

Februar 2005

Kosten und Nutzen von Solarenergie in energieeffizienten Bauten

Zusammenfassung

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern

Auftragnehmer:

INFRAS, Gerechtigkeitsgasse 20, 8039 Zürich

Ernst Schweizer AG, 8908 Hedingen

Bureau d'Etudes Keller-Burnier, Ch. du Renolly 12, 1175 Lavigny

Autoren:

Stefan Kessler, Infrac

Rolf Iten, Infrac

Anna Vettori, Infrac

Andreas Haller, Ernst Schweizer AG

Markus Ochs, Ernst Schweizer AG

Lucien Keller, Bureau d'Etudes Keller-Burnier

Begleitgruppe:

Ruedi Meier, Projektbegleiter Bundesamt für Energie BFE

Gallus Cadonau, Solar Agentur Schweiz

Reto Dettli, Econcept

Lukas Gutzwiller, Programm EWG, Bundesamt für Energie BFE

Martin Jakob, CEPE, ETH Zürich

Eberhard Jochem, CEPE, ETH Zürich

Pascal Previdoli, Bundesamt für Energie BFE

Arthur Sigg, Anliker GU

Karl Viridén, Viridén und Partner AG

Urs Wolfer, Bundesamt für Energie BFE

Mark Zimmermann, BFE Programmleiter Gebäude, EMPA

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogramms „Energiewirtschaftliche Grundlagen“ des Bundesamts für Energie BFE erstellt. Für den Inhalt ist allein der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen · Postadresse: CH-3003 Bern

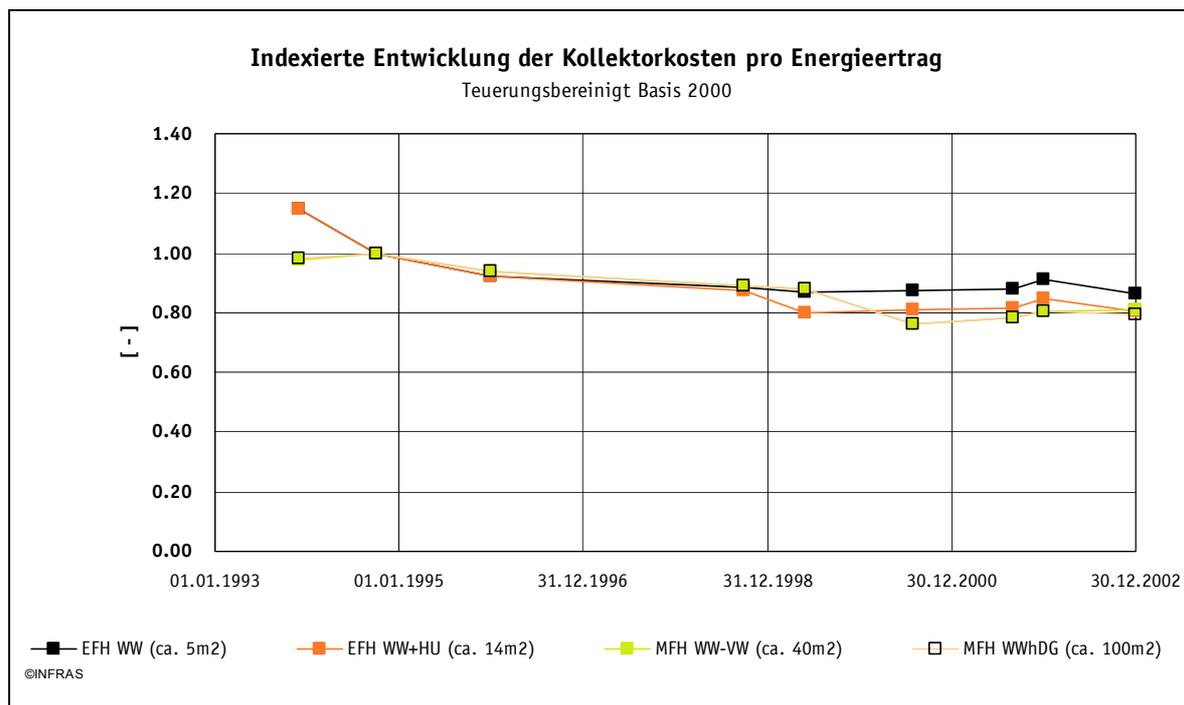
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 · office@bfe.admin.ch · www.ewg-bfe.ch

Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Studie werden die Potenziale und Hemmnisse für die Nutzung der Solarenergie im Marktsegment der energieeffizienten Neubauten und Sanierungen vertieft untersucht und Lösungen für die effiziente Stärkung der Solarenergie im Rahmen der energieeffizienten Bauweise vorgeschlagen. Die Methodik stützt stark auf das Konzept der Lernkurven ab. Betreffend Potenzial der aktiven Solarnutzung im schweizerischen Gebäudepark wurden keine eigenen Untersuchungen ange stellt, sondern es wurde auf die bestehenden Arbeiten abgestützt, welche aufzeigen, dass das Potenzial grundsätzlich sehr gross ist.

Entwicklung der Kosten von Solarkollektoranlagen seit 1990

In einem ersten Untersuchungsteil wird die Vergangenheitsentwicklung der Kosten für Komponenten und Gesamtsysteme von Solarkollektoranlagen in der Schweiz analysiert. Dazu werden Literaturrecherchen durchgeführt und verschiedene empirische Datengrundlagen untersucht. Es zeigt sich, dass es schwierig ist, differenzierte Aussagen zu den Lerneffekten auf verschiedenen Wertschöpfungsstufen von Solarkollektoranlagen zu gewinnen. Einzig für die Basistechnologie (d.h. die Solarkollektoren) und die Gesamtsysteme sind für den Schweizer Markt empirisch hinreichend gestützte Aussagen möglich. Die Analyse der vorhandenen Daten zeigt, dass in der Vergangenheit sowohl bei den Kollektoren als auch bei den Gesamtsystemen bedeutende Kostensenkungen erzielt worden sind. Die Figur Z-1 zeigt die Kostenentwicklung, wie sie sich bei einem namhaften Schweizer Hersteller von Solarkollektoren ergeben hat. Die Analyse zweier Förderprogramme des Bundesamtes für Energie zeigt eine sehr ähnliche Kostenentwicklung für die Gesamtsysteme.



Figur Z-1: Indexierte Entwicklung der energiebezogenen Kollektorkosten (Quelle: Ernst Schweizer AG).

Aus den analysierten Datenbeständen lässt sich für den Schweizer Markt für thermische Solaranlagen ein Progress Ratio von rund 0.86 ableiten. Mit jeder Verdoppelung der kumulierten Produktionserfahrung wurde damit eine relative Verbilligung der Energiegestehungskosten von 14% erreicht. Dieser Wert stimmt gut überein mit Analysen von ausländischen Märkten, allen voran dem Markt für Solarkollektoranlagen in Deutschland. In den letzten 10 Jahren sind die Kosten der Energie aus thermischen Solaranlagen in der Schweiz um rund 20% gesunken. Neben den Produktivitätsfortschritten bei der Kollektorfertigung und Kostenverbilligungen bei Planung und Montage hat dazu auch die Erhöhung der Kollektorwirkungsgrade durch technische Verbesserungen beigetragen.

Aufgrund unserer Analysen gehen wir davon aus, dass die Preise für Solarkollektoranlagen in der Schweiz sich in Zukunft noch verstärkt an der Entwicklung der Märkte im nahen Ausland und damit auch an den dort realisierten Lerneffekten und Preisentwicklungen orientieren werden, wie es bei der Photovoltaik bereits heute ausgeprägt der Fall ist.

Zukünftige Kosten der aktiven Solarnutzung

Der zweite Teil der Untersuchung untersucht die heutigen und zukünftigen Kosten der aktiven Nutzung von Solarenergie in energieeffizienten Bauten. Dazu werden umfassende Modellrechnungen für den Zeitraum bis zum Jahr 2030 angestellt. Für die Charakterisierung der energieeffizienten Bauweise wird auf die in der Schweiz etablierten Standards Minergie- und Minergie-P abgestützt. Als Referenzgebäude werden ein Einfamilienfamilienhaus mit 180m² EBF und ein Mehrfamilienhaus mit 1'280m² EBF in Minergie- und Minergie-P-Ausführung verwendet. Zusätzlich werden jeweils eine Sanierungs- und eine Neubauvariante unterschieden.

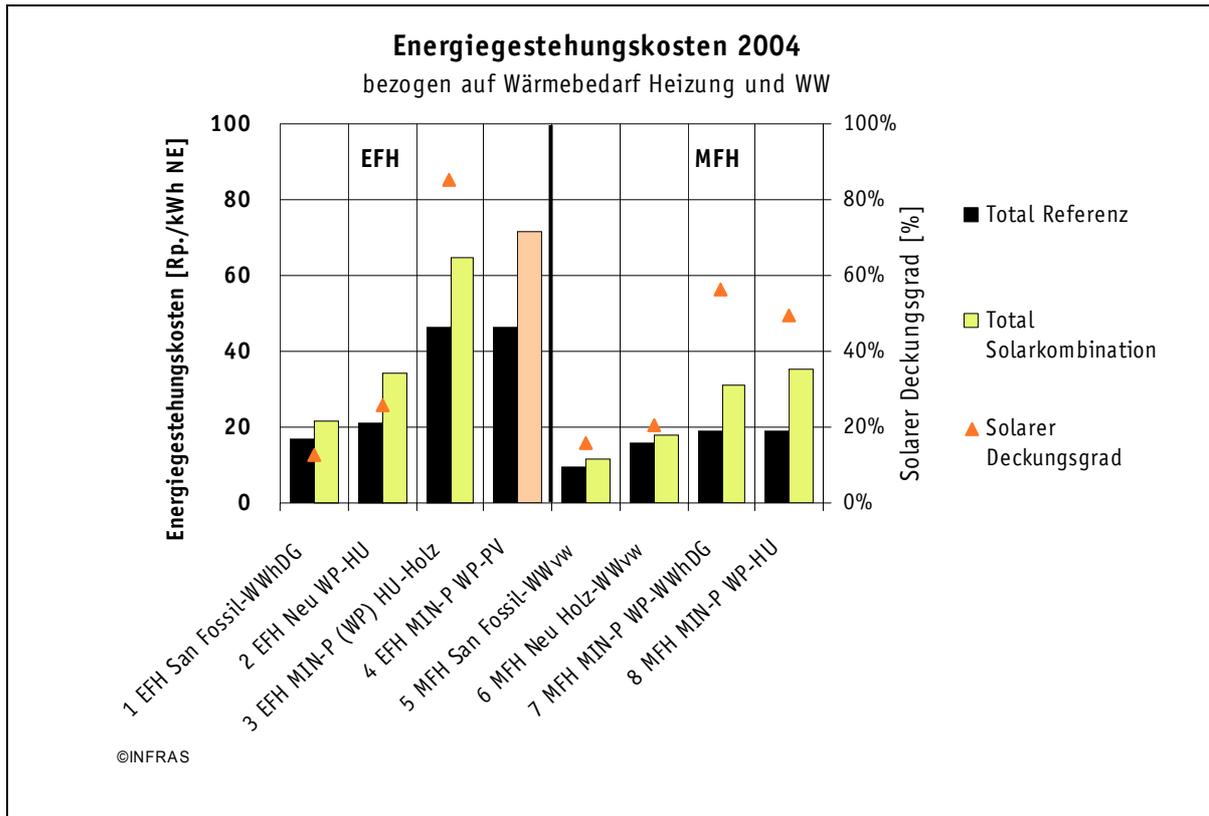
Bezüglich Methodik ist im Folgenden zu beachten, dass die für die Studie festgelegte Referenzsituation die energieeffiziente Ausführung der Gebäude und die damit verbundenen Kosten für bauliche Massnahmen und Lüftungsanlagen bereits mit einschliesst. D.h. es interessiert primär der Aspekt der additiven Solarenergienutzung.

Für die Referenzgebäude werden verschiedene Systeme zur Deckung des Energiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser untersucht. Dazu werden insgesamt 8 Systemvarianten definiert, wobei pro Variante eine konventionelle, monovalente Ausführung in Form einer fossilen Feuerung, Wärmepumpe oder Holzfeuerung und ergänzend eine Solarvariante mit zusätzlicher aktiver Nutzung der Solarenergie betrachtet wird. Als Spezialvariante wird zudem eine Kombination von Wärmepumpe und Photovoltaikanlage untersucht. Die berücksichtigten Systemvarianten sind in Figur Z-1 dargestellt.

| AUSWAHL DER SYSTEMKOMBINATIONEN | | | | | | | | |
|---|-----------------------|--------------|------------------------|------------|------------------------|--------------|------------------------|------------|
| Systeme | Einfamilienhaus (EFH) | | | | Mehrfamilienhaus (MFH) | | | |
| | Minergie saniert | Minergie neu | Minergie-P neu/saniert | | Minergie saniert | Minergie neu | Minergie-P neu/saniert | |
| | Variante 1 | Variante 2 | Variante 3 | Variante 4 | Variante 5 | Variante 6 | Variante 7 | Variante 8 |
| Heizung mit fossilen Brennstoffen | (X) R | | | | (X) R | | | |
| Holzheizung (mit Wärmeverteilung) | | | | | | (X) R | | |
| Holzheizung (konvektiv) | | | (X) | | | | | |
| Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser (WW) | | (X) R | R | (X) R | | | (X) R | (X) R |
| Sonnenkollektoren WW hoher Deckungsgrad | (X) | | | ↑ | | | (X) | |
| Sonnenkollektoren WW-Vorwärmung | | | | ↑ | (X) | (X) | | |
| Sonnenkollektoren WW u. Heizungsunterstützung | | (X) | (X) | | | | | (X) |
| Solarstrom für Q_E | | | | X | | | | |

Tabelle Z-1: Varianten der ausgewählten Energiesysteme. Die fett gezeichnete Kreise identifizieren das Hauptheizungssystem. Mit Ausnahme von Variante 3, wo als Referenzvariante auch eine Wärmepumpe verwendet wird, stellt das Basissystem in monovalenter Anwendung auch gleich die Referenzvariante dar. Diese ist mit R bezeichnet. Die ausgezogen verbundenen Kreise deuten auf die systemtechnische Einbindung der konventionellen und solaren Systemteile hin. In der Regel lassen sich damit gegenüber den Einzelsystemen kostenrelevante Synergien nutzen. Bei der Variante mit Solarstrom ist keine entsprechende Abhängigkeit vorhanden. Bei Variante 4 werden die Systemgrenzen verlassen, da auf das Stromnetz als zeitlicher Zwischenspeicher zugegriffen werden muss.

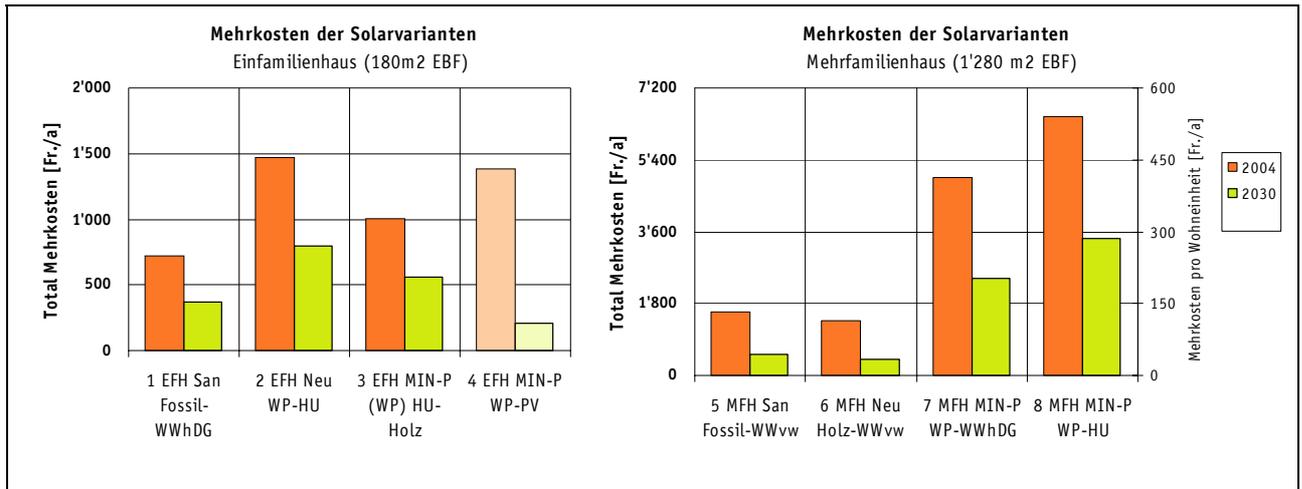
Für die 8 Referenz- und die 8 Kombinationsvarianten wurden als Basis für die Kostenkalkulation eine Grobdimensionierung durchgeführt und die Technologie definiert. Die Energiegestehungskosten werden mittels der Annuitätenmethode berechnet. Soweit wie möglich wird dabei auf die Methodik und Annahmen gemäss SIA 480 zu Wirtschaftlichkeitsrechnung im Hochbau abgestützt. Die Investitionskosten sind auf Grundlage von Richtkalkulationen von Herstellern und Planern sowie Angaben aus der aktuellen Literatur abgeschätzt. Bei den Unterhaltskosten werden typische Werte als Prozentsatz der Investitionen eingerechnet. Damit konnten die aktuellen Energiegestehungskosten berechnet werden (Figur Z-2).



Figur Z-2: Heutige Energiegestehungskosten pro kWh Nutzenergie für die 8 Systemvarianten. Jeweils für die monovalente Referenzausführung und in Kombination mit Solarenergienutzung. Der solare Deckungsgrad ist bezogen auf den Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser. Hinweis zur Kategorienbeschriftung siehe Haupttext, Seite 61.

Es zeigt sich, dass die Referenzvarianten in monovalenter Ausführung in allen Fällen ohne Berücksichtigung allfälliger Zusatznutzen oder Fördermittel heute deutlich günstiger sind als bivalente Systeme mit aktiver Solarenergienutzung. Am geringsten sind die relativen Differenzen zwischen der Referenz und der Solarkombination bei Variante 1, 5 und 6 mit solarer Warmwasser-Vorwärmung. Hier ist aber zu berücksichtigen, dass bei diesen Varianten auch der solare Deckungsgrad mit rund 15 bis 20% des Endenergiebedarfs für Raumwärme und Warmwasser tief liegt. Je höher der solare Deckungsgrad, desto höher sind tendenziell auch die relativen Mehrkosten zur Referenzvariante. Ein Vergleich der Gesteungskosten zwischen den 8 Systemvarianten ist nicht sinnvoll, da jeweils andere Gebäudeausführungen und damit ein unterschiedlicher Energiebedarf unterliegen. Für den Investor wird vor allem relevant sein, welche Mehrkosten pro Gebäude respektive pro Wohneinheit anfallen.

Die Mehrkosten der untersuchten Varianten sind in Figur Z-3 in Form von Jahreskosten dargestellt. Beim Einfamilienhaus variieren diese heute zwischen 700.– CHF und 1'500.– CHF pro Jahr. Beim Mehrfamilienhaus liegen die Werte zwischen 1'400.– CHF bis etwas über 6'000.– CHF pro Jahr. Pro Wohneinheit entspricht dies ca. 125.– CHF bis 500.– CHF pro Jahr. In Fällen wo die Mehrkosten auf die Mieterschaft überwältigt werden können, erhöhen sich die Mietzinse pro Wohneinheit im Mehrfamilienhaus lediglich um 10.– CHF (Variante 6) bis 40.– CHF pro Monat (Variante 8). Die Kosten pro Wohneinheit liegen damit in einem Bereich, welche für den Investor vermietungstechnisch unproblematisch bis attraktiv sein dürften, wenn Zusatznutzen der Solaranlage – z.B. infolge besserer Vermietbarkeit – berücksichtigt werden. Auch aus Sicht der Mieterschaft dürfte eine solche Belastung unerheblich sein, wenn berücksichtigt wird, dass sich diese Werte auf grosszügige Wohneinheiten mit hohem Nutzungskomfort beziehen. Auch der Einfluss auf die Bruttorendite bleibt bei allen Varianten gering. Beim Mehrfamilienhaus sinkt die Bruttorendite auch bei der Variante mit den höchsten Mehrkosten um rund 0.1%, bei den Warmwasservorwärmungsanlagen um lediglich ca. 0.03%.



Figur Z-3: Vergleich der Jahreskosten der Systemvarianten. Kostenstand 2004 und Prognose 2030 (Energiepreisszenario TIEF).

Über eine vertiefte Auswertung der Literatur zu Lernkurven und Kostenentwicklung, der für unsere Studie relevanten Technologien und Szenarien für die zukünftige Energiepreisentwicklung, erfolgt eine Abschätzung der Energiegestehungs- und Mehrkosten bis 2030.

Wir erwarten die in Tabelle Z-2 dargestellte relative Entwicklung der Investitions- und Unterhaltskosten bis zum Jahr 2030. Daraus ist ersichtlich, dass die Kosten bis 2030 vor allem für die Solartechnologien stark sinken werden.

| Technologie | 2004 | 2010 | 2020 | 2030 |
|-----------------------|------|------|------|------|
| Solarkollektoranlagen | 100% | 87% | 70% | 60% |
| Photovoltaik | 100% | 72% | 50% | 30% |
| Wärmepumpen | 100% | 93% | 82% | 70% |
| Öl-/Gasfeuerungen | 100% | 99% | 97% | 95% |
| Holzfeuerungen | 100% | 97% | 91% | 85% |

Tabelle Z-2: Relative Entwicklung der technologiespezifischen Kostenfaktoren (Investition und Unterhalt, ohne Betriebskosten).

Unter Annahme von zwei Energiepreisszenarien wird für die acht Systemvarianten die Entwicklung der Energiegestehungskosten bis 2030 ermittelt. Wie mit Annahme einer signifikanten Erfahrungskurve der Solartechnologien bis 2030 zu erwarten war, sinken die Mehrkosten der Solarvarianten im Jahr 2030 gegenüber heute bei allen Varianten um mindestens 45%, z.T. sogar noch deutlich stärker (vgl. Figur Z-3). Die Ergebnisse zeigen, dass beim Energiepreisszenario TIEF keine der untersuchten Solarvarianten wirklich günstiger wird als die Referenzvariante. Beim Energiepreisszenarios HOCH erreichen jedoch die Warmwasservorwärmungsanlagen (Varianten 5 und 6) den Break-even. Bei Variante 5 spart man im Fall hoher Energiepreise sogar rund 250.– CHF/a gegenüber der Referenzvariante. Die Mehrkosten beim Mehrfamilienhaus betragen damit maximal 300.– CHF pro Jahr oder 25.– CHF pro Monat pro Haushalt. Stellt man Überlegungen zum Einfluss der Bruttorendite an für den Fall, dass die Mehrkosten nicht auf die Mieterschaft überwältigt werden können, so stellt man fest, dass diese sich in der ungünstigsten Variante um maximal 0.07% verschlechtert, für die Warmwasservorwärmungsanlagen aber noch deutlich weniger. Dies dürfte für den Investor unbedeutend sein, wenn dafür Zusatznutzen generiert werden können.

Die Systemvariante mit Kombination von Wärmepumpe und Photovoltaikanlage ist bereits bei heutigem Kostenstand eine attraktive Variante um einen hohen solaren Deckungsgrad zu erreichen. Dies aber nur unter der Voraussetzung, dass es sich um ein Gebäude mit sehr tiefem Energiebedarf handelt wie z.B. bei Minergie-P. Durch die erwartete starke Kostendegression bei den PV-Anlagen kommt diese

Variante im Jahr 2030 der wirtschaftlichen Konkurrenzfähigkeit nahe. Dies gilt auch dann, wenn die externen Kosten für die Saisonspeicherung des Solarstroms berücksichtigt werden.

Der Einfluss der Energiepreise auf die Konkurrenzfähigkeit der Solarenergienutzung ist zwar ersichtlich und höhere Energiepreise führen zu einem früheren Erreichen der Wirtschaftlichkeitsgrenze. Die absoluten Auswirkungen auf die Mehrkosten sind aber im Rahmen von Niedrigenergiebauten relativ bescheiden, da bereits ein tiefes absolutes Energiebedarfsniveau vorliegt und der solare Deckungsgrad aus wirtschaftlichen Gründen typischerweise nicht allzu hoch gewählt wird. Damit verbleibt weiterhin ein bedeutender Verbrauch an konventionellen Energien. Daraus kann auch geschlossen werden, dass eine allfällige Energie- oder CO₂-Abgabe zwar ein sehr effizientes Instrument zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Förderung der erneuerbaren Energien in konventionellen Bauten sein kann. Speziell für die Solarnutzung in energieeffizienten Bauten dürfte sie aber nur eine beschränkte Anreizwirkung haben.

Zusatznutzen und Break-Even-Analyse

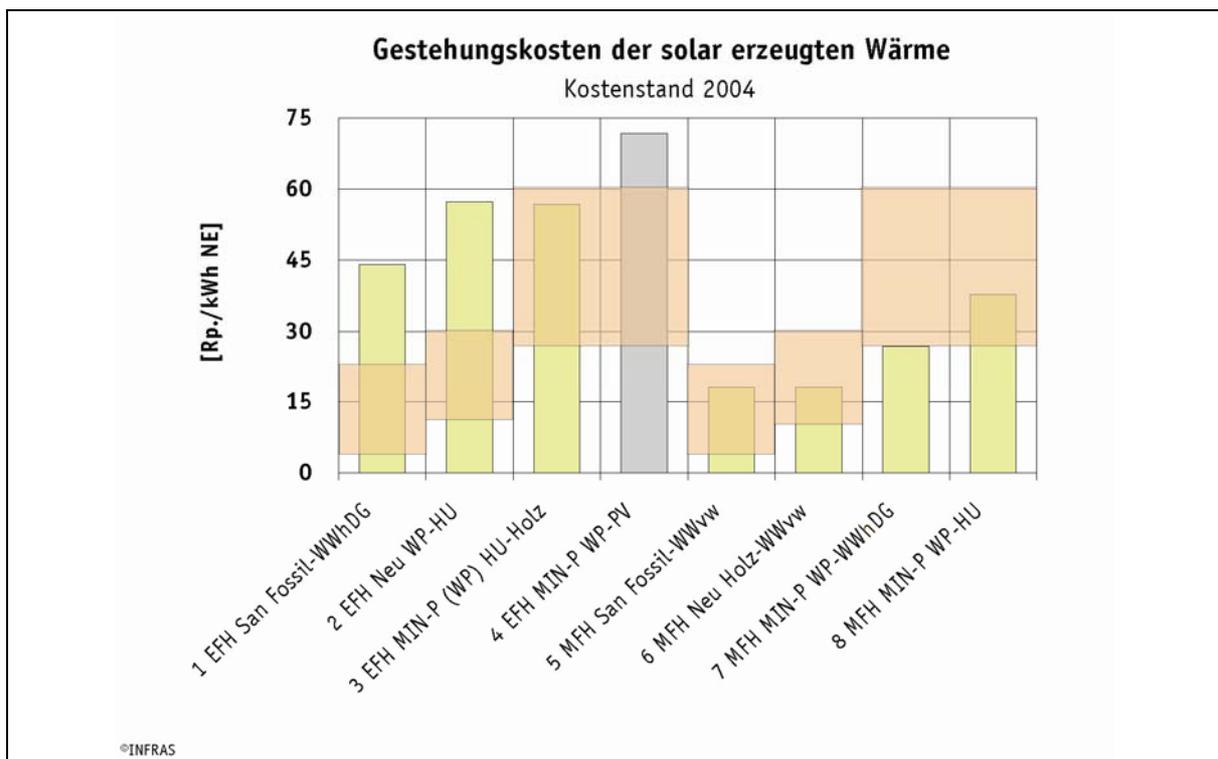
Für die aktive Solarenergienutzung in energieeffizienten Bauten sind zwei Kategorien von Zusatznutzen relevant:

1. Allgemeine Zusatznutzen die sich bei allen Solaranlagen unabhängig von der Gebäudeart ergeben. Dazu gehören z.B. der Zugang zu kantonalen Fördermitteln für Solaranlagen oder der Aspekt der Unabhängigkeit von Energiepreisteigerungen.
2. Spezielle Zusatznutzen, welche sich heute ausschliesslich im Rahmen von energieeffizienten Bauten realisieren lassen. Ein solcher Zusatznutzen ist z.B. die Vermeidung alternativer Massnahmen an der Gebäudehülle durch Anrechenbarkeit der erneuerbaren Energien in den Minergie-Standards.

Die allgemeinen Zusatznutzen von Solaranlagen wurden in der Forschung bisher nicht gezielt untersucht. Sie können deshalb nur über Studien zu ähnlichen Bereichen abgeschätzt werden. Entsprechende Arbeiten weisen eine durchschnittliche Zahlungsbereitschaft pro Haushalt für Umweltverbesserungen im Bereich Klima und Luftverschmutzung von ca. 50.– bis 100.– CHF pro Monat resp. 600.– bis 1'200.– CHF pro Jahr nach. Vergleicht man diese Grössenordnungen mit den heutigen Mehrkosten der Solarnutzung in den von uns untersuchten energieeffizienten Gebäuden von rund 700.– bis 1'500.– CHF bei Einfamilienhäusern und 125.– bis 500.– CHF pro Haushalt in den Mehrfamilienhausvarianten, so zeigt sich, dass die allgemeinen Zusatznutzen durchaus in einer ähnlichen Grössenordnung liegen könnten wie die Mehrkosten der Solarnutzung.

Weitere Zusatznutzen sind möglich, wenn sehr hohe Anforderungen an die energetische Qualität der Gebäude gestellt werden, wie dies z.B. bei Minergie- und v.a. Minergie-P-Bauten der Fall ist. Sofern vor allem der Verbrauch an nicht-erneuerbaren Energien bestimmend ist, kann es wirtschaftlicher sein, anstelle von Massnahmen zur Reduktion der Gebäudeverluste zusätzlich Solarenergie zu nutzen. Die Kosten von verschiedenen Einsparmassnahmen wurden in einer Studie des CEPE detailliert untersucht (Jakob et al. 2002). Aus den Resultaten der CEPE-Studie kann abgeleitet werden, dass für die Erreichung der Minergie-Anforderungen Massnahmen mit Kosten von etwas unter 10 bis 30 Rappen pro kWh notwendig sind, sofern keine erneuerbaren Energien genutzt werden. Soll der Grenzwert unterschritten werden, so steigen die Kosten deutlich an. Für Minergie-P Bauten sind Massnahmen erforderlich, die Grenzkosten von oberhalb von rund 25 Rp. bis zu 60 Rp. verursachen.

Figur Z-4 zeigt die spezifischen Gestehungskosten der Solarenergie beim heutigen Kostenstand. Die roten Flächen zeigen die Grenzkosten von bedarfsseitigen Gebäudemassnahmen im Bereich zwischen Primäranforderung und Grenzwert beim entsprechenden Gebäudestandard, d.h. im Bereich wo im Minergie-Standard eine Substitution von bei verlustseitigen Massnahmen durch verstärkte Nutzung der Solarenergie möglich ist. Die Kosten der Solarenergie liegen bei allen untersuchten Systemvarianten bei den Mehrfamilienhäusern am unteren Rand der Kosten von Gebäudemassnahmen. Bei den Einfamilienhäusern sind vor allem die Varianten für Minergie-P Bauten konkurrenzfähig. Die Resultate zeigen, dass es zur Minimierung der Kosten des Gesamtsystems in Minergie-P Bauten immer sinnvoll ist, aktive Solarnutzung vorzusehen. Bei den normalen Minergie-Bauten sind vor allem Anlagen mit niedrigem solarem Deckungsgrad konkurrenzfähig. Als Daumenregel kann gelten, dass die Solarnutzung insbesondere zur Substitution von Dämmstärken von mehr als 20cm wirtschaftlich interessant ist.



Figur Z-4: Spezifische Gestehungskosten der Solarenergie im Vergleich mit Grenzkosten für Gebäudemassnahmen zur Erreichung des entsprechenden Gebäudestandards (rote Flächen, nur indikative Werte). Bei Variante 4 (graue Säule) sind die Kosten für das System PV-Anlage/Wärmepumpe berücksichtigt.

Für die Variante 4, bei der die Wärmepumpe mit PV-Strom betrieben wird, resultieren heute noch die höchsten Gestehungskosten. Wegen der erwarteten überdurchschnittlichen Kostendegression der Photovoltaik und den Verbesserungen der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen, wird sich die Situation für diese Variante aber bis 2030 deutlich verbessern.

Hier ist noch anzumerken, dass auch die gebäudeseitigen Massnahmen im betroffenen Bereich der Heizwärmebedarfsminderung Zusatznutzen aufweisen können, z.B. durch Komfortaspekte. Vor allem bei Minergie-P Bauten, wo die Primäranforderungen bereits eine sehr gute Gebäudehülle voraussetzen, dürften die Zusatznutzen für über die Primäranforderungen hinausgehende Massnahmen eher gering sein.

Markt für Solaranlagen in Niedrigenergiebauten bis 2030

Anhand von Szenarien und Marktabschätzungen wird untersucht, welchen Markt die aktive Solarnutzung im Rahmen von Minergie-Bauten bis im Jahr 2030 erreichen könnte. Die Abschätzung erfolgt über die allgemeine Entwicklung der Sanierungs- und Neubaufächen in der Schweiz und Annahmen für die Anteile von Niedrigenergiebauten an den Gesamtflächen und deren Ausstattung mit Solarkollektor- und Photovoltaikanlagen für die Wärmeerzeugung. Zu der zukünftigen Entwicklung der Flächen von energieeffizienten Bauten werden zwei Szenarien entwickelt, ein Szenario VERSTÄRKT und ein Szenario 2000-WATT. Während das Szenario VERSTÄRKT von einer gegenüber heute dynamischeren aber rein freiwilligen Verbreitung der energieeffizienten Bauweise ausgeht, orientiert sich das Szenario 2000-WATT ausschliesslich daran, welche Marktanteile notwendig sind um die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft im Gebäudebereich zu erreichen. Dabei wird auf aktuelle Arbeiten der EMPA abgestützt (EMPA 2004). Die Szenarien sind in Tabelle Z-3 dargestellt.

| Wohnbauten | VERSTÄRKT | | | 2000-Watt | | | |
|------------|-----------|----------|------------|------------|----------|------------|------------|
| | 2004 | Gesetz | Minergie | Minergie-P | Gesetz | Minergie | Minergie-P |
| Neubau | | 90 | 10 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| Sanierung | | 98 | 2 | 0 | 98 | 2 | 0 |
| 2030 | Gesetz | Minergie | Minergie-P | Gesetz | Minergie | Minergie-P | |
| | Neubau | 20 | 40 | 40 | 0 | 20 | 80 |
| Sanierung | 70 | 15 | 15 | 20 | 60 | 20 | |

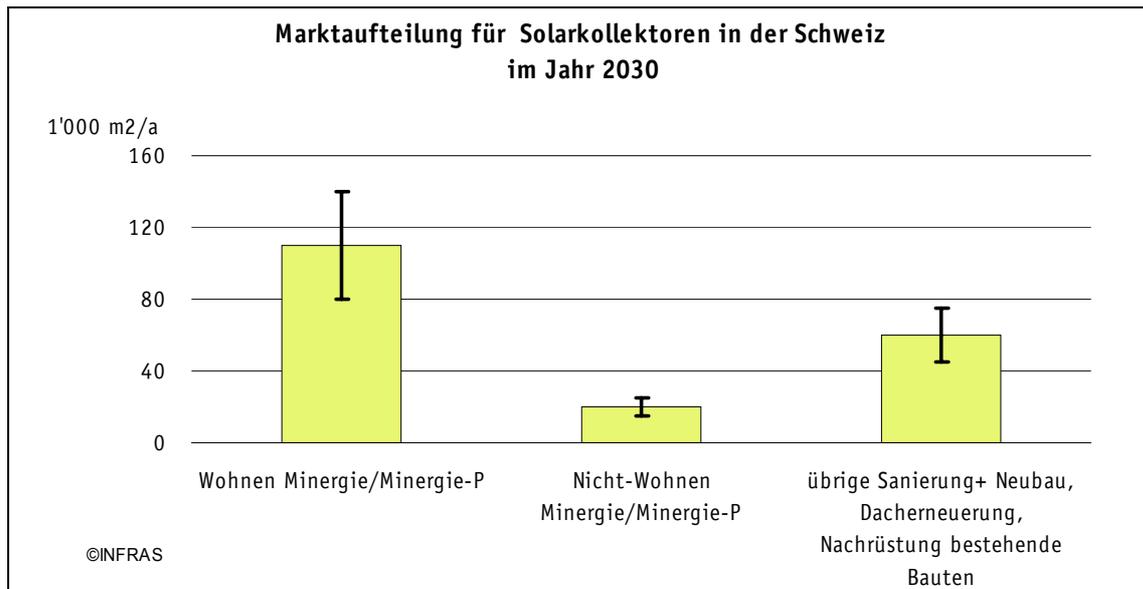
Tabelle Z-3: Prozentuale Anteile der Baustandards an den Gesamtflächen für Wohnbauten bei den verschiedenen Szenarien.

Über ein mehrstufiges Schätzmodell wurde das erwartete Marktvolumen 2030 für Solarkollektoren und Photovoltaikanlagen zur Wärmebereitstellung in energieeffizienten Wohnbauten hochgerechnet. Tabelle Z-4 zeigt die Resultate. Der Markt für Solarkollektoren in energieeffizienten Wohnbauten beansprucht gemäss diesen Hochrechnungen rund 80'000 bis 140'000 m² Kollektorfläche pro Jahr, abhängig vom Ausbreitungsszenario für energieeffiziente Bauten. Unter Berücksichtigung weiterer Analysen zur Entwicklung des Gesamtmarkts für die Solarkollektoranlagen in der Schweiz wird der Gesamtmarkt für Kollektoranlagen wie in Figur Z-5 dargestellt geschätzt.

| | Marktvolumen Total 2002 | Marktvolumen in Minergie-Wohnbauten 2030 |
|---|-------------------------|--|
| Szenario VERSTÄRKT | | |
| Solarkollektoren [1000 m ² /a] | 26.4 | 80 |
| Photovoltaik [MWp/a] | 1.72 | 21 |
| Szenario 2000-WATT | | |
| Solarkollektoren [1000 m ² /a] | 26.4 | 140 |
| Photovoltaik [MWp/a] | 1.72 | 33 |

Tabelle Z-4: Hochrechnungsergebnisse der Marktvolumen durch Minergie-Wohnbauten für das Jahr 2030 (Quelle: SOLAR 2004, Berechnungen INFRAS).

Wir erwarten, dass der Markt für Photovoltaikanlagen im Rahmen von energieeffizienten Bauten auf rund 20 bis 30 MWp/a und damit auf das 10 bis 20fache des aktuellen schweizerischen Gesamtmarktvolumens von 1.7 MWp/a steigen könnte. Es ist zu erwarten, dass die Anwendung in Kombination mit Wärmepumpen nur einen kleineren Anteil des gesamten PV-Marktes in der Schweiz beansprucht. Eine Aussage zur Entwicklung des Gesamtmarktes für PV-Anlagen ist aufgrund unserer Studie aber nicht möglich.



Figur Z-5: Schätzung der Anteile verschiedener Gebäudesegmente am Gesamtmarkt für Solarkollektoren im Jahr 2030 (Quelle: Hochrechnungsmodell INFRAS).

Unterstützungsmassnahmen für aktive Solarenergienutzung in energieeffizienten Bauten

Das Hauptthemnis für eine stärkere Verbreitung der aktiven Solarnutzung in energieeffizienten Bauten sehen wir weniger bei den im Vergleich zu Konkurrenztechnologien leicht höheren Energiegestehungskosten, sondern primär bei den hohen Investitionskosten, die auch die Finanzierung erschweren. Als Erfolgsfaktor können die laufende und weiter fortschreitende Verbilligung der aktiven Solarnutzung und bedeutende Zusatznutzen genannt werden. Der weiteren Verbreitung der monovalenten solaren Wärmeerzeugung über Kollektoranlagen stehen in energieeffizienten Bauten heute vor allem auch die hohen Investitionskosten für die Saisonspeicherung im Wege.

Will man die Solarenergie in energieeffizienten Bauten gezielt unterstützen, so steht eine zügige Weiterentwicklung der gesetzlichen Bauvorschriften Richtung Minergie und Minergie-P im Vordergrund. Diese Massnahme weist die höchste Wirksamkeit bezüglich Stärkung der aktiven Nutzung der Solarenergie auf und lässt sich mit einem beschränkten administrativen Zusatzaufwand realisieren. Über eine Differenzierung der Anforderungen an die Gebäudehülle und den Verbrauch an nicht-erneuerbaren Energien können die Zusatznutzen der Solarenergie in energieeffizienten Bauten gezielt optimiert werden. Hier sind die Kantone gefordert. Flankierend ist die Weiterführung der soft-policy-Massnahmen in den Bereichen Information, Beratung und Marketing durch Bund, Kantone und Akteurnetzwerke sinnvoll, da sie zu einer Umsetzung der gesetzlichen Vorschriften zu möglichst geringen Kosten beitragen. Die Verstärkung der Forschung zur Saisonspeicherung von Solarwärme ist zu intensivieren. Finanzielle Fördermassnahmen und Umweltabgaben betrachten wir für die Realisierung der Potenziale speziell im Bereich der energieeffizienten Bauten als weniger bedeutend. Diese Massnahmen sind dagegen relevant, wenn es um die Stärkung der aktiven Solarenergie in den übrigen Marktsegmenten und die Ausschöpfung von Energieeffizienzpotenzialen geht.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

In der Vergangenheit konnten bei Solarkollektoranlagen in der Schweiz bedeutende Kostensenkungen erzielt werden. Durch die erwartete dynamische Entwicklung der Märkte für Solarkollektoren und Photovoltaikanlagen werden bis 2030 noch weitere Kostenreduktionen im Umfang von 70% bei Photovoltaik- und 40% bei Solarkollektoranlagen erwartet. Die Kostenentwicklung bei PV-Anlagen wird stark von der Entwicklung der internationalen Märkte beeinflusst werden. Dies gilt in etwas geringerem Mass auch für die Solarkollektoranlagen.

Ein Vergleich der Energiegestehungskosten verschiedener Systemvarianten für die Wärmebereitstellung in energieeffizienten Bauten zeigt Folgendes:

- Die aktive Solarnutzung führt in energieeffizienten Bauten heute im direkten Vergleich mit konventionellen Wärmeerzeugern (Fossil, Wärmepumpen, Holz) immer zu gewissen Mehrkosten. Die absoluten Mehrkosten der Solarnutzung liegen bei den untersuchten Systemvarianten aber so tief – vor allem bei Warmwasservorwärmungsanlagen in Mehrfamilienhäusern – dass sie kaum ein ernsthaftes Hindernis beim Investitionsentscheid darstellen dürften. Die Bruttorendite für ein typisches Objekt wird sich auch bei Anlagen mit hohem solarem Deckungsgrad typischerweise erst auf der zweiten Stelle nach dem Komma verschlechtern. Mehrkosten in Höhe von 10.– bis 40.– CHF pro Monat und Haushalt bei einem mittleren Mehrfamilienhaus und weniger als 100.– CHF pro Haushalt beim Einfamilienhaus sollten auch bei einer Überwälzung auf die Mieterschaft keine grösseren Akzeptanzprobleme stellen. Diese Kosten reduzieren sich zudem bis 2030 nochmals beträchtlich. Im Beispiel betragen die Mehrkosten der aktiven Solarnutzung 1'400.– CHF/a bis 6'000.– CHF/a. Im Vergleich dazu betragen die zusätzlichen Mehrkosten für die energieeffiziente Gebäudehülle und Lüftungsanlage bei Minergie- und Minergie-P Bauweise grob geschätzt rund 10'000.– CHF/a (Minergie-Neubau) bis 30'000.– CHF/a (Minergie-P).
- Unter Berücksichtigung der zukünftigen Kostenreduktionen bei den Kollektor- und Photovoltaikanlagen erreichen einige der untersuchten Systemvarianten den Break-even mit den konventionellen Energieerzeugern. Dies insbesondere, wenn ein deutlicher Energiepreisanstieg vorausgesetzt wird. Bei beiden untersuchten Szenarien der Energiepreisentwicklung werden die Mehrkosten im Jahr 2030 bei fast allen Varianten nahezu bedeutungslos.
- Die virtuelle Systemvariante mit Kombination von Wärmepumpe und Photovoltaikanlage ist bereits bei heutigem Kostenstand eine attraktive Variante um einen hohen solaren Deckungsgrad in sehr energieeffizienten Bauten zu erreichen. Durch die erwartete starke Kostendegression bei den PV-Anlagen wird diese Variante um das Jahr 2030 in etwa wirtschaftlich konkurrenzfähig. Falls angenommen wird, dass die externen Kosten für die saisonale Speicherung des PV-Stroms rund 12 Rp. pro kWh_{el} betragen und diese Kosten in der Rechnung berücksichtigt werden, so verschlechtert sich die Wirtschaftlichkeit dieser Variante nur unwesentlich um rund 3 Rp./kWh Nutzenergie. Dies führt nicht zu einer Veränderung bei der Positionierung gegenüber den solarthermischen Systemvarianten. In konventionellen Bauten, welche den gesetzlichen Mindestanforderungen entsprechen, oder bei kleinen solaren Deckungsgraden ist der Einsatz von Photovoltaikstrom für den Betrieb von Wärmepumpen jedoch im Vergleich zur solarthermischen Energiegewinnung nicht attraktiv.
- Der Einfluss der Preisentwicklung für konventionelle Energien ist auf die absoluten Mehrkosten der Solarnutzung im Marktsegment der energieeffizienten Bauten relativ bescheiden. Viel bedeutender sind die Investitions- und Unterhaltskosten für die Anlagenteile zur Solarnutzung. Daraus kann auch geschlossen werden, dass eine allfällige Energie- oder CO₂-Abgabe zwar ein sehr effizientes Instrument zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Förderung der erneuerbaren Energien in konventionellen Bauten sein kann. Speziell für die Solarnutzung in energieeffizienten Bauten wird die Anreizwirkung aber nicht allzu hoch sein.
- Die Konkurrenzfähigkeit der Solarthermie kann deutlich verbessert werden, wenn eine kostengünstige Möglichkeit für den monovalenten Einsatz von Solarkollektoranlagen geschaffen wird. Die Forschungsanstrengungen zur saisonalen Wärmespeicherung – auch in kleineren Bauten – sollten weitergeführt und intensiviert werden.
- Die allgemeinen Zusatznutzen von Solarkollektoren und PV-Anlagen sind nicht genau quantifizierbar, haben aber einen bedeutenden Einfluss bei der Investitionsentscheidung. Die erwarteten Kostenreduktionen bis 2030 lassen erwarten, dass die Solarnutzung unter Berücksichtigung der Zusatznutzen deutlich an Attraktivität gewinnen wird.

- Bei konventionell ausgeführten Bauten, die den heute gültigen gesetzlichen Anforderungen genügen, ist die aktive Solarnutzung wirtschaftlich noch nicht konkurrenzfähig mit gebäude-seitigen Effizienzmassnahmen. Dies ändert sich erst, wenn man sehr grosse Dämmstärken oder sehr hochwertige Verglasungen verwendet. Als Faustregel kann gelten, dass die Geste-hungskosten der aktiven Solarnutzung ab Dämmstärken von rund 20cm tiefer liegen als die Kosten der eingesparten Energie durch bessere Dämmung. Im Rahmen von energieeffizienten Bauten mit einer Differenzierung der Primäranforderungen an die Gebäudehülle und dem Be-darf an von Aussen dem Grundstück zugeführten hochwertigen Energien – wie z.B. Minergie und Minergie-P –, ergibt sich damit ein Anwendungsbereich, bei dem die aktive Solarnutzung hinsichtlich Minimierung der Gesamtsystemkosten vorteilhaft ist. Die Wirtschaftlichkeit hängt dabei wesentlich von der Ausprägung der Gebäudestandards bezüglich Primäranforderungen, dem Grenzwert für den Bedarf an nicht erneuerbaren Energien sowie der Energieträgerge- wichtung ab.

Die Hochrechnung zur Analyse der Bedeutung von energieeffizienten Bauten für den zukünftigen Markt für Solarkollektoren und Photovoltaikanlagen zeigt Folgendes:

- Verwendet man ein gemässigttes Szenario für die zukünftige Verbreitung von Minergie- und Minergie-P-Bauten, so dürfte rund die Hälfte des gesamten Marktes für Solarkollektoranlagen auf Anlagen in energieeffizienten Gebäuden entfallen. Bei einem Gebäudeszenario, das mit den Zielen der 2000-WATT-Gesellschaft kompatibel wäre, könnte der Anteil sogar etwa auf bis zwei Drittel ansteigen. Alleine in diesem Marktsegment würde dann im Jahr 2030 das 3- bis 5fache des aktuellen Gesamtmarktvolumens installiert.
- Über die Kombination von Photovoltaik und Wärmepumpen könnte im Jahr 2030 abhängig vom Ausbreitungsszenario für Niedrigenergiebauten rund 20 bis 30 MWp Photovoltaikleistung installiert werden. Damit würde sich alleine bei dieser Anwendung ein 10 bis 20faches des heutigen Photovoltaikmarktes in der Schweiz ergeben.
- Im Jahr 2030 dürfte rund 25% des Energiebedarfs für Heizung und Raumwärme in energieeffizienten Bauten über die aktive Solarnutzung bereitgestellt werden. Der Rest entfällt vorwiegend auf Wärmepumpen und Holzfeuerungen, während fossile Feuerungen in diesem Marktsegment praktisch bedeutungslos sein werden.

Eine zügige Weiterentwicklung der gesetzlichen Bauvorschriften Richtung Minergie und Minergie-P ist entscheidend, um die aufgezeigten Potenziale der Sonnenenergie im Bereich der energieeffizienten Bauweise zu realisieren. Die Verschärfung der Vorschriften sollten dahin gehen, dass deutlich höhere Anforderungen an den Verbrauch an nicht-erneuerbaren Energien gestellt werden, währenddem die Primäranforderungen an die Gebäudehülle nicht unnötig weit über das für Komfort, Hygiene und einen nachhaltigen Gebäudepfad notwendige Mass hinausgehen. Damit wird der Freiraum für die Optimierung des Gesamtsystems bezüglich Kosten und Nutzen maximiert. Für die Festlegung der Anforderungen sind hinsichtlich eines langfristig nachhaltigen Gebäudepfads aber auch die Schwierigkeiten für nachträgliche Verbesserungen der Gebäudehülle zu berücksichtigen, sowie die unterschiedliche Qualität von Energieeffizienzmassnahmen (passiv, lange Wirkungsbeständigkeit) und erneuerbaren Energien (aktive Systeme, mittlere und weniger gesicherte Wirkungsbeständigkeit). Gegenüber dem heutigen Stand der gesetzlichen Anforderungen sind deshalb die Gebäudehüllenanforderungen weiter zu verschärfen, allerdings mit Mass. Die Weiterführung von soft-policy-Massnahmen als flankierende Massnahmen in Form von Information, Beratung und Marketing ist sinnvoll, da sie zu einer Umsetzung der gesetzlichen Vorschriften zu möglichst geringen Kosten beitragen. Die gezielte Verstärkung der Forschung zu Saisonspeicherung von Solarwärme ist wie im Forschungskonzept der CORE vorgesehen weiter zu führen und allenfalls zu verstärken. Finanzielle Fördermassnahmen und Umweltabgaben sind für die Realisierung der Potenziale im Bereich energieeffizientes Bauen weniger bedeutend. Diese Massnahmen sind dagegen relevant, wenn es um die Stärkung der aktiven Solarenergie in den übrigen Marktsegmenten geht. Umweltabgaben können zudem wichtige Anreize für die stärkere Verbreitung von energieeffizienten Bauten und für über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinaus gehende Effizienzmassnahmen sein.