

ALPIQ

---

# Energieeffiziente Baustandards für Neubauten: Energie- und Treibhausgas- einsparungen und Mehrkosten bis 2030

---

20. Dezember 2009

842\_schlussbericht\_def.doc

## **Alpiq Energy Switzerland**

Jörg Aeberhard,  
Alpiq Holding AG Bahnhofquai 12, 4601 Olten

Henry Escola,  
EOS Holding, Chemin de Mornex 10, 1001 Lausanne

Urban Frei,  
Alpiq EcoServices AG, Hohlstrasse 188, 8026 Zürich

## **Begleitung:**

Gallus Cadonau,  
Solar Agentur Schweiz, Sonneggstrasse 29, 8033 Zürich

---

### **Erarbeitet durch**

econcept AG, Gerechtigkeitsgasse 20, CH-8002 Zürich  
www.econcept.ch / + 41 44 286 75 75

### **AutorInnen**

Walter Ott, lic. oec. publ., Raumplaner ETH/NDS, dipl. El. Ing. ETH  
Daniel Philippen, dipl. Umwelt-Natw. ETH  
Alexander Umbricht, cand. MSc Umwelt-Natw ETH

# Inhalt

	<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Ausgangslage</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Fragestellungen und Ziele der Studie</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Rahmenbedingungen und Entwicklung der Energiebezugsflächen</b>	<b>5</b>
3.1	Entwicklung der Energiepreise und der Zinssätze bis 2030 (Öl/Gas und Strom)	5
3.1.1	Energieperspektiven des BFE für die Schweiz	5
3.1.2	Strompreis und seine zeitliche Entwicklung	6
3.1.3	Zinssatz	7
3.2	Bevölkerungswachstum gemäss BFS bis 2030	7
3.3	Wirtschaftswachstum der Schweiz bis 2030	8
3.4	Entwicklung der Energiebezugsflächen	9
3.4.1	Wohnungsbau	10
3.4.2	Dienstleistungsbauten	12
<b>4</b>	<b>Status quo energieeffizienter Bauten</b>	<b>15</b>
4.1	Ein- und Zweifamilienhäuser	15
4.2	Mehrfamilienhäuser	16
4.3	Dienstleistungsbauten	18
4.4	Siedlungen	19
<b>5</b>	<b>Energieszenarien für künftige Neubauten in Abhängigkeit ihres energetischen Standards</b>	<b>21</b>
5.1	Energiestandards	21
5.2	Wärme- und Stromerzeugung im Gebäude	25
5.2.1	Photovoltaik: Basisdaten im Jahr 2010	25
5.2.2	Photovoltaik: zeitliche Entwicklungen	28
5.2.3	Wärmepumpen: Basisdaten im Jahr 2010	30
5.2.4	Wärmepumpen: zeitliche Entwicklungen	30
5.3	Verbrauchsszenarien für Neubauf Flächen in Abhängigkeit vom energetischen Standard	31

5.3.1	Verbrauchsszenarien bei neu erstellten Wohnbauten	32
5.3.2	Verbrauchsszenarien bei neu erstellten Wirtschaftsbauten	33
5.3.3	Total: Wohnbauten und Wirtschaftsbauten	34
5.4	Treibhausgaseinsparungen in den Szenarien	35
<b>6</b>	<b>Sind die Kosten für energieeffiziente Baustandards und Plusenergie höher?</b>	<b>39</b>
6.1	Investitions-Mehrkosten bei Gebäuden mit energieeffizienten Baustandards	39
6.1.1	Gebäudehülle	39
6.1.2	Komfortlüftung	41
6.1.3	Mehrkosten Gebäudehülle und Komfortlüftung 2010 bis 2030	42
6.2	Wärmekosten und Erträge der Stromerzeugung bei Nullheizenergie- und Plusenergie-Gebäuden	42
6.2.1	Methodik	42
6.2.2	Nullheizenergie-Gebäude:	44
6.2.3	Plusenergie-Gebäude:	44
6.3	Vergleich der Mehrkosten	45
6.3.1	Vergleich der Mehrkosten pro m <sup>2</sup> EBF	45
6.3.2	Vergleich der Mehrkosten energieeffizienter Baustandards mit den Baukosten von Gebäuden nach gesetzlichem Energiestandard	47
6.3.3	Mehrkosten in den Szenarien	48
6.3.4	Einfluss wichtiger Kostenfaktoren auf die Mehrkosten von Baustandards und auf die Kostendifferenz zwischen den Szenarien	51
6.3.5	Kostendifferenz des Technologieszenarios zum Basisszenario bei Änderung verschiedener Einflussfaktoren	55
<b>7</b>	<b>Fazit der Studie</b>	<b>59</b>
	<b>Anhang</b>	<b>65</b>
	<b>Literatur</b>	<b>70</b>
	<b>Glossar</b>	<b>73</b>

## Zusammenfassung

### **Energetisch vorbildliche Neubauten – die Entwicklungstreiber im Gebäudebereich**

Die Nutzung der energetischen Effizienzpotenziale in Neubauten und die Verwendung erneuerbarer Energien für die Energieversorgung von Neubauten ist ein zentraler Handlungsbereich, um in der Schweiz den Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Die bei Neubauten eingesetzten Technologien und die erreichten energetischen Standards sollten hierfür den Stand der Technik repräsentieren. Neubauten bahnen der weiteren Anwendung von erneuerbaren Energien und von Energieeffizienztechnologien bei der Erneuerung des Gebäudebestandes oft den Weg. Neuerstellte Gebäude (wie auch Gebäudesanierungen) haben zudem aufgrund ihrer langen Lebensdauer für Jahrzehnte einen wesentlichen Einfluss auf die Umweltwirkung des Schweizer Gebäudeparks. Um die Ziele der Schweizer Nachhaltigkeitspolitik zu erreichen, sollten Neubauten schon heute weitreichenden zukünftigen Anforderungen an den Schweizer Gebäudepark bezüglich Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen genügen. Hohen Anforderungen genügen heute Gebäude, welche nach den energieeffizientesten Baustandards wie Minergie-P, Nullheizenergie- und Plusenergie erstellt werden, was in der Regel die Investitionskosten erhöht.

### **Eine steigende Zahl von Minergie-P-, Null- und Plusenergie-Bauten in der Schweiz und besonders im umliegenden Ausland demonstrieren die Machbarkeit und Attraktivität dieser Standards**

Sowohl im Wohnungsbau – bei Einfamilienhäusern und bei Mehrfamilienhäusern – als auch bei Dienstleistungsgebäuden wurden bis heute schon zahlreiche, auch ästhetisch ansprechende Bauten realisiert, welche bei Energieeffizienz und beim Einsatz erneuerbarer Energien modernste Technologien verwenden und somit Massstäbe für die Zukunft setzen. Auch in der Schweiz werden zunehmend Plusenergie-Bauten realisiert. Eine deutliche grössere Verbreitung finden diese bis jetzt allerdings im umliegenden Ausland, so zum Beispiel im österreichischen Vorarlberg oder in Deutschland. In letzter Zeit wird auch vermehrt der Verbrauch Grauer Energie durch die Gebäude thematisiert, welcher mit Holzbauten (auch mehrstöckig) und mit der Verwendung ökologischer Baumaterialien vermindert werden kann.

Voraussetzung für die wirtschaftliche Umsetzung dieser Anforderungen ist ihr konsequenter Einbezug bei der Projektierung der Gebäude. Optimierungsstudien zeigen, dass dabei eine kompakte Bauweise – wenn nicht *Conditio sine quo non*, so doch – eine wichtige Voraussetzung ist für die Realisierung einer energetisch-ökologisch optimierten Bauweise mit Wirtschaftlichkeit und guter Architektur. Einzelbeispiele zeigen, dass das heute schon möglich ist.

### **Die Neubauten der Zukunft: Nicht mehr primär zusätzliche Energieverbraucher sondern vermehrt Energieproduzenten mit CO<sub>2</sub>-Reduktionsbeiträgen**

Die hier entwickelten Szenarien für die Neubauten bis 2030 zeigen, dass die Schweizer Neubauten im Wohn- und Dienstleistungsbereich, welche ab 2010 erstellt werden, nach dem Jahr 2025 gesamthaft zu Energielieferanten statt Energiekonsumenten werden könnten. Voraussetzungen dafür sind jedoch, dass ab dem Jahr 2015 Neubauten primär im Minergie-P-, Nullheizenergie- oder Plusenergiestandard erstellt werden und dass insbesondere der Anteil der Plusenergiebauten (in der Studie anhand der Energieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser untersucht) an den jährlich erstellten Gebäuden bis 2030 kontinuierlich auf circa die Hälfte ansteigt. Dies ergibt sich aus den zwei Neubauszenarien – einem «Basisszenario» und einem «Technologieszenario» – die in der vorliegenden Studie für die Jahre 2010 bis 2030 modelliert und verglichen werden und für welche der Energieverbrauch der zwischen 2010 und 2030 erstellten Neubauten im Wohn- und Dienstleistungssektor ermittelt wird. Ausgehend vom energetischen Standard gemäss MuKE n 2008 wird mit dem Basisszenario eine gemächliche Entwicklung der Neubauten in Richtung energieeffizienteste Baustandards abgebildet. Mit dem Technologieszenario wird dagegen eine rasche Verbreitung des heutigen «Standes der Technik» modelliert. Dieser Stand der Technik wird zurzeit von Minergie-P-Gebäuden repräsentiert, welche zusätzlich mit Anlagen zur Energieerzeugung ausgestattet sein können, sodass Null(heiz)energie-Gebäude oder sogar Plusenergie-Gebäude entstehen, welche im Jahresmittel mehr Energie erzeugen als verbrauchen. Der Stand der Technik – hoch gedämmte Gebäude mit Energieerzeugungsanlagen – führt einerseits zu finanziellen Einsparungen durch den reduzierten Heizenergieverbrauch in den Gebäuden und die Vergütung verkaufter Energie und andererseits zu Mehrkosten zum Zeitpunkt der Investition für Wärmedämmung, Komfortlüftung und Energieerzeugungsanlagen.

### **Minergie-P-, Nullheizenergie- und Plusenergie- Neubauten sind bei den getroffenen Annahmen zurzeit und noch nicht wirtschaftlich – hohe Schweizer Preise deuten aber auf Kostenreduktionspotenziale hin, insbesondere bei Photovoltaik.**

Bei allen untersuchten Baustandards – Minergie-, Minergie-P-, Nullheizenergie- und Plusenergie-Gebäude – ergeben sich gegenüber dem gesetzlichen Baustandard (Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich, MuKE n 2008) und für die modellierten Schweizer Durchschnittsbedingungen (Energiepreise, Zinssatz, Technologiekosten) im betrachteten Zeitraum zwischen 2010 und 2030 Mehrkosten. Die gegenüber dem gesetzlichen Baustandard energetisch verbesserten Baustandards lohnen sich aus wirtschaftlicher Sicht in der Regel noch nicht. Die Mehrkosten, gemessen als Gegenwartswert gegenüber dem gesetzlich vorgegebenen Wärmedämmstandard (MuKE n 2008), liegen im Jahr 2010 je nach Baustandard bei Einfamilienhäusern zwischen 160 und 300 Franken pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche (CHF/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>), bei Mehrfamilienhäusern zwischen 160 und 240 CHF/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> und bei Dienstleistungsbauten zwischen 150 und 215 CHF/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>. Diese Mehrkosten basieren auf der Wärmebereitstellung mit Wärmepumpen und einem Strom-

preis im Jahr 2010 von 18,5 Rappen pro kWh. Bei steigenden Energiepreisen sinken diese Mehrkosten der energetisch besseren Baustandards.

Bei den Nullheizenergie-Gebäuden und besonders bei den Plusenergie-Gebäuden ("plus" bei Raumwärme (RW) und Warmwasser (WW)) kann mit der Stromerzeugung mittels Photovoltaik-Modulen und dem Verkauf des erzeugten Stroms die Wirtschaftlichkeit gegenüber Minergie-P-Gebäuden verbessert werden. Die Einnahmen aus dem verkauften Photovoltaik-Strom können die Mehrkosten der Gebäudehülle und der Komfortlüftung je nach Annahmen im Modell überkompensieren und so die Plusenergie-Gebäude (RW + WW) wirtschaftlich machen. Für die Grundannahmen in der Modellierung betreffend aktueller Anlagekosten, PV-Wirkungsgrad, genutzter Solareinstrahlung und Einspeisevergütung (KEV) lohnt es sich jedoch finanziell zurzeit noch nicht, statt dem gesetzlichen Standard (MuKE 2008) Plusenergie-Gebäude (RW + WW) zu realisieren. Erst bei einem PV-Modulwirkungsgrad von 16% (und Investitionskosten von 1'080 Fr./m<sup>2</sup> PV) oder einer entsprechenden Reduktion der Anlagenkosten und einer verminderten Absenkung der KEV um -4% p.a. statt -8% p.a. erreichen Plusenergie-Gebäude (RW + WW) im Jahr 2015 und 2020 in etwa die Wirtschaftlichkeit.

Die im Vergleich zum umliegenden Ausland sehr hohen Preise von PV-Anlagen deuten aber auf massive Kostensenkungspotenziale hin, die Nullheizenergie- und Plusenergie-Neubauten (RW + WW) attraktiver machen könnten, wenn sich der Markt entsprechend entwickelt. Im Jahr 2009 wurden in der Schweiz erste PV-Grossanlagen zu drastisch gesunkenen Preisen (rund 800 Fr./m<sup>2</sup> PV) bei gleichzeitig sehr hohen Wirkungsgraden von 19% offeriert, was dazu führt, dass grosse Plusenergie-Gebäude (RW + WW) zusammen mit der KEV heute wirtschaftlich sind.

Die unterschiedliche Verbreitung der Baustandards von Neubauten im Basisszenario und im Technologieszenario führen zu unterschiedlichen Mehrkosten gegenüber dem gesetzlichen Baustandard. Der Gegenwartswert der Mehrkosten des Technologieszenarios gegenüber dem Basisszenario liegt zwischen 2010 und 2020 jeweils in der Grössenordnung von 2,5 Mrd. Franken jährlich. Ab 2020 sinken die Mehrkosten des Technologieszenarios soweit, dass das Technologieszenario gegenüber dem Basisszenario nach 2030 keine Mehrkosten mehr aufweist. Die modellierte Änderung wichtiger Rahmenbedingungen, wie der Anstieg der Stromkosten von 18,5 Rp./kWh im Jahr 2010 auf 33,4 Rp./kWh im Jahr 2030, eine Kostendegression bei den Baukosten von 1% pro Jahr und Wirkungsgradsteigerungen und Kostenabnahmen bei den Photovoltaik-Modulen führen also dazu, dass die starke Verbreitung von Nullheizenergie- und Plusenergie-Standards (RW + WW) bei Wohn- und Dienstleistungs-Neubauten im Technologieszenario ab 2030 finanziell günstiger ist als die weiterhin starke Ausrichtung der Neubauten auf den gesetzlichen Baustandard und auf Minergie im Basisszenario.

Falls sich wichtige Rahmenbedingungen für Know-how und für die Kosten und Erträge der energieeffizienten Baustandards schneller positiv entwickeln und falls förderliche politische Vorgaben umgesetzt werden (z.B. bezüglich KEV), verringern sich die Mehrkosten des Technologieszenarios merklich (diese Rahmenbedingungen werden in beiden Szenarien parallel variiert). Mit den folgenden Änderungen an den Rahmenbedingungen

ergibt sich im Jahr 2020 in etwa eine Halbierung der Mehrkosten des Technologieszenarios:

- Jährliche Abnahme der Investitionskosten bei Gebäudehülle und Komfortlüftung: 2% statt 1%
- Strompreissteigerung zwischen 2010 und 2030: Preissteigerung 4% p.a. statt 3% p.a.
- Erhöhter PV-Modulwirkungsgrad: generell um 4% erhöhter Wirkungsgrad bei gleichen Installationskosten
- Verminderte Reduktion der Kostendeckenden Einspeisevergütung für Solarstrom: minus 4% statt minus 8% pro Jahr (KEV-Laufzeit bis 2020)

### **Anspruchsvolle energetische Standards und die PV-Energieproduktion im Gebäudereich ergeben nur schon bei den Neubauten ein hohes CO<sub>2</sub>-Reduktionspotenzial von 7 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-eq im Jahr 2030**

Neben den energetischen Wirkungen im Basis- und im Technologieszenario werden auch die Treibhausgasreduktionen betrachtet, welche durch die energieeffizienten Baustandards erreicht werden können. Mit dem Technologieszenario ergeben sich nur schon durch die mit der Studie untersuchten Neubauten in der Periode 2010 bis 2030 Treibhausgasreduktionen, die sich bis 2030 auf rund 7 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-eq pro Jahr gegenüber einer Entwicklung gemäss Basisszenario kumulieren. Diese hohe Treibhausgasreduktion durch den Neubaupark bis 2030 entsteht zu einem grossen Teil durch den von Plusenergie-Gebäuden (RW + WW) erzeugten Solarstrom. Wegen der Verringerung des Materialaufwandes bei der PV-Produktion ist in Zukunft mit einer noch grösseren Treibhausgasreduktion durch die Solarstromerzeugung zu rechnen.

### **Die Methodik: Basis der Berechnungen sind die schweizerischen Energieperspektiven zu Wirtschafts-, Bevölkerungs- und Energiebezugsflächenwachstum sowie Schätzungen zu Energiepreisen und technologischen Lernkurven**

Die Schweizer Neubautätigkeit bei Wohn- und Dienstleistungsgebäuden wurde in den Jahren 2010 bis 2030 in Abhängigkeit wichtiger Rahmenbedingungen modelliert. Für die Modellierung wurden zwei Neubauszenarien postuliert – das Basisszenario und das Technologieszenario –, in welchen die Baustandards MuKE n 2008 (= gesetzlicher Baustandard), Minergie, Minergie-P, Nullheizenergie und Plusenergie (RW + WW) unterschiedliche Verbreitung finden. Mit dem Basisszenario soll die Entwicklung der Neubautätigkeit «weiter wie bisher» dargestellt werden, mit dem Technologieszenario eine Entwicklung in Richtung verstärkter Umsetzung des Stands der Technik.

Als Basis wurde die Entwicklung der Energiebezugsflächen gemäss Energieperspektiven des Bundes verwendet, welche mit Prognosen zum Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum angepasst wurden. Der Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser wurde gemäss Vorgaben der MuKE n (SIA 380/1 2009) und für Minergie und Minergie-P für die drei betrachteten Gebäudekategorien Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser und Dienstleis-



tungsbauten vorgenommen. Der Energiekonsum der Gebäude wird im Modell mit Strom gedeckt (Wärmeerzeugung mittels Wärmepumpen), dessen Preis in der Grundeinstellung des Modells von 18,5 Rp./kWh mit einer jährlichen Rate von 3% ansteigt. Weiter wurde eine generelle Kostendegression bei der Gebäudehülle und der Komfortlüftung von 1% pro Jahr und ein Realzinssatz von 3,5% in den Berechnungen verwendet. Mehrkosten für die Gebäudehülle (Fassade, Dach, Fenster) für Minergie und Minergie-P-Gebäude werden aktuellen Studien entnommen.

Die Wärmebereitstellung erfolgt aufgrund besserer Vergleichbarkeit für alle Baustandards mittels Wärmepumpen. Für die Energieerzeugung bei Nullheizenergie- und Plusenergie-Gebäuden (RW + WW) wird die Installation von Photovoltaik-Modulen modelliert. Für Kosten, Modul-Wirkungsgrad und Einspeisevergütung bei der Photovoltaik werden zeitliche Entwicklungen der entsprechenden Grössen zwischen 2010 und 2030 hergeleitet.

Die Nullheizenergie- und die Plusenergie-Gebäude basieren rechnerisch auf Minergie-P-Gebäuden, welche mit Photovoltaik-Modulen bestückt werden, um ihren Eigenbedarf zu decken und um überschüssige Energie bei Plusenergie-Gebäuden zu erzeugen.



# 1 Ausgangslage

Die zunehmenden Gewissheiten über die künftigen klimatischen Veränderungen und deren Folgen sowie die massiven Ausschläge der Energie- und Rohstoffpreise in der jüngeren Vergangenheit haben zur Formulierung ambitionöser energie- und klimapolitischer Zielsetzungen geführt: Langfristig sollen die Treibhausgasemissionen auf 1 t CO<sub>2</sub> aequivalent pro Kopf und Jahr und der Primärenergieverbrauch soll auf 2000 Watt pro Person und Jahr gesenkt werden. Dabei sind die Nutzung der energetischen Effizienzpotenziale und der Einsatzmöglichkeiten für erneuerbare Energien ein zentraler Handlungsbereich und zugleich eine der ganz grossen Herausforderungen der Nachhaltigkeitspolitik. In verschiedenen Forschungsarbeiten wurde in den vergangenen Jahren aufgezeigt, dass sowohl beim Wärmeverbrauch von Bauten als auch beim Elektrizitätsverbrauch in Gebäuden grosse technologische Reduktions- und Effizienzpotenziale bestehen, die heute schon vielfach wirtschaftlich oder beinahe wirtschaftlich sind, die aber bei weitem nicht genutzt werden.

Daneben demonstriert eine Vielzahl realisierter Projekte in der Schweiz sowie insbesondere in Deutschland und in Österreich, dass sich viele Gebäude gut für die aktive Nutzung von Sonnenenergie eignen.

Auf der anderen Seite stehen die aktuelle Energienachfrage und die Treibhausgas-Emissionen, welche sich langfristig in Richtung 2000-Watt-Gesellschaft entwickeln sollten, sich aber zurzeit noch nicht auf diesem Pfad befinden.

Mit einer Potenzialstudie im Gebäudebereich soll hier untersucht werden, ob die Nutzung der heute verfügbaren Technologien im Gebäudebereich bis ins Jahr 2030 einen wesentlichen Zielbeitrag in Richtung Effizienzpfad zur 2000-Watt-Gesellschaft leisten kann und gleichzeitig einen relevanten Beitrag zur Erhöhung der Stromproduktion aus inländischen erneuerbaren Quellen liefern würde.



## 2 Fragestellungen und Ziele der Studie

Ausgehend von heute verfügbaren und an Einzelobjekten bereits erprobten Technologien (best available technology) soll der Spielraum ausgelotet werden, welcher bei einer forcierten Strategie zur Reduktion des Verbrauches fossiler und elektrischer Energie sowie der Nutzung erneuerbarer Energien bei Neubauten bis 2030 besteht. Dem in Zukunft zu erwartenden technischen Fortschritt soll dabei angemessen Rechnung getragen werden.

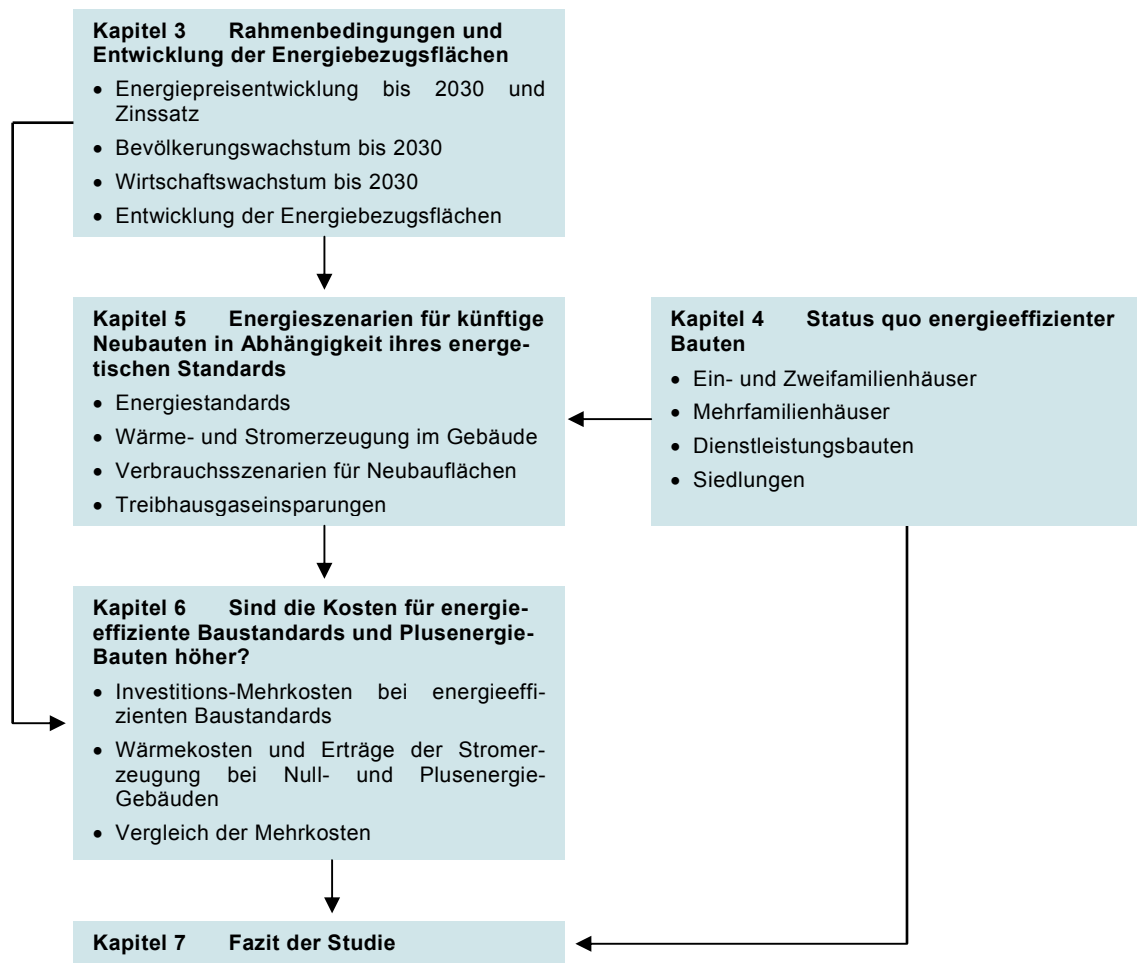
Im Rahmen dieser Studie wird das **Energieeffizienz- und Stromproduktionspotenzial** bei künftigen Neubauten aufgezeigt, das mit dem Einsatz von Bau-Standards, mit welchen ein kleinerer Energieverbrauch als der gesetzlich vorgeschriebene Maximalverbrauch (der MuKE n 2008) aufweisen, bis 2030 realisierbar ist. Betrachtet werden Wohnbauten und Geschäftsbauten ohne Produktionsstätten mit den folgenden Baustandards: Minergie, Minergie-P, Nullheizenergie und Plusenergie.

Daneben werden die Gegenwartswerte der **Mehrkosten** und die **Treibhausgaseinsparungen bis 2030** ermittelt, welche durch die Realisierung der energieeffizienteren Baustandards bei den künftigen Neubauten entstehen.

Alle Ergebnisse werden für 2 Szenarien – einem **«Basisszenario»** und einem **«Technologieszenario»** – dargestellt. Das Basisszenario ist ein 'business as usual'-Szenario – beim Technologieszenario wird von einer viel häufigeren Realisierung von energieeffizienten Baustandards ausgegangen, wie sie derzeit vermehrt politisch gefordert wird und wie sie etwa in Vorarlberg stattfindet.

Figur 1 auf der folgenden Seite gibt einen Überblick über das Vorgehen und den Aufbau des Berichts.

## «Aufbau des Berichts»



Figur 1: Schema des methodischen Vorgehens und Aufbau des Berichts.

## 3 Rahmenbedingungen und Entwicklung der Energiebezugsflächen

Die Voraussetzungen für die Machbarkeit wie auch die resultierenden Konsequenzen einer forcierten Effizienz- und Substitutionsstrategie im Gebäudebereich (bei der Wärme schwergewichtig bei Neubauten) hängen wesentlich von der Entwicklung der wirtschaftlichen und energiepolitischen Rahmenbedingungen bis ins Jahr 2030 ab. In Kapitel 3 werden die in dieser Arbeit getroffenen Annahmen zur Entwicklung der wichtigsten Treiber des Energieverbrauchs, der Effizienz- und Substitutionsmassnahmen sowie ihrer Kosten dargelegt.

### 3.1 Entwicklung der Energiepreise und der Zinssätze bis 2030 (Öl/Gas und Strom)

#### 3.1.1 Energieperspektiven des BFE für die Schweiz

Die nachfolgenden Betrachtungen stützen sich auf die Szenarien der Prognos-Studie «Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte, 1990-2035» (Hofer, 2007). Als Basisszenario wird entsprechend der Perspektivstudie das Szenario II - «Verstärkte Zusammenarbeit» gewählt. Das Szenario IV – «Auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft» dient als Zielszenario.

In den Grundannahmen der Energieperspektiven wird in allen Szenarien mit einem konstanten realen Ölpreis von 30 \$/Barrel<sup>1</sup> bis 2030 (Figur 2) und einem Wachstum des Bruttoinlandsproduktes von 0.9 % pro Jahr gerechnet.

Der den Energieperspektiven zugrunde gelegte Ölpreis von 30\$/Barrel (in Preisen von 2003) wurde von den realen Preisen in den letzten Jahren massiv überschritten; allerdings fielen die Ölpreise in Folge der globalen Rezession ab 2008 ebenso stark, um aktuell bei circa dem Doppelten (60\$/Barrell) zu liegen. Diese grossen Schwankungen des Ölpreises machen Vorhersage der Preisentwicklung bei Erdöl äusserst schwierig. Im Rahmen dieser Studie wurden verschiedene Preis-Prognosen für Erdöl analysiert<sup>2</sup>. Welches Szenario man auch immer betrachtet, es kann damit gerechnet werden, dass die Ölpreise weiterhin über den bis vor wenigen Jahren gewohnten Preisen zu liegen kommen. Alle Szenarien gehen davon aus, dass der Ölpreis im Jahr 2008 durchschnittlich überbewertet ist und das Öl wieder billiger wird. Auch sind sie sich darin einig, dass anschliessend die Preise wieder kontinuierlich zu steigen beginnen. Im Zeitpunkt des erneuten Preisanstieges und in der darauf folgenden Steigungsrate unterscheiden sie sich

---

<sup>1</sup> In Preisen von 2003

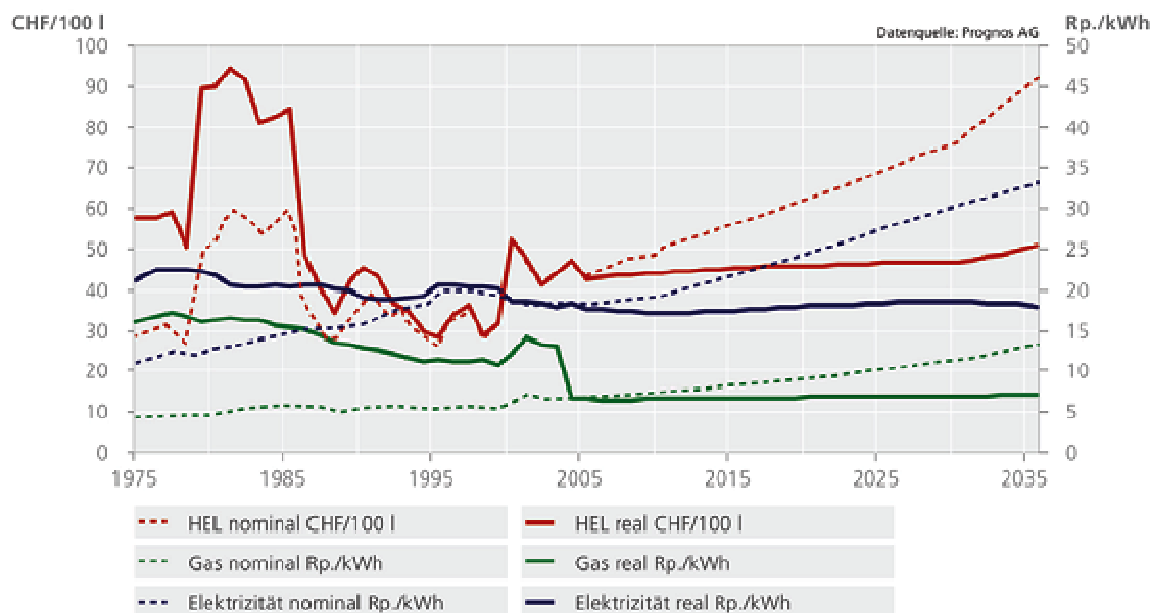
<sup>2</sup> Internationale Energieagentur (IEA 2006), US Energy Information Administration (Sweetnam 2008), European Commission (EC 2006), World Energy Council (WEC 2007)

jedoch. Aufgrund der bestehenden Preiskopplung zwischen Erdöl und Erdgas werden sich die Erdgaspreise wahrscheinlich in ähnlichen Bahnen bewegen.

Für drei Aspekte werden in den Szenarien auch Sensitivitäten berechnet. So wurde betrachtet, welche Auswirkungen ein jährlich um 0.5 % stärkeres Bruttoinlandproduktwachstum («BIP hoch») hat, was ein höherer Ölpreis (50 \$/Barrel statt 30 \$/Barrel, «Preise hoch») bewirkt und welchen Einfluss ein wärmeres Klima («Klima wärmer») mit einem Anstieg der mittleren Temperatur um 1.8 °C bis 2035 und um 2.5 °C bis 2050 auf die Energieperspektiven ausübt.

Wir gehen hier aufgrund der seit der Erstellung der Energieperspektiven eingetretenen Entwicklungen<sup>3</sup> davon aus, dass **alle Sensitivitäten** zu berücksichtigen sind, also **höheres BIP-Wachstum, höhere Energiepreise sowie wärmeres Klima**.

### «Entwicklung der Energiepreise in den Grundannahmen der Energieperspektiven»



Figur 2: In den Grundannahmen der Energieperspektiven steigt der reale Preis der Energieträger Erdöl, Erdgas und Strom nicht. Aufgrund der angenommenen Inflation kommt es aber zu einer nominalen Preissteigerung. (Hofer 2007)

### 3.1.2 Strompreis und seine zeitliche Entwicklung

Für die nachfolgenden Berechnungen wird ein durchschnittlicher Strompreis für alle Gebäudetypen verwendet. Im Jahr 2010 wird von einem Preis von 0,185 Fr./kWh ausgegangen, welcher sich an Angaben des Preisüberwachers orientiert (EVD 2009). Die 0,185 Fr./kWh sind ein ungefährender Wert für Haushalte und Dienstleistung/Gewerbe und

<sup>3</sup> Ölpreis vom 19. September 2008: 95.19 \$/Fass (Quelle: NZZ)

BIP: Wachstum 2006 und 2007 von mehr als 3 % (Quelle: Bundesamt für Statistik)

Klima: IPCC Fourth Assessment Report



stellen einen Durchschnitt aus unterschiedlichen Tarifphasen dar (Hoch-/Niedertarif) und enthalten die Mehrwertsteuer von 7,6%.

Für die Prognose des Strompreises bis 2030 wird davon ausgegangen, dass die Kosten für die Stromerzeugung und der damit verbundene Energiepreis stärker steigen werden als die Kosten für das Stromnetz und die Abgaben. Der Anteil des Energiepreises am Strompreis liegt im Jahr 2010 bei 33% (Swissgrid 2009). Es wird von einer jährlichen Steigerung des Energiepreises von 5,5% ausgegangen. Bei Stromnetz und Abgaben wird von einer Preissteigerung von rund 1% p.a. ausgegangen.

Die nachfolgende Tabelle gibt den sich daraus ergebenden Strompreis wieder, wie er für die Modellierungen verwendet wird.

Strompreis für alle Gebäudetypen in Fr./kWh in den Jahren					
	2010	2015	2020	2025	2030
Strompreis	0.185	0.214	0.249	0.288	0.334

Tabelle 1: Zeitliche Entwicklung des Strompreises, welcher für die Berechnungen verwendet wird in Fr./kWh.

### 3.1.3 Zinssatz

Für die Berechnung der Kosten der betrachteten Bausstandards wird ein Zinssatz von 3,5% verwendet. Dieser wird der SIA-Richtlinie SIA 480/1 entnommen, welche für private Schuldner mit guter Bonität und für Projekte mit geringem Risiko einen Realzinssatz von 3,0 bis 3,5% empfiehlt. Die Energieperspektiven des BFE gehen dagegen von einem Zinssatz nur 2,5% aus.<sup>4</sup>

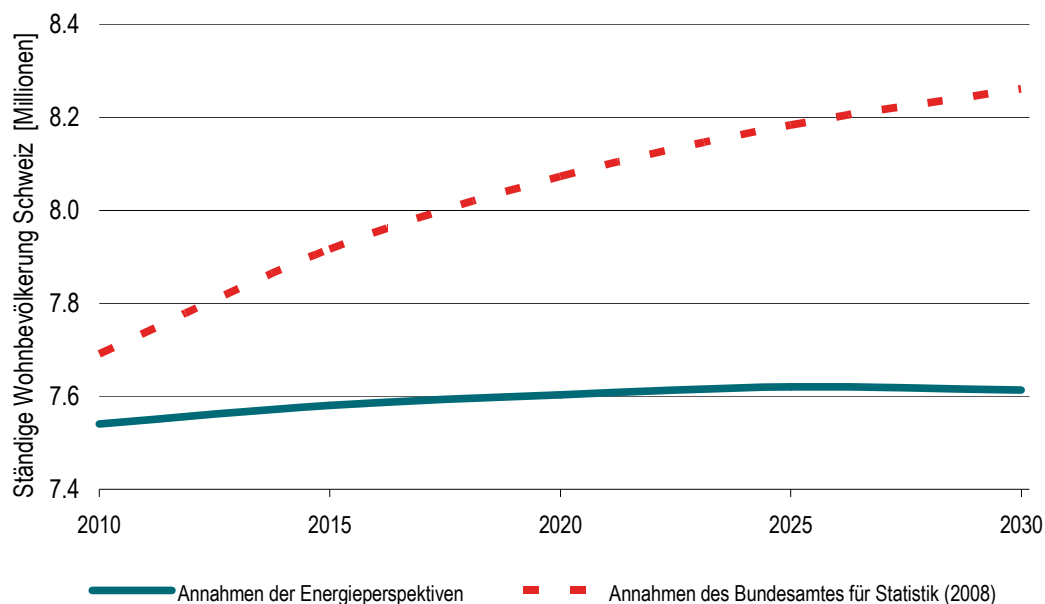
## 3.2 Bevölkerungswachstum gemäss BFS bis 2030

Seit der Veröffentlichung der Energieperspektiven im Jahr 2007 hat sich gezeigt, dass das Bevölkerungswachstum in Zukunft höher sein wird, als bei den damaligen Berechnungen erwartet (Figur 3). Dadurch ist mit einer gegenüber den Energieperspektiven erhöhten Neubautätigkeit zu rechnen.

Diesem Umstand haben wir bei der Abschätzung der **neuerstellten** Energiebezugsfläche für den Wohnungsbereich Rechnung getragen. Dazu haben wir die Flächen jeweils um den Faktor, resultierend aus dem Vergleich der aktuellen Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung und den Annahmen der Energieperspektiven, vergrössert.

<sup>4</sup> Für Bundesinvestitionen gilt ein Realzinssatz von 2.0 - 2.5% und für kantonale bzw. kommunale Investitionen 2.5 bis 3.0%. Die Werte basieren auf den von der Schweizerischen Nationalbank publizierten, durchschnittlichen Zinssätzen für Althypotheken und den Durchschnittsrenditen für Obligationen des Bundes, Kantone und der Gemeinden der Jahre 1983 bis 2002.

### «Entwicklung der ständigen Wohnbevölkerung in der Schweiz bis 2030 »



Figur 3: In den aktuellsten Studien zur Bevölkerungsentwicklung des Bundesamtes für Statistik aus dem Jahr 2008 wird von einem grösseren Wachstum ausgegangen, als es für die Energieperspektiven als Berechnungsgrundlage diente.

## 3.3 Wirtschaftswachstum der Schweiz bis 2030

### *Annahmen des seco und der Bundeskanzlei*

Die im Exkurs 1 der Energieperspektiven veröffentlichte Prognose des Trend-BIP des seco über das erwartete Wirtschaftswachstum stimmt mit aktuellen Prognosen in etwa überein. Seit Januar 2008 spürt die Schweiz ein verlangsamtes Wachstumstempo.

Das seco weist im Exkurs der Energieperspektiven darauf hin, dass aus einer konsequenten Umsetzung der Massnahmenpakete der Wachstumspolitik, wie sie auch von der OECD vorgeschlagen werden, ein um bis zu 0.7% höheres jährliches Wirtschaftswachstum resultieren würde, verglichen mit der Variante BIP Trend.

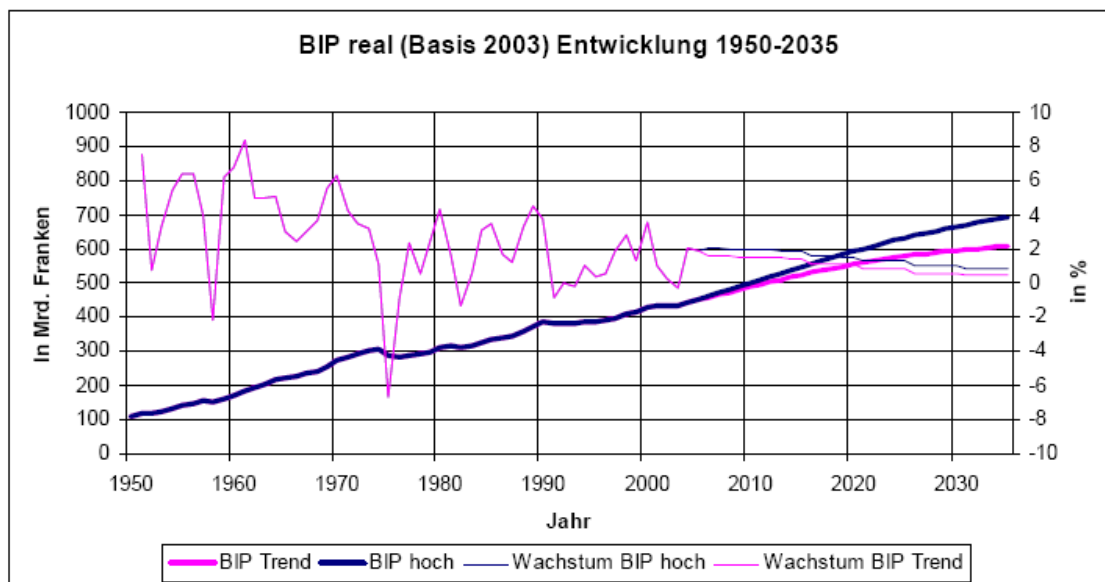
Zur Schätzung des künftigen BIP-Wachstums werden im «Exkurs: Rahmenentwicklungen der Energieperspektiven» die folgenden Angaben gemacht (Bundesamt für Energie, 2007):

*«Die vom seco zuhanden des Perspektivstabes erarbeiteten BIP - Szenarien beruhen auf einer Schätzung des Produktivitätswachstums und den Resultaten der Demografieszenarien des BFS. Der Berechnungsansatz geht davon aus, dass sich die Entwicklung der Demografie und der Produktivität langfristig nicht beeinflussen (d.h. zum Beispiel, dass das Bevölkerungswachstum die Produktivität nicht ändert) und deshalb unabhängig voneinander analysiert werden können. In die Berechnungen flossen das aus dem Bevölkerungsszenario Trend 2000 resultierende Arbeitsangebot (Erwerbstätige), ergänzt mit An-*

nahmen zu den nicht in den Bevölkerungsszenarien erfassten Erwerbstätigen (Grenzgänger und Kurzaufenthalter). Für die Schätzung des Wachstums der Arbeitsproduktivität kamen die Daten der Jahre 1980 - 2000 zur Anwendung. Es resultiert ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 0.89%. Da die Produktivität über die betrachtete Periode als konstant angenommen wird, bestimmt die Entwicklung der Erwerbstätigen das BIP – Wachstum.»

Jahrzehnt	2000 - 2010	2010 - 2020	2020 - 2030	2030 - 2040	2000 - 2040
BIP Trend Wachstum (in %)	1.4	1.0	0.5	0.7	0.9
BIP Hoch Wachstum (in %)	1.9	1.5	1.0	1.3	1.4

Tabelle 2 Durchschnittliche BIP-Wachstumsraten unterschiedlicher Zeitabschnitte (Quelle: Energieperspektiven, Exkurs: Rahmenentwicklungen, Bundesamt für Energie, 2007)



Figur 4: Entwicklung des realen BIP bis 2007 sowie des BIP hoch bis 2040 (Quelle: Bundesamt für Energie, 2007)

### 3.4 Entwicklung der Energiebezugsflächen

Im Folgenden werden für Wohn- und Wirtschaftsbauten die neugebauten Energiebezugsflächen bis zum Jahr 2030 dargestellt. Im Wohnbereich wird zusätzlich zwischen Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern differenziert. Der Dienstleistungssektor (DL) wird aufgrund seiner sehr unterschiedlich gelagerten Branchen in Handel, Unterricht, Banken/Versicherungen, Gesundheitswesen, Hotel/Gastgewerbe und «übrige DL» unterteilt<sup>5</sup>. Das erlaubt

<sup>5</sup> Die Einteilung erfolgt analog der Studie «Der Energieverbrauch der Dienstleistungen und der Landwirtschaft, 1990 – 2035» (Aebischer 2007).

in Abhängigkeit vom Wachstum und den spezifischen Energiekennwerten eine genauere Vorhersage des Energieverbrauchs.

Wiederum wurden die Werte für die Sensitivität «BIP hoch» verwendet. Um der zwischenzeitlich anders verlaufenden Bevölkerungsentwicklung gerecht zu werden, haben wir die Prognosen für die Wohnbauten proportional zu den aktuellen Werten des Bundesamtes für Statistik angepasst.

Auch für die Prognosen zum Wirtschaftswachstum sind aktuellere Zahlen vorhanden. Aufgrund der gegenwärtigen weltweiten Rezession sind Vorhersagen im Moment sehr schwierig, weswegen für die vorliegende Studie weiterhin die Werte der Energieperspektiven von 2006 verwendet werden.

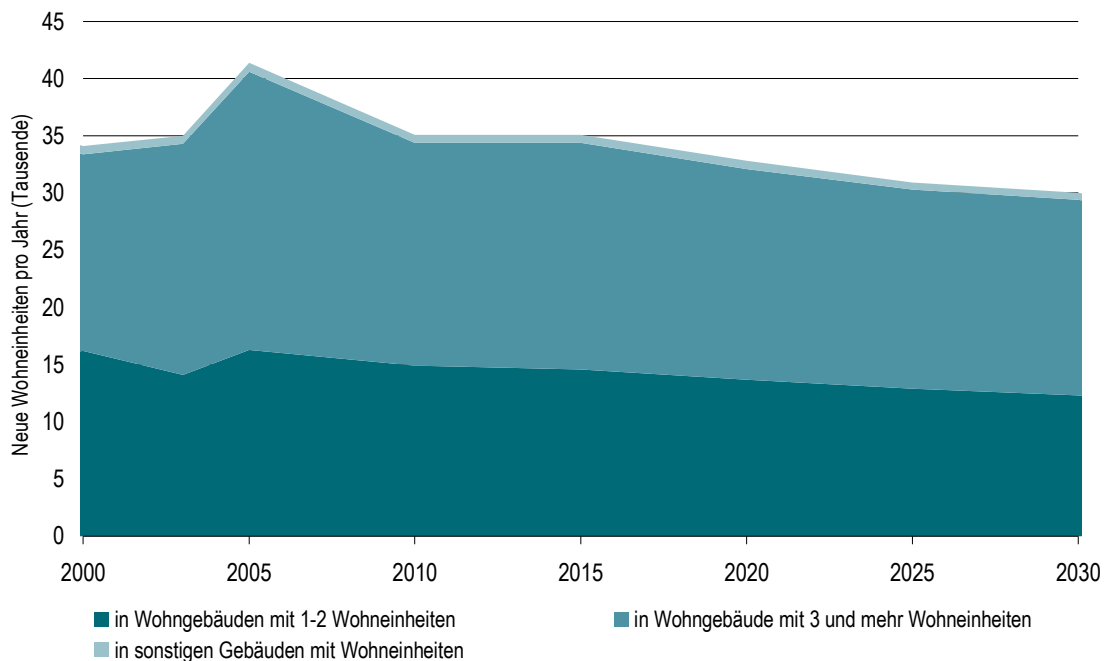
### **3.4.1 Wohnungsbau**

Die Neubautätigkeit im Wohnungssektor hängt von verschiedenen Faktoren ab: Wichtig ist zum einen das Bevölkerungswachstum, denn eine grössere Bevölkerung braucht mehr Wohnraum. Zum anderen ist die Einkommensentwicklung – welche sich im Bruttoinlandprodukt spiegelt – von zentraler Bedeutung, da mit höherem Einkommen (BIP/Kopf) mehr Wohnraum pro Person bezahlt werden kann. Daneben spielen die Abbruchrate und weitere sozioökonomische Faktoren wie die Entwicklung der mittleren Haushaltsgrösse und der Anzahl Haushalte eine Rolle.

Für beide Szenarien wird in den Energieperspektiven von derselben Struktur und derselben Anzahl von Wohnungen ausgegangen. Bis auf die Sensitivitätsvariante «BIP hoch» haben die Sensitivitäten keinen Einfluss auf die Wohnungsentwicklung.

Die erhöhte Investitionstätigkeit bei erhöhtem BIP führt zu einer grösseren Anzahl von neu erstellten Wohnungen. Wie bereits erwähnt, gehen wir von einem erhöhten BIP-Wachstum aus und operieren deshalb mit den Wohnungskennzahlen der entsprechenden Sensitivitätsvariante.

### «Neubau von Wohnungen nach Gebäudetypen, 2000-2030»



Figur 5: Entwicklung der Neubautätigkeit im Wohnungsbereich von 2000 bis 2030. (Hofer 2007)

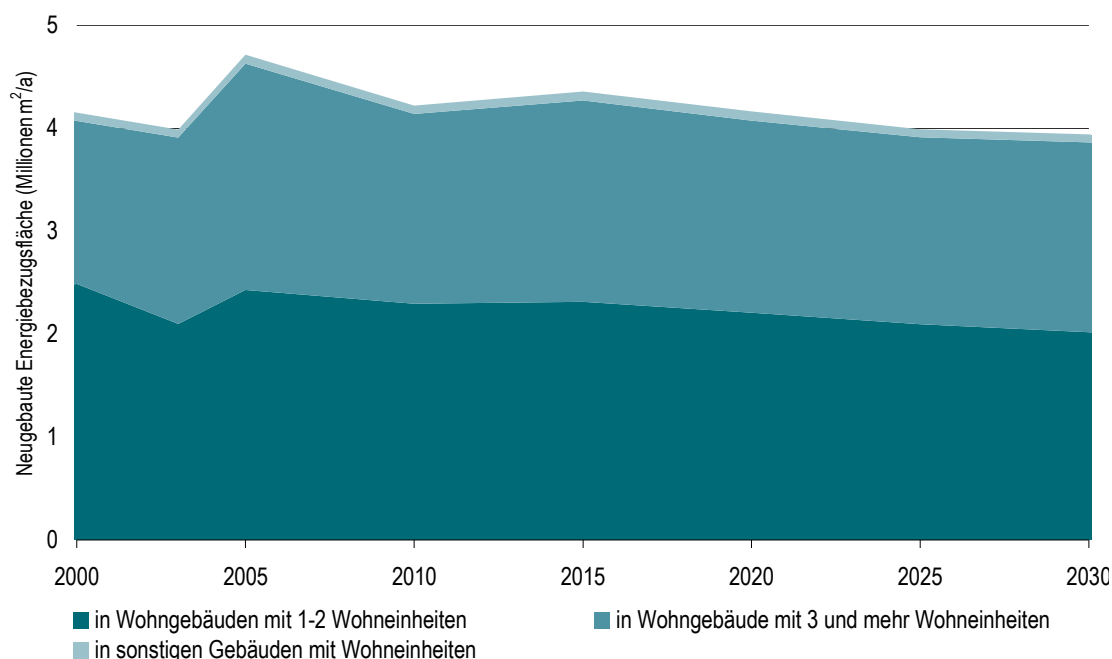
Figur 5 zeigt, dass die gesamte Wohnbautätigkeit in den nächsten Jahren kontinuierlich abnehmen wird.

Für die nächsten 10 bis 15 Jahre wird mit einem jährlichen Neubauvolumen von 30'000 bis 35'000 Wohnungen gerechnet (Tabelle 18 im Anhang). Ab 2015 wird ein Rückgang der Neubautätigkeiten erwartet. Gut 40 % der neugebauten Wohngebäude werden mit 1 bis 2 Wohnungen ausgestattet sein (Figur 5). Für die Ein- und Zweifamilienhäuser wird aufgrund leicht steigenden Realeinkommens die Durchschnittsgrösse etwas zunehmen, um dann wegen sinkender durchschnittlicher Haushaltsgrösse wieder ein wenig kleiner zu werden. Im Mietwohnungsbereich wird der Trend zu grösseren Wohnungen langfristiger Natur sein.

Somit geht nicht nur die Anzahl der neugebauten Wohnungen, sondern auch die durchschnittliche Wohnungsgrösse in die Abschätzung des zukünftigen Energiebedarfes ein. Figur 6 zeigt das voraussichtliche Ausmass neu erstellter Energiebezugsfläche bis 2030<sup>6</sup>. Ab etwa 2015 nimmt die jährlich neu gebaute Energiebezugsfläche kontinuierlich ab, wobei dies zu einem grossen Teil auf die Wohngebäude mit ein bis zwei Wohneinheiten zurückzuführen ist. Deren Anteil nimmt von etwa 60 % im Jahr 2000 mit der Zeit auf knappe 51 % im Jahr 2030 ab.

<sup>6</sup> Die Umrechnung von Wohnfläche zu Energiebezugsfläche erfolgte mit dem Faktor 0.82.

### «Neu erstellte Energiebezugsfläche im Wohnungsbereich, 2000-2030»



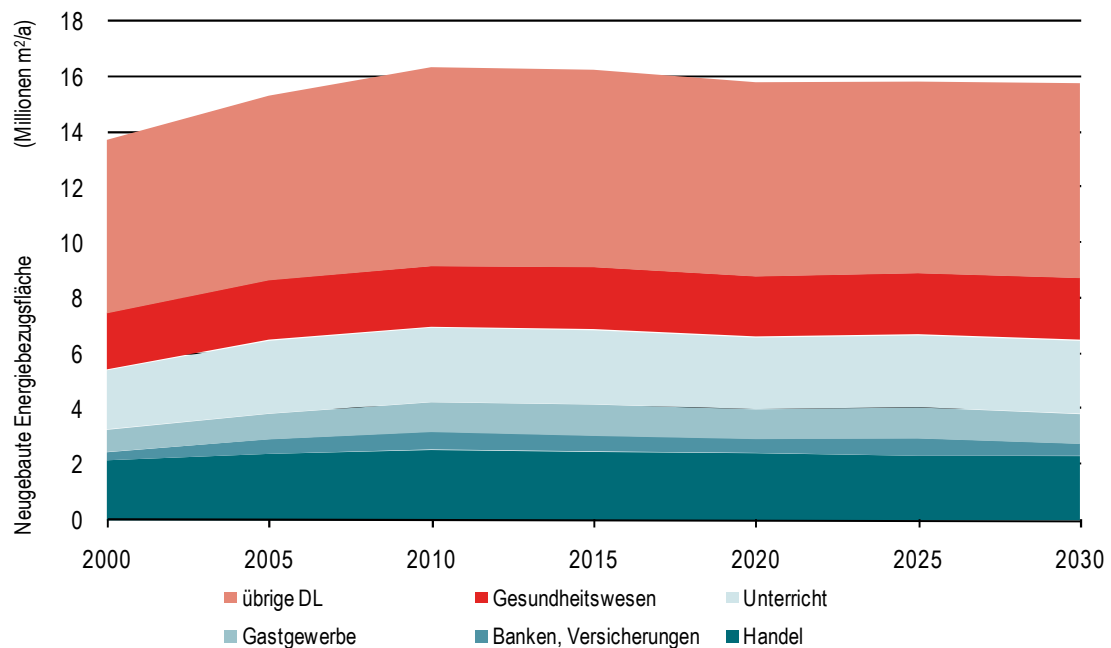
Figur 6: Bis 2015 nimmt die jährlich neu erstellte Energiebezugsfläche noch leicht zu, um danach kontinuierlich abzunehmen. (Hofer 2007)

Ein Vergleich der Energieperspektiven mit den inzwischen real eingetretenen Bevölkerungszahlen, Neubaufächen etc. zeigt, dass in Zukunft mit einem höheren Wohnungsneubau und tendenziell grösseren Energiebezugsflächen zu rechnen ist, als in den Energieperspektiven angenommen. So zeigen beispielsweise die neusten Zahlen des Bundesamtes für Statistik im Gegensatz zu den Energieperspektiven nach dem Jahr 2005 keinen Rückgang in der Wohnbautätigkeit – sondern ein weiteres Wachstum. Da die hier vorgenommenen Abschätzungen auf den Energieperspektiven aufbauen, sind sie denselben Einschränkungen unterworfen. Unsererseits wurde einzig der Wohnungsbau korrigiert, um das veränderte Bevölkerungswachstum gemäss den neusten Prognosen des Bundesamtes für Statistik mit zu berücksichtigen.

#### 3.4.2 Dienstleistungsbauten

Im Dienstleistungssektor berechnen sich die neu gebauten DL-Energiebezugsflächen aus der Summe von Neubau- und Erneuerungsbautätigkeit. Die Neubautätigkeit ergibt sich aus der Differenz zweier Zeitpunkte der in den Energieperspektiven angegebenen Totalwerte der Energiebezugsfläche (EBF) für die Sensitivität «BIP hoch». Für die Erneuerungsbautätigkeit wurde gemäss der Studie «Gebäudeausweis in der Schweiz: mögliche Vollzugsmodelle» (Rieder et al. 2006) eine Rate von 1.04 % pro Jahr angenommen. Die erhaltenen Zahlen sind in Tabelle 20 zusammengestellt.

### «Neu erstellte Energiebezugsfläche im Dienstleistungssektor, 2000-2030»



Figur 7: In den nächsten Jahren wird vermutlich der Höhepunkt im Neubau für den Dienstleistungssektor erreicht. Die verschiedenen Dienstleistungsbereiche entwickeln sich unterschiedlich. (Aebischer 2007)

Figur 7 zeigt, dass der Zuwachs der Dienstleistungsflächen voraussichtlich um etwa 2010 den Höhepunkt erreichen wird. Vor allem Banken/Versicherungen und die «übrigen DL» wachsen danach nicht mehr stark. Insgesamt kann für die nächsten 20 Jahre weiterhin mit einer jährlichen Neubautätigkeit von über 15 Mio. m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche gerechnet werden.





## 4 Status quo energieeffizienter Bauten

Im Folgenden werden zur Illustration des Stands der Technik bezüglich Energieeffizienz und erneuerbarer Energien in Neubauten einige Beispiele präsentiert. Die vorgestellten Gebäude wurden alle in den letzten Jahren in der Schweiz realisiert, haben alle das Minergie-P-Label und sind teils Null- oder Plusenergiegebäude.

### 4.1 Ein- und Zweifamilienhäuser

#### *Riehen*

In Riehen (BS) wurde ein Haus im Minergie-P-Standard gebaut, das nicht nur – wie vom Standard gefordert – sehr wenig Energie benötigt, sondern insgesamt betrachtet Energie produziert. Die Eigenenergieversorgung beträgt 262 % und setzt sich komplett aus erneuerbaren Energien zusammen. Somit wird das Haus zu einem kleinen Kraftwerk, das jährlich netto 8'500 kWh Strom ( $27 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ) ins Stromnetz speist.

Um die gesetzten Ziele beim Bau des Zweifamilienhauses zu erreichen, wurden aktive und passive Sonnenenergie sowie Geothermie mit Sole-Wasser-Wärmepumpe genutzt. Bei der Auswahl der Baumaterialien wurde darauf geachtet, Baustoffe mit geringer grauer Energie zu wählen. Die Gebäudehülle wurde sehr gut gedämmt und luftdicht gebaut.

#### «Das Plusenergiehaus in Riehen»



© Setz Architektur, Claudia Meyer

Figur 8: Die Photovoltaikanlage auf dem Plusenergiehaus in Riehen nutzt den grössten Teil des Dachs.

Im Anhang finden sich in Tabelle 23 einige technische Daten.

### **Allschwil**

In Allschwil (BL) wurde 2004 je ein 4er und ein 5er Reiheneinfamilienhaus im Minergie-P-Standard realisiert. Sie besitzen Flächen von 150 m<sup>2</sup> und 173 m<sup>2</sup>. Die Böden, die Decken und die Haustrennwände wurden aus Beton bzw. Mauerwerk erstellt. Vorgefertigte Holzelemente bilden die Aussenwand. Die Trennwände im Innern der Häuser sind in Leichtbauweise gebaut.

Mit einem Lichthof inmitten des Hauses wird Solarenergie passiv genutzt. Die Fenster sind in Dreifachverglasung ausgeführt. Das Glasdach lässt sich dabei um 90 cm anheben. Damit wird im Sommer ein Kamineffekt erzeugt, der die überschüssige Wärme schnell abführt. Mit einem textilen Sonnenschutz wird die Überhitzung im Sommer zusätzlich verhindert.

Jedes Haus verfügt über ein eigenes Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung zur Verteilung der Heizwärme. Mit einem Erdregister wird die Luft im Winter vorgewärmt und im Sommer gekühlt. Erhitzt wird die Luft über einen Luftherhitzer, der seine Wärme von einem Nahwärmenetz bezieht. Das Wärmenetz wird mit einem gasbetriebenen Blockheizkraftwerk und einem kondensierenden Gaskessel für die Spitzenabdeckung betrieben. Am Nahwärmenetz zusätzlich angeschlossen sind die Boiler. Rund 20 % der benötigten Wärme wird über Sonnenkollektoren gewonnen. Die Investitions-Mehrausgaben betragen gegenüber einem gesetzeskonformen Bau 3-5%.

Weitere technische Daten finden sich in Tabelle 24 im Anhang.

## **4.2 Mehrfamilienhäuser**

### **Bennau**

Das in Bennau (SZ) errichtete Plusenergie-Mehrfamilienhaus «Kraftwerk B» hat 7 Wohneinheiten. Es besteht aus einem betoniertem Gebäudekern, welcher als Wärmespeicher dient, und einer Gebäudehülle aus Holzelementen mit 44 cm Wärmedämmung. In der gegen Süden gerichteten Dachfläche und in der Südfassade ist eine solarthermische Anlage mit 146 m<sup>2</sup> und eine PV-Anlage mit 261 m<sup>2</sup> Modulfläche integriert. Damit und mit Hilfe einer Fortluft-Wärmepumpe kann im Jahresdurchschnitt der Energiebedarf gedeckt werden und noch rund 8'000 kWh Solarstrom in das öffentlich Stromnetz eingespeist werden. Für den Winter sind in allen Wohnungen Kleinstspeicheröfen vorhanden, welche mit Holz befeuert werden und welche während den kältesten Tagen die Heizung unterstützen können.

### «Plusenergie-Mehrfamilienhaus in Bennau»



© Solarpreis 2009

Figur 9: Das in Plusenergie-Bauweise errichtete «Kraftwerk B» in Bennau (SZ).

Weitere Technische Daten finden sich in Tabelle 21 im Anhang.

#### **Wil**

Das Mehrfamilienhaus «Hofberg 3» in Wil (SG) wurde so konzipiert, dass es ohne zusätzliche Heizenergie auskommen soll. Dementsprechend erhielt das Gebäude das Minergie-P-Label. Von aussen zugeführt werden muss noch Energie im Umfang von ca.  $10.3 \text{ kWh/m}^2_{\text{EBFA}}$ .

Die nötige Energie wird zum einen mit einer Wärmepumpe<sup>7</sup> und zum anderen mit einer Photovoltaikanlage mit einer Leistung von  $6.72 \text{ kW}_p$  bereitgestellt. Zudem ist das Gebäude mit einer Komfortlüftung ausgestattet, welche die Wärme der Abluft rückgewinnt. Bei diesem Bau beliefen sich die zusätzlichen Investitionen gegenüber einem Gebäude nach den SIA-Grenzwerten auf rund 7 % der Gesamtinvestition, also auf etwa 270'000 CHF. Davon mussten rund 110'000 CHF für die Gebäudetechnik und 160'000 CHF für die Gebäudehülle aufgewendet werden. (SAS 2006)

Weitere Technische Daten finden sich in Tabelle 22 im Anhang. (SAS 2006)

<sup>7</sup> JAZ: 4; 300 m tiefen Erdsonde



### 4.3 Dienstleistungsbauten

#### *Kemptthal*

Das Verwaltungsgebäude von Marché International wurde Minergie-P-Eco zertifiziert. Der Holzbau ist das erste Nullenergie-Bürogebäude der Schweiz. Sonnenenergie wird sowohl aktiv als auch passiv genutzt. Mit der Photovoltaikanlage (475 m<sup>2</sup> Dünnschicht-Solarzellen) von 44.6 kWp werden jährlich rund 40'000 kWh Strom erzeugt. Somit wird der gesamte Jahresenergiebedarf<sup>8</sup> des Gebäudes zu 100 % selbst erzeugt. Die für die Heizung und Warmwasseraufbereitung verwendete Erdsonden-Wärmepumpe hat eine Leistung von 16 kW<sup>9</sup>. Mit rund 560 CHF/m<sup>3</sup> ist das 2007 erstellte Gebäude zudem nicht teurer als vergleichbare Bauten. (SAS 2008)

Weitere technische Daten finden sich in Tabelle 25 im Anhang.

#### « Minergie-P-Eco Dienstleistungsgebäude in Kemptthal »



© Schweizer Solarpreis 2009

Figur 10: Das Verwaltungsgebäude von Marché International in Kemptthal, welches als Minergie-P-Eco-Gebäude erstellt wurde.

<sup>8</sup> Heizung, Lüftung, Warmwasser, Licht, EDV und Hilfsgeräte

<sup>9</sup> Gemäss [http://www.ekz.ch/internet/ekz/de/geschaeftskunden/UI\\_GK/energiecontracting/referenzen/referenz\\_kemptthal.-EKZSlot1-0012-File.File.FileRef.pdf/EKZ%20Kemptthal.pdf](http://www.ekz.ch/internet/ekz/de/geschaeftskunden/UI_GK/energiecontracting/referenzen/referenz_kemptthal.-EKZSlot1-0012-File.File.FileRef.pdf/EKZ%20Kemptthal.pdf) [Stand: 5. Januar 2009]

## 4.4 Siedlungen

### *Winterthur*

Der «Eulachhof» in Winterthur entspricht rechnerisch einer Null-Heizenergie-Siedlung. Dabei besteht der «Eulachhof» aus zwei fast identischen Gebäudekomplexen. Insgesamt werden 132 Wohnungen angeboten, von 1.5 bis 5.5 Zimmern. Die Investitionskosten beliefen sich auf rund 50 Mio. Franken.

Energetisch wird der «Eulachhof» vor allem mit Sonnenenergie und der Abwärme aus einer Kehrlichtverbrennungsanlage, in der auch die Abfälle aus der Überbauung verbrannt werden, versorgt. Die Eigenenergieversorgung beträgt ca. 63% (Solaragentur 2007). Das Stromnetz dient als Zwischenspeicher und zur Versorgung mit der benötigten restlichen Energie. Transparent gedämmte Aussenwände erwärmen die angrenzenden Wohnräume. Die Südfassaden sind zu grossen Teilen mit Fenstern ausgestattet, nordseitige Aussenwände sind in einer Holzkonstruktion gebaut. Allgemein wurde die Wohnsiedlung gegen Süden ausgerichtet, um möglichst hohe passive Solargewinne zu ermöglichen.

Die verwendete transparente Dämmung entspricht modernster Technologie. Die einzelnen Elemente enthalten Latentwärmespeicher<sup>10</sup>. Mittels einer Prismastruktur auf der Oberfläche wird dafür gesorgt, dass bei hohem Sonnenstand im Sommer ein grosser Teil der Solarstrahlung reflektiert wird und sich somit das Gebäude nicht so stark erwärmt. Im Winter, bei tiefem Sonnenstand, wird die Strahlung hingegen durchgelassen.

### «Der Eulachhof in Winterthur»



© ERNE AG Holzbau, Laufenburg

Figur 11: Blick auf den Eulachhof. Die Holzfassade verringert den Anteil an grauer Energie.

<sup>10</sup> Sie ermöglichen eine verzögerte Abgabe des Solargewinnes an den Raum.

Durch die gute Isolation benötigt der «Eulachhof» wenig Heizenergie. Diese stammt aus erneuerbaren Quellen. Insgesamt sind zwei Wärmepumpen installiert. Die eine nutzt die zentral gefasste Abluft als Wärmequelle und versorgt die Bodenheizung und die Lüftungsgeräte mit Heizwärme. Die andere Wärmepumpe bezieht ihre Wärme aus dem Abwassertank und heizt so das Warmwasser für Küche und Bad. Der benötigte Strom kommt grösstenteils von der Photovoltaikanlage auf dem Dach. Auch das Treppenhaus, die Lifte, die haustechnischen Hilfsbetriebe und die Tiefgarage beziehen ihren Strom von der hauseigenen Photovoltaikanlage.

Die Wärmepumpen decken 80 % des Wärmebedarfs, der Rest wird über einen Fernwärmehanschluss der Kehrlichtverbrennungsanlage geliefert.

Weitere Technische Daten finden sich in Tabelle 26 im Anhang.

## 5 Energieszenarien für künftige Neubauten in Abhängigkeit ihres energetischen Standards

### 5.1 Energiestandards

Für den Bau neuer Gebäude gibt es heute im Energiebereich unterschiedliche energetische Standards. Einige sind verpflichtend einzuhalten, andere werden empfohlen. Für den Vergleich der verschiedenen Energiestandards wird der Endenergiebedarf für Heizung (Raumwärme, RW) und für Warmwasser (WW) verwendet. Der Energiebedarf für elektrische Haushaltsgeräte und Haustechnik wird nicht betrachtet.

Die folgende Auflistung verschafft einen Überblick über die hier betrachteten Energiestandards.

#### ***SIA 380/1: 2009***

Die Norm SIA 380/1 ist in allen Kantonen die gesetzliche Grundlage für die Wärmebedarfsrechnung und legt die Grenzwerte für die Ermittlung des Heizwärmebedarfs fest. Mit der letzten Revision von SIA 380/1 im Jahr 2009 wurden die Energiekennzahlen<sup>11</sup> den Werten der MuKE von 2008 angepasst.

#### ***Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich 2008 (MuKE 2008)***

Die Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich wurden von der kantonalen Energiedirektorenkonferenz 2008 verabschiedet. Die MuKE verwenden die bisherige Norm SIA 380/1 als Berechnungsgrundlage, fordern aber um 20% verringerte Grenzwerte für den in Gebäuden zulässigen Wärmebedarf. Die MuKE 2008 sind eine harmonisierte Vorgabe für die Kantone und sollen zum einen den Energieverbrauch des schweizerischen Gebäudeparks verringern und andererseits eine Vereinheitlichung der Bau- und Energievorschriften in den verschiedenen Kantonen fördern. Die im Jahr 2008 erlassenen MuKE sollen von den Kantonen ab 2009 flächendeckend in die kantonale Gesetzgebung übernommen werden und gelten danach in den jeweiligen Kantonen als einzuhaltender Mindest-Standard.

#### ***Minergie (2008)***

Der Minergiestandard ist ein freiwilliger Qualitäts- und energetischer Baustandard. Nicht nur die Gebäudehülle, sondern das Gebäude als Ganzes wird betrachtet. Die Energie soll möglichst rationell eingesetzt werden. Erneuerbare Energien sollen breit genutzt werden, die Umweltbelastung soll gesenkt und eine Verbesserung der Lebensqualität erreicht werden. Der Minergiestandard erhebt den Anspruch auf eine gewissen Vorreiterrolle und ist deshalb nochmals strenger als die Vorschriften der MuKE.

---

<sup>11</sup> Die Energiekennzahl ist ein Mass für die energetische Qualität eines Gebäudes. Berechnet wird sie gemäss:  
Energiekennzahl = Energieverbrauch pro Jahr / Energiebezugsfläche in m<sup>2</sup>.

Der Minergie-Standard verlangt für Neubauten, dass die Gebäudehülle Primäranforderungen erfüllt. So muss die Gebäudehülle zwingend wärmedämmend und luftdicht sein. Zudem gilt:  $Q_h \leq 90 \% Q_{h,li}$  SIA 380/1:2009<sup>12</sup>.

Für die Berechnung der Grenzwerte verwendet der Minergiestandard nicht die Energiekennzahl gemäss SIA 380/1. Stattdessen wird mit der Berücksichtigung von Nutzungsgraden  $\eta$  und mit dem Gewichtungsfaktor  $g$ <sup>13</sup> der eingesetzten Energieträger die «gewichtete Energiekennzahl» berechnet. Auch der für Lüftung und Klimatisierung benötigte Elektrizitätsaufwand  $E_{LK}$  ist Bestandteil der gewichteten Energiekennzahl und wird auch mit dem Faktor «g» gewichtet:

$$\underbrace{Q_{h,eff} \cdot \frac{g}{\eta}}_{\substack{\text{gewichtete} \\ \text{Heizenergie}}} + \underbrace{Q_{ww} \cdot \frac{g}{\eta}}_{\substack{\text{gewichtete} \\ \text{Energie für} \\ \text{Warmwasser}}} + \underbrace{E_{LK} \cdot g}_{\substack{\text{gewichteter} \\ \text{Elektrizitäts-} \\ \text{aufwand}}} \leq \text{Minerriegrenzwert}$$

$Q_{h,eff}$ : Nutzwärmbedarf für Heizung, unter Berücksichtigung der effektiven Lüftungswärmeverluste  
 $Q_{ww}$ : Nutzwärmbedarf für Warmwasser

Eine weitere Möglichkeit, um zum Minergie-Label zu kommen besteht darin, ein Haus konsequent mit Minergie-Modulen zu realisieren. Minergie-Module sind zertifizierte, energetisch relevante Bauteile.

Ende 2008 gab es laut der Agentur Minergie rund 11'000 Gebäude mit einer Energiebezugsfläche von gut 11.4 Mio. m<sup>2</sup> in den verschiedenen Minergie-Standards.

### **Minergie-P / Passivhaus (2008)**

Minergie-P entspricht in etwa einer schweizerischen Version des Passivhaus-Standards<sup>14</sup>. Der Standard erfordert ein eigenständiges, am niedrigen Energieverbrauch orientiertes Gebäudekonzept. Das Gebäude soll dabei integral, das heisst von der Gebäudehülle über die Haustechnik bis zu der Lage der Sanitärräume beurteilt werden. Unbedingt eingehalten werden müssen der spezifische Wärmeleistungsbedarf, der Heizwärmebedarf, die gewichtete Energiekennzahl, die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle und es dürfen nur Haushaltgeräte der Klasse A oder besser verwendet werden. Damit die vom Standard vorgeschriebene Energiekennzahl erreichbar ist, ist insbesondere beim Mehrfamilienhaus der Einsatz erneuerbarer Energien unverzichtbar.

Bis Ende 2008 gab es in der Schweiz 275 Minergie-P-Gebäude mit einer kumulierten Energiebezugsfläche von rund 220'000 m<sup>2</sup>. Zum Vergleich: In Österreich rechnet man damit, dass ab 2010 mindestens jedes vierte Gebäude im Passivhausstandard errichtet

<sup>12</sup>  $Q_h$ : Heizwärmebedarf;  $Q_{h,li}$ : Grenzwert für den Heizwärmebedarf

<sup>13</sup> Beispielsweise ist  $g$  für Elektrizität 2 und für Geothermie 0

<sup>14</sup> Die Definition eines Passivhauses lautet wie folgt: «Ein Passivhaus ist ein Gebäude, in welchem die thermische Behaglichkeit allein durch Nachheizen oder Nachkühlen des Frischluftvolumenstroms, der für ausreichende Luftqualität erforderlich ist, gewährleistet werden kann - ohne dazu zusätzlich Umluft zu verwenden.» [<http://www.1a-passivhaus.de/>; Stand: 27.10.2008]



wird (Lang 2004). So hat beispielsweise das Land Vorarlberg gesetzlich verankert, dass Gebäude des öffentlichen Bereiches im Passivhausstandard gebaut werden müssen.

### **Nullheizenergie**

Ein Nullheizenergiegebäude produziert im Jahresdurchschnitt ebensoviel Energie für Raumwärme und Warmwasser, wie es verbraucht. Die Energieproduktion wird meist mit Photovoltaik-Anlagen vorgenommen. Da am Tag und im Sommer mit den installierten Photovoltaikanlagen mehr Elektrizität produziert werden kann, als benötigt, wird das Stromnetz gewissermassen als Speicher verwendet – in der Nacht und im Winter, bzw. bei zu geringer Eigenproduktion, wird der Strom wieder aus dem Netz bezogen. Um die Investition in die Energieerzeugung gering zu halten, wird der Energieverbrauch in Nullheizenergiegebäuden möglichst klein gehalten und meist Wärmedämmungen für die Gebäudehülle verwendet, welche dem Passivhausstandard resp. Minergie-P entsprechen.

Für die vorgenommenen Berechnungen wird davon ausgegangen, dass ein Nullheizenergiegebäude ein Minergie-P-Gebäude ist, welches mit soviel gebäudegebundener Photovoltaik-Fläche ausgestattet ist, dass es die gleiche Menge an Energie (RW + WW) produziert, wie es im Jahresdurchschnitt verbraucht. Wie bei den anderen Energiestandards auch, wird bei den nachfolgenden Berechnungen der Energieverbrauch für die Haushaltsgeräte nicht berücksichtigt.

### **Plusenergie (RW + WW)**

Plusenergiegebäude erzeugen im Jahresdurchschnitt mehr Energie, als sie verbrauchen. Wie auch bei den anderen Energiestandards wird hier der Energiebedarf für Raumwärme und Warmwasser berücksichtigt. Analog der Nullheizenergiegebäude wird als Basis ein sehr gut wärmebedämmtes Gebäude genommen, welches meist mit einer Photovoltaik-Anlage zur Stromerzeugung ausgestattet wird. Ein erster Prototyp wurde bereits 1994 errichtet und ab dem Jahr 2000 wurde eine Siedlung mit 59 Plusenergiehäusern in Freiburg im Breisgau errichtet. In der Schweiz wurde im Jahr 2001 das erste Plusenergiegebäude errichtet.

In der vorliegenden Studie wird davon ausgegangen, dass Plusenergiegebäude Minergie-P-Gebäude sind, deren gesamte für die solare Energienutzung geeignete Dachfläche (Kapitel 5.2.1) mit PV-Modulen für die solare Stromgewinnung belegt wird. Wie bei den anderen Energiestandards auch, wird bei den nachfolgenden Berechnungen der Energieverbrauch für die Haushaltsgeräte nicht berücksichtigt.

### **Vergleich der Energiekennzahlen der verschiedenen Energiestandards**

Ein Vergleich der verschiedenen energetischen Standards ist schwierig. Zwar gehen alle Standards von den gleichen Gebäudekategorien aus, doch unterscheiden die Norm SIA 380/1 und die MuKE innerhalb der Gebäudekategorien noch weiter nach Heizungssystem und dem Verhältnis von Aussenhülle zur Energiebezugsfläche. So ergeben sich

innerhalb der Gebäudekategorien für diese beiden Standards unterschiedliche energetische Grenzwerte, welche für die Nutzenergie im Gebäude gelten. Bei Minergie und Minergie-P gilt hingegen pro Gebäudekategorie nur ein Energiegrenzwert – die mit verwendetem Energieträger gewichtete Energiekennzahl.

Die nachstehende Tabelle führt auf, welche Energiekennzahlen je Baustandard für die verschiedenen Gebäudekategorien in den Berechnungen verwendet wurden.

	A/EBF	Maximaler Wärmebedarf für Raumwärme und Warmwasser [kWh/m <sup>2</sup> EBF a]				
		MuKE <sub>n</sub>	Minergie	Minergie-P	Nullheizenergie	Plusenergie (RW + WW)
Wohnen MFH	1,3	48	38	30	0	-22 <sup>*)</sup>
Wohnen EFH	2,0	54	38	30	0	-20 <sup>*)</sup>
Dienstleistungsgebäude	1,0	50	40	25	0	-5 <sup>*)</sup>

<sup>\*)</sup> Werte für das Jahr 2010; Anstieg in den Modellierungen bis 2030 um Faktor 1,7 (MFH und EFH) und 1,9 (DL)

Tabelle 3: Vergleich der Energiekennzahlen der Baustandards für die betrachteten Gebäudetypen (Gebäudehüllzahlen). Wärmebedarf für RW und WW der Nullheizenergiegebäude per Definition = Null. Energieproduktion der Plusenergiegebäude: Werte für 2010 gemäss Ergebnissen der vorgenommenen Modellierungen.

Die Werte für den MuKE<sub>n</sub>-Standard in der voranstehenden Tabelle betragen 80% des Nutzenergiebedarfs gemäss Norm SIA 380/1: 2009, wie dies in den MuKE<sub>n</sub> 2008 gefordert wird. Der MuKE<sub>n</sub>-Wert für Dienstleistungsgebäude von jährlich 50 kWh/m<sup>2</sup> EBF orientiert sich an der SIA-Norm (Beispielwerte im Anhang F der Norm) und den prozentualen Anteilen der verschiedenen Dienstleistungsgebäude-Typen gemäss dem hier verwendeten Modell (Kapitel 3.4).

Der maximale Wärmebedarf (RW + WW) in den Nullheizenergiegebäuden wird hier per Definition gleich Null gesetzt.

Die Überproduktion der Plusenergie-Gebäude (RW + WW) in der Tabelle erfolgt durch die modellierten Solarstrom-Anlagen auf den Plusenergie-Gebäuden. Diese Überproduktion steigt im Verlauf der Jahre an; in der Tabelle dargestellt sind die Werte für das Jahr 2010.

## 5.2 Wärme- und Stromerzeugung im Gebäude

Für den Vergleich des Energiebedarfs, der Kosten und der Treibhausgasemissionen der verschiedenen Baustandards werden gleiche Wärme- und Stromerzeugungsarten für alle Baustandards zugrunde gelegt:

- für die Wärmeerzeugung für Raumwärme und Warmwasser werden Wärmepumpen eingesetzt (Kapitel 5.2.3 f.)
- für die Stromerzeugung (in den Nullheizenergie- und Plusenergiegebäuden) werden PV-Module verwendet (Kapitel 5.2.1 f.).

Die Fokussierung auf Wärmepumpen wird wegen folgenden Überlegungen vorgenommen:

- Im Jahr 2008 wurden in rund 60% der Neubauten in der Schweiz Wärmepumpen für die Bereitstellung der Raumwärme und die Warmwassererzeugung eingesetzt (CS 2009). Es wird hier davon ausgegangen, dass dieser hohe Anteil in Zukunft noch eher steigen wird, sodass sich eine ausschliessliche Betrachtung von Wärmepumpen in der Haustechnik anbietet.
- Mit der vorliegenden Studie werden Baustandards und ihre Auswirkungen in verschiedenen Szenarien verglichen. Auf eine weitere Differenzierung in verschiedene Haustechniken soll verzichtet werden, um interpretierbare Ergebnisse zu erhalten.

### 5.2.1 Photovoltaik: Basisdaten im Jahr 2010

#### *Allgemeines*

Die Gewinnung von Strom aus Sonnenenergie hat ein enormes Potenzial. Auf den geeigneten Flächen bei bestehenden Gebäuden liesse sich ungefähr ein Fünftel des schweizerischen Elektrizitätsverbrauches erzeugen (Nowak 2005). Die dafür notwendigen Flächen sind vorhanden (z.B. Hausdächer), es müssen keine neuen Gebiete überbaut werden.

In der Schweiz waren Ende 2007 Photovoltaikanlagen mit einer Gesamtleistung von rund 32.6 MW<sub>p</sub> installiert. Das durchschnittliche Wachstum betrug bis Ende 2005 rund 2 MW<sub>p</sub>/a. Seither wächst die installierte Leistung schneller. Mit der «Kostendeckenden Einspeisevergütung» (KEV) und den Solarstrombörsen wird eine zusätzliche Dynamik ausgelöst, wenn auch bei der KEV begrenzt durch die Deckelung der zur Verfügung stehenden Mittel für die Photovoltaik. Der Zuwachs installierter PV-Module im Jahr 2007 betrug ca. 6.5 MW<sub>p</sub>. Insgesamt lieferten die Photovoltaikanlagen 2007 ungefähr 25'700 MWh Strom.

### **Wirkungsgrad und Ertrag**

Je nach eingesetzter Technologie in den marktüblichen PV-Modulen (mono-, multikristallin, amorph, Dünnschicht) resultieren Modul-Wirkungsgrade zwischen 5 und 22%.

Für die durchschnittliche Stromproduktion auf Gebäudedächern kann mit den heutigen Technologien für die Schweiz von jährlichen Erträgen um 120 kWh pro Quadratmeter PV-Modul (Apertur) ausgegangen werden (Solar Agentur 2007/2008; Schweizer Solarstromstatistik 2007). Der durchschnittliche Wirkungsgrad der im Jahr 2008 installierten PV-Module liegt bei rund 12% (ewz 2009). Eine Wirkungsgradabnahme infolge von Modul-Degradation wird in den Berechnungen nicht berücksichtigt.

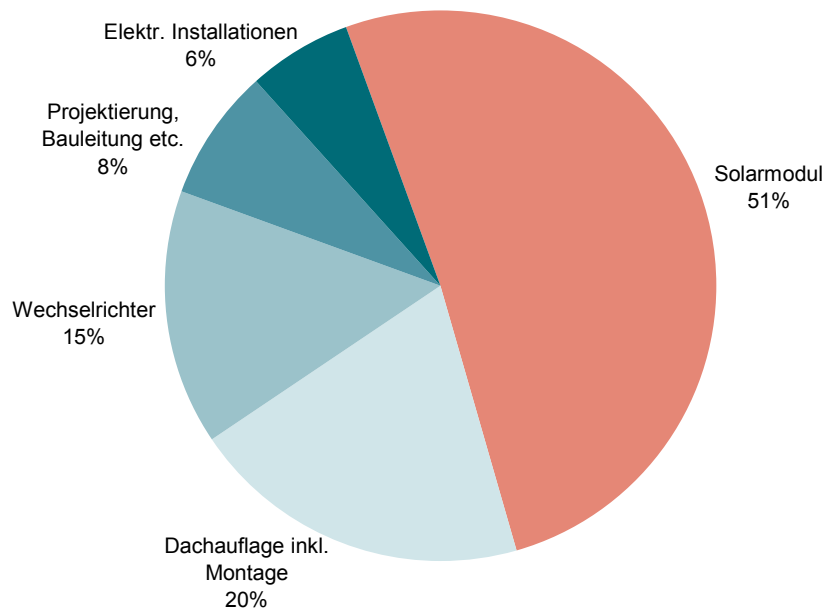
Aktuelle Angebote ausländischer Unternehmen aus dem Jahr 2009 für den Schweizer Markt geben Hinweise darauf, dass die Wirkungsgrade der in der Schweiz neu installierten PV-Module in nächster Zeit stark steigen könnten: so wurden für Grossanlagen (> 4'000 m<sup>2</sup>) Module mit 19% Wirkungsgrad (monokristalline Zellen) angeboten – zu Installationskosten, welche niedriger sind als die bisher üblichen für Module mit 12% Wirkungsgrad (Solar Agentur 2009). Dies würde zu einer Steigerung der durchschnittlichen Stromproduktion auf Schweizer Dächern pro m<sup>2</sup> PV von rund 120 kWh auf rund 190 kWh führen.

### **Kosten**

Typische Installationskosten pro m<sup>2</sup> PV für gebäudegebundene Anlagen im Jahr 2009 betragen 1'080 Fr./m<sup>2</sup> PV (SwissSolar/BFE 2007 [S. 6: geringste Kosten]; Nova Energy 2009). Diese Kosten beinhalten neben den Modulkosten alle weiteren Kosten gemäss Figur 12 für eine betriebsfertige PV-Anlage. Die Kosten für PV-Anlagen sind im Jahr 2009 teilweise stark gesunken. Dies gilt insbesondere für Grossanlagen (> 4'000 m<sup>2</sup> PV), welche von ausländischen Installateuren in der Schweiz im Jahr 2009 offeriert oder installiert wurden. Hier war eine Senkung der Investitionskosten von bis zu 50% auf rund 500 Fr./m<sup>2</sup> PV möglich für Modulwirkungsgrade von rund 12% (Gross-Anlagen mit Wirkungsgraden von 19% wurden für rund 800 Fr./m<sup>2</sup> PV angeboten; Solar Agentur 2009).

Bei einer typischen Dachanlage, die an das Stromnetz gekoppelt ist, machen die Kosten für das Photovoltaikmodul rund 50% der Gesamtkosten aus. Die restlichen Kosten werden als Systemeinkaufskosten («balance of system»-Kosten, BOS) bezeichnet. Bei der Integration von PV-Anlagen in Neubaudächer liegen die Modulkosten bei bis zu 70 % der Gesamtkosten, da Installationskosten eingespart werden können (Hirschberg 2005).

### «Kostenstruktur typischer PV-Dachanlagen»



econcept

Figur 12: Aufteilung der Kosten einer typischen PV-Dachanlage. Etwa die Hälfte der Kosten entstehen durch das Solarmodul. (Hirschberg 2005).

Neben den Installationskosten fallen Unterhaltskosten an. Die Unterhaltskosten variieren gemäss BFE (2008) je nach Anlagengrösse und Eigentümer und bestehen meist aus Anschaffungskosten für Ersatzgeräte (v.a. Austausch der Wechselrichter), Kosten für Überwachung, Service- und Kontrollgängen, periodischen Gebühren (Zählermiete, Anschlusskosten) und Verwaltungs- und Versicherungsausgaben. Besonders bei PV-Anlagen auf EFH ist es möglich, dass Teile der Unterhaltskosten wegfallen, da die PV-Anlagen von den Eigentümern in ihrer Freizeit gewartet und verwaltet werden. In den Modellierungen wird vereinfachend davon ausgegangen, dass bei allen Anlagenarten Unterhaltskosten von 8 Fr./( $m^2_{PV} a$ ) anfallen (BFE 2008).

#### **Für die solare Energienutzung geeignete Dachflächen**

In der vorliegenden Studie wird nur die Nutzung der Solarenergie an Gebäuden betrachtet. Weiter wird auf die Dachflächen der Gebäude fokussiert; die Installation von Sonnenkollektoren oder Photovoltaik-Modulen an Fassaden wird wegen der Reduktion der Erträge und der daraus resultierenden geringeren Wirtschaftlichkeit hier nicht betrachtet. Bei der Erstellung von PV-Anlagen an Fassadenflächen muss mit um rund  $\frac{1}{4}$  höheren Kosten gerechnet werden. In der Regel sind rund  $\frac{1}{3}$  der Fassadenflächen eines Gebäudes für PV-Anwendungen geeignet.

Um die pro  $m^2$  EBF geeignete Dachfläche in den Gebäudetypen MFH, EFH und Verwaltung zu ermitteln wird die durchschnittliche Dachfläche pro  $m^2$  EBF und Gebäudetyp anhand gesamtschweizerischer Zahlen abgeschätzt (BFE 2004).

Für die solare Energienutzung geeignete Dachflächen werden anhand einer Arbeit zum Dachflächenpotenzial in der Stadt Zürich abgeleitet (Gutschner & Nowak 1998a). Der Anteil geeigneter Dachflächen in der Stadt Zürich beläuft sich dort auf 35%.<sup>15</sup> Für die vorliegenden Berechnungen von Neubauten gehen wir für Steildächer von einem Anteil von 40% aus, welcher für PV-Anlagen geeignet ist. Dieser höhere Anteil wird hier verwendet, da davon ausgegangen werden kann, dass Neubauten bezüglich ihrer Ausrichtung (Himmelsrichtung des Dachfirst) und Dachaufbauten (Gauben/Schornsteine) für die solare Energienutzung optimiert werden können. Für die in der BFE-Studie (BFE 2004) aufgeführten Flachdächer wird hier davon ausgegangen, dass sich wegen Dacheignung und Verschattungsabständen zwischen den Modulreihen die Modulflächen auf 41% der Fläche der Flachdächer belaufen.

Prinzipiell für die Nutzung der Solarenergie geeignete Dachflächen pro untersuchtem Gebäudetyp ergeben sich so wie folgt:

Gebäudetyp	Für Nutzung der Solarenergie geeignete Dachfläche
MFH	0.271 m <sup>2</sup> Dach / m <sup>2</sup> EBF
EFH	0.250 m <sup>2</sup> Dach / m <sup>2</sup> EBF
Dienstleistungsgebäude	0.105 m <sup>2</sup> Dach / m <sup>2</sup> EBF

Tabelle 4: Für eine solare Nutzung geeignete Dachfläche pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche nach Gebäudetypen.

## 5.2.2 Photovoltaik: zeitliche Entwicklungen

### **Abnahme der Investitionskosten für die Installation von PV-Modulen**

Bei der Abschätzung der Kostendegression für die Installationskosten von PV-Modulen wird von der Kostenstruktur gemäss Figur 12 ausgegangen. Der zeitlichen Entwicklung wird zugrunde gelegt, dass sich die heute vergleichsweise hohen Investitionskosten für PV-Anlagen in der Schweiz den Kosten in den Nachbarländern zwischen 2010 und 2015 rasch angleichen und danach einer generellen, langsameren Kostenabnahme folgen. Die zeitliche Entwicklung der Investitionskosten wird wie folgt modelliert:

- Zwischen 2010 und 2015 erfolgt eine Anpassung der Kosten von 1080 Fr./m<sup>2</sup> PV im Jahr 2010 (siehe Kapitel 5.2.1) auf das heutige Niveau der Nachbarländer, welches bei rund 780 Fr./m<sup>2</sup> PV liegt<sup>16</sup>.
- Nach 2015 sinken die Modulkosten um -8% jährlich<sup>17</sup> und die sonstigen Kosten (siehe Figur 12) durch Lern- und Skaleneffekte bei der Installation um -2%.

<sup>15</sup> Darin enthalten sind die Dachflächen mit 80% und mit 90% des maximalen Ertrags (Einteilung siehe Gutschner & Nowak 1998a)

<sup>16</sup> Die Kosten von 780 Fr./m<sup>2</sup> PV sind ein Durchschnittswert aus Deutschland für das Jahr 2009 und abgeleitet von den derzeitigen Kosten pro installiertes Watt<sub>Peak</sub> von 6 bis 7 Franken. Der Abschätzung zugrunde gelegt sind 12% Modulwirkungsgrad und 1'000 W/m<sup>2</sup> maximale Einstrahlung. Da der deutsche PV-Markt der grösste in Europa ist, bestimmt dieser die Preise in Europa (Nova Energie 2009).

<sup>17</sup> Die Abnahme von -8% p.a. entspricht der durchschnittlichen Kostendegression der vergangenen Jahre in Deutschland (Nova Energie 2009). Wichtige Grössen, welche diese Absenkung hervorrufen, sind einerseits die Absenkung der Förde-

Die zeitliche Entwicklung der Investitionskosten ergibt sich damit wie folgt:

	2010	2015	2020	2025	2030
Investitionskosten PV relativ	100%	72%	56%	45%	37%
Investitionskosten PV absolut (Fr./m <sup>2</sup> PV)	1'080	780	608	485	396

Tabelle 5: Zeitliche Entwicklung der Installationskosten für betriebsfertige Photovoltaik-Dachanlagen in den Jahren 2010 bis 2030 relativ zu den Kosten im Jahr 2010 und absolut in Fr./m<sup>2</sup> PV.

### **Einspeisevergütung für PV-Strom**

Die Berechnungen der Einspeisevergütung von PV-Strom werden für die Jahre 2010 bis 2020 gemäss der Verordnung zur Kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) durchgeführt. Es wird die Anlagenkategorie «Angebaut» gemäss Stromversorgungsverordnung verwendet und angenommen, dass die auf den verschiedenen Gebäudetypen installierten PV-Anlagen in den Bereichen ≤10 kW für EFH, ≤30 kW für MFH und ≤30 kW für DL-Gebäude liegen. Die Deckelung der KEV bei der PV-Förderung wird hier nicht berücksichtigt, da angenommen wird, dass nach Ausschöpfung der KEV-Förderung der produzierte PV-Strom zu gleich hohen Vergütungen auf Solarstrombörsen verkauft wird.

Weiter wird angenommen, dass in den Jahren 2025 bis 2030 aus politischen Gründen keine KEV-Förderung mehr existiert und der eingespeiste Solarstrom nunmehr nur noch zum gewöhnlichen Marktpreisen für eingespeisten Strom vergütet wird. Allerdings wird nicht der gesamte PV-Strom eingespeist: für die Berechnungen wird davon ausgegangen, dass der Eigenbedarf der Gebäude zu 2/3 mit selbst produziertem Strom gedeckt wird (falls Produktion und Bedarf im Gebäude sich zeitlich überschneiden) und der restliche produzierte PV-Strom eingespeist wird. Der Eigenverbrauch führt zu Kosteneinsparungen pro verbrauchter kWh in der Höhe des Marktpreises des jeweiligen Jahres. Die Einspeisung erfolgt zum Marktpreis des jeweiligen Jahres minus 30%.

Mit diesen Annahmen ergibt sich eine Einspeisevergütung für Solarstrom gemäss nachfolgender Tabelle.

	2010	2015	2020	2025	2030
MFH (12 kW)	0.74	0.48	0.32	0.20	0.23
EFH (6 kW)	0.75	0.49	0.33	0.20	0.23
DL (20 kW)	0.70	0.46	0.30	0.20	0.23

Tabelle 6: Einspeisevergütungen für Solarstrom. In Klammern die für die Modellierung verwendeten durchschnittlichen Anlagengrössen auf den Gebäudedächern.

### **Wirkungsgradverbesserung und resultierende Ertragssteigerung**

Um die Entwicklung der Photovoltaik-Technologie zu berücksichtigen, wird von einer schrittweisen Verbesserung des Wirkungsgrads der installierten PV-Module ausgegangen. Für die nachfolgenden Berechnungen wird die Annahme getroffen, dass der Wirkungsgrad durchschnittlicher PV-Anlagen in der Schweiz von 12% im Jahr 2010 (Kapitel 5.2.1) bis ins Jahr 2030 auf 18% steigt (SATW 2007). Zur Prüfung der Sensitivität der Ergebnisse auf Kosten und Wirkungsgrad von PV-Anlagen wird

Dementsprechend ändert sich der Ertrag. Für die Modellierung wird davon ausgegangen, dass der schweizweit durchschnittliche Ertrag im Jahr 2010 von 120 kWh/m<sup>2</sup><sub>PV</sub> (Kapitel 5.2.1) in Folge der Wirkungsgraderhöhung auf 180 kWh/(m<sup>2</sup><sub>PV</sub> a) im Jahr 2030 linear ansteigt (Tabelle 7).

	2010	2015	2020	2025	2030
Wirkungsgrad	12%	13.5%	15.0%	16.5%	18%
Ertrag [kWh/(m <sup>2</sup> <sub>PV</sub> a)]	120	135	150	165	180

Tabelle 7: Prognosen der Wirkungsgradsteigerung von PV-Modulen und der Solarstromerträge in kWh pro m<sup>2</sup> PV und Jahr (Herleitung siehe Text).

### **5.2.3 Wärmepumpen: Basisdaten im Jahr 2010**

Die Installations- und Unterhaltskosten von Wärmepumpen werden in Annuitäten umgerechnet, welche den Kosten für den während des Betriebs der Wärmepumpen verbrauchten Strom hinzugerechnet werden.

Die Kapitalkosten für eine Wärmepumpe betragen 0,04 Fr. pro von der Wärmepumpe verbrauchte kWh Strom (BFE 2005).<sup>18</sup>

Im Jahr 2010 betragen die Jahresarbeitszahlen (JAZ) in Minergie- und Minergie-P-Gebäuden für die Warmwassererzeugung 2,5 und für die Raumwärme 4 (Werte circa wie ARGE SAR 2008). Für Gebäude im MuKEN-Baustandard wird bei den JAZ 0,3 respektive 0,5 für Warmwasser resp. Raumwärme abgezogen, um der schlechteren Wärmepumpenoptimierung durch höhere Vorlauftemperaturen Rechnung zu tragen.

### **5.2.4 Wärmepumpen: zeitliche Entwicklungen**

Für die Modellierung bis 2030 werden Entwicklungen der JAZ für Warmwasser (WW) und Raumwärme (RW) gemäss Tabelle 8 vorausgesetzt. Auch hier sind die JAZ-Werte für MuKEN-Gebäude jeweils 0,3 (WW) und 0,5 (RW) niedriger.

<sup>18</sup> Berechnungsgrundlage Kapitalkosten: 1200 Fr./kW<sub>th</sub>; Betriebsdauer 2000 h/a; 3,5% Zins; 20 a Lebensdauer



	2010	2015	2020	2025	2030
JAZ Warmwasser	2.5	2.6	2.7	2.8	2.8
JAZ Raumwärme	4	4.2	4.4	4.6	4.8

Tabelle 8: Entwicklung der Jahresarbeitszahlen (JAZ) für die Warmwassererzeugung und die Raumwärme zwischen 2010 und 2030. JAZ für Minergie- und Minergie-P-Gebäude.

### 5.3 Verbrauchsszenarien für Neubauflächen in Abhängigkeit vom energetischen Standard

Um Aussagen über den Energieverbrauch der Neubauflächen für Raumwärme und Warmwasser treffen zu können, wird der Energieverbrauch der neugebauten Energiebezugsflächen abhängig vom jeweiligen Energiestandard dieser neuerstellten Flächen in 5-Jahres Schritten berechnet. In einem weiteren Schritt lassen sich Abschätzungen zu den Treibhausgasemissionen dieser Neubauflächen treffen. Wohngebäude und Dienstleistungsgebäude werden getrennt modelliert.

Die Ergebnisse werden jeweils für zwei verschiedene Bauszenarien dargestellt: dem Basis- und dem Technologieszenario. **Die Szenarien unterscheiden sich nur in den Anteilen der Energiestandards an den Neubauflächen** (gemäss Figur 13). Bei beiden Szenarien wird angenommen, dass ab 2010 alle Neubauten mindestens gemäss den Vorgaben von MuKE 2008 erstellt werden. Die Szenarien werden wie folgt definiert:

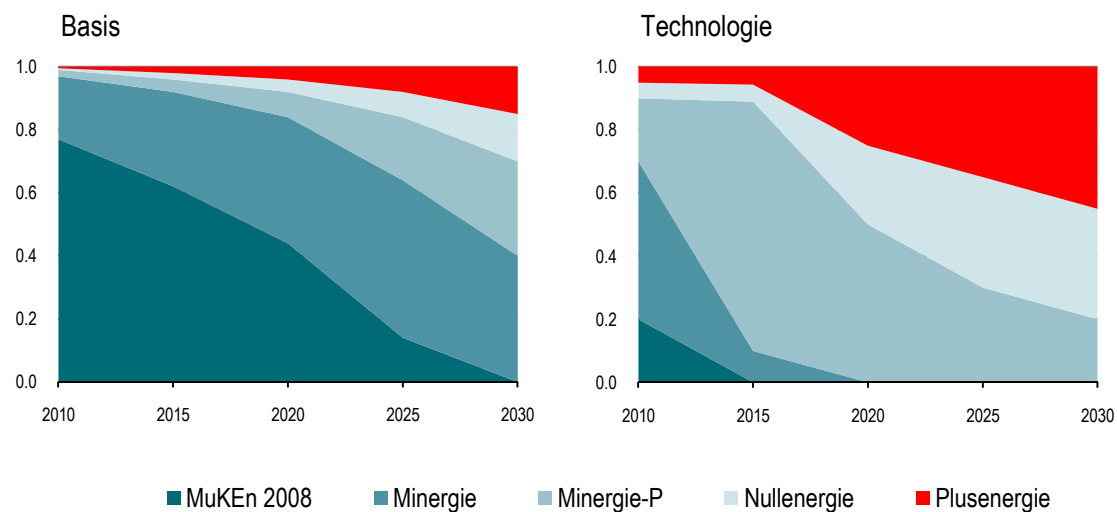
#### **Szenario 1: «Basisszenario»**

Im Basisszenario gehen wir von einer langsamen aber konstanten Änderung der Bauweise ab 2010 in Richtung geringerem Energieverbrauch aus. So werden alle neuen Gebäude ab 2030 mindestens entsprechend dem heutigen Minergiestandard gebaut. Der Anteil der Nullheizenergie- und Plusenergiehäuser wächst konstant und erreicht bis 2030 einen Anteil von je 15 % an den dann neugebauten Flächen (Tabelle 27, Figur 13).

#### **Szenario 2: «Technologieszenario»**

Im Technologieszenario wird von einer grossen Veränderung in den Baugewohnheiten innerhalb der nächsten Jahre ausgegangen. Die Stärke dieser Veränderung kann realistischweise nur durch entsprechende politische Vorgaben erreicht werden, wie sie beispielsweise in Vorarlberg gemacht werden. Ab 2015 werden im Technologieszenario keine Bauten mehr gemäss MuKE 2008 erstellt; alle Bauten erreichen mindestens den Minergie- bzw. den Minergie-P-Standard. Ab 2010 werden 30% der Bauten mindestens im Minergie-P-Standard ausgeführt, ab 2015 deren 90%. Nach 2020 erreichen sogar alle Neubauten mindestens den Minergie-P-Standard und bis 2030 steigt der Anteil der Plusenergiebauten auf 45 %, derjenige der Nullheizenergiebauten auf 35 % (Tabelle 28, Figur 13).

«Szenarien: Entwicklung der Anteile der Energiestandards bis 2030»



econcept

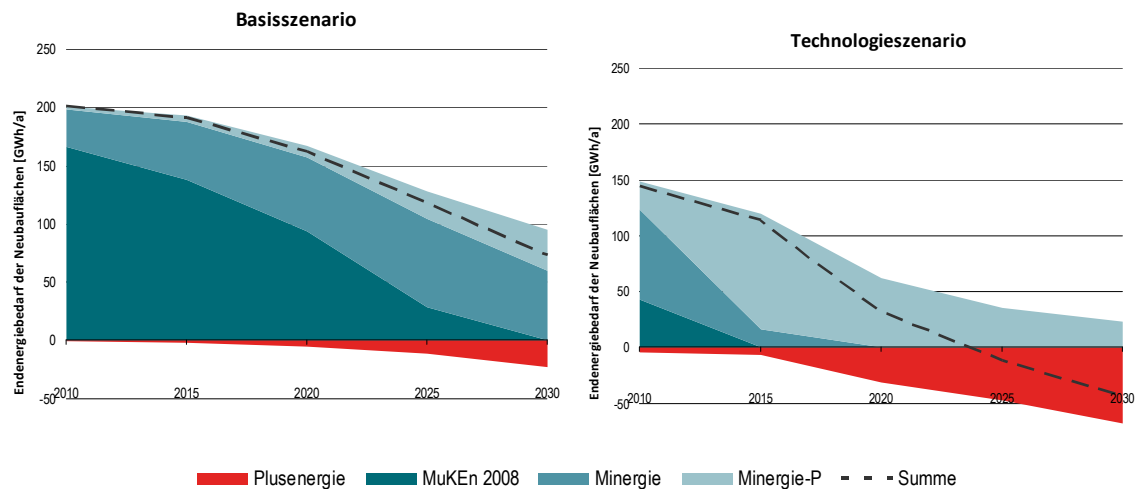
Figur 13: Entwicklung der Anteile der verschiedenen Energiestandards am Bauvolumen für die zwei Szenarien von 2010 bis 2030.

Figur 13 zeigt, dass schon mit den Annahmen des Basisszenarios eine klare Verschiebung in Richtung energieeffiziente Gebäude einher geht. Mit dem Technologieszenario wird eine noch deutlichere Verschiebung postuliert.

### 5.3.1 Verbrauchsszenarien bei neu erstellten Wohnbauten

Der Energieverbrauch der Neubauflächen hängt von den verwendeten Energiestandards und vom Umfang neugebauter Energiebezugsflächen ab (EKZ siehe Kapitel 5.1). Figur 14 zeigt den Energiebedarf (für RW + WW) der von 2010 bis 2030 jährlich neu gebauten Wohnflächen.

## «Szenarien: Entwicklung des Energiebedarfs für Neubauflächen im Wohnbereich von 2010 bis 2030»



econcept

Figur 14: Entwicklung des Energiebedarfs (RW + WW) pro m<sup>2</sup> EBF für Neubauflächen im Wohnbereich von 2010 bis 2030 für die beiden Szenarien. Der summierte Energiebedarf pro m<sup>2</sup> EBF und Jahr aller Baustandards ist mit der gestrichelten Linie dargestellt. Im Technologieszenario werden ab 2024 die Neubauten zu Energieproduzenten.

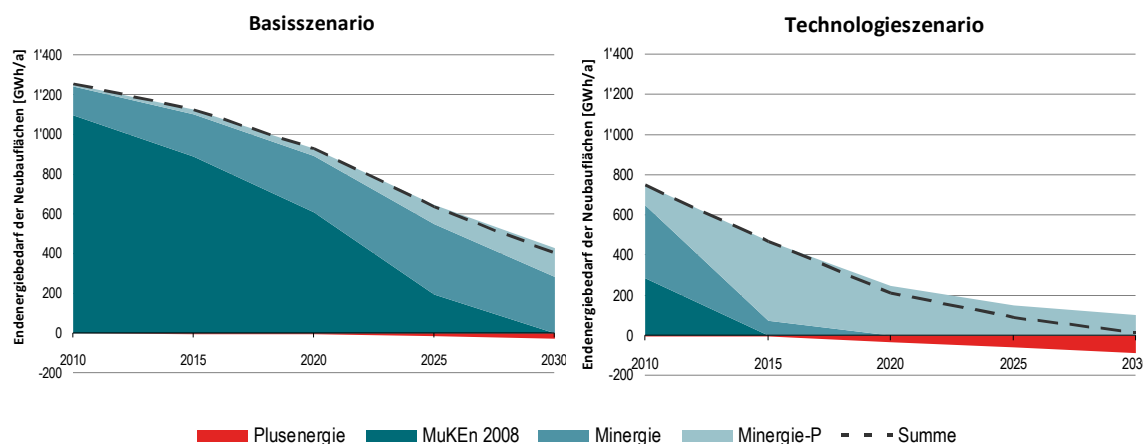
Bereits beim Basisszenario nimmt die totale Energienachfrage der jährlich neu gebauten Flächen zukünftig stark ab (gestrichelte Linie). Im Jahr 2030 beträgt der zusätzliche Energieverbrauch der dann neu erstellten Flächen weniger als die Hälfte des Zusatzverbrauchs für die 2010 erstellten Flächen (73 GWh/a 2030 gegenüber 200 GWh/a 2010).

Noch stärker ist die Abnahme im Technologieszenario: Durch die markant andere Verteilung der Anteile der einzelnen Energiestandards braucht die Neubaufläche bereits 2010 rund 50 GWh/a weniger als das Basisszenario. Bereits 2024 kompensieren die dann neugebauten Plusenergiegebäude (RW + WW) mit ihrer Energieproduktion die Energienachfrage der restlichen neuerstellten Wohngebäude in diesem Jahr. Die Nettoenergieproduktion ab 2024 steigert sich bis zum Jahr 2030 auf rund 50 GWh durch die im Jahr 2030 erstellten Neubauten.

### 5.3.2 Verbrauchsszenarien bei neu erstellten Wirtschaftsbauten

Auch bei den Wirtschaftsbauten ist der Energieverbrauch der Neubauflächen (für RW + WW) von den verwendeten Energiestandards und vom Umfang neugebauter Energiebezugsflächen abhängig (EKZ siehe Kapitel 5.1).

### «Szenarien: Entwicklung des Energieverbrauchs für Neubauflächen im Dienstleistungssektor von 2010 bis 2030»



econcept

Figur 15: Entwicklung des Energiebedarfs (RW + WW) pro m<sup>2</sup> EBF für Neubauflächen im Dienstleistungssektor von 2010 bis 2030 für die beiden Szenarien. Der summierte Energiebedarf pro m<sup>2</sup> EBF und Jahr aller Baustandards ist mit der gestrichelten Linie dargestellt. Im Technologieszenario werden ab 2030 die Neubauten zu Energieproduzenten.

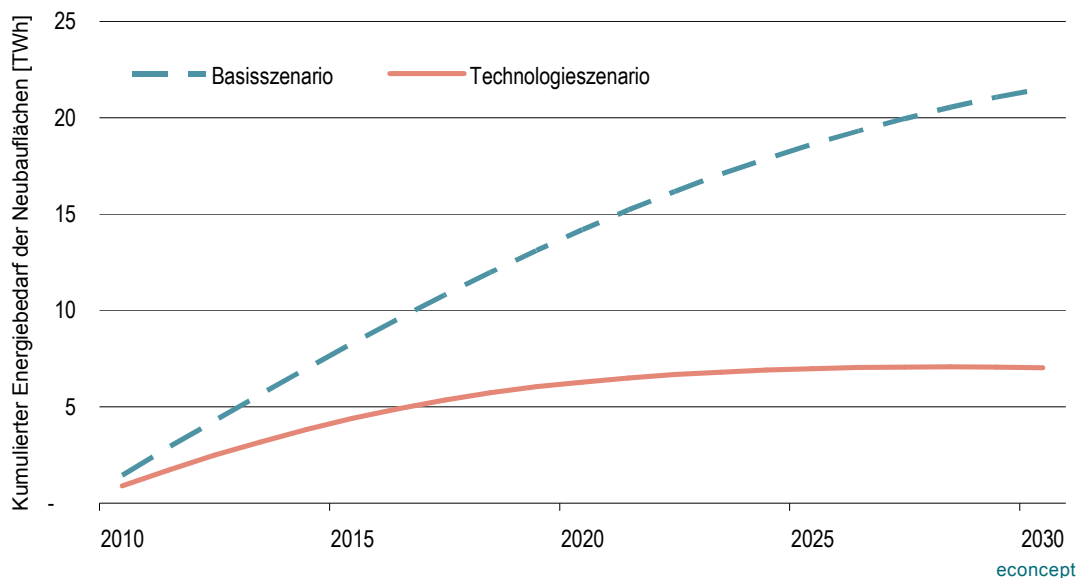
Das Basisszenario in Figur 15 zeigt, dass der Energieverbrauch der jährlichen Neubaufläche im Dienstleistungs-Bereich in Zukunft stark abnehmen wird (gestrichelte Linie). 2030 beträgt der Zusatzverbrauch der neu erstellten Flächen (400 GWh/a) rund ein Drittel des Verbrauches der 2010 zusätzlich erstellten Flächen (1'200 GWh/a). Auch im Jahr 2030 führt die Stromproduktion der Plusenergie-Dienstleistungsgebäude (RW + WW) nicht zu einer Nettostromproduktion für die gesamten Dienstleistungs-Neubauten.

Durch die markant andere Verteilung der Anteile der einzelnen Energiestandards braucht die Neubaufläche im Technologieszenario im Jahr 2010 gut 40 % weniger Energie als das Basisszenario. Bis 2030 sinkt die Energienachfrage der neuerstellten Dienstleistungsgebäude auf 0 GWh/a.

#### 5.3.3 Total: Wohnbauten und Wirtschaftsbauten

Betrachtet man den kumulierten Energieverbrauch der Neubauflächen von 2010 bis 2030 für Wohn- und Wirtschaftsbauten gemeinsam (Figur 16, für RW + WW), so zeigen sich aufs Neue grosse Unterschiede zwischen den Szenarien. Bis 2030 macht der Unterschied des von 2010 bis 2030 kumulierten Energieverbrauchs zwischen dem Technologieszenario und dem Basisszenario rund 15 TWh/a aus.

### «Szenarien: Kumulierter Energieverbrauch der Neubauf Flächen in Wohn- und Wirtschaftsbauten von 2010 bis 2030»



Figur 16: Der kumulierte Energieverbrauch der Neubauf Flächen (RW + WW) für das Technologieszenario bewegt sich bereits in den ersten Jahren auf einem markant tieferen Niveau als derjenige des Basisszenarios.

Der kumulierte Energieverbrauch (RW + WW) der Neubauten im Technologieszenario erreicht kurz vor 2030 sein Maximum, d.h. im Technologieszenario beginnt der kumulierte Energieverbrauch des seit 2010 erstellten Schweizer Neubauparks ab ca. 2030 wieder zu sinken. Im Basisszenario ist hingegen über viele weitere Jahre mit einem weitergehenden Anstieg zu rechnen.

## 5.4 Treibhausgaseinsparungen in den Szenarien

Das vorliegende Kapitel zeigt auf, wie viele Treibhausgas-Emissionen mit Realisierung des Szenarios «Technologie» eingespart werden. Es werden die Einflüsse der Baustandards (Gebäudehülle und Komfortlüftung) und diejenigen der Energieproduktion für Raumwärme und Warmwasser bei den Nullheizenergie- und den Plusenergiegebäuden ersichtlich. Für die Betrachtung werden CO<sub>2</sub>-Äquivalente verwendet und auch die Treibhausgasemissionen in der Energiebereitstellung berücksichtigt (inkl. Primärenergiefaktoren). Da für die Berechnungen davon ausgegangen wird, dass in allen Gebäuden Wärmepumpen eingesetzt werden (Kapitel 5.2), werden für den Vergleich ausschliesslich Treibhausgasemissionen von Strom unterschiedlicher Herkunft benötigt.

Als Referenz dienen Treibhausgasemissionen gemäss UCTE-Strommix, weil der zukünftige Strom-Mehrverbrauch der Schweizer Neubauten vermehrt durch Stromeinkäufe in den europäischen Nachbarländern gedeckt werden muss.

Im Sinne des Verursacherprinzips werden dabei auch Treibhausgasemissionen angerechnet, welche im Rahmen der Stromproduktion und -verteilung ausserhalb der Schweizer Landesgrenzen anfallen. Diese Anrechnung aller Emissionen in der Energiebereitstellung wird auch bei den Treibhausgasemissionen von PV-Strom vorgenommen.

Die Treibhausgaseinsparungen ergeben sich aus dem Minderkonsum an Energie im Vergleich zum MuKE-Standard respektive aus den durch die Netzeinspeisung des Solarstroms reduzierten Treibhausgasemissionen.

Beim Solarstrom wird davon ausgegangen, dass eine eingespeiste kWh die Produktion einer kWh gemäss UCTE-Strommix und die zugehörigen Treibhausgasemissionen ersetzt. Die Reduktion der Treibhausgasemissionen durch die Solarstromeinspeisung ergibt sich folglich aus der Differenz der Emissionen des UCTE-Strommix und des PV-Stroms.<sup>19</sup>

Sowohl für den UCTE-Strommix als auch für den PV-Strom sind die Treibhausgasemissionen pro kWh relativ hoch (s. Tabelle 9, basierend auf Novatlantis 2008,), da auch diejenigen Emissionen berücksichtigt werden, welche ausserhalb der Landesgrenzen anfallen. Die Treibhausgasemissionen des PV-Stroms sind zudem stark von den Herstellungsprozessen der Silizium-Wafer und dem weiteren Materialaufwand abhängig und sinken mit dem technologischen Fortschritt – insbesondere durch neue Herstellungsmethoden welche die Schichtdicke der Wafer reduzieren. Aus diesem Grund ist damit zu rechnen, dass die mit der Stromerzeugung mittels PV verbundenen Treibhausgasemissionen in den kommenden Jahren sinken werden.

Stromtyp	Treibhausgasemissionen
UCTE-Strommix	594 g CO <sub>2</sub> -eq/kWh
Photovoltaik-Strom	97 g CO <sub>2</sub> -eq/kWh

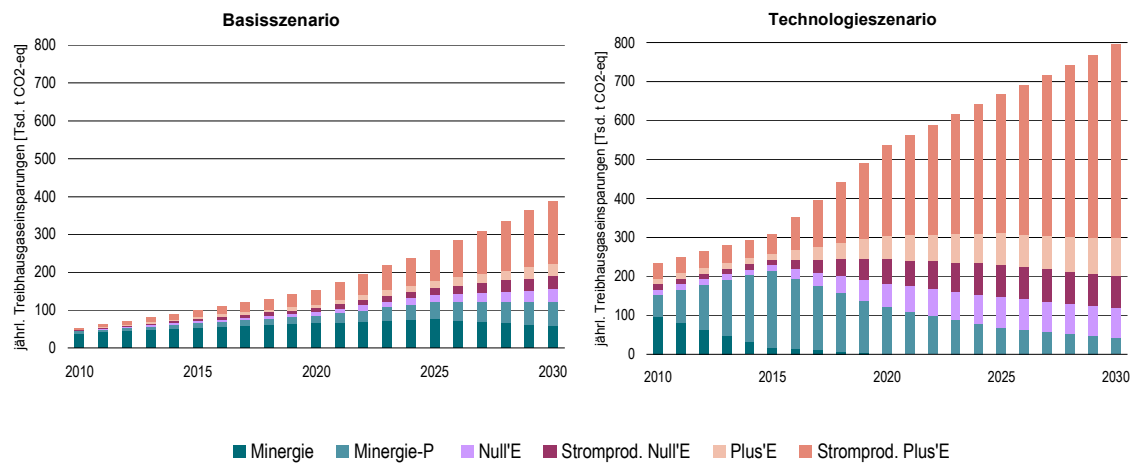
Tabelle 9: Treibhausgasemissionen der für die Stromproduktion eingesetzten Primärenergieträger je Stromsorte in Gramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro kWh erzeugtem Strom. (Quelle: Novatlantis 2008)

Die Treibhausgasvermeidung durch die PV-Strom-Einspeisung ergibt sich mit den Werten aus der voranstehenden Tabelle zu -497 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh im Vergleich zum UCTE-Strommix.

Figur 17 zeigt die jährlichen Treibhausgaseinsparungen in den beiden Szenarien in den Jahren 2010 bis 2030 je Baustandard.

<sup>19</sup> Die Treibhausgasemissionen des PV-Stroms entstehen nicht während der Stromerzeugung sondern während der Produktion, der Installation und der Wartung und der Entsorgung der PV-Anlagen.

## «Jährliche Treibhausgaseinsparungen beim Einsatz der energieeffizienten Bau-standards für Neubauten pro Szenario»



econcept

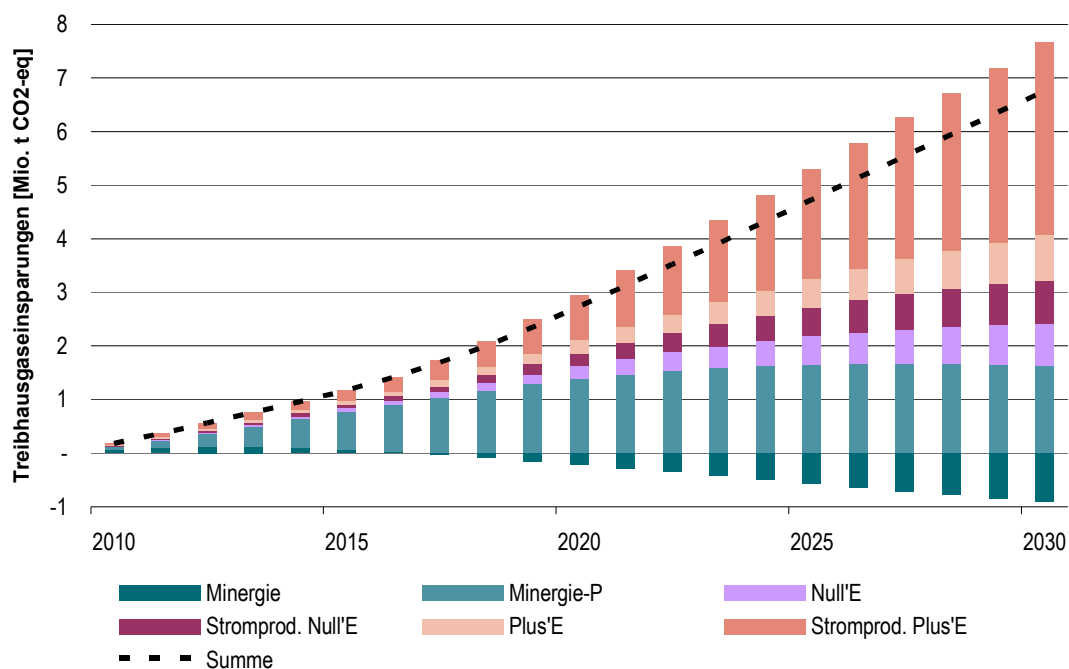
Figur 17: Treibhausgaseinsparungen durch die Realisation von Baustandards, die energieeffizienter sind als der MuKE-Standard, für die beiden Szenarien in Tausend Tonnen CO<sub>2</sub>-eq bis 2030 (für UCTE-Strommix; Energiebedarf für RW + WW).

Im Basisszenario steigt die jährliche Reduktion von Treibhausgasemissionen durch den Bau der energieeffizienten Gebäude von rund 55 Tsd. t CO<sub>2</sub>-eq im Jahr 2010 auf knapp 400 Tsd. t CO<sub>2</sub>-eq im Jahr 2030 an. Im Jahr 2030 tragen die Plusenergie-Gebäude (RW + WW) zu 50% zur Treibhausgasreduktion bei.

Im Technologieszenario steigt die Reduktion von 230 Tsd. t CO<sub>2</sub>-eq im Jahr 2010 auf knapp 800 Tsd. t CO<sub>2</sub>-eq im Jahr 2030 an. Den grössten Anteil an dieser Reduktion haben in diesem Szenario bis circa 2017 die Minergie-P-Gebäude. Danach steigt die Bedeutung der Plusenergie-Gebäude (RW + WW) – und insbesondere der von ihnen eingespeiste Solarstrom – für die Treibhausgasreduktion stark an.

Figur 17 zeigt die kumulierten Treibhausgasreduktionen, welche durch das Technologieszenario relativ zum Basisszenario in den Jahren 2010 bis 2030 erreicht werden können (schwarz gestrichelte Linie in der Figur). Für die Figur wurden also die kumulierten Treibhausgasreduktionen des Basisszenarios von denjenigen des Technologieszenarios abgezogen.

### «Kumulierte Treibhausgaseinsparungen beim Einsatz der energieeffizienten Baustandards im Technologieszenario relativ zum Basisszenario»



econcept

Figur 18: Kumulierte Treibhausgaseinsparungen welche im Technologieszenario zusätzlich zu den Einsparungen des Basisszenarios durch die Realisation von energieeffizienten Baustandards realisiert werden können (für RW und WW; schwarz gestrichelte Linie in Figur). In Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-eq; für UCTE-Strommix.

Die Figur zeigt, dass die häufigere Realisierung der energieeffizienten Baustandards im Technologieszenario (relativ zum Basisszenario) bis 2030 Treibhausgasreduktionen von gesamthaft knapp 7 Mio. t CO<sub>2</sub>-eq bewirken. Den grössten Anteil an der Reduktion haben die Plusenergie-Gebäude (RW + WW), insbesondere mit dem eingespeisten Solarstrom, gefolgt von den Nullheizenergie- und den Minergie-P-Gebäuden. Wegen der häufigeren Realisierung von Minergie-Gebäuden im Basisszenario ab 2018, ergeben sich in der Rubrik «Minergie» negative Werte.

Der hohe Wert von knapp 7 Mio. t CO<sub>2</sub>-eq Treibhausgasreduktionen im Technologieszenario ergibt sich zum einen aus der Verwendung von hohen Treibhausgasemissionen je kWh Strom gemäss UCTE-Strommix (Tabelle 9) und zum anderen aus der relevanten Treibhausgasreduktion durch die Stromeinspeisung der Nullheizenergie- und Plusenergiegebäude (Ersatz der Stromproduktion Dritter mit Emissionen gemäss UCTE-Mix).



## 6 Sind die Kosten für energieeffiziente Baustandards und Plusenergie höher?

Nachdem im vorangehenden Kapitel 5 der Energieverbrauch der Neubauten für Raumwärme und Warmwasser in den Jahren 2010 bis 2030 für die beiden Szenarien «Basis» und «Technologie» untersucht wurde, interessiert nun, ob die Baustandards, welche energieeffizienter als der heute gesetzlich vorgeschriebene Baustandard sind, Mehr- oder Minderkosten verursachen und wie hoch diese sind. Die Kosten werden aus Sicht der InvestorInnen berechnet. Zusätzlich wird von künftig veränderten Energiepreisen und von Kostendegressionen infolge von technischem Fortschritt und Lerneffekten ausgegangen. Für die Kostenberechnungen wird ein Betrachtungszeitraum von 30 Jahren ab Erstellung des Neubaus und ein realer Zinssatz von 3,5% (Kapitel 3.1.3) verwendet.

Die Mehrkosten beinhalten die Mehrinvestitionen für die Gebäudehülle, die Komfortlüftung und für die Photovoltaik-Module bei den Nullheizenergie- und Plusenergie-Gebäuden, allfällige Unterhalts- und Erneuerungskosten während der 30 Jahre und die Kostenveränderungen für die Bereitstellung der Wärme (Raumwärme und Warmwasser). Es wird jeweils der Gegenwartswert der Mehr- und Minderkosten im Jahr der Erstellung des Neubaus ermittelt. Die Berechnungen werden in 5-Jahresschritten zwischen 2010 und 2030 vorgenommen.

Die Ermittlung der Mehr- respektive Minderkosten erfolgt nach folgender Berechnung:

$$\begin{aligned}
 \text{Mehr-/Minderkosten} &= + \text{ Mehrinvestitionen Gebäudehülle} \\
 &+ \text{ Mehrinvestitionen Haustechnik} \\
 &+ \text{ Unterhalt und Erneuerung während 30 Jahren} \\
 &- \text{ allfällige Restwerte nach 30 Jahren} \\
 &- \text{ Reduktion Energiekosten während 30 Jahren} \\
 &+ \text{ Investition PV-Module und Unterhalt während 30 Jahren} \\
 &- \text{ Einnahmen Solarstromverkauf während 30 Jahren}
 \end{aligned}$$

Alle Kosten und Erträge, welche während der Lebensdauer eines Gebäudes entstehen, werden auf das Jahr der Erstellung des Gebäudes abgezinst (gemäss Gegenwartswert-Methode).

### 6.1 Investitions-Mehrkosten bei Gebäuden mit energieeffizienten Baustandards

#### 6.1.1 Gebäudehülle

Investitionskosten, die bei Realisierung energieeffizienter Baustandards entstehen, werden primär einer Studie von Zeyer aus dem Jahr 2008 entnommen (Zeyer 2008).

In der Studie von Zeyer wird untersucht, wie hoch die Investitionskosten von 38 realisierten Gebäuden gewesen wären, wenn sie mit anderen Baustandards als den effektiv gewählten realisiert worden wären. Verglichen werden die Standards MuKE n 2001, Minergie 2001, Minergie 2008 und Minergie-P 2008. Mit Hilfe eines computergestützten Energiebilanztools werden in Zeyer (2008) kostenoptimierte Variationen der U-Werte der verschiedenen Bauteile der 38 Gebäude solange vorgenommen, bis der jeweils energieeffizientere (bzw. energieineffizientere) Baustandard in der Simulation erreicht wird. Durch die Simulationen für die 38 verschiedenen Gebäude (16 EFH-, 12 MFH-, 10 DL-Gebäude) wird so eine Bandbreite für die Mehr- bzw. Minderkosten der Baustandards Minergie und Minergie-P in Abhängigkeit der Gebäudehüllzahl  $A_{th}/EBF$  erhalten.<sup>20</sup>

Die Mehrkosten der verschiedenen Baustandards unterliegen grossen Streuungen. Einen grossen Einfluss auf diese Streuungen haben gemäss Zeyer die sehr unterschiedlichen Formen und Gestaltungen der 38 untersuchten Gebäude (v.a. bzgl. Kompaktheit und Wärmebrücken). Da in der Simulation den unter energetischen Gesichtspunkten oft nicht optimalen Gebäuden eine dickere Wärmedämmung oder thermisch bessere Fenster hinzugerechnet werden müssen, bis sie den jeweiligen energetischen Standard erreichen, steigen bei diesen Bauten die Mehrkosten stärker, als bei kompakten Gebäuden mit wenig Wärmebrücken oder kleineren Gebäudehüllzahlen.

Für die Modellierung der Mehrkosten in der vorliegenden Untersuchung wird davon ausgegangen, dass in Zukunft bei der Planung von Gebäuden vermehrt auf Kompaktheit geachtet wird und Wärmebrücken stärker reduziert werden. Aus diesem Grund werden aus der Studie von Zeyer Mehrkosten aus dem unteren Bandbreitenbereich übernommen (geringe Mehrkosten wegen angenommener energetischer Optimierung beim Entwurf des Gebäudes).

Basis der Mehrkostenberechnungen von Zeyer sind die Vorgaben der (alten) MuKE n aus dem Jahr 2000, welche sich auf die mittlerweile abgelöste SIA-Norm 380/1 aus dem Jahr 2001 bezieht. Die Mehrkosten von Zeyer müssen deshalb auf die hier verwendete Basis von MuKE n 2009 (SIA 380/1: 2009) umgerechnet werden. Als Näherung wird für diese Umrechnung davon ausgegangen, dass der neue MuKE n 2009-Standard dem alten Minergie 2001-Standard ohne Einbau der Komfortlüftung entspricht – dies sowohl energetisch als auch von den Kosten für die Gebäudehülle.

Für die Modellierung der Neubauten in der Schweiz werden Durchschnittswerte aus der Norm SIA 380/1 (2009) zu den typischen Gebäudehüllzahlen von EFH, MFH und DL-Gebäuden und den Gebäudehüllzahlen entsprechende Werte zu den Mehrkosten der Gebäudehülle aus Zeyer (2008) übernommen.

Die für die nachfolgenden Berechnungen verwendeten Mehrkosten, welche bei der Erstellung eines Gebäudes anfallen, sind in Tabelle 10 aufgeführt.

<sup>20</sup> Gebäudehüllzahl = Verhältnis der thermischen Gebäudehülle  $A_{th}$  zur Energiebezugsfläche EBF (resp. neu  $EBF = A_E$ ) (Definition gemäss Norm SIA 380/1: 2009)

	Gebäudehüllzahl	Mehrkosten Gebäudehülle gegenüber MuKE 2008	
		Minergie 2008	Minergie-P 2008
MFH	1.3	30 Fr./m <sup>2</sup> EBF	120 Fr./m <sup>2</sup> EBF
EFH	2	40 Fr./m <sup>2</sup> EBF	180 Fr./m <sup>2</sup> EBF
DL	1	20 Fr./m <sup>2</sup> EBF	100 Fr./m <sup>2</sup> EBF

Tabelle 10 Mehrkosten der Gebäudehülle ohne Komfortlüftung gegenüber MuKE 2008: Mehrinvestitionen für die verschiedenen Gebäudetypen im Jahr 2010 (Quelle: econcept nach Zeyer 2008).

### 6.1.2 Komfortlüftung

Der zur Erreichung des Minergie- und des Minergie-P-Labels notwendige Einbau einer Komfortlüftung wird mit Installations-, Unterhalts- und Erneuerungskosten und einem Restwert nach 30 Jahren berücksichtigt. Bei der Herleitung der Kosten wird zudem eine Kostendegression von -1% p.a. zugrunde gelegt (Kapitel 6.1.3).

Die Installationskosten im Jahr 2010 belaufen sich auf etwa 100 Fr./m<sup>2</sup> EBF (Jakob et al. 2002 und 2006). Aus Jakob et al. werden Kosten für Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung verwendet, wobei tiefe Kosten zugrunde gelegt werden wegen der Kostendegression seit den Veröffentlichungen.

Die Unterhaltskosten für die Komfortlüftung werden Jakob et al. (2002) entnommen. Ihr Barwert zum Zeitpunkt der Installation beträgt rund 24 Fr./m<sup>2</sup> EBF (Basis: Betriebsdauer von 30 Jahren).

Da für die Kostenberechnungen ein Betrachtungszeitraum von 30 Jahren verwendet wird, bei der Komfortlüftung aber von einer Lebensdauer von 20 Jahren ausgegangen werden kann, wird eine Erneuerung der Komfortlüftung nach 20 Jahren und ein Restwert nach 30 Jahren rechnerisch berücksichtigt. Der Restwert nach 30 Jahren beträgt 70% (Restwert > 50% wegen grösserer Lebensdauer der Lüftungsleitungen).

Die Stromkosten der Komfortlüftung haben einen Barwert zum Zeitpunkt der Installation von 0,9 - 1,8 Fr./m<sup>2</sup> EBF und Jahr (B&H 2009, Ragonesi et al. 2009) und sind somit vernachlässigbar.

Die Kosten für die Komfortlüftung belaufen sich auf:

	Gegenwartswert der Kosten für Komfortlüftung in Fr./m <sup>2</sup> EBF in den Jahren				
	2010	2015	2020	2025	2030
Komfortlüftung	149	143	136	130	123

Tabelle 11: Gegenwartswert der Kosten für eine Komfortlüftung zum Zeitpunkt der Investition in Fr./m<sup>2</sup> EBF (Kosten beinhalten: Investition + Barwert Unterhalt + Erneuerung während 30 Jahren).

### 6.1.3 Mehrkosten Gebäudehülle und Komfortlüftung 2010 bis 2030

Es wird davon ausgegangen, dass die Mehrkosten der Gebäudehülle und der Komfortlüftung im Laufe der Jahre aufgrund von Lern- und Skaleneffekten abnehmen. Für diese Kostendegression werden Werte aus Jakob et al. (2002) verwendet und angepasst. Es wird von einer Kostendegression mit einer jährlichen Rate von -1% ausgegangen<sup>21</sup>.

Die folgende Tabelle zeigt die Änderung der Mehrkosten, welche sich für Minergie und Minergie-P im Vergleich zu MuKE für die Gebäudehülle und die Komfortlüftung in den Jahren 2010 bis 2030 ergeben. Die Mehrkosten beinhalten die Investition, den Barwert des Unterhalts und der Erneuerungen bei der Komfortlüftung.

Gegenwartswert der Mehrkosten für die Gebäudehüllen und die Komfortlüftung in Fr./m <sup>2</sup> EBF in den Jahren					
	2010	2015	2020	2025	2030
<b>Minergie</b>					
MFH	179	172	164	156	148
EFH	189	182	173	164	156
DL	169	163	155	147	140
<b>Minergie-P</b>					
MFH	269	259	246	234	222
EFH	329	316	301	286	272
DL	249	239	228	217	206

Tabelle 12: Gegenwartswert der Mehrkosten der Standards Minergie und Minergie-P im Vergleich zu MuKE in den Jahren 2010 bis 2030 für verschiedene Gebäudetypen. Die Mehrkosten enthalten die Kosten für die Gebäudehülle (Investition) und die Komfortlüftung (Investition + Barwert Unterhalt + Erneuerungen) im jeweiligen Jahr der Erstellung.

## 6.2 Wärmekosten und Erträge der Stromerzeugung bei Nullheizenergie- und Plusenergie-Gebäuden

### 6.2.1 Methodik

Sowohl den Nullheizenergie-Gebäuden als auch den Plusenergie-Gebäuden (RW + WW) wird für die Modellierung der Wärmebedarf für Raumwärme und Warmwasser (und die Mehrkosten der Gebäudehülle) von Minergie-P-Gebäuden zugrunde gelegt (Kapitel 5.1). Die «Energieerzeugung» erfolgt jeweils mit Photovoltaik.

*Nullheizenergie-Gebäuden* wird soviel PV-Fläche hinzugerechnet, dass eine ausgeglichene Jahresenergiebilanz resultiert («0 kWh» für RW und WW pro Jahr).

<sup>21</sup> Jakob et al. (2002) gehen von einer Kostendegression von rund 0,7% p.a. aus.

Bei den *Plusenergie-Gebäuden* (RW + WW) wird davon ausgegangen, dass jeweils die gesamte für die Nutzung der Sonnenenergie geeignete Dachfläche (Kapitel 5.2.1) mit PV-Modulen bestückt wird.

#### Bedarf an PV-Fläche:

Um den Bedarf an PV-Modulen zu erhalten, wird der Energiebedarf je Baustandard abgeschätzt:

Der Wärmebedarf für die Warmwasserversorgung wird der Norm SIA 380/1 entnommen. Er wird dort mit 21 kWh/(m<sup>2</sup> EBF a) für MFH, 14 kWh/(m<sup>2</sup> EBF a) für EFH und 7 kWh/(m<sup>2</sup> EBF a) für Verwaltungsgebäude angegeben.

Aus dem Endenergiebedarf in Minergie-P-Gebäuden von 30 resp. 25 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> a) (RW + WW) für Wohngebäude bzw. Verwaltungsgebäude und der Änderung der Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen (Kapitel 5.2.4) resultiert der Stromverbrauch, welcher in den Nullheizenergiehäusern mit PV gedeckt werden muss.

Mit dem Verlauf der Jahreserträge pro installiertem m<sup>2</sup> PV-Modul gemäss Kapitel 5.2.2 ergeben sich die in der nachstehenden Tabelle aufgeführten, für die Deckung des jährlichen Energiebedarfs benötigten Modul-Flächen pro m<sup>2</sup> EBF.

	PV-Modulflächen auf Nullheizenergie-Gebäuden [m <sup>2</sup> PV / m <sup>2</sup> EBF]				
	2010	2015	2020	2025	2030
MFH	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05
EFH	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05
DL	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03

Tabelle 13: Für die Deckung des Energiebedarfs (für RW + WW) in Nullheizenergiegebäuden benötigten Photovoltaik-Modul-Flächen pro m<sup>2</sup> EBF.

Die Differenz aus den in Tabelle 13 aufgeführten Flächen und den für die Nutzung der Solarenergie geeigneten Flächen (Kapitel 5.2.1) kann in Plusenergiegebäuden für die zusätzliche Stromproduktion eingesetzt werden.

Aufgrund der getroffenen Annahmen verändern sich diese Flächen bis 2030 nicht, da die geeigneten Dachflächen pro m<sup>2</sup> EBF konstant bleiben. Allerdings sinken die für den Eigenbedarf der Plusenergie-Gebäude (RW + WW) benötigten Flächen analog Tabelle 13 und die gesamte Stromproduktion pro m<sup>2</sup> PV steigt wegen Wirkungsgradverbesserungen der PV-Module bis 2030 kontinuierlich an.

#### Einspeisevergütung für Solarstrom:

Für die Höhe der Einspeisevergütungen zwischen 2010 und 2030 siehe Tabelle 6 (Seite 29).

### 6.2.2 Nullheizenergie-Gebäude:

Aus den vorangehend aufgeführten Annahmen ergeben sich für die Wärmeversorgung der verschiedenen Nullheizenergie-Gebäude-Typen und die Stromproduktion mittels PV folgende Minderkosten (Gegenwartswerte) im Vergleich zum MuKEEn-Baustandard:

Nullheizenergiegebäude :					
GWW der Minderkosten durch Energiekonsum und -verkauf im Vergleich zu MuKEEn [Fr./m <sup>2</sup> EBF]					
	2010	2015	2020	2025	2030
MFH	-51	-43	-36	-31	-46
EFH	-58	-51	-45	-40	-55
DL	-46	-43	-40	-40	-52

Tabelle 14: Gegenwartswert (GWW) der Kosten Energiekonsum und -verkauf (RW + WW) bei Nullheizenergiegebäuden im Vergleich zu MuKEEn. Negative Werte bedeuten Einsparungen für Nullheizenergiegebäude.

Die Tabelle zeigt, dass sich für alle Gebäudetypen Minderkosten ergeben. Diese sind jedoch relativ gering und können nur wenig zum Ausgleich der Kosten der Gebäudehülle beitragen (Kosten der Gebäudehülle siehe Tabelle 12; Minergie-P als Gebäude-Basis für Nullheizenergie genommen).

Tendenziell sinken die Kostenreduktionen bis ins Jahr 2020/2025 leicht, um bis 2030 wieder anzusteigen.

### 6.2.3 Plusenergie-Gebäude:

Auch für die Plusenergiegebäude (RW + WW) ergeben sich Minderkosten für den Energiekonsum und -verkauf bei allen Gebäudetypen (Tabelle 15).

Plusenergiegebäude (RW + WW) :					
GWW der Minderkosten durch Energiekonsum und -verkauf im Vergleich zu MuKEEn [Fr./m <sup>2</sup> EBF]					
	2010	2015	2020	2025	2030
MFH	-100	-81	-51	-22	-88
EFH	-109	-90	-62	-32	-94
DL	-55	-51	-43	-37	-65

Tabelle 15: Gegenwartswert (GWW) der Kosten Energiekonsum und -verkauf (RW + WW) bei Plusenergiegebäuden im Vergleich zu MuKEEn. Negative Werte bedeuten Einsparungen für Plusenergiegebäude.

Die Minderkosten sinken wegen der starken Abnahme der Einspeisevergütungen durch die KEV bis ins Jahr 2025 auf ein Minimum. Die Abnahme der KEV kann durch die Abnahme der PV-Installationskosten und durch die Zunahme der Erträge durch die Wirkungsgradsteigerungen also nicht aufgewogen werden. Dies führt dazu, dass die mit der

Energieerzeugung verbundenen Minderkosten um das Jahr 2025 nur wenig zum Ausgleich der Kosten der Gebäudehülle beitragen können.

### **6.3 Vergleich der Mehrkosten**

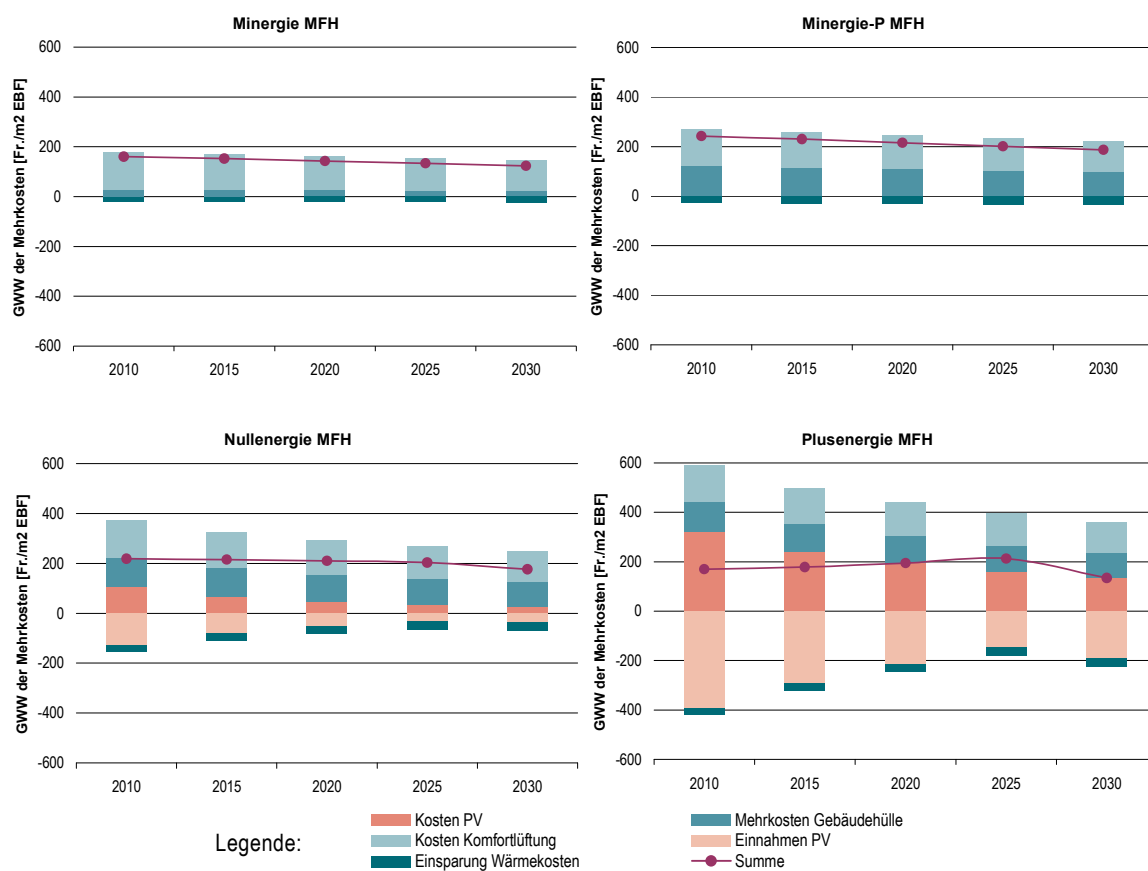
Im vorliegenden Kapitel wird zusammengefasst, welche Mehr- bzw. Minderkosten sich für Gebäudehülle und Energieerzeugung ergeben, wenn statt des gesetzlichen Baustandards (MuKE n 2008) energetisch bessere Baustandards realisiert werden.

#### **6.3.1 Vergleich der Mehrkosten pro m<sup>2</sup> EBF**

Figur 19 zeigt die Gegenwartswerte der Mehrkosten beispielhaft bei Mehrfamilienhäusern für die 4 Baustandards Minergie, Minergie-P, Nullheizenergie und Plusenergie (Energiekosten für RW und WW berücksichtigt). Die Summenwerte der verschiedenen Gebäudetypen je Baustandard sind im Anhang A-1.4 aufgeführt.

Die Mehrkosten sind je Baustandard im Basis- und im Technologieszenario jeweils gleich, da sich die Szenarien nur im Umfang unterscheiden, mit dem die verschiedenen Baustandards eingesetzt werden.

### «Gegenwartswert der Mehrkosten der Baustandards gegenüber MuKEn pro m<sup>2</sup> EBF am Beispiel MFH»



econcept

Figur 19: Gegenwartswert (GWV) der Mehrkosten der untersuchten Baustandards (mit Komfortlüftung) gegenüber MuKEn (ohne Komfortlüftung) in Fr./m<sup>2</sup> EBF am Beispiel der Mehrfamilienhäuser (Energiekosten für RW und WW berücksichtigt).

Figur 19 zeigt, dass sich mit den hier getroffenen Annahmen für die untersuchten Baustandards Minergie, Minergie-P, Nullheizenergie und Plusenergie (RW + WW) gegenüber dem gesetzlichen Baustandard MuKEn für die Mehrfamilienhäuser jeweils Mehrkosten ergeben. Diese liegen im Jahr 2010 bei Minergie-Gebäuden bei 160 Fr./m<sup>2</sup> EBF. Für Minergie-P-Gebäude ergeben sich die höchsten Mehrkosten mit 240 Fr./m<sup>2</sup> EBF. Diese sinken für Nullheizenergie- und Plusenergie-Gebäude auf 220 respektive 170 Fr./m<sup>2</sup> EBF. Für Minergie- und Plusenergie-Gebäude ergeben sich im Jahr 2010 folglich ähnliche Mehrkosten.

Die Mehrkosten der Minergie- und Minergie-P-Gebäude sinken bis zum Jahr 2030 um rund 23%. Die Mehrkosten der Nullheizenergie-Gebäuden sinken um 20% bis 2030. Die zeitliche Entwicklung der Mehrkosten bei den Plusenergiegebäuden (RW + WW) unterscheidet sich wegen des grösseren Einflusses der PV-Kosten und -Erträge von den anderen Entwicklungen. Im Unterschied zu den anderen Baustandards ergibt sich bei den Plusenergie-Gebäuden (RW + WW) zwischen den Jahren 2010 und 2025 ein Anstieg der



Mehrkosten. Diese steigen bei den Plusenergie-MFH (RW + WW) bis zum Jahr 2025 um rund 25% an, liegen aber im Jahr 2030 wieder 20% unter den Werten von 2010.

Den grössten Anteil an den Mehrkosten hat bei Minergie und Minergie-P die Komfortlüftung (Kosten Komfortlüftung ca. 150 Fr./m<sup>2</sup> EBF im Jahr 2010). Bei Minergie hat die Komfortlüftung einen Anteil von 83% an den Mehrkosten; bei Minergie-P liegt dieser bei 55%. Bei den Nullheizenergie-Gebäuden liegt der Anteil 2010 bei 40% und steigt bis 2030 auf 50%; bei Plusenergie-Gebäuden (RW + WW) ist mit einem Anstieg des Anteils von 25% (2010) auf 35% im Jahr 2030 zu rechnen.

Der Figur ist weiter zu entnehmen, dass die Einsparungen durch bessere Wärmedämmungen gegenüber MuKE n relativ klein sind (dunkelblaue Balken in Figur: «Einsparungen Wärmekosten»). Dies liegt daran, dass der gesetzliche Standard (MuKE n 2008) bereits einen relativ kleinen Wärmebedarf vorschreibt und die Einsparungen von Energiekosten durch bessere Baustandards folglich nicht sehr gross sind.

Der Gegenwartswert der Mehrkosten von Plusenergie-EFH (RW + WW) liegt zwischen 2010 und 2030 im Schnitt rund 45 Fr./m<sup>2</sup> EBF über dem Gegenwartswert der Mehrfamilienhäuser. Der Gegenwartswert der Mehrkosten von Plusenergie-Dienstleistungsbauten (RW + WW) sinkt zwischen den Jahren 2010 und 2030 langsam von rund 190 auf 150 Fr./m<sup>2</sup> EBF.

Der Anteil der Subvention durch die Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) oder durch freiwillige Beiträge Dritter via Solarstrombörsen an den PV-Einnahmen (hellrote Balken in Figur 19) bei den Nullheizenergie- und den Plusenergie-Gebäuden (RW + WW) startet im Jahr 2010 mit einem hohen Wert von 89%. Bis zum Jahr 2015 sinkt dieser Anteil auf 80% und kommt 2020 bei 60% zu liegen. Im Modell wird davon ausgegangen, dass nach 2020 keine Förderung durch KEV oder Solarstrombörsen stattfindet und der Solarstrom zu Marktpreisen eingespeist wird.

### **6.3.2 Vergleich der Mehrkosten energieeffizienter Baustandards mit den Baukosten von Gebäuden nach gesetzlichem Energiestandard**

Die Mehrkosten der energieeffizienten Baustandards im Jahr 2010 können mit den Baukosten von Neubauten verglichen werden, welche nach dem gesetzlichen Standard zum Energieverbrauch (MuKE n) erstellt wurden (jeweils Energiekosten für RW und WW berücksichtigt).

Die Mehrkosten sind mit Basis MuKE n 2008 berechnet. Da gemäss Auskunft von Bauunternehmen noch keine Erfahrungswerte mit Baukosten nach MuKE n 2008 vorhanden sind<sup>22</sup>, müssen für den Vergleich alte Erfahrungswerte zu Baukosten nach den ersetzten MuKE n verwendet werden. Da nach den alten MuKE n geringere Wärmedämmungen zu-

<sup>22</sup> Die Normen der MuKE n 2008 wurden von vielen Kantonen erst ab Sommer 2009 in die kantonalen Baugesetzgebungen übernommen.

lässig waren, resultieren aus dem Vergleich zu hohe relative Mehrkosten der energieeffizienten Baustandards.

Die Investitionskosten für Gebäude mit minimalem energetischen Standard (gemäss alter MuKE) ohne Bauland wurden anhand von veröffentlichten Werten für realisierte Neubauten eines Generalunternehmens abgeschätzt<sup>23</sup>. Die Investitionskosten liegen demnach in der Grössenordnung von 2'800 Fr./m<sup>2</sup> EBF für Mehrfamilienhäuser (mit einer Streuung zwischen 1'650 und 4'260 Fr./m<sup>2</sup> EBF) und 3'700 Fr./m<sup>2</sup> EBF für Dienstleistungsgebäude (mit einer Streuung zwischen 2'270 und 8'570 Fr./m<sup>2</sup> EBF). Es kann davon ausgegangen werden, dass die Aussagen von den Mehrfamilienhäusern in etwa auf die Einfamilienhäuser übertragen werden können.

Tabelle 16 zeigt die Ergebnisse des Vergleichs.

Baustandard	Verhältnis der Mehrkosten der Baustandards im Jahr 2010 zu den Investitionskosten nach alter MuKE (Streuung gemäss Datengrundlage in Klammern)	
	Mehrfamilienhäuser	Dienstleistungsgebäude
Minergie	6% (4% ... 10%)	4% (2% ... 7%)
Minergie-P	9% (7% ... 15%)	6% (3% ... 9%)
Nullheizenergie	8% (5% ... 13%)	5% (2% ... 9%)
Plusenergie (RW + WW)	6% (4% ... 10%)	5% (2% ... 9%)

Tabelle 16: Abschätzung der relativen Mehrkosten der energieeffizienten Baustandards im Jahr 2010 im Vergleich zu den Investitionskosten von Gebäuden, welche nach Wärmedämmstandards gemäss alter MuKE erstellt wurden (Investitionskosten ohne Bauland).

Vergleichen mit Neubauten gemäss der neuen MuKE 2008 resultieren deutlich geringere Mehrkosten.

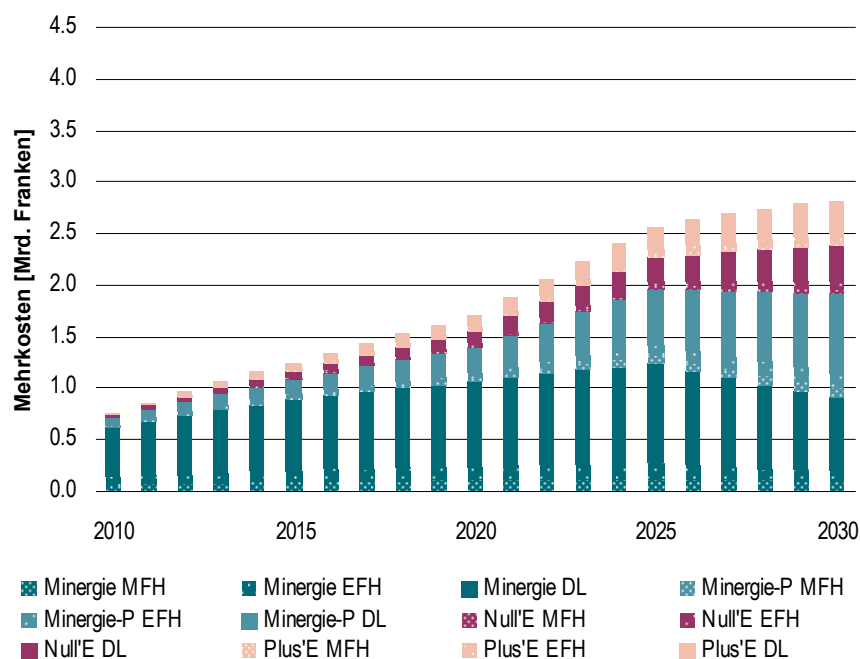
### 6.3.3 Mehrkosten in den Szenarien

Aus den Mehrkosten pro m<sup>2</sup> EBF je Baustandard und Gebäudetyp und der entsprechenden Neubautätigkeit zwischen 2010 und 2030 je Baustandard (Kapitel 3.4 und 5.3) können die Mehrkosten gegenüber MuKE für das Basisszenario und das Technologieszenario abgeschätzt und verglichen werden. In den Mehrkosten sind die Kapital- und Unterhaltskosten und die Energiekosten für RW und WW berücksichtigt.

Figur 20 und Figur 21 geben die Mehrkosten der beiden Szenarien gegenüber MuKE wieder. Aufgrund der unterschiedlichen, den Szenarien hinterlegten Neubautätigkeiten, ergeben sich deutliche Unterschiede in den Mehrkosten. Ersichtlich wird auch die grosse Bedeutung der Dienstleistungsgebäude für die entstehenden Mehrkosten (ganz ausgefüllte Balken in den Figuren).

<sup>23</sup> siehe Homepage der Allreal AG (<http://www.allreal.ch/weballreal/index/main/presse/presse-publikationen/presse-publikationen-db.htm>)

### «Basisszenario: Gegenwartswert der Mehrkosten der energieeffizienten Baustandards gegenüber MuKE»

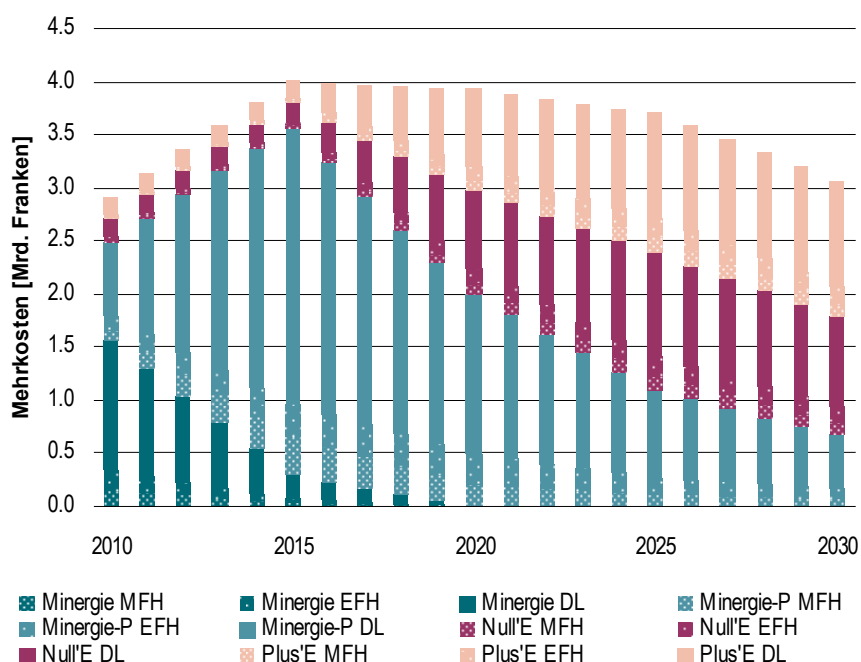


econcept

Figur 20: Basisszenario: Gegenwartswert der Mehrkosten der im jeweiligen Jahr erstellen Neubauten welche mit gegenüber MuKE energieeffizienteren Baustandards realisiert werden in Mrd. Franken.

Die jährlich entstehenden Mehrkosten, welche durch die energieeffizienten Baustandards durch Wohn- und Dienstleistungs-Neubauten in der Schweiz entstehen, liegen im Basisszenario (Figur 20) im Jahr 2010 bei 0,7 Mrd. Franken. Bis 2030 steigen die jährlichen Mehrkosten auf 2,8 Mrd. Franken an. Aufgrund der geringen Häufigkeit von Nullheizenergie- und Plusenergie-Neubauten (RW + WW) im Basisszenario entstehen die Mehrkosten in erster Linie durch die Minergie-Neubauten (dunkelblaue Balken in der Figur), gefolgt von den Minergie-P-Neubauten.

### «Technologieszenario: Gegenwartswert der Mehrkosten der energieeffizienten Baustandards gegenüber MuKE»



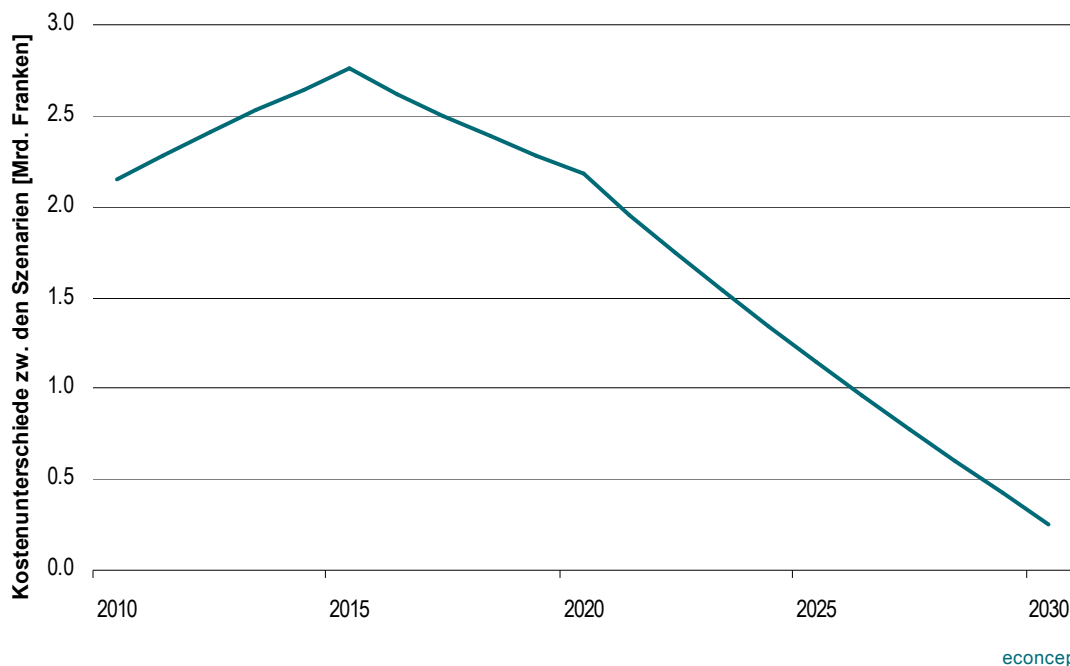
econcept

Figur 21: Technologieszenario: Gegenwartswert der Mehrkosten der im jeweiligen Jahr erstellten Neubauten welche mit gegenüber MuKE energieeffizienteren Baustandards realisiert werden in Mrd. Franken.

Deutlich höhere Mehrkosten fallen im Technologieszenario an (Figur 21). Mit der umfassenden Realisierung der besseren energetischen Baustandards (Minergie-P, Nullheizenergie und Plusenergie (RW + WW)) im Technologieszenario liegen die jährlichen Mehrkosten im Jahr 2010 bei 2,9 Mrd. Franken gegenüber der Situation, dass ausschliesslich Neubauten nach dem gesetzlichen MuKE-Standard realisiert werden. Die Mehrkosten steigen bis zum Jahr 2015 auf rund 4 Mrd. Franken und nehmen bis 2030 auf gut 3 Mrd. Franken ab. Wichtiger Kostentreiber – aufgrund der postulierten Häufigkeit seiner Realisation – ist bis 2020 der Minergie-P-Standard. Nach 2020 werden die Standards Nullheizenergie und Plusenergie (RW + WW) relevant für die Mehrkosten.

Die Differenz der Werte aus den beiden vorangehenden Figuren ergibt die Mehrkosten, welche bei Verwirklichung des Technologieszenarios gegenüber dem Basisszenario (dem Szenario «weiter wie bisher») entstehen. Diese Mehrkosten sind in Figur 22 dargestellt.

### «Unterschiede im Gegenwartswert der Mehrkosten zwischen den Szenarien»



Figur 22: Kostenunterschiede zwischen dem Basis- und dem Technologieszenario: Mehrkosten der im jeweiligen Jahr erstellten Neubauten im Technologieszenario in Mrd. Franken.

Die Mehrkosten des Technologieszenarios gegenüber dem Basisszenario betragen in den ersten 10 Jahren bis 2020 zwischen 2,2 und 2,8 Mrd. Franken jedes Jahr. Nach 2020 sinken sie ab und erreichen 2030 rund 0,3 Mrd. Franken.

Die anfänglichen, relativ hohen Mehrkosten entstehen dadurch, dass im Basisszenario – anders als im Technologieszenario – noch zu einem grossen Anteil Neubauten nach Mu-KEn erstellt werden (welche keine Mehrkosten erzeugen, da sie die Basis für die Mehrkostenabschätzungen sind)<sup>24</sup>. Nach 2020 werden die Mehrkosten der energieeffizienten Baustandards auch im Basisszenario relevanter, weswegen der Kostenunterschied zwischen den Szenarien bis ins Jahr 2030 stark abnimmt.

#### 6.3.4 Einfluss wichtiger Kostenfaktoren auf die Mehrkosten von Baustandards und auf die Kostendifferenz zwischen den Szenarien

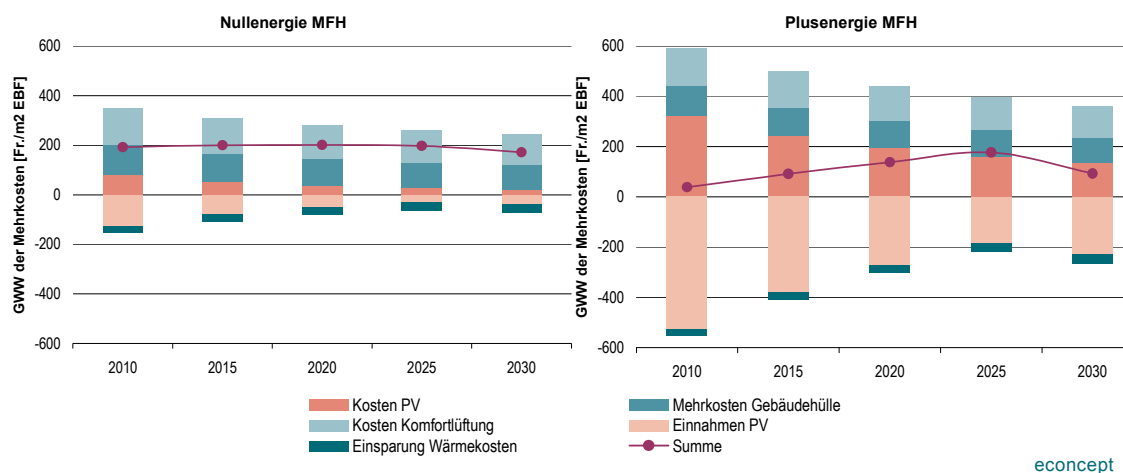
Im Sinne einer Sensitivitätsanalyse werden in den folgenden Abschnitten wichtige Kostenfaktoren im Berechnungsmodell variiert um ihre Bedeutung auf den Gegenwartswert der Mehrkosten aufzuzeigen. Auf diese Weise können auch Einflussmöglichkeiten erkannt werden, mit denen die Wirtschaftlichkeit der energieeffizienten Baustandards verbessert werden kann.

<sup>24</sup> Anteile Baustandards siehe Figur 12

**Höherer Wirkungsgrad der PV-Module bei gleichen Kosten:**

Betrachtet wird der Fall, dass vermehrt effizientere PV-Module in der Schweiz verfügbar sind, sodass mit der gleichen Investition Module mit besserem Wirkungsgrad auf den Nullheizenergie- und Plusenergie-Gebäuden (RW + WW) installiert werden können. Damit soll die mögliche Entwicklung abgebildet werden, dass günstige Module zum Beispiel aus Fernost zu einer stärkeren Senkung der Kilowattstunden-Preise führen.

Figur 22 zeigt die Auswirkung auf die Mehrkosten am Beispiel der Mehrfamilienhäuser, wenn der Wirkungsgrad der PV-Module sich generell um 4% erhöht, im Vergleich zu den bisher im Modell verwendeten Wirkungsgraden (Kapitel 5.2.2).

**«Höhere PV-Modul-Wirkungsgrade bei gleichen Kosten: Gegenwartswert der Mehrkosten von Nullheizenergie und Plusenergie am Beispiel MFH»**

Figur 23: Um 4% erhöhte PV-Modulwirkungsgrade: Gegenwartswert der Mehrkosten der Standards Nullheizenergie und Plusenergie (RW + WW) gegenüber MuKen pro m<sup>2</sup> EBF am Beispiel MFH (Zum Vergleich der Wirkungen siehe Figur 19).

Für Nullheizenergie-Gebäuden ergeben sich leicht reduzierte Mehrkosten von 190 statt 220 Fr./m<sup>2</sup> EBF im Jahr 2010. Der Einfluss des Modul-Wirkungsgrades ist bei den Nullheizenergie-Gebäuden also eher klein; die Erhöhung der Erträge aus der PV-Stromeinspeisung können die Mehrkosten der Gebäudehülle weiterhin nicht kompensieren.

Die Mehrkosten von Plusenergie-Gebäuden (RW + WW) liegen mit 40 Fr./m<sup>2</sup> EBF im Jahr 2010 nahe dem Wert Null, falls die PV-Module einen Wirkungsgrad im Jahr 2010 von 16% haben. Später nehmen die Mehrkosten wieder deutlich zu, da der Rückgang der Einnahmen aus dem Stromverkauf durch die Absenkung der Einspeisevergütung (KEV) grösser ist, als die Kostendegression bei PV-Anlagen und die Wirkungsgradverbesserungen der PV-Module.

Weitere Berechnungen für grosse PV-Anlagen zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit von Plusenergie-Gebäuden (RW + WW) heute schon erreicht werden kann, wenn die Investi-

tionskosten für PV-Anlagen sinken: Der Gegenwartswert der Plusenergie-Gebäude (RW + WW) im Jahr 2010 für Modulwirkungsgrade um 19% und zu Kosten um 720 Fr./m<sup>2</sup> PV, wie sie im Jahr 2009 von einzelnen Installateuren für PV-Grossanlagen in der Schweiz offeriert wurden (Solar Agentur 2009), liegt bei rund -150 Fr./m<sup>2</sup> EBF. Die Wirtschaftlichkeit ist hier folglich erreicht (KEV vorausgesetzt).

### **Höhere Solarstromvergütung durch die Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) des Bundes:**

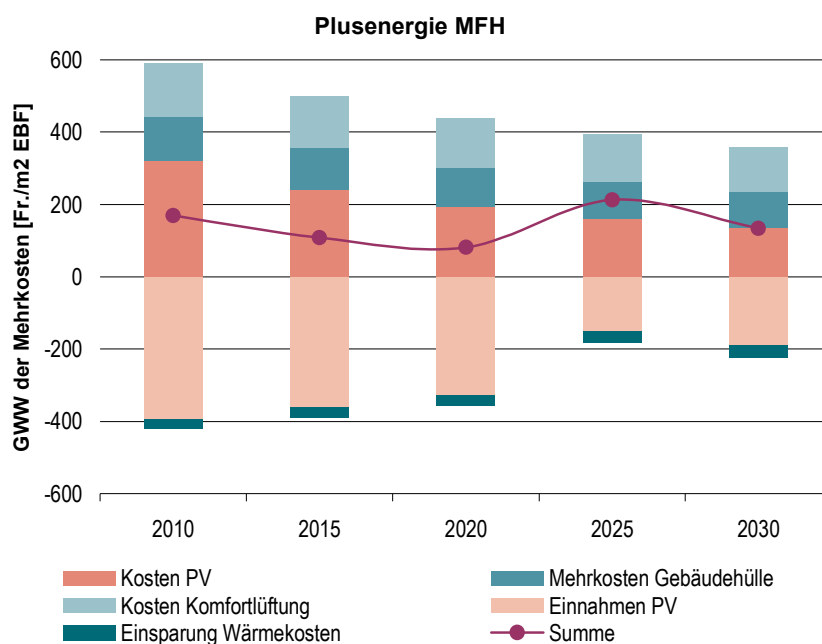
Der Einfluss der Kostendeckenden Einspeisevergütung und ihrer Abnahme für Neuanlagen ab 2010 um -8% pro Jahr (siehe Kapitel 5.2.2) wird aufgezeigt, indem die Rate der Abnahme variiert wird: statt -8% wird eine reduzierte Abnahme von -4% pro Jahr verwendet, welche zu Einspeisesätzen gemäss Tabelle 17 führt. Es wird davon ausgegangen, dass ab 2020 keine Förderung durch die KEV mehr stattfinden wird, weswegen die Einspeisesätze 2025 und 2030 in der nachstehenden Tabelle Marktpreise für eingespeisten Strom sind.

Einspeisevergütung für PV-Strom in Fr./kWh in den Jahren					
	2010	2015	2020	2025	2030
MFH	0.74	0.60	0.49	0.20	0.23
EFH	0.75	0.61	0.50	0.20	0.23
DL	0.70	0.57	0.47	0.20	0.23

Tabelle 17: Einspeisevergütung in Fr./kWh bei Halbierung der Absenkrate der KEV.

Figur 24 zeigt die Auswirkungen, welche diese Erhöhung der Solarstromvergütung auf die Wirtschaftlichkeit des Plusenergie-Standards (RW + WW) gegenüber MuKE n hat (am Beispiel MFH).

**«KEV-Reduktion von -4% statt -8% pro Jahr in den Jahren 2010 bis 2020: Gegenwartwert der Mehrkosten von Plusenergie gegenüber MuKE n pro m<sup>2</sup> EBF am Beispiel MFH»**



Figur 24: Verminderte KEV-Reduktion (-4% statt -8% p.a. für Neuanlagen) und Wegfall der KEV nach 2020: Gegenwartwert der Mehrkosten des Standards Plusenergie (RW + WW) gegenüber MuKE n pro m<sup>2</sup> EBF am Beispiel MFH (Zum Vergleich der Wirkungen siehe Figur 19).

Durch die Erhöhung der Einspeisevergütung (Halbierung der KEV-Reduktion) kann erreicht werden, dass die Mehrkosten der Plusenergie-Gebäude (RW + WW) bis ins Jahr 2020 auf rund 80 Fr./m<sup>2</sup> EBF sinken. Durch den modellierten Wegfall der KEV-Förderung nach 2020 und dem Verkauf des überschüssigen Solarstroms zu marktüblichen Produktionspreisen, verringern sich die Einnahmen aus dem Stromverkauf deutlich, sodass die Mehrkosten des Plusenergie-Standards in den Jahren 2025 und 2030 wieder merklich ansteigen.

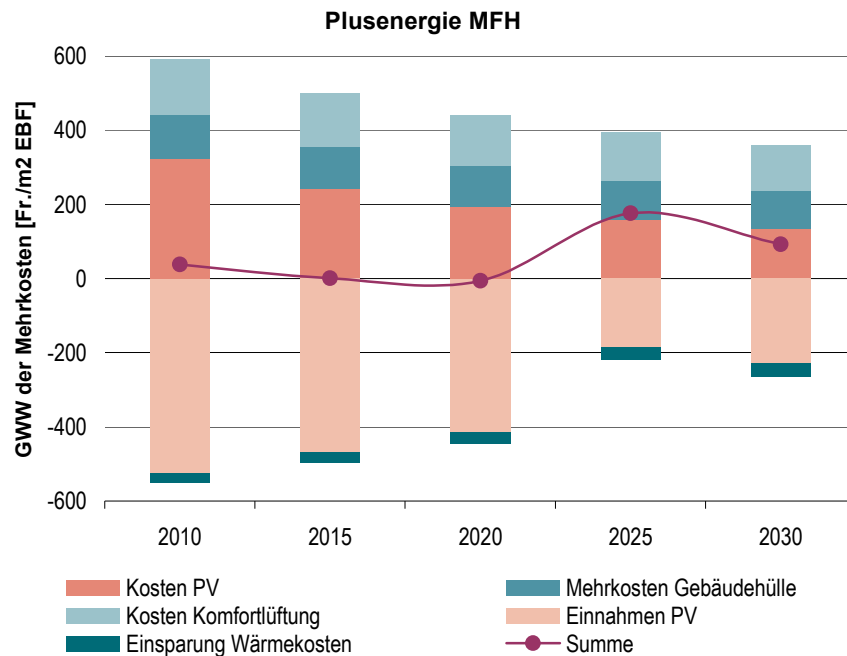
**Höherer PV-Modulwirkungsgrad und höhere Solarstromvergütung:**

Mit der Kombination der vorne stehenden Varianten können die Mehrkosten für Plusenergie-Gebäude (RW + WW) mit höherem PV-Modulwirkungsgrad und mit höherer Einspeisevergütung berechnet werden. Die für Figur 25 kombinierten Varianten sind:

- Höherer PV-Modulwirkungsgrad (generell um 4% höherer Wirkungsgrad: 16% im Jahr 2010 und linearer Anstieg auf 22% bis 2030)
- Höhere Solarstromvergütung (durch Verringerung der KEV-Absenkung von -8% auf -4% pro Jahr für Neuanlagen; resultierende Einspeisevergütungen siehe Tabelle 17)



«Höherer PV-Modulwirkungsgrad und höhere Solarstromvergütung: Gegenwartswert der Mehrkosten von Plusenergie gegenüber MuKE n pro m<sup>2</sup> EBF am Beispiel MFH »



econcept

Figur 25: Erhöhter PV-Wirkungsgrad und erhöhte Solarstromvergütung: Gegenwartswert der Mehrkosten des Standards Plusenergie (RW + WW) gegenüber MuKE n pro m<sup>2</sup> EBF am Beispiel MFH (Zum Vergleich der Wirkungen siehe Figur 19).

Die Figur zeigt, dass die Plusenergie-MFH bei Kombination der beiden Varianten «höherer PV-Modulwirkungsgrad» und «höhere Solarstromvergütung» in den Jahren 2015 bis 2020 die Wirtschaftlichkeit erreichen. Ohne KEV oder Solarstrombörsen ist nach 2020 – wenn die Einspeisung von Solarstrom mit normalen Produktionspreisen vergütet wird – wieder mit fehlender Wirtschaftlichkeit zu rechnen

### 6.3.5 Kostendifferenz des Technologieszenarios zum Basisszenario bei Änderung verschiedener Einflussfaktoren

Die Einfüsse verschiedener Einflussfaktoren auf den Gegenwartswert der Mehrkosten des Technologieszenarios gegenüber dem Basisszenario werden nachstehend aufgezeigt.

Zuerst wird jeder Einflussfaktor einzeln in den Szenarien variiert – in einem zweiten Schritt werden alle Einflussfaktoren gemeinsam variiert und ihre kombinierte Wirkung berechnet.

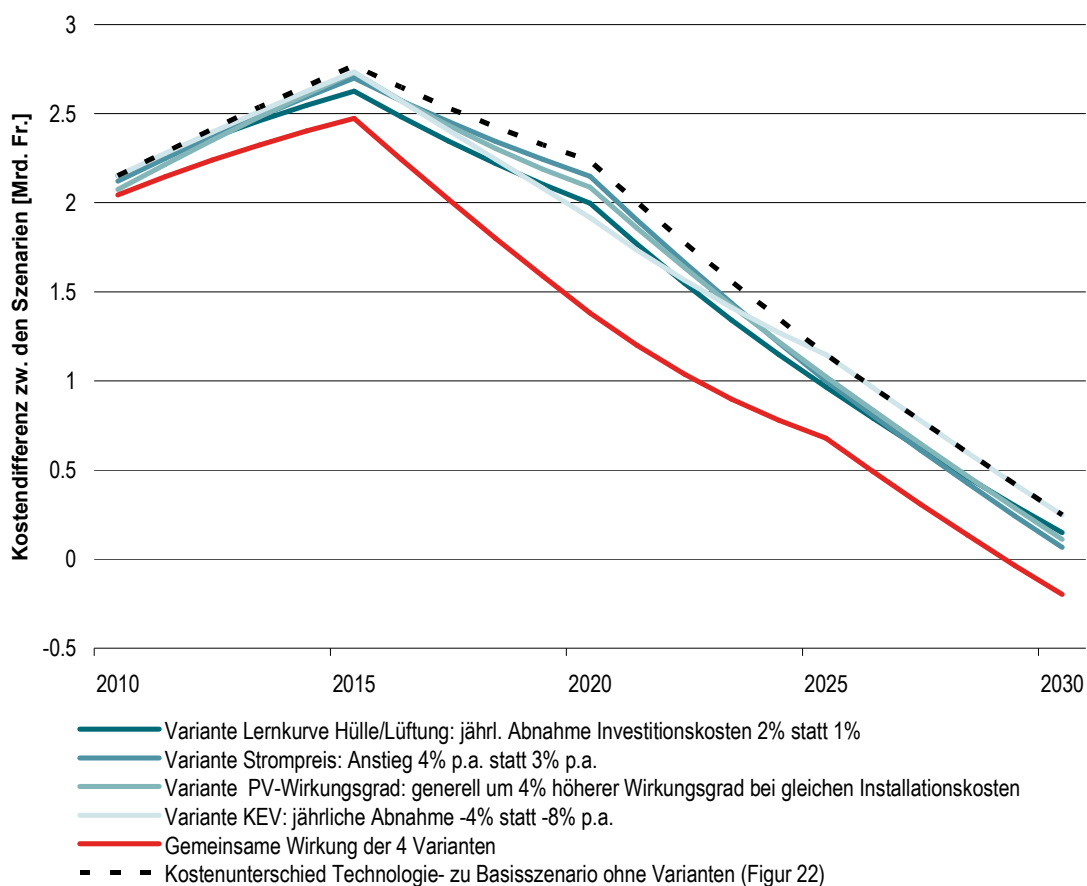
Es werden die folgenden Einflussfaktoren variiert:

- Jährliche Abnahme der Investitionskosten bei Gebäudehülle und Komfortlüftung: 2% statt 1%
- Strompreissteigerung zwischen 2010 und 2030: Preissteigerung 4% p.a. statt 3% p.a.
- Erhöhter PV-Modulwirkungsgrad: generell um 4% erhöhter Wirkungsgrad bei gleichen Installationskosten
- Verminderte Reduktion der Kostendeckenden Einspeisevergütung für Solarstrom: minus 4% statt minus 8% pro Jahr (KEV bis 2020)

Die Ergebnisse geben folglich Hinweise darauf, wie stark die Mehrkosten der umfassenden Realisierung energieeffizienter Baustandards im Technologieszenario durch Lern- und Skaleneffekte (Kostendegressionen), Strompreissteigerungen oder politische Massnahmen (Erhöhung KEV) für die Investierenden gegenüber dem Basisszenario in Zukunft sinken könnten.

Figur 26 zeigt die Ergebnisse dieser Variationen (die gestrichelte Linie in der Figur zeigt die Ausgangslage ohne Varianten; siehe Figur 22).

«Variation wichtiger Einflussfaktoren: Unterschiede im Gegenwartswert der Mehrkosten zwischen den Szenarien»



Figur 26: Gegenwartswert der Mehrkosten, die im Technologieszenario bei den im jeweiligen Jahr erstellten Neubauten während 30 Jahren gegenüber dem Basisszenario in Mrd. Franken resultieren: Kostendifferenzen zwischen dem Basis- und dem Technologieszenario für die Variation verschiedener Rahmenbedingungen in den Szenarien.

Alle betrachteten Faktoren verringern die Kostendifferenz zwischen den Szenarien, allerdings nur in begrenztem Ausmass. Falls die 4 dargestellten Varianten gleichzeitig eintreffen würden (rote Linie in der Figur), entstünden schon vor dem Jahr 2030 keine Mehrkosten durch Neubauten gemäss Technologieszenario mehr.



## 7 Fazit der Studie

### ***Wird der zukünftige Gebäudepark Energie erzeugen?***

Mit den in dieser Studie getroffenen Annahmen über die künftige Entwicklung des Anteils von Plusenergiebauten (für RW + WW) an den neuerstellten Gebäuden zeigt sich, dass im betrachteten Technologieszenario ab 2024 die dann neuerstellten Wohnbauten jährlich mehr Energie für Raumwärme und Warmwasser produzieren, als sie verbrauchen. Bei den Dienstleistungsbauten wird dies gemäss den Annahmen im Technologieszenario vor 2030 erreicht sein (Dienstleistungsbauten haben nur 0,11 m<sup>2</sup> Dachfläche/m<sup>2</sup> EBF für PV verglichen mit 0,25 m<sup>2</sup> der EFH, bzw. 0,27 m<sup>2</sup> der MFH). Die im Jahr 2030 neu erstellten Gebäude gemäss Technologieszenario produzieren dabei netto rund 50 GWh/a. Im Referenz- bzw. Basisszenario resultiert dagegen für die im Jahr 2030 gebauten Wohn- und Dienstleistungsgebäude ein zusätzlicher Netto-Energieverbrauch von rund 470 GWh/a.

Das Potenzial für Energieproduktion bei Neubauten besteht: Die künftigen Neubauten weisen genügend geeignete Dachflächen auf, um nicht nur ihren eigenen Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser solar zu decken, sondern noch zusätzlich als "Energieproduzenten" Energie ans Elektrizitätsnetz abgeben zu können (hier ohne Einbezug des Grauen Energieverbrauches). Zusätzliche Beiträge sind von Fassadenkollektoren sowie natürlich von PV auf bestehenden Bauten zu erwarten.

### ***Treibhausgasreduktionen durch die Reduktion des Wärmeverbrauches und die Produktion von Elektrizität im Gebäudebereich***

Die Unterschiede in den Energieeinsparungen zwischen dem Referenz- bzw. Basisszenario und dem Technologieszenario haben auch Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen. Der Einsatz von energieeffizienten Baustandards und Solarenergie verursacht bei der Wärmebereitstellung in den Gebäuden (für Raumwärme und Warmwasser) und der Einspeisung von Solarstrom in das öffentliche Netz je nach Szenario unterschiedlich hohe Treibhausgasreduktionen.

Die mit dem UCTE-Strommix vorgenommene Treibhausgas-Bilanzierung zeigt, dass bei einer stärkeren Internationalisierung des europäischen Stromhandels resp. einem möglicherweise zunehmenden Zukauf von UCTE-Strom durch die Schweiz, die Treibhausgas-Einsparungen mit dem Technologieszenario sehr gross sein können. Die Treibhausgasreduktionen im Technologieszenario liegen bei den im Jahr 2010 neu erstellten Bauten bei rund 230'000 t CO<sub>2</sub>-eq und steigen dann bei den im Jahr 2030 neu erstellten Bauten auf rund 800'000 t CO<sub>2</sub>-eq gegenüber dem Referenzszenario (vgl. Figur 17).

Nur schon die in der Studie betrachteten Neubauten in der Periode 2010 bis 2030 ergeben bei diesen Annahmen Treibhausgas-Minderungen, die sich bis 2030 auf rund 7 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-eq pro Jahr gegenüber einer Entwicklung gemäss Referenz- bzw. Basissze-

nario kumulieren. Diese im Vergleich hohe Treibhausgasreduktion durch den Neubaupark bis 2030 entsteht zu einem grossen Teil durch den von Plusenergie-Gebäuden (RW + WW) erzeugten Solarstrom und weniger durch die zusätzlichen Einsparungen beim Wärmeverbrauch. Letztere sind wie erwähnt relativ begrenzt, weil die MuKE 2008 schon einen relativ hohen energetischen Standard bei Neubauten verlangen.

### ***Und die Kosten für InvestorInnen? Mehr- oder Minderkosten der energieeffizienten Baustandards gegenüber dem neuen MuKE-Standard***

Mit den Berechnungen der Mehr- und Minderkosten kann die Wirtschaftlichkeit der untersuchten Baustandards Minergie, Minergie-P, Nullheizenergie und Plusenergie (RW + WW) abgeschätzt werden. Methodisch erfolgt die Abschätzung über den im Erstellungszeitpunkt resultierenden Barwert sämtlicher Kosten und Erträge der energetischen Massnahmen während 30 Jahren, wie sie bei den InvestorInnen/HausbesitzerInnen anfallen. In die Berechnungen eingegangen sind Mehrkosten für die besser gedämmten Gebäudehüllen, für die Komfortlüftung (inkl. Unterhalts- und Betriebskosten), Mehr- und Minderkosten für den Energiebedarf für die Wärmebereitstellung (Warmwasser und Raumwärme) und die Kosten und Erträge der Photovoltaikanlagen bei den Nullheizenergie- und Plusenergie-Gebäuden.

Für alle energieeffizienteren Baustandards ergeben sich mit den dem Berechnungsmodell zugrunde gelegten Annahmen (bezüglich Strompreisen, Realzinssatz, Solarstrahlung, Einspeisevergütung, Lernfaktoren, etc.) Mehrkosten gegenüber MuKE. Die Mehrkosten, gemessen als Gegenwartswert 2010 gegenüber MuKE, liegen für Neubauten im Jahr 2010 je nach Baustandard bei EFH zwischen 160 und 300 CHF/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>, bei MFH zwischen 160 und 240 CHF/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> und bei DL-Bauten zwischen 150 und 215 CHF/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>.

Die Komfortlüftung ist bei Minergie und Minergie-P der zentrale Mehrkostenfaktor gegenüber MuKE. Sie macht bei diesen Baustandards 88% resp. 55% der Mehrkosten aus. Bei Nullheizenergie und Plusenergie (RW + WW) beläuft sich der Anteil der Komfortlüftung an den Mehrkosten über 40 bis 50% resp. über 20 bis 30%.

Beim Minergie-P-Standard kommen zu den Kosten der Komfortlüftung noch relativ hohe Mehrkosten für die Gebäudehülle hinzu (zwischen 100 Fr./m<sup>2</sup> EBF für DL-Neubauten und 180 Fr./m<sup>2</sup> EBF für EFH, verglichen mit MuKE). Die eingesparten Energiekosten durch die verbesserte Wärmedämmung sind im Vergleich zur neuen MuKE aus dem Jahr 2008 relativ gering und können die Mehrkosten für die nochmals verbesserte Gebäudehülle von Minergie-P nicht kompensieren (sinkender Grenznutzen zusätzlichen Wärmeschutzes).

Bei den hier getroffenen Annahmen zu PV-Wirkungsgrad, genutzter Solareinstrahlung und Einspeisevergütung (KEV) sind die beiden Standards Nullheizenergie und Plusenergie (RW + WW) gegenüber dem gesetzlichen Standard MuKE 2008 nicht wirtschaftlich. Erst bei einem PV-Modulwirkungsgrad von 16% (und Investitionskosten von 1'080 Fr./m<sup>2</sup> PV) oder entsprechend reduzierten PV-Installationskosten erreichen Plusenergie-

Gebäude (RW + WW) im Jahr 2010 und 2015 in etwa die Wirtschaftlichkeit. Die geplante Absenkung der KEV macht den Plusenergie-Standard (RW + WW) nach 2015 aber auch bei hohen Modulwirkungsgraden unrentabel, es sei denn, die Modulkosten könnten zusätzlich deutlich gesenkt werden.

***Plusenergie-Gebäude vorläufig nur bei hohem Solarstromertrag und mit hoher Einspeisevergütung rentabel – neueste Angeboten zeigen jedoch, dass markant tiefere Anlagenkosten schon heute möglich sind und zusammen mit der KEV-Rentabilität ermöglichen.***

Für die Rentabilität von Plusenergie-Gebäuden (RW + WW) sind der Jahresertrag von eingespeistem PV-Strom und somit der Wirkungsgrad und die Investitionskosten entscheidend. Mit der KEV im Jahr 2010 nähern sich diese Plusenergie-Gebäude bei PV-Modulwirkungsgraden grösser 16% und PV-Investitionskosten unter 1'080 Fr./m<sup>2</sup> PV der Rentabilität (40 Fr./m<sup>2</sup> EBF Mehrkosten gegenüber MuKE).

Mit der geplanten KEV-Reduktion von -8% pro Jahr ab 2010 steigen jedoch die Mehrkosten von Neuanlagen auch mit gutem Wirkungsgrad und niedrigen Investitionskosten, es sei denn, die Modulkosten und/oder die Erträge könnten zusätzlich deutlich verbessert werden. Durch eine verringerte Absenkungen der KEV für Neuanlagen von z.B. -4% pro Jahr (statt -8%/a) erreichen Plusenergie-Gebäude (RW + WW) zwischen 2015 und 2020 mit hohem Solarstromertrag die Wirtschaftlichkeit.

Die markant tieferen Anlagenkosten für PV-Anlagen im umliegenden Ausland (D, A) deuten auf deutliche Kostensenkungspotenziale hin, die über die hier angenommenen Preisreduktionen bei der PV hinausgehen. Bei verstärktem Einbezug ausländischer Lieferanten und besser spielendem Markt könnten Plusenergiebauten (RW + WW) daher schon bald wirtschaftlich attraktiv werden. Es ist sogar anzunehmen, dass dies für grosse Überbauungen in der Schweiz bereits der Fall ist: so wurden im Jahr 2009 in der Schweiz PV-Grossanlagen zu Preisen und mit Wirkungsgraden offeriert (rund 800 Fr./m<sup>2</sup> PV und  $\eta = 19\%$ ), welche Plusenergie-Gebäude (RW + WW) – zu aktuellen KEV-Vergütungssätzen – wirtschaftlich werden lassen.

***Mehrkosten einer schnellen Entwicklung zu Minergie-P-, Nullheizenergie- und Plusenergie-Neubauten (Technologieszenario)***

Verglichen mit dem als Referenz dienenden Basisszenario nimmt der Gegenwartswert der Mehrkosten für die bis 2030 erstellten Neubauten im Technologieszenario von rund 2,8 Mrd. Fr. im Jahr 2015 kontinuierlich ab und nähert sich im Jahr 2030 dem Wert Null (Barwert der Mehrkosten der 2030 erstellten Neubauten während 30 Jahren, vgl. Figur 22). Diese Mehrkostenrechnungen sind realistisch-konservativ. Aufgrund der beispielsweise bei PV-Anlagen zu beobachtenden Preisdifferenzen zum Ausland rechnen wir bei

einer schnelleren Marktentwicklung mit grösseren Kostendegressionen. Zudem könnten die Energiepreise durchaus schneller steigen als hier angenommen.

Wichtige Einflussfaktoren auf die Mehrkosten wurden in den Szenarien einzeln variiert, um die Sensitivität der Mehrkosten des Technologieszenarios zu ermitteln. Einflussfaktoren, welche gleichzeitig in beiden Szenarien variiert wurden:

- Jährliche Abnahme der Investitionskosten bei Gebäudehülle und Komfortlüftung: 2% statt 1%
- Strompreissteigerung zwischen 2010 und 2030: Preissteigerung 4% p.a. statt 3% p.a.
- Erhöhter PV-Modulwirkungsgrad: generell um 4% erhöhter Wirkungsgrad bei gleichen Installationskosten
- Verminderte Reduktion der Kostendeckenden Einspeisevergütung für Solarstrom: minus 4% statt minus 8% pro Jahr (KEV-Laufzeit bis 2020)

Die Variation dieser Kostenfaktoren im angegebenen Umfang zeigt, dass keiner der Faktoren für sich allein einen bestimmenden Einfluss auf die Mehrkosten des Technologieszenarios hat (Figur 26). Nur wenn die kostensenkenden Einflüsse auf das Technologieszenario kombiniert werden, resultieren circa ab dem Jahr 2030 Minderkosten mit dem Technologieszenario.

### ***Die künftigen Dienstleistungs-Neubauten haben eine grössere Bedeutung für die Umweltwirkungen und die anfallenden Mehrkosten bei den Neubauten***

Aufgrund ihres hohen Anteils an den jährlich neugebauten Energiebezugsflächen in der Schweiz, haben die Dienstleistungsgebäude eine grössere Bedeutung für Energieeinsparungen, Treibhausgasreduktionen und Mehrkosten der Neubauten als die Wohngebäude. Die jährlich neuerstellten Energiebezugsflächen in Wohngebäuden liegen zwischen 30% (im Jahr 2010) und 25% der neugebauten Gebäudeflächen (im Jahr 2030). Zur Abschöpfung des Einsparpotenzials in Neubauten durch die Realisation besonders energieeffizienter Baustandards sollten folglich die Dienstleistungsgebäude besonders beachtet werden.

### ***Was bei anspruchsvollen energetischen Standards beachtet werden muss***

#### *Kompakte Gebäude hoher architektonischer Qualität:*

Der Hüllfaktor (Verhältnis Aussenfläche zu EBF) ist ein zentraler Einflussfaktor für wirtschaftlich realisierbare Niedrig- oder Plusenergiebauten. Zeyer (2008) zeigt zwar auf, dass auch komplexe Gebäudehüllen technisch auf den Minergie-P-Standard gebracht werden können, allerdings verbunden mit hohen Kosten. Die hier geforderten Lösungen stellen eine zusätzliche Herausforderung für Architekten und Planer dar. Es gilt das Architektur- und Design-Paradigma des letzten Jahrhunderts «Form follows Function» zu erweitern und auf energetisch hervorragende Bauten anzuwenden. Neu müssten ferner



kompakte Bauten mit hervorragenden energetischen Eigenschaften und hoher Ausführungsqualität auch architektonisch attraktiv gestaltet werden. Diverse Beispiele zeigen, dass dies möglich ist (Kapitel 4). Die Herausforderung wird sein, die Branche und nicht Einzelne auf dieses Niveau zu bringen.

*Kostengünstige Realisierung hoher Standards: Detailpflege und Know-how!*

Zeyer (2008) demonstriert die Bedeutung der passiven Solarnutzung bei kostengünstigen Minergie-P, Nullheizenergie- und Plusenergiebauten. Gebäudausrichtung, sommerlicher Wärmeschutz, konsequente Elimination von Wärmebrücken, Verteilung der Fensterflächen, etc. spielen eine sehr grosse Rolle und müssen beachtet werden, um Kosten tief zu halten. Wie bereits oben erwähnt, stellen diese Aufgaben zum Teil neue Anforderungen an die Fachleute dar. Die Lösungen sind vorhanden, die Ansprüche sind einlösbar, ohne die erforderliche Weiterbildung droht aber die Gefahr von unzuweckmässigen und/oder zu teuren Lösungen.

*Die Komfortlüftung – Kostenfaktor oder Komfort- und Qualitätselement*

Die Kostenberechnungen zeigen, dass die Mehrkosten bei Minergie und Minergie-P zu 50 - 90% von den Komfortlüftungen verursacht werden. Dazu ist zu bemerken, dass auch ein MuKE-Gebäude dicht ist und daher die Lüftungsfrage lösen müsste: Primär müsste auch hier eine Komfortlüftung gefordert werden, es sei denn, es werden andersartige Lüftungslösungen entwickelt, die zuverlässig, machbar und nicht mit grossen Energieverlusten verbunden sind.



# Anhang

## A-1 Tabellen

### A-1.1 Verbrauchsszenarien Rahmenbedingungen

#### **Wohnungszugänge 1991 bis 2035**

(in 1000)	1991	2000	2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Wohnungszugang	42.1	34.1	35.1	41.3	35.0	35.0	32.8	30.9	30.0
in Wohngebäuden mit 1-2 Wohneinheiten	12.7	16.2	14.1	16.3	14.9	14.6	13.7	12.9	12.3
in Wohngebäuden mit 3+ Wohneinheiten	27.8	17.2	20.2	24.3	19.5	19.8	18.4	17.4	17.1
in sonstigen Gebäuden mit Wohneinheiten	1.6	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6

Tabelle 18 Die Tabelle zeigt die geschätzten und bereits erhobene Werte für die Neubautätigkeit im Wohnungsbereich von 1991 bis 2035. Die Werte wurden aufgeschlüsselt nach Ein- bis Zweifamilienhäuser, Wohngebäude mit mehr als drei Wohneinheiten und in andere Gebäude mit Wohneinheiten. (Hofer 2007)

#### **Neue Energiebezugsfläche im Wohnungsbereich 1991 bis 2035**

(Mio. m <sup>2</sup> )	1991	2000	2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Neuerstellte Energiebezugsfläche	4.62	4.15	4.00	4.70	4.12	4.16	3.92	3.71	3.63
in Wohngebäuden mit 1-2 Wohneinheiten	1.84	2.49	2.10	2.43	2.25	2.21	2.08	1.95	1.86
in Wohngebäuden mit 3+ Wohneinheiten	2.62	1.58	1.81	2.19	1.81	1.87	1.76	1.69	1.70
in sonstigen Gebäuden mit Wohneinheiten	0.17	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07

Tabelle 19 Den grössten Teil der im Wohnbereich neuerstellten Energiebezugsfläche machen die Ein- und Zweifamilienhäuser aus. Die neu gebaute Fläche sinkt ab etwa 2015 kontinuierlich. (Hofer 2007)

#### **Neue Energiebezugsfläche im Dienstleistungssektor 1990 bis 2030**

(Mio. m <sup>2</sup> )	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Handel	2.6	2.1	2.2	2.4	2.6	2.5	2.4	2.4	2.3
Banken, Versicherungen	0.9	0.4	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6	0.4
Gastgewerbe	0.8	0.6	0.8	0.9	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Unterricht	1.9	2.0	2.2	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.7
Gesundheitswesen	1.6	1.7	2.1	2.2	2.2	2.3	2.2	2.2	2.3
übrige DL	7.3	5.5	6.3	6.7	7.2	7.1	7.0	6.9	7.0
Total	15.0	12.3	13.7	15.3	16.4	16.3	15.8	15.8	15.8

Tabelle 20 Für die unterschiedlichen Bereiche im Dienstleistungssektor verläuft die Entwicklung der neugebauten Energiebezugsfläche unterschiedlich. So bleibt der Zubau im Bereich Unterricht über die nächsten Jahre ungefähr konstant, während die «übrigen DL» ihren Höhepunkt 2010 haben und bis 2030 ein kleineres Wachstum haben.

## A-1.2 Kenngrößen energieeffizienter Gebäude

### A-1.2.1 Mehrfamilienhäuser

#### **Technische Daten Mehrfamilienhaus in Bennau, Plusenergie**

Mehrfamilienhaus in Bennau	EBF: 1'380 m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> a	%	kWh/a
<b>Energiebedarf</b>				
Heizung		13.8	31	19'000
Warmwasser		16.7	37	23'000
Elektrizität		14.5	32	20'000
<i>Gesamtenergiebedarf</i>		<i>45.0</i>	<i>100</i>	<i>62'000</i>
<b>Eigenenergieerzeugung</b>				
Solarthermie (146 m <sup>2</sup> )		205	43	30'000
Photovoltaik (261 m <sup>2</sup> , 32 kWp)		123	46	32'000
Solarenergieerzeugung total		49	100	62'000
Umweltwärme				6'000
Abwasser WRG				2'000
<b>Energiebilanz pro Jahr</b>				
Energiebedarf		45	59	62'000
Eigenenergieerzeugung		51	110	70'000
Holzzufuhr		5	11	7'000

Tabelle 21 Tabelle der technischen Daten zum Plusenergie-Gebäude in Bennau (SZ) (SAS 2009).

#### **Technische Daten Mehrfamilienhaus in Wil, Minergie-P**

Mehrfamilienhaus in Wil Haus 3	EBF: 776 m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> a	%	kWh/a total
<b>Energiebedarf</b>				
Heizung	Wärmepumpe	12.8	37	9'933
Warmwasser		8.0	23	6'208
Elektrizität		13.7	40	10'631
<i>Gesamtenergiebedarf</i>		<i>34.5</i>	<i>100</i>	<i>26'772</i>
<b>Eigenenergieerzeugung</b>				
Photovoltaikanlage		8.6	36	6'700
Umweltwärme der WP (abzüglich Stromverbrauch)		15.6	64	12'105
<i>Eigenenergieerzeugung total</i>		<i>24.2</i>	<i>100</i>	<i>18'805</i>
<b>Energiebilanz pro Jahr</b>				
Gesamtenergiebedarf		34.5	100	26'772
Energieerzeugung		24.2	70	18'805
Fremdenergiezufuhr		10.3	30	7'967
<b>Mehrkosten</b>			7	270'000 CHF

Tabelle 22 Tabelle der technischen Daten zum Minergie-P-Haus in Wil (SG). Das Haus gewinnt mehr als zwei Drittel der benötigten selber. (SAS 2006)

## A-1.2.2 Ein- und Zweifamilienhäuser

**Technische Daten Einfamilienhaus in Riehen, Plusenergiehaus**

Einfamilienhaus in Riehen	EBF: 315 m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> a	%	kWh/a (Strom Wärmepumpe)	kWh/a total
<b>Energiebedarf</b> WP-JAZ: 3.1/2.7					
Heizung		11.4	16.4	1'158	3'591
Warmwasser		13.9	7.8	548 <sup>25</sup>	4'379
Elektrizität		17.0	75.8	5'355	5'355
<i>Gesamtenergiebedarf</i>		42.3	100.0	7'061	13'325
<b>Eigenenergieerzeugung</b>					
Solarenergieerzeugung thermisch	7.8 m <sup>2</sup>	9.2	15.7		2'900
Solarenergieerzeugung PV	84 m <sup>2</sup> , 14.4 kW <sub>p</sub>	49.5	84.3		15'600
<i>Eigenenergieerzeugung total</i>		58.7	100.0		18'500
<b>Energiebilanz pro Jahr</b>					
Gesamtenergiebedarf		42.3			15'585
Gesamtenergiebedarf WP berücksichtigt		22.4	100	7'061	
<i>Eigenenergieerzeugung</i>		58.7	262		18'500
Strombedarf			100	7'061	
Stromerzeugung			221	15'600	
Stromüberschuss			121	8'539	

Tabelle 23 Tabelle der technischen Daten zum Plusenergiehaus in Riehen (BS). Das Haus speist netto über das Jahr betrachtet mehr Strom ins Netz ein, als das es selber benötigt. (SAS 2008)

**Technische Daten Reiheneinfamilienhäuser in Allschwil, Minergie-P**

Reiheneinfamilienhaus Allschwil Block 1	EBF: 890 m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> a	%	kWh/a total
<b>Energiebedarf</b>				
Heizung	BHKW Gas, Gas	9.4	36	8'366
Warmwasser		13.9	53	12'371
Elektrizität		3.0	11	2'670
<i>Gesamtenergiebedarf</i>		26.3	100	23'407
<b>Eigenenergieerzeugung</b>				
Solarenergieerzeugung thermisch		4.7	20	4'147
<i>Eigenenergieerzeugung total</i>			20	4'147
<b>Energiebilanz pro Jahr</b>				
Gesamtenergiebedarf		26.3	100	23'407
Energieerzeugung		4.7	18	4'147
Fremdenergiezufuhr		21.6	82	19'260
<b>Mehrkosten</b>			3-5	

Tabelle 24 Tabelle der technischen Daten zum Plusenergiehaus in Riehen (BS). Das Haus speist netto über das Jahr betrachtet mehr Strom ins Netz ein, als das es selber benötigt. (SAS 2008)

<sup>25</sup> (4'379 - 2'900) : 2,7 = 548

## A-1.2.3 Dienstleistungsbauten

**Technische Daten Verwaltungsgebäude in Kempththal, Minergie-P-ECO, Nullenergie**

Verwaltungsgebäude in Kempththal	EBF: 1'516 m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> a	%	kWh/a
<b>Energiebedarf</b>				
Heizung	Erdsonden WP: 16 kW	7.9	30	11'975
Warmwasser	Erdsonden WP: 16 kW	4.0	15	6'065
Elektrizität Bürobetrieb		14.5	55	21'960
<i>Gesamtenergiebedarf</i>		26.4	100	40'000
<b>Eigenenergieerzeugung</b>				
Solarenergieerzeugung total	PV, Dünnschichtzellen mit $\eta = 8\%$	26.4	100	40'000
<i>Eigenenergieerzeugung total</i>		26.4	100	40'000
<b>Energiebilanz pro Jahr</b>				
Energiebedarf		26.4	100	40'000
Eigenenergieerzeugung		26.4	100	40'000
Fremdenergiezufuhr	Stromnetz als Puffer	0	0	0

Tabelle 25 Tabelle der technischen Daten zum Minergie-P-ECO-Haus in Kempththal (ZH). Die benötigte Energie wird mit einer Dünnschichtphotovoltaikanlage gewonnen. (SAS 2007)

## A-1.2.4 Siedlungen

**Technische Daten zum «Eulachhof» in Winterthur, Null-Heizenergie, Minergie-P-eco**

Gebäude «Eichgut»	EBF: 20'400 m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup> a	%	kWh/a total
<b>Gemischte Nutzung</b>				
<b>Energiebedarf</b>				
Heizung	WP, KVA	13.3	29	270'600
Warmwasser	WP	16.1	35	327'700
Elektrizität		17.0	37	346'800
<i>Gesamtenergiebedarf</i>		46.4	100	946'600
<b>Eigenenergieerzeugung</b>				
Photovoltaikanlage	176 kW <sub>p</sub>	8.0	27	164'000
Solar erzeugte Umweltwärme		18.8	64	383'200
Energiegewinn aus eigenem Siedlungsabfall		2.5	9	51'000
<i>Eigenenergieerzeugung total</i>		29.3	100	598'200
<b>Energiebilanz pro Jahr</b>				
Gesamtenergiebedarf		46.4	100	946'600
Energieerzeugung		26.8	58	547'200
KVA-Wärmebezug		2.5	5	51'000
Fremdenergiezufuhr		17	37	348'400

Tabelle 26 Tabelle der technischen Daten zur Null-Heizenergiesiedlung in Winterthur (ZH). Das Haus generiert rechnerisch gleich viel Heiz-Energie, wie für im Jahresdurchschnitt benötigt wird. (SAS 2007)

## A-1.3 Annahmen Energieszenarien

### Basisszenario: Anteile der Energiestandards

Energiestandard	Anteil 2010	Anteil 2015	Anteil 2020	Anteil 2025	Anteil 2030
MuKE n 2008	77%	62%	44%	14%	0%
Minergie	20%	30%	40%	50%	40%
Minergie-P	2%	4%	8%	20%	30%
Nullheizenergie	0.5%	2%	4%	8%	15%
Plusenergie (RW + WW)	0.5%	2%	4%	8%	15%

Tabelle 27 Die Anteile der einzelnen Energiestandards am Neubauvolumen für das Basisszenario von 2010 bis 2030.

### Technologieszenario: Anteile der Energiestandards

Energiestandards	Anteil 2010	Anteil 2015	Anteil 2020	Anteil 2025	Anteil 2030
MuKE n 2008	20%	0%	0%	0%	0%
Minergie	50%	10%	0%	0%	0%
Minergie-P	20%	79%	50%	30%	20%
Nullheizenergie	5%	5%	25%	35%	35%
Plusenergie (RW + WW)	5%	6%	25%	35%	45%

Tabelle 28 Die Anteile der einzelnen Energiestandards am Neubauvolumen für das Technologieszenario von 2010 bis 2030.

## A-1.4 Gegenwartswert der Mehrkosten der Baustandards

	2010	2015	2020	2025	2030	
<b>Minergie</b>						
Minergie MFH	160	152	143	133	124	Fr./m <sup>2</sup> EBF
Minergie EFH	163	154	143	133	122	Fr./m <sup>2</sup> EBF
Minergie DL	149	141	132	122	113	Fr./m <sup>2</sup> EBF
<b>Minergie-P</b>						
Minergie-P MFH	242	230	215	201	186	Fr./m <sup>2</sup> EBF
Minergie-P EFH	295	280	261	244	226	Fr./m <sup>2</sup> EBF
Minergie-P DL	215	203	189	175	161	Fr./m <sup>2</sup> EBF
<b>Nullheizenergie</b>						
Null'E MFH	218	215	210	203	176	Fr./m <sup>2</sup> EBF
Null'E EFH	271	265	256	246	217	Fr./m <sup>2</sup> EBF
Null'E DL	203	196	187	176	154	Fr./m <sup>2</sup> EBF
<b>Plusenergie (RW + WW)</b>						
Plus'E MFH	169	178	195	212	134	Fr./m <sup>2</sup> EBF
Plus'E EFH	220	226	238	254	178	Fr./m <sup>2</sup> EBF
Plus'E DL	194	188	185	179	140	Fr./m <sup>2</sup> EBF

Tabelle 29: Gegenwartswert der Mehrkosten gegenüber MuKE n im Jahr der Erstellung.

## Literatur

- Aebischer 2007      Aebischer, B; Catenazzi, G; 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; März 2007
- ARGE SAR 2008      Nachhaltige Architektur: Minergie-P und Plusenergiebauten für Mehrfamilienhäuser in Andermatt; 175% Eigenenergieversorgung; Band 2; ARGE Solar Agency Research: G. Cadonau, B. Kämpfen, G. Fent, Zürich/Will 2008
- BAFU 2008            Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990 - 2006, National Inventory Report, Submissions of 15 April 2008, Bundesamt für Umwelt, 2008
- BFE 2004            Zukünftige Entwicklung der Energiebezugsflächen Perspektiven bis 2035, Wüest & Partner im Auftrag des BFE, 2004
- BFE 2005            Technologie-Monitoring, Weitere Bereiche – Vertiefungen; econcept & Eicher+Pauli im Auftrag des Bundesamts für Energie, 2005
- B&H 2009            Erfolgskontrolle Wohnsiedlung Werdwies, Schlussbericht; Basler & Hoffmann, 2009
- Bundesamt für Energie 2007      Bundesamt für Energie, Die Energieperspektiven 2035 – Band 4 Exkurse, Bern; Juni 2007
- BFE 2008            Betriebs- und Unterhaltskosten von PV-Anlagen, Schlussbericht, Enecolo AG, Envision und BE Netz AG im Auftrag des BFE, 2008
- BFE 2007            Die Energieperspektiven 2035 – Band 5; Analyse und Bewertung des Elektrizitätsangebotes; BFE 2007
- CS 2009            Swiss Issues Immobilien, Immobilienmarkt 2009, Fakten und Trends, Credit Suisse Economic Research, Zürich, 2009
- Dyakonov 2008      Vortrag zu Photovoltaik, Vladimir Dyakonov, Energieforschung Uni Würzburg und ZAE Bayern; Energiekongress der Bayerischen Staatsregierung, München, 4.6.2008
- EC 2006            Directorate-General for Research, European Commission; World Energy Technology Outlook – 2050: WETO-H<sub>2</sub>; Luxemburg; 2006
- EVD 2009            Website des Preisüberwachers zu den Strompreisen des eidgenössischen Volkswirtschaftsdepartement EVD:  
<http://strompreise.preisueberwacher.ch/web/index.asp>
- ewz 2009            Telefonische Auskunft der Solarstrombörse des Elektrizitätswerk der Stadt Zürich, Juni 2009



Frischknecht 2008	Frischknecht, R; Tuchschnid, M; Primärenergiefaktoren von Energiesystemen; esu-services, Uster; Juni 2008
Gutschner, Novak 1998a	Das Photovoltaik-Potential im Gebäudepark der Stadt Zürich, Zusammenfassung der Analyse des Flächenpotentials und der wirtschaftlichen, technischen und rechtlichen Indikatoren, St. Ursen, 1998
Gutschner, Novak 1998b	Potentiel Photovoltaïque dans le Canton de Fribourg; Résumé de l'Analyse du Potentiel Photovoltaïque dans le Parc des Bâti-ments du Canton de Fribourg, St. Ursen, 1998
Hirschberg 2005	Hirschberg, S; Bauer, C; Burgherr, P; Durisch, W; Hardegger, P; Foskolos, K; Meier, A; Schenler, W; Stucki, S; Vogel, F; Biollaz, S; Schulz, T; Neue erneuerbare Energien und neue Nuklearan-lagen: Potenziale und Kosten; PSI; 5232 Villigen; Mai 2005
Hofer 2007	Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte, 1990-2035: Er-gebnisse der Szenarien I bis IV und der zugehörigen Sensitivitä-ten BIP hoch, Preise hoch und Klima wärmer; Prognos im Auf-trag BFE; Bern; Mai 2007
Hostettler 2008	Hostettler, T; Solarstromstatistik 2007 mit markantem Zubau; 3005 Bern; August 2008
IEA 2006	Birol F.; et al.; World Energy Outlook 2006, International Energy Agency, Paris; 2006
Jakob et al. 2002	Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzmassnahmen in Wohngebäuden; M. Jakob, E. Jochem, K. Christen, im Auftrag BFE, 2002
Jakob et al. 2006	Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten, Martin Ja-kob, Eberhard Jochem, Andrea Honegger, Andreas Baumgartner, Urs-Peter Menti, Iwan Plüss, Stefan Gasser, im Auftrag BFE, 2006
Jauch 2007	Jauch, F; Tscharner, R; Markterhebung Sonnenenergie 2007: Teilstatistik der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien, SwissSolar, 8005 Zürich; Juni 2007
Lang 2004	Lang, G; 1000 Passivhäuser in Österreich, Passivhaus Objekt-datenbank; Wien; März 2004
Nova Energy 2009	Telefonische Auskunft der Nova Energy GmbH, Juli 2009
Novatlantis 2008	Nachhaltige Stadt Zürich – auf dem Weg zur 2'000-Watt-Gesellschaft; Anhang 2: Berechnungen für die Schweiz, Novat-lantis 2008
Nowak 2005	Nowak, S; Solarstrom - eine Wachstumstechnologie, Fakten und Zahlen; Uster; September 2005
Rieder 2005	Rieder, S; Balthasar, A; Eichhammer, W; Reichert, J; Internatio-

- naler Vergleich von Energiestandards im Baubereich; 6003 Luzern; März 2005
- Rieder 2006 Rieder, S; Lienhard, A; Kaufmann, P. Gebäudeausweis in der Schweiz: mögliche Vollzugsmodelle. Bern; Oktober 2006
- Rieder 2007 Rieder, L; Kaufmann, P; Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte, 1990-2035: Gebäudeausweis in der Schweiz: mögliche Vollzugsmodelle; Bern; Oktober 2006
- SAFEL 2005 Switzerland's Fourth National Communication under the UNFCCC, SAFEL 2005
- SATW 2007 Hintergrundinformationen: Grundlagen und Modellrechnungen zur Road Map Erneuerbare Energien Schweiz; SATW 2007
- Solar Agentur 2007/2008 Publikationen zum 17. und 18. Schweizer Solarpreis / Europäischem Solarpreis; Solar Agentur 2007 und 2008
- Solar Agentur 2009 Schriftliche Mitteilung der Solar Agentur vom November 2009
- Sweetnam 2008 Sweetnam, G.; Doman, L.; International Energy Outlook 2008, Energy Information Administration USA, Washington DC; September 2008
- SwissSolar/BFE 2007 Photovoltaik, Strom aus der Sonne; SwissSolar und BFE, Zürich 2007
- VSE 2008 Bulletin SEV/VSE 8/2008: «Solarstromstatistik 2007 mit markantem Zubau», VSE 2008
- WEC 2007 World Energy Council, Deciding the Future: Energy Policies Scenarios to 2050; London; 2007
- Zeyer 2008 Die Wirkungen von MuKE, Minergie und Minergie-P; Kombinierte Energie und Kostensimulation zur Untersuchung der Auswirkungen des Bauherrenentscheides für einen Standard bezüglich Kosten; Schlussbericht, Christian Zeyer im Auftrag BFE, 2008

# Glossar

## Abkürzungen

$A_{th}$	Gebäudehüllfläche
BIP	Bruttoinlandprodukt
BOS	«balance of system»: Systemeinbindung von PV- oder Sonnenkollektoranlagen (Dach/Fassade sowie Sanitär/Elektrizität)
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CO <sub>2</sub> -eq	CO <sub>2</sub> -Äquivalente (Treibhausgaspotenzial, welches neben CO <sub>2</sub> noch weitere Treibhausgase (wie CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O etc.) berücksichtigt)
DL	Dienstleistungssektor
EBF	Energiebezugsfläche (neue Abkürzung gemäss SIA: A <sub>E</sub> )
EFH	Einfamilienhaus
Fr.	Franken
GWW	Gegenwartswert
JAZ	Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen
LRV	Luftreinhalteverordnung
MFH	Mehrfamilienhaus
MuKE	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
PV	Photovoltaik
Q <sub>h</sub>	Heizwärmebedarf
Q <sub>h,li</sub>	Grenzwert Heizwärmebedarf
RW	Raumwärme
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Tsd.	Tausend
UCTE	Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity (deutsch: Union für die Koordinierung des Transports von Elektrizität)
WW	Warmwasser

## Physikalische Einheiten

a	Jahr
g	Gramm
kW	Kilowatt = 1'000 Watt; Mass für die Leistung
kWh	Kilowattstunde; Energiemass
MWh	Megawattstunde; Energiemass; entspricht 1'000 kWh
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
GWh	Gigawattstunde; Energiemass, entspricht 1'000 MWh = 1 Mio. kWh
t	Tonne

