



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**

**Schlussbericht** 30. April 2012

---

# **Methodik zur Umsetzung von solaren Strategien in der Architektur**

---

**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE  
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Kofinanzierung:**

Hochschule Luzern, CH-6048 Horw  
Amt für Umwelt und Energie, CH-4019 Basel  
Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern  
3S Swiss Solar Systems AG, 3250 Lyss  
Ernst Schweizer AG, 8908 Hedingen  
Schenker Storen AG, 5012 Schönenwerd  
Velux Schweiz AG, 4632 Trimbach  
brenet / bisol, CH-6048 Horw / CH-6952 Canobbio

**Auftragnehmer:**

Hochschule Luzern, Technik &Architektur  
Technikumstrasse 21  
CH-6048 Horw  
[www.hslu.ch](http://www.hslu.ch)

**Autoren:**

Ehrbar Doris, Hochschule Luzern, T&A, CCTP, [doris.ehrbar@hslu.ch](mailto:doris.ehrbar@hslu.ch)  
Marcel Hohl, Hochschule Luzern T&A, CCTP, [marcel.hohl@hslu.ch](mailto:marcel.hohl@hslu.ch)  
Dr. Ulrike Sturm, Hochschule Luzern T&A, CCTP, [ulrike.sturm@hslu.ch](mailto:ulrike.sturm@hslu.ch)  
Prof. Dr. Peter Schwehr, Hochschule Luzern T&A, CCTP, [peter.schwehr@hslu.ch](mailto:peter.schwehr@hslu.ch)  
Moosberger Sven, Hochschule Luzern T&A, ZIG / Equa Simulations AB,  
[sven.moosberger@equa.ch](mailto:sven.moosberger@equa.ch)  
Prof. Urs-Peter Menti, Hochschule Luzern T&A, ZIG, [urs-peter.menti@hslu.ch](mailto:urs-peter.menti@hslu.ch)

**BFE-Bereichsleiter:** Andreas Eckmanns

**BFE-Programmleiter:** Charles Filleux

**BFE-Vertrags- und Projektnummer:** 154241 / 103216

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>5</b>
1.1.	Hintergrund .....	5
	Nutzung der Solarenergie .....	6
	Solare Strategien in der Architektur .....	6
	Planung von solaren Gebäuden .....	7
1.2.	Zielsetzung .....	7
1.3.	Methodik.....	8
	Solare Strategien und deren energetische Relevanz .....	9
	Planungsprozess und Hilfsmittel zur Planung von solaren Gebäuden.....	9
	Gestalterische Möglichkeiten beim Einsatz von aktiv-solaren Strategien .....	9
<b>2.</b>	<b>Solare Strategien und deren energetische Relevanz.....</b>	<b>10</b>
2.1.	Auslegung von Gebäuden .....	10
	Betrieb des Gebäudes .....	11
2.2.	Mehrfamilienhaus der Siedlung Elfenau .....	13
2.2.1.	Siedlung Elfenau .....	13
	Lage .....	13
	Mikroklima .....	13
	Gebäude .....	13
2.2.2.	Untersuchung der solaren Sanierungsstrategien .....	14
2.2.3.	Zusammenfassung der Resultate .....	16
2.3.	Wohn- und Bürogebäude Mühlebach, Zürich .....	18
2.3.1.	Wohn- und Bürogebäude Mühlebach, Zürich .....	18
	Lage .....	18
	Mikroklima .....	18
	Gebäude .....	18
2.3.2.	Untersuchung der solaren Neubaustrategien .....	19
2.3.3.	Zusammenfassung der Resultate .....	21
2.4.	Schlussfolgerung .....	22
<b>3.</b>	<b>Planungsprozess und Planungswerkzeuge.....</b>	<b>23</b>
3.1.	Planungsprozess .....	23
3.1.1.	Zusammenfassung der Resultate .....	23
3.2.	Planungswerkzeuge.....	24
3.2.1.	Zusammenfassung der Resultate .....	25
	Bewertung von ausgewählten Bewertungs- und Simulationstools .....	26
3.3.	Datenbanken.....	27
3.3.1.	Zusammenfassung der Resultate .....	27
3.4.	Schlussfolgerung .....	28
<b>4.</b>	<b>Gestalterische Möglichkeiten beim Einsatz von solaren Strategien .....</b>	<b>29</b>
4.1.	Gestaltung von Fassaden .....	29
4.1.1.	Zusammenfassung der Resultate .....	29
4.2.	Verwendung von aktiv-solaren Strategien .....	31
4.2.1.	Zusammenfassung der Resultate .....	31
4.3.	Aktiv-solare Produkte .....	32
4.3.1.	Zusammenfassung der Resultate .....	32
<b>5.</b>	<b>Schlussfolgerung und Ausblick.....</b>	<b>34</b>

# Abstract

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung einer Methodik zur Umsetzung von solaren Strategien in der Architektur. Hierfür wurden die drei Teilbereiche, „Solare Strategien und deren energetische Relevanz“, „Planungsprozess und Planungswerkzeuge zur Planung von solaren Gebäuden“ und „Gestalterische Möglichkeiten beim Einsatz von solaren Strategien“ untersucht.

Die Resultate zeigten, dass der Einbezug von aktiv- und passiv-solare Strategien bei der Sanierung eine Alternative zu den auf die Dämmstrategie ausgelegten Standards, wie beispielsweise SIA 380/1 oder Minergie-P, bieten. Das heisst, unter weitgehender Berücksichtigung der gestalterischen Belange des bestehenden Gebäudes kann mit diesen Strategien die Betriebsenergie auf null gesenkt werden. Bei energieeffizienten Neubauten stehen der sommerliche Wärmeschutz und die Behaglichkeit im Zentrum der Betrachtung. Um solare Strategien optimal in die Architektur integrieren zu können, muss Planenden und Architekten ein geeignetes Planungsumfeld, sowie genügend Entscheidungs- und Gestaltungsspielraum zur Verfügung stehen.

Die zunehmende Komplexität der Bauvorhaben wie auch die Integration von solaren Strategien in der Architektur erfordert bereits in der strategischen Planung und der frühen Entwurfsphase eine Zusammenarbeit in einem interdisziplinären Planungsteam. Planende und Architekten müssen wissen, wie ihr Team zusammengesetzt sein muss, welche Schritte im Verlaufe der Planung notwendig sind und wie energetisch optimierter Gebäudekonzepte erstellt werden. Geeignete Bewertungs- und Simulationstools helfen ihnen bereits in dieser Phase, qualitative Entscheide in Bezug auf die Funktionalität des Gebäudes in den iterativen Entwurfsprozess einzubinden. Die zur Berechnung notwendigen Daten sind in aktuellen und gut zugänglichen Datenbanken zusammengefasst, die von den Tools automatisch abgerufen werden können. Anpassungen der Honorarordnung helfen Planenden und Architekten, ihren Mehraufwand in der frühen Planungsphase und die Notwendigkeit eines frühzeitigen Einbezugs von Fachplanern der Bauherrschaft gegenüber zu vertreten.

Die Notwendigkeit zur Erreichung der energetischen Vorschriften darf nicht zu allzu starken gestalterischen Zwängen führen. Im Zentrum der architektonischen Gestaltung müssen weiterhin die sorgfältige Ausarbeitung und die Vermittlung von Werten stehen. Nur so können solare Strategien Teil einer anspruchsvollen Architektur werden und den notwendigen und erhofften Multiplikationseffekt erzeugen. Dies bedeutet auch, dass sich der Einsatz von solaren Produkten und Systemen von der Kosten-Wirkungsgrad-Kalkulation weg zu einer Flächen-Ertrags-Betrachtung verschieben; dies ermöglicht die Integration von solaren Strategien in die Architektur beziehungsweise die Fusion von Gebäude und Technik zu einer neuen Klimarhetorik.

Um diese Ziele zu erreichen, sind geeignete Kommunikationsgrundlagen notwendig, die Planenden und Architekten ein besseres Knowhow in Bezug auf die Integration von solaren Strategien in der Architektur wie auch die Vereinbarkeit von technischen Anforderungen und gestalterischen Werten vermitteln. Diese Kommunikationsgrundlagen könnten auch ausserhalb des Planungsteams zur Vermittlung solarer Inhalte dienen und die Akzeptanz bei der Bevölkerung fördern.

Dieser Schlussbericht ist eine Zusammenfassung der Dokumentation der Arbeit „Methodik zur Umsetzung von solaren Strategien in der Architektur“. Die Dokumentation ist in vollem Umfang im Anhang angefügt.

# Methodik zur Umsetzung von solaren Strategien in der Architektur

## 1. Einleitung

„Architektur soll zur treibenden Kraft für den Einsatz von Solarenergie werden“. Diese im Concept Paper des IEA SHC Task 41 Solar Energy and Architecture formulierte Vision von Jens Windeleff und Anne G. Lien steht im Zentrum dieser Arbeit. Aktiv- und passiv-solare Strategien, insbesondere auch der konsequente Einbezug einer optimalen Tageslichtnutzung, werden heute zu wenig konsequent in die Gebäude integriert. Grossflächige Verglasungen bergen das Risiko von Überhitzung und Blendung; geschlossene Storen führen ganzjährig zu vermehrtem Einsatz von Kunstlicht und verhindern die Nutzung von passiv-solaren Gewinnen im Winter. Aktiv-solare Architektur wird oft additiv und rein technisch verstanden; die architektonische Integration ist sekundär.

Während bei Sanierungen die Möglichkeiten zur Umsetzung von solaren Strategien limitiert sind, werden auch Neubauten oft ohne Berücksichtigung ihres solaren Potentials entworfen und erst, wenn der Gebäudetyp schon feststeht, technisch auf aktiv-solare Nutzung ge"tunt". Diese Praxis wird weder dem architektonischen, technischen und ökonomischen Anspruch gerecht, noch trägt sie zur vermehrten Nutzung von solaren Energien in der Architektur bei. Eine auf Planende und Architekten, wie auch auf das Gebäude ausgerichtete Betrachtungsweise ist deshalb ein essentieller Schritt zur Förderung des aktiven Einbezugs von solaren Strategien in die Architektur.

### 1.1. Hintergrund

Der Schweizer Gebäudebestand für ca. 50% des jährlichen Energieverbrauchs und rund 40% der CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich. Rund 83% des Endenergieverbrauchs der Haushalte entfallen auf Heizwärme und Warmwasser<sup>1</sup>, welche heute noch zu rund 90% mit Öl und Gas aufbereitet werden<sup>2</sup>. Sollen die Ziele der 2000-W-Gesellschaft umgesetzt werden, muss der Heizenergiebedarf der Gebäude bis 2050 um knapp 50% gesenkt werden<sup>3</sup>. Auf die Frage, wie diese Ziele realisiert werden können, respektive wie der Energiebedarf von bestehenden und neuen Gebäuden nachhaltig gedeckt werden soll, gibt es verschiedene Strategien. Diese reichen von der Verlust-Minimierungsstrategie<sup>4</sup>, die sich auf den Einsatz von hoch gedämmten Gebäudehüllen und Effizienz bei Gebäudetechnik, Geräten und Beleuchtungssystemen abstützt bis hin zur Gewinn-Maximierungsstrategie, bei der nicht die Gebäudehülle im Zentrum der Lösung steht, sondern die Gebäudetechnik und die lokal verfügbaren Energien zur Deckung der erforderlichen Betriebsenergie. Letztere bezieht sich auf das Strategiepapier der 1-Tonne-CO<sub>2</sub>-Gesellschaft der ETH Zürich, wonach nicht primär der Energieverbrauch gesenkt werden soll, sondern die CO<sub>2</sub>-Intensität der verbrauchten Energie. Grosse Wichtigkeit erlangt dabei die Bereitstellung von CO<sub>2</sub> armer Elektrizität<sup>5</sup>. Um Gebäude nachhaltig bauen und betreiben zu können, braucht es aber mehr als eine einseitige Energie Strategie. Gefordert ist eine Optimierung der verfügbaren Strategien unter Einbezug von allen beteiligten Stakeholdern mit dem gemeinsamen Ziel, kooperativ einen nachhaltigen Gebäudestock zu erzielen.

---

<sup>1</sup> [BFE, 2010, 20]

<sup>2</sup> Schweizerische Energie-Stiftung [Verfügbar unter: [www.energiestiftung.ch](http://www.energiestiftung.ch), 17.8.2011]

<sup>3</sup> [Sturm, 2006]

<sup>4</sup> vgl. Minergie [[www.minergie.ch](http://www.minergie.ch)]

<sup>5</sup> [Verein Zivilgesellschaft, 2008]

Die Ereignisse der jüngsten Vergangenheit haben gezeigt, dass nicht nur die Forderung zur Reduktion von fossilen Energien, sondern auch die Versorgungssicherheit<sup>6</sup> und die Gefahren für die Umwelt<sup>7</sup> wichtige Argumente für Alternativen zur heutigen Energiepolitik sind. Dabei soll die aktive Beschreitung neuer Wege gesellschaftspolitisch gefordert und gefördert werden.

## Nutzung der Solarenergie

Die Sonne<sup>8</sup> ist eine der zukunftssträchtigen, lokal verfügbaren und erneuerbaren Energiequelle. Ihre Einstrahlung auf die Erde beträgt rund das 15'000 fache des jährlichen Energieverbrauchs der Weltbevölkerung. Können nur Teile dieser Energie für den Gebäudepark nutzbar gemacht werden, könnte der Energieverbrauch und somit auch der CO<sub>2</sub> Ausstoss von Gebäuden markant gesenkt werden. Gemäss Swissolar wird das Potential der Solarenergie in der Schweiz noch lange nicht ausgeschöpft; lediglich 0.3% unseres Warmwasser- und 0.03% unseres Stromverbrauchs wird heute durch Solarenergie gedeckt. Allein auf den verfügbaren Dachflächen könnten aber 30% des Warmwasser- und Stromverbrauchs durch aktive Systeme erzeugt werden<sup>9</sup>. Durch zusätzliche Strategien an der Gebäudehülle und in der Auslegung des Gebäudes kann dieses Potential nochmals signifikant ansteigen; unsere Gebäude liessen sich unter Einbezug der Solarenergie zu Kraftwerk ausbauen.

Bei diesem Ansatz stellt sich aber nicht nur die Frage nach der optimalen technischen Auslegung der Systeme, sondern auch nach der architektonischen Umsetzung der Strategien, der Nutzung und den Anforderungen der Nutzenden. Veränderungen an der Gebäudehülle und der Gebäudetypologie haben einen direkten Einfluss auf die Nutzenden wie auch auf die Gesellschaft und damit auch auf die Akzeptanz und die Relevanz der geplanten Massnahmen. Das heisst, die Nutzung der Solarenergie kann nur dann gefördert werden, wenn die Strategien gut in die Architektur integriert sind und auch als solche verstanden und akzeptiert sind.

## Solare Strategien in der Architektur

Mit der Sonne zu bauen ist nichts Neues. Während früher die Auseinandersetzung mit dem natürlichen Umfeld und die Nutzung der vorhandenen natürlichen Ressourcen ein wichtiger Teil der Bauaufgabe war, ist sie in jüngster Zeit wieder vermehrt zum Thema geworden<sup>10</sup>.

Während bei Neubauten aktiv- und passiv-solare Strategien grundsätzlich frei gewählt und in Bezug auf die Rahmenbedingungen optimiert werden können, ist die Bandbreite an Strategien bei Sanierungen aufgrund der vorhandenen Typologie und der limitierten Eingriffstiefe sehr viel kleiner. Bei Sanierungen wie bei Neubauten ist es aber von grosser Bedeutung, dass die solaren Strategien möglichst früh in die Planung eingebracht werden. Gerade zu Beginn der Planungsphase kann ein grosses Spektrum an Strategien zu geringen Mehrkosten in den Bau eingebracht werden. Mit fortschreitendem Prozess reduzieren sich die Möglichkeiten während die Kosten ansteigen (vgl. Abb. 4)<sup>11</sup>. Das heisst, Planende und Architekten haben eine grosse Verantwortung, wenn es um die Konzeption und Planung von solaren Gebäuden geht.

---

<sup>6</sup> z.B. Gas Lieferengpass in Europa bei Konflikt zwischen Russland und der Ukraine 2006.

<sup>7</sup> z.B. Atomumfall von Tschernobyl im April 1986, Ölkatastrophe im Golf von Mexiko 2010 und Atomfall von Fukushima im März 2011.

<sup>8</sup> Vgl. dazu *Bedienungsanleitung für das Raumschiff Erde und andere Schriften* [Fuller, 1998].

<sup>9</sup> [Swissolar, 2010]

<sup>10</sup> [Treberspurg, 1999]

<sup>11</sup> Dieser Grundsatz gilt nicht nur für solares oder nachhaltiges Bauen; er gilt für alle Projekte.

Planende und Architekten erachten die Planung von solaren Gebäuden als wichtig bis sehr wichtig<sup>12</sup>. Die Realität zeigt aber, dass Gebäude und deren Nutzung oft nicht mehr dem Klima entsprechend geplant werden. Ebenso werden aktiv-solare Strategien heute kaum noch in die Architektur integriert. Gründe dafür könnten im Planungsumfeld zu finden sein. Die wenigsten Planenden und Architekten schätzen ihre eigenen Kompetenzen in Bezug auf die Verwendung von Planungswerkzeugen für den solaren Entwurf als fortgeschritten ein<sup>13</sup>.

## Planung von solaren Gebäuden

In der strategischen und frühen Entwurfsphase existieren oft nur grobe Ideen über die Nutzung, die Bauweise, die Architektur oder die Kosten. Planende und Architekten stützen sich bei ihren Entscheiden auf die gestalterische und qualitative Beurteilung ihrer Entwürfe. Fehlende Unterlagen, ein sich laufend veränderndes Projekt und nicht auf Planende und Architekten abgestimmte Berechnungsmethoden bedeuten oft, dass die quantitative Beurteilung und Optimierung eines Entwurfs erst in einer zu späten Phase angegangen wird, wenn ein grosses Potential für den Einbezug von solaren Strategien bereits vergeben ist. Durch die steigenden energetischen Anforderungen an die Gebäude sind solare, wie auch auf lokale, klimatische Gegebenheiten ausgelegte Gebäude heute heikler zu planen und bergen ein grösseres Risiko, die Erwartungen in Bezug auf Energieverbrauch und Nutzerkomfort nicht zu erreichen. Nicht selten können gerade beispielhaft gut geplante Gebäude nicht zur vollen Zufriedenheit der Benutzenden betrieben werden. Nachhaltige und klimagerechte Bauten erfordern heute ein neues Verständnis der Projektüberwachung und eine Optimierung über die Planungswerte hinaus. Damit hat die Planung von nachhaltigen Gebäuden, insbesondere auch von solaren Gebäuden, eine Komplexität erreicht, die von Planenden und Architekten mit den gängigen Planungsprozessen und Planungswerkzeugen kaum mehr bewältigt werden können.

### 1.2. Zielsetzung

Aufgrund der vorgängig thematisierten Aspekte standen in dieser Arbeit nicht solare Produkte und Systeme (Technik) im Zentrum des solaren Bauens, sondern die Gebäude mit ihrer Funktionalität im Kontext von Architektur, Typologie und Ort; Nutzung und Nutzenden; Planenden und Architekten; Planungsprozessen und heute verfügbaren Planungswerkzeugen. Aus der Kenntnis dieser Aspekte und der dahinterliegenden Barrieren und Hindernissen sollten Strategien entwickelt werden, die die Akzeptanz und die Relevanz<sup>14</sup> von solaren Gebäuden im Hinblick auf eine grosse Breitenwirkung erhöhen und somit wesentlichen Beitrag zur Reduktion des Verbrauchs an fossilen Energien und des CO<sub>2</sub> Ausstosses für den Betrieb von Gebäuden leisten. Ziel dieser Arbeit war eine Methodik zur vermehrten Umsetzung von solaren Strategien in der Architektur.

---

<sup>12</sup> Vgl. Internationale Umfrage innerhalb des IEA SHC Task 41.

<sup>13</sup> Vgl. Internationale Umfrage innerhalb des IEA SHC Task 41.

<sup>14</sup> Relevanz bezieht sich auf die Effektivität oder den Nutzungsgrad und nicht auf den Wirkungsgrad (Effizienz).

### 1.3. Methodik

Solare Gebäude können nur dann einen wichtigen Beitrag zur Reduktion des Verbrauchs an fossilen Energien und des CO<sub>2</sub> Ausstosses beitragen, wenn:

- die Nachhaltigkeitsziele des Gebäudes unter Einbezug von solaren Energien in einer Zielvereinbarung festgelegt sind
- sich das Planungsumfeld von Planenden und Architekten optimal ergänzt
- das Planungsumfeld von Planenden und Architekten und deren Prozesse eine optimierte Integration von solaren Strategien im Gebäude unterstützt.

Klare und verständliche Zielsetzungen, wie auch optimierte und kooperative Prozesse sind Voraussetzungen für die Erreichung der gesetzten Ziele (Abb. 1).

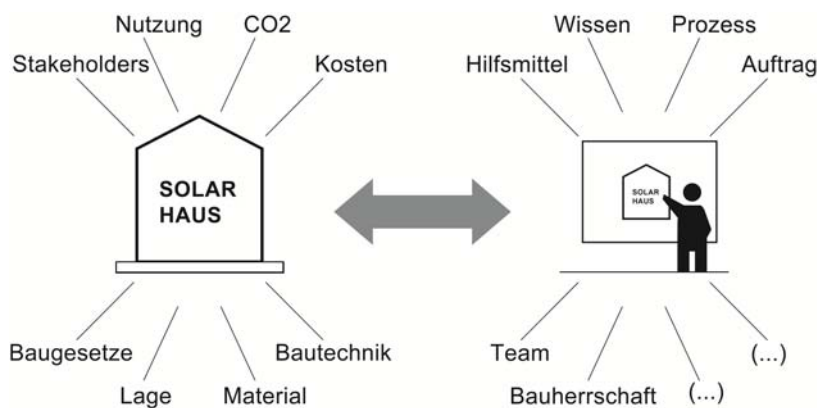


Abb. 1: Wechselwirkung zwischen dem Planungsumfeld und den Einflussfaktoren von solaren Gebäuden

Diese Arbeit untersuchte die Möglichkeiten zum vermehrten Einsatz von solaren Strategien in der Architektur anhand einiger ausgewählter Fragestellungen, die für die Planung von solaren Gebäuden wesentliche Fragestellungen abdecken:

- Welche Wirksamkeit haben aktiv- und passiv-solare Strategien?
- Lässt ein Ersatzneubau eine bessere solare Nutzung zu?
- Führt die Nutzung von Solarenergie zu neuen Gebäudetypen?
- Welche Risiken bergen solare Gebäude?
- Bedingt die Planung von solaren Bauten anderen Prozessen?
- Gibt es unterschiedliche Prozesse für Sanierungen und Neubauten?
- Welche Hilfsmittel stehen Planenden und Architekten für die Planung von solaren Gebäuden zur Verfügung?

Die Fragestellungen wurden in folgenden drei eng vernetzten Teilprojekten untersucht:

- Solare Strategien und deren energetische Relevanz
- Planungsprozesse und Hilfsmittel zur Planung von solaren Gebäuden
- Gestalterische Möglichkeiten beim Einsatz von solaren Strategien

Das Vorgehen in den einzelnen Teilbereichen wird in den folgenden Abschnitten kurz beschrieben.

## **Solare Strategien und deren energetische Relevanz**

Dieses Teilprojekt untersuchte die Möglichkeiten von solaren Strategien und deren energetische Relevanz anhand von zwei Fallstudien. Fallstudie 1 war ein bestehendes Mehrfamilienhaus der Siedlung Elfenau in Luzern aus den 50er Jahren. Fallstudie 2 war ein Neubau des Wohn- und Bürogebäudes Mühlebach im Zürcher Seefeld.

Simulationen mit IDA ICE 4 gaben Aufschluss über das energetische Potential von aktiv- und passiv-solaren Strategien bei der Sanierung (Mehrfamilienhaus der Siedlung Elfenau) wie auch beim Neubau im urbanen Kontext (Wohn- und Bürogebäudes Mühlebach). Aus dem energetischen Potenzial (Wirkungsgrad) wurden Aussagen zur energetischen Relevanz der untersuchten Strategien abgeleitet.

## **Planungsprozess und Hilfsmittel zur Planung von solaren Gebäuden**

Dieses Teilprojekt betrachtete den gängigen Planungsprozess und die heute verfügbaren Planungswerkzeuge. Als Grundlage für die Beurteilung des Planungsprozesses dienten das Leistungsmodell SIA 112 und die Honorarordnung SIA 102. Die Anforderungen an zukünftige Planungswerkzeuge wurden anhand des Ablaufschemas der notwendigen rechnerischen Projektbewertung innerhalb der verschiedenen Planungsstufen ausgearbeitet. Anhand dieses Schemas erfolgte auch die Beurteilung von sechs heute verfügbaren und teilweise in der Schweiz entwickelten Simulationstools, wie auch die Ausarbeitung von Forderungen an hinterlegte Datenbanken.

## **Gestalterische Möglichkeiten beim Einsatz von aktiv-solaren Strategien**

Die Beurteilung der gestalterischen Möglichkeiten beim Einsatz von aktiv-solaren Strategien erfolgte anhand der Schweizer Baukultur und den heutigen Trends in der Gestaltung von Fassaden. Dies war die Grundlage für Vorschläge, wie aktiv-solare Strategien wirksam in die Architektur integriert werden könnten. Hinterlegt wurden diese Vorschläge mit verschiedenen Möglichkeiten der Verwendung von aktiv-solaren Produkten am Gebäude, wie auch Gestaltungsoptionen für deren Weiterentwicklung.

## 2. Solare Strategien und deren energetische Relevanz

Die Betriebsenergie eines konventionellen Gebäudes ist für ca. 50% des jährlichen Energieverbrauchs und rund 40% der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Schweiz verantwortlich<sup>15</sup>. Um die Ziele der 2000-Watt Gesellschaft erreichen zu können, müsste der Heizenergiebedarf von Wohngebäuden im Kanton Zürich bis 2050 um ca. 75% auf rund 40 kWh/m<sup>2</sup>a gesenkt werden<sup>16</sup>. Diese Massnahme betrifft rund 90% der Wohngebäude (vgl. Abb. 2). Angesichts dieser Tatsache stellt sich die Frage, wie diese Anforderungen baulich umgesetzt werden sollen, respektive umgesetzt werden können. Bereits heute gibt es in Bezug auf diese Frage grosse Unterschiede zwischen den Vorstellungen der Energiefachstellen und der Denkmalpflege<sup>17</sup>.

Ein grosses Potential für einen raschen und reversiblen Ausweg aus dieser Problematik bietet die Nutzung der lokal verfügbaren Solarenergie unter Einbezug von aktiv- und passiv-solaren Strategien. Die energetische Relevanz, die einzelne dieser Strategien oder Kombinationen von Strategien aufweisen können, wird in diesem Kapitel untersucht.

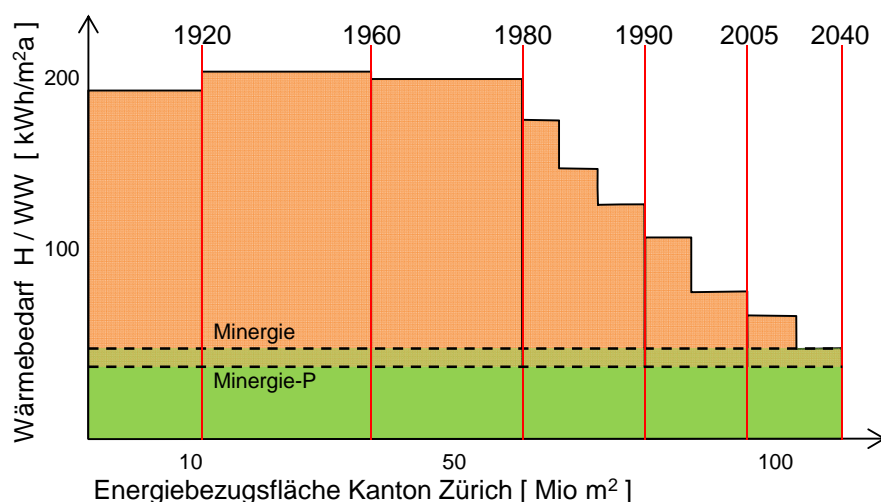


Abb. 2: Wärmebedarf von Wohngebäuden im Kanton Zürich (auf Basis von: BFE, 2005)

### 2.1. Auslegung von Gebäuden

Die energetischen Anforderungen an Gebäude, wie sie in den letzten Dekaden vom Gesetz und von weitergehenden Labels und Strategien gefordert werden, haben grosse Auswirkungen auf die Auslegung von Gebäude und Haustechnik. Der Umgang mit gut gedämmten Gebäudehüllen, das Potential der passiven Nutzung der Sonneneinstrahlung, Aspekte des Klimas als Entwurfsmassstab oder die Auslegung von Niedrigenergie-Solarhäusern sind Fragestellungen, mit denen sich Planende und Architekten während dem Entwurf vermehrt befassen müssen.

<sup>15</sup> [Würsten, 2009]

<sup>16</sup> [BFE, 2005]

<sup>17</sup> [Fischer et al., 2011]

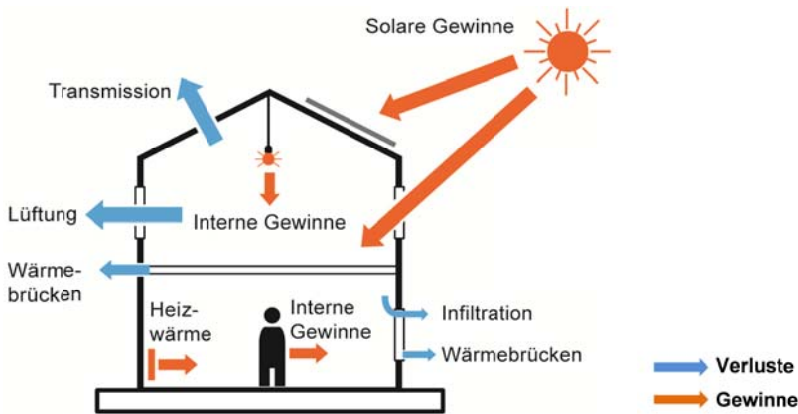


Abb. 3: Energiehaushalt eines Gebäudes (auf Basis von: Energieinstitut Vorarlberg, 2009)

Die Auslegung des Gebäudes unter Einbezug der einzelnen Faktoren und deren Wechselwirkungen (Abb. 3) führt aber nicht nur zu einer Erschwerung der Planung; mit der zunehmenden Wichtigkeit der frühen Entwurfsphase verschiebt sich auch der planerische Aufwand nach vorne. Dies erhöht das Risiko für die Bauherrschaft und somit auch der Druck auf Planende und Architekten, das Gebäude rasch und sicher umsetzen zu können.

### Betrieb des Gebäudes

Nebst der Wichtigkeit der frühen Entwurfsphase (Abb. 4) wird auch die Optimierung der Betriebsphase immer wichtiger. Obschon die Ausschöpfung des in der frühen Entwurfsphase erarbeiteten Potentials im realen Betrieb sehr wichtig ist, sind die ersten Betriebsjahre bis heute kaum als Planungsphase anerkannt.

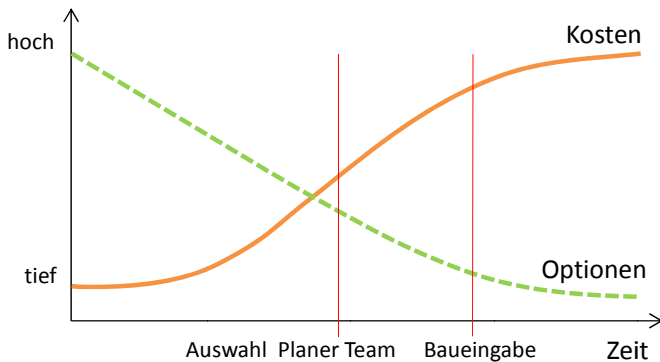


Abb. 4: Wichtigkeit der Projektbewertung in der strategischen und frühen Entwurfsphase (auf Basis von: Reed et al., 2000)

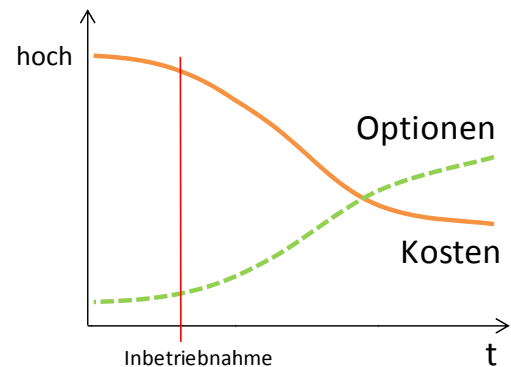


Abb. 5: Wichtigkeit der Optimierung während der ersten Betriebsjahre

Gerade klimagerechte Bauten, dessen Komponenten in der Regel nahe am Leistungsbedarf optimiert werden, erfordern eine laufende Optimierung des Betriebs (Abb. 5). Dies hat weniger mit mangelnder Planungsqualität zu tun, als dass die Realität in Bezug auf den Betrieb und die Bedürfnisse der Nutzenden in der Planungsphase nicht bis ins letzte Detail voraussehbar sind. Erste Erfahrungen mit Betriebsoptimierungen (Gebäudemonitoring und Gebäudesimulation kombiniert) zeigen, dass der Energieverbrauch von scheinbar gut

funktionierenden Bürogebäuden um 15 - 40 % gesenkt werden kann<sup>18</sup>. Dies kann durch ein fundiertes Verständnis der Funktion des Gebäudes, wie auch eine enge Überwachung der ersten Betriebsjahre gewonnen werden. Teilsysteme, welche über zu lange Perioden in Betrieb sind, wie auch Teilsysteme, welche gegeneinander Arbeiten oder Regelungs-Sollwerte, welche falsch voreingestellt sind, können nur auf diese Weise „entlarvt“ werden. Um der Betriebsoptimierung die nötige Bedeutung geben zu können, ist ein grosses Umdenken bei Planenden und Architekten, Bauherrschaften und Betreibenden von Gebäuden erforderlich.

In den folgenden beiden Kapiteln werden die beiden Fallstudien, das Mehrfamilienhaus der Siedlung Elfenau in Luzern und das Wohn-und Bürogebäude Mühlebach in Zürich, wie auch die Resultate der Untersuchungen kurz vorgestellt (weitere Informationen siehe Dokumentation).

---

<sup>18</sup> Die Zahlen entsprechen den Projekterfahrungen von EQUA Simulation AB in Schweden und decken sich weitgehend mit den Aussagen anderer Anbieter von Betriebsoptimierung (vgl. dazu auch [www.forumenergie.ch](http://www.forumenergie.ch), Fachgruppe Betriebsoptimierung).

## 2.2. Mehrfamilienhaus der Siedlung Elfenau

Anhand des Mehrfamilienhauses Elfenau in Luzern wurde untersucht, wie Dämm- und Gewinnstrategien - mit Fokus auf solare Energien - optimal kombiniert werden können, um den Heizenergiebedarf des bestehenden Gebäudes wirksam und gestalterisch ansprechend senken zu können.

### 2.2.1. Siedlung Elfenau

#### Lage

Lage 8°19' Ost, 47°02' West  
Höhe 477 m.ü.M.  
Adresse Weinberglistrasse 62, 6005 Luzern

#### Mikroklima

Das Mikroklima der Siedlung Elfenau dürfte nur unwesentlich von der Klimastation in der Luzerner Allmend abweichen. Die Siedlung aus den 50er Jahren liegt auf einer nach leicht nach Norden abfallenden, stark durchgrünzten Geländestufe im Süden der Innenstadt. Dadurch ist die Siedlung den vorherrschenden Winden aus Westen relativ stark ausgesetzt. Der Bireggwald im Süden der Siedlung, schützt die Siedlung gegen die Winde aus Süden. Die gute Durchgrünung und die grosszügigen Gartenbereiche ermöglichen eine gute Durchlüftung der Siedlung durch Winde aus Süden, Südosten und Norden. Die nach Südwest ausgerichteten Wohnseiten der Gebäude werden im Winterhalbjahr durch die Nachbargebäude beschattet.

#### Gebäude

Die Siedlung Elfenau wurde 1958 auf der gegenüber der Stadt leicht erhöhten Sternmatt erbaut. Die Siedlung besteht aus fünf Baukörpern mit je ein oder zwei Mehrfamilienhäusern. Der fast 32 Meter lange und elf Meter breite, dreigeschossige Baukörper der Weinberglistrasse 62/64 besteht aus zwei vergleichbaren Zweibündern mit Hochparterre und flach geneigtem Satteldach. Jeder Teil umfasst sechs Geschosswohnungen mit je drei Zimmern und je einer Ein-Zimmer-Wohnung an den Giebelseiten des Dachgeschosses. Jede Gebäudehälfte verfügt über private Abstellräume im Dachgeschoss und gemeinsam genutzte Wasch- und Trocknungsräume, einen Veloraum und zwei Doppelgaragen<sup>19</sup> im Untergeschoss.

Die Gebäude sind in Massivbauweise mit Lochfassade gebaut. Die Fassade wird durch die unterschiedliche Gestaltung der Fenster, dem sich nach aussen hin abzeichnenden Treppenhaus und durch die halb eingezogenen Balkone strukturiert. Die Gebäude verfügen über homogene Satteldächer ohne markante Einschnitte bzw. Aufbauten, filigran erscheinende Betonvordächer und massiv auskragende geschlossene Betonbalkone, sowie unterschiedlich strukturierte Putze und Nuancen in der Farbigkeit. Die in der Elfenau entstandenen Mehrfamilienhäuser sind mehrheitlich Nordost – Südwest orientiert. Die Gebäude haben eine einheitliche Höhenentwicklung mit drei bzw. maximal vier Vollgeschossen<sup>20</sup>.

Aus baugeschichtlicher und städtebaulicher Sicht ist die Siedlung Elfenau von grosser Bedeutung. Es muss damit gerechnet werden, dass die Gebäude in ihrer Erscheinungsform,

---

<sup>19</sup> [Fischer, 2009, S.14f]

<sup>20</sup> [Fischer, 2009, S.16]

der Kubatur und dem Volumen belassen werden müssen. Lediglich sorgfältig ausgeführte, sanfte Sanierungen sind bewilligungsfähig<sup>21</sup>.

In diesem Projekt wird exemplarisch das Haus Weinberglistrasse 62 untersucht, das sich im Süden der Siedlung befindet und nordwestseitig mit dem Haus 64 zusammen gebaut ist (Abb. 6 und Plangrundlagen in der Dokumentation). Damit sind die Rahmenbedingungen für die Sanierung und den Ersatzneubau in Bezug auf Klima, Topographie, Typologie, Volumetrie, Nutzung, Gebäudecharakter und Baugesetze gegeben. Sie dienen als Grundlage für die qualitative und quantitative Untersuchung der Sanierungsstrategien, die zu einer optimalen Nutzung der vorhandenen solaren Strahlung führen.



Abb. 6: Ansicht, Querschnitt, Grundriss Regelgeschoss und Vogelschau der Siedlung Elfenau (Quelle u.r.: Google, 2009)

### 2.2.2. Untersuchung der solaren Sanierungsstrategien

Als Basis für die Ermittlung des Potentials für eine solare Sanierung wurde der Betriebsenergieverbrauch des Gebäudes an der Weinberglistrasse 63 von folgenden vier verschiedenen Berechnungsvarianten ermittelt. Dies waren:

- Gebäude im Bestand
- Gebäude saniert nach SIA380/1-Sanierung
- Gebäude saniert nach SIA 380/1-Neubau
- Ersatzneubau nach Minergie-P bei Erhalt des Volumens

Zur Beurteilung der Wirksamkeit von passiv-solaren Strategien<sup>22</sup> wurden verschiedenste Strategien systematisch in Bezug auf die vier verschiedenen Berechnungsvarianten

<sup>21</sup> [Fischer, 2009]

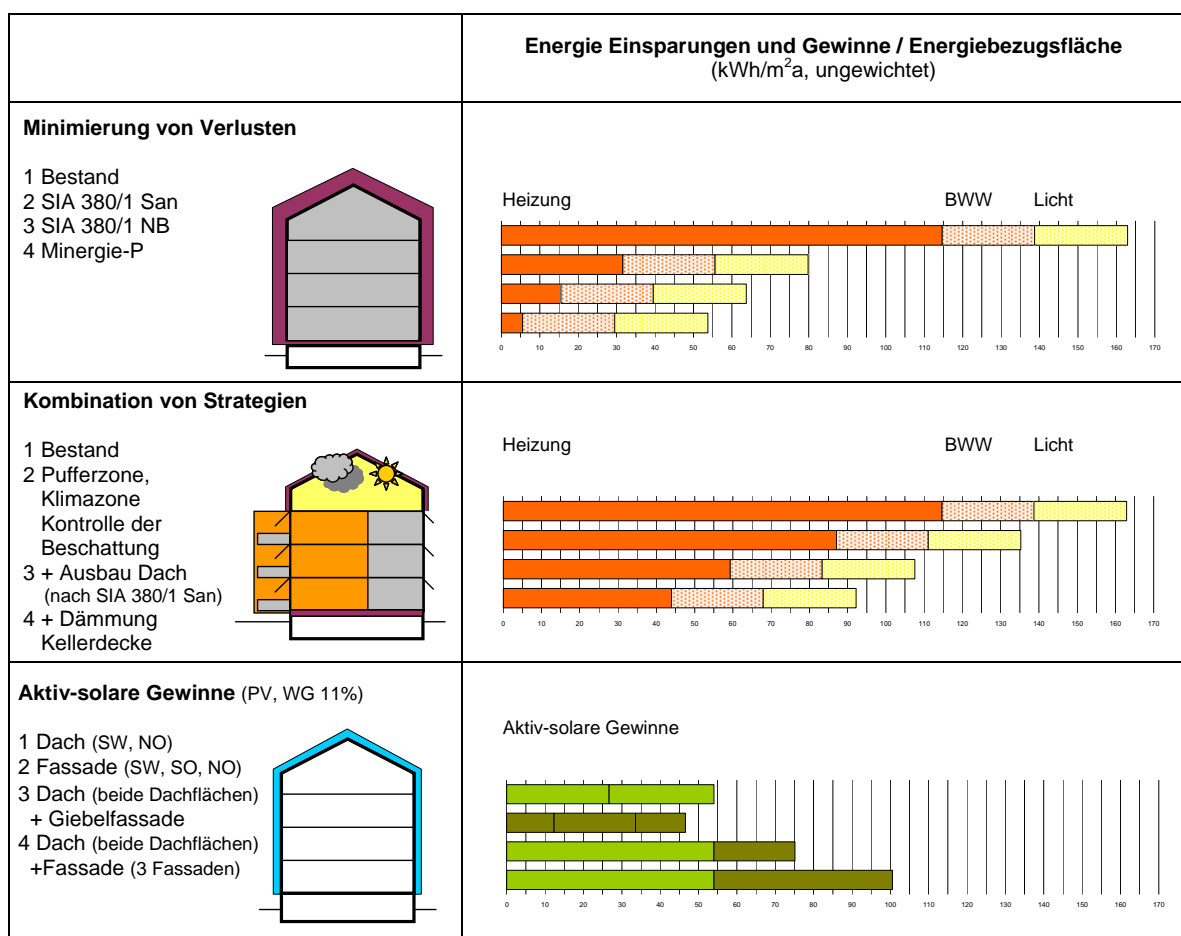
<sup>22</sup> Vgl. dazu [Schittich, 2003, S. 13f] und [Hönger et al, 2009]

untersucht und die wichtigsten Strategien zusammengestellt (Liste und wichtigste Strategien siehe Dokumentation). Diese Untersuchung erlaubte einerseits ein Vergleich der Wirksamkeit der einzelnen Strategien untereinander, wie auch ein Vergleich der Wirksamkeit einer einzelnen Strategie in Abhängigkeit des Dämmstandards.

Das Potential von aktiv-solaren Strategien wurde anhand der effektiven Sonneneinstrahlung auf die jeweiligen Dach-, Fassaden- und Bauteilflächen ermittelt und in den Ertrag einer Photovoltaik Anlage mit einem Gesamtwirkungsgrad von 11%<sup>23</sup> umgerechnet. Das Potential wurde anhand der Wirksamkeit (Wirkungsgrad) von aktiv-solaren Strategien (unabhängig vom Dämmstandard des Gebäudes) und nicht vom Deckungsgrad (abhängig von der Nutzung) untersucht.

### Massnahmenpakete

Tab. 1 zeigt zusammenfassend einen Vergleich der Wirksamkeit der Minimierung von Verlusten (Dämmstrategie), Kombination von passiv-solaren Strategien und möglichen aktiv-solaren Gewinnen.



Tab. 1: Potential für die Energie Einsparungen (Wärme) und Gewinne (Strom) durch verschiedene Sanierungsstrategien

Der Vergleich der Energieeinsparungen für die Heizung zeigt, dass die Gewinnstrategie sehr effizient ist. Bei einem Ersatzneubau nach Minergie-P könnte der Heizenergiebedarf um rund 95% gesenkt werden. Diese Massnahme hat aber grosse Konsequenzen auf die

<sup>23</sup> Der Wert des Gesamtwirkungsgrads ist für heute verfügbare Produkte eher tief gewählt. Reine Produktwirkungsgrade bei Photovoltaik Anlagen können heute bei bis zu 20% liegen. Mit in die Beurteilung einbezogen werden aber nicht nur der Wirkungsgrad des Produkts, sondern auch System Verluste und Verminderungen durch Verschmutzung.

Aussenhülle und somit auf die Wirkung des Gebäudes. Gleichzeitig durch den Neubau eine grosse Menge an CO<sub>2</sub> verbaut.

Im Vergleich dazu sind die Einsparungen durch passiv-solare Strategien geringer. Werden die Balkone im Winter geschlossen (Pufferzone), Klimazonen gebildet, die Beschattung gesteuert, das Dach nach SIA 380/1 Sanierung ausgebaut und die Kellerdecke gedämmt (Variante 4), können immerhin rund 60% der Heizenergie eingespart werden. Diese Strategie hat im Vergleich zur Dämmstrategie nur geringe Auswirkungen auf die Wirkung des Gebäudes und der Bedarf an CO<sub>2</sub> ist vergleichsweise gering.

Werden die Dachflächen aktiv-solar genutzt, erzielen die Erträge einer PV-Anlage mehr Energie, als für die Heizung des passiv-solar sanierten Gebäudes gebraucht wird. Wird zusätzlich die Giebelfassade gedämmt und aktiv-solar genutzt, liegen die Gewinne nur knapp unter dem Betriebsenergiebedarf (vgl. Dokumentation).

Diese Resultate verdeutlichen die Effizienz der von Minergie angestrebten Strategie zur Reduktion des Betriebsenergie Verbrauchs von Gebäuden mittels gut gedämmter und dichter Gebäudehülle mit geringen Wärmebrücken, einer kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung, sowie der Forderung nach Energieeffizienz bei Geräten und Beleuchtung.

### 2.2.3. Zusammenfassung der Resultate

Entgegen den Erwartungen erzielten die untersuchten passiv-solaren Strategien im Vergleich zu den aktiv-solaren und den Dämmstrategien kleinere Gewinne als erwartet. Insbesondere haben die Benützenden und der Betrieb des Gebäudes einen grossen Einfluss auf die passiv-solaren, nutzbaren Gewinne und somit auch auf die Funktionalität des Gebäudes. Dabei stellt sich die Frage, inwieweit Benützer in die Bewirtschaftung des Gebäudes eingebunden werden sollen (z.B. Verschattung), an welche spezifischen Gegebenheiten des Gebäudes sie sich anpassen müssen (z.B. passiv-solare Auslegung des Gebäudes) oder welche Komforteinbussen (z.B. Temperaturschwankungen) tragbar sind.

Mit den aktiv-solaren Gewinnen der Dachfläche (rund 54 kWh/m<sup>2</sup> EBF) kann die vom Gebäude nach SIA 380/1 Sanierung benötigte Energie für Heizung und Beleuchtung rechnerisch gedeckt werden. Die Ausnützung der symmetrischen Dachsituation ist eine gute Voraussetzung für die architektonische Integration der gewählten Systeme. Die Ausnützung des Potentials der Giebelfassade (rund 17 kWh/m<sup>2</sup> EBF) bedarf einer intensiven Prüfung, da diese Fläche den Gebäudecharakter mitbestimmt und einen nicht unterschätzbaren Einfluss auf den kulturellen Wert der Liegenschaft, die Bewohner und die Gesellschaft hat.

Entwicklungen im Bereich von Dünnschicht-modulen mit Siebdruckoberflächen oder organischen Solarzellen lassen aber auf eine spannende Zukunft hoffen, die eine künstlerische Umsetzung der Technik, sowie die Interpretation der gestalterischen Elemente der gebauten Umwelt zulässt. "Die Aktivierung aller Oberflächen, technisch wie gestalterisch, ist in diesem Zusammenhang die Herausforderung, eine neue Sprache zu entwickeln, die mit den Menschen auch auf intuitiver Ebene kommuniziert"<sup>24</sup>.

Aktiv- und passiv-solare Systeme können sich, wie das Beispiel der Position der Balkone zeigt, gegenseitig negativ beeinflussen. Während an die Fassade angehängte Balkone den Heizenergiebedarf verkleinern, limitieren sie den Einsatz von aktiv-solaren Systemen. D.h. Planende müssen die Effekte ihrer Entscheide bereits im frühen Entwurfsstadium abschätzen können, um effektive Entscheide zu fällen. Energetische Effizienz heisst im Weiteren nicht, dass die gewählten Strategien in aller Konsequenz auch effektiv sind. Fragen der Bedienung, des Komforts, der Akzeptanz und der Anpassbarkeit sind wichtige Voraussetzungen für die Effektivität und in aller Konsequenz für die Nachhaltigkeit der gewählten Strategien.

Eine vermehrte Integration von passiv- und aktiv-solaren Strategien kann die Gebäudehülle stark entlasten. Durch eine gute Kombination von passiv-solaren Strategien, den zusätzlichen Einsatz von gut gestalteten und gezielt eingesetzten aktiv-solaren Produkten

---

<sup>24</sup> [Lüling, 2009]

und selektiver Dämmung der Gebäudehülle kann mit minimaler Eingriffstiefe ein energetisch gut saniertes Gebäude entwickelt werden, das die energetischen Anforderungen erfüllt und den kulturellen Wert behält. Im Weiteren stellen diese Massnahmen keine irreversiblen Eingriffe dar. Das Gebäude kann sich auch in Zukunft den neuen Anforderungen stellen. Das heisst, es behält die „Fähigkeit [...], in kurzer Zeit, mit angemessenem Aufwand und zu vertretbaren Kosten auf eine Gegebenheit reagieren zu können. Flexibilität ist somit ein Gradmesser der Anpassungsfähigkeit und einer langfristigen Werterhaltung.“<sup>25</sup>

Nicht zu vergessen sind bei der rein energetischen Betrachtung die Nutzung und die Nutzenden. Je nach Nutzung werden verschiedene Anforderungen, wie beispielsweise gute Tageslichtnutzung oder grosser Verbrauch an Warmwasser, an das Gebäude gestellt. Für die Nutzenden ist es wichtig, die Strategien verstehen zu können. Nur so kann gewährleistet werden, dass die gewählten Strategien nicht nur aus technischer Sicht effizient sind (grosser Wirkungsgrad), sondern auch eine grosse Effektivität erreichen (grosser Nutzungsgrad). Das Verständnis muss sowohl für die technische Ausstattung und die Funktion des Gebäudes, wie auch dessen Gestaltung (vgl. dazu Kap. 4) gewährleistet sein. Dieser Sachverhalt ist vergleichbar mit der Spracheverständlichkeit; Ein Grundverständnis der Sprache ist notwendig, um einen Wortschatz aufbauen und sich aktiv verständigen zu können.

---

<sup>25</sup> [Plagaro et al., 2008, 14]

## 2.3. Wohn- und Bürogebäude Mühlebach, Zürich

Anhand des Wohn- und Bürogebäudes Mühlebach wurde in diesem Abschnitt das Potential von solaren Strategien im urbanen Kontext untersucht. Dabei wurden Strategien verschiedener Planungsphasen genauer betrachtet, die sowohl den Energieverbrauch, wie auch den Komfort beeinflussen.

### 2.3.1. Wohn- und Bürogebäude Mühlebach, Zürich

#### Lage

Lage 8°33' Ost, 47°22' West

Höhe 410 m.ü.M.

Adresse Mühlebachstrasse 8 / Hufgasse 11, 8008 Zürich

#### Mikroklima

Das Mikroklima des Wohn- und Bürogebäudes an der Mühlebach-/ Hufstrasse unterscheidet sich markant von der Klimastation auf dem Höggerberg. Im Gegensatz zur Klimastation liegt der Neubau im dicht bebauten Enge Quartier, unweit des Bellevues. Die umliegende Bebauung wie auch der Zürichberg im Nordosten und der Uetliberg im Südwesten der Stadt schützen die Gebäude weitgehend gegen die vorherrschenden Winde aus Osten, Süden und Südwesten. Zusätzlich zur geringen natürlichen Durchlüftung führen die dichte Bebauung und der geringe Grünanteil zu markant höheren Temperaturen im Sommer. Durch die dichte Stellung der Gebäude, ist eine gegenseitige Beschattung der Gebäude gegeben.

#### Gebäude

Die bestehenden Gebäude an der Mühlebachstrasse 8 und an der Hufgasse 11 werden durch zwei sechs-geschossige Minergie-P Eco Gebäude ersetzt (Abb. 7 bis Abb.9 und Plangrundlagen in der Dokumentation). Die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen, einer hoch gedämmten Gebäudehüllen, sowie gute Tageslichtnutzung, transparente Südfassaden, etc., wie auch Solarthermie, Photovoltaik und Erdwärme sind Teil des Konzepts<sup>26</sup>.

Das Hauptgebäude an der Mühlebachstrasse übernimmt die Gebäudefluchten der Mühlebachstrasse (Baulinie). Das Haus an der Hufgasse folgt ebenfalls der bestehenden Blockrandbebauung, windet sich aber um 90° und öffnet dadurch den Innenhof zum öffentlichen Raum. Die Strassenfassaden werden mit grossformatigen, hellen Eternitplatten und die Hoffassade mit Schieferplatten verkleidet. Strassen wie Hoffassaden sind geprägt von raumhohen Fenstern mit unterschiedlicher Breite und vorgesetzten Schiebeläden. Die nach Südwesten orientierte Hoffassade des Hauptgebäudes soll für die Gewinnung von aktiver und passiver Sonnenergie genutzt werden. Die Fassade des Hofgebäudes ist etwas geschlossener als die des Hauptgebäudes.

Das Gebäude besteht aus einem Metallskelettbau mit massivem Treppen Kern, Holz-Beton-Verbund Geschossdecken, hoch gedämmten Fassadenelementen in Holzrahmenbauweise und Holzständer Innenwände. Die vertikale Erschliessung erfolgt über eine zentral liegende Treppenhausanlage mit Lift.

Die Skelettkonstruktion lässt sowohl Büro- als auch Wohnnutzung zu. In den unteren Geschossen des Hauptgebäudes an der Mühlebachstrasse, wie auch im Erdgeschoss des Hofgebäudes sind exklusive Büroflächen vorgesehen. Bis auf die abgetrennten Nebenräume

---

<sup>26</sup> Vgl. dazu [Kämpfen, 2009]

kann das Layout der bis zu 280m<sup>2</sup> grossen Bürogeschosse von den zukünftigen Nutzern bestimmt werden.

Die oberen Geschosse des Hauptgebäudes an der Mühlebachstrasse und die Obergeschosse des Hofgebäudes dienen dem Wohnen. Die ca. 60m<sup>2</sup>- ca. 120m<sup>2</sup> grossen Wohnungen sind mit grosszügigem Wohn-, Ess- und Kochbereich geplant. Die die Wohn- und Schlafräume sind süd- bzw. westorientiert, die Funktionsräume liegen im Innern. Alle Nutzungseinheiten haben Zugang zu einem Balkon bzw. einer Terrasse. Abstellräume, einen Veloraum sowie Wasch-, Trocken- und Technikräume sind im durchgehenden Untergeschoss neben der Tiefgarage untergebracht.

Die Gebäude werden über einen mit einem elektrischen Stirlingmotor gekoppelten Pellets Ofen versorgt. Das System wird durch thermische Kollektoren an der Fassade der Mühlebachstrasse und eine auf den Flachdächern integrierte Photovoltaikanlage unterstützt.



Abb. 7: Volumenmodell / Hofgebäude Südfassade / Projektgrundriss / Hauptgebäude Nordfassade  
(Quelle: Kämpfen für Architektur, 2011)

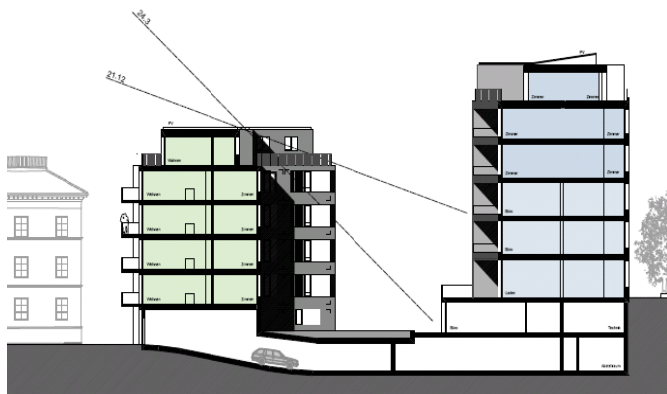


Abb. 8: Schnittstudie Sonnenstand  
(Quelle: Kämpfen für Architektur, 2011)

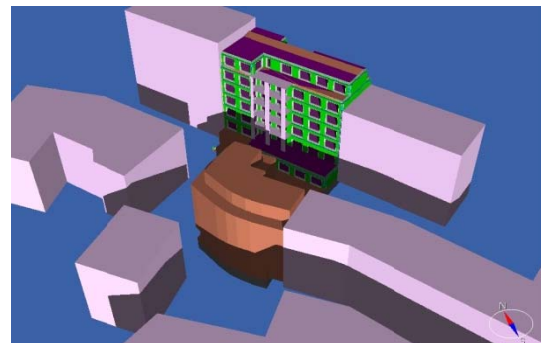


Abb. 9: Simulationsmodell

### 2.3.2. Untersuchung der solaren Neubaustrategien

Die Überbauung an der Mühlebachstrasse 8 und der Hufgasse 11 (Abb. 7 bis Abb. 9, sowie Plangrundlagen in Dokumentation) befand sich bei Projektstart in der Ausführungsplanung. Volumetrie, Materialisierung, Disposition der Gebäude und deren Nutzung waren bereits festgelegt.

Rückwirkend wurden für das Hauptgebäude an der Mühlegasse 8 Konzept- und Projektbewertungen gemacht, die im frühen Entwurfsstadium notwendig gewesen wären. In einem weiteren Schritt wurden Optimierungen des Gebäudes für die Detailplanung vorgenommen (siehe Dokumentation). Die Konzept- und Projektbewertungen wurden mit IDA ICE 4 vorgenommen.

## Optionsanalyse (Ausführungsplanung)

Abb. 10 und 11 zeigen exemplarisch zwei Untersuchungen des Überhitzungsrisikos eines Bürogeschosses in der heissesten Periode im Jahre 2010 anhand von verschiedenen Ausführungsvarianten des Deckenaufbau (Holzbalkendecke – Holz/Beton Verbunddecke – reine Betondecke) und unterschiedlichem Benutzerverhalten (nicht aktivierter Sonnenschutz – zu viel Fensterlüftung)

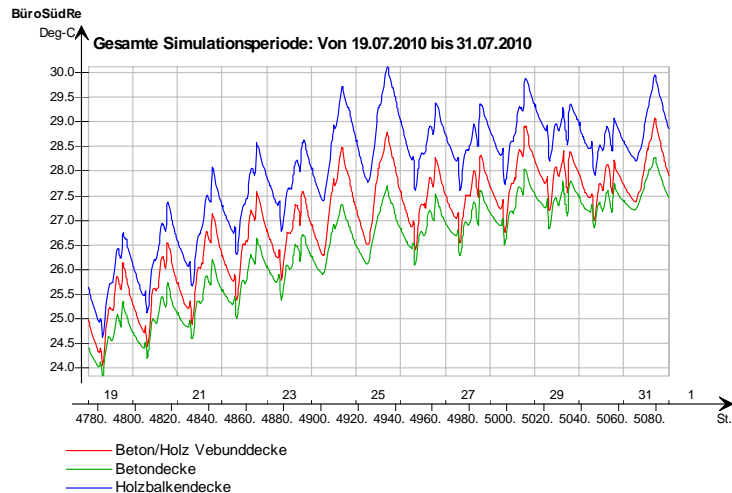


Abb. 10: Veränderung der Raumtemperatur bei unterschiedlichem Deckenaufbau

Der Deckenaufbau hat einen grossen Einfluss auf die Innentemperatur: Mit reiner Betondecke ca. 1 °C tieferes, mit reiner Holzbalkendecke bis zu 1.5 °C höheres Tagesmaximum als mit Holz/Beton Verbunddecke (Abb. 10).

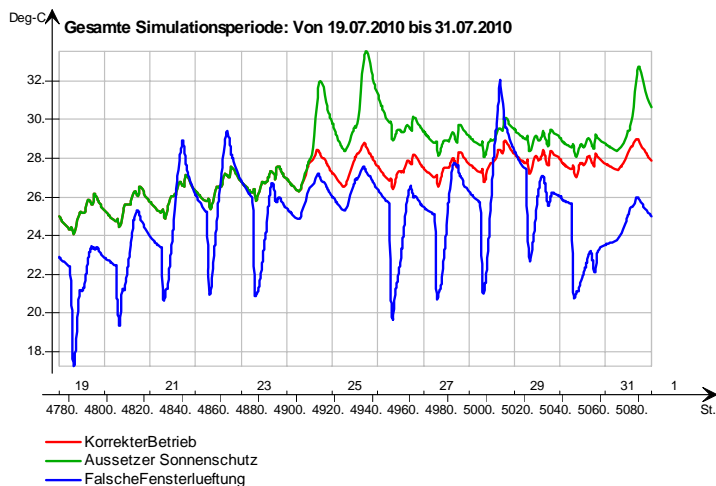


Abb. 11: Veränderung der Raumtemperatur bei Betriebsfehlern bzw. falschem Nutzerverhalten

Das System ist sensibel auf Fehlbedienungen: Ein über das Wochenende oben gelassener Sonnenschutz bewirkt am Montag eine um 2 °C erhöhte Raumtemperatur. Die Temperatur erholt sich danach nur sehr langsam und beträgt noch am Freitag ca. 1 °C mehr als wenn der Sonnenschutz nie vergessen geht. Die Auswirkung einer zur falschen Zeit aktiven Fensterlüftung hängt natürlich stark von den Aussentemperaturen ab. In der berechneten Periode beträgt der Temperaturunterschied bis zu gut 3 °C (Abb. 11).

### **2.3.3. Zusammenfassung der Resultate**

Am Beispiel des Wohn- und Bürogebäudes Mühlebach wurde aufgezeigt, wie die energetische Optimierung in der späten Entwurfsphase und in der Ausführungsplanung durch Simulationen unterstützt werden kann. Die vorgängige Projekt-Bewertung mit demselben Tool wurde in diesem Fall zur kostenfreien „Nebenerscheinung“. Die Simulationsmodelle und auch die Simulationsergebnisse wurden im fortschreitenden Planungsprozess immer detaillierter.

Für das Projekt zeigte sich, dass folgende Punkte wichtig sind:

- Für die Tageslichtnutzung: Fenstergrößen, Balkone, Verschattungsvorrichtungen und Möblierung
- Für den sommerlichen Wärmeschutz: Aktivierbarkeit der thermischen Massen, Effizienz und Regelung des Sonnenschutzes, Vorkühlung der Zuluft durch das Erdreich, Nachtauskühlung und Benutzerverhalten

## 2.4. Schlussfolgerung

Die zu früheren Zeiten noch so wichtige Orientierung der Gebäude mit den Hauptöffnungen gegen Süden hat heute ihre Bedeutung bei sehr gut gedämmten Gebäuden weitgehendst verloren. Der nutzbare Anteil der passiven Solargewinne ist durch die Minimierung des Wärmeverlustes so klein geworden, dass sie mit heutigen Fenstern nicht selten selbst im Norden noch zu erreichen sind. Eine Voraussetzung dazu sind hohe Wärmeschutzwerte der Verglasung und kleine Rahmenanteile, da die Fenster einen bedeutenden Anteil am Wärmeverlust haben.

Die eigentliche Herausforderung beim Planen von klimagerechten Bauten liegt nicht mehr in der Heizperiode, sondern vielmehr in den Hitzeperioden. Die Optimierung erfolgt in drei Schritten:

1. Minimierung der Lasten: Hier gilt es, die internen Lasten möglichst realistisch voraussagen zu können, sowie die externen Lasten mit effizienten Sonnenschutzvorrichtungen und allenfalls intelligenter Regelung in Grenzen zu halten.
2. Passive Kühlmassnahmen: Beispiele sind Ausnutzung der thermischen Masse, Nachtauskühlung, Erdreichwärmetauscher, adiabate Abluftbefeuchtung etc. Diese passiven Kühlmassnahmen müssen nicht nur einzeln ihren Nutzen erbringen, sondern auch aufeinander abgestimmt sein, was dynamische Simulationen für die Bewertung unabdingbar macht.
3. Aktive Kühlung (im Beispiel nicht behandelt):
  - a. Verdunstungskühlung: Adiabate Abluftbefeuchtung, Kühltürme
  - b. Solare Kühlung: Eine in dieser Arbeit nicht weiter diskutierte Möglichkeit der aktiven Nutzung der Sonnenenergie.  
Wie bei der aktiven Nutzung der Solarwärme ist auch bei der oben genannten Art der aktiven Kühlung die Erzeugung abhängig von den äusseren Bedingungen. Das Kälteangebot muss deshalb mit dem Kühlbedarf getimt und bis zum Zeitpunkt der Abgabe wenn nötig über Speicher „gepuffert“ werden.

Immer Häufiger werden nebst der Gebäudekühlung auch die Tageslichtnutzung und der Strombedarf für die künstliche Innenraumbeleuchtung für die Gesamtenergieoptimierung zum wichtigen, wenn nicht sogar wichtigsten Faktor.

Ein grosser Unsicherheitsfaktor bei der Planung ist die spätere Nutzung des geplanten Gebäudes und das Nutzerverhalten. In den frühen Planungsphasen könnte dem Problem lediglich mit Sensitivitätsanalysen entgegnet werden. Die geplanten Gebäude könnten damit auf ihre Toleranz gegenüber Umnutzung oder falschem Nutzerverhalten getestet werden. Diese Untersuchungen sind jedoch sehr aufwändig und im Generellen so nicht anwendbar. Dem effektiven Nutzerverhalten kann somit erst mittels Betriebsoptimierungen nach der Fertigstellung des Gebäudes genügend Rechnung getragen werden.

Im Anschluss an diese quantitativen Resultate vertiefte sich diese Arbeit im folgenden Kapitel in Fragen des Planungsprozesses und der Planungswerkzeuge. Wie bereits früher erläutert, brauchen Planende und Architekten geeignete Prozesse und Planungswerkzeuge, die sie in ihrer Arbeit unterstützen. Wichtig ist dabei, dass die Planungswerkzeuge eng mit ihrem Arbeitsfeld verknüpft sind und eine einfache, rasche Abschätzung der Funktionalität des Entwurfs ermöglichen. Gleichzeitig sollen sie den Informationsaustausch der am Bau beteiligten unterstützen und so zur Verbesserung (Vereinfachung, Beschleunigung, Intensivierung, Lösungsfindung) des Planungsprozesses beitragen.

### **3. Planungsprozess und Planungswerkzeuge**

Die Untersuchung der energetischen Relevanz von solaren Strategien in der Sanierung und im Neubau hat gezeigt, dass die Anforderungen an die Gebäude und somit auch die Komplexität der Aufgaben von Planenden und Architekten zunehmend steigen. Die zunehmende Komplexität der Bauaufgaben erfordert eine Anpassung des heute gängigen, klassischen Planungsprozesses, wie auch neue Planungswerkzeuge, die die Umsetzung von solaren Gebäuden unterstützen.

Um die Anforderungen an ein zur Integration von solaren Strategien ausgelegtes Planungsumfeld ausarbeiten zu können, wurden in diesem Teil der Arbeiten der in der Schweiz übliche Planungsprozess und sechs teilweise in der Schweiz hergestellte Simulationsprogramme zur Beurteilung der Funktionalität von Gebäuden untersucht.

#### **3.1. Planungsprozess**

In der klassischen Bauplanung entwickeln Planende und Architekten anhand von Skizzen, Plänen, Modellen, Visualisierungen, etc., die es erlauben, den Inhalt immer wieder zu überprüfen und den Detailgehalt kontinuierlich zu steigern. Die Plandaten dienen als Grundlage für Kostenschätzungen, wie auch als Planungs- und Beurteilungsgrundlagen für Fachingenieure, Brandschutzexperten und Behörden. Die stetige Weiterentwicklung des Projekts während der Planungsphase bedingt eine regelmässige Anpassung der Plangrundlagen und einen sorgfältigen Abgleich mit den Fachplanungen, um alle Beteiligten auf dem aktuellen Projektstand zu halten. Dies verursacht einen erheblichen Koordinierungs- und Arbeitsaufwand, wie auch eine grosse Gefahr von Fehlerquellen. Durch den Einsatz von vernetzten Planungswerkzeugen, wie beispielsweise dem BIM, könnten die negativen Faktoren deutlich reduziert werden. Bei grossen und komplexen Bauaufgaben werden neue digitale Planungswerkzeuge und Prozesse teilweise schon heute erfolgreich eingesetzt und angewendet. Dabei werden Gebäude vollständig als virtuelle Gebäudemodelle erarbeitet und als zentrales Datenpaket für alle Projektbeteiligten zugänglich gemacht.

Während die gestalterische und qualitative Beurteilung des Entwurfs laufend stattfindet und einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung des Entwurfs beiträgt, werden quantitative Beurteilungen, wie beispielsweise Kostenschätzungen oder energetische Berechnungen, von Planenden und Architekten oft lückenhaft oder in einem viel zu späten Zeitpunkt in Angriff genommen; viel mehr werden energetische und statische Berechnungen generell an die Fachplaner ausgelagert.

##### **3.1.1. Zusammenfassung der Resultate**

Die Erweiterung der Verantwortlichkeit von Planenden und Architekten in die strategische Planung und die Vorstudien Phase (Phase 1 und 2), sowie in den Betrieb des Gebäudes (Phase 6) ist ein erster Ansatz für eine ganzheitliche Planung. Dies hätte auch positive Auswirkungen auf Phase 3 des Leistungsmodells. Heute gehen Zertifizierungen nach erhöhtem Qualitätsstandard (z.B. Minergie-Nachweis) meist mit der Forderung einher, die detaillierten Unterlagen des Gebäudes bereits mit der Baueingabe abzugeben. Dieser Forderung kann nicht nachgekommen werden, wenn die energetischen Analysen und deren Optimierung nicht bereits in den Phasen 1 und 2 angegangen werden. Im Weiteren schränkt dieses Vorgehen wichtige Entscheidungen in späteren Phasen der Projektentwicklung ein. Denkbar wäre, dass eine reduzierte Zertifizierung oder eine Absichtserklärung verlangt wird, die im Verlauf des Planungsprozesses, wenn die entsprechenden Entscheide phasengerecht entschieden werden können, konkretisiert wird. Dieser Schritt würde sich positiv auf den frühen Entwurfsprozess auswirken, indem qualitative Ziele einerseits früher getroffen würden, andererseits bliebe in späteren Planungsphasen mehr Spielraum für Optimierungen.

Eine Ausweitung der Verantwortlichkeit von Planenden und Architekten könnte dazu beitragen, die Zielkonflikte zwischen Planenden und Architekten, Fachplanern und Behörden in Bezug auf die Phasengerechtigkeit zu verringern. Gelingt es, Zielvereinbarungen in Bezug auf den Einsatz von solaren oder nachhaltigen Strategien bereits in der strategischen Planung festzulegen, könnten Planende und Architekten in Zusammenarbeit mit den entsprechenden Fachplanern folgerichtig auf das gemeinsame Ziel hinarbeiten. Fehlentscheide würden dadurch minimiert und die Funktionalität des Gebäudes verbessert. Hilfreich wären dabei einfache, in die Planungsumgebung von Planenden und Architekten eingebettete Berechnungstools, die eine kontinuierliche Überwachung der Funktionalität des Gebäudes in Bezug auf spezifische Fragestellungen, wie beispielsweise den Bedarf an Betriebsenergie, den Verbrauch an CO<sub>2</sub> oder die Nutzung von Tageslicht, ermöglichen und so die qualitative Beurteilung mit in den iterativen Prozess einbinden.

Der klassische Planungsprozess mit seinen linearen und aufwändigen Informationsflüssen sollte bereits in der frühen Planungsphase als integrierter Planungsprozess mit interdisziplinärem Planungsteam geführt werden. Zusätzliche Zielvereinbarungen mit der Bauherrschaft verlangen, dass energetisch relevante Zusammenhänge und Zielvorgaben frühzeitig definiert und Fehlentscheide minimiert werden. Dieser „neue“ Planungsprozess wird von ausgereiften Planungswerkzeugen unterstützt, die einen vereinfachten Informationsaustausch innerhalb des interdisziplinären Teams ermöglichen und den Energiebedarf des Gebäudes durch Optimierung der Funktionalität des Gebäudes unter Einbezug aller Schnittstellen minimieren. Dies schafft eine solide Basis zur Optimierung des Energieverbrauch, der Lebenszykluskosten, der gestalterischen Zielen und den Anforderungen der Nutzenden.

Eine Ausweitung des Verantwortungsbereichs von Planenden und Architekten in die frühe Planungsphase und in den Betrieb des Gebäudes, klare Zielvereinbarungen mit der Bauherrschaft, sowie eine enge Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams sind wichtige Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung von solaren Gebäuden. Unterstützt werden Planende und Architekten dabei von einfach bedienbaren, in die Planungsumgebung eingebundenen Berechnungstools. Optimaler Informationsaustausch und Kooperation - sowohl beim interdisziplinären Team wie auch innerhalb der Prozesse - sind wesentliche Voraussetzungen für die erfolgreiche Bewältigung der komplexen Herausforderungen bei der Umsetzung von solaren Gebäuden.

### **3.2. Planungswerkzeuge**

Die Reduktion des CO<sub>2</sub> Ausstosses wie auch der Einsatz von erneuerbaren Energien zur Deckung des Energiebedarfs von Gebäuden ist heute ein Gebot der Stunde. Während Planende und Architekten qualitativen Entscheiden im iterativen Entwurfsprozess sorgfältig Rechnung tragen, übergeben sie quantitative Abklärungen zu einem verhältnismässig späten Zeitpunkt an Fachingenieure. Dadurch wird im frühen Entwurfsstadium ein grosses Potential in Bezug auf nachhaltige und energieeffiziente Gebäude vergeben (vgl. Abb. 4). Gerade in dieser frühen Phase wären einfache Simulationsprogramme, die den Einfluss von Entwurfsentscheiden auf die Funktionalität des Gebäudes, d.h. auf den Verbrauch an Betriebsenergie für Heizung, Warmwasser, Licht und Geräte, den Ausstoss von CO<sub>2</sub> oder die Verfügbarkeit von Tageslicht grob aufzeigen, wichtige Hilfsmittel für Planende und Architekten, das Gebäude auszulegen. Aufgrund der Komplexität der Anforderungen an solare Gebäude und dem grösseren Risiko für Fehlentscheide wächst aber gleichzeitig auch das Interesse an möglichst präzisen Aussagen über das Verhalten des Gebäudes in Bezug auf den Nutzerkomfort (vgl. Kap. 2 und Dokumentation).

### 3.2.1. Zusammenfassung der Resultate

Die Arbeit hat gezeigt, dass in der frühen Entwurfsphase vor allem die Optimierung der Gebäudevolumetrie, des Energieverbrauchs und der Auslegung des Gebäudes zur aktiven Energiegewinnung (beschattungsfreie Ausrichtung der Gebäudehülle) wichtig sind. Optimal dafür sind Programme, welche ein virtuelles Gebäudemodell oder eine BIM Schnittstelle haben und dadurch gut in die Arbeitsumgebung des Architekten eingebunden werden können. Je nach Planungsphase haben alle untersuchten Programme nützliche Eigenschaften, die es erlauben, Aussagen zu verschiedenen wichtigen Aspekten von solaren Gebäuden zu machen.

Erforderlich sind aber verständliche und einfach zu bedienende Planungswerkzeuge, die gut in die Planungsumgebung von Planenden und Architekten eingebunden sind und es ermöglichen, ein direktes Feedback auf Veränderungen des architektonischen Modells bezüglich flexibel wählbarer Kriterien, wie beispielsweise Heizenergiebedarf, Tageslicht oder CO<sub>2</sub>, zu erhalten. Bei den Simulationstools sind Verständlichkeit und Flexibilität grundlegende Faktoren für die Akzeptanz durch Planende und Architekten. Auch in Bezug auf die einzusetzenden Bewertungs- und Simulationstool gilt es, möglichst kooperative Systeme bereitzustellen, die von den benützenden verstanden und in Folge auch verwendet werden.

Durch den Einsatz eines intelligenten Gebäudemodells könnte ein CAAD-System den Entwurfsprozess des Architekten schon in der frühen Entwurfsphase sowohl qualitativ als auch quantitativ sinnvoll unterstützen. Wie schnell und in welcher Breite dieses intelligente Gebäudemodell bei Planenden und Architekten Einzug hält, hängt stark von deren Entwicklung und den gesetzlichen Anforderungen an zukünftige Gebäude<sup>27</sup> ab. Für einfache Auslegungsberechnungen und Bedarfsnachweise, wie sie heute für einen Minergie Nachweis erforderlich sind, haben sich inzwischen einfache, statische Handrechenmethoden etabliert. Mit der neuen SIA 382<sup>28</sup> geht der Trend stark in Richtung dynamische Berechnung. Auch in der Praxis werden diese neuen Rechenmethoden zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes vermehrt nachgefragt.

Hauptanforderung an Bewertungs- und Simulationstools ist das automatische generieren und Überführen der Daten vom CAAD in die Rechentabellen. Weitere Anforderungen betreffen die Rechengeschwindigkeit, die architektonische Freiheit und die automatisierte Parameter-Eingabe.

- Rechengeschwindigkeit: Bewertungs- und Simulationstools sollen eine möglichst direkte Antwort auf Variation der Input-Parameter (Dimensionen, Materialwahl, usw.) geben.
- Architektonische Freiheit: Bewertungs- und Simulationstools sollen die Eingabe möglichst wenig einschränken und das Modells automatisch auf das mögliche Minimum vereinfachen.
- Automatisierte Parameter-Eingabe: Materialien und Produkte sollen direkt aus einer „Typen“-Datenbank auswählbar sein.

Innovative Programme ergänzen die vereinfachten Berechnungsmethoden mit spezialisierten Bewertungsmöglichkeiten von Planungsdetails im ganzen „Gebäude als System“ oder in speziellen Teilbereichen (Gebäude, Anlagentechnik, Regelung, etc.). Hauptanforderung an die Tools ist die effiziente Eingabe der wesentlichen Rechen-Größen.

In der Aufzählung der kontroversen Anforderungen am weitesten nach rechts gelangt man mit einer dynamischer Gebäudesimulation. Die Vorteile der Detailtreue, Genauigkeit und Ganzheitlichkeit können aber auch Nachteile mit sich ziehen. Der durchschnittliche

---

<sup>27</sup> Je nach gesetzlichen Anforderungen, bedarf es spezifische Berechnungstools, um die Erreichung der Grenzwerte nachzuweisen.

<sup>28</sup> Gemäss SIA 382 wird der Energiebedarf klimatisierter Gebäude gesamtheitlich erfasst und im Stundenschritt dynamisch und unter Einbezug der Systemeinflüsse berechnet.

Anwender neigt dazu, das Gebäude so genau wie möglich statt so genau wie nötig zu beschreiben. Die Hauptanforderung liegt deshalb im Spagat zwischen „detailliert – genau – umfassend“ und trotzdem „einfach – schnell – fehlerresistent“.

## **Bewertung von ausgewählten Bewertungs- und Simulationstools**

Die sechs untersuchten Simulationstools<sup>29</sup>, bSol, EDGII, DPV, Lesosai, Polysun und IDA-ICE, können folgenden Gruppen von Tools und Planungsphasen zugeteilt werden:

1. Tools zur Konzept-Bewertung (z.T. auch Projekt-Bewertung)
  - a. „isolierte“ Tools EDG II
  - b. CAD-basierte Tools DPV (Plancal, Revit, ...)
2. Tools zur Projekt-Bewertung (z.T. auch Options-Analysen)
  - a. Betrachtung „Gebäude als System“ bSol, Lesosai (SIA Tec Tool, ...)
  - b. Fokus auf Teilsystem Polysun (PV-Sys, IDA Room, IDA ESBO, ...)
3. dynamische Gebäudesimulation IDA ICE (TRNSYS, ...)

EDG II und DPV können in der frühen Planungsphase zur Konzept- und Projektbewertung eingesetzt werden. bSol, Lesosai und Polysun können in einer späteren Planungsphase zur Projektbewertung und späteren Optionsanalyse eingesetzt werden.

Bis auf den DPV, das IDA-ICE und die neueste Version von Lesosai, fehlt allen Simulationstools ein virtuelles Gebäudemodell oder eine BIM Schnittstelle und damit die Möglichkeit zur Integration ins Planungsumfeld von Planenden und Architekten. Aus diesem Grund werden diese Tools kaum von der Zielgruppe eingesetzt. IDA-ICE ist ohne Eingabeassistenten für den Einsatz bei Planern und Architekten zu aufwändig. Die Untersuchung zeigt den DPV und die neueste Version von Lesosai als weiter zu verfolgende Bewertungs- und Simulationstool für Planende und Architekten:

Die neue Version von Lesosai könnte aufgrund der Möglichkeit für Gebäude Zertifizierungen ein wichtiges Tool für die Projektphase werden. Der DPV hat mit seiner Ausprägung für den Einsatz in der strategischen Planung und der Vorprojektphase, dem Einbezug von passiv-solaren Gewinnen und internen Lasten, sowie als CAAD-Plugin mit 3D Gebäudemodell und BIM Schnittstelle ein grosses Potential für den Einsatz in der frühen Planungsphase.

---

<sup>29</sup> Ein detaillierter Beschrieb, eine Übersicht über die untersuchten Simulationstools und eine graphische Darstellung Resultate befinden sich in der Dokumentation.

### 3.3. Datenbanken

Eine bisher wenig angesprochene aber äusserst wichtige Forderung an die Bewertungs- und Simulationstool ist deren Anbindung an umfassende und regelmässig unterhaltene, aktuelle Komponenten-Datenbanken. Diese ersparen dem Anwender nicht nur die physische Eingabe, sondern insbesondere auch das äusserst mühselige Zusammentragen der korrekten Modellparameter.

#### 3.3.1. Zusammenfassung der Resultate

Eine den integralen Planungsprozess unterstützende Datenbank sollte folgende Forderungen erfüllen:

- Umfassende Bibliothek von Datenobjekten, welche alle auf dem Markt erhältliche Produkttypen abdeckt (Produkttypen sind beispielsweise „3-fach-Wärmeschutzglas 0,5 W/(m<sup>2</sup>K)“, „Silizium-Dünnschichtzelle“, „Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Kolbenkompressor“, usw.)
- Unterschiedliche Datensätze für die unterschiedlichen Anforderungen der Tools (Wirkungsgrad, physikalische Kenngrössen, Graue Energie, CO<sub>2</sub>-Ausstoss, Preis, etc.). Wichtig wäre, dass diese einander nicht widersprechen und dass sie demselben Datenobjekt zugeordnet sind.
- Datensätze der verschiedenen Datenobjekte desselben Datentyps müssen untereinander vergleichbar sein. D.h. die wesentlichen Parameter müssen unter denselben definierten Bedingungen und von unabhängiger Stelle messtechnisch bestimmt und beglaubigt sein sollten.
- Produkthersteller müssen die Möglichkeit haben, ihr Produkt mit spezifischen Datensätzen als Datenobjekte der zentralen Datenbank anfügen zu lassen.
- Die verschiedenen Tools müssen Zugriff auf dieselben Datenbanken haben, so dass die Datenobjekte im Verlauf des Planungsprozesses „weitergegeben“ werden können.

Die erforderlichen Datentypen beinhalten beispielsweise Wetterdaten, Nutzerprofile, Baumaterialien, Produkte und Systeme (Heizung, Lüftung, Klima, Energiegewinnung, etc.). Obschon in der Schweiz einige Datenbanken existieren, sind sie für Bewertungs- und Simulationstool nicht zugänglich. Um dies zu ermöglichen, wäre eine Koordination aller Beteiligten notwendig.

### 3.4. Schlussfolgerung

Um die Betriebswerte hinsichtlich Energieeffizienz und Behaglichkeit von heute geplanten und realisierten Gebäuden weiter massgeblich verbessern zu können, sind drei grundsätzliche Anpassungen im Planungsprozess unumgänglich:

- Um ein möglichst hohes Optimierungspotenzial zu schaffen: Einbezug der entsprechenden Einflüsse in den Entscheidungsprozess bereits in der sehr frühen Entwurfsphase. Hierzu sind unterstützende Tools gefordert, welche einfach bedienbar, effizient in den Planungsprozess einzubetten und resistent gegenüber Fehleingaben sind.
- Um eine Optimierung überhaupt realisierbar zu machen: Stärker vernetztes Vorgehen innerhalb des Planungsteams. Hierzu sind alle eingesetzten Planungshilfsmittel in einer gemeinsamen Planungsumgebung einzubetten (Stichworte „BIM“, „Computer clouding“, etc.)
- Um das im Entwurf geschaffene Optimierungspotenzial auszuschöpfen: Verlagerung der Gebäudeanforderungen von den Planungs- zu den Betriebswerten. Dies bedingt eine Ausdehnung des Planungsprozesses auf eine weitere Phase nach Inbetriebnahme, welche eine Betriebsoptimierung ermöglicht. Hierzu sind unterstützende Tools gefordert, welche den realen Betrieb detailliert beschreiben, genaue Resultate liefern und umfassende Modelle einbeziehen können.

Um diese Anpassungen im Planungsprozess in der Praxis umsetzen zu können sind folgende Massnahmen in der behördlichen Regulierung gefordert:

- Anpassung der Honorarordnung
- Gebäudebewertung nach Betriebswerten (statt wie bisher nach reinen Planungswerten)

## 4. Gestalterische Möglichkeiten beim Einsatz von solaren Strategien

Entgegen der heute oft anzutreffenden Praxis, die solare Nutzung für ein Gebäude erst dann zu „applizieren“, wenn der Gebäudetyp bereits feststeht, hatte die vorliegende Arbeit das Ziel, Möglichkeiten aufzuzeigen, die solare Nutzung als Teil eines gestalterischen Gesamtkonzeptes zu konzipieren. Hierfür war es wichtig, die architektonisch relevanten Entscheidungen und die solaren Strategien in einem frühen Stadium aufeinander abzustimmen. Dies galt sowohl für Neubauten als auch für Sanierungen.

Gerade bei Sanierungen fällt ins Gewicht, dass Veränderungen an Gebäudehülle und Typologie immer auch einen direkten Einfluss auf die Bewohner haben und damit auch auf die Akzeptanz der geplanten Massnahmen. Es stellt sich somit nicht nur die Frage nach den optimalen technischen und energetischen Strategien, sondern auch nach Möglichkeiten der architektonischen Umsetzung und der Akzeptanz durch die Nutzenden. Das heisst, die Massnahmen müssen mit den Leuten, dem Ort und der zur Verfügung stehenden Technik in Einklang gebracht werden<sup>30</sup>. Mit zunehmenden Gestaltungsoptionen kann gerade die Photovoltaik die Aufmerksamkeit der Planenden gewinnen und „eins werden [...] mit den gegenwärtigen Renaissance der dekorierten Fassaden: mit den serigrafierten Gläsern Jean Nouvels, den Photopixel-Oberflächen von Herzog & de Meuron, den elektromedialen Lichtwänden von Toyo Ito und seiner Nachfolger“<sup>31</sup>. Mit einer Mischung von gutem Design, energetischer Effizienz und Wirtschaftlichkeit steht der Akzeptanz und dem Erfolg des dezentralen „Kraftwerk Haus“ nichts mehr im Wege.

### 4.1. Gestaltung von Fassaden

Die Fassadengestaltung mit solaren Elementen wirft insbesondere bei Sanierungen die Frage nach einem angemessenen Umgang mit der Gebäudehülle auf. Für das Bauen im Bestand ergeben sich in Abhängigkeit vom lokalen oder regionalen Kontext sowie vom Gebäudetyp mit seiner zeitlich geprägten Architektursprache unterschiedliche Anforderungen an die Neugestaltung der Fassade. Dabei spielen die Flächengestaltung (hinsichtlich Form, Ausmass, Regelmässigkeit), die Anordnung von Fassadenelementen (als Schuppung, Bündelung, Aufreihung, Schichtung etc.) oder auch Relationen (Proportionen, Bezüge der Elemente aufeinander) für die Neukonzeption einer Fassade eine wesentliche Rolle. Weitere gestalterische Aspekte ergeben sich aus der Oberflächenbeschaffenheit, der Anwendung von Farbe oder Ornamentik (als Muster, Schrift oder Bild). Auch Transparenz oder Licht-Schatten-Effekte, wie sie sich aus Fugenbildern oder dem Zusammenspiel von Flächen und Fugen ergeben, besitzen gestalterische Relevanz. In diesem Teil der Arbeit wurde der Fokus auf die Aspekte Material, Konstruktion, Ornamentik und Symbolik gelegt (siehe Dokumentation).

#### 4.1.1. Zusammenfassung der Resultate

Die Beispiele der Luzerner Siedlung Elfenau und des Wohnhauses Horwerstrasse in Kriens zeigten, dass es möglich ist, bestehende Eigenschaften von Wohngebäuden durch den Einsatz von Solarpaneelen im Sinne eines Material- bzw. „Stoffwechsels“<sup>32</sup> neu zu

---

<sup>30</sup> Vgl. das People-Place-Product Prinzip [Ehrbar, 2005]

<sup>31</sup> [Lüling, 2009]

<sup>32</sup> Die Verwendung des Stoffwechselbegriff in der Architekturtheorie geht zurück auf Gottfried Sempers Ausführungen in *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Aesthetik* von 1860. „Bei ihm steht [der Begriff des Stoffwechsels] für den Prozess, durch welchen Kunstformen Veränderungen erfahren, aber in späteren Formen Spuren und Residuen der früheren Materialstile mit sich tragen und so symbolisch auf die in der Vergangenheit benutzten Materialien anspielen.“ (Mallgrave, 2004, 303).

interpretieren. So kann die Tapete des Treppenhauses in der aktivierten Fassade interpretiert werden (Abb. 12 und Abb. 13) oder das regelmässige Muster der Lochbrüstung der Balkone an der Horwerstrasse gestalterisch in Photovoltaik-Modulen umgesetzt und auf die Erschliessungstürme aufgebracht werden. Wichtig ist dabei jeweils der Erhalt des Gesamterscheinungsbildes der Gebäude. Proportionen und gliedernde Elemente bleiben erhalten, werden jedoch in ein anderes Material überführt. Abb. 14 und Abb. 15 zeigen die gestalterische Nähe eines traditionellen Gebäudes und eines neuen Minergie-Gebäudes. Trotz kultureller und konstruktiver Unterschiede könnte dieses Beispiel ein gutes Vorbild für eine zeitgerechte Bauerneuerung sein.

Diese gestalterische Sensibilität in Bezug auf die Wirkung des Gebäudes ist auch für die Gestaltung von neuen Solargebäuden von grosser Wichtigkeit. Auch hier sollte nicht die technische Machbarkeit allein entscheidend sein, sondern im Sinne des Gesamterscheinungsbildes des Gebäudes entworfen und gestaltet werden. Denn, „die Lösung für jemanden kann nur die Lösung mit jemandem sein“<sup>33</sup>.



Abb. 12: Siedlung Efenau, Luzern, Variante 1



Abb. 13: Siedlung Efenau, Luzern, Variante 2



Abb. 14: Klinkerfassade Altstadtthaus, Lissabon



Abb. 15: Minergie Fassade, Renggli AG, in Sursee

<sup>33</sup> Leitsatz von Jürg Neubert in: Module für das Haus der Zukunft [Fischer, et. al, 2009].

## 4.2. Verwendung von aktiv-solaren Strategien

Die Möglichkeiten für eine Verwendung von aktiv-solaren Produkten sind vielfältig. Grundsätzlich sind am Gebäude drei Strategien, die Addition, die Integration und die Fusion<sup>34</sup> denkbar. Die vierte Variante, die „Kolonialisierung“, d.h. das Unterbringen der Solarpaneele auf einem anderen Gebäude (z.B. im Industriegebiet) wird in dieser - auf das Gebäude ausgelegten Betrachtung - nicht weiter verfolgt, obschon sie bei einer über das Gebäude hinaus gehenden Betrachtung der Quartierebene, durchaus eine gute und zukunftsgerichtete Option darstellt.

### 4.2.1. Zusammenfassung der Resultate

Bei allen drei Strategien der Verwendung von aktiv-solaren Produkten (Addition, Integration, Fusion) ist es möglich, sie als Träger von Ornamenten (Mustern, Bildern oder Inschriften) zu verwenden oder mittels Anordnung von Solarzellen Ornamente zu generieren, deren Wirkung über das Technische hinausgeht. Die heutige Praxis ist dabei nur ein kleiner Ausschnitt dessen, was durch die weitere technische Entwicklung (siehe Kapitel 4.3 und Dokumentation) und deren Entdeckung durch Planende und Architekten noch kommen wird. Die gestalterischen Ansprüche, der Wunsch nach Individualität und die Einbindung in das Konzept des Gebäudes werden direkte Auswirkungen auf den Wirkungsgrad haben (Abb. 16). Während auf andere Gebäude ausgelagerte Anlagen einen maximalen Wirkungsgrad bei möglichst geringen Kosten erzielen müssen, sinkt der Wirkungsgrad bei additiven und integrierten Anlagen deutlich ab. Gebäude, bei denen die aktiv-solaren Produkte ins Konzept integriert sind, werden aufgrund der gestalterischen und konstruktiven Kompromisse den deutlich geringsten Wirkungsgrad haben, während die Kosten sehr hoch sind. Werden die Ersparnisse für die Einsparung von Teilen der Gebäudehülle, der Gestaltungsbonus und die Wirkung des Gebäudes mit in die Betrachtung einbezogen, kann die Kosten -Nutzen Rechnung sehr wohl positiv ausfallen. Obschon sich ein Grossteil dieser Mehrkosten und die geringere Wirkung abwälzen lassen, ist bei allen Strategien ein möglichst hoher Wirkungsgrad anzustreben (grüner Bereich in Abb. 16).

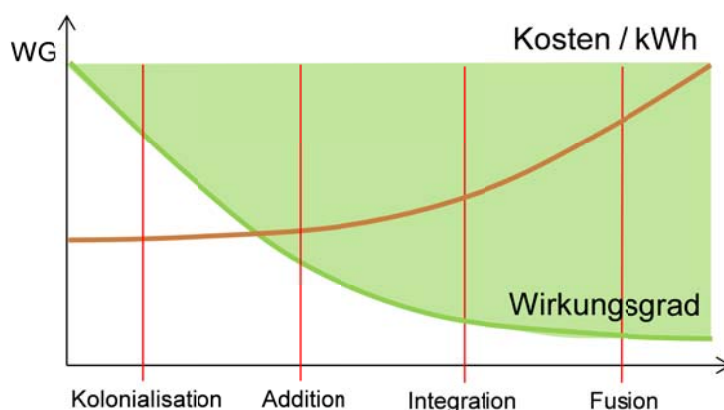


Abb. 16: Kosten – Wirkungsgrad in Bezug auf die Verwendungsart von aktiv-solaren Produkten

Um aktiv-solare Produkte und Systeme heute optimal nutzen zu können, ist insbesondere ein wachsendes Knowhow der Planenden und Architekten notwendig, wie gestalterische und technische Ansprüche in Einklang gebracht werden können. Nur so kann das Wissen über Kosten und erzielbare Gewinne im Sinne ganzheitlicher Strategien für Neubauten und

<sup>34</sup> Vgl. Dokumentation.

Sanierungen auf breiter Ebene eingesetzt werden. Es ist daher wichtig, im Rahmen von weiteren Untersuchungen Kommunikationsgrundlagen zu erarbeiten, die geeignet sind, dieses Wissen breit zu streuen.

### 4.3. Aktiv-solare Produkte

Heute werden aktiv-solare Produkte meist erst auf dem Dach eines Gebäudes installiert, wenn es schon gebaut ist. Ebenso können Anlagen, die bereits während der Bauzeit in die Gebäudehülle integriert werden, zwar technisch gut integriert sein und mit der funktionellen Doppelnutzung eine wichtige Forderung in Bezug auf Nachhaltigkeit erfüllen. Dies heisst aber noch lange nicht, dass sie als ganz normaler Bestandteil eines Daches, einer Fassade oder eines Bauteils wahrgenommen werden oder die Erscheinung des Gebäudes sogar gestalterisch unterstützen oder verbessern. „Nicht Technik spielt die erste Geige, sondern Baukultur hat oberste Priorität, die haptisch-sinnliche Qualität erlebbarer Raumqualitäten. Dagegen fallen Quantitäten [...] optisch nicht ins Gewicht, sondern sind einfach selbstverständlich vorhanden.“<sup>35</sup> Mit dieser Aussage stellt Lüling die Gestaltung klar über die Technik.

In diesem Teil der Arbeit wurde das gestalterische Potential<sup>36</sup> beleuchtet, das verfügbare oder neue Produkte haben könnten, zu attraktiven, Wärme oder Strom liefernden Baumaterialien – insbesondere Fassadenmaterialien – heranzuwachsen.

#### 4.3.1. Zusammenfassung der Resultate

Die heute weit verbreitete „Verbannung“ von aktiv-solaren Produkten auf das Dach kann nicht nur mit maximalem Wirkungsgrad und hohen Kosten begründet werden. Viel mehr tragen die gängigen, Kosten-Wirkungsgrad optimierten Produkte nicht zur Bedeutung eines Gebäudes bei, solange ihnen nicht eine Bedeutung angeknüpft wird. Dies ist von Seite der Planenden und Architekten aber (noch) nicht geschehen, wodurch sie die Betrachtenden auch nicht entschlüsseln können. Die Zuordnung einer Bedeutung wäre aber notwendig, um den Einsatz von aktiv-solaren Produkten in der Architektur zu fördern. Eine wichtige Stellung nehmen dabei Bilder ein, die den visuellen Code einfach lesbar und transportierbar machen.

In Anbetracht der vermehrten Verfügbarkeit von Customised Products und der vielen Gestaltungsmöglichkeiten der bis zu 3-lagigen, aktiv-solaren Elemente (Solarthermie<sup>37</sup> und PV) müsste dieser Schritt mit vertretbaren Verringerungen des Wirkungsgrads wie auch vertretbaren Kostenfolgen möglich sein. Das heisst, aktiv-solare Produkte, die sich den Bedürfnissen der Nutzenden anpassen, werden häufiger verwendet. Je mehr die Begehrlichkeit steigt, desto bedeutender wird die Fläche und desto weniger fällt die Kosten-Nutzen Frage in Betracht. Mit steigender Verwendung ergeben sich Synergien auf Materieller und immaterieller Ebene, die diese Nachteile wettmachen.

---

<sup>35</sup> [Lüling, 2009, 10]

<sup>36</sup> Den Autoren ist bewusst, dass nicht alle gestalterischen Vorstellungen technisch umgesetzt werden können. Es geht es an dieser Stelle viel mehr darum, fest eingefahrene Lösungen und Produktionsformen aufzubrechen und die Diskussion zwischen Gestaltenden und Entwicklern anzufachen.

<sup>37</sup> Ungedämmte Kollektoren sind nur einlagig; demzufolge kann nur die Oberfläche und die Gestalt des Kollektors gestaltet werden.



Abb. 17: MetaboliCity by Rachel Wingfield & Mathias Gmachl (Quelle: inventorspot.com, 2011)



Abb. 18: Hana Mado Solarzelle (Quelle: www.winarco.com, 2011)

Sollen aktiv-solare Produkte vermehrt in der Fassade integriert werden, sind Anpassungsfähigkeit an die gestalterischen Anforderungen des Ortes und die Möglichkeit, Inhalte verständlich zu transportieren viel wichtiger für den Erfolg von aktiv-solaren Produkten, als technische Ausgereiftheit oder maximaler Wirkungsgrad. Bereits heute gibt es eine breite Palette von innovativen Produkten, die das Potential haben, diesen Anforderungen Rechnung zu tragen<sup>38</sup> (Abb. 17 und Abb. 18).

---

<sup>38</sup> Weitere Beispiele siehe Dokumentation

## 5. Schlussfolgerung und Ausblick

Die Arbeit mit den drei Teilbereichen „Solare Strategien und deren energetische Relevanz“, „Planungsprozess und Planungswerkzeuge“ zur Planung von solaren Gebäuden und „Gestalterische Möglichkeiten beim Einsatz von solaren Strategien“ führte zu folgenden Erkenntnissen:

Es ist möglich, unter Einbezug von aktiv- und passiv-solarer Strategien bei der Sanierung eine Alternative zu den auf die Dämmstrategie ausgelegten Standards, wie beispielsweise SIA 380/1 oder Minergie-P, anzubieten. Das heisst, die Betriebsenergie des Gebäudes kann auf null gesenkt werden ohne den Charakter des bestehenden Gebäudes gänzlich zu verändern, wie bei den genannten Standards oft unvermeidbar ist. Passiv-solare Einzelmassnahmen bewirken relativ geringe Einsparungen, die durch den Einsatz aktiv-solarer Massnahmen einfach kompensiert werden können. Während einige der untersuchten Effekte als qualitative Empfehlungen und teilweise als quantitative Orientierungshilfen bereits verfügbar sind, stellt gerade das Zusammenspiel der einzelnen Faktoren und das iterative Herantasten an die optimale Lösung eine grosse Herausforderung an Planende und Architekten. Ein „solares Sanierungskonzept“ ergibt sich aus der Abwägung des energetischen Potentials einer Einzelmassnahme oder einer Kombination von Einzelmassnahmen mit der Nutzung und den Bedürfnissen der Nutzenden. Im Gegensatz zu Sanierung von Gebäuden muss bei der solaren Auslegung von gut gedämmten Neubauten dem Tageslicht, dem sommerlichen Wärmeschutz und somit der Behaglichkeit besondere Beachtung geschenkt werden. Um diese Aufgaben lösen zu können, sind geeignete Bewertungs- und Simulationstools notwendig, um qualitative Entscheide in Bezug auf die Funktionalität des Gebäudes bereits in der strategischen Planung und der frühen Entwurfsphase in den iterativen Entwurfsprozess einzubinden. Das heisst, diese Tools stellen planerische Entscheide der Funktionalität des Gebäudes gegenüber.

Durch die zunehmende Komplexität der Bauvorhaben wie auch die Integration von solaren Strategien in der Architektur sind zunehmend ganzheitliche, vernetzte, spartenübergreifende Leistungen gefragt, die meist nur von interdisziplinären Planer-Teams erbracht werden können. Problematisch daran ist jedoch, dass der steigende Informationsbedarf zu Beginn der strategischen Phase und der frühen Entwurfsphase, wie auch das Informationsaufkommen gegen Ende der haftungsrechtlich sensitiven und arbeitsaufwändigen Vorplanungsphase mit den bisher zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln für Planende und Architekten, wie auch den speziell zu vereinbarenden Honoraren nicht abgedeckt werden kann.

Die Untersuchung der gestalterischen Möglichkeiten von aktiv-solaren Strategien zeigte, dass Informationen für Planende und Architekten besser zugänglich gemacht werden muss. Die Möglichkeiten zur Verwendung von aktiv-solaren Produkten und Systemen reicht von der Kolonisation über die Addition an das Gebäude und Integration in das Gebäude bis zur Fusion mit dem Gebäude. Steigenden Anforderungen an die Integration, wie auch Möglichkeiten zur Nutzung von Synergien erlauben grossen Spielraum bei der Auslegung der Kosten. Gleichzeitig ermöglicht der Einsatz von solaren Strategien, gestalterischen Zwängen bei der Erreichung der Energetischen Ziele aus dem Weg zu gehen. Dies bedeutet, dass sich der Einsatz von solaren Produkten und Systemen vermehrt von der Kosten-Wirkungsgrad-Kalkulation hin zu einer Flächen-Ertrags-Betrachtung verschieben wird, was die die Integration von solaren Strategien in die Architektur beziehungsweise die Fusion von Gebäude und Technik zu einer neuen Klimarhetorik ermöglicht.

Wenn solare Strategien künftig mit einem hohen Multiplikationspotenzial in die Architektur integriert werden sollen, müssen in Bezug auf das Gebäude und die Umgebung folgende zehn Forderungen berücksichtigt werden:

1. Die Methodik zur Umsetzung von solaren Strategien in der Architektur muss auf einer **gesamtheitlichen Betrachtung des Gebäudes** beruhen, welche das System Gebäude wie auch dessen Kontext berücksichtigt.
2. Ein für Planende und Architekten ausgelegter **Leitfaden zur qualitativen Beurteilung solarer Strategien** ist notwendig, um die planungsrelevanten Entscheide in einem möglichst frühen Zeitpunkt der Planung zu aufzunehmen. Dieser Leitfaden (beispielsweise analog zu den raumplanerischen Leitfäden/Wegweisern, die von den Kantonen für Gemeinden herausgegeben werden) soll aufzeigen, welche Informationen zu welchem Zeitpunkt der Planung vorhanden sein müssen, um das Gebäude unter Einbezug des solaren Potentials optimal auslegen zu können. Er bezeichnet ausserdem, wann welche Fachplaner zur Informationsgewinnung und Beurteilung beigezogen werden sollten.
3. Es besteht ein **Handlungs- und Anpassungsbedarf innerhalb der Honorarordnung**, um die interdisziplinäre Zusammenarbeit im frühen Planungsstadium und eine Ausweitung der Planung in die frühe Entwurfsphase zu fördern. Die frühzeitige Zusammenarbeit in interdisziplinären Teams und der Einbezug von Fachplanern verursacht hohe Kosten in einer Phase, in der grosse Unklarheit über die Realisierbarkeit des Gebäudes besteht. Sie sind aber notwendig, um spätere Planungs-, Bau- und Betriebskosten des Gebäudes zu reduzieren und eine optimale Integration von solaren Strategien zu ermöglichen.
4. Gefordert sind **einfache, ins Planungsumfeld von Planenden und Architekten eingebettete quantitative Bewertungs- und Simulationstools** zur Bewertung der Funktionalität des geplanten Gebäudes. Sie ermöglichen die Auswahl von Beurteilungskriterien (z.B. Kosten, CO<sub>2</sub>, Heizenergiebedarf, Energiebedarf für Kunstlicht, aktiv-solare Gewinne) und geben bei Veränderungen des Entwurfs laufend ein entsprechende Feedback. Wichtig ist, dass unter Einbezug von Eingabeassistenten und vordefinierten Templates bereits für das frühe Entwurfsstadium grobe Aussagen gemacht werden können, die mit detaillierteren Eingaben im Verlaufe des Planungsprozesses weiter verfeinert werden können. Wünschenswert wäre, wenn diese Informationen an Fachplaner und Spezialisten zur weitergehenden Beurteilung weitergegeben werden können.
5. Daten, die für die Planung von solaren Gebäuden notwendig sind, sollen in **aktuellen, normierten und frei zugänglichen Datenbanken** bereitgestellt werden, auf die die Bewertungs- und Simulationstools direkt zugreifen können. Um den Anforderungen an die Aktualität genügen zu können, müsste darüber nachgedacht werden, wie sie im rasch verändernden Umfeld regelmässig gepflegt und aktuell gehalten werden.
6. Es fehlen **geeignete Kommunikationsgrundlagen für Planende und Architekten**, die das vorhandene Knowhow in Bezug auf die Integration von solaren Strategien in der Architektur wie auch die Vereinbarkeit von technischen Anforderungen und gestalterischen Werten vermitteln weit zu streuen vermögen. Ein vermehrter Einsatz von solaren Strategien hängt wesentlich davon ab, ob Planenden und Architekten den verfügbaren Gestaltungsspielraum erkennen und ihn aktiv zu nützen wissen.
7. Planende und Architekten kommt mit der **Vermittlung von solaren Inhalten** eine bedeutende Rolle zu. Solare Gebäude basieren in ihrem Ausdruck auf bestehenden Gestaltungsprinzipien der Architektur. Diesen bestehenden Wortschatz gilt es mit den neuen Elementen der Klimarhetorik zu erweitern. Ziel ist dabei eine generelle Weiterentwicklung der aktuellen Architektursprache und deren Bedeutung.
8. Die Wirtschaftlichkeitsbeurteilung von solaren Produkten und Systemen muss sich von der Kosten-Wirkungsgrad-Kalkulation weg zu einer **ganzheitlichen Flächen-Ertrags-Betrachtung** unter Einbezug von Kosten, Nutzen, gestalterischer Wert, etc. verschieben. Dies ermöglicht einen grösseren Spielraum in der Auslegung und die vermehrte Integration von solaren Strategien in die Architektur, beziehungsweise die Fusion von Gebäude und Technik zu einer neuen Klimarhetorik. So können solare Strategien zu Trägern einer anspruchsvollen Architektur mit grosser Bedeutung werden.
9. Eine **Zusammenarbeit von Planenden und Architekten mit Hersteller von solaren Produkten und Systemen** ist wünschenswert, um die Produktpalette zu erweitern und das „technische Produkt“ zu einem „Baumaterial“ werden zu lassen, das in seiner gewünschten

Wirkung wahrgenommen wird. Dies bedeutet – mit sinkenden Preisen – ein vermehrter Ausbau der Customised Products.

10. **Planungssicherheit** ist eine wichtige Voraussetzung für die vermehrte Integration von solaren Strategien in der Architektur. Dies bedeutet eine Festlegung von langfristigen gesellschaftspolitischen Zielen und eine zielgerichtete Auslegung von unterstützenden Massnahmen, wie auch eine klare Kommunikation der Entscheidungsgrundlagen.

# Literaturverzeichnis

- [BFE, 2009] BFE (Hrsg.): *Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2008*. - Bern: BFE; 2009.
- [BFE, 2010] BFE (Hrsg.): *Analyse des schweizerischen Energieverbrauch 2000-2009 nach Verwendungszweck*. Bern: BFE; 2010.
- [Bundi, 2008] Bundi, Ulrich; *2000-Watt- und 1-Tonne-CO2-Gesellschaft ziehen am gleichen Strick*. In: *ETH Life* (2008/03).
- [Bründl, Höpfe, 1984] Bründel, W; Höpfe, P: *Advantages and disadvantages of the urban heat island - an evaluation according to the hygro-thennic Effects*. In: *Meteorology and atmospheric physics*, ISSN 1436-5065, Vol. 35 (1/2. 1984), p. 55-66.
- [Dubois, Horvat, ed., 2010] Dubois, Marie-Claude; Horvat, Miljana (ed.): *State-of-the-art of digital tools used by architects for solar design*. Report DB.1. IEA Task 41 – Solar Energy and Architecture. Verfügbar unter: [www.iea-shc.org/publications/task.aspx?Task=41](http://www.iea-shc.org/publications/task.aspx?Task=41), 2010.
- [Ehrbar, 2005] Ehrbar, Doris: *New residential wood building systems in Switzerland and their potential to meet the local requirements of place, people and product without compromising the global context*. Master of Advanced Studies in Architecture (M.A.S.A.) Thesis. Vancouver: UBC; 2005.
- [Fischer, 2009] Fischer, Robert: *Wohnüberbauung Efenau, Luzern*. Studienarbeit. – Luzern: Hochschule Luzern; 2009.
- [Fischer et. al., 2009] Fischer, Robert; Schwehr, Peter: *Module für das Haus der Zukunft*. Zürich und Luzern: vdf Hochschulverlag AG und Interact Verlag, Hochschule Luzern; 2009.
- [Fischer et al., 2010] Fischer, et al: *Ganzheitliche Sanierungsstrategien für Wohnbauten und Siedlungen der 1940er bis 1970er Jahre*. KTI Projekt. – Luzern: Hochschule Luzern, T&A, CCTP; 2011.
- [Fuller, 1998] Fuller, Buckminster: *Bedienungsanleitung für das Raumschiff Erde und andere Schriften*. Aus dem Englischen von Joachim Krausse unter Mitarbeit von Ursula Bahn. - Dresden: Verlag der Kunst; 1998.
- [Gadola, 2010] Gadola, Reto, et. al. *Interne Gewinne*. Konferenzbeitrag. 16. Status Seminar, ETH Zürich; 2010.
- [Gleiter, 2008] Gleiter, Jörg: *Zur Genealogie des neuen Ornaments im digitalen Zeitalter*. In: *arch plus* 189 (2008), 78-83.
- [Hagemann, 2002] Hagemann, Ingo B.; *Gebäudeintegrierte Photovoltaik. Architektonische Integration der Photovoltaik in die Gebäudehülle*. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller; 2002.
- [Hefler, 2010] Hefler, Elisabeth: *The aesthetics of house-facades. How features of architectural design affect aesthetic perception*. In: *Umweltpsychologie*; 2010/1, 12-25.
- [Herzog et al., 1996] Herzog, Thomas: *Europäische Charta für Solarenergie in Architektur und Stadtplanung*. In: Lampugnani, Vittorio Magnago et al., *Architekturtheorie 20. Jahrhundert. Positionen, Programme, Manifeste*. - Zürich: gta Verlag; 2004, 313-317.
- [Hönger et al., 2009] Hönger, Christian et al.: *Das Klima als Entwurfsmittel*. - Luzern: Quart Verlag; 2009
- [Kaiser et al., 1998] Kaiser, Yvonne; Hastings, Robert S.: *Niedrigenergie-Solarhäuser. Systeme - Projekte - Technologien*. - Basel: Birkhäuser; 1998.
- [Kaltenbach, 2010] Kaltenbach, Frank: *Glanz für Jahrtausende – Die Wiederentdeckung der Glaskeramik*. In: *Detail* 7/8 (2010), 838-845.

- [Keller, 2011] Keller, Bruno: *Energy Design Guide II.- Berechnungsmethode. Verfügbar unter: <http://energy-design-guide.ch> [30.7.2011].*
- [Labhard et al., 1995] Labhard, Eric, et. al.: *Erneuerbare Energien in der Architektur. Fragestellungen im Entwurfsprozess – ein Leitfaden.* Impulsprogramm PACER Erneuerbare Energien. Bern: Bundesamt für Konjunkturfragen; 1995.
- [Loos, 2004] Loos, Adolf: *Das Prinzip der Bekleidung – 1898.* In: Lampugnani, Vittorio Magnago et al., *Architekturtheorie 20. Jahrhundert. Positionen, Programme, Manifeste.* - Zürich: gta Verlag, 2004, 25-29
- [Lüling, 2009] Lüling (Hrsg.): *Energizing Architecture. Design and Photovoltaics.* - Berlin: Jovis Verlag; 2009.
- [Mallgrave, 2001] Mallgrave, Harry Francis: *Gottfried Semper. Ein Architekt des 19. Jahrhunderts.* - Zürich: gta Verlag, 2001
- [Moelle, 2006] Moelle, Herbert, Dissertation 2006: *Rechnergestützte Planungsprozesse der Entwurfsphasen des Architekten anhand semantischer Modelle.* - München: Technische Universität München; 2006.
- [Munari Probst, 2009] Munari Probst, Maria Cristina: *Architectural Integration and design of solar thermal systems.* PhD Thesis. - Lausanne: EPFL; 2009.
- [Papamichael, 2000] Papamichael, Konstantinos: *Green building performance prediction/assessment.* In: *Building Research & Information*, 28: 5, pages 394 – 402; 2000.
- [Pevsner et al., 1992] Pevsner, Nikolaus; Honour, Hugh; Fleming, John: *Lexikon der Weltarchitektur.* 3. aktualisierte und erweiterte Auflage. - München: Prestel, 1992
- [Plagaro et al., 2008] Plagaro Cowee, Nathalie; Schwehr, Peter: *Die Typologie der Flexibilität im Hochbau.* – Luzern: Interact; 2008.
- [Pültz et al., 2007] Pültz, Hoffmann: *Zur Aussagekraft von Simulationsergebnissen auf Basis der Testreferenzjahre (TRY) über die Häufigkeit sommerlicher Überhitzung.* In: *Bauphysik*, Volume 29, Issue 2, pages 99–109; April 2007.
- [Reed et al., 2000] Reed, William G.; Gordon, Elliot B., 2000: *Integrated design and building process: what research and methodologies are needed?.* In: *Building Research & Information*, Special Issue, Volume 28, Nr. 5 / 6; 2000.
- [Reinberg, 2008] Reinberg, Architekturbüro: *Entwicklung, heutiger Stand und Zukunft der Solaren Architektur.* In: *Sun and Sense 2008.* 7. Europäische Konferenz Solarenergie in Architektur und Stadtplanung. Das Haus als Sonnenkraftwerk (2008).
- [Rossi et al., 2009] Rossi, Monica; Kaltenbach, Frank: *Lernen von Ascoli Piceno – eine Stadt aus einem Guss.* In: *Detail* 5 (2009) 428-432
- [Rowe et al., 1968] Rowe, Colin; Slutzky, Robert: *Transparenz.* – Basel & Stuttgart: Birkhäuser, 1968
- [Sadalla et al., 1993] Sadalla, Edward K.; Sheets, Virgil L.: *Symbolism in Building Materials: Self-Presentational and Cognitive Components.* In: *Environment and Behavior* 2; 1993, 155-180
- [Schmitt, 1993] Schmitt, Gerhard N.: *Architectura et Machina - Computer Aided Architectural Design und Virtuelle Architektur.* - Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg & Sohn; 1993.

- [Schüepp et al., 1980] Schüepp, M., Gensler, G.: *Klimaregionen der Schweiz*. In: Müller G., 1980. Die Beobachtungsnetze der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt. Konzept 1980. Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, Nr. 93, Anhang Ib. Zürich.
- [Semper, 1860] Semper, Gottfried: *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Aesthetik*. Ein Handbuch für Techniker, Künstler und Kunstfreunde. Band I. 1860
- [SIA, 2001] SIA (Hrsg.): *Leistungsmodell*. Ordnung SIA 112. 1. Auflage. - Muttenz: Schwabe; 2001.
- [SIA, 2003] SIA (Hrsg.): *Ordnung für Leistungen und Honorare der Architektinnen und Architekten*. Ordnung SIA 102. 1. Auflage. - Muttenz: Schwabe; 2003.
- [SIA, 2006] SIA (Hrsg.): *SIA Effizienzpfad Energie*. Dokumentation D 0216. - Zürich: SIA; 2006.
- [SIA, 2007] SIA (Hrsg.): *Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik*. Merkblatt SIA 2028. Ausgabe 2008. - Zürich: SIA; 2007.
- [Sturm et al., 2006] Sturm, Andreas, et. al.: *Energieperspektive 2050 der Umweltorganisationen*. - Basel: Ellipson AG; 2006.
- [Swissolar, 2010] Swissolar (Hrsg.): *Fakten und Zahlen. Hintergrundinformationen*. Verfügbar unter: [www.swissolar.ch](http://www.swissolar.ch) [2010].
- [Tiric et. al., 2010] Tiric, Petar, und Mathis, Daniela: *Design einer solar-aktiven Busstation*. Studienarbeit. – Luzern: HSLU; 2010.
- Treberspurg, 1999] Treberspurg, Martin: *Neues Bauen mit der Sonne*. 2. Auflage. Wien, New York: Springer-Verlag; 1999.
- [Verein Zivilgesellschaft, 2008] Verein Zivilgesellschaft: *Die 1-Tonne-CO2-Gesellschaft*. Verfügbar unter: [www.zivilgesellschaft.ch/content/view/75/60/lang,de](http://www.zivilgesellschaft.ch/content/view/75/60/lang,de) [30.7.2011].
- [Wasser und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern, 1994] Wasser und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern, ed. *Energiekollektoren. Empfehlungen zur Auswahl und zur Anordnung*. – Thun: Ott Verlag + Druck AG, 1994.
- [Wigley, 1992] Wigley, Mark: *Untitled: The Housing of Gender*. In: Colomina, Beatriz: *Space and Sexuality*. – New York: Princeton Architectural Press; 1992, 329-
- [Würsten, 2009] Würsten, Felix: *Mehr Spielraum für die Architekten*. In: Newsletter des Energy Science Center der ETH Zürich, Nr. 4 (2009/4), 2.
- [Zimmermann, 1986] Zimmermann, Mark: *Handbuch der passiven Sonnenenergienutzung*. SIA Dokumentation, D 010. - Zürich: SIA; 1986.

Abbildungsnachweis: Wo keine Angabe über die Bildquelle angegeben ist, stammen die Bilder von den Autoren.

# Anhang

Dokumentation der Arbeit „Methodik zur Umsetzung von solaren Strategien in der Architektur“, Version 2, 30. April, 2012.