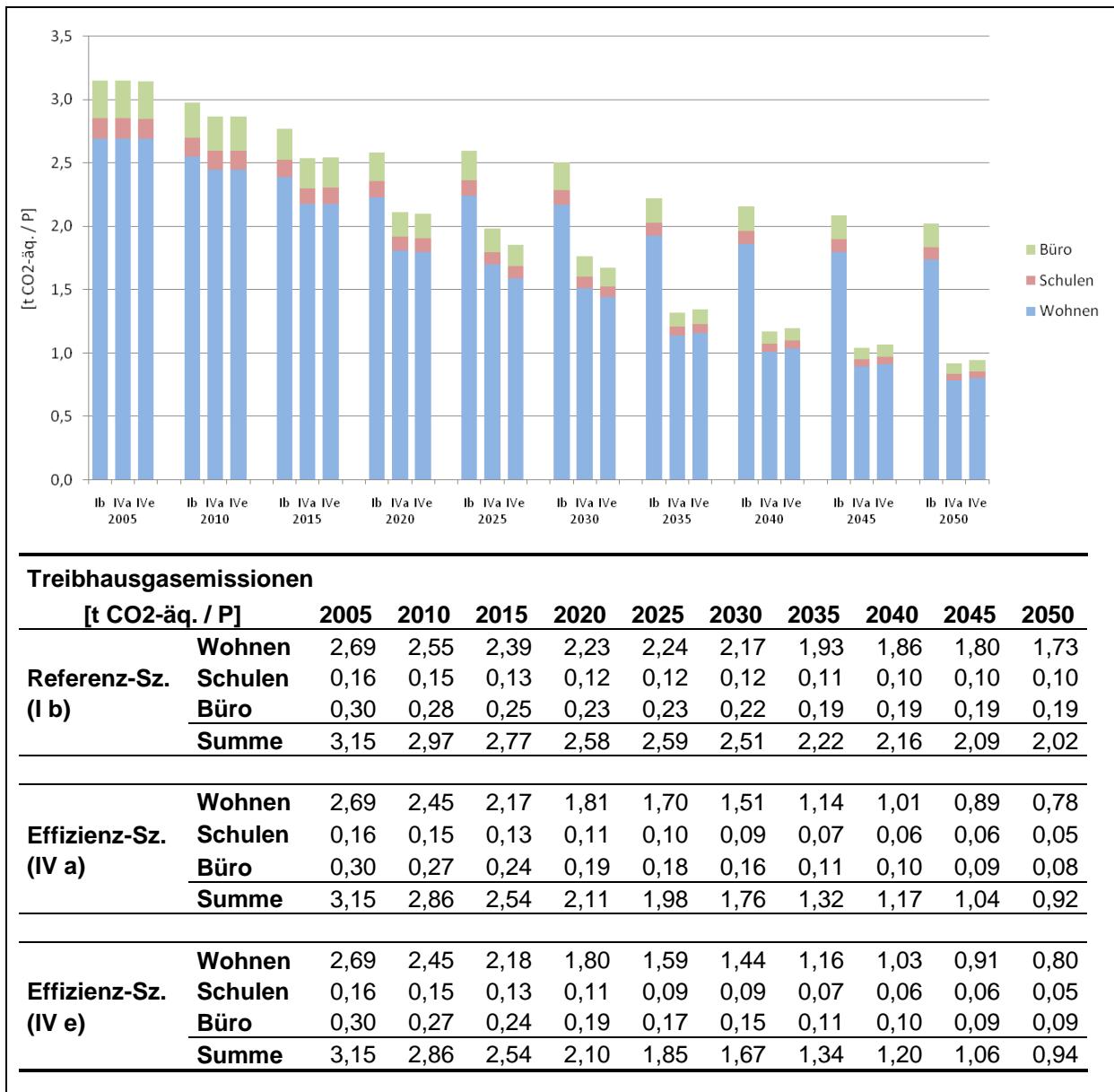
Die in Kapitel 6.1.2 beschriebene, höhere Effizienz der Primärenergie bei erneuerbaren Energieträgern (BFS-Sz. IV e), lässt sich nicht auf die Treibhausgasemissionen übertragen. So werden bei der Erzeugung von Elektrizität aus nuklearen Energieträgern etwa 0,005 kg CO₂-äq. pro MJ frei, was einen vergleichsweise sehr niedrigen Wert darstellt. Aus diesem Grund ist das Effizienz-Szenario in Kombination mit dem BFE-Sz. IV a geringfügig weniger treibhausgasintensiv als in Kombination mit dem BFE-Sz. IV e. Der Unterschied beträgt jedoch weniger als 3 %.

Die Pro-Kopf-Treibhausgasemissionen sinken in den kommenden Jahren stärker als die absoluten Emissionen, da die Bevölkerung kontinuierlich wächst. Grund sind unter anderem auch strukturelle Effekte, wie zum Beispiel der eines höheren Anteils an effizienteren Neubauten. Dieser Effekt ist stärker als die absolute Abnahme der Emissionen durch den Einsatz treibhausgasärmerer Energieträger (auch im Elektrizitätsmix).



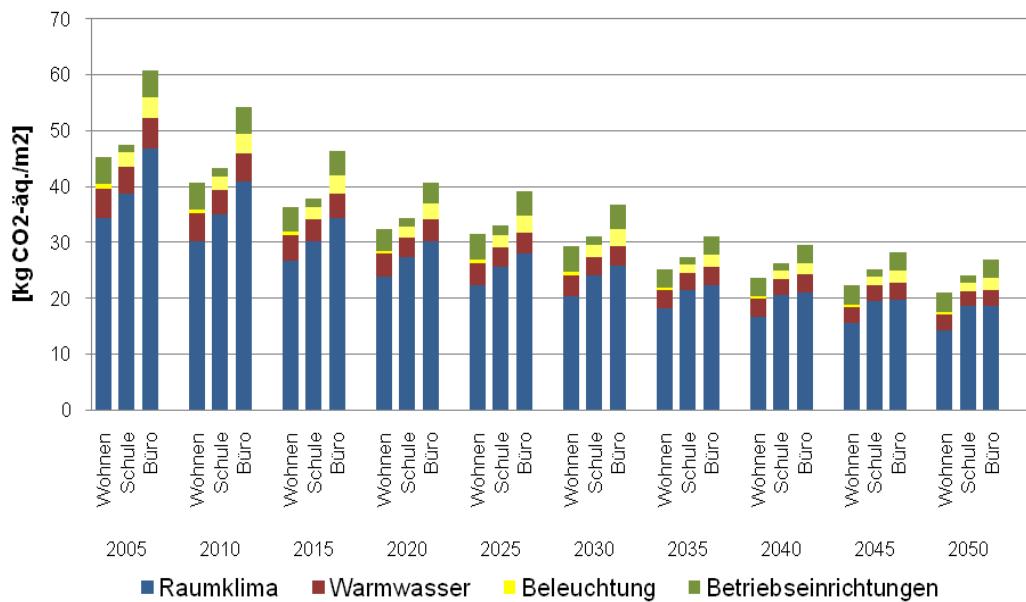
Figur 75 Totale Treibhausgasemissionen in Mt CO₂-äquivalenten nach Gebäudetyp; Referenz- und Effizienz-Szenario (Elektrizität nach BFE-Sz. I b, IV a, IV e)

Im Referenz-Szenario werden im Jahre 2050 etwa 2 t CO₂-äq. pro Person für den betrachteten Gebäudepark ausgestossen (Figur 76). Unter Berücksichtigung weiterer, hier nicht näher betrachteter, Emittentengruppen (wie Industrie, Verkehr und weitere Dienstleistungsgebäude) werden die Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft damit erwartungsgemäss klar verfehlt. Im Effizienz-Szenario wird im Jahr 2050 etwa 1 t CO₂-äq. pro Person ausgestossen. Damit macht der betrachtete Teil des Gebäudesektors rund die Hälfte der angestrebten Zielgrösse der 2000-Watt-Gesellschaft aus, was mutmasslich einen zu hohen Anteil für diesen Sektor darstellt, dessen Emissionen im Jahr 2005 ca. 3 t CO₂-äq. pro Person betragen.



Figur 76 Gesamte Treibhausgasemissionen per capita – Referenz- und Effizienz-Szenario (PEF Elektrizität nach BFE-Sz. I b bzw. IV e)

Das Total der flächenspezifischen Treibhausgasemissionen verhält sich analog den eben erläuterten Personenspezifischen. Dies ist nachvollziehbar, da bis 2050 einerseits die Bevölkerung und andererseits auch der Pro-Kopf-Flächenbedarf wächst (vgl. auch Kapitel 2.1 und 3.4). Während die personenspezifischen Emissionen bis 2050 im Referenz-Szenario um etwa ein Drittel sinken, gehen die flächenspezifischen um mehr als die Hälfte zurück (Figur 77). 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.

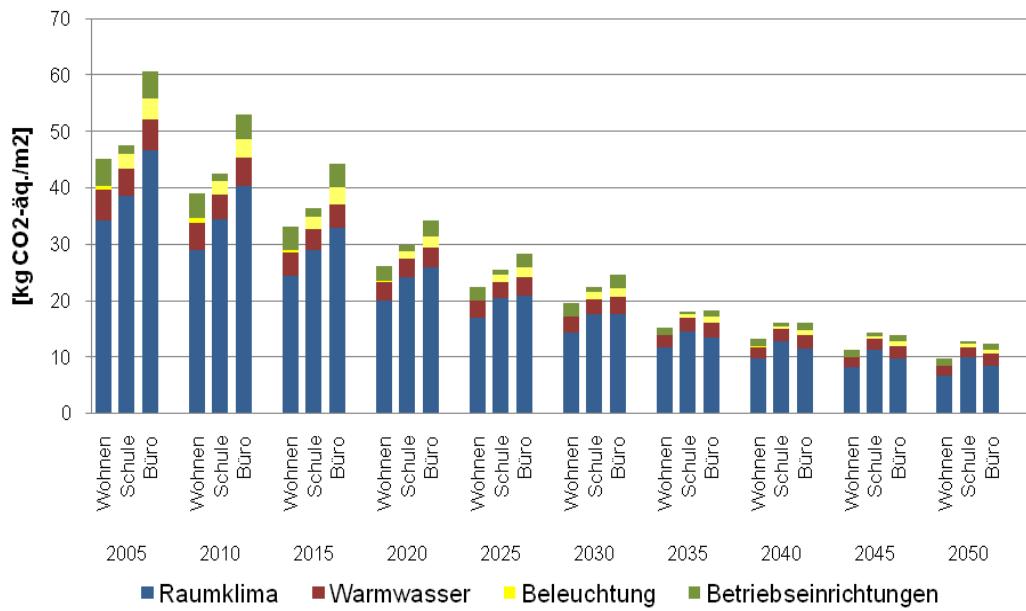


Treibhausgasemissionen

		2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wohnen	Raumklima	34,2	30,2	26,7	23,9	22,3	20,4	18,2	16,7	15,4	14,2
	Warmwasser	5,4	4,9	4,4	4,1	3,9	3,7	3,3	3,2	3,0	2,9
	Beleuchtung	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3
	Betriebsenergie	4,9	4,8	4,5	3,9	4,7	4,7	3,4	3,4	3,4	3,5
	Summe	45,2	40,7	36,3	32,5	31,5	29,4	25,3	23,7	22,3	20,9
Schule	Raumklima	38,6	34,9	30,2	27,3	25,7	24,1	21,5	20,5	19,5	18,5
	Warmwasser	4,9	4,4	3,9	3,6	3,4	3,2	3,0	2,9	2,8	2,7
	Beleuchtung	2,5	2,5	2,3	1,9	2,2	2,2	1,6	1,5	1,5	1,5
	Betriebsenergie	1,4	1,5	1,5	1,4	1,7	1,7	1,3	1,3	1,4	1,4
	Summe	47,4	43,3	37,9	34,3	32,9	31,1	27,4	26,2	25,2	24,1
Büro	Raumklima	46,7	41,0	34,4	30,2	28,0	25,8	22,3	21,0	19,7	18,6
	Warmwasser	5,4	4,9	4,3	4,0	3,7	3,5	3,4	3,2	3,1	3,0
	Beleuchtung	3,8	3,6	3,2	2,8	3,1	3,0	2,2	2,2	2,1	2,1
	Betriebsenergie	4,7	4,7	4,3	3,8	4,3	4,4	3,2	3,3	3,3	3,3
	Summe	60,7	54,2	46,3	40,7	39,2	36,8	31,0	29,6	28,3	27,0

Figur 77 Treibhausgasemissionen pro Fläche und Anwendung im Referenz-Szenario (PEF Elektrizität nach BFE-Sz. I b)

Auch im Effizienz-Szenario (Figur 78) ist es massgeblich das Raumklima, welches weiterhin die Treibhausgasemissionen im Jahre 2050 verursacht; es hat im Vergleich zu den anderen Anwendungen allerdings an Bedeutung verloren. Dies spricht für eine vergleichsweise höhere Elastizität des Raumklimas. Erwartungsgemäß hat das Warmwasser in allen Szenarien die geringste Elastizität 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 80 % ab.



Treibhausgasemissionen

		2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Wohnen	Raumklima	34,2	29,0	24,3	19,9	16,9	14,4	11,6	9,8	8,2	6,8
	Warmwasser	5,4	4,8	4,1	3,4	3,0	2,7	2,2	2,0	1,8	1,6
	Beleuchtung	0,8	0,7	0,6	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	Betriebsenergie	4,9	4,5	4,1	2,6	2,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2
	Summe	45,2	39,1	33,1	26,2	22,4	19,6	15,2	13,1	11,3	9,7
Schule	Raumklima	38,6	34,4	29,0	24,1	20,4	17,7	14,5	12,8	11,2	10,0
	Warmwasser	4,9	4,4	3,7	3,3	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9	1,8
	Beleuchtung	2,5	2,3	2,2	1,4	1,2	1,2	0,7	0,6	0,6	0,6
	Betriebsenergie	1,4	1,4	1,4	1,0	0,9	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
	Summe	47,4	42,6	36,3	29,8	25,5	22,5	18,1	16,0	14,3	12,9
Büro	Raumklima	46,7	40,4	33,0	25,8	21,0	17,7	13,5	11,5	9,8	8,5
	Warmwasser	5,4	4,8	4,2	3,7	3,3	2,9	2,6	2,4	2,2	2,0
	Beleuchtung	3,8	3,4	3,1	2,0	1,7	1,7	0,9	0,9	0,8	0,8
	Betriebsenergie	4,7	4,4	4,2	2,8	2,4	2,3	1,2	1,2	1,1	1,1
	Summe	60,7	53,1	44,4	34,2	28,4	24,6	18,3	16,0	14,0	12,4

Figur 78 Treibhausgasemissionen pro Fläche und Anwendung im Effizienz-Sz. (PEF Elektrizität nach BFE- IV e)

6.2 Schlussfolgerungen

Die Schlussfolgerungen werden in inhaltliche und methodische Schlussfolgerungen strukturiert. Zu ersteren gehört die Zielüberprüfung (6.2.1), die Diskussion und Einschätzung der Ergebnisse (6.2.2) sowie ein Hinweis auf weiterführende Arbeiten (6.2.3).

6.2.1 Zielüberprüfung

Mittels des Gebäudeparkmodells für Wohn-, Schul- und Bürogebäude wurden die gesamte und die nicht-erneuerbare Primärenergienachfrage und die THG-Emissionen pro Kopf für zwei Szenarien bis 2050 berechnet. Im Basisjahr 2005 betrug die gesamte Primärenergie der betrachteten Gebäudekategorien rund 2400 W/P, wovon gut 2000 W/P auf nicht-erneuerbare Energien entfallen (Tabelle 18). Bis 2050 nehmen diese im Referenz-Szenario um 10 % bzw. beinahe 20 % ab. Im Effizienz-Szenario ist die Abnahme mit 37 % bzw. 61 % deutlich stärker. Noch ausgeprägter ist die Abnahme bei den Treibhausgasemissionen. Als Muster kann festgehalten werden, dass die Reduktion zunehmend grösser wird, beginnend bei der totalen Primärenergie (PE) über die nicht-erneuerbare Primärenergie hin zu den Treibhausgasemissionen. Ergänzend sei erwähnt, dass die relativen Veränderungen bei den Wohn-, Schul- und Bürogebäude ähnlich sind.

Tabelle 18 Wichtigste Pro-Kopf Ergebnisse des Referenz-Szenario (Strommix BFE-Sz. I b) und des Effizienz-Szenarios (Strommix BFE-Sz. IV e)

Kriterium	2005	2050		Δ 2005/2050	
	Basis-jahr	Referenz-Szenario	Effizienz-Szenario	Referenz-Szenario	Effizienz-Szenario
Total Primärenergie [W/P]	2389	2156	1517	-10%	-37%
Nicht-erneuerbare PE [W/P]	2013	1633	793	-19%	-61%
THG-Emissionen [t CO ₂ äq./P]	3,15	2,02	0,94	-36%	-70%

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.

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

Relative Zielüberprüfung

Im Vergleich zur Zielsetzung der 2000-Watt-Gesellschaft, welche eine Reduktion der Primärenergie pro Kopf von 44% impliziert, beträgt die Reduktion im Effizienz-Szenario mit 37% Reduktion weniger (Tabelle 17). Der Zielerreichungsgrad der betrachteten Gebäudekategorien ist also unterproportional zur gesamtschweizerischen Zielsetzung. Für einen pro rata Zielbeitrag müsste die Primärenergie pro Kopf um weitere 7 Prozentpunkte reduziert werden. Dies gilt auch für die Treibhausgasemissionen, bei denen 70% Reduktion erreicht werden, während das Ziel gemäss Bébié et al. (2009) mit 77 % höher liegt.

Das proportional herunter gebrochene Ziel wird auch bei den Wohngebäuden mit einer Reduktion um 36% und bei den Büro- und Schulgebäuden mit einer Reduktion von 38% ebenfalls nicht erreicht.

Tabelle 19 Vergleich der Betriebsenergie-Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft mit den Ergebnissen des Referenz- (Strommix BFE-Sz. I b) und Effizienz-Szenarios (Strommix BFE-Sz. IV e)

	Ziele 2000-Watt-Gesellschaft			Referenz-	Effizienz-
	2005	Ziel 2050	Reduktion	Szenario 2050 *	Szenario 2050 *
Total PE** ⁱ [W/P]	6300	3500	-44%	-10%	-37%
Nicht-erneuerbare PE [W/P] [*]	5800*	2000 ⁱⁱ	-66%	-19%	-61%
THG-Emissionen ^j [t CO ₂ äq./P]	8,7	2,0	-77%	-36%	-70%

ⁱ gemäss Ergebnissen dieser Analysen

^{**} bezogen auf KEA

^j Methodikpapier der Stadt Zürich (Bébié et al. 2009)

ⁱⁱ Lenzlinger, persönliche Mitteilung, 2009

Zielüberprüfung bzgl. Ausschöpfung

In Tabelle 20 ist in der letzten Spalte ersichtlich, welche Werte mit den getroffenen Annahmen für den Bereich Wohnen erzielt werden können. Koschenz & Pfeiffer definierten 2005 als Zielsetzung der 2000-Watt-Gesellschaft hinsichtlich des fossilen Primärenergieziels 514 Watt im Jahr 2050 für den Bereich Wohnen; dies scheint durchaus erreichbar. Im Effizienz-Szenario wird dieser Zielwert mit 390 W/P sogar um 24 % unterschritten. Der aktuelle Effizienzpfad Energie des SIA (Preisig et al. 2006) postuliert mit dem Zielwert A 460 W/P nicht-erneuerbare Primärenergie. Dieser Wert scheint schwer erreichbar und wird im Effizienz-Szenario um 217 W/P (47 %) überschritten. Es ist allerdings anzumerken, dass es sich bei Zielwert A um einen Idealfall handelt, welcher den Einsatz der bestmöglichen Neubau- und Erneuerungsweise voraussetzt, während das GPM eine Gesamtpark-betrachtung darstellt, welche 2050 insbesondere noch nicht-erneuerte Gebäudeanteile enthält.

Bezüglich der Treibhausgasemissionen kann festgehalten werden, dass der Zielwert von 2 t CO₂-Äquivalente pro Person im Jahr 2050 im Referenz-Szenario zu 87 % nur für den Betrieb im Bereich Wohnen in Anspruch genommen wird, was klar für eine Zielverfehlung spricht. Im Effizienz-Szenario sind dies zwar nur 40 %, aber auch bzgl. dieses Wertes muss in weiteren Arbeiten, welche auch die weiteren Nachfragesektoren und Emittentengruppen einbeziehen, geprüft werden, ob diese Größenordnung ausreichend ist, um das Gesamtziel zu erreichen.

Die Analysen ergeben ausserdem, dass die Stromnachfrage im Vergleich zur Summe der übrigen Endenergeträger wesentlich weniger rückläufig ist (und in der Referenz sogar noch steigt). Im Vergleich zu 2005 ist damit eine strukturelle Verschiebung in Richtung Elektrizität festzustellen, ein in ähnlichen Analysen ebenfalls festgestelltes Resultat.

Damit kommt dem Strombereich eine zunehmend hohe Bedeutung zu, zumal hier im Vergleich zur Wärmenachfrage (Bauvorschriften und Grenzwerte basierend auf SIA 380/1) ein gewisser Nachholbedarf besteht: die Umsetzung der SIA 380/4 ist bis dato weit weniger umfassend.

Tabelle 20 Vergleich der Betriebsenergie-Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft für die Nutzung Wohnen und den Ergebnissen des Referenz- (BFE-Sz. I b) und Effizienz-Szenarios (BFE-Sz. IV e)

	2000-Watt-Gesellschaft			Ref.-Sz.	Eff.-Sz.
	2005	Ziel 2050	Ziel 2150	2050	2050
Totale PE ⁱ [W/P]	6300	3500	2000	-	-
Nicht-erneuerbare PE Wohnen (o. Mobilität und Baumaterial) [W/P]	1745*	460 ⁱⁱ	-	1393*	677*
THG-Emissionen (bezogen auf KEA) [t CO ₂ äq./P]	8,7 ⁱ	2 ⁱ	1 ⁱ	-	-
davon Wohnen (ohne Mobilität und Baumaterial)* [t CO ₂ äq./P]	2,7	-	-	1,7	0,8

* gemäss Ergebnissen dieser Analysen

ⁱ Methodikpapier der Stadt Zürich (Bébié et al. 2008)

ⁱⁱ SIA D 0216 (Preisig et al. 2006), Zielwert A

Die Modellrechnungen zeigten ausserdem den Einfluss der Zusammensetzung der Stromerzeugung auf: er ist bei den gewählten Versorgungsvarianten eher gering (10 %). In Bezug auf die Treibhausgasemissionen der Stromnachfrage hat insbesondere die Behandlung des Imports und des Stromaustausches einen nicht-vernachlässigbaren Einfluss auf deren THG-Intensität.

Relativ gesehen sinken die Treibhausgasemissionen pro Kopf stärker als die Primärenergie pro Kopf, dies wegen der bereits erwähnten rückläufig unterstellten THG-Intensität des Stroms sowie aufgrund struktureller Effekte beim Rest der Energieversorgung: weniger fossile, bei den fossilen weniger THG-intensive und mehr erneuerbare Energieträger. Die strukturellen Verschiebungen hin zum Strom wirken sich bzgl. Treibhausgasemissionen bei der unterstellten Stromerzeugung nicht nachteilig aus.

6.2.2 Diskussion und Einschätzung der Ergebnisse

Bei der Diskussion der erreichten Ergebnisse und den zugrunde liegenden Annahmen ist zwischen Elementen mit langfristigen Zyklen und solchen mit mittlerer bis kurzer technologischer Erneuerung zu unterscheiden. Zu ersteren gehören insbesondere die Gebäudehülle und gewisse Infrastrukturelemente wie zum Beispiel die Gas- und Stromversorgung. Mittellange Zyklen, Erneuerungsraten und Entwicklungszyklen haben typischerweise die Gebäudetechnik wie Lüftungs- und Heizanlagen. Kurze Fristigkeiten sind Elektronik und elektrischen Geräten zu eigen.

Langfristige Elemente:

Zu den langfristigen Elementen gehört insbesondere die Gebäudehülle, welche in Bezug auf das zentrale Element des SIA-Effizienzpfades und der 2000-Watt-Gesellschaft, nämlich der Energieeffizienz, eine wichtige Rolle spielt. Bei der Potentialausschöpfung im Bereich der Gebäudehülle ist zwischen spezifischen Potentialen (bautechnische Kennwerte wie U-Werte und g-Werte) und der mengenmässigen Umsetzung (kumulierte Erneuerungsraten) zu unterscheiden:

- Die spezifischen Potentiale wurden bei Neubau und Erneuerung unserer Einschätzung nach stark ausgeschöpft. Eine weitere Reduktion der passiven Wärmeverluste würde quantitativ keine grossen Beiträge mehr bringen, wäre aber bautechnisch anspruchsvoll und mit hohen Grenzkosten verbunden. Im Sinne eines Ausblicks könnten auch aktive Gebäudehüllenelemente in die Betrachtung mit einbezogen werden, wobei aufgrund der in diesem Bereich gemachten Erfahrungen v.a. der Überhitzung ein hohes Augenmerk zu schenken wäre.

- Auf den ersten Blick weniger stark ist die mengenmässige Ausschöpfung der Potentiale: zwischen 2000 und 2050 beträgt der Anteil der energetischen Erneuerungen in der Regel zwischen gut 40 % und 70 %. Höhere Werte erreichen das Flachdach sowie die Fenster. Diese Anteile mögen als tief erachtet werden, sind aber Ausdruck von zwei beschränkenden Faktoren: zum einen wurde ein Teil der Gebäudehülle bereits vor 2000 erneuert, was erneute energetische Massnahmen unwahrscheinlich macht. Zum anderen gilt es architektonische und bautechnische Faktoren zu beachten, welche die Erneuerungspotentiale einschränken.

Ebenfalls von mittel- bis langfristigen Zyklen geprägt ist Energieversorgung der Gebäude, zumindest in Teilen davon. Betroffen sind sowohl die Heizanlagen selbst, als auch die Heizungsverteilung (welche die Eignung insbesondere von Wärmepumpen beeinflussen), aber auch infrastrukturbbezogene Energien wie namentlich Erdgas und Fernwärme. Weitere Gebäudetechnikelemente wie zum Beispiel Lüftungs-, Kühl- und Beleuchtungsanlagen sind ebenfalls eher langlebig, gerade auch weil sie Eingriffe im Inneren der Gebäude bedingen. Diese Aspekte wirken letztlich hemmend auf die Dynamik von strukturellen Änderungen, was so gut wie möglich beim Festlegen der Annahmen berücksichtigt wurde. Eine weitere Beschleunigung wäre näher zu prüfen.

Auch der Stromerzeugung sind mittel- bis langfristige Zyklen eigen. Der künftige Erneuerungsbedarf des Kraftwerksparks bietet der Schweiz grundsätzlich die Möglichkeit, die Primärenergie- und Treibhausgaseffizienz in diesem Bereich zu beeinflussen. Bei den Grosskraftwerken sind hierbei gewisse Zielkonflikte zu beachten: fossile Kraftwerke, insbesondere GuD, sind energieeffizienter, aber CO₂-intensiver als Kernkraftwerke, welche dafür weniger primärenergieeffizient sind. Durch die getroffene Auswahl der Stromversorgungsvarianten I b, IV a und IV e wurde dies nur im Ansatz sichtbar gemacht, sollte aber in künftigen Analysen weiter mit bedacht werden. Erneuerbare Energien könnten, je nach Primärenergiedefinition, einen Ausweg bieten.

Mittel- und kurzfristige Elemente:

Aufgrund der kürzeren Erneuerungs- und Ersatzzyklen sowie aufgrund der kürzeren Entwicklungszeiten, aber auch aufgrund möglicher neuer Energieanwendungen, sind die Ergebnisse in diesem Bereich mit höheren Unsicherheiten verbunden. Dies sollte bei den Schlussfolgerungen, welche aus den dargestellten Ergebnissen gezogen werden, mit bedacht werden. Insbesondere sind bei mittel- und kurzfristigen Energieanwendungen im Vergleich zu den langfristigen andere energiepolitische Instrumente von Bedeutung. Während bei letzteren v. a. den Erneuerungs- und Investitionsentscheiden eine zentrale Bedeutung zukommt, ist bei ersteren v. a. relevant, den Produktzyklus und die technische Entwicklung in Richtung Energieeffizienz zu stimulieren. Dies kann durch push-Massnahmen (Mindestanforderungen an das Marktangebot) oder durch pull-Massnahmen erfolgen (Labelsysteme, Anreize, Aktionen, Informationen).

6.2.3 Mögliche weiterführende Arbeiten

Wie aus Kap. 6.2.1 hervorgeht, wurden die pro rata Zwischenziele der 2000 Watt Gesellschaft mit den getroffenen Annahmen jeweils mehr oder weniger knapp nicht erreicht. Es fehlen jeweils etwa 5 bis 7 Prozentpunkte. Beim Effizienz-Szenario wurde dabei nicht der gesamte Spielraum ausgenutzt. Aus dem (knappen) Verfehlen der proportionalen Ziele wird beim derzeitigen Erkenntnisstand deshalb keine Anpassung der Zielwerte abgeleitet, sondern die Forderung nach dem Konzipieren eines ziel-orientierten Szenarios, um damit den erforderlichen Handlungsbedarf aufzeigen zu können. Um die Erreichbarkeit der Zielsetzungen grundsätzlich zu prüfen, sind in der Folge zusätzliche Modell-Läufe (Iterationen) erforderlich. Damit kann geprüft werden, mit welchen Annahmen die Ziele zu erreichen wären.

Inhaltlich stehen dabei eine weitere Erhöhung der Gebäudeerneuerungsraten, geringere fossile Anteile bei der RaumwärmeverSORGUNG, höhere Anteile an erneuerbaren Energien (Wärme und Strom) sowie eine raschere und weitergehende Durchdringung im Bereich der Stromeffizienz im Vordergrund.

Ebenso sollten die übrigen, in diesem Vorprojekt nicht abgedeckten Bereiche, in die Betrachtung mit einbezogen werden: übriger Dienstleistungssektor, Industrie und Gewerbe, Verkehr, Landwirtschaft und Umwandlungssektor. Damit kann nicht nur eine pro rata Zielüberprüfung erfolgen, sondern es wird ein Gesamtsystem möglich.

6.2.4 Methodische Schlussfolgerungen

Mit dem hiermit dokumentierten Vorprojekt konnte erstmals gezeigt werden, dass sich die Energienachfrage im Gebäudesektor mit einem bauteil-, gebäudetechnik- und energie-anwendungsorientierten Ansatz modellieren lässt.

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.

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 bestimbar als solche von abstrakteren Größen, wie beispielsweise die mittlere Energiekennzahl.

6.3 Empfehlungen

In Zukunft sollte dem Aspekt der grauen Energie in begleitenden Studien zunehmend Aufmerksamkeit geschenkt werden. Eine Gegenüberstellung mit dem Energieverbrauch und den Treibhausgasemissionen aus dem Betrieb der Gebäude würde wertvolle Rückschlüsse über die Relevanz der grauen Energie erlauben. Diese würde somit eine breiter abgestützte Entscheidungsgrundlage für die Fragestellung, ob eher Ersatzneubauten oder Instandhaltungen im Sinne der 2000-Watt-Gesellschaft 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.

Es ist zu hinterfragen, ob die in den BFE-Perspektiven getroffenen Annahmen bei der Stromversorgung einer kritischen energiewirtschaftlichen Betrachtung standhalten. Auch bei einem markanten Überschuss an inländischer Erzeugung im Vergleich zur Nachfrage ist mit einem umfangreichen Stromtausch mit dem Ausland zu rechnen, was eine nicht-vernachlässigbare THG-Intensität nach sich zieht (Brunner und Farago 2007, Jakob et al. 2009). Es ist zu empfehlen, diesem Aspekt bei der Annahme der Stromversorgungsvarianten verstärkt Rechnung zu tragen.

Mit den Wohngebäuden wurde ein markanter Teil der Endenergiennachfrage sowie der damit verbundenen Primärenergie und der THG-Emissionen abgedeckt. 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- und Gewerbe, Verkehr und Landwirtschaft sowie der Umwandlungssektor. Vor diesem Hintergrund wird der Trägerschaft der 2000-Watt-Gesellschaft, dem SIA und dem Bundesamt für Energie empfohlen, eine Gesamtabsschätzung vorzunehmen, welche die erwähnten Bereiche mit einbezieht.

Der Stromeffizienz ist eine höhere Bedeutung zuzumessen, das wird besonders durch eine Gegenüberstellung des Referenz- mit dem Effizienz-Szenario deutlich. Die Differenz zwischen den beiden Szenarien zeigt das Ausmass der verfügbaren Effizienzpotentiale auf. Es liegt beim Gesetzgeber, der Verwaltung, den Verbänden, der Wirtschaft, der Forschung und weiteren Beteiligten, weitere Massnahmen vor allem in Hinblick auf Effizienzsteigerung und Elektrizitätsverbrauch zu konzipieren und zu ergreifen.

In weiteren Projekten sind konkrete Handlungsempfehlungen für alle betroffenen Bereiche (nicht nur Strom) 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.
- Aebischer, B., Schwarz, J. (1998). Perspektiven der Energienachfrage des tertiären Sektors für Szenarien I bis III – Dokumentation zur Studie. ETH Zürich, Zürich.
- Aebischer, B. et al. (1996); „Perspektiven der Energienachfrage des tertiären Sektors für Szenarien I bis III 1990-2030“, Forschungsgruppe Energieanalysen ETH Zürich mit Beiträgen von Amstein+Walthert, i.A. BFE, Bern.
- AIULFI D., PRIMAS, A., JAKOB M. et al. (2009) ENERGIEVERBRAUCH VON BÜROGEBAÜDEN 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.
- BFS (2006a). Erwerbsbevölkerung am Jahresende nach dem Szenario A-00-2005, 1995-2050 (su-d-01.04.01.04.01). Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.
- BFS (2006c). Tabelle T04_A_00. Erwerbsbevölkerung am Jahresende nach dem Szenario A-00-2005, 1995-2050. SCENARIO. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel, Dezember.
- BFS (2008). Entwicklung der Privathaushalte zwischen 2005 und 2030. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel, September, Bestellnummer: 201-0600-05: 12 S.
- BFS (2009). Tabelle su-d-01.04.01.01.15. Bilanz der ständigen Wohnbevölkerung (Total) nach dem Szenario A-00-2005/09, 2009-2050. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel, Mai.
- Brunner und Farago (2007). Evaluation Einführung der Stromkennzeichnung, Landert, Farago & Partner, i.A. Bundesamt für Energie (BFE), Bern, November.
- EnDK (2008). Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEN) Ausgabe 2008. Konferenz Kantonaler 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. und Tuchschmid M. (2008). Primärenergiefaktoren von Energiesystemen, v.1.4. ESU-services GmbH, Uster.
- 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. CE-PE, 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 forcierter 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, August (geplant).
- Koschenz (2005). „Potential Wohngebäude: Energie- und Gebäudetechnik für die 2000-Watt-Gesellschaft“; Faktor Verlag; Zürich; 2005.
- Lenzlinger, M. (2009). Persönliche Mitteilung, Mitglied der Programmleitung SIA Effizienzpfad Energie.
- Menti, U.P. (1999): „Standby-Verbrauch“ von Dienstleistungsgebäuden – Verbrauchsmessungen an 32 Objekten“, Amstein+Walthert im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bern.
- Preisig et al.; „SIA Effizienzpfad Energie“; Dokumentation D 0216; Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; Zürich; 2006.
- 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, Infras 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 (2009b): Merkblatt 2031, Energieausweis für Gebäude gemäss SN EN 15217 und SN EN 15603, 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 382/1 (2004): SIA 381/1 – Lüftungs- und Klimaanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, Entwurf zur Vernehmlassung, SIA, Zürich.
- SIA (1995). SIA Empfehlung 380/4:1995, Elektrische Energie im Hochbau, Ausgabe 1995, Zürich, November.
- Weber, L., Menti, U., Keller, I. (1999) „Energieverbrauch in Bürogebäuden“ ETH Zürich, Amstein+Walthert AG, i.A. PSEL, BFE u.a., Bern.

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 A – Strommix sowie Treibhausgaskoeffizienten und Primärenergiefaktoren für Elektrizität

Der Strommix der Jahre 2005 bis 2035 sind dem Band 2 der Energieperspektiven 2035 entnommen (Prognos, 2007) und wurden bis 2050 fortgeschrieben. Im Folgenden sind die Werte für die drei verwendeten BFE-Szenarios aufgelistet. Diese sind:

- Referenz-Szenario I b: BFE-Szenario I „Weiter wie bisher“ – Variante B: Deckung durch Nuklear und fossil-zentral (Tabelle 21)
- Effizienz-Szenario IV a: BFE-Szenario IV „Weg zur 2000 Watt-Gesellschaft“ – Variante A: Deckung durch neue Atomenergie (Tabelle 22)
- Effizienz-Szenario IV e: BFE-Szenario IV „Weg zur 2000 Watt-Gesellschaft“ – Variante E: Deckung durch erneuerbare Energien (Tabelle 23)

Tabelle 21 Strommix des Referenz-Szenarios I b für die Jahre 2005, 2035 und 2050 in TWh

Sz. I b	2005	2035	2050
Kernenergie	15.3	24.2	24.3
Wasserkraft	27.2	36.0	36.4
Fossile therm. Prod.	1.6	16.2	16.6
Erneuerbare Energien	0.7	1.2	1.4
<i>Geothermie</i>	0.2	0.3	0.3
<i>Photovoltaik</i>	0.2	0.3	0.3
<i>Wind</i>	0.2	0.3	0.3
<i>Biogas</i>	0.2	0.4	0.5
Import UCTE	18.0	2.6	2.6
Total	62.8	80.2	81.2

Tabelle 22 Strommix des Effizienz-Szenarios IV a für die Jahre 2005, 2035 und 2050 in TWh

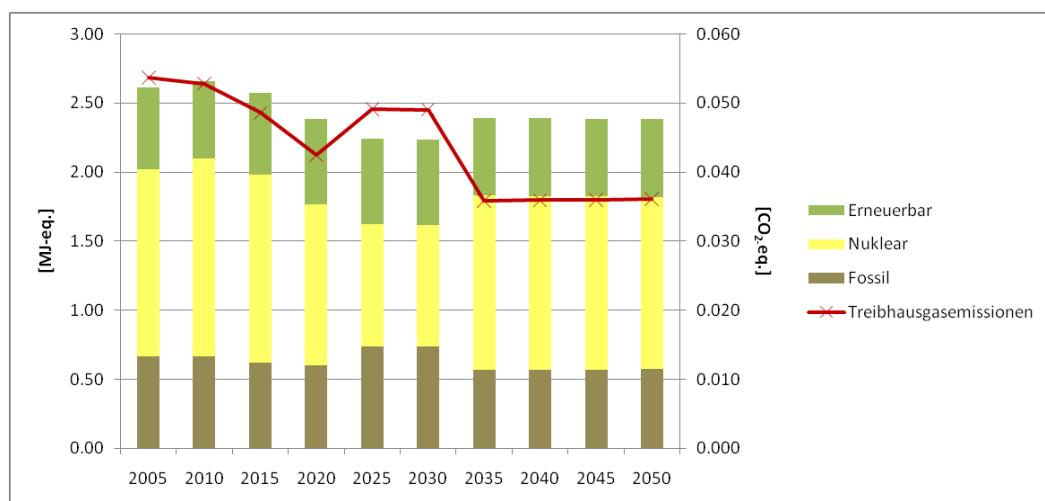
Sz. IV a	2005	2035	2050
Kernenergie	15.3	23.0	21.9
Wasserkraft	27.2	34.1	33.0
Fossile therm. Prod	1.6	2.0	1.9
Erneuerbare Energien	0.7	1.1	1.2
<i>Geothermie</i>	0.2	0.2	0.3
<i>Photovoltaik</i>	0.2	0.2	0.3
<i>Wind</i>	0.2	0.3	0.3
<i>Biogas</i>	0.2	0.4	0.4
Import UCTE	18.0	2.6	2.6
Total	62.8	62.8	60.6

Tabelle 23 Strommix des Effizienz-Szenarios IV e für die Jahre 2005, 2035 und 2050 in TWh

Sz. IV e	2005	2035	2050
Kernenergie	15.3	13.5	12.9
Wasserkraft	27.2	36.8	36.3
Fossile therm. Prod.	1.6	2.4	2.2
Erneuerbare Energien	0.7	7.5	10.8
<i>Geothermie</i>	0.3	2.7	3.9
<i>Photovoltaik</i>	0.1	1.2	1.8
<i>Wind</i>	0.2	1.8	2.7
<i>Biogas</i>	0.2	1.7	2.5
Import UCTE	18.0	2.6	2.6
Total	62.8	62.8	64.7

Die Primärenergiefaktoren, respektive CO₂-äq. Emissionsfaktoren der Elektrizität, sind abhängig von der Zusammensetzung des Erzeugerparks in der Schweiz (und auch im Ausland). Um Aussagen über die Auswirkungen der zeitlichen Entwicklung dieses Erzeugerparks machen zu können, wurde die Faktoren in einem Submodell ermittelt. Die Annahmen wurden aus den BFE-Energieperspektiven 2035 – Band 5 und die Primärenergiefaktoren aus Frischknecht et al. 2008 entnommen.

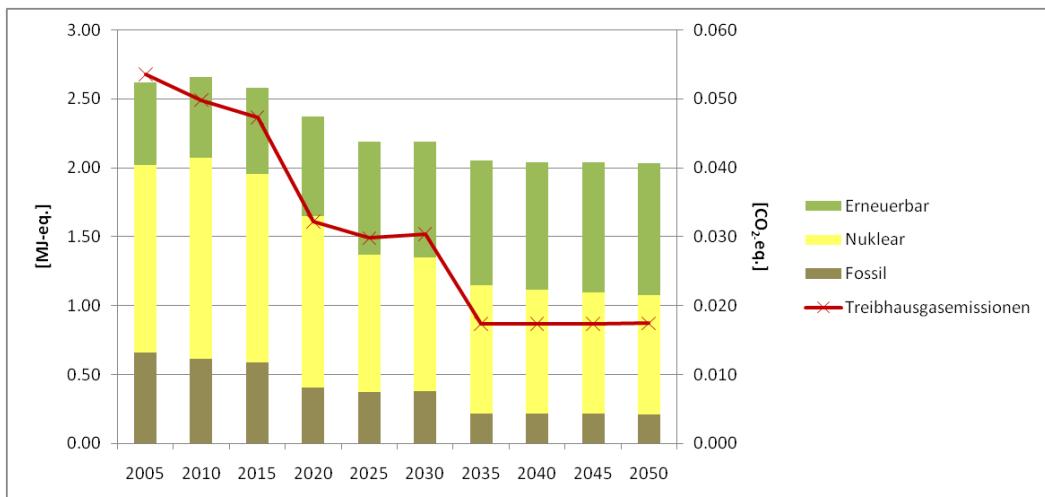
- Referenz-Szenario: BFE-Szenario I „Weiter wie bisher“ – Variante B: Deckung durch Nuklear und fossil-zentral
- Effizienz-Szenario: BFE-Szenario IV „Weg zur 2000 Watt-Gesellschaft“ – Variante A: Deckung durch neue Atomenergie
- Effizienz-Szenario: BFE-Szenario IV „Weg zur 2000 Watt-Gesellschaft“ – Variante E: Deckung durch erneuerbare Energien



Figur 79 Szenario I b aus Prognos07b: „Weiter wie bisher – Nuklear und fossil-zentral“



Figur 80 Szenario IV a: „Weg zur 2000 Watt-Gesellschaft – Nuklear“



Figur 81 Szenario IV e: „Weg zur 2000 Watt-Gesellschaft – Erneuerbare Energien“

9. Anhang B – Annahmen Wohngebäude

9.1 Gebäudehülle

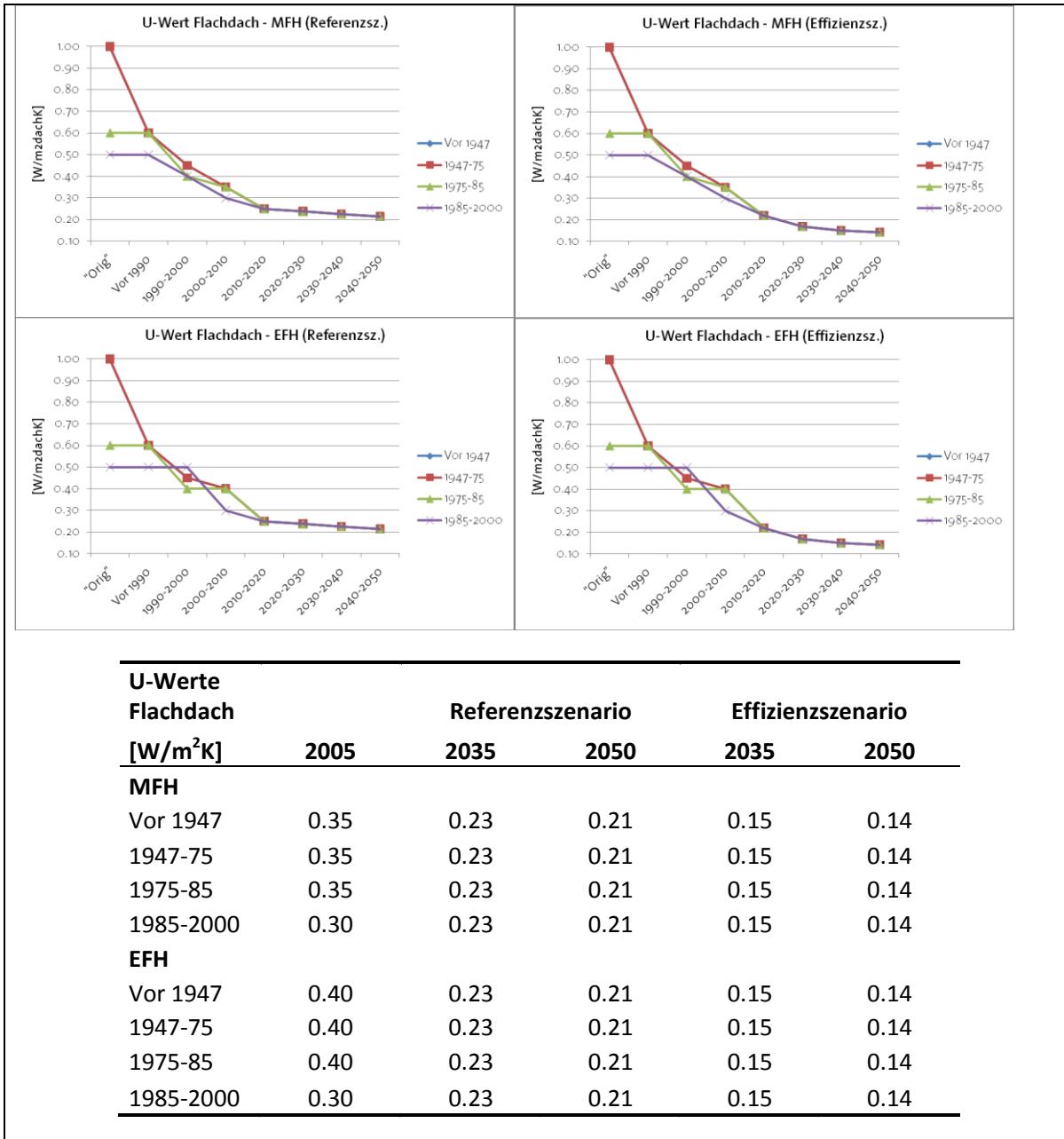
Die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) wurden im Wesentlichen wie folgt angenommen: In der Periode 2010-2020 werden in beiden Szenarien die geforderten Grenzwerte für Sanierungen, wie in MuKEn 2008 bzw. SIA 380/1: 2009 gefordert, eingehalten. Im Trendszenario nimmt der U-Wert dann zwischen 3-5 % 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 24 U-Werte gängiger Baureglemente

[W/m ² K]	Neubau mit WB- Nachweis MuKEn08	Neubau ohne WB- Nachweis MuKEn08	Zielwert SIA 380/1 m. WB- Nachweis	Minergie Standard- lösung	Grenzwert Sanierung MuKEn08	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

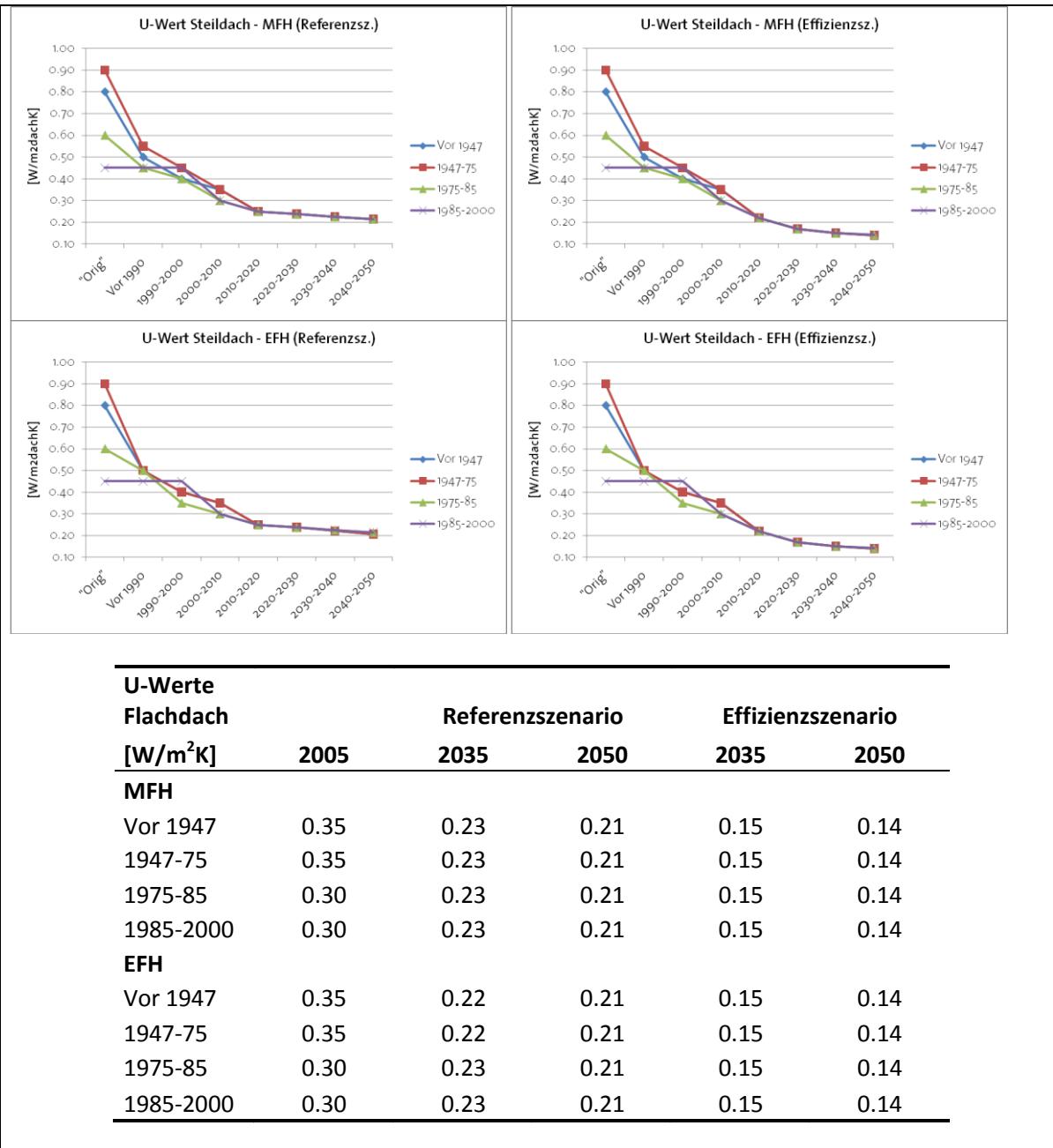
9.2 U- und g-Werte

9.2.1 U-Werte Flachdach



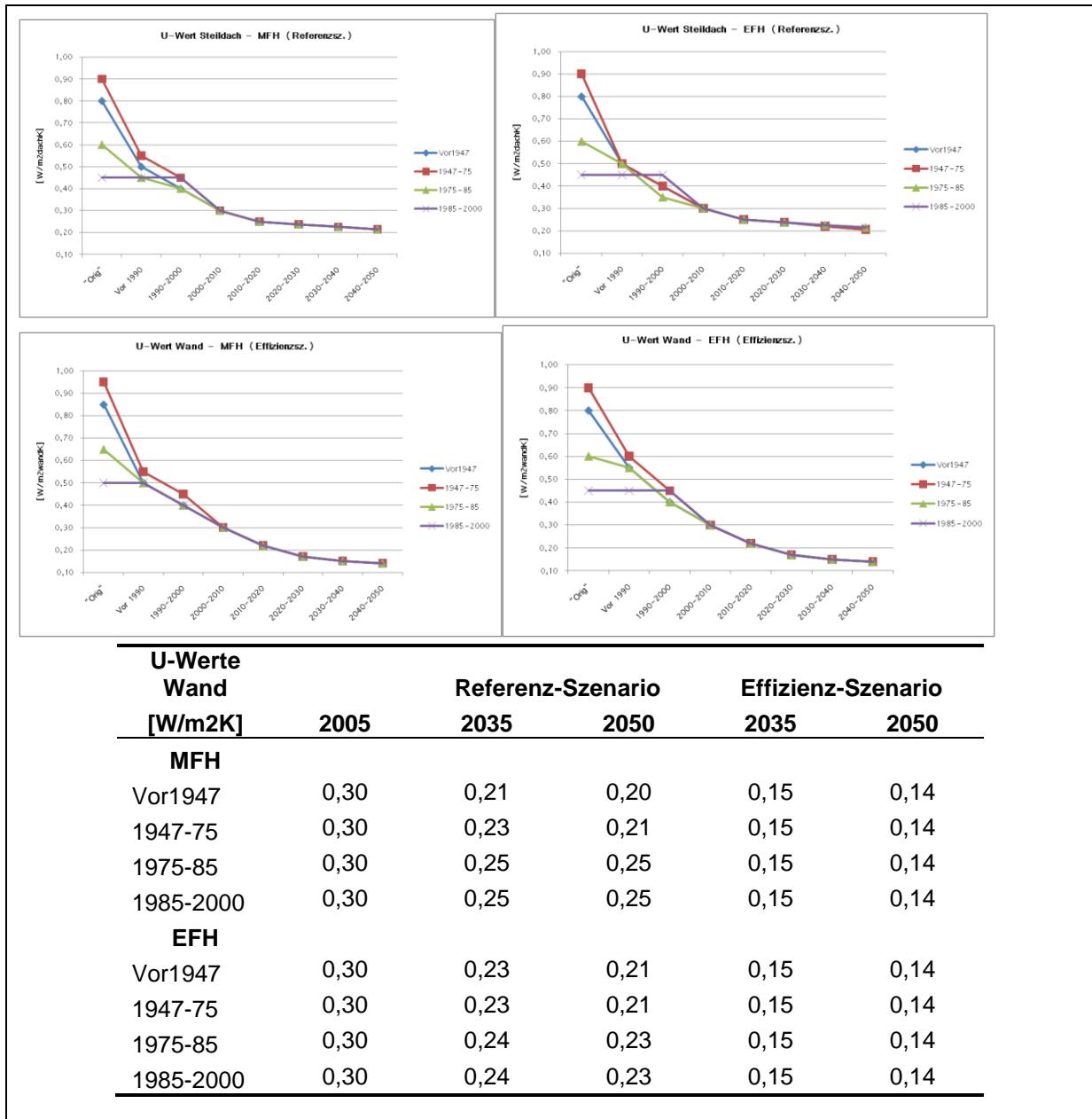
Figur 82 U-Werte Flachdach

9.2.2 U-Werte Steildach



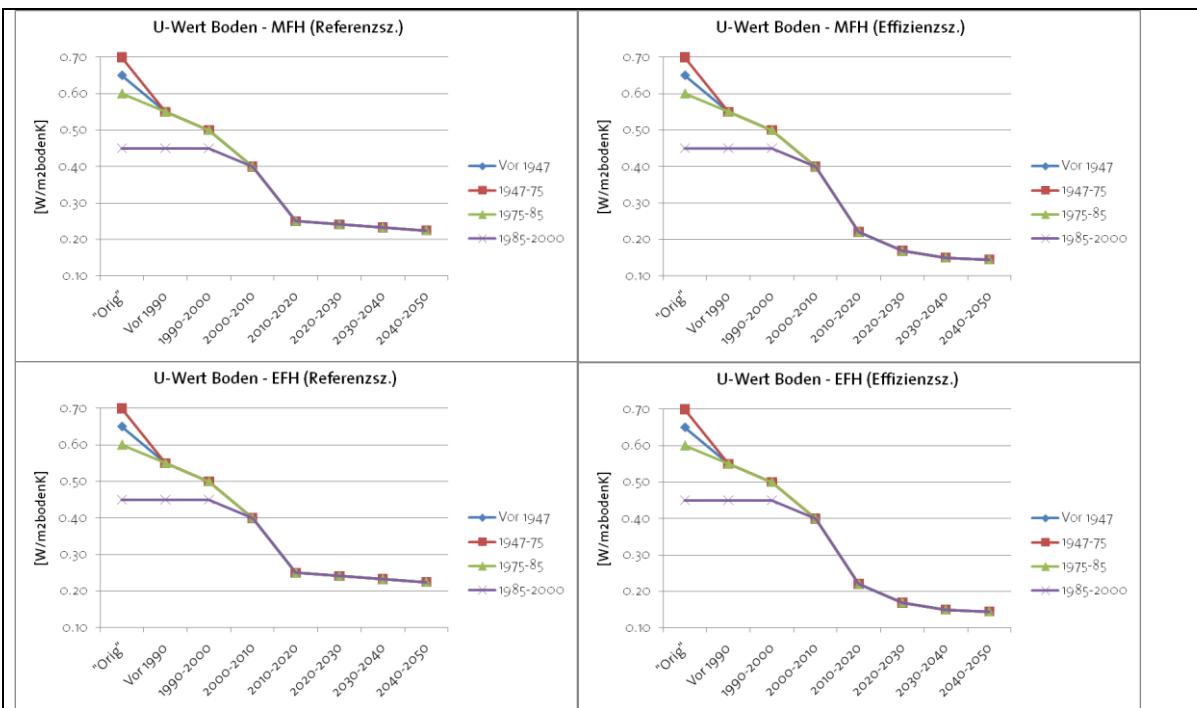
Figur 83 U-Werte Steildach

9.2.3 U-Werte Wand



Figur 84 U-Werte Wand

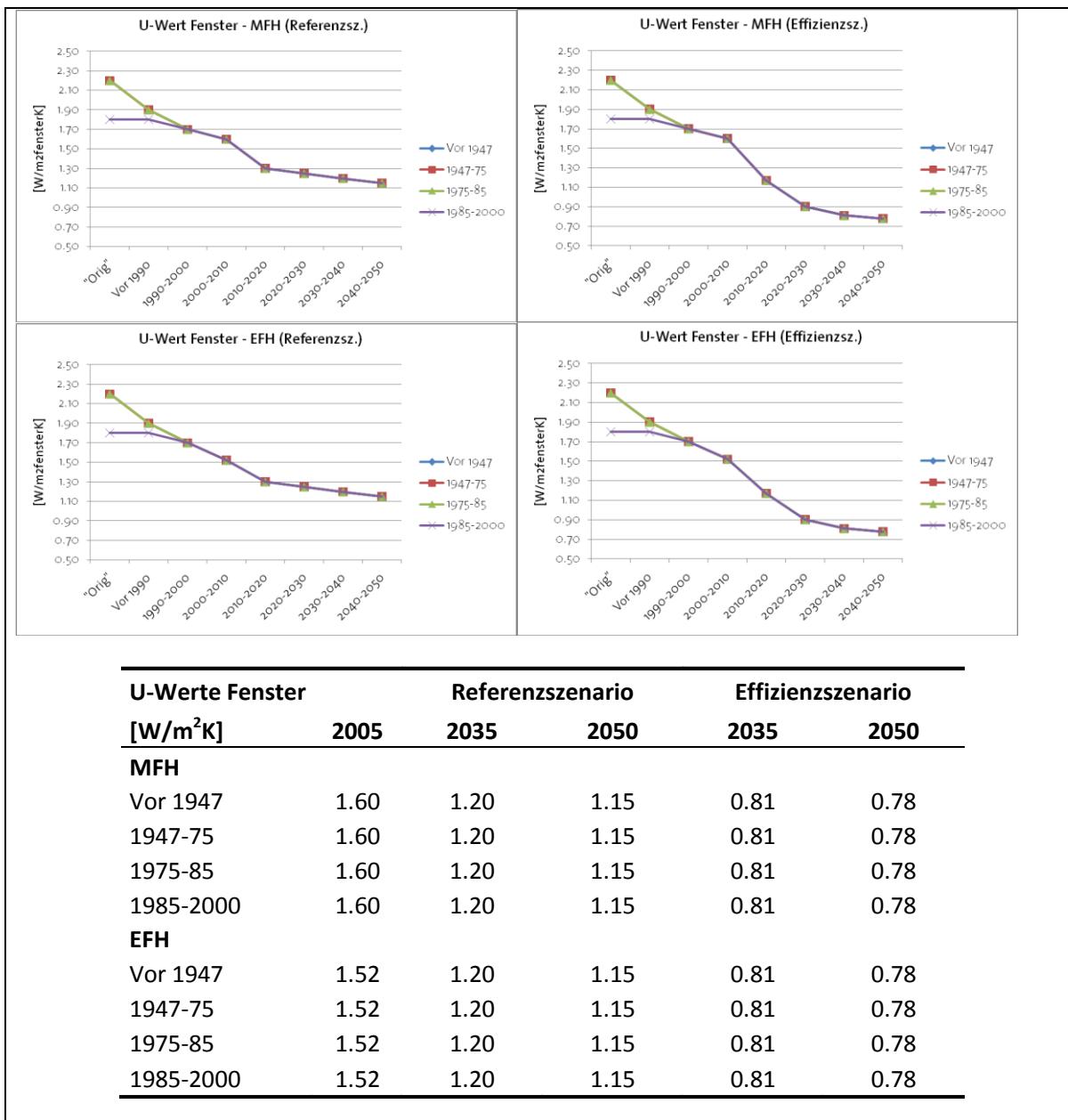
9.2.4 U-Werte Boden



U-Werte Boden [W/m ² K]	Referenzszenario			Effizienzszenario	
	2005	2035	2050	2035	2050
MFH					
Vor 1947	0.40	0.23	0.22	0.15	0.14
1947-75	0.40	0.23	0.22	0.15	0.14
1975-85	0.40	0.23	0.22	0.15	0.14
1985-2000	0.40	0.23	0.22	0.15	0.14
EFH					
Vor 1947	0.40	0.23	0.22	0.15	0.14
1947-75	0.40	0.23	0.22	0.15	0.14
1975-85	0.40	0.23	0.22	0.15	0.14
1985-2000	0.40	0.23	0.22	0.15	0.14

Figur 85 U-Werte Boden

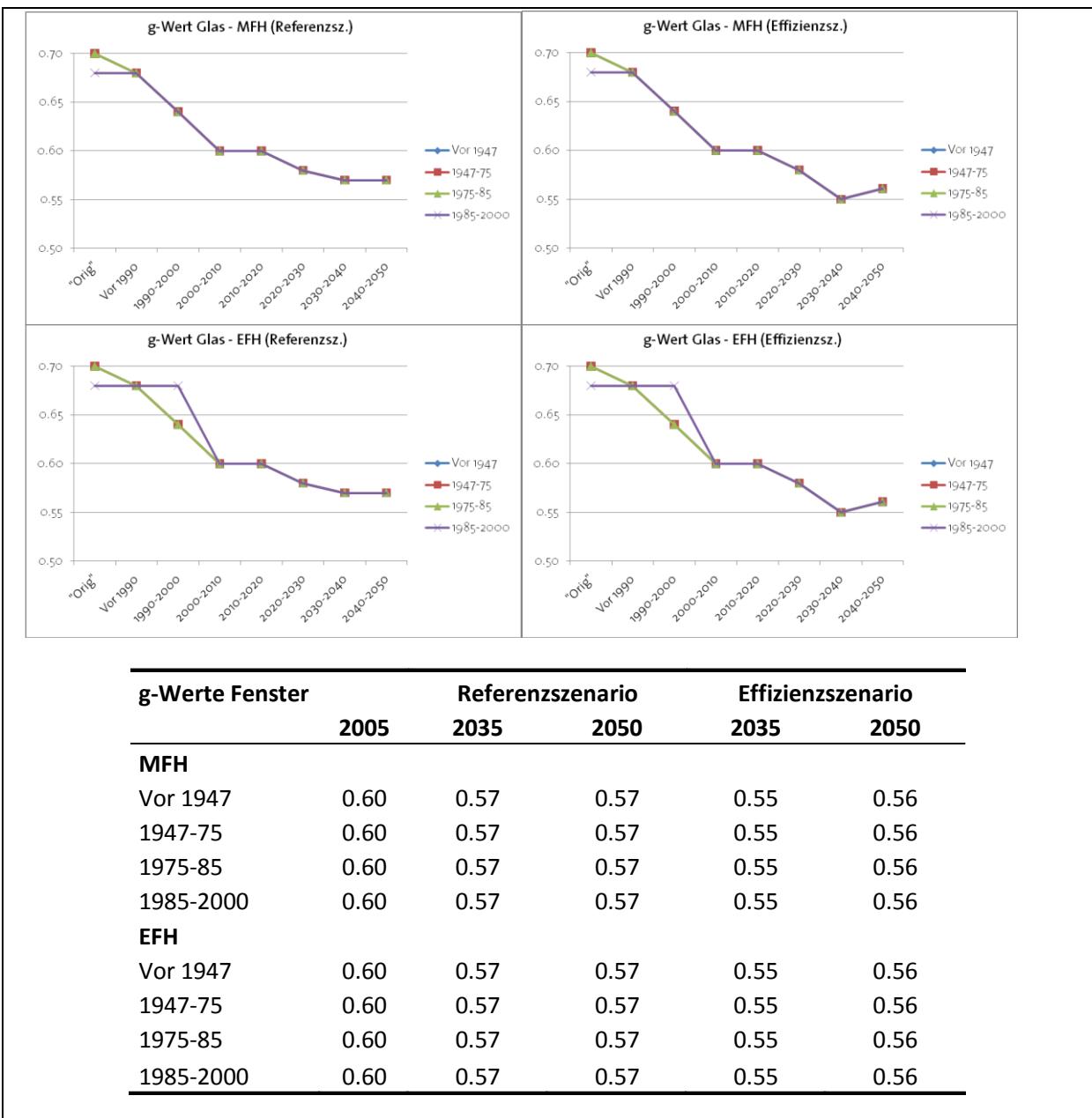
9.2.5 U-Werte Fenster



Figur 86 U-Werte Fenster

9.2.6 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 W/m²K 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.



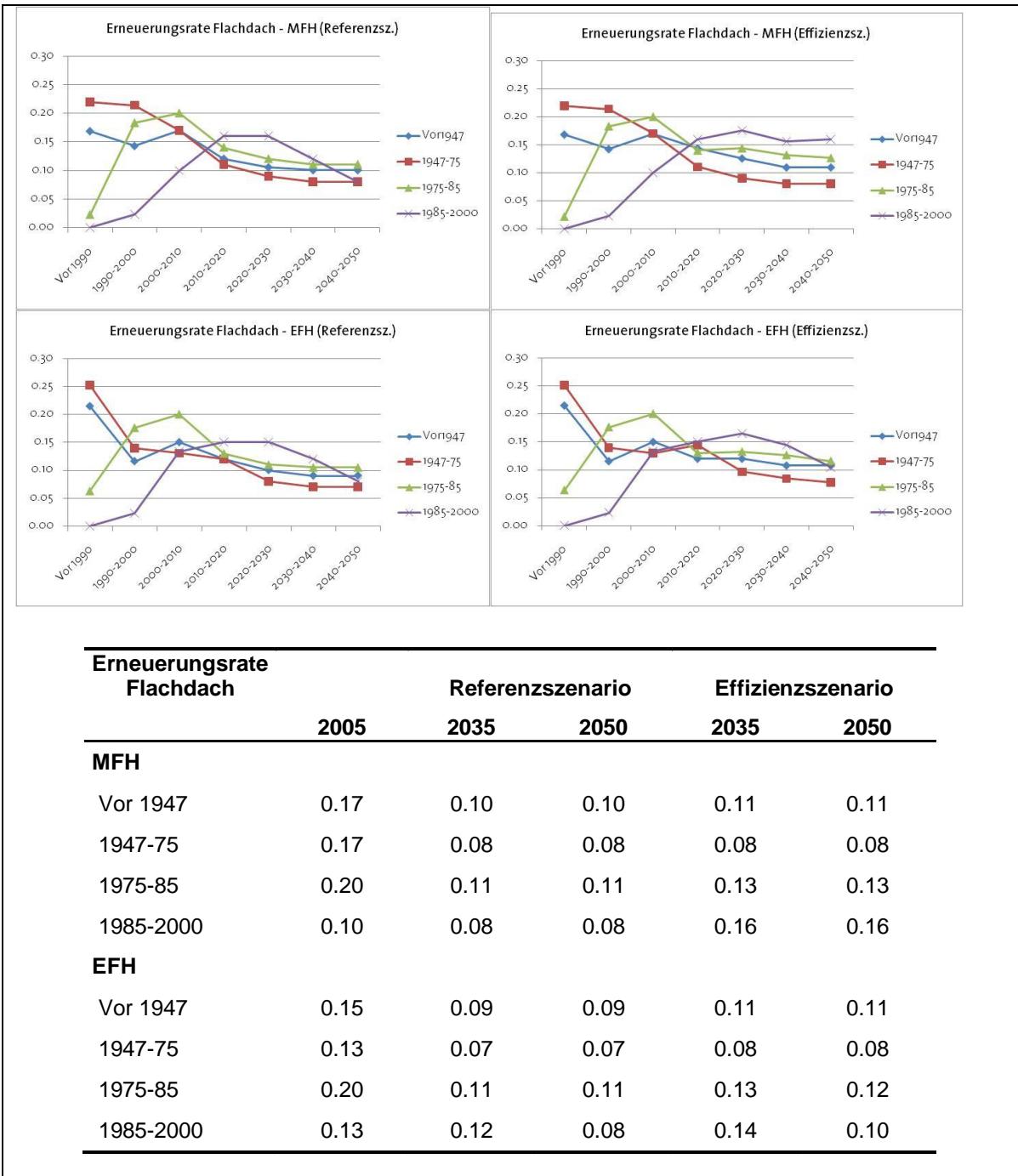
Figur 87 g-Werte Fenster

Quelle: Erhebung CEPE, eigene Annahmen

9.3 Erneuerungsraten

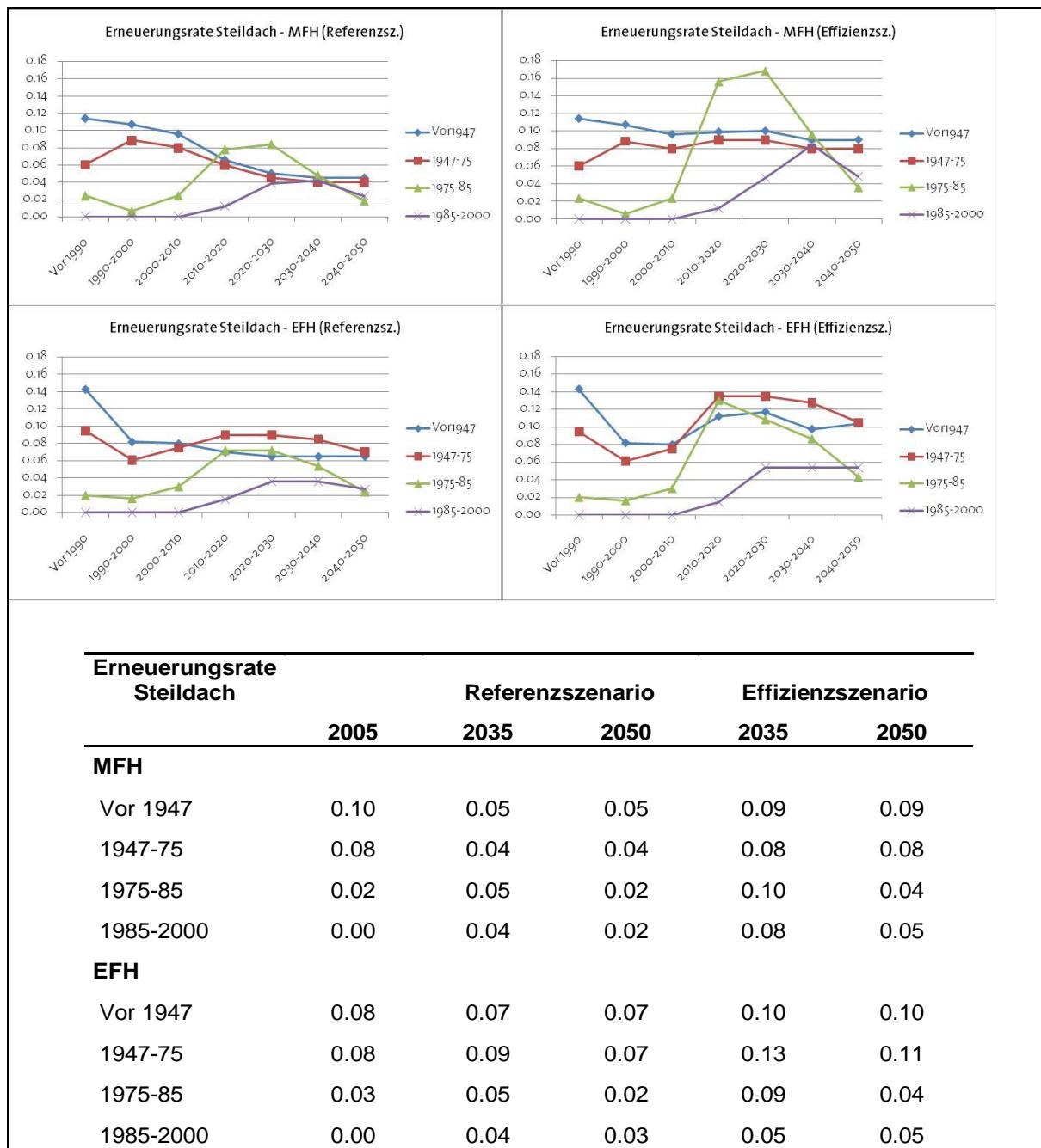
Um den Effekt der Bauteilerneuerung innerhalb des Gebäudeparks beschreiben zu können, werden **energetisch wirksame** Erneuerungsraten für die einzelnen Bauteile angenommen. Die Daten lehnen sich an die Ergebnisse aus den Untersuchungen des CEPE im Auftrag des BfE an. Das Referenz-Szenario beschreibt 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.

9.3.1 Erneuerungsraten Flachdach



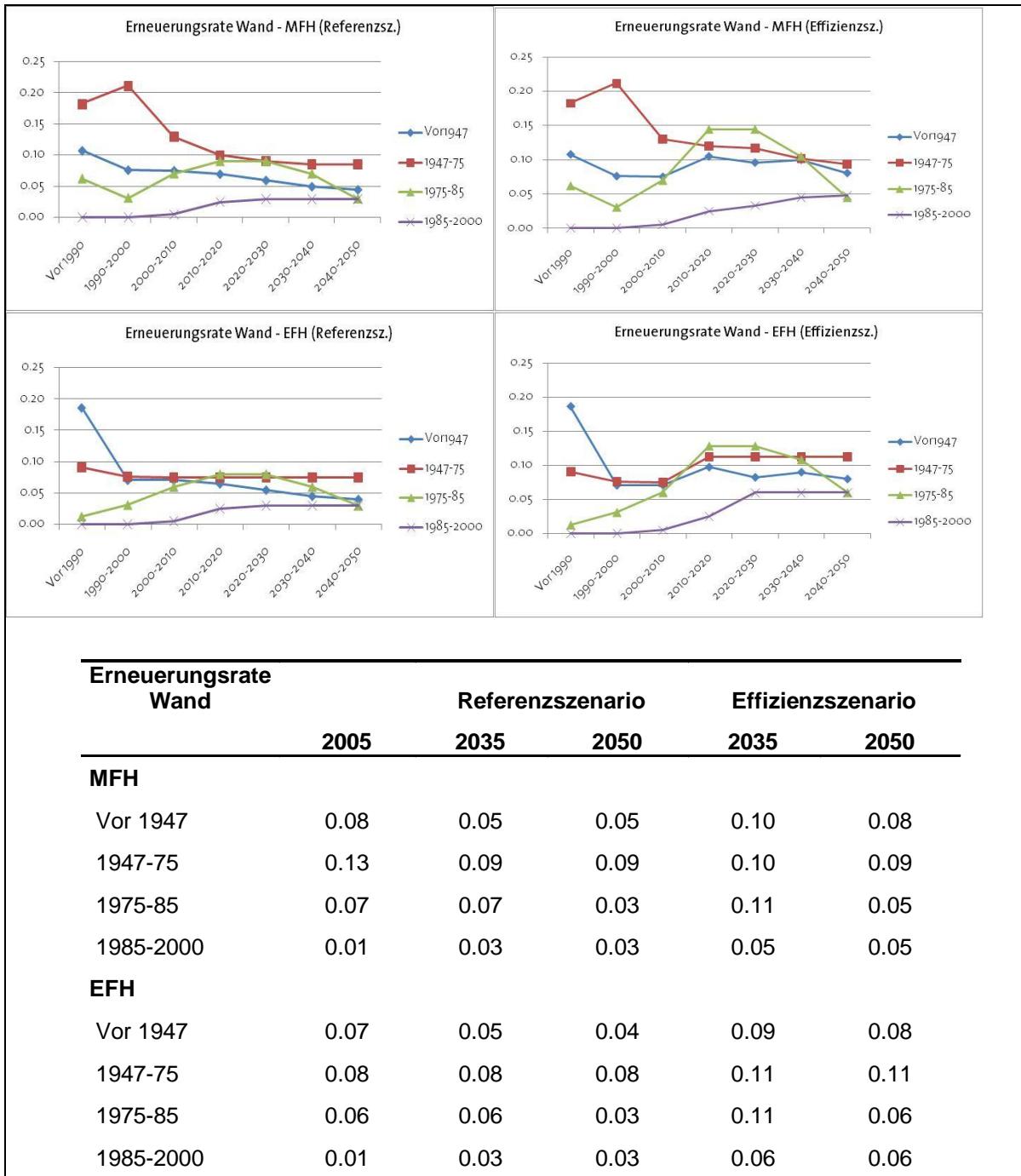
Figur 88 Erneuerungsraten Flachdach

9.3.2 Erneuerungsraten Steildach



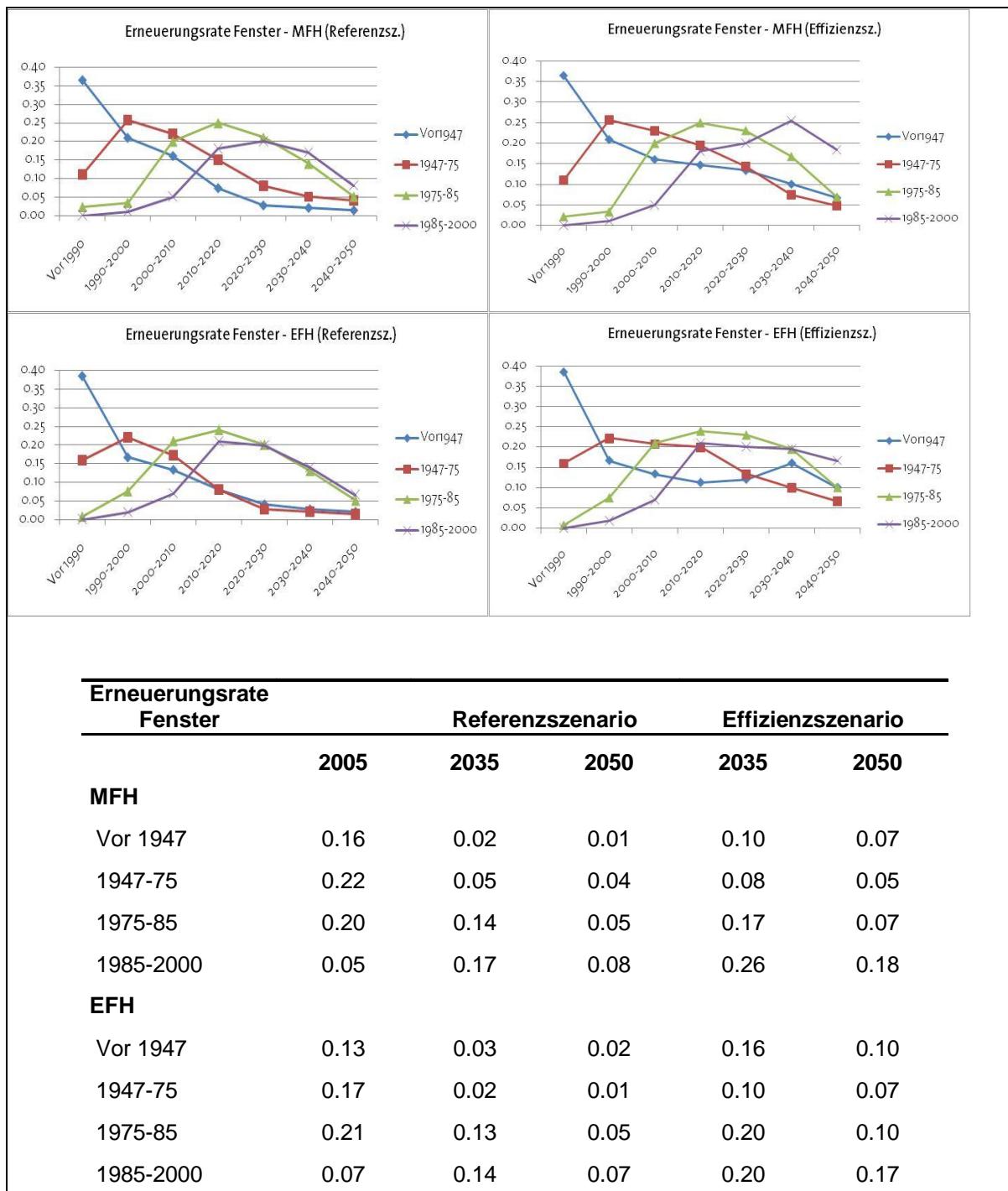
Figur 89 Erneuerungsraten Steildach

9.3.3 Erneuerungsraten Wand



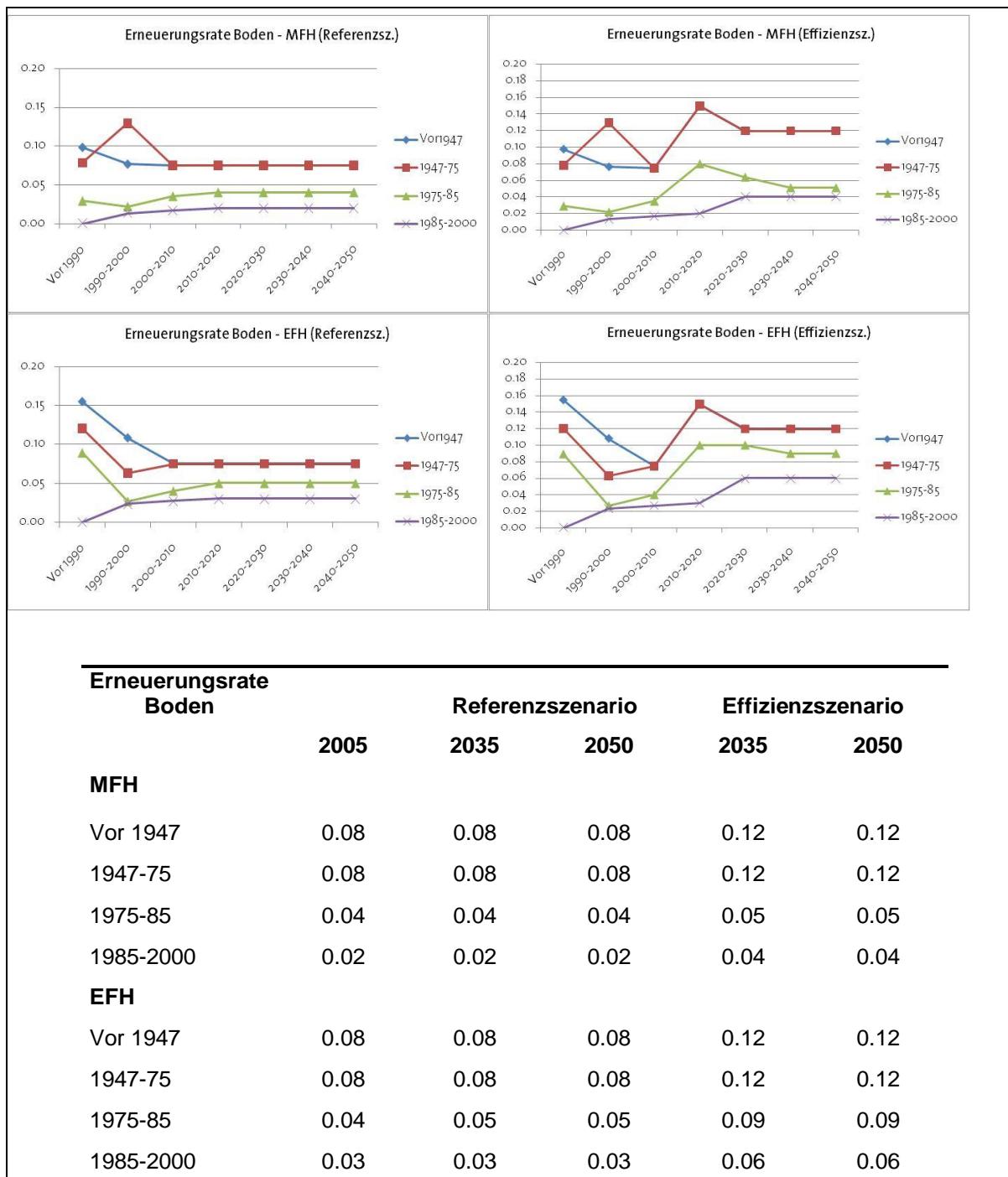
Figur 90 Erneuerungsraten Wand

9.3.4 Erneuerungsraten Fenster



Figur 91 Erneuerungsraten Fenster

9.3.5 Erneuerungsraten Boden



Figur 92 Erneuerungsraten Boden

Quelle: CEPE, eigene Annahmen

9.4 Heizwärmebedarf Neubauten

Tabelle 25 Übersicht über aktuell gültige Grenz- und Zielwerte

MuKEn 2008 / SIA 380/1 (2009)				Neubau		Sanierung		Minergie		Minergie-P	
	Q _{h,li0}	ΔQ _{h,li}	A/EBF	Q _{h,li}	Ziel- wert	Grenz- wert	Ziel- wert	Neu- bau	Sanie- rung	Neu- bau	Sanie- rung
% 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 25 aufgeführten Grenz- und Zielwerte nach MuKEn 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 Anhang A) 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 (1.9 für EFH und 1.1 für MFH) und der Heizwärmebedarf für Neubauten im Jahre 2050 10-20 % unter den Minergie-P Grenzwert liegt.

Die durchschnittlichen Heizwärmebedarfswerte sind in Figur 3 auf Seite 29 wiedergegeben.

10. Anhang C – Begriffliche Zuordnungen

Tabelle 26 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)</p> <p>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</p> <p>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)</p> <p>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</p> <p>Transport von Personen und Waren (Personen- und Warenaufzüge, Fahrstufen, Speditionseinrichtungen usw.). Betrieb von Gebäudem Managementsystemen, Transformatoren, USV-Anlagen, Sicherheitsanlagen, Schliessanlagen, Überwachungskameras, Brandschutzanlagen, Frostschutzheizungen.</p>

Tabelle 27 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