



Schlussbericht 28. Februar 2014

Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich

Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizanlagen

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern
Abteilung Energieeffizienz und Erneuerbare Energien
Sektion Gebäude

Auftragnehmer:

TEP Energy GmbH
Rotbuchstrasse 68, CH-8037 Zürich
www.tep-energy.ch
Telefon +41 43 500 71 71
Fax +41 43 500 71 79

Autoren:

Dr. Martin Jakob (Projektleitung)
Gregor Martius
Dr. Giacomo Catenazzi
Heike Berleth

BFE-Bereichsleiter: Olivier Meile
BFE-Vertragsnummer: SI / 401162-01

Für den Inhalt ist allein der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage, Problemstellung und Zielsetzung	4
1.1	Ausgangslage, Problemstellung	4
1.2	Zielsetzung.....	4
2	Begrifflichkeiten und methodisches Vorgehen im Überblick	5
2.1	Begrifflichkeiten.....	5
2.2	Methodisches Vorgehen im Überblick	5
3	Gebäudehülle: Empirische Grundlagen zur Erneuerungsrate	7
3.1	Übersicht über die verwendeten empirischen Grundlagen	7
3.2	Angaben zu den durchgeführten Instandsetzungs- und Erneuerungsarbeiten.....	8
3.2.1	Wohngebäude.....	8
3.2.2	Nicht-Wohngebäude	9
3.3	Vollflächige Erneuerungen versus teilflächige Erneuerungen.....	10
3.4	Jährliche Erneuerungsrate unter Berücksichtigung von teilweisen und teilflächigen Erneuerungen	11
4	Heizanlagen und Energieträger: Empirische Grundlagen und Modellergebnisse zur Erneuerungsrate	15
4.1	Empirische Grundlagen	15
4.1.1	Wohngebäude.....	15
4.1.2	Nicht-Wohngebäude	17
4.2	Auswertungen des Gebäudeparkmodells sowie des Ex-post Modells TEP Tertiary	18
5	Aggregation und energetische Interpretation der Erneuerungsraten.....	20
5.1	Gebäudehülle.....	20
5.2	Heizanlagen	22
5.3	Gesamteffekt.....	23
5.4	Fazit	24
6	Steigerungspotenzial der Erneuerungsrate der Gebäudehülle und des Wirkungsgrades von Heizanlagen - Ansätze und Limitationen	25
6.1	Steigerung der Erneuerungsrate	25
6.2	Verbleibendes Potenzial	25
7	Literatur und Referenzen	27
8	Anhang	28
8.1	Wohn- und Nicht-Wohngebäude in der Übersicht	28
8.2	Zeitlicher Verlauf der durchgeführten Massnahmen im Bereich Gebäudehülle.....	29
8.3	Modellvalidierung.....	31

1 Ausgangslage, Problemstellung und Zielsetzung

1.1 Ausgangslage, Problemstellung

Die Energiestrategie 2050 des Bundes sieht für den Gebäudebereich unter anderem finanzielle Unterstützungen für energetische Sanierungen vor, um die energetische Sanierungsrate deutlich zu steigern. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, wie hoch die energetische Erneuerungsrate in der Vergangenheit war und aktuell ist.

Zur vergangenen und aktuellen Erneuerungsrate kursieren diverse Daten und Angaben, dies jedoch häufig ohne Definition und/oder Quellenangabe. Ohne eine Definition, wie eine Erneuerungsrate inhaltlich und energetisch definiert ist, lässt die Interpretation jedoch einen hohen Spielraum offen. Bei dieser Ausgangslage ist auch die Abschätzung der bisherigen Wirkung der energetischen Erneuerungen nur mit hohen Unsicherheiten möglich.

Die Kenntnis der aktuellen Erneuerungsrate ist auch im Hinblick auf die Konzeption von Förderprogrammen und deren Wirkung wichtig. In der Tat kann mit Hilfe der Erneuerungsdaten und eines gut strukturierten Mengengerüsts des Gebäudeparks abgeschätzt werden, mit welchem Fördervolumen typischerweise zu rechnen ist bzw. welcher Anteil des aktuellen Erneuerungsmarktes mit einem Förderprogramm beeinflusst werden kann.

1.2 Zielsetzung

Ziel des Projekts ist, verfügbare Grundlagen zu den Erneuerungsdaten im Bereich Gebäudehülle und Heizanlagen bereit zu stellen. Insbesondere sollen:

1. Die verfügbaren empirischen Grundlagen und Studien zum Thema allgemeine Instandsetzungs- und spezifische energetische Erneuerungsdaten aufbereitet und erläutert werden
2. Die gesamten Erneuerungs- sowie die energetischen Erneuerungsdaten konsolidiert und aggregiert werden
3. Hinweise zu Ansätzen und Limitationen ihrer Steigerung gegeben werden, dies bezugnehmend auf die ersten beiden Zielsetzungen im Sinne eines Fazits

Thematisch sollen hierbei sowohl Arbeiten im Bereich Gebäudehülle als auch Arbeiten im Bereich Heizanlagen abgedeckt werden. Als Betrachtungsperiode werden die zehn Jahre zwischen 2001 und 2010 gewählt, welche in der zweiten Hälfte durch das Gebäudeprogramm der Stiftung Klimarappen charakterisiert ist, aber noch nicht die Einführung des Gebäudeprogramms von Bund und Kantonen enthält.

2 Begrifflichkeiten und methodisches Vorgehen im Überblick

2.1 Begrifflichkeiten

Um die in diesem Bericht dokumentierten Darstellungen und Ergebnisse einordnen zu können, wird zwischen energetischen Erneuerungsmassnahmen und (energetisch nicht wirksamen) Instandsetzungsmaßnahmen unterschieden. In Anlehnung an den SIA 469, an den Elementartenkatalog des CRB und an Ott, Jakob et al. (2013) kommen folgende Definitionen zur Anwendung:

- **Instandhaltung:** Die Gebrauchstauglichkeit wird durch einfache und regelmässige Massnahmen aufrechterhalten. Beispiele im Bereich Gebäudehülle sind Reparaturen bei Fenstern (z.B. Ersatz oder Ausbesserungen von Dichtungen und Beschlägen), Ausbesserungen bei Aussenwand/Fassaden/Türen, Reparatur schadhafter Stellen bei Dächern.
- **Instandsetzung:** Die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit wird für eine festgelegte Dauer, in der Regel bis ans Ende der pro Bauelement erwarteten Lebensdauer, wieder hergestellt gemäss dem ursprünglichen Neubaustandard. Beispiele im Bereich Gebäudehülle: neuer Anstrich von Aussenwand, Fassaden, Türen, neue Eindeckung bzw. neue Dichtung im Dachbereich.
- **Allgemeine Erneuerung:** das Wiederherstellen eines gesamten Bauwerks oder von Bauteilen oder Anlagen in einen mit dem (heutigen) Neubaustandard vergleichbaren Zustand.
- **Energetische Erneuerung:** Erneuerungen, welche das Gebäude oder das betroffene Bauteil auf einen dem heutigen Neubauten bzw. den Vorschriften entsprechenden Niveau bringen. Im Fall der Gebäudehülle beinhaltet dies die Verbesserung der Energieeffizienz (z.B. Fensterersatz, Ersatz der Verglasung, Fassaden- oder Dachwärmedämmung etc.) und im Fall der Heizanlagen den Einsatz von erneuerbaren Energien.

Bei den verwendeten empirischen Grundlagen (siehe Kap. 3) und im Rahmen dieses Syntheseberichts wird im Bereich Gebäudehülle zwischen Instandhaltung und Instandsetzung auf der einen Seite sowie energetische Erneuerung auf der anderen Seite unterschieden, d.h. Instandhaltung und Instandsetzung werden zusammengefasst. Bei den Heizanlagen wird die Unterscheidung zum Teil aufrecht erhalten.

2.2 Methodisches Vorgehen im Überblick

Bezugnehmend auf die oben aufgeführten Begrifflichkeiten und die Zielsetzung des Projekts sowie die öffentlich und bei TEP Energy verfügbaren Grundlagen enthält das methodische Vorgehen folgende drei Arbeitsschritte (AS):

AS 1 Aufarbeiten von verfügbaren Unterlagen und Studien: Dieser Arbeitsschritt umfasst zwei Teilbereiche: zum einen die Gebäudehülle und zum anderen die Heizanlagen.

- a. Gebäudehülle:** Die Erhebungen des CEPE der ETH Zürich zu den Wohngebäuden zur Periode 1986 bis 2000 (Jakob und Jochem 2003) sowie von CEPE und TEP Energy zur Periode 1996 bis 2009/2010 (Banfi, Ramseier et al. 2011 zu Einfamilienhäusern und Banfi, Farsi, Jakob et al. 2012 zu Mehrfamilienhäusern) sowie zu Bürogebäuden zur Periode 2000 bis 2012 (Ott, Jakob et al. 2014) werden bzgl. teilweisen und vollständigen Erneuerungsraten konsolidiert und dargestellt. Hierbei wird besonders zwischen nicht-energetischen Instandsetzungen und energetischen Erneuerungen unterschieden, dies für die verschiedenen Elemente der Gebäudehülle. Diese Unterscheidung ist für besagte Fragestellung sehr wichtig, denn Instandsetzungen als Element des Re-Investitionszyklus stellen eine entscheidende Gelegenheit dar, energetische Erneuerungen zu fördern.

b. Heizanlagen: Das Erneuerungsverhalten und insbesondere die Substitutionstätigkeit wurde von Banfi et al. (2012) nicht und von Banfi, Ramseier et al. (2011) nur rudimentär ausgewertet und dokumentiert. Aus diesem Grund werden ergänzende Auswertungen herangezogen. Dies betrifft zum einen die zu den MFH verfügbaren Grundlagen und zum anderen interne Daten der Modelle Gebäudeparkmodell (GPM) und Ex-post TEP Tertiary zu den Wohn- bzw. zu Nicht-Wohngebäuden. Zudem werden die Ergebnisse von Ott, Jakob et al. (2014) zu den Bürogebäuden dargestellt.

AS 2 Aggregation und energetische Interpretation der Erneuerungsraten: In einem nächsten Schritt werden die elementspezifischen Erneuerungsraten aggregiert, um sie mit den eingangs erwähnten häufig genannten „1% pro Jahr“ vergleichen zu können. Dies wird zum einen für die verschiedenen Elemente der Gebäudehülle (flächengewichtet) und zum anderen für Gebäudehülle und Heizanlagen aggregiert. Zu diesem Zweck und um die Erneuerungsraten interpretieren zu können, wird ihnen eine energetische Wirkung zugeordnet (energetisches Wirkungsäquivalent). Um die Wirkung nicht zu über- (oder unter-)schätzen, wird diese in einem iterativen Verfahren ermittelt. Dabei kommen die genannten gesamtschweizerischen Modelle zum Einsatz, deren Ergebnisse mit der tatsächlichen Entwicklung gemäss Energiestatistik verglichen werden (ähnlich Jakob 2006 und BFE-Expost-Analysen). Für die Modellierung werden Wirkungsgradverbesserungen bei Heizanlagen und Erneuerungsraten mit U-Wert-Differenzen pro Bauelement und pro Gebäudeperiode verknüpft. Berücksichtigt wird hierbei auch die Abriss-, Neubau-, und Substitutionstätigkeit. Das Vorgehen lehnt sich an das Vorgehen der Ex-post Analysen an, wobei das Gebäudeparkmodell (GPM) und das im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE) neu entwickelte Modell Ex-post TEP Tertiary zur Anwendung kommen (Wallbaum et al. 2009 und 2010, Catenazzi und Jakob 2011).

AS 3 Steigerung der Erneuerungsrate - Ansätze und Limitationen: Im Arbeitsschritt AS3 werden zu Ansätze und Limitationen bzgl. der möglichen Steigerung der energetischen Erneuerungsrate aufgezeigt und erläutert. Hierbei wird auf die bereits erwähnte Literatur sowie weitere Ergebnisse des Programms Energieforschung Stadt Zürich und auf die Erkenntnisse von Ott, Jakob et al. (2005) Bezug genommen.

3 Gebäudehülle: Empirische Grundlagen zur Erneuerungsrate

3.1 Übersicht über die verwendeten empirischen Grundlagen

Empirische Grundlagen zu Instandsetzungs- und Erneuerungsraten bestehen für Wohngebäude zur Periode 1986 bis 2000 (Jakob und Jochem 2003) sowie zur Periode 1996 bis 2009 (EFH) bzw. 2010 (MFH) (Banfi, Ramseier et al. 2011 zu Einfamilienhäusern bzw. Banfi, Farsi, Jakob et al. 2012 zu Mehrfamilienhäusern). Hierbei wurden die Erneuerungsanteile pro Bauteil und pro Baualtersperiode mittels umfangreichen Erhebungen bei EFH- und MFH-Eigentümern ermittelt. Basis bildeten Stichproben mit Gebäudestandorten in den Kantonen AG, BE, BL, TG, ZH. Die Stichprobengrösse umfasst jeweils rund 1000 bzw. 1700 Gebäude (siehe Tabelle 1 für Details). Für die Kantone BL, TG und ZH liegen nebst den in Tabelle 1 angegebenen Berichten zusätzlich noch je 1 Kantonsbericht vor (Jakob und Unterhollenberg 2013).

Im Vergleich zu den Wohngebäuden ist die empirische Grundlage zur energetischen Erneuerungstätigkeit bei Nicht-Wohngebäuden weit weniger breit abgestützt. In Ott, Jakob et al. (2014) wurde die vergangene energetische Erneuerungstätigkeit (und weitere Attribute) von rund 370 Bürogebäuden in der Stadt Zürich erhoben.

Tabelle 1 Übersicht über die verwendeten empirischen Grundlagen zu energetischen Erneuerungen im Bereich Wohn- und Nicht-Wohngebäude

Referenz	Titel	Gebäude-typen	Stich- proben- grösse	Betrachtete Periode	Gebiet der Umfrage
Ott, Jakob et al. (2014)	Erneuerungstätigkeit u. Erneuerungsmotive bei Wohn- und Bürobauten	Büro- gebäude	370	2000-2012	Stadt Zürich
Banfi, Farsi, Jakob et al. (2012)	An Analysis of Investment Decisions for Energy - Efficient Renovation of Multi-Family Buildings	MFH	1700	2001-2010	Kantone AG, BE, BL, TG, ZH
Banfi, Ramseier et al. (2011)	Erneuerung von Einfamilienhäusern	EFH	1600	1996-2010	Kantone AG, BE, BL, TG, ZH
Jakob und Jochem (2003)	Erneuerungsverhalten im Bereich Wohngebäude – eine quantitative Erhebung	EFH, MFH	Je rund 1000	1986-2000	Kantone AG, BE, BL, TG, ZH

Quelle: Darstellung TEP Energy

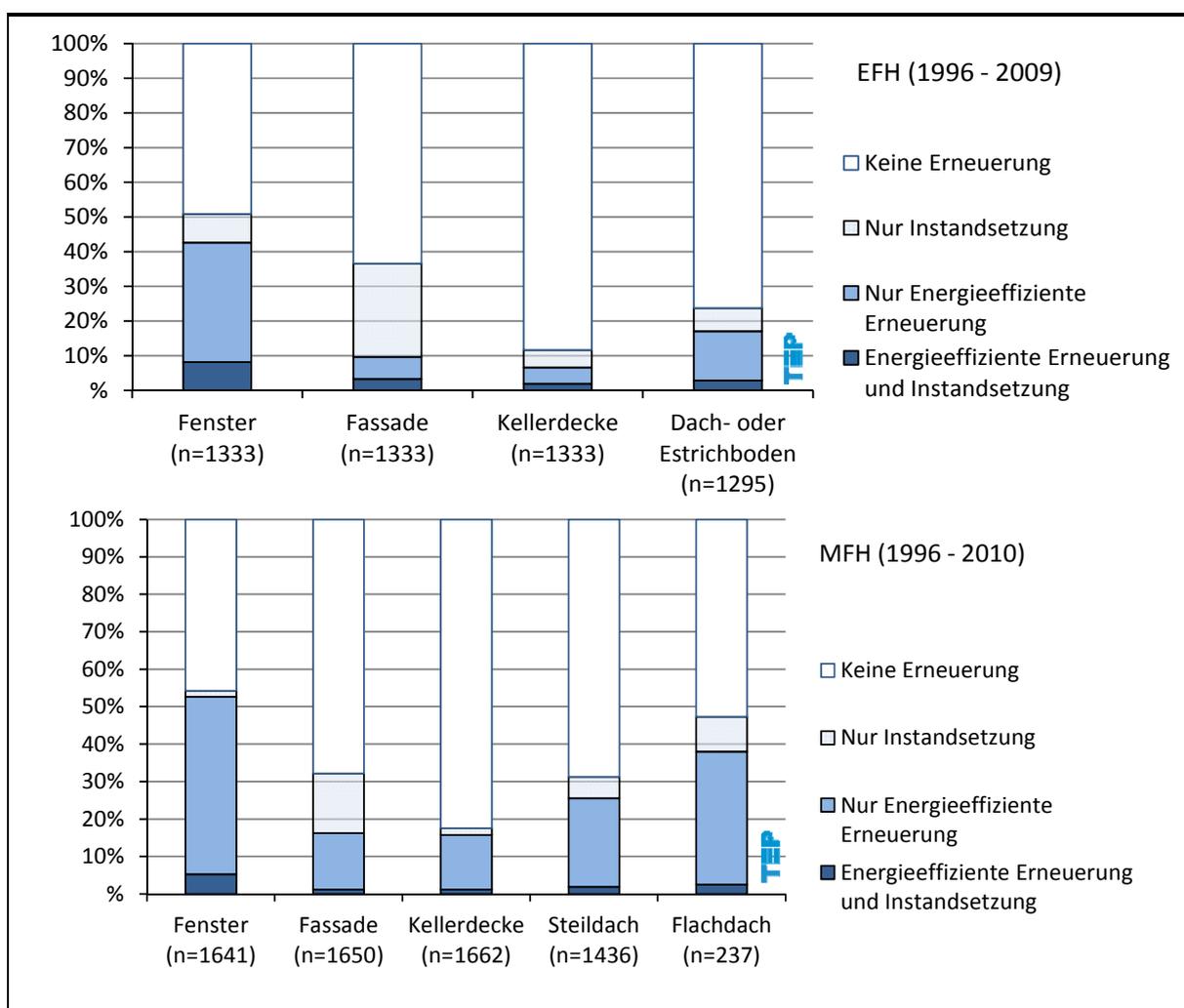
Der Rest des Kapitels 3 ist wie folgt strukturiert: Im nachfolgenden Kapitel 3.2 werden zunächst die von den Befragten gemachten Angaben zu den durchgeführten Arbeiten dokumentiert, dies für Wohngebäude (Kap. 3.2.1), dann für Bürogebäude stellvertretend für Nicht-Wohngebäude (Kap. 3.2.2) und in der Folge als Übersicht (Kap. 8.1 im Anhang). Im Kapitel 3.3 wird der Anteil der teilweise oder teilflächig ausgeführten Arbeiten dokumentiert und in der Folge werden im Kapitel 3.4 die bereinigten jährlichen Erneuerungsraten unter Berücksichtigung von teilweisen und teilflächigen Erneuerungen dargestellt.

3.2 Angaben zu den durchgeführten Instandsetzungs- und Erneuerungsarbeiten

3.2.1 Wohngebäude

Zunächst werden in diesem Unterkapitel die Angaben der Befragten zu den durchgeführten Arbeiten dokumentiert. Die Auswertung basiert dabei auf der Anzahl Nennungen, d.h. teilweise oder teillächlich erneuerte Bauelemente werden nicht separat betrachtet, sondern als „Nennung“ gleich gewichtet und wie die (pro Bauteil) vollständig und vollflächig ausgeführten Instandsetzungen und Erneuerungen gezählt (die Berücksichtigung der teilweise und teillächigen Erneuerungen erfolgt im nachfolgenden Kapitel 3.3). Zu den verschiedenen Bauteilen können folgende Ergebnisse festgehalten werden:

- Die Massnahmen am Gebäudehüllenelement Fenster sind hauptsächlich energieeffizienter Natur, da es sich bei den Massnahmen in der Regel um Fensterersatz handelt (siehe Abbildung 1, gestützt auf Banfi, Ramseier et al. 2011 und Banfi, Farsi, Jakob et al. 2012). Instandsetzungen, also Reparatur, Anstrich und Verbesserung der Dichtigkeit, wurden wesentlich weniger häufig durchgeführt.



Quelle: Jakob, Unterhollenberg et al. (2013), Darstellung TEP Energy

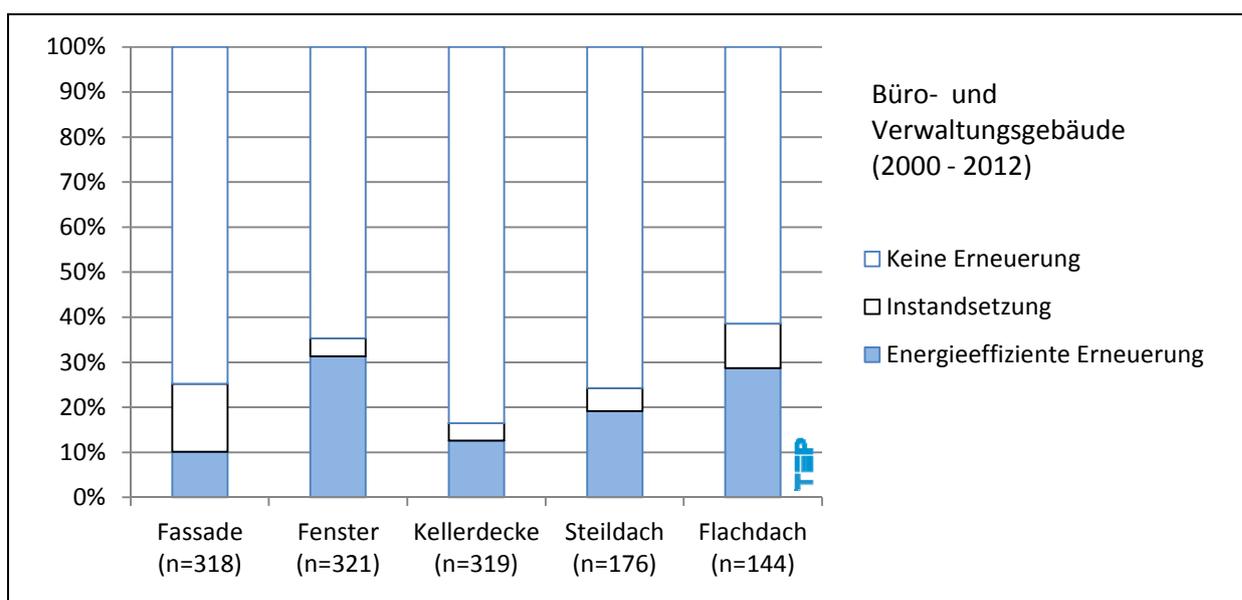
Abbildung 1: Anteil Nennungen bzgl. ganz- oder teillächlich durchgeführter Instandsetzungs- und Erneuerungsarbeiten der Gebäudeelemente Fenster, Fassade, Kellerdecke und Dach / Estrichboden in den Kantonen AG, BE, BL, TG und ZH zwischen 1996 und 2009 bei EFH (oben, N=1333) und zwischen 1996 und 2010 bei MFH (unten, N=1662), Gebäude mit Baujahr bis 1990. Die Stichprobengrösse mit gültigen Antworten pro Bauteil ist mit "n=" bezeichnet.

- An der Fassade dominiert im Gegensatz dazu jedoch die Instandsetzung. Dies wurde bereits durch Jakob und Jochem (2003/2009) in Bezug auf die frühere Renovationsperiode 1986 bis 2000 festgestellt.
- Massnahmen bei Steil- und Flachdächern beinhalten mehrheitlich eine Energieeffizienzverbesserung. Im Dachbereich war die Renovationspraxis gemäss Jakob et al. (2002) und auch gemäss Jakob und Jochem (2003/2009) recht unterschiedlich, vor allem im Bereich Steildach: Situationsbedingt wird entweder das ganze Dach erneuert, eine Wärmedämmung von oben oder von unten angebracht (letzteres vor allem im Fall von Ausbauten des Dachraums) oder es wurde der Estrichboden gedämmt. Im Vergleich zu Banfi, Farsi, Jakob et al. (2012) war der energetische Anteil im Dachbereich in der früheren Untersuchung (Jakob und Jochem 2003/2009) leicht höher.
- Auch Massnahmen an der Kellerdecke beinhalten mehrheitlich energetische Verbesserungen, wobei hier die Erneuerungsrate im Quervergleich zu den übrigen Bauteilen am tiefsten ist.

3.2.2 Nicht-Wohngebäude

Bei den Nicht-Wohngebäuden ist die Datenlage im Vergleich zu den Wohngebäuden weniger umfangreich und vollständig. Stellvertretend kann eine Erhebung zu Bürogebäuden herangezogen werden, in welcher die zwischen 2000 bis 2012 durchgeführten Arbeiten an der Gebäudehülle erhoben wurden (Ott, Jakob et al. 2014). Diese Ergebnisse betreffen zwar nur eine Stichprobe von Gebäuden in der Stadt Zürich, aber bei Wohngebäuden haben sich bzgl. Gebäudehüllenerneuerung wenig Unterschiede zwischen den verschiedenen Kantonen und Gemeindetypen gezeigt. Insbesondere wurde in statistischen Analysen festgestellt, dass die Stadt Zürich keine signifikant unterschiedliche Erneuerungswahrscheinlichkeit aufweist. Aus diesem Grund können die Ergebnisse bezüglich der Bürogebäude in der Stadt Zürich im Sinne einer ersten Näherung in die Betrachtung einbezogen werden.

Zu den verschiedenen Bauteilen können folgende Ergebnisse festgehalten werden: Im Zeitraum 2000 bis 2012 wurde bei den Bürogebäuden in der Stadt Zürich bei 27% die Fassade, bei 36% die Fenster, bei 26% der Gebäude mit Steildach und bei 39% der Gebäude mit Flachdach das jeweilige Dach und bei 14% die Kellerdecke instandgesetzt oder energetisch erneuert (Ott, Jakob et al. (2014, siehe Abbildung 2). Bei der Fassade handelt es sich bei rund 40% der Arbeiten um energetische Verbesserungen. Bei den übrigen Bauteilen war der Anteil der energetischen Verbesserungen wesentlich höher, nämlich zwischen knapp 75% (Kellerdecke) bis zu 89% (Fenster).



Quelle: Ott, Jakob et al. (2014), Darstellung TEP Energy

Abbildung 2: Anteile ganz- oder teilflächig durchgeführten Instandsetzungs- und Erneuerungsarbeiten bei Fenster, Fassade, Kellerdecke und Dach/Estrichboden bei Bürogebäuden

3.3 Vollflächige Erneuerungen versus teilflächige Erneuerungen

Im Gegensatz zu Jakob und Jochen (2003/2009) wurde in den neueren Erhebungen (Banfi, Ramsier et al. (2011); Banfi, Farsi, Jakob et al. (2012); Ott, Jakob et al. (2014)) auch abgefragt, ob die Massnahmen jeweils das ganze Gebäudehüllenelement bzw. alle Fenster umfassen. Die Auswertungen zeigen, dass oftmals nicht alle Fenster, sondern nur ein Teil davon erneuert wird. Besonders ausgeprägt ist dies für die letzte der betrachteten Bauperioden relevant, was durchaus plausibel ist, weil aufgrund des Alters noch nicht von einem flächendeckenden Erneuerungsbedarf ausgegangen werden kann. Auch bei der Wand wurde bei einem substanziellen Anteil der Fälle nur ein Teil der Fläche erneuert (Tabelle 2). Bei den übrigen Gebäudehüllenelementen ist dies etwas weniger ausgeprägt der Fall. Unterschiede zwischen den Gebäudetypen sind v.a. bei der Wand und beim Boden (Kellerdecke) festzustellen. Bei den Bürogebäuden wird bei der Wand deutlich weniger häufig nur ein Teil der Flächen erneuert. Beim Boden (Kellerdecke) weist das EFH deutlich höhere Anteile an teilflächigen Erneuerungen auf. Die Anteile der Bauteile, welche nur zum Teil oder nur teilflächig energetisch erneuert oder nicht-energetisch instandgesetzt wurden, liegen nicht durchgängig in genügender Anzahl differenziert nach Bauperiode vor. Bei (aus statistischer Sicht) ungenügender Anzahl wurde für alle Bauperioden der gleiche Anteil eingesetzt.

Die Gründe für das Verhalten, nur einen Teil der Flächen des jeweiligen Bauteils zu erneuern, wurden in Banfi, Farsi, Jakob et al. (2012) nicht abgefragt. Wir gehen davon aus, dass dies auf verschiedene Gründe zurück zu führen ist: steuerliche (Verteilung der Abzugsmöglichkeiten auf mehrere Jahre), wirtschaftlich finanzielle (Verteilung der Kosten auf mehrere Budgetjahre) und bautechnische Gründe (unterschiedliche Wetterexposition und Alterung je nach Fassadenorientierung).

Tabelle 2 Anteil der Bauelemente, welche nur zum Teil oder nur teilflächig energetische erneuert oder nicht-energetisch instandgesetzt wurden

		Anteil teilflächige-Instandsetzungen			Anteil teilflächige energetische Erneuerungen		
		EFH	MFH	Bürogeb.	EFH	MFH	Bürogeb.
Flachdach	Bis 1946	48%	0%	0%	k.A.	k.A.	k.A.
	1946 - 1970	48%	30%	0%	10%	5%	6%
	1971 - 1980	48%	20%	0%	10%	0%	17%
	1981 - 1990	48%	50%	0%	10%	0%	k.A.
Steildach	Bis 1946	48%	40%	66%	20%	20%	13%
	1946 - 1970	48%	20%	66%	20%	15%	k.A.
	1971 - 1980	48%	30%	66%	15%	15%	k.A.
	1981 - 1990	48%	30%	66%	15%	15%	k.A.
Wand	Bis 1946	22%	15%	36%	55%	60%	42%
	1946 - 1970	22%	5%	36%	40%	40%	27%
	1971 - 1980	22%	5%	36%	40%	40%	k.A.
	1981 - 1990	22%	10%	36%	45%	50%	k.A.
Fenster	Bis 1946	45%	70%	75%	40%	45%	42%
	1946 - 1970	45%	60%	75%	35%	28%	27%
	1971 - 1980	45%	50%	75%	35%	20%	9%
	1981 - 1990	45%	40%	75%	45%	60%	k.A.
Boden (Kellerdecke)	Bis 1946	60%	25%	50%	65%	28%	44%
	1946 - 1970	60%	25%	50%	65%	28%	25%
	1971 - 1980	60%	40%	50%	55%	28%	k.A.
	1981 - 1990	60%	50%	50%	25%	10%	k.A.

Quelle: TEP Energy, basierend auf Banfi, Ramseier et al. (2011), Banfi, Farsi, Jakob et al. (2012), Ott, Jakob et al. (2014)

3.4 Jährliche Erneuerungsrate unter Berücksichtigung von teilweisen und teilflächigen Erneuerungen

Auf Basis der gesamten (unbereinigten) Erneuerungsrate (basierend auf den in Abbildung 1 und Abbildung 2 sowie die in Kap. 8.1 im Anhang dargestellten Daten) sowie dem im Kap. 8.2 dokumentierten zeitlichen Verlauf der Erneuerungsrate und dem relativen Anteil der teilflächigen Instandsetzungen und Erneuerungen (gemäss Tabelle 2) lässt sich eine bereinigte Rate berechnen, welche teilflächig erneuerte Bauteile nur anteilmässig zählt. Das heisst, es wird berücksichtigt, dass bei einem Teil der Gebäude nicht das vollständige Gebäudeelement, sondern nur ein Teil davon energetisch verbessert wurde. Diese fliessen gewichtet in die Berechnung ein. Für die Gewichtung der teilflächigen Sanierungen wird angenommen, dass eine teilflächige Sanierung im Durchschnitt die Hälfte der gesamten Bauteilfläche betrifft. Einzig bei den Fenstern wird angenommen, dass eine teilflächige Sanierung nur eine Fassadenorientierung und somit nur einen Viertel der gesamten Bauteilfläche betrifft. Letztere beiden Annahmen sind Schätzwerte, da keine konkrete Grundlage existiert. In Tabelle 3 ist das Resultat dieser Berechnung aufgeführt. Die gewichteten Raten fallen im Vergleich zu Tabelle 12 im Anhang, die auf Abbildung 1 und Abbildung 2 basieren und die ungewichteten Nennungen abbilden, deutlich tiefer aus, besonders bei den Bauteilen Wand, Fenster und Boden.

In Bezug auf den Einfluss der Bauperiode ist festzustellen, dass die energetische Erneuerungsrate bei der jüngsten Bauperiode generell am geringsten ist. Bei der Wand und beim Boden ist die energetische Erneuerungsrate bei der Bauperiode bis 1946 jedoch beinahe so tief, bei den EFH und den Bürogebäuden sogar noch etwas tiefer.

Tabelle 3 Rate der nicht-energetischen Instandsetzungen und der energetischen Verbesserungen bei Wohn- und Dienstleistungsgebäuden in den Jahren 2001 bis 2010 (teilweise und teilflächig erneuerte Bauelemente nur anteilmässig gezählt).

	Bauperiode	Instandsetzungen			Energetische Erneuerungen		
		EFH	MFH	DL	EFH	MFH	DL
Flachdach	Bis 1946	k.A.	k.A.	0.6%	k.A.	k.A.	1.1%
	1946 - 1970	0.4%	0.9%	0.5%	0.5%	1.7%	2.6%
	1971 - 1980	0.4%	0.5%	1.0%	0.9%	3.0%	2.5%
	1981 - 1990	0.4%	0.5%	1.1%	0.9%	2.2%	1.5%
Steildach	Bis 1946	0.4%	0.4%	0.0%	0.5%	1.5%	1.4%
	1946 - 1970	0.4%	0.5%	0.1%	0.7%	1.3%	2.1%
	1971 - 1980	0.4%	0.5%	0.4%	0.7%	2.1%	1.1%
	1981 - 1990	0.4%	0.4%	0.3%	0.3%	1.2%	0.0%
Wand	Bis 1946	1.8%	1.0%	1.1%	0.4%	0.6%	0.2%
	1946 - 1970	1.8%	2.1%	0.4%	0.5%	0.4%	0.8%
	1971 - 1980	1.8%	1.6%	1.4%	0.5%	1.1%	1.0%
	1981 - 1990	1.8%	1.9%	1.2%	0.5%	0.6%	1.0%
Fenster	Bis 1946	1.1%	0.6%	0.8%	2.1%	2.8%	2.0%
	1946 - 1970	1.1%	0.5%	0.3%	2.2%	2.9%	2.5%
	1971 - 1980	1.1%	0.3%	0.9%	2.2%	3.8%	2.3%
	1981 - 1990	1.1%	0.5%	0.2%	1.7%	2.7%	0.3%
Boden	Bis 1946	1.1%	0.0%	0.2%	0.3%	0.7%	0.7%
	1946 - 1970	0.2%	0.2%	0.1%	0.3%	1.1%	1.2%
	1971 - 1980	0.2%	0.1%	0.9%	0.3%	1.2%	0.9%
	1981 - 1990	0.2%	0.1%	0.7%	0.4%	0.5%	0.7%

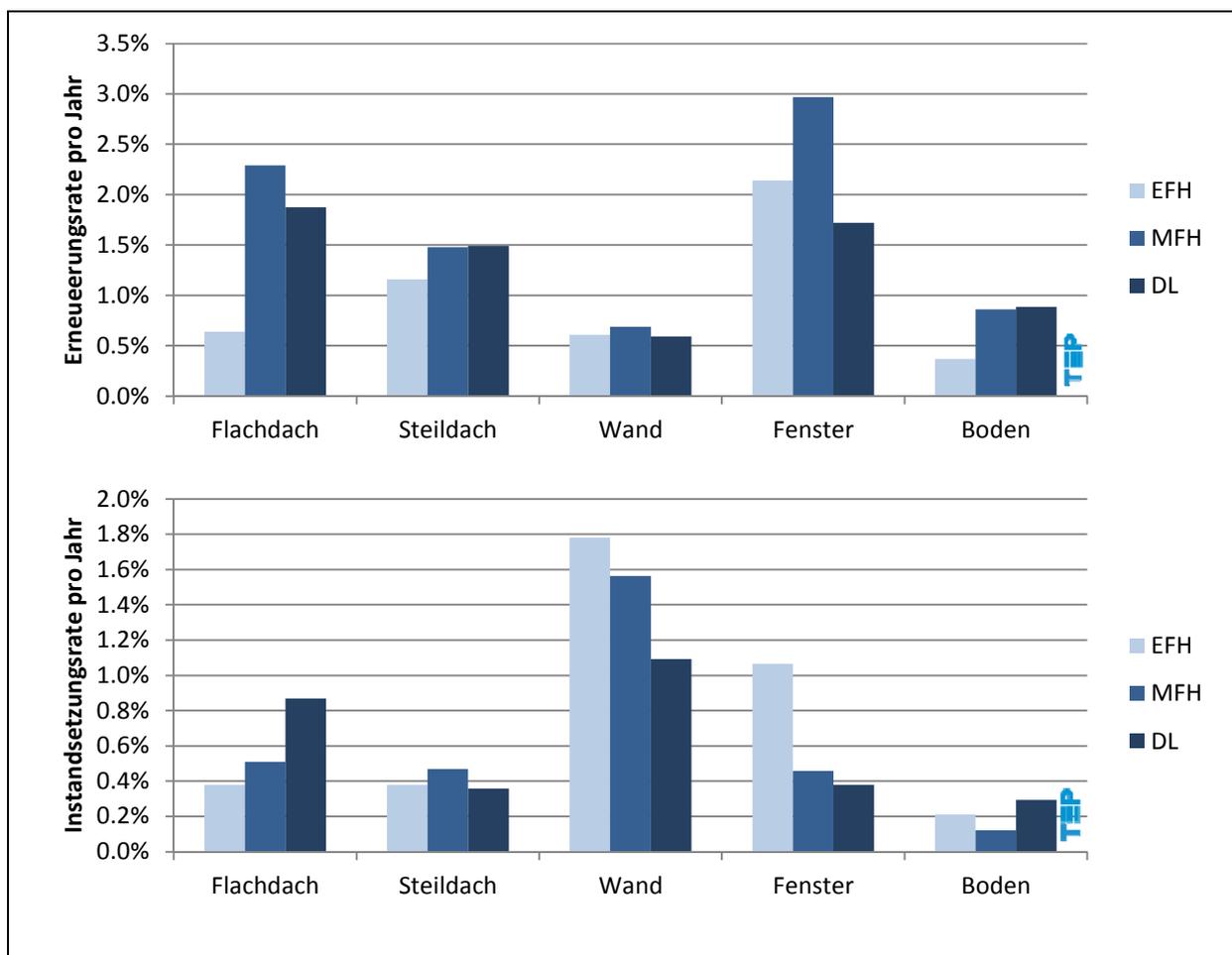
Quelle: Berechnungen TEP Energy

Tabelle 4 und Abbildung 3 zeigen die bereinigten Raten über die Gesamtschweiz flächengewichtet aggregiert über alle Bauperioden bis zum Baujahr 1990. Hierbei kommen die Flächenanteile des Gebäudeparkmodells zur Anwendung. Die bereinigte energetische Erneuerungsrate liegt beim Steildach je nach Gebäudesektor zwischen 1.2% und 1.5% pro Jahr und beim Flachdach von Bürogebäuden bei 1.9% pro Jahr. Bei der Fassade liegt die Rate zwischen 0.6% (EFH) und 0.7% (MFH und DL), beim Fenster zwischen 1.7% und 3.0% und beim Boden zwischen 0.4% und 0.9%. Die EFH weisen hier generell die tiefsten energetischen Erneuerungsraten auf, die MFH tendenziell die höchsten.

Tabelle 4 Rate der nicht-energetischen Instandsetzungen und der energetischen Erneuerungen bei Wohn- und Dienstleistungsgebäuden in den Jahren 2001 bis 2010 (teilweise und teilflächig erneuerte Bauelemente nur anteilmässig gezählt).

Bauteil	Bauperiode	Instandsetzungen			Energetische Erneuerungen		
		EFH	MFH	DL	EFH	MFH	DL
Flachdach	Bis 1990	k.A.	k.A.	0.9%	k.A.	k.A.	1.9%
Steildach	Bis 1990	0.4%	0.5%	0.5%	1.2%	1.5%	1.5%
Wand	Bis 1990	1.8%	1.6%	1.3%	0.6%	0.7%	0.6%
Fenster	Bis 1990	1.1%	0.5%	0.5%	2.1%	3.0%	1.7%
Boden	Bis 1990	0.2%	0.1%	0.4%	0.4%	0.9%	0.9%

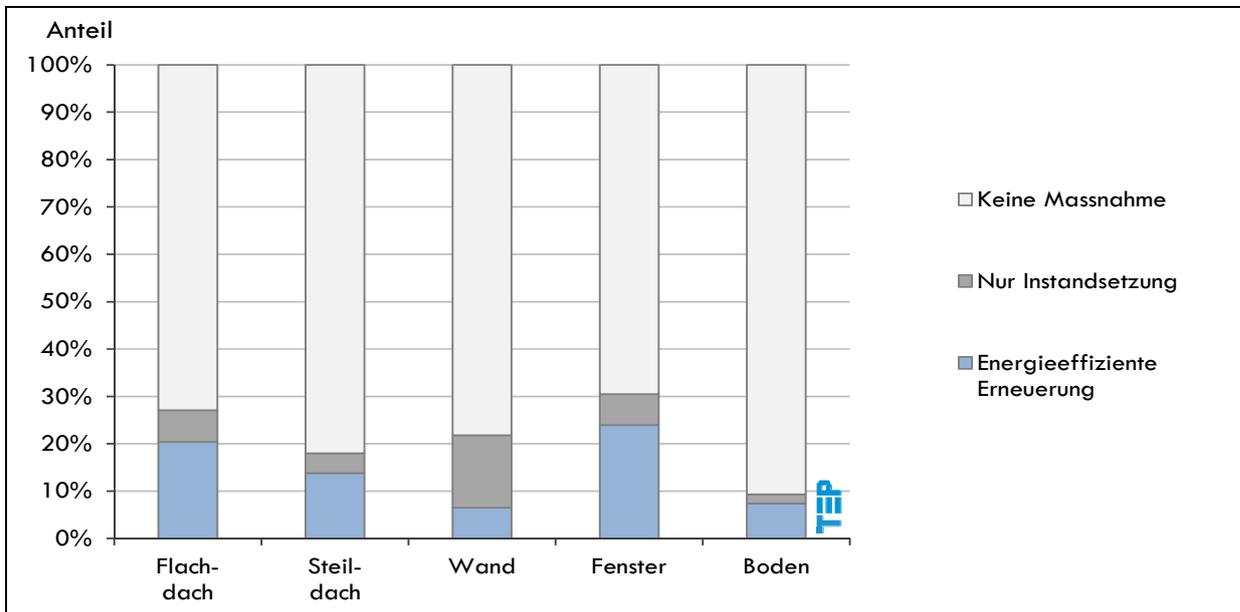
Quelle: Berechnungen TEP Energy



Quelle: Berechnungen TEP Energy

Abbildung 3: Rate der nicht-energetischen Instandsetzungen und der energetischen Erneuerungen bei Wohn- und Dienstleistungsgebäuden in den Jahren 2001 bis 2010 (teilweise und teilflächig erneuerte Bauelemente nur anteilmässig gezählt).

Im flächengewichteten Mittel aller Gebäudetypen ergeben sich bezogen auf die Periode 2001 bis 2010 die in Abbildung 4 dargestellten Anteile energieeffizienter Erneuerungen und Instandsetzungen. Die Anteile beziehen sich auf die gesamte Bauteilfläche des jeweiligen Bauteils im Gebäudepark bis Baujahr 1990. Am häufigsten wurden die Fenster energetisch erneuert (knapp 25% in zehn Jahren), gefolgt von Flach- und Steildächern (20% bzw. knapp 15%). Am geringsten ist der zehnjährige Erneuerungsanteil bei der Wand, wo er noch etwas tiefer ist als beim Boden, d.h. bei Kellerdecke.



Quelle: Berechnungen TEP Energy

Abbildung 4: Anteile ganz- oder teilflächig durchgeführten Instandsetzungs- und Erneuerungsarbeiten bei Fenster, Fassade, Kellerdecke und Dach/Estrichboden im Gebäudepark bis Bauperiode 1990 während der Periode 2001-2010 (teilweise und teilflächig erneuerte Bauelemente nur anteilmässig gezählt).

Auf Basis der Rate der nicht-energetischen Instandsetzungen und der energetischen Erneuerungen (siehe Tabelle 4) lässt sich die erneuerte Bauteilfläche berechnen. Tabelle 5 und Abbildung 5 zeigen die instandgesetzte und energetisch erneuerte Fläche pro Bauteil für alle Gebäudekategorien in der Periode 2001 bis 2010. Bemerkenswerterweise ist die energetisch erneuerte Fläche bei den Bauteilen Wand, Steildach und Fenster mit je rund 2 Mio. m² ungefähr gleich gross, dies trotz deutlich unterschiedlicher Erneuerungsanteilen (siehe Abbildung 4). Zurückzuführen ist dies auf den vergleichsweise geringen Flächenanteil bei Fenstern und den vergleichsweise grossen Flächenanteil der Aussenwände.

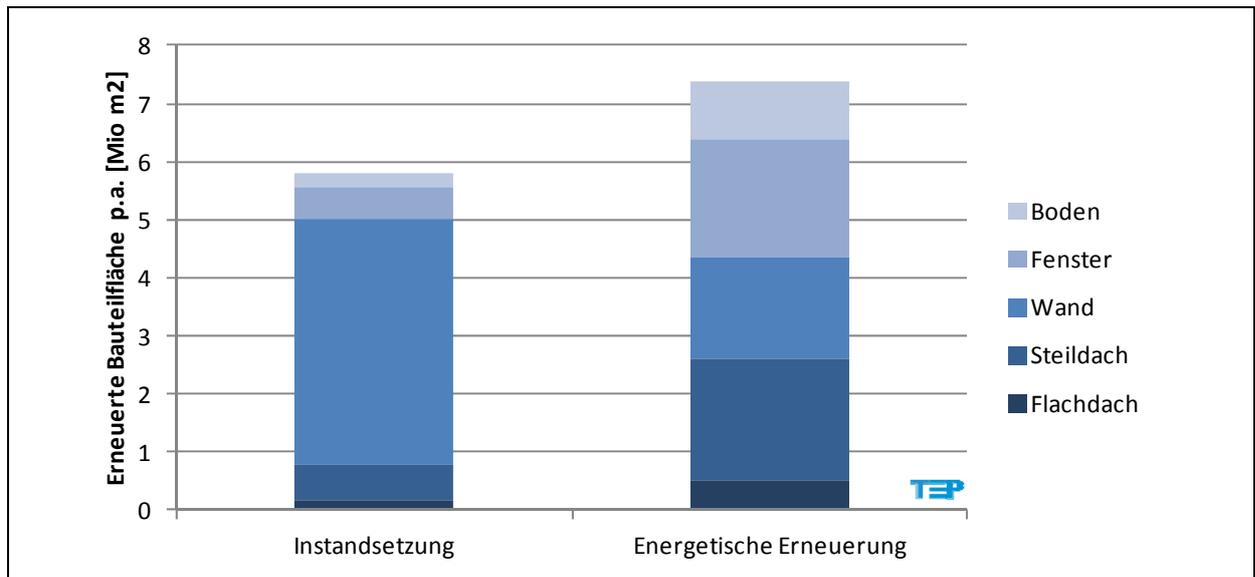
Tabelle 5 Instandgesetzte und energetisch erneuerte Fläche pro Bauteil für alle Gebäudekategorien in der Periode 2001 bis 2010 (teilweise und teilflächig erneuerte Bauelemente nur anteilmässig gezählt).

Bauteil	Bauperiode	Instandsetzung [Mio. m ²]	Energetische Erneuerung [Mio. m ²]
Flachdach	Bis 1990	0.2	0.5
Steildach	Bis 1990	0.6	2.1
Wand	Bis 1990	4.2	1.8
Fenster	Bis 1990	0.5	2.0
Boden	Bis 1990	0.3	1.0

Quelle: Berechnungen TEP Energy

Ebenfalls bemerkenswert ist, dass in der Summe die energetisch erneuerte Bauteilfläche grösser ist als die instandgesetzte (Abbildung 5), dies obwohl beim flächenmässig wichtigen Bauteil Wand die instandgesetzte Fläche mehr als doppelt so gross ist wie die energetisch erneuerte. Die im Vergleich

zu den Instandsetzungen höheren energetischen Anteile bei den übrigen Bauteilen kompensieren dies jedoch.



Quelle: Berechnungen TEP Energy

Abbildung 5: Instandgesetzte und energetisch erneuerte Fläche pro Bauteil für alle Gebäudekategorien in der Periode 2001 bis 2010 (teilweise und teilflächig erneuerte Bauelemente nur anteilmässig gezählt).

4 Heizanlagen und Energieträger: Empirische Grundlagen und Modellergebnisse zur Erneuerungsrate

In diesem Kap. 4 werden die für die Schweiz verfügbaren empirischen Grundlagen zu Instandsetzungen und Erneuerungen im Bereich Heizanlagen und Energieträger zusammenfassend dargestellt. Dies betrifft zum einen eine Stichprobe von Mehrfamilienhäusern in fünf Kantonen und zum anderen eine Stichprobe von Bürogebäuden (Kap. 4.1). In Ergänzung dazu werden Modellannahmen und -auswertungen dargestellt und zwar für alle Gebäudetypen zusammen (Kap. 4.2).

4.1 Empirische Grundlagen

4.1.1 Wohngebäude

Das Erneuerungsverhalten und insbesondere die Substitutionstätigkeit wurde von Banfi et al. (2012) nicht und von Banfi, Ramseier et al. (2011) nur rudimentär ausgewertet und dokumentiert. Aus diesem Grund wurden ergänzende Auswertungen herangezogen. Dies betrifft interne zu den MFH verfügbaren Grundlagen der Umfrage CCEM-Projekts „Advanced retrofit“ von CEPE und TEP Energy (bzgl. Gebäudehülle dokumentiert in Banfi et al. (2012)).

Im Bereich Heizanlagen wurde bei der Befragung zwischen vier Typen von Massnahmen unterschieden. Bei der Instandsetzung (IS) wird davon ausgegangen, dass die Heizanlage instandgesetzt oder revidiert wird und gegebenenfalls ein Teil der Heizanlage ersetzt wird. Typischerweise umfasst dies einen Ersatz des Brenners oder eine Tankrevision. Bei der weitergehenden Erneuerung ist typischerweise von einem kompletten Ersatz der Heizanlage, also beispielsweise des gesamten Kessels, auszugehen. Hierbei wird zwischen einem „Eins-zu-Eins-Ersatz“ (Heizsystem wird mit gleichem Heizsystem ersetzt) und einem Ersatz mit einem anderen Heizsystem (Substitution) unterschieden. Als weitere Massnahme ist im Bereich Heizanlagen die Ergänzung des bestehenden Heizanlage mit einem zusätzlichen System zu nennen, wobei in diesem Fall typischerweise erneuerbare Energien zum Einsatz kommen (z.B. Ergänzung mit Solaranlage).

Mehrheitlich, d.h. bei 92% der Gebäude, wurde nur 1 oder gar keine Massnahme ergriffen. Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass aus inhaltlichen Gründen Mehrfachnennungen erlaubt waren. Diese Möglichkeit wurde von den Befragten teilweise genutzt, wobei die festgestellten Kombinationen zum Teil inhaltlich nachvollziehbar sind, zum Teil aber auch weniger plausibel sind. Die Mehrfachnennungen wurden gemäss Tabelle 6 hierarchisch einem Massnahmentyp zugeordnet. Bezogen auf die vier erwähnten Massnahmentypen können anhand der Auswertungsergebnisse für die Betrachtungsperiode 1996 bis 2010 folgende Aussagen getroffen werden (Tabelle 6).

- Bei knapp 10% der Heizanlagen wurde eine Instandsetzung (IS) durchgeführt und bei gut 20% wurde die Heizanlage mit dem gleichen Systemtyp ersetzt. Hierbei sind zur Interpretation gewisse Mehrfachnennungen zu berücksichtigen: Bei den Instandsetzungen wurde bei 37 von 166 MFH, d.h. bei gut einem Fünftel, auch „Mit gleichem Heizsystem“ angegeben, und bei 21 von 166 auch „Substitution durch neues Heizsystem“, was auf eine gewisse Unsicherheit bei der Interpretation der Begrifflichkeit auf Seiten der Befragten hindeutet.
- Bei 3.6% der MFH wurde das Heizsystem ergänzt, wobei in etwa in der Hälfte davon das bestehende System gemäss Angaben der Befragten auch substituiert wurde.
- Bei rund 18% der Gebäude wurde das Heizsystem ohne weitere Massnahmen substituiert, bei zusätzlich gut 4% wurde zusätzlich 1 weitere Massnahme angegeben.
- Bei 1% bis 2% wurden weitere Massnahmenkombinationen durchgeführt.
- Bei beinahe der Hälfte der Gebäude wurde zwischen 1996 und 2010 keine Massnahme im Bereich Heizanlage durchgeführt.

Als Fazit kann festgehalten werden: Von der gesamten Stichprobe von 1725 Heizanlagen wurden in der Periode von 1996 – 2010 insgesamt 859 erneuert oder instandgesetzt. Dies sind gut 50% und entspricht einer jährlichen Erneuerungsrate von 3.3%. Die durchgeführten Massnahmen können auch bezogen auf die rund 900 Heizanlagen, bei denen im erwähnten Untersuchungszeitraum Massnahmen durchgeführt wurden, ausgewertet werden. Dabei dominieren der „Eins-zu-Eins-Ersatz“ (mit gleichem Heizsystem ersetzt) mit 39% und die Instandsetzung mit 18%, d.h. mit zusammen 57%. Nur bei gut einem Drittel wurde eine Substitution durch ein neues (anderes) Heizsystem angegeben.

Tabelle 6 Massnahmen im Bereich Heizanlagen bei einer Stichprobe von 1725 Mehrfamilienhäusern in den Kantonen AG, BE, BL, TG und ZH (Anzahl Nennungen und Anteil bezogen auf die Anzahl Gebäude)

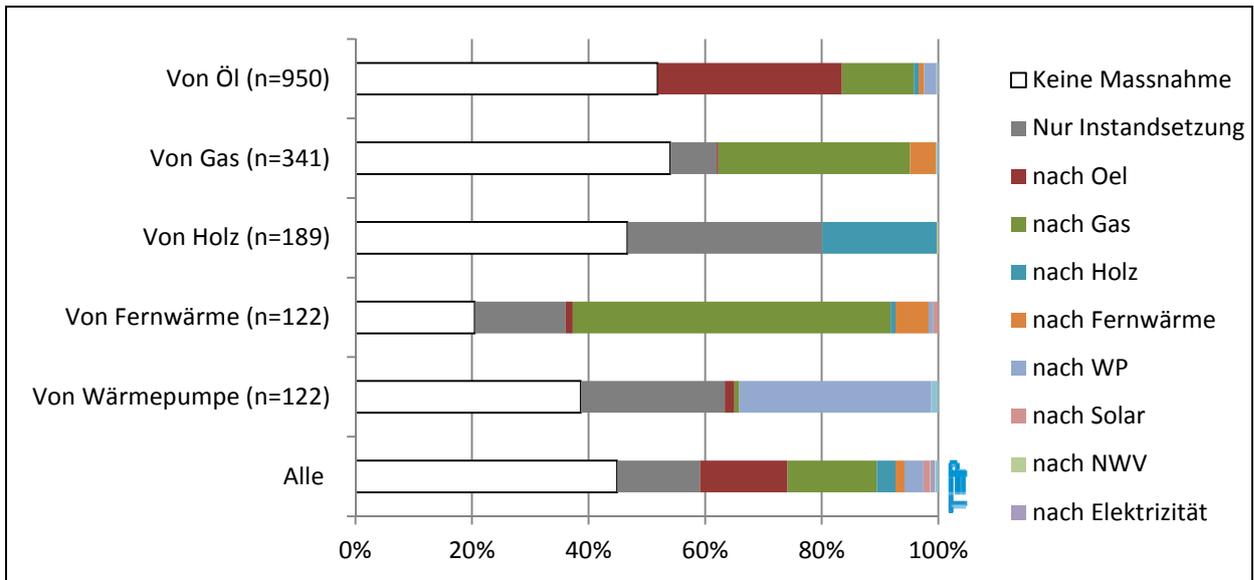
	Anzahl Nennungen				Alle
	Ohne weitere Massnahme	In Kombination mit folgende zusätzlicher Massnahme			
		+ Mit gleichem Heizsystem ersetzt	+Ergänzung	+Substitution	
Instand gesetzt (IS)	108	37	-	21	166
Mit gleichem Heizsystem ersetzt	339		1	19	359
Ergänzung durch weiteres Heizsystem	30			32	62
Substitution durch neues Heizsystem	307				307
Weitere Massnahmenkombinationen					27
Keine Massnahme	804				804
Total	1588				1725

	Anteile, bezogen auf Anzahl Gebäude				Alle
	Ohne weitere Massnahme	In Kombination mit folgende zusätzlicher Massnahme			
		+ Mit gleichem Heizsystem ersetzt	+Ergänzung	+Substitution	
Instand gesetzt (IS)	6.3%	2.1%	0.0%	1.2%	9.6%
Mit gleichem Heizsystem ersetzt	19.7%		0.1%	1.1%	20.8%
Ergänzung durch weiteres Heizsystem	1.7%			1.9%	3.6%
Substitution durch neues Heizsystem	17.8%				17.8%
Weitere Massnahmenkombinationen					1.6%
Keine Massnahme	46.6%				46.6%
Total	92.1%				100.0%

Quelle:MFH-Umfrage, Auswertung TEP Energy

Im Mittel über alle Heizsysteme wurde bei knapp der Hälfte der Heizsysteme in der Periode 1996 bis 2010 keine Massnahme ergriffen (weiss formatierter Anteil). Gut 15% der Heizsysteme wurden instandgesetzt. Bei den restlichen 40% der Heizsysteme wurde entweder das Heizsystem ersetzt oder substituiert. Berücksichtigt wurden sowohl die Fälle ohne und mit weiteren Massnahmen.

In Abbildung 6 sind die Anteile der unterschiedlichen Massnahmen aufgeteilt nach den wichtigsten Heizsysteme dargestellt. Im Fall der Substitution durch ein neues Heizsystem ist aus energiepolitischer Sicht von Relevanz, von welchem Heizsystem auf welches gewechselt wurde. Falls Ölheizungen erneuert oder substituiert wurden, wurde bei zwei Dritteln wieder eine Ölheizung eingesetzt (oberster Balken in Abbildung 6). Falls Ölheizungen durch einen anderen Energieträger substituiert wurden, wurde meistens eine Gasheizung eingesetzt. Gasheizungen werden zu rund 85% wieder mit Gasheizungen ersetzt. Dies trifft auch auf Fernwärmeheizungen zu, welche im Quervergleich am häufigsten durch einen anderen Energieträger substituiert werden (Abbildung 6). Wärmepumpen und Holzheizungen werden in der Regel wieder durch Wärmepumpen respektive Holzheizungen ersetzt.



Quelle: TEP Energy

Abbildung 6 Massnahmen zwischen 1996 und 2010 im Bereich Heizanlagen bei einer Stichprobe von 1725 Mehrfamilienhäusern, differenziert nach Heizsystem.

4.1.2 Nicht-Wohngebäude

Stellvertretend für Nicht-Wohngebäude werden die Ergebnisse von Ott, Jakob et al. (2014) zu den Bürogebäuden dargestellt. Gemäss dieser Erhebung bei rund 300 Bürogebäude in der Stadt Zürich wurde bei den Heizanlagen bei rund 4% pro Jahr Arbeiten durchgeführt (z.B. Kessel oder Brenner ersetzt), aber nur bei 15% davon wurde dabei eine markante energetische Verbesserung im Sinn eines Umstiegs auf erneuerbare Energien oder Wärmepumpen vorgenommen.

Wie bei MFH findet eine Energieträgersubstitution vor allem bei Ölheizungen statt. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Energieträgerstruktur und damit die Substitutionstätigkeit bei den Bürogebäuden nicht repräsentativ für die Schweiz ist, da die Stichprobe auf die Stadt Zürich begrenzt ist.

Tabelle 7 Eingriffsrate und Rate der energetischen Verbesserungen bei Büro- und Verwaltungsgebäuden.

	Eingriffsrate (*) [% p.a.]	Marktanteil bei Substitution	
		Anteil markante energetische Verbesserungen (*)	Energetische Erneuerungsrate: (**) [% p.a.]
Heizung, Warmwassererzeugung & Wärmeverteilung	4.3 – 5.2		k.A.
Heizung	3.5 – 4.4	15%	0.3 – 0.9
Lüftung & Klimatisierung	4.1 – 5.2	67%	2.5 – 3.7
Beleuchtung	4.1 – 5.0	63%	2.4 – 3.4
Solaranlage	0.1 – 0.4		

(*)Eingriffsrate: Anteil der Gebäude pro Jahr, bei denen eine Instandsetzung und/oder Erneuerung vorgenommen wird, auch Massnahmen, welche die Energieeffizienz nicht verbessern.
(**) Energetische Erneuerungsrate: Die energetische Erneuerungsrate umfasst nur den Anteil derjenigen Gebäude, bei welchen ein Wechsel auf ein Heizsystem mit Wärmepumpe, thermischen Solarkollektoren, Biogas, Fernwärme / Abwärme oder Holz erfolgte.

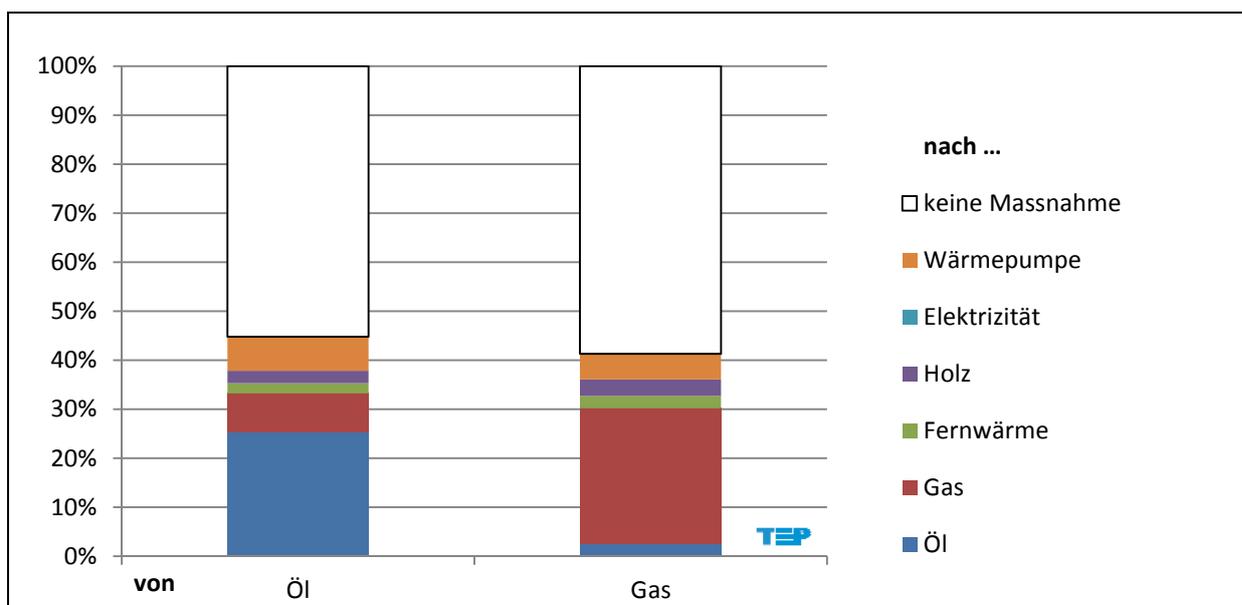
Quelle: Ott, Jakob et al. (2014)

4.2 Auswertungen des Gebäudeparkmodells sowie des Ex-post Modells TEP Tertiary

Als Ergänzung zu den oben dokumentierten Auswertungen von empirischen Grundlagen wurden interne Daten des Gebäudeparkmodells sowie des Ex-post Modells TEP Tertiary zu Nicht-Wohngebäuden ausgewertet.

Über alle Gebäudetypen und -grössen gewichtet und über eine Erneuerungsperiode von 10 Jahren ergibt sich die Darstellung gemäss Abbildung 7 (je 1 Säule für die Ausgangslage Öl und Gas). Vom gesamten Bestand an Ölheizungen werden innerhalb einer Periode von 10 Jahren (zw. 2001 und 2010) gut ein Viertel wieder durch Öl und knapp ein Fünftel durch einen anderen Energieträger ersetzt. Beim Gas ist die Eins-zu-Eins-Ersatzrate in etwa vergleichbar, aber es werden weniger Anlagen durch einen anderen Energieträger ersetzt.

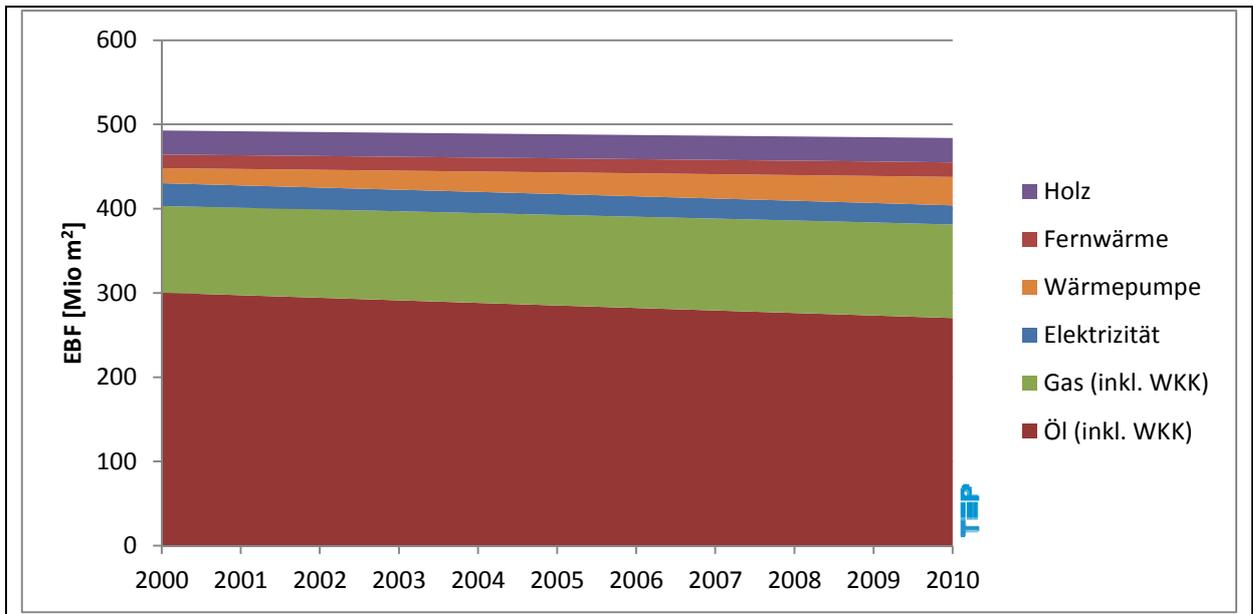
Bei Elektroheizungen fehlt jedoch eine solide empirische Grundlage zu genaueren Quantifizierung der Erneuerungs- und Substitutionsraten. Eine Abschätzung der Erneuerungs- und Substitutionsraten ist an dieser Stelle deshalb nur indirekt über eine fachliche Betrachtung möglich: Elektroheizungen haben tendenziell eine sehr lange Lebensdauer, teils bis zu über 40 Jahre. Folglich würde die Erneuerungsrate unter 3% liegen. Schätzungsweise die Hälfte der Elektroheizungen sind dezentrale, raumspezifische Systeme (Nachtspeicher- oder Direktheizungsradiatoren). Bei diesen ist ein Heizträgerwechsel sehr kostenintensiv. Es ist davon auszugehen, dass insbesondere beim Ersatz von dezentralen Elektroheizungen bei einem hohen Anteil kein Heizträgerwechsel stattfindet.



Quelle: TEP Energy

Abbildung 7 Ersatz- und Substitutionsanteile bei Öl-, Gas- und Elektroheizungen gemäss Auswertungen des Gebäudeparkmodells und des Ex-post Modells TEP Tertiary

Basierend auf den Ersatz- und Substitutionsanteilen ergibt sich in Bezug auf die Beheizung der Energiebezugsfläche die Entwicklung gemäss Abbildung 8. Ersichtlich hierbei ist, dass der Anteil von Ölheizungen leicht zurück geht (um ca. 10%). Ebenfalls rückläufig ist der Anteil Elektroheizungen, währendem alle übrigen Heizsysteme zunehmen (Gas zum Beispiel um 8%). Die EBF der Bauperiode bis und mit 1990 im Total nimmt in der Periode von 2001 bis 2010 aufgrund der abgerissenen Gebäude leicht ab.



Quelle: TEP Energy

Abbildung 8 Entwicklung der EBF-spezifischen Beheizungsstruktur gemäss Auswertungen des Gebäudeparkmodells und des Ex-post Modells TEP Tertiary

5 Aggregation und energetische Interpretation der Erneuerungsraten

5.1 Gebäudehülle

Die Erneuerungsanteile pro Bauteil gemäss Tabelle 3 (Seite 11) werden in der Folge, gewichtet mit dem entsprechenden gesamtschweizerischen Flächenbestand, auf die Gebäudeebene aggregiert. Die Annahmen bzgl. Flächenproportionen stützen sich auf Wüest und Partner (2004) sowie Daten des Gebäudeparkmodells (Wallbaum et al. 2009 und nachfolgende Weiterentwicklungen) ab. Die auf die Gebäudeebene aggregierte Erneuerungsrate ergibt sich, für jeden Gebäudetyp und für jede Bauperiode separat, flächengewichtet gemäss Formel (1). In der Berechnung werden in einem ersten Schritt alle erneuerten Gebäudeflächen berechnet (ergibt sich aus der Erneuerungsrate pro Bauteil multipliziert mit der gesamten Bauteilfläche). Die erneuerten Flächen aller Bauteile werden folgend summiert und ergeben die gesamte erneuerte Bauteilfläche. Die gesamte erneuerte Bauteilfläche wird durch die gesamte Bauteilfläche (erneuert und nicht erneuert) geteilt, dies ergibt die aggregierte Erneuerungsrate. Hierbei ist berücksichtigt, dass bei einer Minderheit der Gebäude nicht das vollständige Bauteil, sondern nur ein Teil davon energetisch verbessert wurde (bei den Fenstern z.B. nur eine Fassadenorientierung oder nur ein Teil der Stockwerke), siehe Kapitel 3.3.

$$\text{Erneuerungsrate} = \frac{\sum_{\text{Bauteil}=1}^n (\text{Fläche}_{\text{Bauteil}} * \text{Erneuerungsrate}_{\text{Bauteil}})}{\sum_{\text{Bauteil}=1}^n (\text{Fläche}_{\text{Bauteil}})} \quad (1)$$

Analog wurde die energetische Wirkung der energetischen Erneuerungen ermittelt, wobei sich diese nur auf die erneuerte Bauteilfläche bzw. die erneuerte EBF bezieht (siehe Formel 2). Diese energetische Wirkung der Erneuerungen wurde mit dem SIA 380/1-Modul des Gebäudeparkmodells berechnet, dem dieselben Flächenanteile zugrunde liegen. In die Berechnung fliessen Annahmen zu den U-Werten der Bauelemente vor und nach der Erneuerung sowie zu den Wärmebrücken ein. Diese Kennwerte sind differenziert nach Bauperiode und Gebäudetyp und basieren auf empirischen Umfragen, gesetzlichen Richtlinien (z.B. MuKE) und bauphysikalischen und technischen Eigenschaften der Bauteile (siehe auch Wallbaum et al. (2009 und (2010) sowie Jakob et al. (2010) und Ott et al. (2011)). Zudem wurde angenommen, dass die Innenraumtemperatur nach der energetischen Erneuerung tendenziell etwas höher liegt als vor der Erneuerung, dies allerdings nur für den Fall von Gesamterneuerungen.

$$\text{Erneuerungserfolg} = \frac{\sum_{\text{Bauteil}=1}^n (\text{Fläche}_{\text{Bauteil}} * \text{Erneuerungsrate}_{\text{Bauteil}} * \text{Erneuerungswirkung pro Bauteil})}{\sum_{\text{Bauteil}=1}^n (\text{Fläche}_{\text{Bauteil}} * \text{Erneuerungsrate}_{\text{Bauteil}} * (\text{Fläche}_{\text{Bauteil}} / \text{EBF}))} \quad (2)$$

Das Ergebnis der flächenbasierten Aggregation der energetischen Erneuerungsraten und des Erneuerungserfolges ist in Tabelle 8 dargestellt. Für die EFH der Bauperiode wird der Berechnungsgang exemplarisch erläutert: Bei den EFH dieser Bauperiode wurden pro Jahr 0.5% der Steildachflächen, 0.4% der Aussenwandflächen, 2.1% der Fensterflächen und 0.3% der Kellerdeckenfläche energetisch erneuert (siehe Tabelle 3, Seite 11). Mit den jeweiligen gesamtschweizerischen Flächenanteilen gewichtet ergibt dies eine Erneuerungsrate von 0.8% der Bauteilfläche pro Jahr. Wird mit diesen Flächenanteilen und den Flächenverhältnisse pro EBF sowie U-Wert-Annahmen vor und nach der Erneuerung eine energetische Heizwärmebedarfsberechnung gemäss SIA 380/1 durchgeführt, ergibt sich eine Reduktionswirkung von 72 kWh/(m²_{EBF}a) bezogen auf die erneuerte Energiebezugsfläche. Diese aggregierten Resultate sind also synthetische Werte, welche **nicht** der Erneuerungsrate- bzw. dem Erneuerungserfolg von Vollsanierungsäquivalenten entsprechen, denn die einzelnen Bauteile

werden zu unterschiedlichen Anteilen erneuert. Erneuerungsrate und Erneuerungserfolg sind jedoch kompatibel zueinander, was eine der Hauptzielsetzungen dieses Syntheseberichts war.

Die flächenaggregierte Erneuerungsrate bewegt sich bei der Gebäudekohorte der Bauperioden bis und mit 1970 in der Regel zwischen 0.8% und 1% pro Jahr (eine Ausnahme bilden die DL-Gebäude mit 1.4%/Jahr). Bei den Gebäudekohorten der nachfolgenden Bauperiode liegt die Erneuerungsrate bei MFH und DL-Gebäuden höher und bei den EFH verbleibt sie auf demselben Niveau. Mit Ausnahme der MFH ist die energetische Erneuerungsrate bei der letzten betrachteten Bauperiode am geringsten. Die zu den dargestellten Erneuerungsraten kompatible energetische Wirkung liegt zwischen knapp 30 kWh/m²_{EBFa} und gut 70 kWh/m²_{EBFa}, je nach Gebäudetyp und je nach Bauperiode, d.h. je geometrischen Verhältnissen und je nach Energieeffizienz der Gebäude in der Ausgangslage. Im Fall der EFH der Bauperioden bis und mit 1980 bewirkt eine gesamtschweizerisch repräsentative energetische Verbesserung eine Reduktion des Heizwärmebedarfs von gut 70 kWh/m²_{EBFa}. Bezogen auf den Mittelwert aller Gebäude aus dieser Bauperiode bedeutet dies eine Verbesserung von 40% bis 45%. In der letzten Bauperiode beträgt der Erneuerungserfolg bei den EFH noch gut 70 kWh/m²_{EBFa}, etwa gleich viel wie bei MFH der früheren Bauperioden. Noch etwas tiefer liegt die energetische Wirkung bei den Bürogebäuden, u.a. wegen der noch kompakteren Form.

Tabelle 8 Aggregierte Rate der energetischen Verbesserungen und damit verbundene energetische Wirkung (Reduktion Heizwärmebedarf) bei Wohn- und Dienstleistungsgebäuden für die Erneuerungsperiode 2001 bis 2010, differenziert nach Bauperiode.

		Flächenaggregierte Erneuerungsrate pro Jahr	Erneuerungserfolg (kWh/m ² _{EBFa})
EFH	Bis 1946	0.8%	-72
	1947 - 1970	0.9%	-71
	1971 - 1980	1.0%	-73
	1981 - 1990	0.7%	-55
MFH	Bis 1946	1.0%	-48
	1947 - 1970	1.0%	-48
	1971 - 1980	1.8%	-55
	1981 - 1990	1.2%	-39
DL	Bis 1946	0.8%	-36
	1947 - 1970	1.4%	-36
	1971 - 1980	1.3%	-47
	1981 - 1990	0.7%	-28

Quelle: Berechnungen TEP Energy mit dem Gebäudeparkmodell und dem Ex-post Modell TEP Tertiary

Über alle Bauperioden gesehen ergeben sich im Bereich Gebäudehülle die energetischen Erneuerungsraten gemäss Tabelle 9 (alle Bauperioden bis und mit 1990 aggregiert, ohne Bauperiode ab 1991). Diese bewegen sich zwischen knapp 0.8% und 1.2% pro Jahr. Im Mittel über alle Gebäudetypen bestätigt die Empirie den landläufig bekannten Faustwert von rund 1% für die energetische Erneuerungsrate der Gebäudehülle. Allerdings ist zu betonen, dass sich diese Rate auf den Gebäudebestand bis und mit Baujahr 1990 bezieht. Bezogen auf den gesamten Gebäudebestand liegt die Rate schätzungsweise bei etwa 0.9% pro Jahr.

Mit jeder dieser synthetischen Erneuerung ist ein energetischer Erneuerungserfolg von knapp 30 kWh/m²a bis rund 70 kWh/m²a verbunden. Über alle Gebäudetypen gewichtet gemittelt ergibt sich eine Erneuerungsrate von rund 1% pro Jahr und ein Erneuerungserfolg von gut 50 kWh/m²a pro aggregierte (synthetische) Erneuerung. Letzterer Wert bezieht sich auf die erneuerte Fläche und beinhaltet die Reduktion der thermischen Energie durch eine gesenkte Luftwechselrate (z.B. durch Installation einer Lüftungsanlage oder durch dichtere Fenster) nicht (dieser Effekt ist jedoch im nachfolgenden Gesamtergebnis berücksichtigt, siehe Tabelle 10). Die genannte Erneuerungsrate bezieht sich dabei auf die energetisch erneuerte Bauteilfläche gegenüber der gesamten Bauteilfläche im Gebäudepark.

Der Anteil Gebäude welche durch energetische Erneuerungen betroffen sind, weicht von diesem Anteil ab.

Tabelle 9 Aggregierte Rate der energetischen Verbesserungen und damit verbundene energetische Wirkung aufgrund Gebäudehüllenerneuerungen (Reduktion Heizwärmebedarf) bei Wohn- und Dienstleistungsgebäuden.

	Erneuerungsrate (%/Jahr)	Erneuerte EBF (Mio. m ²)	Erneuerungserfolg bzgl. Heizwärmebedarf Q _h (kWh/m ² _{EBFa})
Einfamilienhäuser (EFH)	0.8%	1.3	-69
Mehrfamilienhäuser (MFH)	1.2%	2.2	-48
Dienstleistungsgebäude	1.1%	1.7	-36
Wohn- und Nicht-Wohngebäude	1.0%	5.1	-52

Quelle: Berechnungen TEP Energy

Die Effizienzsteigerung durch Gebäudehüllenerneuerung beträgt in der Periode 2001 bis 2010 bezogen auf den gesamten thermischen Energiebedarf bei Wohn und Dienstleistungsgebäuden mit Baujahr bis 1990 rund 6% (siehe Tabelle 10, inkl. der Reduktion von Verlusten im Bereich thermischer Luftwechsel).

Tabelle 10 Aggregierte energetischen Verbesserung der Wohn- und Dienstleistungsgebäude mit Baujahr bis 1990 bezogen auf den gesamten Nutzenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser für die Periode 2001-2010

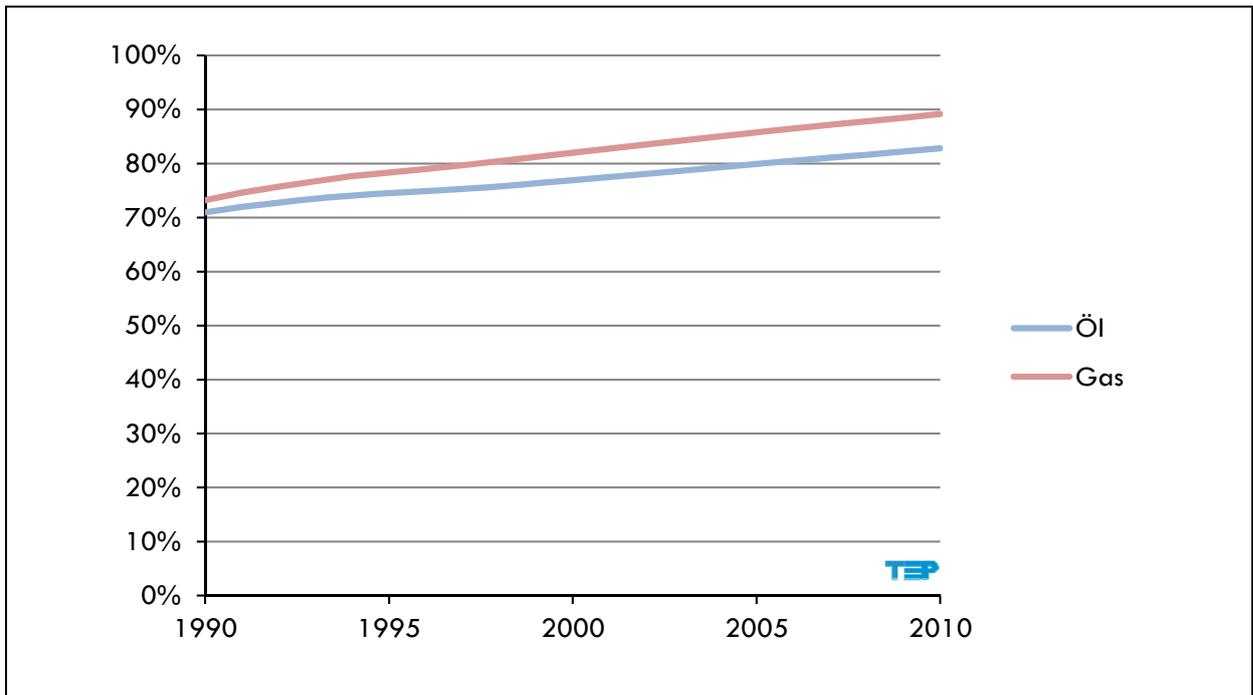
	Aggregierter Erneuerungserfolg 2001 - 2010
Wohngebäude	-7%
Dienstleistungsgebäude	-4%
Wohn- und Nicht-Wohngebäude	-6%

Quelle: Berechnungen TEP Energy

5.2 Heizanlagen

Nebst der Gebäudehülle werden energetische Verbesserungen auch im Bereich Heizanlagen erzielt. Die Entwicklung des Wirkungsgrades ist in Abbildung 9 abgebildet. Der autonome technische Fortschritt bei Öl- und Gasheizungen, namentlich die Einführung der Kondensationstechnik, führt zu einer Erhöhung des Wirkungsgrades. Dieser Fortschritt ist in der betrachteten Zeitspanne von 10 Jahren zwischen 2001 bis 2010 nicht zu vernachlässigen: Im Mittel hat sich der Wirkungsgrad des gesamten Anlagenbestand um rund 6% bis 7%-Punkte erhöht. Dies ergibt einen Betrag an die gesamte Effizienzverbesserung von 0.5% pro Jahr. Darin enthalten ist, dass neu installierte Heizkessel in der Regel besser dimensioniert sind, was ebenfalls zur Reduktion des Endenergiebedarfs beiträgt.

Im Quervergleich war die Steigerung des Wirkungsgrades in der Periode 2001 - 2010 bei den Gasheizungen leicht höher als bei den Ölheizungen.



Quelle: TEP Energy, Gebäudeparkmodell und Ex-post Modell TEP Tertiary

Abbildung 9: Entwicklung des durchschnittlichen Wirkungsgrades von Öl- und Gasheizungen im Zeitablauf zwischen 1990 und 2010. Der durchschnittliche Wirkungsgrad bezieht sich auf den gesamten Gebäudeparks des jeweiligen Zeitschnittes inkl. Neubau seit 1990.

Die aggregierte Wirkung der Effizienzsteigerung aller Heizsysteme zwischen 2001 und 2010 beträgt in Bezug auf den gesamten thermischen Nutzenergiebedarf bei Wohn- und Dienstleistungsgebäuden mit Baujahr bis 1990 rund 7% (siehe Tabelle 11). Bezogen auf das typische Energieverbrauchs-niveau ergibt sich damit eine Verbesserung von 10 bis 12 70 kWh/m²_{EBFa}. Die ist deutlich weniger als im Fall der Gebäudehülle, aber aufgrund der höheren Ersatz- und Substitutionsrate ergibt sich aggregiert ein vergleichbarer Erneuerungserfolg.

Tabelle 11: Aggregierte energetischen Verbesserung durch die Verbesserung des Wirkungsgrades von Heizsystemen von Wohn- und Dienstleistungsgebäude mit Baujahr bis 1990 bezogen auf den gesamten Endenergiebedarf (inkl. Umweltwärme) für Raumwärme und Warmwasser für die Periode 2001-2010

	Aggregierte Wirkung aufgrund Wirkungsgradverbesserung Heizungen	Erneuerungserfolg (kWh/m ² _{EBF})
Wohngebäude	-6%	10
Dienstleistungsgebäude	-7%	12
Wohn- und Nicht-Wohngebäude	-7%	12

Quelle: Berechnungen TEP Energy

5.3 Gesamteffekt

Die Effizienzsteigerung der Wohn- und Dienstleistungsgebäude mit Bauperiode bis 1990 zwischen 2001 bis 2010 aufgrund von Gebäudehüllen- und Heizanlagenerneuerung beträgt rund 13%. Die Steigerung des Wirkungsgrades der Heizsysteme hat einen Anteil von rund der Hälfte und die Steigerung durch Gebäudehüllenerneuerung ebenfalls von rund der Hälfte. Zusätzlich reduzierte sich der Verbrauch an fossilen Energieträgern in dieser Periode um 7% aufgrund der Substitution von fossilen Energieträger durch Erneuerbare inkl. Wärmepumpen. In der betrachteten Periode wurden gemäss Modellannahmen zudem knapp 2% des Gebäudebestandes abgerissen und durch Ersatzneubauten ersetzt.

Damit ergibt sich für die betrachtete Zehnjahresperiode zwischen 2001 und 2010 bei den Wohn- und Dienstleistungsgebäuden eine Reduktion des Verbrauchs an fossilen Energieträgern von rund 21% (siehe Tabelle 11). Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Witterung ist dieser Wert kompatibel mit der Gesamtenergiestatistik für die beiden Sektoren Haushalte und Dienstleistungen, wie die in Kap. 8.3 im Anhang aufgeführte Modellvalidierung zeigt.

Tabelle 12: Reduktion des fossilen Endenergieverbrauchs der Wohn- und Dienstleistungsgebäude mit Baujahr bis 1990 zwischen 2001 und 2010, aufgeteilt nach Ursache der Reduktion

	Reduktion Endenergie
Gebäudehüllenverbesserung	-6%*
Wirkungsgradverbesserung Heizanlagen	-7%*
Substitutionsweggang von fossilen Heizträgern	-7%*
Reduktion durch Abbruch	-1%
Reduktion fossiler Endenergie (Total)	-21%
* Diese Reduktionswirkung ist nicht ohne weiteres auf die folgenden Jahre übertragbar, siehe Kap. 6	

Quelle: Berechnungen TEP Energy

Der Gebäudepark mit Bauperiode bis 1990 verbrauchte im Jahr 2000 rund 83 TWh Endenergie. Einen Anteil von rund drei Vierteln am Total haben die fossilen Energieträger Öl und Gas. Der fossile Verbrauch wurde in der Periode 2001 bis 2010 um rund 21%, also gut 13 TWh, gesenkt. An dieser Reduktion haben die Gebäudehüllenerneuerungen, die Wirkungsgradverbesserungen und die Energieträgersubstitutionen einen Anteil von je rund einem Drittel.

5.4 Fazit

Aufgrund der in diesem Bericht dargestellten Synthese der verfügbaren empirischen Grundlagen zu Erneuerungs-, Ersatz und Substitutionsmassnahmen im Bereich Gebäudehülle und Heizanlagen sowie aufgrund der durchgeführten datenseitigen Modellanpassungen und –auswertungen konnte ein in sich kohärentes Gefüge von Erneuerungsraten auf der einen Seite und ihrer energetischen Interpretation auf der anderen Seite geschaffen werden. Die ermittelte Erneuerungsraten sowie die dazu passenden spezifischen energetischen Wirkungen sind hierbei kompatibel mit der beobachteten aggregierten Entwicklung gemäss Gesamtenergiestatistik (Sektoren Haushalte und Dienstleistungen).

Abschliessend kann festgehalten werden, dass in der Folge weitere Arbeiten sowohl im empirischen als auch im modelltechnischen Bereich erforderlich sind, um die in diesem Bericht gewonnenen Erkenntnisse zu vertiefen, auf die Folgeperiode fortschreiben und weiter zu entwickeln, insbesondere in Richtung einer Validierung der verschiedenen Politikmassnahmen, dies im Kontext der ohnehin stattfindenden autonomen Entwicklungen:

- bei der Ex-post Modellierung weitere Verbesserungen erforderlich, da im Rahmen dieses Syntheseprojekts nur ein begrenzter Projektrahmen zur Verfügung stand. Anzupassen ist die Modellierungslogik des Gebäudeparkmodells im Bereich Heizanlagenersatz und –substitution, damit in der Folge auch ein Abgleich zwischen Modell und Verkaufstatistik erfolgen kann.
- Empirische Arbeiten sind für die Periode ab 2010 fortzuführen und insbesondere im Bereich Nicht-Wohngebäude auf weitere Gebäudetypen und geographische Perimeter auszudehnen.

6 Steigerungspotenzial der Erneuerungsrate der Gebäudehülle und des Wirkungsgrades von Heizanlagen - Ansätze und Limitationen

6.1 Steigerung der Erneuerungsrate

Zur Abschätzung des Steigerungspotentials der energetischen Erneuerungsraten kann das Verhältnis zwischen energetischer und nicht-energetischer Erneuerung als erster Gradmesser für ein adressierbares Potenzial herangezogen werden. Es ist davon auszugehen, dass das Steigerungspotential insbesondere auf der Reduktion von nicht-energetischen zu Gunsten von energetischen Erneuerungen beruht. Der Grund dafür ist, dass es einfacher ist einen Gebäudebesitzer zu einer energetischen Erneuerung zu gewinnen wenn der Gebäudebesitzer ein Bauteil ohnehin erneuert. Hierbei ist zwischen der Fassade auf der einen Seite und den übrigen Bauteilen zu unterscheiden.

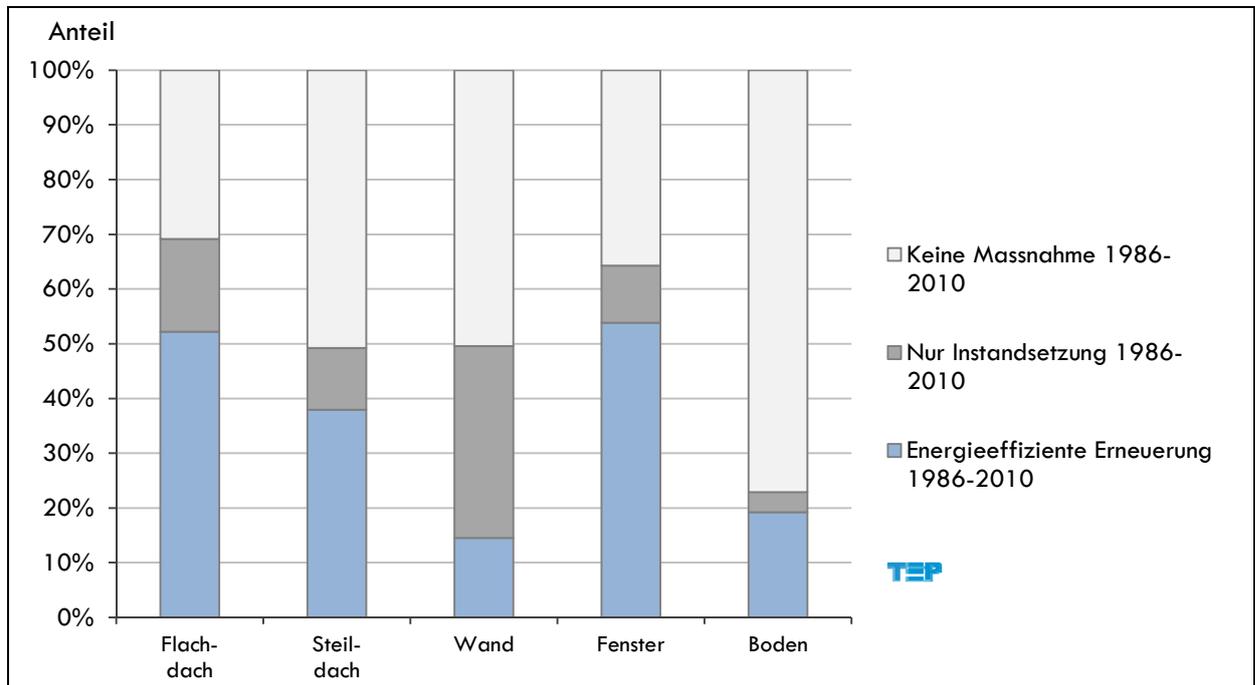
- Vor allem bei den Fassaden kommt es in der Mehrzahl der Fälle vor, dass nur instandgesetzt wird, ohne dass dies zu energetischen Verbesserungen führt. Besonders ausgeprägt ist dies bei den EFH, bei denen die Rate der nicht-energetischen Instandsetzungen rund drei bis vier Mal höher liegt als diejenige der energetisch wirksamen Erneuerungen (siehe Abbildung 1, Tabelle 3). Aber auch bei den MFH und bei den Bürogebäuden (siehe Abbildung 2) liegt die Rate der Instandsetzungen deutlich höher als die Rate der energetischen Verbesserungen. Dies bedeutet, dass die Rate der energetischen Verbesserungen im Fassadenbereich potenziell mehr als verdoppelt werden könnten, sofern es gelingt, Instandsetzungen in energetische Erneuerungen umzuwandeln.
- Bei den Gebäudeelementen Dach und Boden liegen die geschätzten Instandsetzungsraten und die Raten der energetischen Verbesserung bei den EFH in einzelnen Fällen auf einem vergleichbaren Niveau, meistens aber eine tiefer, währendem bei den MFH die Instandsetzungsraten in der Regel um mehr als Hälfte tiefer liegen (siehe Abbildung 1 und Tabelle 3). Dies bedeutet, dass das Steigerungspotenzial, das sich aus der Umwandlung von Instandsetzungen in energetische Erneuerungen ergibt, deutlich tiefer liegt als im Bereich Wand/Fassade. Häufig beträgt das so definierte Steigerungspotenzial nur rund 50%.
- Noch tiefer ist das Steigerungspotenzial aufgrund von Umwandlungen von Instandsetzungen zu Erneuerungen bei den Fenstern, v.a. bei den MFH. Grund: Massnahmen im Fensterbereich beinhalten in der Regel bereits eine energetische Erneuerung. Instandsetzungsarbeiten werden im Fensterbereich v.a. im professionell bewirtschafteten Gebäudebestand kaum noch ausgeführt.

Fazit: Das Potenzial, die energetische Erneuerungsrate im Bereich Gebäudehülle zu steigern, ist also je nach Bauteil sehr unterschiedlich einzuschätzen. Am meisten Handlungsbedarf besteht im Fassadenbereich, da hier die Rate der energetischen Erneuerungen am geringsten ist und das energetische Verbesserungspotenzial gross ist (z.B. im Vergleich zu Boden/Kellerdecke, wo die Rate ebenfalls gering ist, aber die möglichen Effizienzgewinne geringer). Im Fassadenbereich ist auch das adressierbare Potenzial am grössten, dies wenn davon ausgegangen wird, dass eine Umwandlung einer ohnehin durchgeführten Arbeit eher durch Förderungsmassnahmen beeinflusst werden kann als die Aktivierung von Fällen, bei denen derzeit kein Instandsetzungsbedarf besteht.

6.2 Verbleibendes Potenzial

Zu betonen ist abschliessend, dass in den letzten zwei bis drei Jahrzehnten kumuliert bereits ein beträchtlicher Teil des Gebäudebestandes instandgesetzt oder energetisch verbessert wurde. Abbildung 10 zeigt konkret die Anteile des Gebäudebestandes nach Bauteil welche in der Periode 1986 bis 2010 instandgesetzt oder energetisch verbessert wurde. Der Anteil der getätigten energetischen Erneuerungen kann als das bereits ausgeschöpfte Potential betrachten werden. Dies bedeutet, dass diese

Gebäude nicht mehr oder erst nach einer gewissen Karenzzeit wieder für weitere energetische Verbesserungen zur Verfügung stehen. Der Anteil der Fläche, an welcher keine Massnahme durchgeführt worden sind ist kann als unmittelbares Potential betrachtet werden. Der Anteil der Instandsetzungen kann als zukünftiges Potential betrachtet werden.



Quelle: TEP Energy

Abbildung 10: Anteile der durchgeführten Instandsetzungs- und Erneuerungsarbeiten bei Fenster, Fassade, Kellerdecke und Dach/Estrichboden im Gebäudepark bis Bauperiode 1990 während der Periode 1986 bis 2010 (teilweise und teilflächig erneuerte Bauelemente nur anteilmässig gezählt).

Im Bereich der Heizanlagen ist das künftige, weitere Effizienzsteigerungspotential als deutlich geringer einzuschätzen. Im Vergleich zu den letzten gut zwanzig Jahren (siehe Abbildung 9) wird die Reduktionswirkung durch die Wirkungsgradverbesserung von Heizanlagen in Zukunft deutlich abnehmen. Der Grund dafür ist, dass die Effizienz im Heizanlagenbestand in den letzten zwanzig Jahren stetig zugenommen und sich dem technisch möglichen Maximum angenähert hat. Dadurch ist die mögliche Wirkungsgradverbesserung beim Ersatz oder der Substitution einer Heizanlage nur noch als klein einzuschätzen.

7 Literatur und Referenzen

- Aebischer B., Catenazzi, G. (2009). Ex-Post Analyse des Energieverbrauchs 2000-2008 in den Sektoren Dienstleistungen und Landwirtschaft nach Bestimmungsfaktoren - Interner Bericht CEPE, ETH Zürich. Zürich, Oktober.
- Banfi S., Farsi M., Jakob M. (2012). An Analysis of Investment Decisions for Energy-Efficient Renovation of Multi-Family Buildings. CEPE, ETH Zürich und TEP Energy on behalf of CCEM, Swiss Federal Office of Energy (SFOE), the Swiss cantons of BL, TG and ZH, the City of Zurich. Zurich, April.
- Banfi S., Ramseier C., Filippini M., Alberini A., Jakob M., Knellwolf-Pióro D. (2011) Erneuerung von Einfamilienhäusern – Eine mikroökonomische Analyse für ausgewählte Schweizer Kantone. Studie des CEPE der ETH Zürich im Auftrag des Bundesamts für Energie.
- Catenazzi, G., Jakob M. (2011). Ex-Post Analyse des Energieverbrauchs 2000-2010 in den Sektoren Dienstleistungen und Landwirtschaft nach Bestimmungsfaktoren. TEP Energy i.A. Bundesamt für Energie.
- Jakob M., Unterhollenberg S. (2013). Analyse der Erneuerung und Instandsetzung von Ein- und Mehrfamilienhaus- Gebäuden im Kanton Basel-Landschaft. TEP Energy im Auftrag des Kantons Basellandschaft, Juli.
- Jakob M., Martius G., Krien F., Nuss E. (2013). Marktanalyse und Potenzial der Gebäudesanierung am Oberrhein. Ortenauer Energieagentur, CEBTP Alsace und TEP Energy i.A. TRION, Kehl.
- Jakob M., Gross N. et al., (2010). Energetische Gebäudeerneuerungen – Wirtschaftlichkeit und CO₂-Vermeidungskosten. Eine Auswertung des Gebäudeprogramms der Stiftung Klimarappen. TEP Energy, Meier+Steinauer und HSLU i.A. Stiftung Klimarappen. Zürich, Juni.
- Jakob (2006). Struktur und Umfang des Instandsetzungs- und Erneuerungsmarktes im Bereich Gebäudehülle – eine Grobabschätzung. CEPE Working paper No. 52. Dezember.
- Jakob M., Jochem E. (2003, redaktionelle Anpassungen 2009). Quantitative Erhebung des Erneuerungsverhaltens im Bereich Wohngebäude. CEPE, ETH Zürich i.A. BFE, BWO, Kt. AG, BE, BL, TG, ZH.
- Ott W., Jakob M. et al. (2014). Erneuerungstätigkeit und Erneuerungsmotive bei Wohn- und Bürobauteilen. Forschungsprojekt 2.2.4. Energieforschung Stadt Zürich – Ein EWZ-Beitrag zur 2000-Watt-Gesellschaft.
- Ott W., Philippen D., Umbricht A., Baumgartner A., Vogel U., Jakob M., Gross N. (2011). CO₂ – Vermeidungskosten bei der Erneuerung von Wohnbauten. Econcept, Amstein+Walthert und TEP Energy i.A. Bundesamt für Energie (BFE), Bern, Juni.
- Ott W., Jakob M., Baur M., Kaufmann Y., Ott A. (2005). Mobilisierung der energetischen Erneuerungspotenziale im Wohnbaubestand. Bundesamt für Energie, Bern 2005.
- Wallbaum H., Jakob M., Heeren N., Toloumis Ch. (2010). 7-Meilenschritte - Wirkungsanalyse anhand des Gebäudeparkmodells Stadt Zürich. ETH Zürich und TEP Energy i.A. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fachstelle nachhaltiges Bauen, Zürich, Mai.

8 Anhang

8.1 Wohn- und Nicht-Wohngebäude in der Übersicht

In Tabelle 13 sind die Angaben zu den Wohn- und Nicht-Wohngebäuden in der Übersicht zusammengestellt. Zwischen den Bauelementen, Bauperioden und Gebäudetypen sind gewisse Ähnlichkeiten, aber zum Teil auch deutliche Unterschiede zu erkennen:

- Beim Fenster ergibt sich gemäss Jakob und Unterhollenberg (2013) bei den MFH eine durchschnittliche Erneuerungsrate von rund 4% pro Jahr für die Periode 1996 bis 2010 (ohne Heruntergewichtung der teilweis und teilflächig erneuerten Gebäudeelemente). Bei den EFH liegt die entsprechende Rate leicht tiefer für die Periode 1996 bis 2009. Zu betonen ist, dass diese Werte nicht den gesamten Wohngebäudebestand, sondern nur die Bauperioden bis und mit 1990 betrifft.
- Bei den Fassaden beträgt die analog definierte mittlere energetische Jahreserneuerungsrate bei den MFH (Periode 1996 bis 2010) und bei den DL-Gebäuden (Periode 2000 bis 2012) rund 1.0%/a, bei den EFH bei 0.6% pro Jahr. (für die Periode 1996 bis 2009)
- Bei der Kellerdecke (Boden) ist sie bei den MFH mit 1.1%/a ähnlich hoch, bei den EFH wiederum deutlich tiefer in den oben genannten
- Wesentlich höher ist sie jedoch bei den Steildächern (MFH: 1.8%/a, EFH 1.2%/a, DL: rund 2%/a) und vor allem bei den Flachdächern (MFH: 2.4%/a,).

Tabelle 13 Rate der energetischen Verbesserungen bei Wohn- und Dienstleistungsgebäuden in den Jahren 2001 bis 2010 (Summe der Nennungen, teilweise und teilflächig erneuerte Bauelemente gleich vollständig erneuerte Bauelemente gezählt).

Gebäudeelement	Bauperiode	EFH	MFH	DL
	Bis 1946	k.A.	k.A.	1.2%
	1946 - 1970	1.5%	1.7%	2.8%
	1971 - 1980	1.4%	3.0%	2.6%
	1981 - 1990	0.3%	2.2%	1.6%
Steildach	Bis 1946	1.8%	1.7%	1.6%
	1946 - 1970	1.5%	1.4%	2.3%
	1971 - 1980	1.4%	2.3%	1.3%
	1981 - 1990	0.3%	1.3%	k.A.
Wand	Bis 1946	1.0%	1.0%	0.3%
	1946 - 1970	0.9%	0.6%	0.9%
	1971 - 1980	0.7%	1.5%	1.3%
	1981 - 1990	0.3%	0.9%	1.3%
Fenster	Bis 1946	3.6%	4.2%	2.7%
	1946 - 1970	4.1%	3.7%	3.3%
	1971 - 1980	3.5%	4.5%	3.0%
	1981 - 1990	1.2%	4.9%	0.4%
Boden bzw. Kellerdecke	Bis 1946	1.1%	0.8%	0.8%
	1946 - 1970	0.5%	1.3%	1.4%
	1971 - 1980	0.4%	1.4%	1.1%
	1981 - 1990	0.1%	0.5%	0.8%

Quelle: Banfi et al. 2001, Banfi, Farsi und Jakob et al. 2012, Ott, Jakob et al 2013. Darstellung TEP Energy

8.2 Zeitlicher Verlauf der durchgeführten Massnahmen im Bereich Gebäudehülle

Hinweis: In diesem Kapitel sind die teilweise bzw. teilflächig durchgeführten Massnahmen **nicht** speziell gewichtet.

Der zeitliche Verlauf der Erneuerungstätigkeit ist potentiell ein Gradmesser für die Wirksamkeit von energiepolitischen Massnahmen, weshalb dieser Verlauf an dieser Stelle wiedergegeben wird. Allerdings sind bei der Interpretation weitere Einflussfaktoren mit zu berücksichtigen (siehe unten). Methodisch kann der Verlauf der Erneuerungstätigkeit u.a. mit den folgenden beiden Ansätzen bestimmt werden:

- Vergleich von verschiedenen Studien, welche unterschiedliche Erneuerungsperioden abdecken
- Verlauf innerhalb einer längeren Betrachtungsperiode, welche durch jeweils dieselbe Studie abgedeckt wird.

Beim ersten Ansatz wird Jakob und Jochem (2003/2009) mit der untersuchten Renovationsperiode 1986-2000 mit Banfi, Farsi, Jakob et al. (2012) und einer untersuchten Renovationsperiode von 1996-2010 verglichen. Gemäss Banfi, Farsi, Jakob et al. (2012) wurden an den Gebäudeelementen Dach und Keller im Vergleich zur früheren Untersuchung häufiger energieeffiziente Massnahmen durchgeführt, besonders beim Gebäudeelement Dach. Besonders auffällig sind die Bauperioden „vor 1900“ und „1946 bis 1970“. Vor 1900 wurde in der früheren Untersuchung ein Anteil an energieeffizienten Erneuerungen von 30% und in der späteren Untersuchung von 40% ermittelt. Bei der Bauperiode von 1946-1970 sind es 20% bzw. 40%. Bei den Gebäudeelementen Kellerdecke und Fassade sind die energieeffizienten Anteile in etwa gleich gross. Einen deutlichen Unterschied zwischen den beiden Studien besteht bei Fassadenerneuerungen an Gebäuden aus der Bauperiode 1946-1970, welche gemäss Banfi, Farsi, Jakob et al. (2012) einen Erneuerungsanteil von 20% und gemäss Jakob und Jochem (2003/2009) einen solchen Erneuerungsanteil von 25-40% aufweisen.

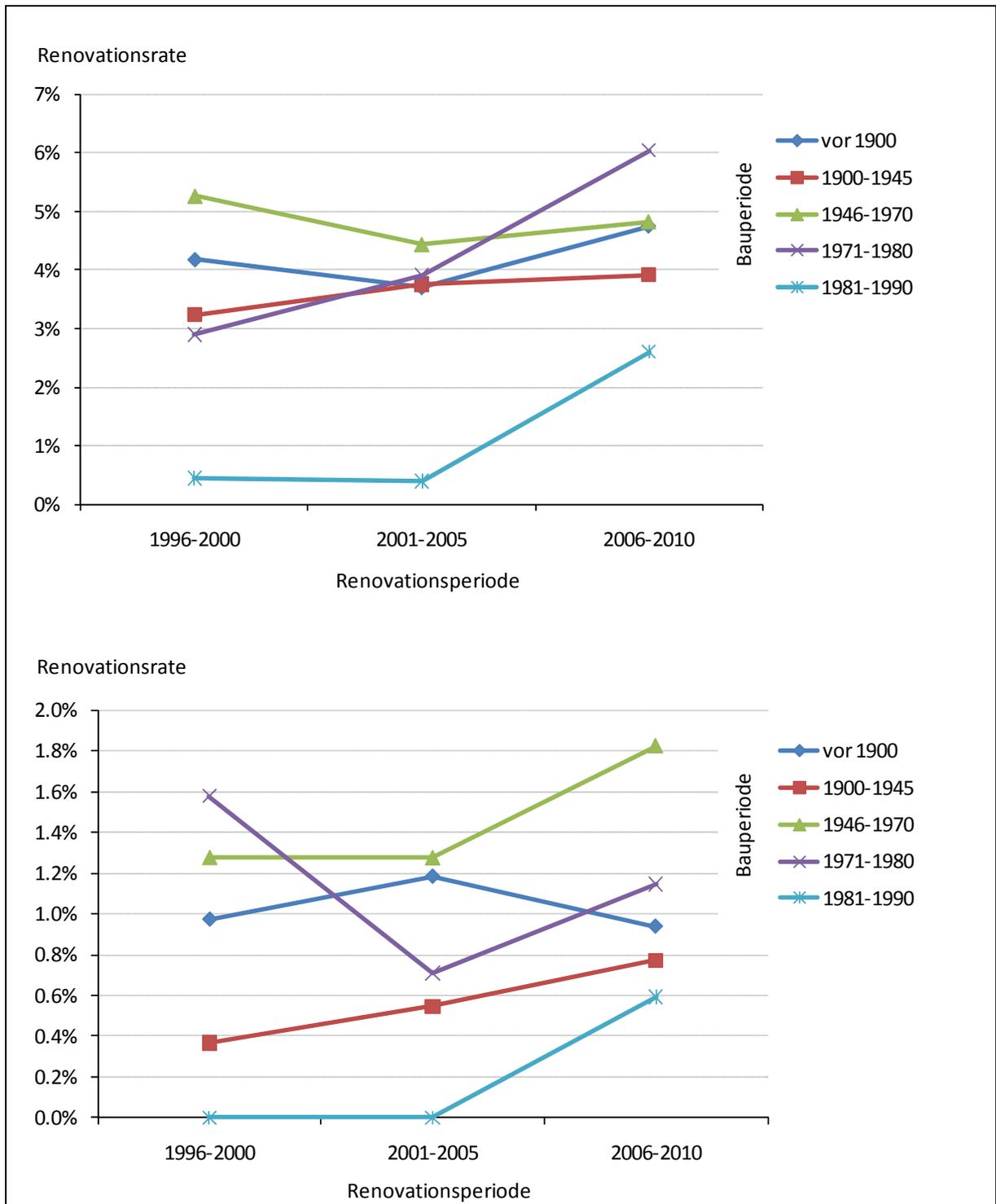
Gemäss Banfi, Farsi, Jakob et al. (2012) sind die Anteile der durchgeführten Massnahmen an Fenstern innerhalb der 15-jährigen Renovationsperiode zwischen 1996-2010 gestiegen, wobei zwischen den verschiedenen Bauperioden der Gebäude gewisse Unterschiede bestehen (Abbildung 11). Beispielsweise weist die Bauperiode 1946-1970 keinen Anstieg auf und die Bauperioden 1971 bis 1990 nur für die letzte Renovationsperiode (d.h. 2006-2010), siehe Jakob und Unterhollenberg (2013).

Qualitativ ähnliche Befunde wie bei den Fenstern können in Bezug auf Fassadenerneuerungen festgehalten werden, wobei bei einer Bauperiode („vor 1900) nach 2005 sogar ein Rückgang der Erneuerungstätigkeit festzustellen ist. Bei den Steildächern der nach 1945 errichteten Gebäude verliefen die Erneuerungsraten zwischen 1996 und 2005 ziemlich konstant und steigen danach an. Bei den älteren Gebäuden zeigten die Renovationsraten einen sinkenden Trend zwischen der ersten und zweiten Fünfjahres-Renovationsperiode, bevor sie in der dritten Periode wieder anstiegen. Im Dachbereich waren die Renovationsraten aller Bauperioden zwischen 2006-2010 somit höher als zwischen 2001-2005.

Gemessen am Umfeld während der Periode, für welche empirische Grundlagen zur Verfügung stehen, also zwischen Mitte der 1980er Jahre bis 2010, sind die oben aufgeführten Beobachtungen durchaus nachzuvollziehen. Während langer Zeit war das Umfeld relativ stabil.¹ Erst gegen Ende der Betrachtungsperiode, ungefähr zwischen 2006 und 2008, änderte sich das Umfeld in Form von steigenden Energiepreisen, einem verstärkten Bewusstsein (auch auf der politischen Ebene) und einer

¹ Ab 1986 bis etwa 2005 war das Preisniveau der relevanten Energieträger, namentlich der fossilen, relativ tief. Die energiepolitischen Massnahmen waren nur punktuell und zeitlich beschränkt griffig (im Vergleich zur Periode ab ca. 2008). Gleichzeitig fand aufgrund der Anforderungen im Neubaubereich eine techno-ökonomische Entwicklung statt, die meistens graduell verlief: sukzessive höhere Dämmstärken und tiefere U-Werte, wobei aufgrund der moderaten Preisentwicklung für die Anwender ein zunehmender Nutzen resultierte (Jakob et al. 2002, Jakob und Madlener 2004).

Verstärkung der (Förder-) Instrumente von Bund, Kantonen und der Privatwirtschaft (Gebäudeprogramm der Stiftung Klimarappen).



Quelle: übernommen aus Jakob, Unterhollenberg et al. (2013)

Abbildung 11: **Zeitlicher Verlauf der jährlichen Renovationsrate energieeffizienter Massnahmen** am Beispiel der Gebäudeelemente Fenster (oben) und Fassade (unten). (Rate relativ zur Anzahl Gebäude beim jeweiligen Gebäudeelement, welche vor der entsprechenden Renovationsperiode in den Besitz des Eigentümers gelangt sind).

8.3 Modellvalidierung

Folgend ist im Sinne einer Validierung der in diesem Bericht aufgeführten Modellergebnisse ein Vergleich zwischen dem Endenergieverbrauch gemäss der Schweizerischen Gesamtenergiestatistik und den Modellergebnissen abgebildet. Das Modell vermag sowohl das Niveau wie auch den Verlauf des Endenergieverbrauchs gut abbilden.

Abbildung 12 zeigt den Verlauf des Brennstoffverbrauchs (Öl- und Gas) gemäss der Gesamtenergiestatistik und gemäss den witterungskorrigierten Modellresultaten.

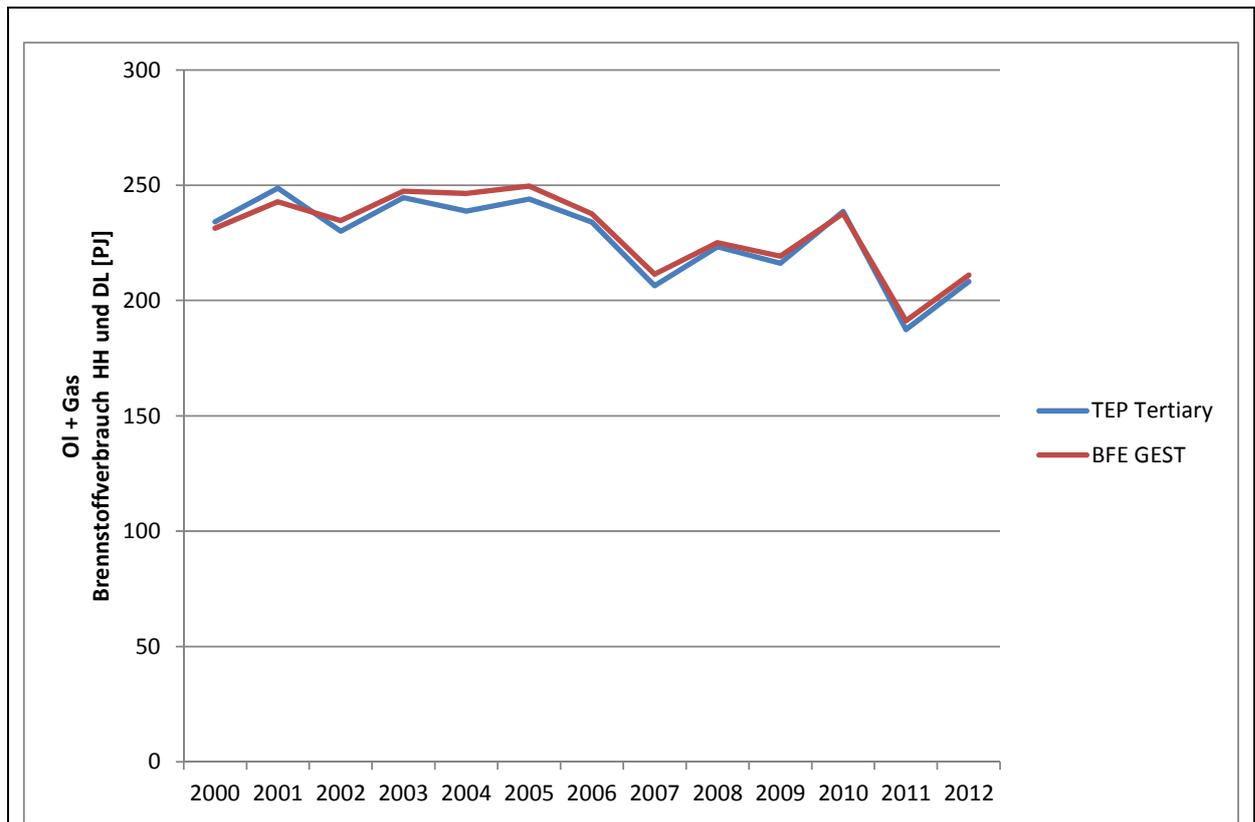


Abbildung 12: Vergleich zwischen den Modellrechnungen und der BFE Gesamtenergiestatistik zwischen 2000 und 2012

Abbildung 13 zeigt den Verlauf des gesamten Endenergieverbrauchs (ohne Elektrizität) gemäss der Gesamtenergiestatistik und gemäss den witterungskorrigierten Modellresultaten.

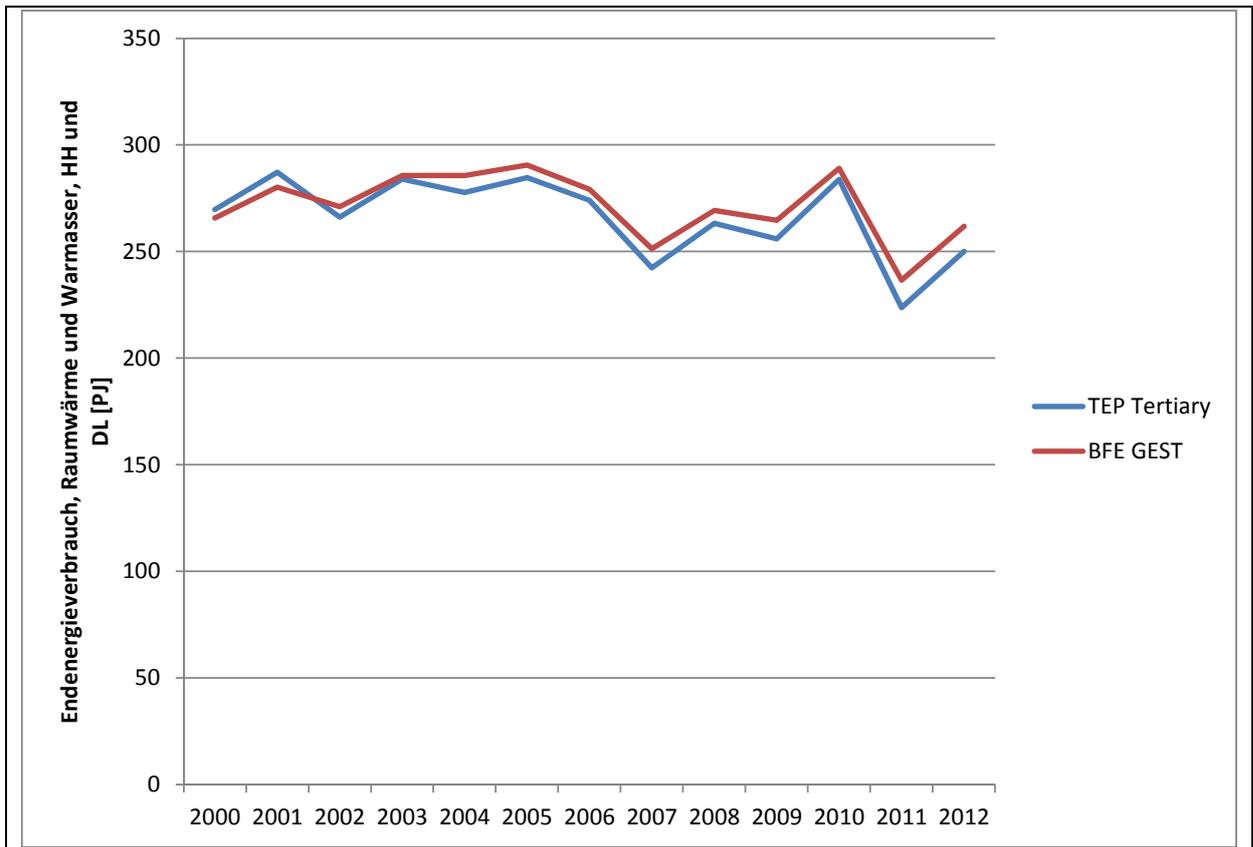


Abbildung 13: Energieverbrauch (ohne Elektrizität), Vergleich zwischen den Modellrechnungen und der BFE Gesamtenergiestatistik zwischen 2000 und 2012