

Februar 2005

Kosten und Nutzen von Solarenergie in energieeffizienten Bauten

Résumé

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

Worblentalstrasse 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

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
Résumé	16
1 Ziele der Studie	29
2 Methodik und Abgrenzungen	31
2.1 Übersicht Methodik und Vorgehen	31
2.2 Abgrenzungen	32
Teil I: Entwicklung der Solarthermie seit 1990	35
3 Entwicklung der Solarthermie seit 1990	37
3.1 Marktentwicklung	37
3.2 Technologische Entwicklung	39
3.3 Kostenentwicklung	40
3.3.1 Kollektoren	40
3.3.2 Solarspeicher	43
3.3.3 Gesamtsysteme	43
Teil II: Entwicklung der aktiven Solarnutzung in energieeffizienten Bauten bis 2030	45
4 Referenzbauten	47
4.1 Berücksichtigte Gebäudekategorien	47
4.2 Kennwerte der Referenzbauten	47
5 Energiesysteme	51
5.1 Wahl der Energiesystemvarianten	51
5.2 Beschreibung der Energiesystemvarianten	54
5.3 Methodik für die Berechnung der Wärmegestehungskosten	58
6 Kostenentwicklung bis 2030	61
6.1 Kostenstand 2004	61
6.2 Lernkurven und Kostendegression bis 2030	64
6.3 Szenarien für die Energiepreisentwicklung	67
6.4 Übersicht Kostenentwicklung bis 2030	68
6.5 Fazit zu Kosten der Solarenergienutzung	73
7 Zusatznutzen und Break-Even-Analyse	75
8 Der Markt für Solaranlagen in Niedrigenergiebauten bis 2030	81
8.1 Mengengerüst Sanierungen und Neubauten	82
8.2 Szenarien für Marktanteile von Niedrigenergiebauten	82

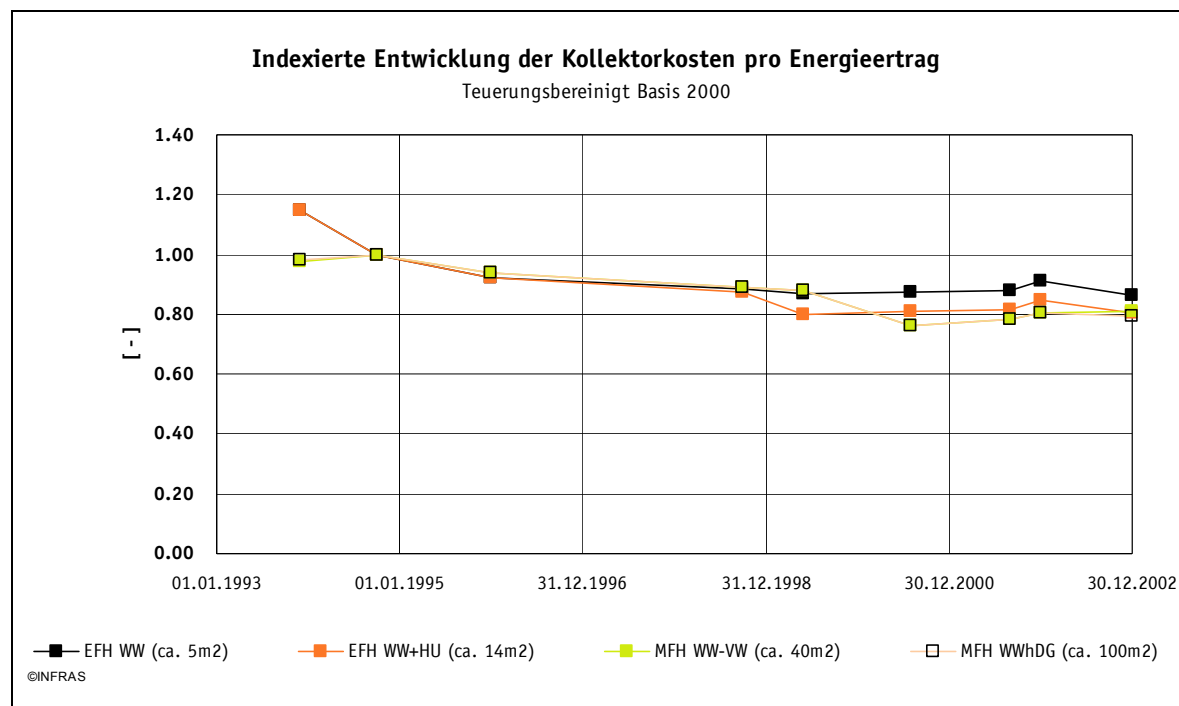
8.3	Marktanteile der Solarenergie in Niedrigenergiebauten	85
8.4	Resultierende Marktvolumen und Bedeutung im Gesamtmarkt	89
9	Massnahmen zur Unterstützung der Solarenergie in energieeffizienten Bauten....	91
10	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	95
11	Anhang.....	99
	Anhang 1: Szenarien für Anteile Niedrigenergiebauten	99
	Anhang 2: Lernkurvenkonzept und Analyse Solarmarkt	100
	Anhang 3: Expertenworkshop zu Marktanteilen	118
	Anhang 4: Kostendaten zu Förderprogrammen für Solarkollektoranlagen	120
	Anhang 5: Factsheets für Kostenrechnung der Systemvarianten.....	121
	Literaturverzeichnis	130

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 angestellt, 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 Kollektorkollektorkoeffizienten 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.

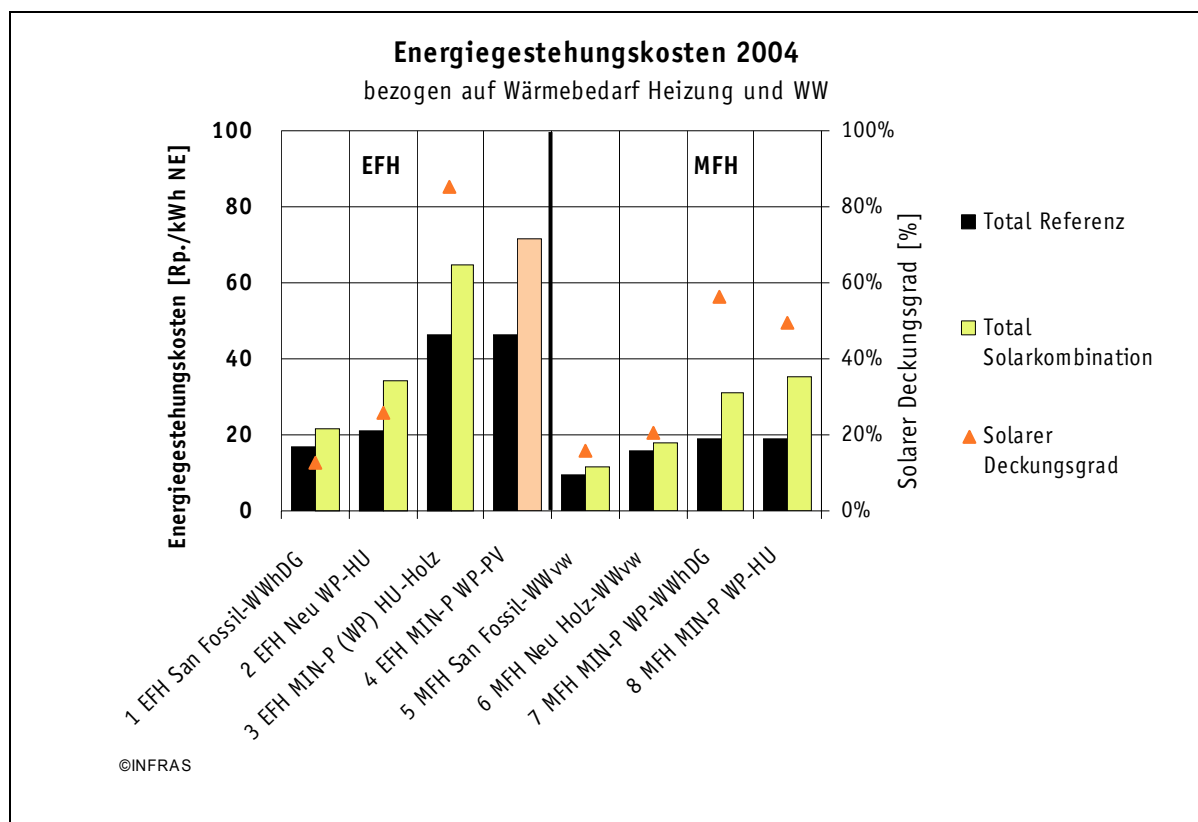
Bezüglich Methodik ist im Folgenden zu beachten, dass die für die Studie festgelegte Referenzsituation die energieeffiziente Ausführung der Gebäude und die damit verbundenen Kosten für bauliche Massnahmen und Lüftungsanlagen bereits mit einschliesst. D.h. es interessiert primär der Aspekt der additiven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

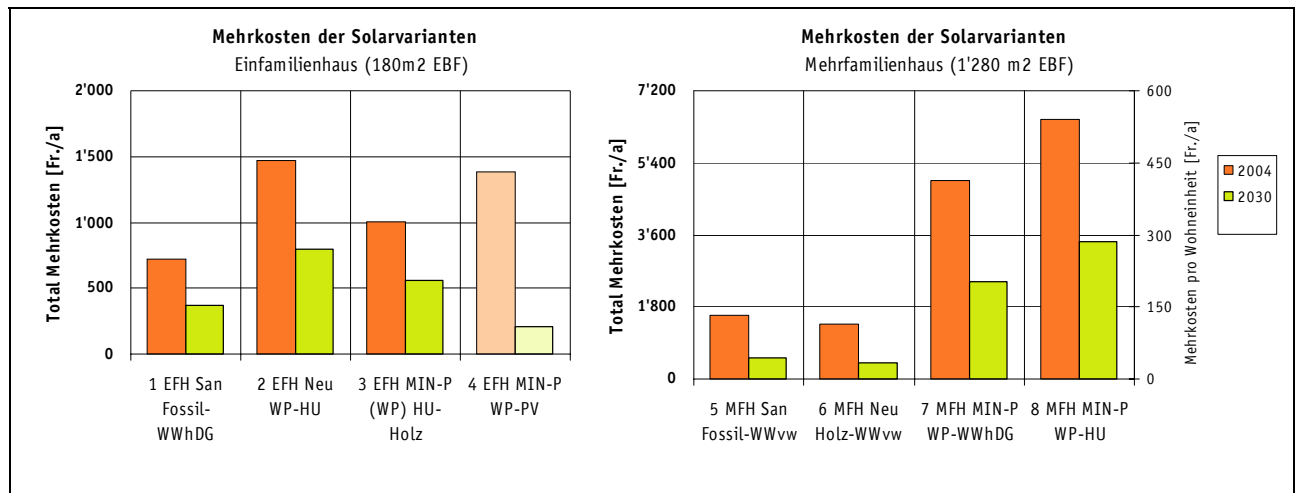
Für die 8 Referenz- und die 8 Kombinationsvarianten wurden als Basis für die Kostenkalkulation eine Grobdimensionierung durchgeführt und die Technologie definiert. Die Energiegestehungskosten werden mittels der Annuitätenmethode berechnet. Soweit wie möglich wird dabei auf die Methodik und Annahmen gemäss 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 überwälzt 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 überwältzt 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 solaren 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

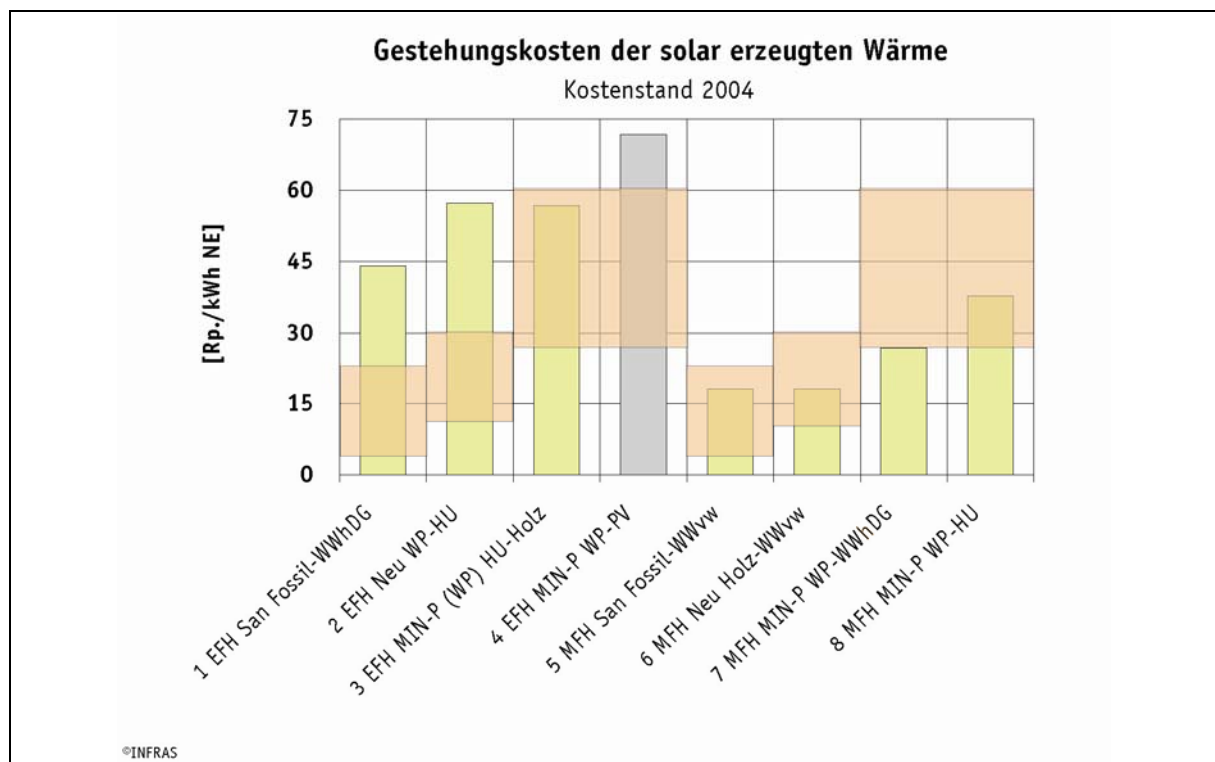
Für die aktive Solarenergienutzung in energieeffizienten Bauten sind zwei Kategorien von Zusatznutzen relevant:

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 Neubauflächen 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		
	Gesetz	Minergie	Minergie-P	Gesetz	Minergie	Minergie-P
2004						
Neubau	90	10	0	0	100	0
Sanierung	98	2	0	98	2	0
2030						
Neubau	20	40	40	0	20	80
Sanierung	70	15	15	20	60	20

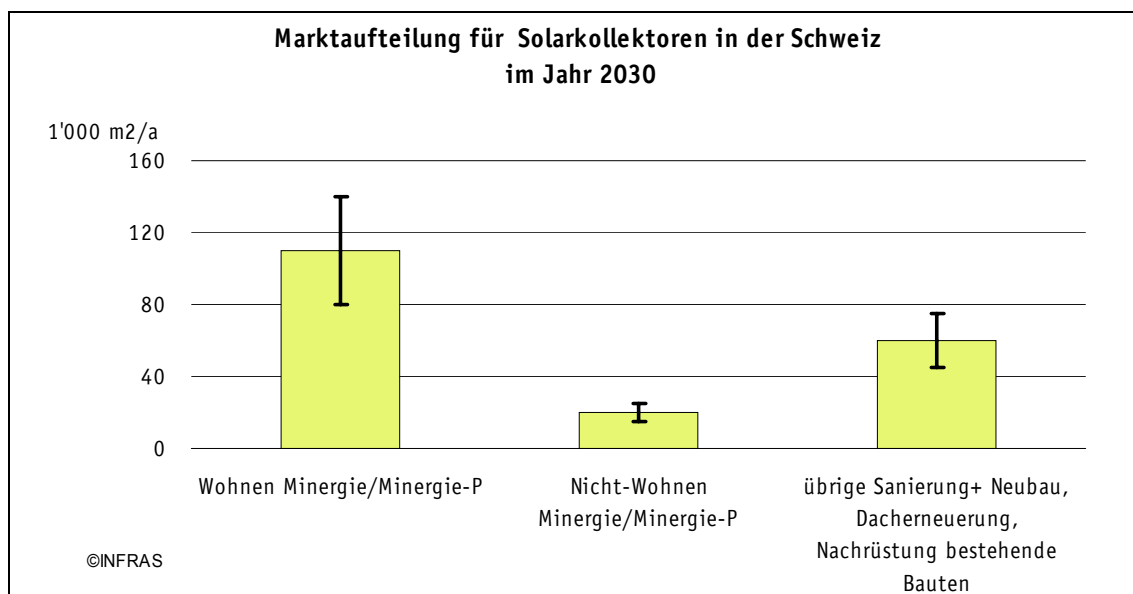
Tabelle Z-3: Prozentuale Anteile der Baustandards an den Gesamtflächen für Wohnbauten bei den verschiedenen Szenarien.

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 Hauptthema 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-achtung 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.

Résumé

La présente étude examine en profondeur les potentiels et les obstacles posés à l'utilisation de l'énergie solaire dans le marché des nouvelles constructions et des assainissements visant une exploitation énergétique efficiente; elle propose des solutions permettant de renforcer le recours à l'énergie solaire dans les types de constructions offrant une utilisation optimale de l'énergie. La méthode s'appuie largement sur le concept des courbes d'apprentissage. Si le potentiel d'utilisation active d'énergie solaire dans les bâtiments suisses n'a pas fait l'objet d'une étude propre, son énorme importance a pu être démontrée grâce aux travaux à disposition.

Installations de capteurs solaires: évolution des coûts depuis 1990

Le premier volet de l'enquête analyse l'évolution, dans le passé, des coûts des composants et systèmes d'installations thermiques solaires en Suisse. Pour ce faire, ses auteurs ont recherché dans la documentation publiée et analysé diverses données empiriques. Il s'est avéré difficile de déterminer l'effet d'apprentissage aux différents échelons de création de valeur des installations de capteurs solaires. Seuls la technologie de base (c'est-à-dire les capteurs solaires) et les systèmes globaux permettent des affirmations suffisamment fondées sur le plan empirique pour le marché suisse. L'analyse des données disponibles démontre que les coûts ont sensiblement diminué par le passé, tant dans le domaine des capteurs que dans celui des systèmes. La Figure R-1 illustre l'évolution des coûts des capteurs solaires produits par un fabricant suisse renommé. L'analyse de deux programmes d'encouragement lancés par l'Office fédéral de l'énergie démontre une évolution très semblable pour les systèmes.

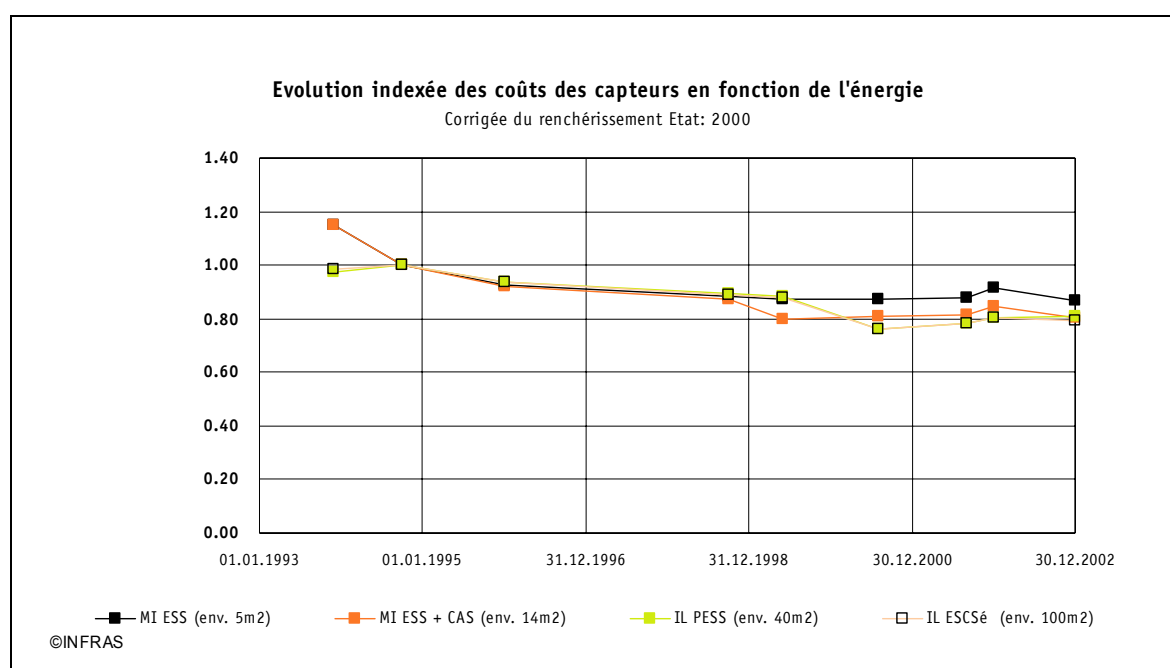


Figure R-1: Evolution indexée des coûts des capteurs en fonction de l'énergie (source : Ernst Schweizer AG).¹

Les données analysées révèlent un taux de progression (progress ratio) de quelque 0,86 pour le marché suisse des installations solaires thermiques. Chaque doublement de l'expérience de production cumulée a donc permis une diminution relative du prix de production de l'énergie de 14%. Cette valeur s'aligne bien sur les analyses des marchés étrangers, notamment celui des capteurs solaires en Allemagne. Ces dix dernières années, le coût de l'énergie fournie par des installations solaires thermiques a reculé de

¹ MI = maison individuelle, IL = immeuble locatif, ESS = eau sanitaire solaire, CAS = chauffage d'appoint solaire, PESS = préchauffage eau sanitaire solaire, ESCSé = eau sanitaire couverture solaire élevée.

près de 20%. Cette diminution est due non seulement aux progrès réalisés dans la fabrication des capteurs et au recul des coûts de planification et de montage, mais aussi à l'amélioration de l'efficacité des capteurs grâce aux progrès techniques.

Forts du résultat de nos analyses, nous pensons que les prix des capteurs solaires en Suisse s'adapteront à l'avenir encore plus à l'évolution des marchés des pays voisins, et donc également aux constatations (effets d'apprentissage) et à l'évolution des prix, comme c'est déjà massivement le cas aujourd'hui pour le photovoltaïque.

Futurs coûts de l'utilisation active d'énergie solaire

Le second volet de l'étude analyse les coûts actuels et futurs de l'exploitation active d'énergie solaire dans les bâtiments garantissant une utilisation énergétique efficace. Pour ce faire, elle applique de vastes modèles de calcul jusqu'en 2030. La définition du type de bâtiment présentant une consommation énergétique efficace repose sur les standards Minergie et Minergie-P établis en Suisse. Font office de bâtiments de référence une maison individuelle avec 180m² de SRE (surface de référence énergétique) et un immeuble locatif avec 1280m² de SRE, construits dans le respect des standards Minergie et Minergie-P. De plus, l'analyse distingue deux variantes, à savoir une rénovation et une nouvelle construction.

En ce qui concerne la méthode appliquée, il faut relever que la situation de référence choisie pour l'étude inclut déjà une conception des bâtiments assurant une exploitation efficace de l'énergie, de même que les coûts requis par les mesures de construction et les systèmes d'aération que cela implique. Concrètement, l'étude s'intéresse en premier lieu à l'aspect de l'utilisation additionnelle de l'énergie solaire.

Différents systèmes permettant de couvrir les besoins énergétiques qu'engendrent le chauffage des locaux et de l'eau sanitaire sont analysés pour chaque bâtiment de référence. Au total, huit variantes sont sélectionnées; pour chaque variante, on examine une solution conventionnelle monovalente sous forme de combustion fossile, de pompe à chaleur ou de chauffage au bois et, en complément, une variante solaire permettant l'utilisation complémentaire active d'énergie solaire. A quoi s'ajoute une variante spéciale combinant pompe à chaleur et installation photovoltaïque. Les variantes analysées sont représentées dans la Figure R-1.

SELECTION DES COMBINAISONS DE SYSTEMES								
Systèmes	Maison individuelle				Immeuble locatif			
	Minergie rénové	Minergie neuf	Minergie-P neuf/ rénové		Minergie rénové	Minergie neuf	Minergie-P neuf/ rénové	
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6	Variante 7	Variante 8
Chauffage avec com- bustibles fossiles	(X) ^R				(X) ^R			
Chauffage au bois (avec répartition de chaleur)						(X) ^R		
Chauffage au bois (con- vectif)			(X) ^R					
Pompe à chaleur pour chauffage et eau sanitaire (ES)		(X) ^R	(X) ^R	(X) ^R			(X) ^R	(X) ^R
Capteurs solaires ES Couverture solaire élevée	(X)			↑			(X)	
Capteurs solaires préchauffage ES					(X)	(X)		
Capteurs solaires ES et chauffage d'appoint (CA)		(X)	(X)					(X)
Électricité solaire pour QE				X				

Q_e = énergie électrique pour la production de chauffage.

Tableau R-1: Les différentes variantes de systèmes sélectionnés. Les cercles imprimés en gras représentent le système de chauffage principal. A l'exception de la variante 3, où la solution de référence inclut également une pompe à chaleur, le système de base en application monovalente fait simultanément office de variante de référence. Celle-ci est caractérisée par la lettre R. Les cercles reliés aux cercles en gras par une ligne indiquent quels composants conventionnels et solaires ont été intégrés dans la technique du système. En règle générale, cette combinaison permet de réaliser des synergies de coûts importantes par rapport aux systèmes individuels. La variante du courant solaire ne présente aucune dépendance. Dans la variante 4, on quitte les limites du système, car il faut recourir temporairement au réseau électrique comme accumulateur intermédiaire.

Le calcul des coûts des huit variantes de référence et des huit variantes de combinaison repose sur un dimensionnement approximatif du système et sur la définition de la technologie utilisée. Le coût de production de l'énergie est établi selon la méthode des annuités. Pour ce faire, la méthode et les hypothèses de la norme SIA 480 consacrée au calcul de rentabilité dans le bâtiment ont été respectées autant que possible. Le coût des investissements est estimé sur la base de calculs indicatifs de producteurs et de planificateurs ainsi que d'informations tirées de la documentation actuelle. Le coût de l'entretien inclut des valeurs typiques sous forme de pourcentages d'investissement. Voilà comment a été calculé le prix de la production d'énergie (Figure R-2).

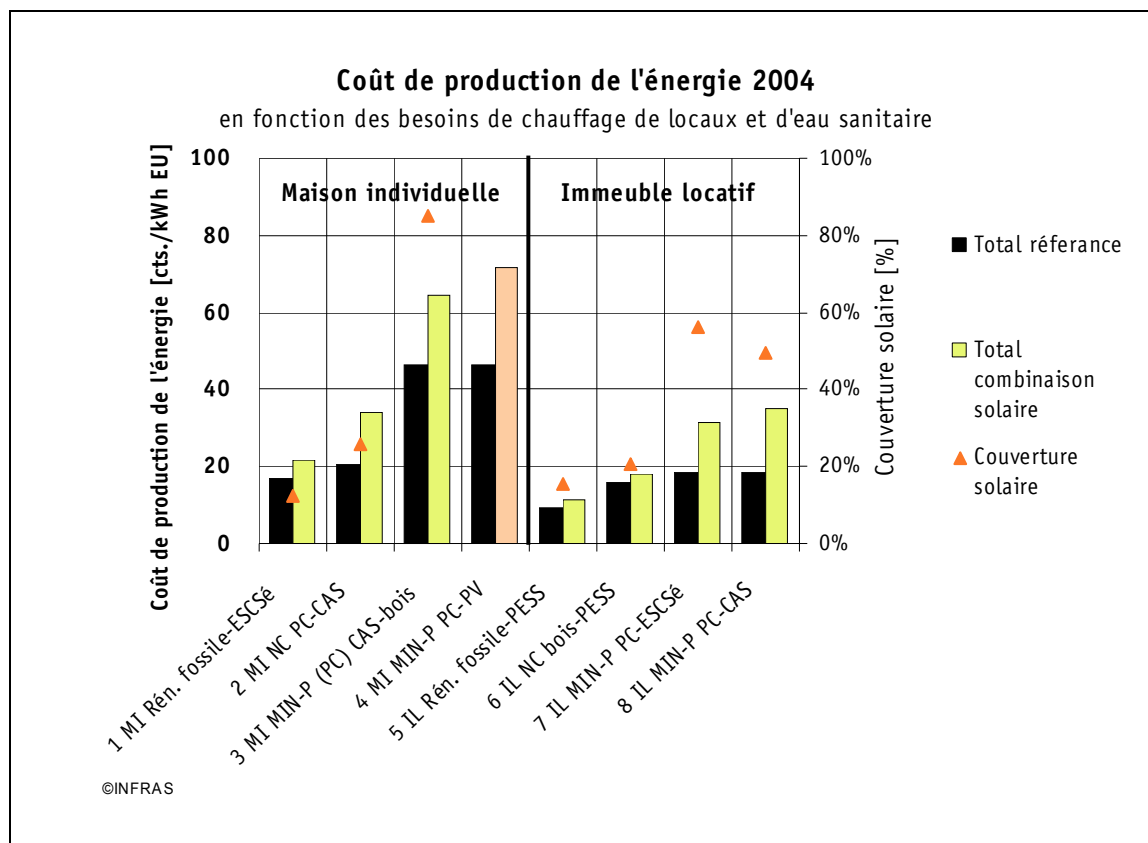


Figure R-2: Coût de production actuel de l'énergie par kWh d'énergie utile (EU) pour les huit variantes de systèmes (pour l'application de référence monovalente comme en combinaison avec l'énergie solaire). La couverture solaire se rapporte à l'énergie requise pour le chauffage et l'eau sanitaire. Pour la description des catégories, voir note au bas de la page.²

Abstraction faite d'éventuels avantages complémentaires ou de moyens d'encouragement, les variantes de référence en application monovalente sont aujourd'hui toutes nettement plus avantageuses que les systèmes bivalents exploitant activement l'énergie solaire. Les variantes 1, 5 et 6 avec préchauffage solaire de l'eau sanitaire présentent la plus petite différence relative entre la solution de référence et la combinaison solaire. A noter cependant que dans ces variantes, la couverture solaire est modeste (15 à 20% environ de l'énergie requise pour le chauffage des locaux et de l'eau sanitaire). Plus la couverture solaire est élevée, plus le surcoût relatif par rapport à la variante de référence a tendance à augmenter. Il n'est pas judicieux de comparer le coût de production des huit variantes de systèmes, puisque la qualité de construction des bâtiments, et donc les besoins en énergie, diffèrent. L'investisseur s'intéressera surtout au surcoût par bâtiment, respectivement par unité d'habitation.

Les suppléments de coûts des variantes analysées sont représentés dans la Figure R-3 sous forme de coûts annuels. Dans le cas d'une maison individuelle, ils varient aujourd'hui entre 700 et 1500 francs par année, tandis qu'ils se situent entre 1400 et un peu plus de 6000 par année pour un immeuble locatif, ce qui représente environ entre 125 et 500 francs par année par unité d'habitation. Lorsque le surcoût peut être répercuté sur les locataires, le loyer d'une unité d'habitation n'augmente que de 10 francs (variante 6) à 40 francs par mois (variante 8). En conséquence, si l'on tient compte des avantages supplémentaires d'une installation solaire (p. ex. attrait

² MI = maison individuelle, IL = immeuble locatif, Rén = rénovation, NC = nouvelle construction, PC = pompe à chaleur, PV = installation photovoltaïque, ESS = eau sanitaire solaire, CAS = chauffage d'appoint solaire, PESSE = préchauffage eau sanitaire solaire, ESCSé = eau sanitaire couverture solaire élevée, EU = énergie utile.

accru du logement proposé en location), les coûts par unité locative ne devraient pas poser de problème voire être intéressants pour l'investisseur. Pour les locataires, si l'on considère que ces valeurs concernent des logements de surface généreuse offrant un confort élevé, cette charge devrait être insignifiante. L'influence sur le rendement brut reste elle aussi modeste dans toutes les variantes. Dans le cas de l'immeuble locatif, le rendement brut recule d'env. 0,1% même dans la variante entraînant le plus de coûts supplémentaires, et de quelque 0,03% seulement dans les systèmes de préchauffage de l'eau sanitaire.

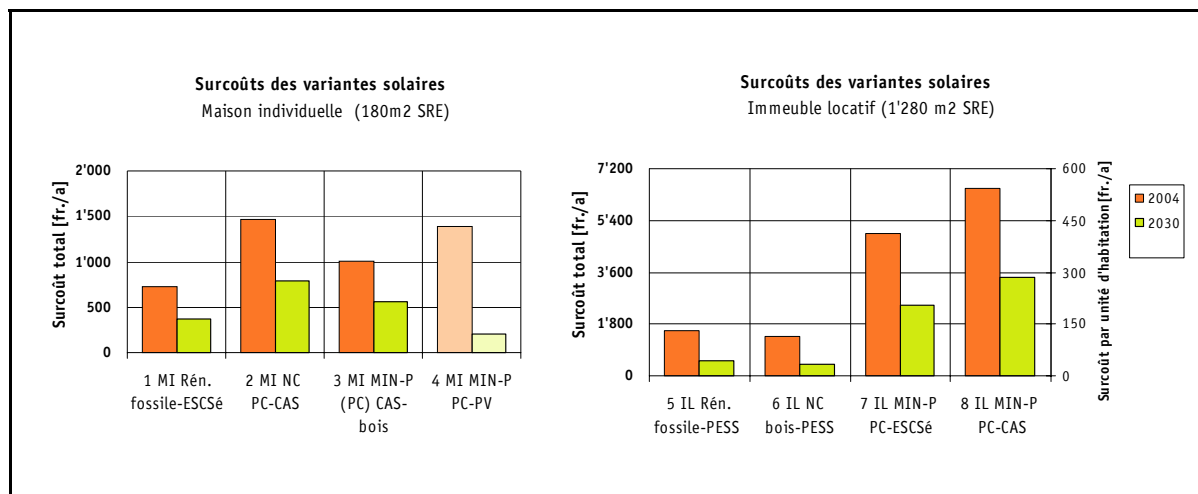


Figure R-3: Comparaison des coûts annuels des variantes de systèmes. Etat des coûts en 2004 et perspectives pour 2030 (scénario des prix de l'énergie BAS).

L'analyse détaillée de la documentation consacrée aux courbes d'apprentissage et à l'évolution des coûts, l'analyse des technologies et des scénarios de la future évolution des prix déterminants pour notre étude débouchent sur une estimation du coût de production de l'énergie et du surcoût jusqu'en 2030.

Nous prévoyons une évolution relative des coûts d'investissement et d'entretien d'ici 2030 telle qu'elle est représentée dans le Tableau R-2, selon lequel les coûts, notamment des technologies solaires, diminueront fortement d'ici 2030.

Technologie	2004	2010	2020	2030
Installations de capteurs solaires	100%	87%	70%	60%
Photovoltaïque	100%	72%	50%	30%
Pompes à chaleur	100%	93%	82%	70%
Chauffage au mazout/gaz	100%	99%	97%	95%
Chauffage au bois	100%	97%	91%	85%

Tableau R-2: Evolution relative des facteurs de coûts spécifiques à une technologie (investissement et entretien, sans frais d'exploitation).

Après avoir sélectionné deux scénarios pour le prix de l'énergie, l'évolution du coût de production de l'énergie d'ici 2030 a été établi pour les huit variantes de systèmes. Comme il fallait s'y attendre en misant sur une courbe d'expérience significative en matière de technologies solaires d'ici 2030, le surcoût des variantes solaires en 2030 chute d'au moins 45% par rapport aux majorations actuelles pour toutes les variantes, parfois encore sensiblement plus (cf. Figure R-3). Les résultats prouvent que dans le scénario prévoyant des prix de l'énergie BAS aucune des variantes solaires analysées

n'est vraiment moins chère que la variante de référence. Cependant, dans le scénario prévoyant des prix ELEVES, les installations de préchauffage de l'eau sanitaire (variantes 5 et 6) atteignent le seuil de rentabilité. En présence de prix de l'énergie élevés, la variante 5 permet même d'économiser chaque année quelque 250 francs par rapport à la variante de référence. Dans un immeuble locatif, les coûts supplémentaires atteignent donc au maximum 300 francs par année, soit 25 francs par mois et par ménage. Si l'on réfléchit à l'influence du rendement brut au cas où le surcoût ne pourrait être répercuté sur les locataires, force est de constater que ce dernier se détériore au maximum de 0,07% dans la variante la plus défavorable, mais qu'il cède nettement moins de terrain avec les installations de préchauffage de l'eau sanitaire. S'il peut générer ainsi des avantages complémentaires, ce recul devrait être insignifiant pour un investisseur.

Le système combinant pompe à chaleur et installation photovoltaïque constitue déjà aux coûts actuels une variante intéressante permettant d'atteindre une couverture solaire élevée. A condition cependant qu'il s'agisse d'un bâtiment aux besoins énergétiques très modestes, comme par exemple une maison Minergie-P. Grâce à la forte dégression des coûts prévue pour les installations photovoltaïques, cette variante devrait être compétitive en 2030, même en tenant compte des coûts extérieurs du stockage saisonnier de l'électricité solaire.

Le prix de l'énergie influence visiblement la compétitivité de l'énergie solaire, et des prix élevés permettent d'atteindre plus rapidement le seuil de rentabilité. Cependant, dans les bâtiments à faible consommation d'énergie, l'effet absolu sur le surcoût reste relativement modeste: le niveau des besoins énergétiques absolus y est déjà très bas et la couverture solaire reste moyenne pour des raisons économiques évidentes. La consommation d'énergies conventionnelles demeure donc importante. Il en résulte qu'une éventuelle taxe sur l'énergie ou le CO₂ peut constituer un instrument performant pour améliorer l'efficacité énergétique et encourager le recours aux énergies renouvelables dans les bâtiments conventionnels. Mais elle risque de ne stimuler l'utilisation d'énergie solaire dans les constructions visant une utilisation efficace de l'énergie que de manière limitée.

Avantages complémentaires et analyse du seuil de rentabilité

L'utilisation active d'énergie solaire dans les bâtiments offrant une exploitation énergétique efficace comporte deux catégories d'avantages complémentaires déterminantes:

1. les avantages d'une installation solaire de manière générale, indépendamment du type de bâtiment; en font partie par exemple l'accès à des moyens d'encouragement cantonaux pour installations solaires ou l'autonomie face à l'augmentation du prix de l'énergie;
2. les avantages complémentaires particuliers, qui ne peuvent être réalisés aujourd'hui que dans le cadre de constructions visant une exploitation efficace de l'énergie; comme par exemple pouvoir éviter de prendre des mesures alternatives sur l'enveloppe du bâtiment grâce au recours à des énergies renouvelables dans les standards Minergie.

Jusqu'ici, la recherche ne s'est encore jamais intéressée de manière ciblée aux avantages complémentaires généraux des installations solaires. Ceux-ci ne peuvent donc être estimés qu'à l'aide d'études consacrées à des domaines semblables. Certains travaux font état d'une disposition des ménages à verser en moyenne environ 50 à 100 francs par mois, soit 600 à 1200 francs par année pour améliorer le climat et diminuer la pollution atmosphérique. Si l'on compare ces valeurs au surcoût actuel de l'énergie solaire dans les bâtiments que nous avons analysés, qui s'élève à quelque 700 à 1500 francs dans les maisons individuelles et à 125 à 500 francs par ménage dans les immeubles locatifs, il en ressort que les avantages complémentaires généraux pourraient bien se situer dans la même fourchette que les frais supplémentaires entraînés par le recours à l'énergie solaire.

D'autres avantages complémentaires sont envisageables si les exigences en matière de qualité énergétique des bâtiments sont très sévères, comme c'est le cas pour les constructions Minergie et surtout Minergie-P. Tant que la consommation d'énergies non renouvelables aura le dessus, il peut s'avérer plus rentable de faire appel à l'énergie solaire au lieu de prendre des mesures pour minimiser les pertes d'énergie du bâtiment. Les coûts des différentes mesures d'économie ont été analysés en détail dans une étude du CEPE (CEPE 2003). Les résultats démontrent que le respect des critères

Minergie exige des mesures coûtant un peu moins de 10 à 30 centimes par kWh (si aucune énergie renouvelable n'est sollicitée). Si la valeur limite n'est pas atteinte, les coûts augmentent sensiblement. Les bâtiments Minergie-P nécessitent quant à eux des mesures dont le coût limite dépasse 25 à 60 centimes.

La Figure R-4 indique le coût de production spécifique de l'énergie solaire aux prix actuels. Les surfaces en rouge représentent le coût limite de mesures nécessaires pour le bâtiment situées entre exigence primaire et valeur limite pour le standard de construction concerné, c'est-à-dire dans le domaine du standard Minergie où une utilisation renforcée de l'énergie solaire peut remplacer des mesures destinées à minimiser les pertes. Dans toutes les variantes de système analysées pour les immeubles locatifs, le coût de l'énergie solaire se situe dans la limite inférieure de celui des mesures destinées au bâtiment. Dans les maisons individuelles, les variantes compétitives sont surtout celles prévues pour les bâtiments Minergie-P. Les résultats prouvent qu'il est toujours judicieux de prévoir le recours actif à l'énergie solaire pour minimiser les coûts du système global dans les maisons Minergie-P. Dans les autres bâtiments Minergie, les installations les plus compétitives sont celles qui offrent une couverture solaire modeste. En règle générale, l'appel à l'énergie solaire est économiquement intéressant pour remplacer une isolation d'une épaisseur de plus de 20 cm.

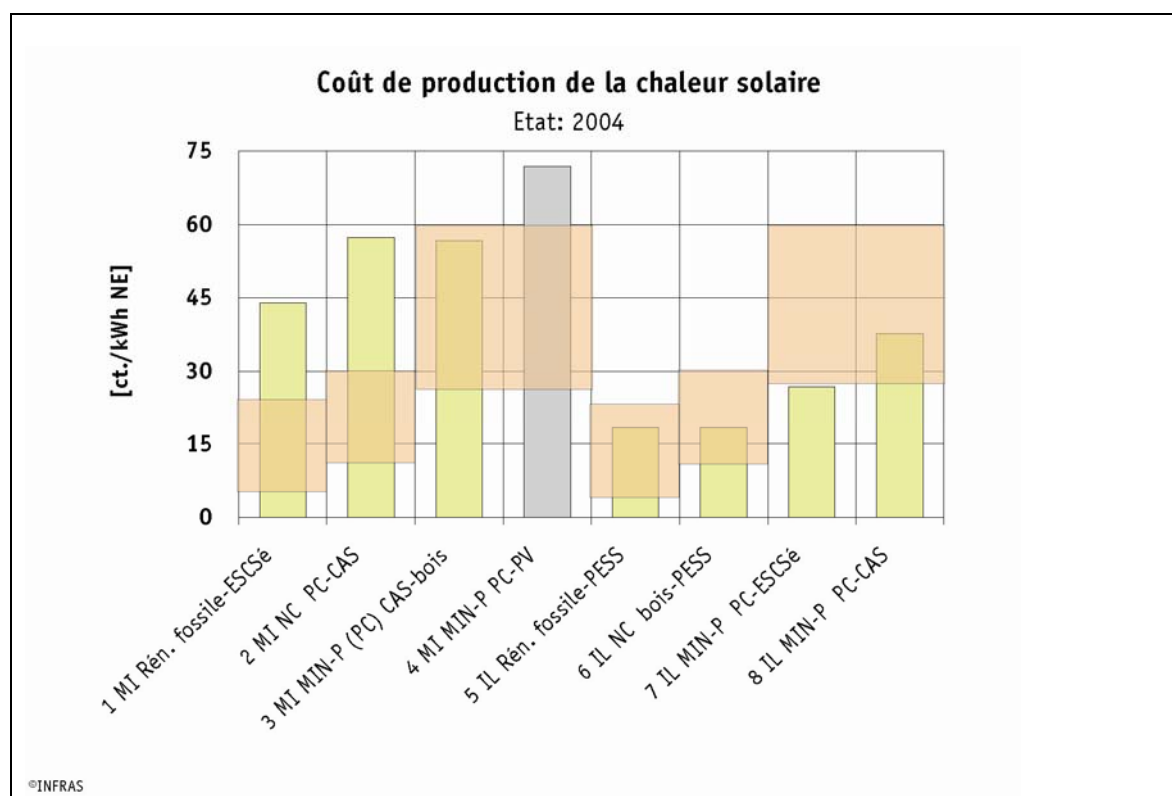


Figure R-4: Coût de production spécifique de l'énergie solaire en comparaison du coût limite des mesures permettant d'atteindre le standard voulu pour le bâtiment concerné (surfaces rouges, valeurs indicatives uniquement). La variante 4 (colonne grise) tient compte des coûts du système installation photovoltaïque / pompe à chaleur.

La variante 4, dans laquelle la pompe à chaleur tourne à l'électricité photovoltaïque, conduit aujourd'hui encore au coût de production spécifique le plus élevé. Les résultats de cette variante devraient cependant nettement s'améliorer d'ici à 2030, grâce à un effet de série supérieur à la moyenne dans le photovoltaïque et à des améliorations du coefficient de performance des pompes à chaleur.

Relevons encore que les mesures destinées au bâtiment en vue de diminuer les besoins de chauffage peuvent elles aussi générer des avantages complémentaires, par exemple sur le plan du confort. Dans le domaine des bâtiments Minergie-P, où les exigences primaires supposent déjà une

enveloppe du bâtiment de très haute qualité, les avantages complémentaires engendrés par les mesures allant au-delà des exigences primaires risquent d'être plutôt restreints.

Marché des installations solaires dans les maisons à faible consommation d'énergie d'ici à 2030

A l'aide de scénarios et d'estimations, nous avons cherché à établir quelle sera la part de l'utilisation d'énergie solaire active dans le cadre des bâtiments Minergie sur le marché d'ici à 2030. Les estimations reposent sur l'évolution générale des surfaces rénovées et nouvellement construites en Suisse, ainsi que sur l'estimation de la part de maisons à faible consommation d'énergie par rapport à la totalité des surfaces construites et leur équipement en installations solaires et photovoltaïques destiné à produire de la chaleur. Pour évaluer la future évolution des surfaces de bâtiments garantissant une utilisation efficace de l'énergie, deux scénarios ont été imaginés: un scénario RENFORCE et un scénario 2000 WATT. Si le premier suppose une diffusion plus dynamique qu'aujourd'hui, mais purement facultative de constructions à consommation énergétique optimale, le scénario 2000 WATT est uniquement axé sur les parts de marché à conquérir pour réaliser les objectifs de la société à 2000 Watt dans le domaine du bâtiment. Pour ce faire, il se réfère aux travaux actuels de l'EMPA (EMPA 2004). Ces deux scénarios sont présentés dans le Tableau R-3.

Bâtiments	RENFORCE			2000 Watt		
2004	Loi	Minergie	Minergie-P	Loi	Minergie	Minergie-P
Nouvelle construction	90	10	0	0	100	0
Assainissement	98	2	0	98	2	0
2030	Loi	Minergie	Minergie-P	Loi	Minergie	Minergie-P
Nouvelle construction	20	40	40	0	20	80
Assainissement	70	15	15	20	60	20

Tableau R-3: Part (en pour-cent) de standards de construction par rapport à la totalité des surfaces construites pour les différents scénarios.

La part de marché (prévisions pour 2030) détenue par les capteurs solaires et les installations photovoltaïques servant à la production de chaleur dans les logements à consommation énergétique efficace a pu être évaluée grâce à un modèle d'estimation à plusieurs échelons. Les résultats sont illustrés dans le Tableau R-4. Selon ces estimations, le marché des capteurs solaires dans les bâtiments à consommation énergétique optimisée nécessite quelque 80000 à 140000 m² de surface par année pour les capteurs, en fonction du scénario choisi pour la diffusion des constructions garantissant une utilisation efficace de l'énergie. D'autres analyses de l'évolution de l'ensemble du marché des capteurs solaires en Suisse aboutissent à la Figure R-5.

	Volume du marché Total 2002	Volume du marché en constructions Minergie en 2030
Scénario RENFORCE		
Capteurs solaires [1000 m ² /a]	26.4	80
Photovoltaïque [MWp/a]	1.72	21
Scénario 2000 WATT		
Capteurs solaires [1000 m ² /a]	26.4	140
Photovoltaïque [MWp/a]	1.72	33

Tableau R-4: Estimation des parts de marché détenues par les maisons Minergie en 2030 (source: SOLAR 2004, calculs INFRAS).

Nous pensons que le marché des systèmes photovoltaïques installés dans les bâtiments à consommation énergétique efficace pourrait progresser à quelque 20 à 30 MWp/a et donc atteindre 10 à 20 fois le volume de l'ensemble du marché suisse actuel (1,7 MWp/a). La combinaison avec des pompes à chaleur ne devrait représenter qu'une part modeste de l'ensemble du marché du photo-

voltaïque en Suisse. Mais notre étude ne nous permet pas d'estimer l'évolution de ce marché dans son ensemble.

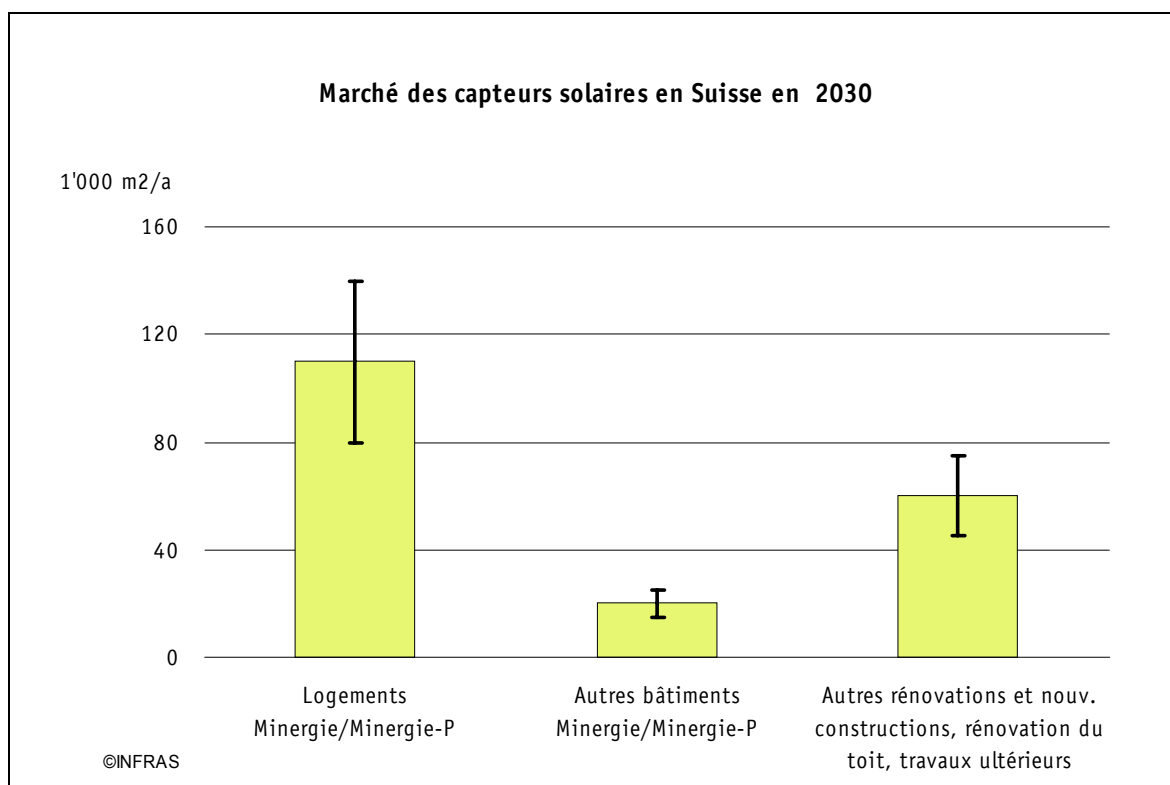


Figure R-5: Estimation des parts de différents segments de bâtiments sur l'ensemble du marché des capteurs solaires en 2030 (source: modèle d'estimation INFRAS).

Mesures de soutien pour l'utilisation active d'énergie solaire dans les constructions à consommation d'énergie efficace

Le principal obstacle à une diffusion plus forte de l'utilisation active du solaire dans les bâtiments à consommation d'énergie efficace réside moins dans le prix de production de l'énergie, légèrement plus élevé que pour les technologies concurrentes, que dans le coût élevé de l'investissement, qui rend difficile également le financement. Parmi les facteurs de réussite, mentionnons la diminution continue du prix de l'utilisation active d'énergie solaire et les grands avantages supplémentaires qu'elle apporte. Mais la diffusion des systèmes monovalents de production de chaleur au moyen de capteurs solaires dans les bâtiments assurant une utilisation efficace de l'énergie est aujourd'hui freinée surtout par l'importance de l'investissement requis pour le stockage saisonnier.

Si l'on veut encourager de manière ciblée l'implantation de l'énergie solaire dans les bâtiments utilisant l'énergie de manière optimale, une adaptation rapide des prescriptions de construction légales aux standards Minergie et Minergie-P s'impose. Cette mesure est la plus efficace lorsqu'il s'agit de promouvoir le renforcement de l'utilisation d'énergie solaire et sa mise en œuvre exigerait un supplément de travail administratif limité. Le tri des exigences posées à l'enveloppe des bâtiments et à la consommation d'énergies non renouvelables permettrait d'optimiser les avantages complémentaires fournis par l'énergie solaire dans les bâtiments à consommation d'énergie efficace. Cette tâche incombe aux cantons. Nous recommandons de maintenir les mesures de politique douce lancées par la Confédération, les cantons et les acteurs concernés dans les domaines de l'information, des conseils et du marketing; elles permettraient ainsi d'appliquer les prescriptions légales à un moindre coût. La recherche sur le stockage saisonnier de chaleur solaire doit être renforcée. Les mesures d'encouragement financier et la redevance en faveur de l'environnement sont quant à elles moins déterminantes dans la réalisation des potentiels, spécialement dans le domaine des constructions assurant une exploitation efficace de l'énergie. Par contre, ces mesures sont essentielles lors-

qu'il s'agit de renforcer l'intégration de l'énergie solaire dans les autres segments de marché et d'épuiser les potentiels d'efficacité énergétique.

Conclusions et recommandations

Le coût des installations à capteurs solaires en Suisse a pu être sensiblement réduit ces dernières années. Et l'évolution dynamique attendue sur le marché des installations solaires et photovoltaïques entraînera d'ici 2030 une nouvelle baisse de 40% pour les capteurs solaires et de 70% pour le photovoltaïque. Dans ce secteur précisément, l'évolution des coûts dépendra fortement de celle des marchés internationaux. Les installations de capteurs solaires suivront le mouvement, mais dans une moindre mesure.

La comparaison des coûts de production de l'énergie des différents systèmes producteurs de chaleur dans les bâtiments visant une exploitation efficace de l'énergie révèle différents aspects.

- En comparaison directe avec les producteurs de chaleur conventionnels (combustibles fossiles, pompes à chaleur, bois), l'utilisation active d'énergie solaire dans les constructions garantissant une consommation d'énergie optimale entraîne toujours un surcoût. Cependant, les majorations absolues entraînées par le solaire sont tellement modestes dans les variantes analysées (surtout pour les installations de préchauffage d'eau sanitaire dans les immeubles locatifs) qu'elles ne devraient pas constituer un obstacle sérieux à la décision d'investir dans ce domaine. La détérioration du rendement brut d'un objet typique, même équipé de systèmes garantissant une couverture solaire élevée, devrait en principe se limiter à quelques centièmes. Le surcoût de 10 à 40 francs par mois et par ménage dans un immeuble locatif de taille moyenne – le surcoût est inférieur à 100 francs par ménage dans une maison individuelle – devrait être bien accepté, même en étant répercuté sur les locataires. Sans compter qu'il diminuera encore sensiblement d'ici 2030. Dans l'exemple, le surcoût d'une utilisation active de l'énergie solaire atteint 1400 à 6000 francs par année. En comparaison, les majorations dues à l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment et du système d'aération dans le cadre du standard Minergie et Minergie-P s'élèvent à environ 10'000 francs par année (nouvelle construction Minergie), voire 30000 francs par année (Minergie-P).
- Si l'on tient compte de la future réduction des coûts des installations solaires et photovoltaïques, certaines des variantes de systèmes analysées deviennent aussi économiques que les producteurs d'énergie conventionnels. Et ce d'autant plus vite si l'on prévoit une nette hausse du prix de l'énergie. En 2030, le surcoût sera presque insignifiant pour toutes les variantes analysées, quel que soit le scénario choisi pour l'évolution des prix de l'énergie.
- Aux prix actuels, la variante de système virtuelle combinant pompe à chaleur et installation photovoltaïque constitue déjà une solution intéressante pour atteindre une couverture solaire élevée dans les bâtiments à consommation d'énergie très efficace. Grâce au fort recul des coûts prévu pour les installations photovoltaïques, cette variante approchera la rentabilité économique vers 2030. Supposons que les coûts externes du stockage saisonnier du courant photovoltaïque se situent à quelque 12 centimes/kWh_{el} et qu'ils soient pris en compte dans la facture, la rentabilité de cette variante ne s'en trouve que faiblement affectée et sa position par rapport aux variantes thermiques solaires reste inchangée. Cependant, dans les constructions conventionnelles respectant les exigences légales minimales, ou en cas de couverture solaire basse le recours à l'électricité photovoltaïque pour l'exploitation de pompes à chaleur n'est pas intéressant en comparaison de la production d'énergie par voie solaire thermique.
- L'évolution du prix des énergies conventionnelles exerce une influence relativement faible sur le surcoût absolu de l'utilisation du solaire dans le segment des constructions à consommation énergétique optimale. Les coûts d'investissement et d'entretien d'une installation thermique solaire sont par contre nettement plus élevés. On peut en conclure qu'une éventuelle taxe sur l'énergie ou le CO₂ pourrait être un instrument très utile pour améliorer l'efficacité énergétique et encourager le recours aux énergies renouvelables dans

les bâtiments conventionnels. Mais elle risque de ne stimuler l'utilisation d'énergie solaire dans les constructions visant une utilisation efficace de l'énergie que de manière limitée.

- Une solution avantageuse permettant l'installation de systèmes de capteurs solaires monovalents améliorerait sensiblement la compétitivité de la production de chaleur au moyen d'énergie solaire. En conséquence, il faut poursuivre et intensifier les efforts de recherche sur le stockage saisonnier de la chaleur, même dans les bâtiments de taille plus restreinte.
- S'ils ne peuvent être quantifiés avec précision, les avantages complémentaires généraux des capteurs solaires et des installations photovoltaïques influenceront fortement la décision d'investir ou non. La baisse des coûts attendue d'ici 2030 laisse espérer que le recours à l'énergie solaire, compte tenu des avantages qu'elle apporte, bénéficiera d'un regain d'intérêt.
- Dans les constructions conventionnelles respectant les exigences légales actuelles, l'utilisation active d'énergie solaire ne peut pas encore, sur le plan économique, rivaliser avec les mesures améliorant la consommation énergétique du bâtiment. La situation n'évolue qu'en présence d'énormes épaisseurs d'isolation ou de vitrages de qualité. D'une manière générale, dès que l'épaisseur de l'isolation excède 20 cm, le coût de l'utilisation active d'énergie solaire est inférieur au prix de l'énergie économisée grâce à une meilleure isolation. Pour les constructions à consommation énergétique efficiente faisant le tri des exigences primaires en matière d'enveloppe du bâtiment et du besoin d'énergies précieuses apportées de l'extérieur – comme par exemple Minergie et Minergie-P, se profile un domaine d'application où le recours actif à l'énergie solaire devient intéressant pour minimiser les coûts de l'ensemble du système. La compétitivité dépend surtout de l'exécution de la construction par rapport aux exigences primaires, de la valeur limite régissant le besoin d'énergies non renouvelables et de la pondération des agents énergétiques.

Les estimations jointes à l'analyse de l'importance des édifices énergétiquement efficaces sur le futur marché des capteurs solaires et des installations photovoltaïques indiquent ce qui suit.

- Si l'on opte pour un scénario de diffusion modérée des édifices Minergie et Minergie-P, environ la moitié des capteurs solaires devrait être installée dans des bâtiments à consommation énergétique optimisée. Dans un scénario compatible avec les objectifs de la société à 2000 WATT, cette part pourrait même progresser, jusqu'à atteindre deux tiers. Rien que dans ce segment de marché, le volume des systèmes installés en 2030 représenterait le triple, voire le quintuple du volume actuel.
- Selon le scénario choisi pour la diffusion des maisons à faible consommation d'énergie, la combinaison de photovoltaïque et de pompes à chaleur devrait permettre en 2030 d'installer entre 20 et 30 MWp de puissance photovoltaïque, ce qui représenterait, uniquement pour cette application, une part 10 à 20 fois plus importante que le marché photovoltaïque suisse actuel.
- En 2030, le recours actif à l'énergie solaire devrait permettre de couvrir quelque 25% des besoins de chauffage dans les maisons à consommation énergétique optimale. Le reste sera fourni surtout par les pompes à chaleur et le chauffage au bois, tandis que les combustibles fossiles perdront pratiquement toute signification dans ce segment de marché.

Il est essentiel d'adapter rapidement les prescriptions de construction légales aux standards Minergie et Minergie-P pour bénéficier du potentiel de l'énergie solaire que nous avons démontré dans le domaine des constructions énergétiquement efficaces. Les prescriptions devraient devenir plus sévères: exigences posées à la consommation d'énergies non renouvelables nettement plus strictes, exigences primaires en matière d'enveloppe du bâtiment ne dépassant pas inutilement le niveau de confort, d'hygiène et d'une orientation durable pour la construction des bâtiments. Voilà qui élargit la marge de manœuvre pour optimiser l'ensemble du système en matière de coûts et d'avantages. Reste que la définition des exigences, dans la perspective d'une politique de construction durable, doit tenir compte également des difficultés de l'amélioration ultérieure de l'enveloppe des bâti-

ments, comme des différentes qualités de mesures d'efficacité énergétique (passive, effet durable) et des énergies renouvelables (systèmes actifs, effet moyen et moins sûr). En conséquence, les exigences posées à l'enveloppe du bâtiment doivent devenir plus sévères que les exigences légales actuelles, mais avec mesure. Le maintien d'une politique douce sous forme d'information, de conseils et de marketing est indiquée, puisqu'elle contribue à la mise en oeuvre des prescriptions légales à un moindre coût. Nous nous rallions au concept de recherche élaboré par la CORE et recommandons le renforcement ciblé des recherches consacrées au stockage saisonnier de la chaleur solaire. Quant aux mesures d'encouragement financières et à la redevance en faveur de l'environnement, elles sont moins importantes pour la réalisation des potentiels dans le domaine de la construction efficace sur le front énergétique. En revanche, ces mesures sont déterminantes lorsqu'il s'agit de renforcer le recours à l'énergie solaire active dans les autres segments de marché. La redevance en faveur de l'environnement peut par ailleurs stimuler fortement la construction de bâtiments énergétiquement efficaces et constituer un encouragement à une exploitation de l'énergie efficace allant au-delà des exigences légales minimales.

1 Ziele der Studie

Die Solarenergie ist technisch in der Lage, eine wichtige Funktion im Rahmen der energieeffizienten Bauweise wahrzunehmen. Die entsprechenden Potenziale sind gross. Trotzdem ist die Realisierung der technischen Potenziale noch mit verschiedenen Hemmnissen konfrontiert und die aktive Solarenergienutzung nimmt bei energieeffizienten Bauten aktuell einen relativ geringen Stellenwert bei der Energiebereitstellung ein.

Mit der vorliegenden Studie sollen die Potenziale und Hemmnisse für die Nutzung der Solarenergie im Rahmen von energieeffizienten Neubauten und Sanierungen vertieft untersucht und Lösungen für die effiziente Stärkung der Solarenergie im Rahmen der energieeffizienten Bauweise entwickelt werden.

Im Vordergrund stehen folgende Fragen:

- Wie haben sich die Kosten der Solarkollektoranlagen in der Schweiz seit 1990 entwickelt? Was sind die treibenden Effekte hinter der Kostenentwicklung?
- Wie ist die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes der aktiven Solarenergienutzung bei heutigen Neubauten und Sanierungen für verschiedene Kategorien von energieeffizienten Bauten zu beurteilen? Welche Faktoren beeinflussen die Wirtschaftlichkeit? Welche Rolle spielen die Zusatznutzen der Solarenergie, insbesondere bei energieeffizienten Bauten?
- Welche Kostenentwicklungen sind für die aktive Solarnutzung zu erwarten, aufgrund von Lerneffekten, bei den entlang der Wertschöpfungskette involvierten Akteuren und durch Skaleneffekte bei der Produktion (Zeithorizont 2010, 2020, 2030)? Welche wirtschaftlichen Potenziale sind in diesem Zeitraum realistisch?
- Welche energetische Bedeutung kann die Solarenergie im Rahmen der energieeffizienten Bauweise erlangen, wenn von der Realisierung der wirtschaftlichen Potenziale in den verschiedenen Gebäudekategorien ausgegangen wird und die Entwicklung der konkurrierenden Energiesysteme berücksichtigt wird?
- Mit welchen anreizorientierten Massnahmen kann die Realisierung der wirtschaftlichen Potenziale gefördert werden?

