



Methodik zur Umsetzung von solaren Strategien in der Architektur

Schlussbericht/ Methodik solare Strategien
Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP)
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG)
Version 2, 30.4.2012

Titelfoto: Wohnhaus in St. Moritz (Quelle: 3 S, Swiss Solar Systems, Lyss)

Impressum

Projektpartner

Bundesamt für Energie BFE, CH-3003 Bern
Hochschule Luzern (HSLU), 6048 Horw
Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern, 6004 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

Auftragnehmerin

Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP)
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw

Verfasserteam

Doris Ehrbar	HSLU T&A / CCTP
Andreas Held	HSLU T&A / CCTP
Marcel Hohl	HSLU T&A / CCTP
Eva Roesler	HSLU T&A / CCTP
Dr. Ulrike Sturm	HSLU T&A / CCTP
Prof. Dr. Peter Schwehr	HSLU T&A / CCTP
Dr. Sven Moosberger	HSLU T&A / ZIG
Prof. Urs-Peter Menti	HSLU T&A / ZIG

Projektdaten

Projektstart	September 2009
Projektabschluss	August 2011

Kontakt

doris.ehrbar@hslu.ch
T: 041 349 34 62
F: 041 349 39 57

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.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	4
1. Einleitung.....	6
1.1. Hintergrund.....	7
1.2. Zielsetzung.....	9
1.3. Methodik.....	10
2. Solare Strategien und deren energetische Relevanz.....	13
2.1. Auslegung von Gebäuden.....	14
2.2. Mehrfamilienhaus Elfenau, Luzern	18
2.3. Wohn- und Bürogebäude Mühlebach, Zürich	35
2.4. Schlussfolgerung.....	44
3. Planungsprozess und Planungswerkzeuge	45
3.1. Planungsprozess.....	45
3.2. Planungswerkzeuge.....	51
3.3. Datenbanken	65
3.4. Schlussfolgerung.....	67
4. Gestalterische Möglichkeiten beim Einsatz von solaren Strategien	68
4.1. Gestaltung von Fassaden.....	70
4.2. Verwendung von aktiv-solaren Strategien.....	82
4.3. Aktiv-solare Produkte	85
5. Schlussfolgerung und Ausblick	91
Literaturverzeichnis	94
Anhang.....	98

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 getunt. 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 CO₂-Emissionen verantwortlich. Rund 83% des Endenergieverbrauchs der Haushalte entfallen auf Heizwärme und Warmwasser¹, welche heute noch zu rund 90% mit Öl und Gas aufbereitet werden². Sollen die Ziele der 2000-W-Gesellschaft umgesetzt werden, muss der Heizenergiebedarf der Gebäude bis 2050 um knapp 50% gesenkt werden³. 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-Minimierungsstrategie⁴, 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-CO₂-Gesellschaft der ETH Zürich, wonach nicht primär der Energieverbrauch gesenkt werden soll, sondern die CO₂-Intensität der verbrauchten Energie. Grosse Wichtigkeit erlangt dabei die Bereitstellung von CO₂-armer Elektrizität⁵. 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.

Die Ereignisse der jüngsten Vergangenheit haben gezeigt, dass nicht nur die Forderung zur Reduktion von fossilen Energien, sondern auch die Versorgungssicherheit⁶ und die Gefahren für die Umwelt⁷ wichtige Argumente für Alternativen zur heutigen Energiepolitik sind. Dabei soll die aktive Beschreitung neuer Wege gesellschaftspolitisch gefordert und gefördert werden.

Nutzung der Solarenergie

Die Sonne⁸ 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 CO₂-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 werden⁹. 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

¹ [BFE, 2010, 20]

² Schweizerische Energie-Stiftung [Verfügbar unter: www.energiestiftung.ch, 17.8.2011]

³ [Sturm, 2006]

⁴ vgl. Minergie [www.minergie.ch]

⁵ [Verein Zivilgesellschaft, 2008]

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

⁷ z.B. Atomunfall von Tschernobyl im April 1986, Ölkatastrophe im Golf von Mexiko 2010 und Atomunfall von Fukushima im März 2011

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

⁹ [Swissolar, 2010]

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 geworden¹⁰.

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)¹¹. Das heisst, Planende und Architekten haben eine grosse Verantwortung, wenn es um die Konzeption und Planung von solaren Gebäuden geht.

Planende und Architekten erachten die Planung von solaren Gebäuden als wichtig bis sehr wichtig¹². 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 ein¹³.

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.

¹⁰ [Treberspurg, 1999]

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

¹² Vgl. Internationale Umfrage innerhalb des IEA SHC Task 41

¹³ Vgl. Internationale Umfrage innerhalb des IEA SHC Task 41

1.2. Zielsetzung

Aufgrund der vorgängig thematisierten Aspekte stehen in dieser Arbeit darum 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 sollen Strategien entwickelt werden, die die Akzeptanz und die Relevanz¹⁴ von solaren Gebäuden im Hinblick auf eine grosse Breitenwirkung erhöhen und somit wesentlichen Beitrag zur Reduktion des Verbrauchs an fossilen Energien und des CO₂ Ausstosses für den Betrieb von Gebäuden leisten. Ziel dieser Arbeit ist eine *Methodik zur vermehrten Umsetzung von solaren Strategien in der Architektur*.

¹⁴ 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 CO₂ 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).

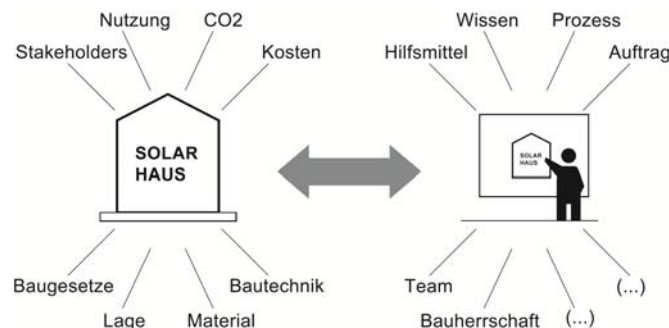


Abb. 1: Wechselwirkung zwischen dem Planungsumfeld und den Einflussfaktoren von solaren Gebäuden

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

Simulationen mit IDA ICE 4 geben 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) werden Aussagen zur energetischen Relevanz der untersuchten Strategien abgeleitet.

Planungsprozess und Hilfsmittel zur Planung von solaren Gebäuden

Dieses Teilprojekt betrachtet den gängigen Planungsprozess und die heute verfügbaren Planungswerkzeugen. Als Grundlage für die Beurteilung des Planungsprozesses dienen das Leistungsmodell SIA 112 und die Honorarordnung SIA 102. Die Anforderungen an zukünftige Planungswerkzeuge werden anhand des Ablaufschemas der notwendigen rechnerischen Projektbewertung innerhalb der verschiedenen Planungsstufen ausgearbeitet. Anhand dieses Schemas erfolgt 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 erfolgt anhand der Schweizer Baukultur und den heutigen Trends in der Gestaltung von Fassaden. Dies ist die Grundlage für Vorschläge, wie aktiv-solare Strategien wirksam in die Architektur integriert werden könnten. Hinterlegt werden diese Vorschläge mit verschiedenen Möglichkeiten der Verwendung von aktiv-solaren Produkten am Gebäude, wie auch Gestaltungsoptionen für deren Weiterentwicklung.

1.3.1. Inhalt der drei Teilprojekte

Die einzelnen Teilprojekte (Kapitel 2, 3 und 4) werden als unabhängige Einheiten betrachtet, die jeweils eine kurze thematische Einleitung, einen Überblick über andere Arbeiten, einen Beschrieb des Vorgehens, die Resultate der Untersuchung und eine Zusammenfassung der wichtigsten Inhalte beinhalten.

1.3.2. Verwendung von Begriffen und Definitionen

Solare Strategien

In dieser Arbeit steht der Begriff „Solar“ (z.B. solare Strategien, Solarenergie, solare oder solar ausgelegte Gebäude) immer für die aktiv- und passiv-solare Komponente. Wird nur die spezifisch passiv-solare oder aktiv-solare Komponente betrachtet, wird diese als solche bezeichnet.

Passiv-solare Strategien

Passiv-solare Strategien steuern eine passive Sonnenenergienutzung an. Diese steht gemäss Zimmermann für „das Temperieren der Wohn- und Arbeitsräume durch die Sonnenstrahlung, wodurch je nach Nutzung und Klima die Raumheizung unterstützt wird oder ganz entfallen kann.“¹⁵. Neben der passiven Sonnenenergienutzung können aktive oder hybride Systeme zur Sonnenenergienutzung eingesetzt werden.

Aktiv-solare Strategien

Aktiv-solare Strategien beruhen auf verschiedenen Technologien, die Sonnenlicht in Wärme oder Strom umwandeln. Der Ertrag von aktiv-solaren Strategien hängt sowohl vom Standort und dem System, wie

¹⁵ [Zimmermann, 1986, S. 10]

auch von der optimalen Positionierung und Ausrichtung der Absorber ab. Heute werden aktiv-solare Produkte (Solarthermie und PV) meist im Dachbereich eingesetzt. Mit dem Ausbau der Produktpalette, den sinkenden Preisen und den steigenden energetischen Anforderungen an die Gebäude werden aktiv-solare Produkte vermehrt auch Einsatz in der Fassade finden.

Tageslichtnutzung

Die Nutzung von Tageslicht ist sowohl energetisch wie auch physiologisch und psychisch wichtig. Fenster können drei grundlegende Funktionen übernehmen. Dies sind die Gewinnung von Licht im Innenraum, die Aufrechterhaltung des Bezugs zum Aussenraum und der Einlass von frischer Luft. Die positiven Effekte eines Fensters sind meist auch an negative gekoppelt. So birgt das Potential für die Nutzung von passiver Solarenergie auch immer die Gefahr von Überhitzung im Sommer und grossen Verlusten im Winter. Das Potential einer guten natürlichen Belichtung kann zu unerwünschten Blendeffekten führen, wodurch die Storen geschlossen werden und künstliches Licht zum Einsatz kommt. Da gerade bei gut gedämmten Gebäuden das künstliche Licht ein wesentlicher Faktor für den Energieverbrauch ausmacht, ist der Nutzung des Tageslichts und somit die Gestaltung des Fensters bei der Planung von solaren Gebäuden von grosser Wichtigkeit.

Nutzungsgrad und Wirkungsgrad

Im Gegensatz zum energetischen Wirkungsgrad oder der Effizienz, bei der die gesamte gewonnene Energie betrachtet wird, berücksichtigt der Nutzungsgrad oder die Relevanz nur den effektiv genutzten Anteil. Auf einer nach Süden ausgerichteten Dachfläche sind die aktiv-solare Gewinne im Sommer sehr hoch. Das heisst, ihr Wirkungsgrad oder ihre Effizienz ist sehr hoch. Gleichzeitig muss das Innere des Gebäudes zu dieser Zeit vor Überhitzung geschützt werden. Der passiv-solare Nutzen der Sonneneinstrahlung ist somit klein bis störend; der Nutzungsgrad oder die energetische Relevanz ist nicht vorhanden oder schlägt sich negativ nieder.

Deckungsgrad

Der Deckungsgrad beschreibt das Verhältnis der genutzten Solarenergie zum gesamten Verbrauch. Der solare Deckungsgrad einer thermischen Solaranlage ist in der Regel höher, wenn sie als Warmwasser-Anlage ohne Heizungsunterstützung ausgelegt wird. Dies aber nur deshalb der Fall, weil die Grenze des betrachteten Systems auf die Warmwassererzeugung eingeschränkt wird.

1.3.3. Limits

Die Resultate der Forschungsarbeit stützen sich auf die Untersuchung der beiden Fallstudien in Luzern und Zürich, sowie auf die exemplarisch gewählten Simulationstools. Schlüsse für andere Regionen der Schweiz, wie auch auf Planungsprozesse anderer Länder (z.B. Nordamerika) sind nur bedingt möglich. Ausserdem können anhand der beiden Fallstudien lediglich eine Auswahl an relevanten Strategien aufgezeigt werden. Spezifische oder neuartige solare Strategien, wie beispielsweise thermische Masse, transparente Wärmedämmung (TWD), Phasenwechselmaterialien (PCM), etc. wären in Bezug auf die Nutzung von passiv-solaren Strategien sehr spannend, wurden aufgrund der aufwändigen Simulation in dieser Arbeit nicht untersucht.

2. Solare Strategien und deren energetische Relevanz

Die Betriebsenergie eines konventionellen Gebäudes ist für ca. 50% des jährlichen Energieverbrauchs und rund 40% der CO₂-Emissionen der Schweiz verantwortlich¹⁶. 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/m²a gesenkt werden¹⁷. 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 Denkmalpflege¹⁸.

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.

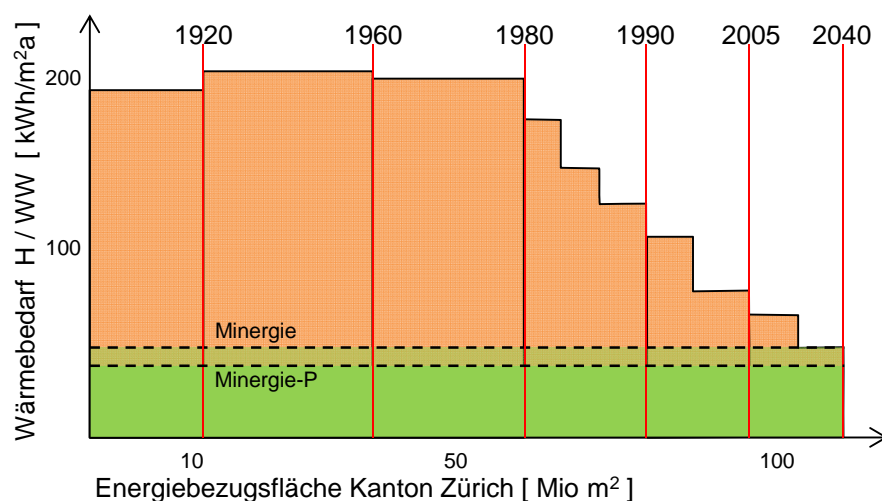


Abb. 2: Wärmebedarf von Wohngebäuden im Kanton Zürich (auf Basis von: BFE, 2005)

¹⁶ [Würsten, 2009]

¹⁷ [BFE, 2005]

¹⁸ [Fischer et al., 2011]

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 Entwurfsfaktor oder die Auslegung von Niedrigenergie-Solarhäuser sind Fragestellungen, mit denen sich Planende und Architekten während dem Entwurf vermehrt befassen müssen.

Energiebedarf von Gebäuden

Die gesetzlichen Anforderungen an den Heizenergiebedarf von Gebäuden haben sich in der Schweiz über die letzten 30 Jahre markant erhöht (vgl. Abb. 2). Gebäude, die heute saniert oder neu gebaut werden, müssen nach SIA 380/1 (2009) die Anforderungen an Einzelbauteile erreichen oder einen festgelegten Grenzwert für den Heizenergiebedarf erreichen¹⁹. Dieser Grenzwert ist abhängig von der Jahresmitteltemperatur der verwendeten Klimastation und von der Gebäudehüllzahl (Verhältnis der thermischen Gebäudehüllfläche zur Energiebezugsfläche). Bezogen auf die Energiebezugsfläche bedeutet dies für Neubauten in Luzern und Zürich (Jahresmitteltemperatur 9.5 °C):

- für Mehrfamilienhäuser mit typischer Gebäudehüllzahl 1.5 ein Heizenergiebedarf von 150 MJ/m² oder 42 kWh/m²
- für Bürobauten mit typischer Gebäudehüllzahl 1.0 ein Heizenergiebedarf von 138 MJ/m² oder 38 kWh/m²

Für Sanierungen und Umnutzungen liegen die Grenzwerte 25 % höher.

Seit 1994 existiert mit dem Minergie Label²⁰ ein freiwilliges Gebäudelabel, das den Verbrauch an fossilen Energien für den Betrieb eines Gebäudes durch eine gut gedämmte, dichte Gebäudehülle, effiziente Geräte und eine Komfortlüftung mit Wärmerückgewinnung markant gesenkt hat. Mit den Labels Minergie-P, Minergie Eco und Minergie A sind laufend neue Standards entstanden, die den Energiebedarf weiter gesenkt, sowie das Baumaterial und die aktiven Gewinne mit einbezogen haben. Die Existenz dieser Labels hat wesentlich zur Erhöhung der gesetzlichen Anforderungen an den Heizenergiebedarf von Gebäuden beigetragen.

Die verschärften gesetzlichen Anforderungen an den Heizenergiebedarf wie auch die Möglichkeit, mit Minergie Gebäuden grosse Einsparungen an Betriebsenergie zu erreichen, haben einen grossen Druck auf die Gebäudehülle und die Volumetrie des Gebäudes hervorgerufen; Eine gut gedämmte Gebäudehülle und ein kompaktes Volumen sind wichtige Teile dieser Strategie. Diese Anforderungen werden von Planenden und Architekten mit Skepsis aufgenommen. Sie sehen die Ablesbarkeit der Konstruktion, wie auch eine subtil gestaltete Kompositionen von Gebäudevolumen in Gefahr. Gleichzeitig bieten diese Labels aber rezeptartige Lösungen, wie die energetischen Ziele erreicht werden können. Auch bei den Nutzenden findet die Automatisierung der Gebäudelüftung mässigen Anklang; viele Leute haben Angst, nicht mehr selber entscheiden zu können, wann und wie die Fenster geöffnet werden können. Wie sich dieses "Nicht-verantwortlich-sein-müssen" von Planenden und Architekten, wie auch von Nutzenden in Bezug auf die Planung und Bewirtschaftung von Gebäuden langfristig auswirkt, bleibt abzuwarten.

¹⁹ Anforderungen der SIA 380/1 seit 1990.

²⁰ [www.minergie.ch]

Die Forderungen der 2000-Watt-Gesellschaft²¹ und der 2-Tonnen-CO₂-Gesellschaft²² gehen einen Schritt weiter. Sie verlangen eine Beurteilung der Energieeffizienz der Gesellschaft auf Basis des Energieverbrauchs pro Person, respektive des Ausstosses an CO₂. Der SIA Effizienzpfad Energie²³ zeigt auf, wie Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft im Gebäudebereich erreicht werden können. Damit bietet er eine konkrete Grundlage, wie eine höhere Energieeffizienz, ein vermehrter Einsatz erneuerbarer Energien und die Forderungen zur Reduktion des CO₂-Ausstosses im Sinne einer nachhaltigen Strategie umgesetzt werden können. Im Gegensatz zu den heutigen gesetzlichen Anforderungen und Labels bezieht sich der Energieverbrauch auf das Verhalten von Person und nicht mehr nur auf ein m²-Äquivalent. Damit sind wichtige Weichen gestellt, jeden Einzelnen in die Pflicht zu nehmen.

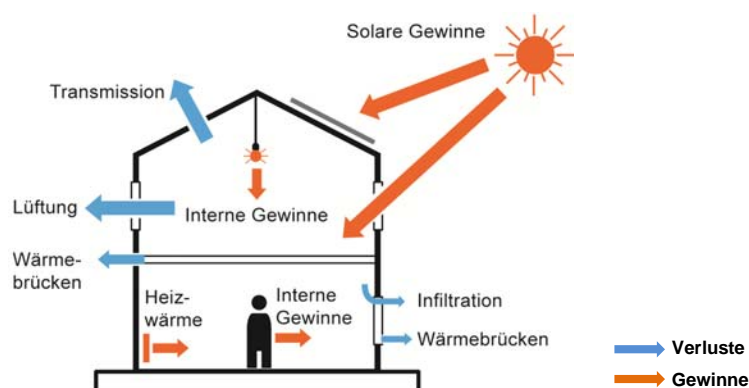


Abb. 3: Energiehaushalt eines Gebäudes (auf Basis von: Energieinstitut Vorarlberg, 2009)

Im Gebäudebereich verschiebt sich der Fokus somit von Gebäudehülle auf die Auslegung und Materialisierung des ganzen Gebäudes, sowie den Einbezug von erneuerbaren Energien zur Deckung des Energiebedarfs. Dies ermöglicht Planenden und Architekten eine grössere Bandbreite an Möglichkeiten, Gebäude und Haustechnik auszulegen. Gleichzeitig heisst es aber auch, dass Planende und Architekten wissen müssen, welche Auswirkungen die gewählten Strategien auf die Funktionalität des Gebäudes haben und wie sie optimiert werden können (Abb. 3).

Die Auslegung des Gebäudes unter Einbezug der einzelnen Faktoren und deren Wechselwirkungen 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 den 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. 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

²¹ [www.2000watt.ch]

^{xx} EQUA Solutions AB

²² [zivilgesellschaft.ch]

²³ [SIA, 2006]

kann²⁴. 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.

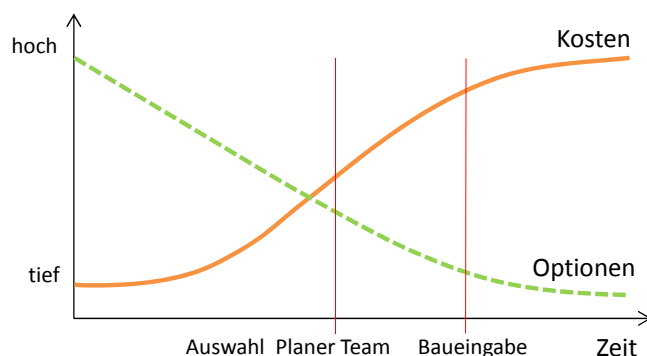


Abb. 4: Wichtigkeit der Projektbewertung in der strategischen und frühen Entwurfsphase (auf Basis von: Reed et al., 2000)

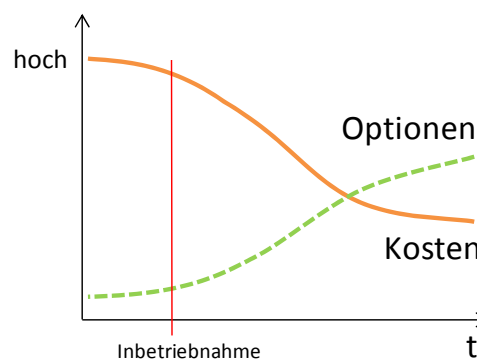


Abb. 5: Wichtigkeit der Optimierung während der ersten Betriebsjahre

Passive Nutzung der Sonneneinstrahlung

Gemäss Schittich²⁵ kommt „die passive Nutzung der Sonneneinstrahlung [...] ohne den Einsatz technischer Systeme aus. Das Gebäude mit seiner Platzierung, seiner Geometrie, seinen Bauelementen und Materialien gebraucht die Sonne ganz direkt und ohne Umwege. [...] Die Geschickte Wahl des Standortes, die Platzierung, Formgebung und Ausrichtung, die überlegte Anordnung der Fenster, eine sorgfältige Wahl der Materialien und Wandaufbauten: dies sind die Faktoren, die es ermöglichen Sonnenwärme aufzunehmen und zu speichern, die Temperaturen in einer klimagerechten Hülle angenehm zu gestalten und das Licht optimal einzusetzen.“

Während die wichtigsten Faktoren für die passive Nutzung der Solarenergie genannt werden, gibt es in dieser Beschreibung keine weiteren Angaben, welche Relevanz und Wechselwirkungen die einzelnen Faktoren haben oder auf welche Gebäudestandards sich diese Anforderungen beziehen.

Klima als Entwurfsfaktor

Hönger et al.²⁶ haben die Auswirkungen verschiedener Höhenlagen und Ausprägungen eines Gebäudes (Form, Volumen, Orientierung, Zonierung und Öffnungen) auf dessen Energieverbrauch untersucht. Sie haben gezeigt, dass in unserem Klima ein kompaktes Volumen wie auch die Limitierung der Fensterflächen wichtige Strategien zur Optimierung des Energieverbrauchs eines Gebäudes sind. Entgegen den Erwartungen sind bei den meisten anderen Strategien die Abweichungen relativ gering. So weisen verschiedene Orientierungen eines Gebäudes beispielsweise lediglich Abweichungen von 2% des Primärenergieverbrauchs auf.

Wichtig bei der Auslegung eines Gebäudes ist jedoch die Berücksichtigung der Nutzung und die gute Nutzbarkeit des Tageslichts²⁷. Je nach Nutzung des Gebäudes - insbesondere bei Bürobauten - ergeben

²⁴ 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, Fachgruppe Betriebsoptimierung).

²⁵ [Schittich, 2003, S. 13f]

²⁶ [Hönger et al., 2009]

²⁷ vgl. [Gadola, 2010]

sich bei den internen Gewinnen in Abhängigkeit von Belegung, Geräten und Beleuchtung grosse Unterschiede. Bei Gebäuden mit hohem Dämmstandard können gerade interne Gewinne wesentlich zur sommerlichen Überhitzung beitragen.

Niedrigenergie-Solarhäuser

Kaiser et al.²⁸ zeigen anhand einer Reihe von Niedrigenergie-Solarhäusern die komplexen Zusammenhänge beim Bauen mit tiefem Energieverbrauch auf und thematisieren eine Vielzahl von Strategien, die bei der Umsetzung von Niedrigenergie-Solarhäusern eingesetzt werden können. In Bezug auf die Positionierung und Dimensionierung von Fenstern zeigen sie auf, dass bei einem nach Süden orientierten, konventionellen Fenster die Energiegewinne bis zu einem Glasanteil von rund 30% pro Energiebezugsfläche ansteigen. Danach sinken sie aufgrund des relativ geringen U-Werts kontinuierlich ab. Bei gut gedämmten Bürogebäuden mit grossflächigen, guten Fenstern kann dieser Effekt negative Auswirkungen haben. Die geringeren Verluste, die steigenden Gewinne und die grossen internen Lasten können gerade in den Sommermonaten zu grossen Komforteinbussen führen. Dies ist vor allem dann ein Problem, wenn sich Fehlbedienungen, wie beispielsweise eine nicht aktivierte Verschattung, mit klimatischen Gegebenheiten überlagern (vgl. Kap. 2.3.5.).

²⁸ [Kaiser et al., 1998]

2.2. Mehrfamilienhaus Elfenau, Luzern

Anhand des Mehrfamilienhauses Elfenau in Luzern wird 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. Klima in Luzern

Luzern gehört zur Klimaregion 4, *zentrales Mittelland* grenzt aber direkt an Klimaregion 7, *zentraler Alpennordhang*²⁹. Die im Folgenden beschriebenen Klimadaten³⁰ beziehen sich auf die Klimastation Luzern in der Luzerner Allmend. Abb. 6 bis 8 zeigen die mittlere tägliche Globalstrahlung, die Heizgradtage und die Heiztage von Luzern im Jahresverlauf, sowie den Verlauf der Aussentemperatur während den Sommermonaten.

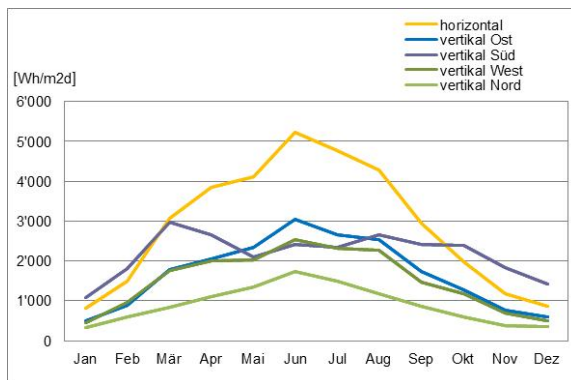


Abb. 6: Mittlere tägliche Globalstrahlung

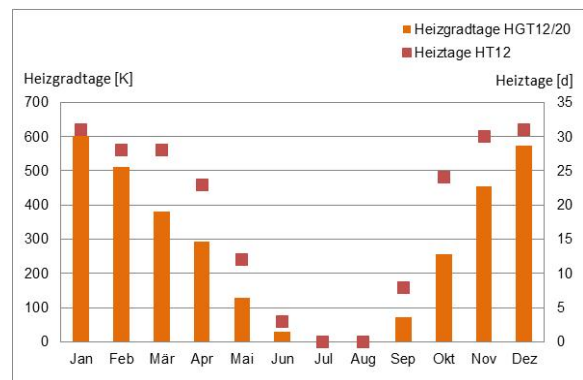


Abb. 7: Heizgradtage HGT 12/20 und Heiztage HT12

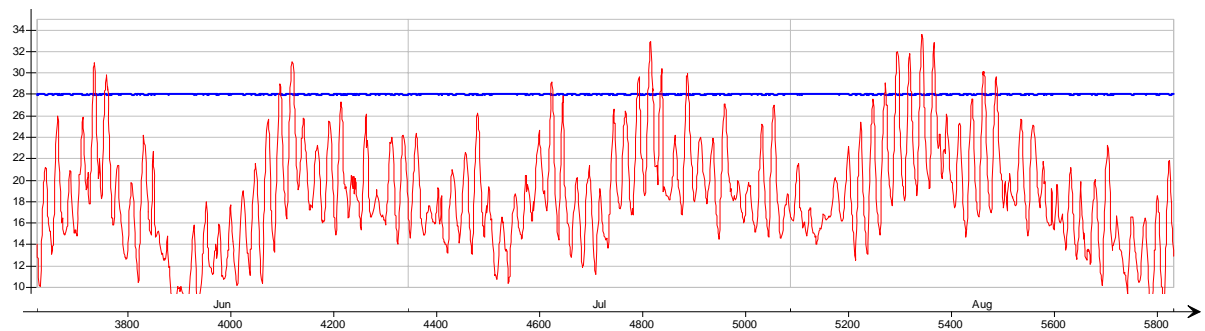


Abb. 8: Verlauf der Aussentemperatur der Klimastation Luzern während den Sommermonaten

Luzern hat im Jahr 218 Heiztage (HT_{12}) und 3'298 Heizgradtage ($HGT_{12/20}$). Im Januar fällt mit 31 Heiztagen und 602 Heizgradtagen, sowie 11 Tagen unter 0°C der grösste Heizwärmebedarf an. Juli und August verzeichnen weder Heiztage noch Heizgradtage.

Nicht weniger wichtig sind für das klimagerechte Bauen die Hitzetage. Solche können über die Tages-Maximaltemperatur (hohe externe Lastspitzen) oder über die Tages-Durchschnittstemperatur (verringerte Wirksamkeit passiver Kühlmassnahmen) definiert sein. Insbesondere mehrere Hitzetage

²⁹ [Schüepp et al., 1980]

³⁰ Messdaten des SIA Merkblattes 2028

hintereinander können zu unbehaglichen Betriebsstunden führen, da sich ein Gebäude in solchen Perioden nachts thermisch nicht mehr ausreichend „erholen“ kann und sich die Temperaturen „aufschaukeln“. Die Klimastation Luzern weist insgesamt 16 Tage mit Maximaltemperaturen über 28 °C auf. Die längste Periode sind 5 solche Hitzetage in Folge. Für die abschliessende Charakterisierung des Klimas bezüglich Hitzetage ist die Betrachtung des Mikroklimas (Effekt der innerstädtischen Wärmeinseln) unabdingbar³¹.

Die tägliche horizontale Globalstrahlung variiert zwischen rund 825 W/m² im Januar und rund 5'225 W/m² im Juni. Von September bis Februar ist die Globalstrahlung auf einer vertikalen, südorientierten Fläche gleichgross oder grösser als diejenige auf eine horizontale Fläche. Im Juli erreicht sie mit rund 2'400 W/m² aber nur knapp die Hälfte des Spitzenwertes von gut 5'225 W/m². Die durchschnittliche jährliche Globalstrahlung auf einer vertikalen Südfläche erreicht mit knapp 800 kW/m² rund 75% derjenigen auf eine horizontale Fläche. Mit einem Sommer – Winter Unterschied von Faktor 2.25 auf die nach Süden orientierte, vertikale Fläche sind die Erträge im Vergleich zur horizontalen Fläche mit einem Faktor 6.33 über das Jahr relativ ausgeglichen.

Die Hauptwindrichtung ist Westen mit einer Wahrscheinlichkeit von 27.5% und einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 6.5 km/h und maximalen Böen von 142 km/h. Am zweithäufigsten treten Winde aus Süden und Norden auf; Winde aus Osten sind sehr selten.

2.2.2. Siedlung Elfenau

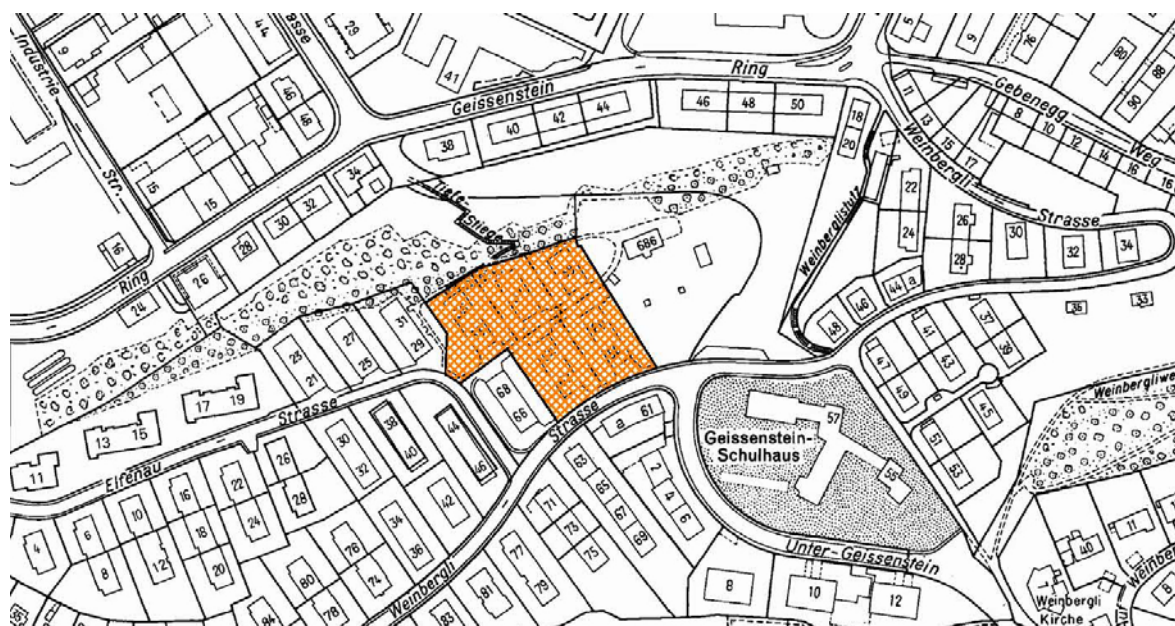


Abb. 9: Lageplan 2003 (Quelle: Stadtarchiv Luzern)

³¹ Die Testreferenzjahre nach SIA 2028 sind für Bewertungen des Überhitzungsrisikos von Gebäuden ab vielen Standorten nur bedingt anwendbar, da diese nur das Makroklima berücksichtigen. Der Deutsche Wetterdienst schlägt eine Methode vor, wie aus Testreferenzjahren Referenzjahre berechnet werden können, welche den Effekt der innerstädtischen Wärmeinsel berücksichtigen. In Grossstädten kann die Lufttemperatur demnach bis um 8 °C höher sein als im Umland. Selbst das Jahresmittel kann um bis zu 2 °C höher sein [Pültz, Hoffmann, 2007]

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 durchgrüntem 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 Doppelgaragen³² 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 Vollgeschossen³³.

Aus baugeschichtlicher und städtebaulicher Sicht ist die Siedlung Elfenau von grosser Bedeutung. Es muss damit gerechnet werden, dass die Gebäude in ihrer Erscheinungsform, der Kubatur und dem Volumen belassen werden müssen. Lediglich sorgfältig ausgeführte, sanfte Sanierungen sind bewilligungsfähig.³⁴

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. 10 – 12 und Anhang, Abb. A1 – A6). 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.

³² [Fischer, 2009, S.14f]

³³ [Fischer, 2009, S.16]

³⁴ [Fischer, 2009]



Abb. 10: Ansicht, Querschnitt, Grundriss Regelgeschoss und Vogelschau der Siedlung Elfenau (Quelle u.r.: Google, 2009)

2.2.3. Untersuchung der solaren Sanierungsstrategien

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

- 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 Strategien³⁵ wurden verschiedenste passiv-solare Strategien systematisch in Bezug auf die vier verschiedenen Berechnungsvarianten untersucht (Liste siehe Anhang, Tab. A1). Dies erlaubt 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%³⁶ umgerechnet. Das Potential wurde anhand der Wirksamkeit

³⁵ Vgl. dazu Schittich [Schittich, 2003, S. 13f] und Hönger [Hönger et al, 2009]

³⁶ 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.

(Wirkungsgrad) von aktiv-solaren Strategien (unabhängig vom Dämmstandard des Gebäudes) und nicht vom Deckungsgrad (abhängig von der Nutzung) untersucht.

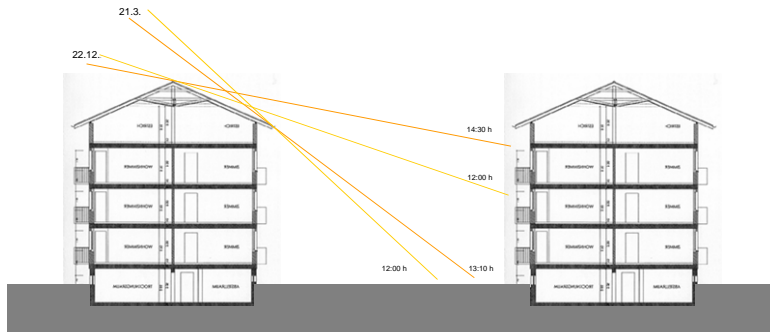


Abb. 11: Schnittstudie Sonnenstand

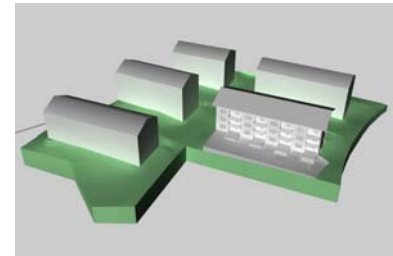


Abb. 12: Situation Siedlung Elfenau

Bedarf für Heizen und Kühlen (Bestand und saniert nach Minergie-P Neubau)

Abb. 13 zeigt den Bedarf für Heizen und Kühlen am bestehenden Gebäude und an einem nach Minergie-P Neubau sanierten Gebäude. Diese Berechnung mit dem IDA ICE, Version 4, bewertet den Bestand und die progressivsten Sanierungsstrategien hinsichtlich Betriebsenergie. Die Sanierungsstrategien umfassen im Wesentlichen:

- Konsequente Dämmung
- Neue hochdämmende Fenster
- Einbau einer kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Verglasung der Balkone

Die Heizperiode wird von 8 auf 3 Monate verringert. Durch die enorme Verringerung der Wärmeverluste erfährt die Gebäudebilanz eine drastische Veränderung. So sind die internen Lasten im Sanierungsfall die grössere Wärmequelle als die Heizkörper selbst. Die Wärmerückgewinnung trägt wesentlich zur Wärmeversorgung bei.

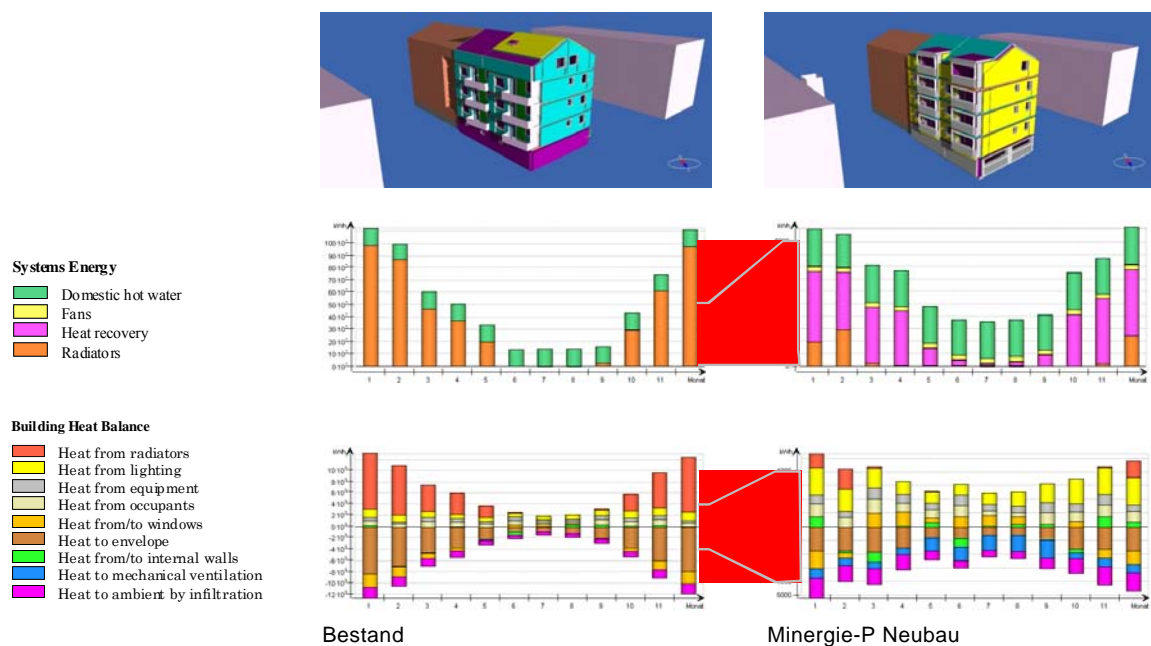


Abb. 13: Wärmebilanz des Gebäudes (unten) und vom System dem Gebäude zugeführte Energie (oben) im Vergleich zwischen Bestand und Sanierung.

Quantitative Untersuchung der passiv-solaren Strategien

Die quantitative Untersuchung wird mit dem Simulationsprogramm IDA ICE, Version 4, durchgeführt. Diese Resultate erlauben Planenden und Architekten, solare Strategien bei der Sanierung in Bezug auf deren Relevanz, Umsetzbarkeit und Funktionalität zu beurteilen, sowie adäquate gestalterische Entscheide aktiv zu treffen.

Die Simulation basiert auf den Klimadaten von SIA 2028³⁷. Konstruktionspläne der Liegenschaft im Massstab 1:50 dienen als Grundlage für die Eingabe von Ausmassen und Materialkennwerten des bestehenden Gebäudes. In Bezug auf Raumklima, Belegung, Geräte und Beleuchtung, Wärmeerzeugung (Heizung und Warmwasser) und Kühlung, Wärmebrücken und Infiltration, sowie interne Massen wurden Plausibilitätsannahmen getroffen bzw. standardisierte Werte verwendet. Die Parameter der untersuchten vier Berechnungsvarianten des Gebäudes sind in Tab. 1 zusammengefasst. Die Energie für die Aufbereitung des Warmwassers wurde nicht in die Simulation der Energiebilanz der einzelnen Strategien einbezogen, da es unabhängig von den untersuchten Strategien aufbereitet werden muss. Die Kühlenergie wurde lediglich zur Ermittlung der Grössenordnung einer möglichen Überhitzung des Gebäudes berechnet.

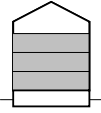
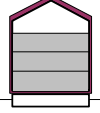
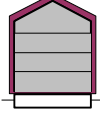
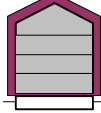
	BERECHNUNGSVARIANTEN			
	Bestand	Sanierung nach SIA 380/1-Sanierung	Sanierung nach SIA 380/1-Neubau	Ersatzneubau Minergie-P bei Volumenerhalt
Opake Gebäudehülle - U-Wert Regel-Aussenwand - U-Wert Dach (zu beheizt) - U-Wert Dach (zu unbeheizt) - Bodenplatte UG - Dichtigkeit - Wärmebrücken	1.19 W/m²K 0.58 W/m²K 4.54 W/m²K 2.55 W/m²K niedrig sehr hoch	0.24 W/m²K 0.27 W/m²K - 0.29 W/m²K niedrig hoch	0.19 W/m²K 0.24 W/m²K - 0.25 W/m²K niedrig mittel	0.11 W/m²K 0.58 W/m²K 4.54 W/m²K 2.55 W/m²K niedrig niedrig
Transparente Gebäudehülle - U-Wert Fenster - g-Wert Glas	2.5 W/m²K 77 %	1.30 W/m²K 77 %	1.00 W/m²K 77 %	0.78 W/m²K 77 %
Sonnenschutz - Art - Steuerung: Einstrahlung > 50 W/ m² (auf Glasinnenseite)	Äuss. Rollläden Schliessung	wie Bestand	wie Bestand	wie Bestand
Interne Werte - Brandwand - Wohnungstrennwand - Innenwand (16cm) - Innenwand (8cm) - Speichermasse	1.12 W/m²K 1.20 W/m²K 1.57 W/m²K 3.06 W/m²K hoch	wie Bestand	wie Bestand	2x0.14 W/m²K 0.14 W/m²K 0.36 W/m²K - hoch

Tab.1: Zusammenfassung der Parameter der vier Berechnungsvarianten

Berechnungsvarianten Basismodelle

Die Simulation der vier verschiedenen Berechnungsvarianten (Basismodelle) hat gezeigt, dass durch die Verbesserung der Gebäudehülle in Bezug auf U-Werte und Wärmebrücken grosse Einsparungen bei der benötigten Heizenergie erzielt werden können. Durch eine "konventionelle Sanierung" des Bestands nach den Anforderungen von SIA 380/1 Sanierung kann der Heizenergiebedarf um gut 72% von knapp 115 kWh/m²a auf knapp 32 kWh/m²a (bezogen auf die EBF) gesenkt werden. Mit einer "solar-optimierten Sanierung" nach den Anforderungen von SIA 380/1 Neubau kann dieser Wert auf rund 15 kWh/m²a und beim Ersatzneubau gemäss Minergie-P auf gut 5 kWh/m²a reduziert werden.

³⁷ [SIA, 2007]

	BERECHNUNGSVARIANTEN			
	Bestand	Sanierung nach SIA 380/1 Sanierung	Sanierung nach SIA 380/1 Neubau	Ersatzneubau Minergie-P bei Volumenerhalt
				
Dämmstrategien - U-Wert Aussenwand - U-Wert Fenster - Wärmebrücken	Heizwärmebedarf / EBF (kWh/m²a)			
	114.5	31.5	15.5	5.5

Tab.2: Heizwärmebedarf der vier Berechnungsvarianten des Gebäudes

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.

Mit steigendem Dämmstandard nimmt der Energieanteil für die Beleuchtung einen immer gewichtigeren Anteil ein und die Frage nach der Art der Kühlung kommt vermehrt zum Tragen (Abb. 14). Während die Raumtemperatur im Bestand lediglich von Juni bis August über 26°C steigt und durch Nachtauskühlung abgeführt werden kann, vergrössern sich Dauer und Kühlungsbedarf mit zunehmendem Gebäudestandard (Abb. 15). Dadurch sollte bei gut gedämmten Gebäuden grossen Wert auf den sommerlichen Wärmeschutz gelegt werden.

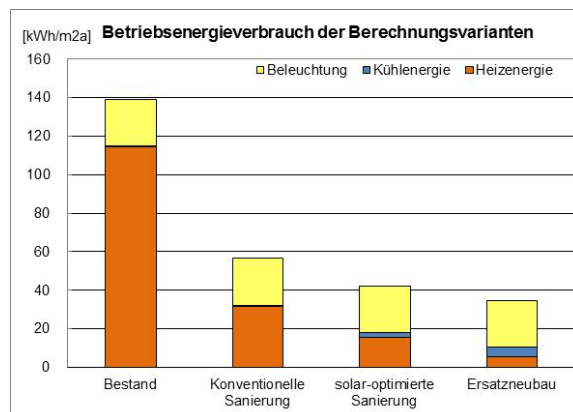


Abb. 14: Betriebsenergiebedarf der simulierten vier Varianten des Gebäudes pro m² EBF und Jahr

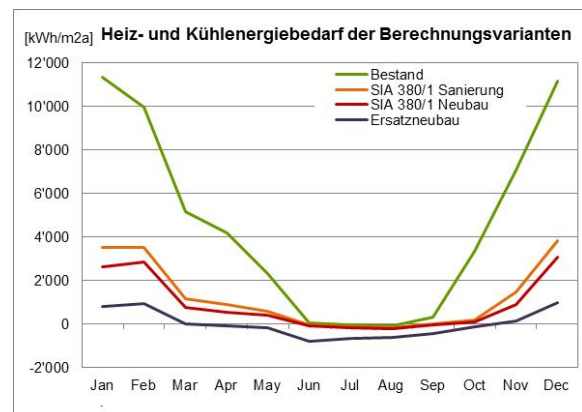


Abb. 15: Monatlicher Energiebedarf für Heizen und Kühlen der berechneten vier Varianten des Gebäudes

Passiv-solare Strategien







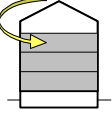
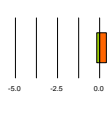
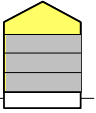

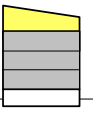
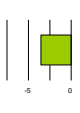
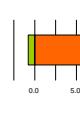
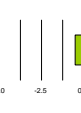
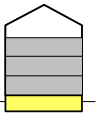

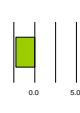
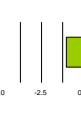
Die folgenden Abschnitte zeigen die Resultate einer Auswahl von simulierten Strategien bezogen auf die vier verschiedenen Berechnungsvarianten. Sie sind zwei Gruppen, a) die räumliche Strategien und b) die Bauteil Strategien, unterteilt. Die räumlichen Strategien beinhalten die Orientierung des Gebäudes und das Oberflächen-Volumen Verhältnis anhand eines Dachausbaus, der Veränderung der Dachform und der Verwendung von Dachaufbauten, sowie dem Ausbau des Kellers. Die Bauteil Strategien umfassen die Balkone als Pufferzonen, die Fenstergrösse, der g-Wert des Glases, Temperatur Zonen in den Wohnungen, die thermische Masse des Gebäude, die Art und die Steuerung des Sonnenschutzes.

a) Räumliche Strategien

Die räumlichen Strategien beziehen sich bei einer Sanierung im Wesentlichen auf volumetrische Veränderungen in Dach- und Kellergeschossen, sowie Verglasung von Balkonen oder Laubengängen. Eine Veränderung der Orientierung des Gebäudes ist zwar nicht möglich, eine Aussage, ob das Gebäude mit einer anderen Orientierung die solaren Gewinne besser ausschöpfen könnte, ist dennoch ein wichtiges Indiz für den Umgang mit dem Gebäude.

Der Ausbau des Dachgeschosses geht oft mit einer Veränderung der Dachform (Kniestock, Steilheit, Gauben) einher. Generell wirken sich Veränderungen von Dachform und Dachneigung die zu einem kompakteren Gebäudevolumen führen energetisch positiv aus. Wärmebrücken und (teilweise) eingezogene Balkone bieten bei energetischen Sanierungen die Möglichkeit, den Balkonbereich neu zu gestalten. Je weiter der Balkon als Loggia in das Gebäudevolumen eingeschnitten wird, desto grösser wird der Energiebedarf. Im Gegensatz dazu sinkt beim nach aussen Rücken oder dem Weglassen der Balkone der Energiebedarf.

Tab. 3 zeigt das Potential einer veränderten Orientierung des Gebäudes, den Ausbau des Estrichs, die Veränderung der Dachform und den Ausbau des Kellers auf den Heizenergiebedarf der vier Berechnungsvarianten des Gebäudes.

Räumliche Strategien	Spektrum für Einsparungen  und Mehrverbrauch  an Betriebsenergie (kWh / m ² EBF und Jahr)			
	BERECHNUNGSVARIANTEN			
	Bestand	Sanierung nach SIA 380/1 Sanierung	Sanierung nach SIA 380/1 Neubau	Ersatzneubau Minergie-P bei Volumenerhalt
				
- Gebäude Orientierung	 -20 -10 0 10	N/A	N/A	 -5.0 -2.5 0.0 2.5
- Ausbau Estrich	 -20 -10 0 10	 -10 -5 0 5	Basismodell mit ausgebautem Estrich	Basismodell mit ausgebautem Estrich
- Dachaufbau / Dachform	 -20 -10 0 10	 -10 -5 0 5	 -5.0 0.0 5.0 10.0	 -5.0 -2.5 0.0 2.5
- Ausbau Keller	 -20 -10 0 10	 -10 -5 0 5	 -5.0 0.0 5.0 10.0	 -5.0 -2.5 0.0 2.5

Tab. 3: Potential für Betriebsenergie Einsparungen durch verschiedene räumliche Strategien

Das bestehende Gebäude hat das grösste Potential für Einsparungen an der Betriebsenergie. Je besser der Dämmstandard des Gebäudes wird, desto geringer werden die potentiellen Einsparungen. Entgegen den Erwartungen wirken sich Veränderungen an der Orientierung des bestehenden Gebäudes wie auch beim Ersatzneubau negativ auf die Betriebsenergie aus. Eine Verbesserung des Oberflächen-Volumen Verhältnisses durch den Ausbau des Estrichs, die Veränderung der Dachform und den Ausbau des

Kellers – bei gleich bleibendem Dämmstandard – führen beim bestehenden Gebäude zu grossen Einsparungen bei der Betriebsenergie. Beim nach SIA380/1-Neubau sanierten Neubau und beim Ersatzneubau sind die Einsparungen kleinen bis negativ.

- Orientierung



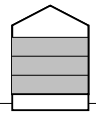


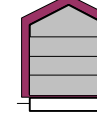
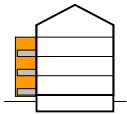
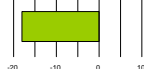

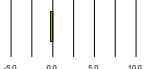

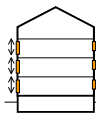




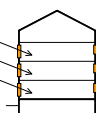


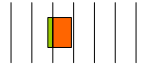

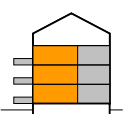




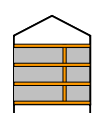

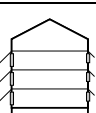
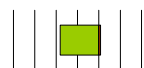
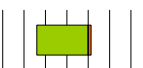


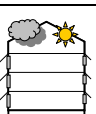
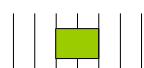



Erste Simulationen von unterschiedlichen Orientierungen des Gebäudes für den 'Ersatzneubau' bestätigen die von Hönger et al.³⁸ sowie Kaiser et al.³⁹ dargelegten geringen Abweichungen. Die Ausrichtung von hoch gedämmten Gebäuden und der Verteilung der Fenster werden damit zu Fragen des Städtebaus, des Komforts und des Potentials für die Nutzung von aktiv-solaren Strategien.

³⁸ [Hönger et al., 2009]

³⁹ [Kaiser et al., 1998]

b) Bauteil Strategien

Tab. 4 zeigt das Potential einer Pufferzone im Balkonbereich, grösseren Fenstern, verschiedenen g-Werten des Glases, zwei Temperaturzonen innerhalb der Wohnungen, einer höheren thermischen Masse, Veränderungen der Art und der Steuerung des Sonnenschutzes.

Bauteil Strategien		Spektrum für Einsparungen  und Mehrverbrauch  an Betriebsenergie (kWh / m ² EBF und Jahr)			
		BERECHNUNGSVARIANTEN			
		Bestand	Sanierung nach SIA 380/1 Sanierung	Sanierung nach SIA 380/1 Neubau	Ersatzneubau Minergie-P bei Volumenerhalt
					
- Pufferzone Balkon					
- Fenstergrösse					
- g-Wert Glas					
- Temperatur Zonen					
- Thermische Masse		N/A	N/A	N/A	
- Art des Sonnenschutzes					
- Steuerung Sonnenschutz					

Tab. 4: Potential für Betriebsenergie Einsparung durch verschiedene Bauteil Strategien

- Pufferzonen

Werden die Balkonbrüstungen gedämmt und der Balkon von Mitte Oktober bis Mitte Mai mit einer Einfachverglasung geschlossen, können beim 'Bestand' jährliche Heizenergie Einsparungen von rund

18 kWh/m² EBF erzielt werden. Diese Massnahme ist gleichbedeutend mit einer Verbesserung des Energiestandards von der 'konventionellen Sanierung' zur 'solar-optimierten Sanierung'. Bei der 'solar-optimierten Sanierung' wie auch beim 'Ersatzneubau' werden Pufferzonen mit Einsparungen von ca. 0.5 bis 1.5 kWh/m²a beinahe bedeutungslos.

- Fensteranteil und U-Wert

Werden die Fenster bei gleichbleibendem U-Wert vergrössert, ergeben sich unter den getroffenen Annahmen für alle Gebäudestandards energetische Verluste. Diese liegen beim 'Bestand' bei bis zu 5 kWh/m²a, bei der 'solar-optimierten Sanierung' und beim 'Ersatzneubau' bei rund 2.5 bis zu 3 kWh/m²a. Während sich beim 'Bestand' der Heizbedarf erhöht, fallen bei den Sanierungsstandards bis zu 50 % der zusätzlich aufzuwendenden Energie auf die Kühlenergie. Dies liegt einerseits am tiefer angenommenen U-Wert des Fensters, verglichen mit der opaken Gebäudehülle, und andererseits an den unerwünschten solaren Einträgen bei gut gedämmten Gebäuden in den Sommermonaten. Kaiser et al.⁴⁰ zeigen, dass das Optimum der Energiebilanzkurve für Südverglasungen und einem U-Wert des Fensters von 1.3 W/m²K bei einem Verglasungsanteil von rund 30% der Nettowohnfläche liegt. Bei besseren Fenstern verschiebt sich das Optimum hin zu grösseren Verglasungsanteilen.⁴¹ Im Gegensatz zum eher geringen Einfluss der Fenstergrösse wird beim Fensterersatz im 'Bestand' bereits mit einem U-Werten von 1.3 bis 1 W/m²K jährlich rund 17 bis 20 kWh/m²EBF eingespart.

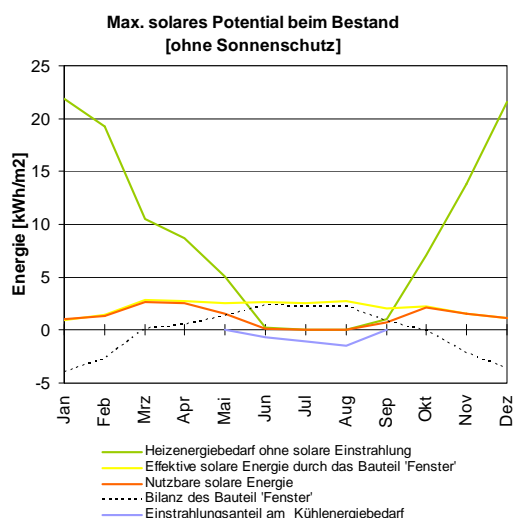


Abb. 16: Vergleich des solaren Potentials eines unverschatteten Fensters beim Bestand

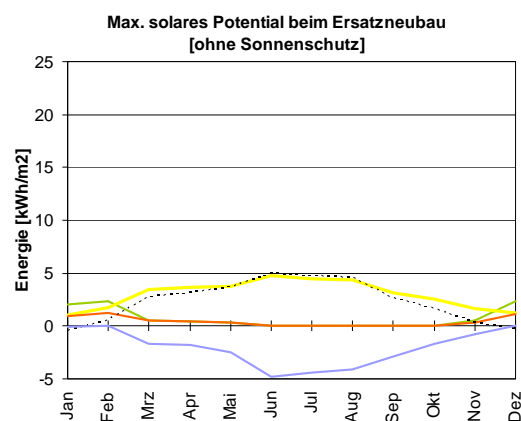


Abb. 17: Vergleich des solaren Potentials eines unverschatteten Fensters beim Minergie-P Neubau

Abb. 16 und 17 zeigen vergleichend das solare Potential eines unverschatteten Fensters beim Bestand und bei einem Minergie-P Gebäude. Der Energieverlust des Fensters beim Minergie-P Gebäude ist markant kleiner als beim Bestehenden Gebäude und die Bilanz des Fensters ist markant besser. Die höheren effektiven solaren Gewinne durch das Fenster übersteigen die nutzbare solare Energie im Gebäude aber bei weitem. Dies hat zur Folge, dass die realisierbaren solaren Einträge lediglich im Januar und Februar immer genutzt werden können. In den Monaten März, April, Mai und November ist die Nutzbarkeit von der Witterung abhängig. Von Juni bis Oktober sind solare Gewinne aufgrund der Überhitzungsgefahr unerwünscht.

⁴⁰ [Kaiser et al., 1998]

⁴¹ [Kaiser et al., 1988]

Das bestehende Gebäude kann aufgrund des höheren Heizenergiebedarfs und der geringeren Überhitzungsgefahr (Juni bis August) die solaren Einträge besser und länger (September bis Mai) nutzen. Die nutzbare solare Energie entspricht der Fläche zwischen der orangen Kurve und der x-Achse (Abb. 16 und 17).

- Verschattung der Fenster

Die Verschattungsart und die Steuerung der Beschattung haben grossen Einfluss auf energetische Gewinne und Verluste. Bei einer angenommenen Beschattung der Fenster bei 50 W/m^2 auf der Innenseite des Fensters können beim bestehenden Gebäude die maximal möglichen solaren Gewinne nicht realisiert werden. Würde die Beschattung weggelassen oder in Abhängigkeit der Raumtemperatur gesteuert, könnten jährlich zusätzliche solare Gewinne von bis zu $10 \text{ kWh/m}^2 \text{ EBF}$ gewonnen werden. Dieser Wert liegt bei einem leichten, dunklen Vorhang auf der Innenseite des Fensters mit ca. $8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ wie auch bei inneren Jalousien und aussen liegenden Markisen mit ca. $6 - 7 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ etwas tiefer, während äussere Jalousien leichte Verluste verzeichnen.

Diese ersten Resultate zeigen, dass eine Gewinnmaximierung auf Kosten der Verschattung Komfortverluste in Bezug auf Blendung, Verlust von Tageslicht und Überhitzung des Innenraums zur Folge haben können. Die Kombination von innerem Blendschutz (Vorhang für Wintermonate) und äusseren Beschattung für die Sommermonate kann diesem Konflikt entgegenwirken.

- Weitere Strategien

Weitere passiv-solare Strategien, wie die Verschattung durch Vordächer oder Balkone, die Zonierung des Innenraums oder die Steuerung der Beleuchtung zeigen bei allen Standards geringe Energieeinsparungen. Sie bewegen sich in einem Bereich bis zu $2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

Der Einfluss der thermischen Speichermasse wurde noch nicht abschliessend untersucht. Beim Ersatzneubau zeichnen sich bei grösserer thermischer Masse positive passiv-solare Effekte ab. Ebenso wurden die Effekte von Materialien mit dynamischem Verhalten, wie z.B. transparente Wärmedämmungen oder Phasenwechselmaterialien (PCM) aufgrund des grossen Simulations-aufwands nicht durchgeführt.

c) Aktiv-solare Strategien

Berechnungen von aktiv-solaren Strategien können mit dem IDA Klima und Energie noch nicht durchgeführt werden. Mit dem Programm berechnete solare Einstrahlung auf die Gebäudehülle ermöglicht aber, die zu erwartenden aktiv-solaren Gewinne unter Einbezug der Verschattungen, wie sie durch die Umgebung und benachbarte Gebäudeteile auftreten, anhand eines angenommenen Gesamtwirkungsgrad abzuschätzen. In diesem Projekt wird zur Abschätzung des Ertrags einer PV-Anlage einen eher pessimistischer Gesamtwirkungsgrad des Systems von 11% verwendet.

- Solare Strahlung auf Dachflächen

Die monatliche Globalstrahlung auf die 23.7° geneigten Dachflächen des Satteldachs schwanken über das Jahr von rund $21 / 23 \text{ kWh/m}^2$ im Winter bis zu knapp $140 / 160 \text{ kWh/m}^2$ im Sommer, wobei die O-NO orientierte Dachfläche im Sommer höhere und im Winter leicht geringere Einträge aufweist. Über das ganze Jahr beträgt die Globalstrahlung je Dachfläche rund 970 (W-SW) bis $990 \text{ kWh/m}^2 \text{ (O-NO)}$. Auf dem rund 240 m^2 grossen Dach könnten mit einer durchschnittlichen PV Anlage (Wirkungsgrad ca. 11%) jährlich knapp $13'000 \text{ kWh}$ Solarstrom oder rund $54 \text{ kWh/m}^2 \text{ EBF}$ gewonnen werden. Auf einer optimal ausgelegten Dachneigung von ca. 30° und einer Orientierung nach S-SO könnte ein Mehrertrag von rund 22% realisiert werden. Durch die Limitierung auf eine Dachfläche könnte aber lediglich ein Ertrag von rund $33 \text{ kWh/m}^2 \text{ EBF}$ gewonnen werden.

Aktiv-solare Strategien	Einstrahlungspotential Strahlungs-Mittelwerte (kWh / m ² und Jahr)			
	AUSRICHTUNG			
- Potential Dach	Bestand, Neigung 23.7° 	Neigung 40° 	Neigung 10° 	Neigung 0°
- Potential Fassaden	Hauptfassade SWW 	Giebelfassade SSO 	Eingangsfassade NOO 	Max / Min Einstrahlung (opt. / schl. Orientierung)
- Potential Bauteile	N/A	N/A	N/A	N/A

Tab. 4: Potential für von Betriebsenergie Einsparung bei verschiedenen Ausrichtungen

- Solare Strahlung auf Fassadenflächen

Die jährliche Globalstrahlung auf die Hauptfassade (W-SW) beträgt rund 470 kWh/m², während die Giebelfassade (S-SO) und die Treppenhausfassade (O-NO) je rund 890 kWh/m² erreichen. An den Fassaden sind somit lediglich gut 30%, respektive gut 60% der maximalen Erträge erzielbar. Aufgrund von Einbussen an der Treppenhausfassade infolge Verschattung (effektive Erträge lediglich ca. 520 kWh/m²) bietet sich die Giebelfassade mit relativ grossen Erträgen, kleinen Öffnungen und einer geringen Beschattung für eine Integration von aktiv-solaren Strategien an (Tab. 4). Auf einer Fläche von ca. 90 m² könnten jährlich Solarstrom in der Höhe von knapp 8'000 kWh oder ca. 17 kWh/m² EBF gewonnen werden.

Diese aktiv-solaren Erträge sind markant höher als die messbaren passiv-solaren Gewinne. Der ungewichtete Ertrag auf den beiden Dachflächen und auf der Giebelfassade entspricht fast der ungewichteten Einsparung an Heizenergie, die durch eine Sanierung des Bestands nach SIA 380/1 Sanierung erzielt werden kann (vgl. Tab. 5). Anders betrachtet deckt die auf den beiden Dachflächen aktiv gewonnene Energie beim bestehenden Gebäude die für die Beleuchtung des Gebäudes notwendigen Energie von ca. 33 kWh/m² EBF, sowie gut 50% des Stroms, der für den Betrieb einer Erdsonden Wärmepumpe⁴² zur Beheizung des bestehenden Gebäudes notwendig wäre. Nimmt man die Giebelfläche dazu, entspricht die aktiv gewonnene Energie beim bestehenden Gebäude fast dem elektrischen Bedarf für Wärmepumpe, Licht und Warmwasser.

Solare Gewinne und Potential für Ausnützung

Beim Einsatz aktiv-solaren Strategien stellt sich die Frage nach dem System - Solarthermie oder Photovoltaik. Während rein physikalisch betrachtet hochwertige Energie wie Strom nicht zur Deckung von Wärme eingesetzt werden sollte, ist die Nutzungsmöglichkeit der Erträge ein wichtiges Kriterium für die Wahl des Systems.

Beim am Mehrfamilienhaus der Siedlung Elfenau stehen rund 90 m² Fassadenfläche nach S-SO und je rund 120 m² Dachfläche mit 27.3° Neigung nach W-SW und O-NO zur Verfügung. Diese Flächen haben einen jährlichen Globalstrahlungseintrag von rund 890 kWh/m² (Giebelfassade S-SO), 970 (Dachfläche W-SW) und 990 kWh/m² (Dachfläche O-NO)⁴³.

⁴² Erdsonden Wärmepumpe mit JAZ 3

⁴³ Berechnung der Globalstrahlung auf die einzelnen Flächen mit IDA-ICE 4

Abb. 18 zeigt die Möglichkeiten einer Solarthermie Anlage am Mehrfamilienhaus der Siedlung Elfenau. Geprüft wird eine Anlage auf der S-SO orientierten Giebelfassade (hellblaue Linie), sowie je eine Anlage auf den W-SW und O-NO orientierten Dachflächen (hellgrüne Linien). Ausgehend von einem Wirkungsgrad von 50%, können auf der Giebelfassade von März bis Oktober monatlich rund 4 MWh Warmwasser erzeugt werden. Die Anlagen auf den Dächern erreichen Ihre Spitzen im Juni mit knapp 8 MWh auf dem W-SW Dach und knapp 9 MWh auf dem Nordost Dach. Dem gegenüber steht der Wärmebedarf des Gebäudes für Heizung und Warmwasser. Dieser erreicht im Januar mit gut 11 MWh den höchsten Wert. Von Juni bis September muss im Wesentlichen der Warmwasserbedarf von monatlich rund 1.5 MWh gedeckt werden. Damit ergeben sich für die Dachanlagen von Ende März bis Anfang Oktober grosse Überschüsse an Warmwasser. Den Rest des Jahres muss zusätzlich Energie aufgebracht werden, um den Wärmebedarf zu decken. Die Anlage an der Giebelwand erzielt durch die relativ konstanten Erträge im Sommer kleinere Überschüsse. Wird die Fläche vergrössert, kann der Deckungsgrad in den Wintermonaten zwar erhöht werden, die Überproduktionen steigen aber ebenfalls an. Können die Überschüsse im Sommer nicht anderweitig verwendet werden (z.B. solare Kühlung oder Heizung eines Pools), müssen die Kosten für die Anlage und den Aufwand für die Unterstützung in den Wintermonaten optimiert werden.

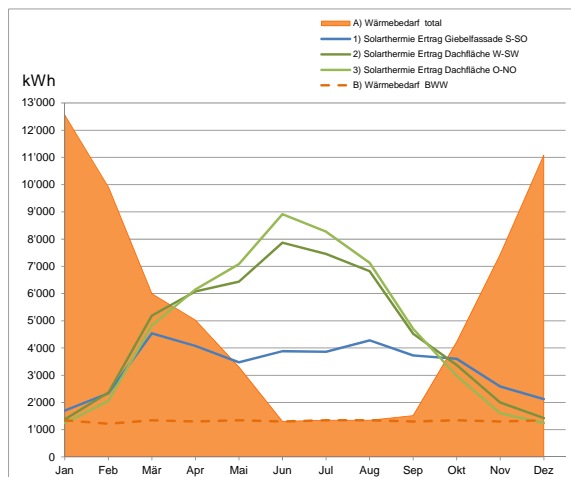


Abb. 18: Deckungsgrad einer thermischen Anlage (WG 50%) auf dem Dach / in der Fassade

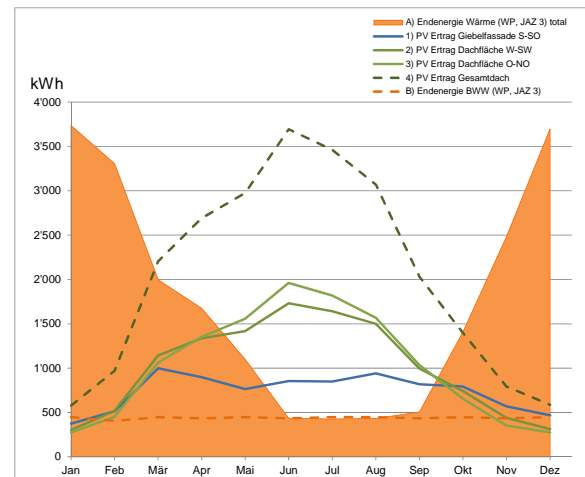


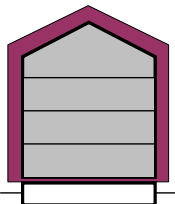
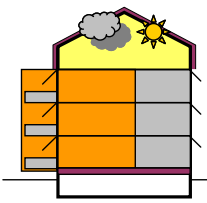
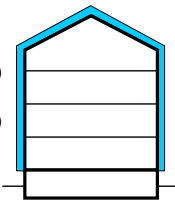
Abb. 19: Deckungsgrad einer PV-Anlage (WG 11%) auf dem Dach / in der Fassade

Abb. 19 zeigt vergleichend die Möglichkeiten einer PV-Anlage. Geprüft wird wiederum eine Anlage auf der Giebelfassade (hellblaue Linie), sowie je eine Anlage auf den beiden Dachhälften (hellgrüne Linien) und eine Ganzdachanlage (gestrichelte, hellgrüne Linie). Ausgehend von einem Wirkungsgrad von 11%, können auf der S-SO orientierten Giebelfassade von März bis Oktober monatlich rund 4 MWh Strom erzeugt werden. Die Anlagen auf den Dächern erreichen Ihre Spitzen im Juni mit rund 1.7 MWh auf dem W-SW orientierten Dach und knapp 2 MWh auf dem O-NO orientierten Dach. Auf dem ganzen Dach können im Juni Erträge von knapp 3.7 MWh erreicht werden. Der Wärmebedarf des Gebäudes für Heizung und Warmwasser wird mit einer Wärmepumpe mit Jahresarbeitszahl (JAZ) 3 gedeckt. Im Januar werden gut 3.7 MWh Strom zur Erzeugung des Wärmebedarfs benötigt. Von Juni bis September reichen monatlich knapp 0.5 MWh um den Warmwasserbedarf zu decken. Auch hier ergeben sich für die Dachanlagen von Ende März bis Anfang Oktober grosse Überschüsse an Strom. Den Rest des Jahres muss Strom eingekauft werden, um den Wärmebedarf zu decken. Im Unterschied zur Solarthermie Anlage kann diese Anlage so ausgelegt werden, dass sie über ein ganzes Jahr gerechnet, den

Wärmebedarf des Gebäudes decken kann⁴⁴. Neben der Investition für die PV-Anlage und die Wärmepumpe ergeben sich für die Deckung des Wärmebedarfs keine weiteren Kosten. Wird die Fläche vergrössert, kann das Gebäude sogar Überschüsse an Strom generieren, die anderweitig verwendet werden können⁴⁵.

Massnahmenpakete

Tab. 5 zeigt einen Vergleich der Wirksamkeit⁴⁶ der Minimierung von Verlusten (Dämmstrategie), Kombination von passiv-solaren Strategien und möglichen aktiv-solaren Gewinnen. Der Vergleich der Energie Einsparungen 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 Aussenhülle und somit auf die Wirkung des Gebäudes. Gleichzeitig durch den Neubau eine grosse Menge an CO₂ verbaut.

	Energie Einsparungen und Gewinne / Energiebezugsfläche (kWh/m ² a, ungewichtet)	
Minimierung von Verlusten 1 Bestand 2 SIA 380/1 San 3 SIA 380/1 NB 4 Minergie-P 	Heizung	BWW Licht
Kombination von Strategien 1 Bestand 2 Pufferzone, Klimazone Kontrolle der Beschattung 3 + Ausbau Dach (nach SIA 380/1 San) 4 + Dämmung Kellerdecke 	Heizung	BWW Licht
Aktiv-solare Gewinne (PV, WG 11%) 1 Dach (SW, NO) 2 Fassade (SW, SO, NO) 3 Dach (beide Dachflächen) + Giebelfassade 4 Dach (beide Dachflächen) + Fassade (3 Fassaden) 	Aktiv-solare Gewinne	

Tab. 5: Potential für die Energie Einsparungen und Gewinne durch verschiedene Strategien

⁴⁴ Voraussetzung ist, dass der Strom ins Netz eingespielen werden kann. Idealerweise sind Einspeisung und Rückkauf des Stroms kostenneutral.

⁴⁵ Ein Vergleich der Kosten wurde innerhalb dieser Arbeit nicht gemacht.

⁴⁶ Die Energie Einsparungen und Gewinne sind nicht gewichtet und der Bedarf an Energie für Brauchwarmwasser und Licht wurde für diese Untersuchung konstant gehalten.

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 CO₂ 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 genutzt⁴⁷, liegen die Gewinne nur knapp unter dem Betriebsenergiebedarf.

2.2.4. Zusammenfassung

- Solare Strategien

Entgegen den Erwartungen erzielen die untersuchten passiv-solaren Strategien im Vergleich zu den aktiv-solaren und konstruktiven Strategien 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/m² 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 Giebel-fassade (rund 17 kWh/m² EBF) bedarf einer intensiven Prüfung, da diese Fläche den Gebäude-charakter 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 (Tab. 5). „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“⁴⁸.

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 Heizenergie-bedarf 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.

- Simulation

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die Simulation der einzelnen Strategien mit dem IDA Klima und Energie sehr zeitaufwändig ist und eher für späte Entwurfsstadien und Spezialisten mit konkreten Fragestellungen geeignet ist. Im Rahmen dieser Untersuchung können die erzielten Resultate aber wichtige Hinweise für die Effizienz von solaren Strategien wie auch für geeignete Simulationstools

⁴⁷ Unter Einbezug der Dämmung der Giebelfassade wird der Heizenergiebedarf des Gebäudes mit kombinierten passiv-solaren Strategien auf rund 30-35kWh geschätzt, womit der Betriebsenergiebedarf auf rund 80-85 kWh sinkt.

⁴⁸ [Lüling, 2009]

für den Einsatz im frühen Entwurfsstadium geben. Eine Auswahl an verfügbaren Simulationstools, wie auch eine erste Auswertungen der Eignung für das frühe Entwurfsstadium werden im Autorenbeitrag “Bewertung von Energie-Simulationstools für das frühe Entwurfs-stadium“ vorgestellt.

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 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.“⁴⁹ 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 Sprachverständlichkeit; Ein Grundverständnis der Sprache ist notwendig, um einen Wortschatz aufbauen und sich aktiv verständigen zu können.

⁴⁹ [Plagaro et al., 2008, 14]

2.3. Wohn- und Bürogebäude Mühlebach, Zürich

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

2.3.1. Klima in Zürich

Zürich gehört zur Klimaregion 3, *nördliches Mittelland*⁵⁰. Die im folgenden Abschnitt beschriebenen Klimadaten⁵¹ beziehen sich auf die Klimastation Zürich-SMA, die auf dem Hänggerberg gelegen ist. Abb. 20 bis 22 zeigen die mittlere tägliche Globalstrahlung, die Heizgradtage und die Heiztage, sowie den Verlauf der Aussentemperatur von Zürich während der Sommermonate.

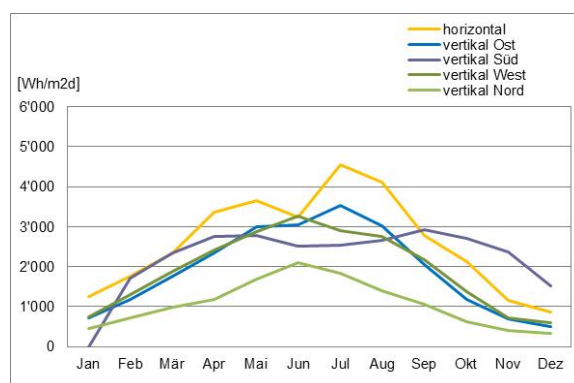


Abb. 20: Mittlere tägliche Globalstrahlung

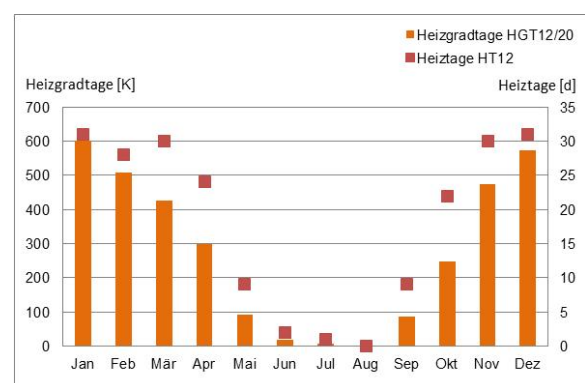


Abb. 21: Heizgradtage HGT 12/20 und Heiztage HT12

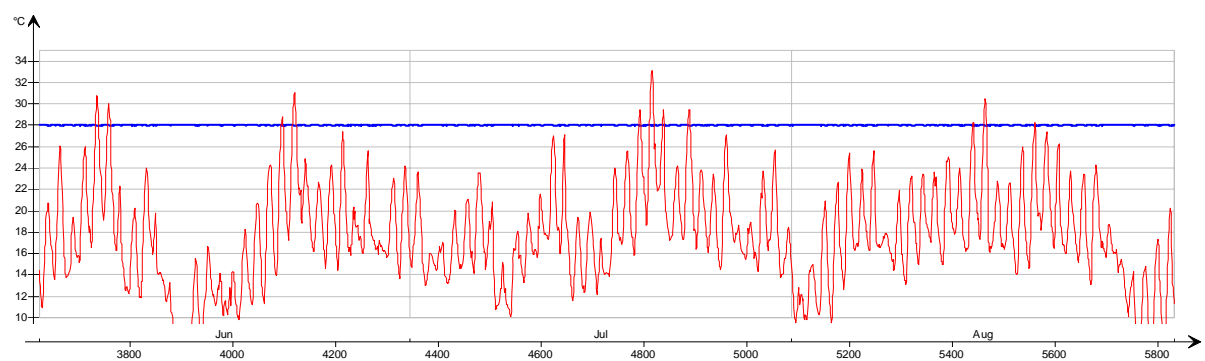


Abb. 22: Verlauf der Aussentemperatur der Klimastation Zürich SMA während den Sommermonaten

Zürich SMA hat im Jahr durchschnittlich 217 Heiztage (HT_{12}) und 3'332 Heizgradtage ($HGT_{12/20}$). Im Januar fällt mit 31 Heiztagen und 602 Heizgradtagen, sowie 14 Tagen unter 0°C der grösste Heizwärmebedarf an. Lediglich der August verzeichnet weder Heiztage noch Heizgradtage. Im Gegensatz zu Luzern (16 Hitzetage) weist die Klimastation Zürich SMA lediglich 9 Tage mit Maximaltemperatur über 28°C auf. Die längste Periode ist hier im Juli mit 3 solchen Hitzetagen in Folge (Luzern 5 Hitzetage im August in Folge). Der Unterschied der beiden Stationen kommt in erster

⁵⁰ [Schüepp und Gensler, 1980]

⁵¹ Berechnungen der Software Meteonorm Version 6.0 basierend auf den Daten der Klimastation Zürich-SMA.

Linie durch das Mikroklima der Klimastationen zu Stande. Die Klimastation in Zürich liegt leicht erhöht über der Stadt, jene in Luzern am Rand des Stadtkerns.

Die durchschnittliche tägliche horizontale Globalstrahlung pendelt zwischen rund 720 W/m² im Januar und rund 5'300 W/m² im Juli. Auffallend ist, dass die Globalstrahlung auf eine vertikale, südorientierten Fläche von September bis März gleichgross oder grösser ist als diejenige auf eine horizontale Fläche. Im Juli erreicht sie mit knapp 2'530 W/m² aber nur knapp die Hälfte des Spitzenwertes von rund 5'300 W/m². Die durchschnittliche jährliche Globalstrahlung auf eine vertikale Südfläche erreicht mit knapp 2'350 W/m² rund 78% derjenigen auf eine horizontale Fläche. Mit einem Sommer – Winter Unterschied von Faktor 2 auf die nach Süden orientierte, vertikale Fläche sind die Erträge im Vergleich zur horizontalen Fläche mit einem Faktor 7.17 über das Jahr relativ ausgeglichen.

Der Wind kommt mit einer Wahrscheinlichkeit von 22% am Häufigsten aus Osten. Mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 3 km/h sind diese Winde aber sehr schwach. Winde aus Süden und Südwesten sind mit durchschnittlich 21.1 und 13.3 km/h sind am Stärksten. Winde aus diesen Richtungen kommen mit einer Wahrscheinlichkeit von 20% vor.

2.3.2. Wohn- und Bürogebäude Mühlebach, Zürich



Abb. 23: Situationsplan (Quelle: www.stadtplan.stadt-zuerich.ch, 2011)

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 Hänggerberg. 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 sechsgeschossige Minergie-P Eco Gebäude ersetzt (Abb. 23). Die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen, einer hoch gedämmten Gebäudehüllen, sowie gute Tageslichtnutzung, transparente Südfassaden, etc., wie auch Solarthermie, Photovoltaik und Erdwärme sind Teil des Konzepts⁵².

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 Treppenkern, Holz-Beton-Verbund Geschossdecken, hoch gedämmten Fassadenelementen in Holzrahmenbauweise und Holzständer Innenwände. Die vertikale Erschliessung erfolgt über eine zentral liegende Treppenhauanlage 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 kann das Layout der bis zu 280m² 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. 60m²- ca. 120m² grossen Wohnungen sind mit grosszügigem Wohn-, Ess- und Kochbereich geplant. 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. 24: Volumenmodell / Hofgebäude Südseite / Projektgrundriss / Hauptgebäude Nordseite
(Quelle: Kämpfen für Architektur, 2011)

⁵² Vgl. dazu [Kämpfen, 2009]

2.3.3. Untersuchung der solaren Neubaustrategien

Die Überbauung an der Mühlebachstrasse 8 und der Hufgasse 11 (Abb. 25 und 26, sowie Anhang, Abb. A7 bis A19) 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. Die Bewertungen der Strategien wurden mit IDA ICE 4 vorgenommen.

Eine detaillierte Liste der für die Planungsbewertung simulierten Aspekte sind im Anhang, Tab. A2 angefügt. Die wichtigsten Resultate sind in den folgenden Abschnitten zusammengefasst.

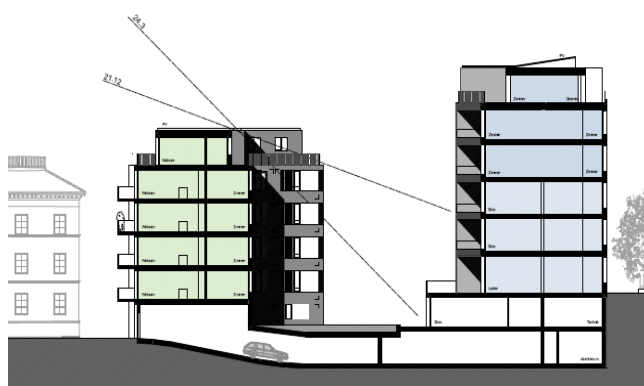


Abb. 25: Schnittstudie Sonnenstand
(Quelle: Kämpfen für Architektur, 2011)

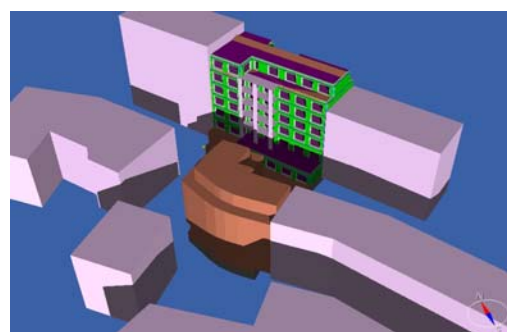
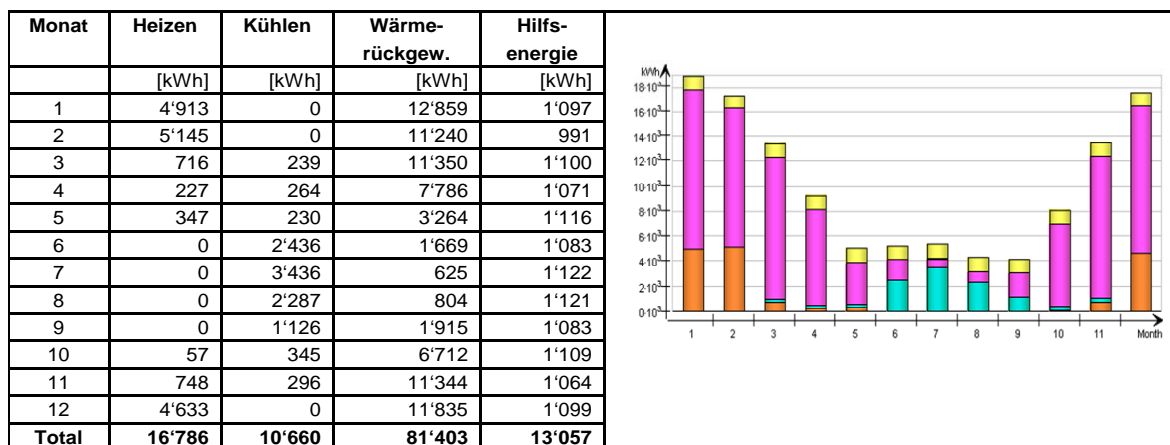


Abb. 26: Simulationsmodell

Bedarf für Heizen und Kühlen

Diese Berechnung bewertet die Basisvariante des Projekts gemäss vorliegendem Planstand. Die Bürogeschosse wurden auf 26 °C und die Zuluft über ein effizientes Erdregister gekühlt. Tab. 6 zeigt den entsprechenden Bedarf für Heizen und Kühlen (inkl. Hilfsenergie). In beiden Darstellungen sind Heiz- und Kühlenergie in etwa gleich bewertet. Heiz- wie Kühlperiode dauert ca. 4 Monate (Mitte November bis Mitte März bzw. Juni bis September). Die Übergangsperiode dauert im Frühling zweieinhalb und im Herbst anderthalb Monate.



Tab. 6: Bedarf für Heizen und Kühlen

2.3.4. Projektbewertung (Entscheide in der Entwurfsphase)

Mittels Simulation kann ein Entwurf nicht nur bewertet, sondern auch energetisch optimiert werden. Dabei ist die Quantifizierung der Wirkung von Projektänderungsmassnahmen (in unserem Fall solaren Strategien) wichtig. Nachfolgend werden exemplarisch die Resultate von drei solchen Untersuchungen gezeigt. Dabei werden die verschiedenen Energieformen (Wärme, Kälte, Strom) nicht gewichtet, da solche Gewichtungsfaktoren für das Projekt nicht näher definiert wurden. Bei der Anwendung von Wärmepumpen und Kältemaschinen können alle Energieformen auf die Endenergie Strom umgerechnet werden. Im Normalfall wird so der Strom am stärksten und die Wärme am schwächsten (2-5x weniger) gewichtet. Die Resultate für den Energiebedarf „Total“ sind deshalb unter Berücksichtigung dieses Umstandes zu interpretieren.

Fenstergrösse

Durch die effiziente Beschattung fällt der grössere Fensteranteil beim Kühlbedarf wenig ins Gewicht (Abb. 27). Beim Heizbedarf gewichten die Transmissionsverluste der Fenster stärker als die Wärmegewinne, welche wegen der guten Gebäudehülle kaum genutzt werden können. Der Fensteranteil hat damit für beide Hauptfassaden auf den Strombedarf des Kunstlichtes den grössten Einfluss.

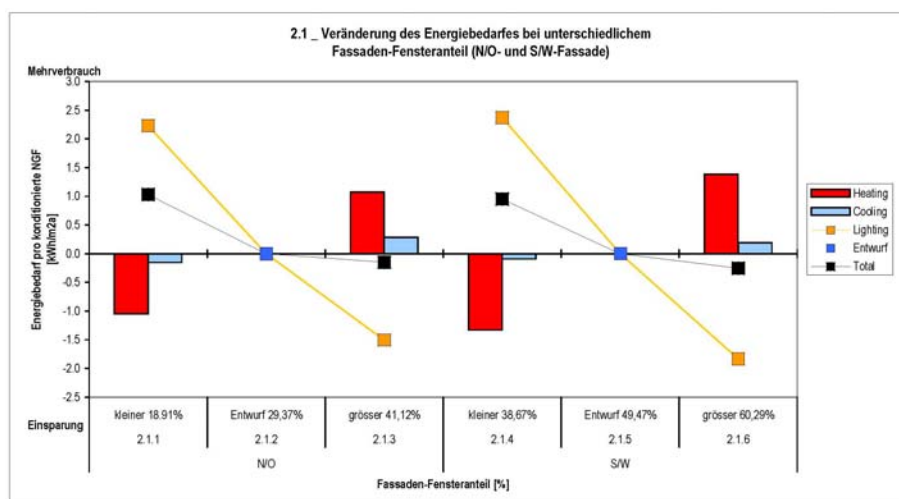


Abb. 27: Veränderung des Energiebedarfes bei unterschiedlichem Fassaden-Fensteranteil

Beschattungssysteme

Diese Resultate zeigen deutlich die Wichtigkeit des effizienten Sonnenschutzes für die Kühlsituation (Abb. 28). Insbesondere innenseitige Sonnenschütze sind zu vermeiden. Nimmt eine Verschattung dem Innenraum zu viel Licht weg, so kann der Mehrbedarf beim Kunstlicht die Einsparung beim Kühlen auch übersteigen. Aussen angebrachte Lamellenstoren – im optimalen Einstellwinkel eingestellt - sind grundsätzlich die effizientesten Sonnenschutzvorrichtungen (meist genügend Tageslichtdurchlass bei gleichzeitig starker Reduktion des Wärmedurchlasses)

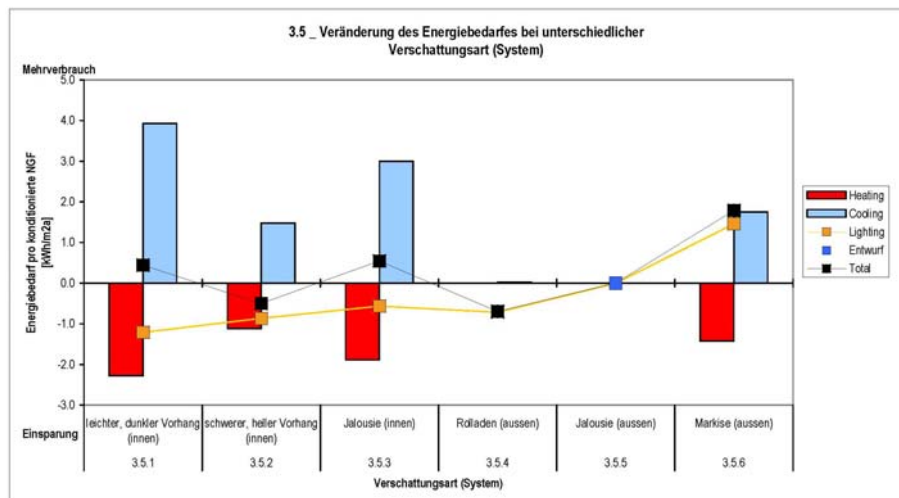


Abb. 28: Veränderung des Energiebedarfes bei unterschiedlicher Verschattungsart

Anzahl Innenwände (Raumaufteilung)

Da es sich bei diesem Projekt um einen relativ leichten Bau handelt, haben die Anzahl Innenwände durch Ihre Wärmepuffer-Wirkung einen merklichen Einfluss auf die Heiz- und Kühlenergie (Abb. 29). Auch hier ist aber die Auswirkung auf das Tageslicht-Angebot und damit auf den Strombedarf für das Kunstlicht mindestens gleichbedeutend. Da die Position der Innenwände im Modell nicht näher spezifiziert wurde, sind die Resultate nur als grobe Schätzung zu verstehen. Der Einfluss auf das Tageslicht kann erst dann mit genügender Genauigkeit bestimmt werden, wenn die Innenwände und die Möblierung mit ihrer effektiven Position im Raum modelliert sind.

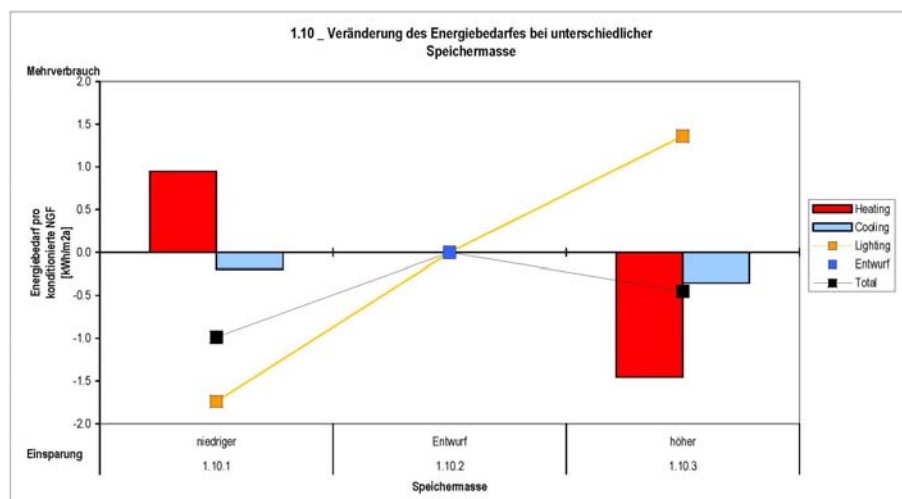


Abb. 29: Veränderung des Energiebedarfes bei unterschiedlicher thermischer Masse (Anzahl Innenwänden)

2.3.5. Optionsanalyse (Ausführungsplanung)

Während der Ausführungsplanung wurden aktuelle Fragen aus der Planungsgruppe aufgegriffen und mit etwas detaillierteren Simulationen untersucht. Im Unterschied zum Simulationsmodell für die Entwurfsphase wurden nur noch 2 Geschosse (ein Büro- und ein Wohngeschoss) abgebildet, diese dafür mit der vorgesehen Raumaufteilung zoniert. Ein solcher Detaillierungsgrad ist nötig, um projektspezifische Optionsanalysen machen zu können. In solchen Analysen geht es grundsätzlich darum, die Vor- und Nachteile verschiedener Ausführungsvarianten hinsichtlich Energieverbrauch und Komfort zu vergleichen. Die Resultate beeinflussen zusammen mit den Auswirkungen auf die Kosten die Entscheidungen. In unserem Beispiel galt das Augenmerk dem Überhitzungsrisiko im Sommer. Berechnet wurde dementsprechend die heisseste Periode des verwendeten Referenzjahres (19. bis 31. Juli) mit folgendem Verlauf der Aussentemperatur und der solaren Direktstrahlung (Abb. 30):

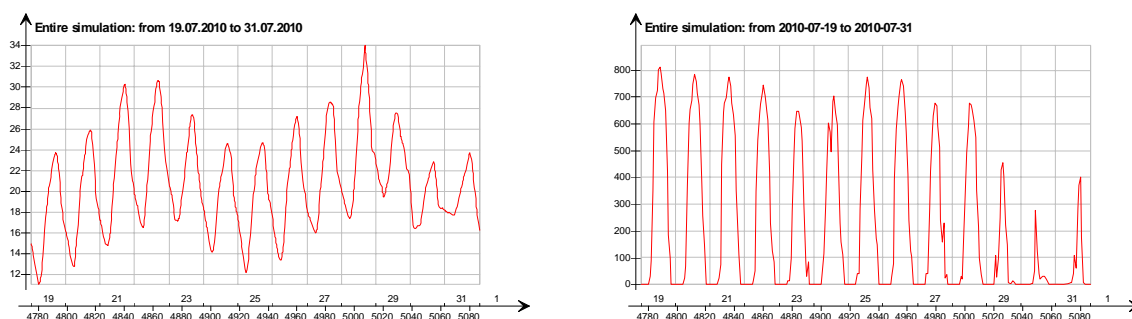


Abb. 30: Verlauf von Aussentemperatur und solarer Direktstrahlung während der ausgewählten Simulationsperiode.

Im Jahr 2010 fielen in dieser Periode der 24./25. Juli und der 31. Juli/1. August auf ein Wochenende. Die Raumtemperaturen sind an diesen Tagen deshalb am höchsten, weil die passiven Kühlmassnahmen über die stark reduzierte Lüftung nicht mehr wirken.

Bodenbelag (Teppich – Parkett – Naturstein)

Der Bodenbelag hat einen geringfügigen Einfluss auf die Innentemperatur im Sommer: Mit Teppich ca. 0.5 °C höheres Tagesmaximum als mit Naturstein (Abb. 31).

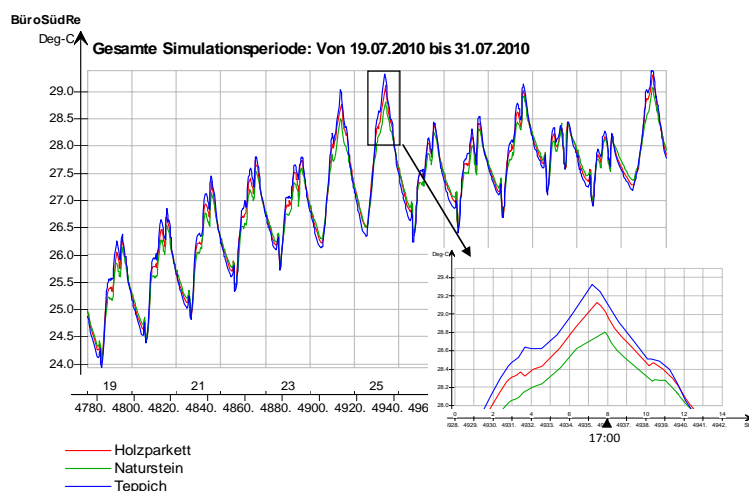


Abb. 31: Veränderung der Raumtemperatur bei unterschiedlichem Bodenbelag

Deckenaufbau (Holzbalkendecke – Holz/Beton Verbunddecke – reine Betondecke)

Weitaus stärker beeinflusst der Deckenaufbau 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. 32).

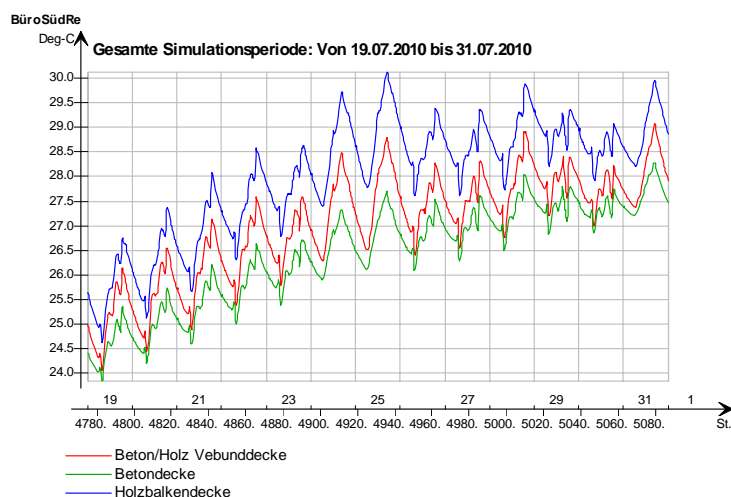


Abb. 32: Veränderung der Raumtemperatur bei unterschiedlichem Deckenaufbau

Passive Kühlmassnahmen (Erdregister – Abluftbefeuchtung – Nachauskühlung)

Richtig geplante und dimensionierte und vor allem aufeinander angepasste passive Kühlmassnahmen werden für die Behaglichkeit im Sommer am wichtigsten sein: Eine Abluftbefeuchtung bringt bei einer effizienten Zuluftkühlung durch das Erdreich keinen Zusatznutzen, da die Abluft nicht unter das Niveau der vorgekühlten Zuluft gebracht werden kann. In jedem Fall eine entscheidende Verbesserung bringt eine effiziente Nachauskühlung (Abb. 33).

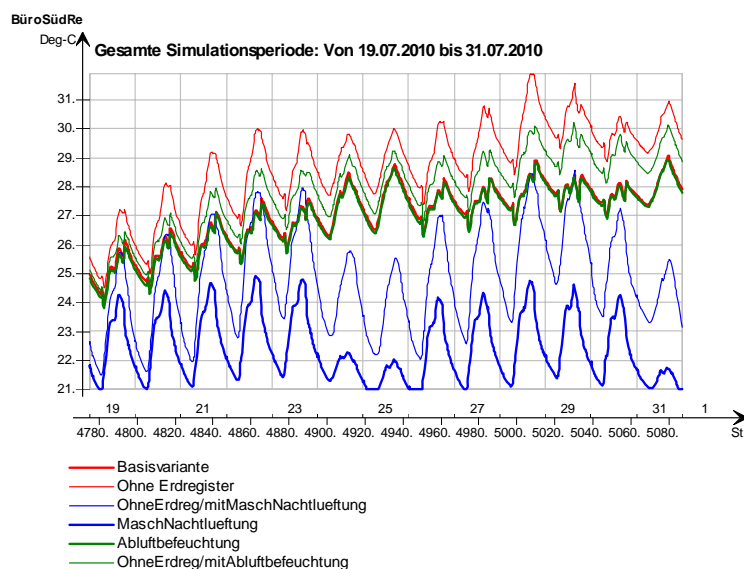


Abb. 33: Veränderung der Raumtemperatur bei unterschiedlichen passiven Kühlmassnahmen und deren Kombination

Benutzerverhalten (nicht aktivierter Sonnenschutz – zu viel Fensterlüftung)

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. 34).

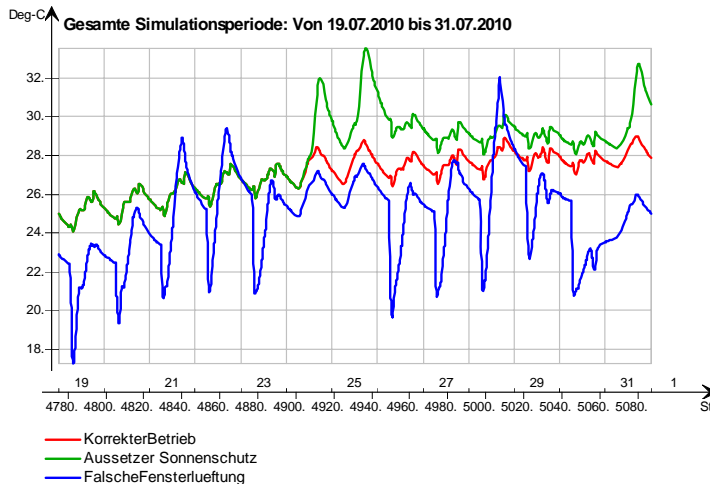


Abb. 34: Veränderung der Raumtemperatur bei Betriebsfehlern bzw. falschem Nutzerverhalten

2.3.6. Zusammenfassung

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. Eine vorgängige Projekt-Bewertung mit demselben Tool wird in diesem Fall zur kostenfreien „Nebenerscheinung“. Die Simulationsmodelle und auch die Simulationsergebnisse werden im fortschreitenden Planungsprozess immer detaillierter.

Für das Projekt zeigt 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 wird 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 vertieft 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 (vgl. Abb. 37), 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, werden 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 (vgl. Abb. 37, links), 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.

Qualitative und quantitative Beurteilung des Entwurfs

Der architektonische Entwurf ist ein iterativer Prozess, der verschiedene Stufen der Problemlösung durchläuft. Ausgehend von einer Problemstellung werden Ideen und Lösungsmöglichkeiten ausgearbeitet. Lösungsstrategien mit grosser Wahrscheinlichkeit für eine Lösungsfindung werden aufgezeichnet und anhand von Skizzen, Plänen, Modellen oder Visualisierungen immer wieder einer gestalterischen und qualitativen Beurteilung unterzogen (Abb. 35). So können ungelöste Punkte wie auch Probleme angegangen und der Entwurf stetig verfeinert werden. Aufgrund der laufenden Weiterentwicklung des Entwurfs wird ein einheitlicher und übereinstimmender Planstand meist erst mit Abschluss einer Planungsphase, wie beispielsweise der Vorentwurf- oder der Projektphase, erreicht. Dieser Planstand dient als Grundlage für quantitative Beurteilungen durch Fachplaner. Zu diesem Zeitpunkt ist der Entwurf aber schon so stark ausgereift, dass das Potential für solare Strategien, wie auch für nachhaltige Strategien, bereits stark eingeschränkt ist. Gleichzeitig werden durch die Auslagerung der qualitativen Beurteilung die Schnittstellenkonflikte weitgehend vom iterativen Prozess ausgeschlossen. Das heisst, eine Optimierung zwischen Gebäude und Haustechnik findet kaum statt.

Mit steigender Komplexität der Bauaufgaben bekommt die Vernetzung von technischen Fragestellungen und ökonomischen Anforderungen mit ökologischen, sozialen und architektonischen Fragen eine immer grössere Bedeutung. Damit wächst bei solaren, wie auch bei nachhaltigen Gebäuden im Allgemeinen die Wichtigkeit von umfassenden Planungsleistungen. Gefragt sind ganzheitliche, vernetzte, spartenübergreifende Leistungen, die meist nur noch von interdisziplinären Planer Teams erbracht werden können.

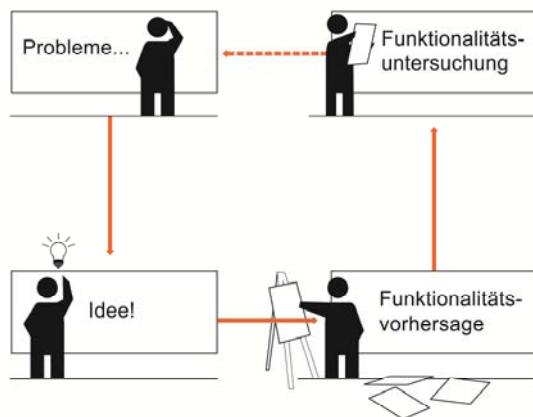


Abb. 35: Iterativer Entwurfsprozess
(auf Basis von: Papamichael, 2000)

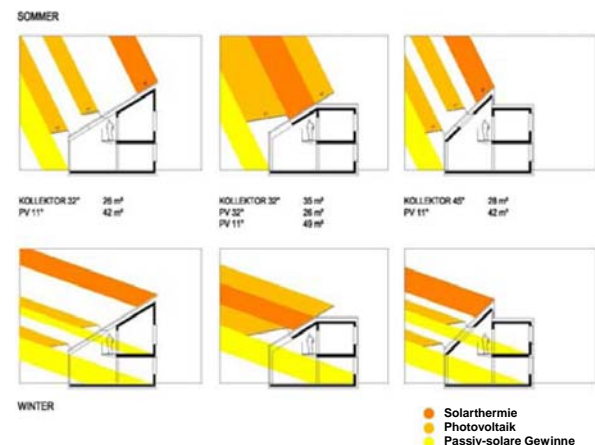


Abb. 36: Qualitative Beurteilung des solaren Strategien
(Quelle: Reinberg, 2008)

Die Wichtigkeit der frühen Entwurfsphase (vgl. Abb. 4) bewirkt im Weiteren eine Verschiebung des planerischen Arbeitsaufkommens in die früheren Planungsphasen. Die Deckung des Informationsbedarfs zu Beginn der strategischen Planungsphase und das hohe Informationsaufkommen gegen Ende der haftungsrechtlich sensitiven und arbeitsaufwändigen Vorprojektphase kann durch die den Planenden und Architekten mit den zur Verfügung stehenden Planungswerkzeugen und den unzureichenden Honorarprozenten in der Regel nicht mehr sachgerecht gewährleistet werden. Dies bedeutet, dass eine Vielzahl von wichtigen Faktoren in der frühen Planungsphase eines Bauwerks vernachlässigt oder ignoriert werden (müssen).

3.1.1. Leistungsmodell und Honorarordnung

Das Leistungsmodell nach SIA 112⁵³ (Tab. 7), dient Planenden und Architekten wie auch Auftraggebern als Basis für die Zusammenarbeit für alle Arten von baubezogenen Planungsleistungen bei Neubau-, Umbau-, Erhaltungs- und Umnutzungsvorhaben im Hoch-, Tief- und Anlagebau sowie für Freianlagen. Das Leistungsmodell bietet im Verbund mit der Honorarordnung die Basis für alle Planerleistungen und Honorare von Architekten und Landschaftsarchitekten, Bau- und Forstingenieuren, Maschinen- und Elektroingenieuren, Fachingenieuren für Gebäudeinstallationen sowie Raumplanern (Ordnungen SIA 102, 103, 104, 108 und 110). Bei einfacheren Bauvorhaben, wo keine Planenden und Architekten beigezogen werden, kann die alleinige Anwendung dieser Ordnungen als Basis der Zusammenarbeit ebenfalls zweckmässig sein.

Das Leistungsmodell bietet eine Strukturierung des Planungsprozesses, sowie einen Kurzbeschreibung der darin enthaltenen Leistungen, den zu erstellenden Grundlagen und den anzustrebenden Zielen. Diese Grundlage ermöglicht es Planenden und Architekten, die zu erbringenden Leistungen innerhalb einer

⁵³ [SIA, 2011]

Planungsphase gegenüber der Bauherrschaft zu kommunizieren und der Bauherrschaft, den Fortschritt des Planungsprozesses zu überwachen. In Verbindung mit der Honorarordnung ergibt sich damit auch eine Grundlagen für die Honorierung der Planerleistungen oder einer weitergehenden Zielvereinbarung zwischen Planenden und Architekten und der Bauherrschaft.

Phasen	Kurzbeschreibung	Grundlagen	Ziele
1. Strategische Planung	- Bedürfnisformulierung - Lösungsstrategien	Problemstellung	- Bedürfnisse, Ziele und Rahmenbedingungen definiert - Lösungsstrategie festgelegt
2. Vorstudien	- Definition des Vorhabens - Machbarkeitsstudie - Auswahlverfahren	- Bedürfnisse - Ziele - Rahmenbedingungen - Lösungsstrategien	- Vorgehen / Organisation festgelegt - Projektierungsgrundlagen definiert - Machbarkeit nachgewiesen
3. Projektierung	- Vorprojekt - Bauprojekt - Baubewilligungsverfahren	- Vorprojekt - evtl. Vorentscheide der Bewilligungsbehörden	- Projekt und Kosten optimiert - Termine definiert
4. Ausschreibung	- Submission - Offert Vergleich - Vergabeantrag	- Projektpflichtenheft - Machbarkeitsstudie	- Anbieter bzw. Projekt ausgewählt, welche den Anforderungen am besten entsprechen
5. Realisierung	- Ausführungsplanung - Ausführung - Inbetriebnahme - Abschluss	- Projektpflichtenheft - Machbarkeitsstudie - Projektierungsgrundlagen - evtl. Resultat eines Auswahlverfahrens	- Konzeption optimiert - Wirtschaftlichkeit optimiert
6. Bewirtschaftung	- Betrieb, - Erhalt		

Tab. 7: Leistungsmodell nach SIA 112 (Quelle: SIA, 2001)

Honorarordnung nach SIA 102

Der zentrale Teil der Honorarordnung nach SIA 102 regelt die Art der Honorierung von Planerleistungen (Tab. 8), wie auch die Art der Zusammenarbeit zwischen den Planenden und Architekten und der Bauherrschaft.

Das vorliegende Leistungsmodell nach SIA 112 und die Honorarordnung nach SIA 102 sind weitgehend auf den klassischen Planungs- und Bauprozess abgestimmt. Planenden und Architekten stehen darin für die Vorprojektphase lediglich 9% des Gesamthonorars zur Verfügung. Die strategische Planung und die Vorstudien, wie auch Betrieb und Erhalt des Bauwerks werden nach speziell zu vereinbarenden Leistungen abgerechnet. Doch gerade der frühen Entwurfsphase (strategische Planung und Vorprojektphase), wo eine intensive Auseinandersetzung mit den Anforderungen an nachhaltige Gebäude und deren Auslegung stattfinden muss, sollte ein grösserer und bedeutenderer Stellenwert eingeräumt werden. Ebenso ist eine Abstimmung von Gebäude, Haustechnik und Nutzung in den ersten Betriebsjahren grundlegende Voraussetzung, um die Ziele in Bezug auf Energieeinsparungen, Komfort, Akzeptanz und Zufriedenheit zu erreichen. Aus diesem Grund müssten die Phasen 1-3 und die Phase 6 der SIA Honorarordnung 102, wie auch die entsprechenden Zielsetzungen im Leistungsmodell nach SIA 112 im Hinblick auf eine nachhaltige Gebäudeplanung überprüft und angepasst werden.

1	Strategische Planung	4.11	Bedürfnisformulierung, Lösungsstrategien	besonders zu vereinbarende Leistungen		
2	Vorstudien	4.21	Definition des Vorhabens, Machbarkeitsstudie	besonders zu vereinbarende Leistungen		
		4.22	Auswahlverfahren	besonders zu vereinbarende Leistungen		
3	Projektierung	4.31	Vorprojekt	Studium Lösungsmöglichkeiten und Grobschätzung Baukosten (+25%)	3%	
				Vorprojekt und Kosten-schätzung (+20%)	6%	9%
		4.32	Bauprojekt	Bauprojekt	13%	
				Detailstudien	4%	
				Kostenvoranschlag (+10%)	4%	21%
		4.33	Bewilligungsverfahren	Bewilligungsverfahren		2.5%
4	Ausschreibung	4.41	Ausschreibung, Offert gleich, Vergabeantrag	Ausschreibungspläne	10%	
				Ausschreibung und Vergabe	8%	18%
5	Realisierung	4.51	Ausführungsplanung	Ausführungspläne	15%	
				Werkverträge	1%	16%
		4.52	Ausführung	Gestalterische Leitung	6%	
				Bauleitung und Kostenkontrolle	23%	29%
		4.53	Inbetriebnahme	Inbetriebnahme	1%	
			Abschluss	Dokumentation über das Bauwerk	1%	
				Leitung der Garantearbeiten	1.5%	
				Schlussabrechnung	1%	4.5%
6	Betrieb	4.61	Betrieb	besonders zu vereinbarende Leistungen		
		4.62	Erhaltung	besonders zu vereinbarende Leistungen		
Total Grundleistungen Phasen 3,4,5						100%

Tab. 8: Honorarordnung nach SIA 102 (Quelle: SIA, 2003, 45)

3.1.2. Ansatz für die ganzheitliche Planung

Bei Sanierungen wie bei Neubauten sind Bedarfsanalysen, Kostenschätzungen, Machbarkeitsabklärungen, wie auch die Klärung der energetischen Rahmenbedingungen und Standards notwendig, damit einer ganzheitlichen Betrachtung des Gebäudes Rechnung getragen werden kann. 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 in der frühen Planungsphase 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 (Tab. 9). 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 CO₂ oder die Nutzung von Tageslicht, ermöglichen und so die qualitative Beurteilung mit in den iterativen Prozess einbinden.

Phasen	Kurzbeschreibung	Grundlagen	Ziele
1. Strat. Planung	<ul style="list-style-type: none"> - Bedürfnisformulierung - Lösungsstrategien - Definition des Vorhabens - Grundlagenerarbeitung - Volumenstudien A/V - Erste energetische Berechnungen 	Problemstellung	<ul style="list-style-type: none"> - Bedürfnisse, Ziele und Rahmenbedingungen definiert - Lösungsstrategie festgelegt - Energetische Zielvorgaben definiert
2. Vorstudien	<ul style="list-style-type: none"> - Machbarkeitsstudie - Auswahlverfahren - Verifizierung Studien - Parameter und Energie 	<ul style="list-style-type: none"> - Bedürfnisse - Ziele / Rahmenbedingungen - Lösungsstrategien 	<ul style="list-style-type: none"> - Vorgehen / Organisation festgelegt - Projektierungsgrundlagen definiert, - Machbarkeit nachgewiesen
3. Projektierung	<ul style="list-style-type: none"> - Vorprojekt - Zweite energetische Berechnung - Bauprojekt - Baubewilligungsverfahren 	<ul style="list-style-type: none"> - Vorprojekt - evtl. Vorentscheide der Bewilligungsbehörden 	<ul style="list-style-type: none"> - Projekt und Kosten optimiert - Energetische Optimierung - Termine definiert
4. Ausschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Submission - Offert vergleich - Vergabeantrag 	<ul style="list-style-type: none"> - Projektpflichtenheft - Machbarkeitsstudie 	<ul style="list-style-type: none"> - Anbieter bzw. Projekt ausgewählt, welche den Anforderungen am besten entsprechen
5. Realisierung	<ul style="list-style-type: none"> - Ausführungsplanung - Ausführung - Inbetriebnahme - Abschluss 	<ul style="list-style-type: none"> - Projektpflichtenheft - Machbarkeitsstudie - Projektierungsgrundlagen - evtl. Resultat eines Auswahlverfahrens 	<ul style="list-style-type: none"> - Konzeption optimiert - Wirtschaftlichkeit optimiert
6. Bewirtschaftung	<ul style="list-style-type: none"> - Betrieb, - Erhalt - Betriebsparameter 		<ul style="list-style-type: none"> - Einhaltung der energetischen Zielvorgaben - Betriebsoptimierung

Tab. 9: Entwurf eines erweiterten Leistungsmodells als Grundlage zur Planung von solaren Gebäuden (auf Basis von: SIA, 2001)

Integrierter Planungsprozess

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 (Abb. 37, rechts).

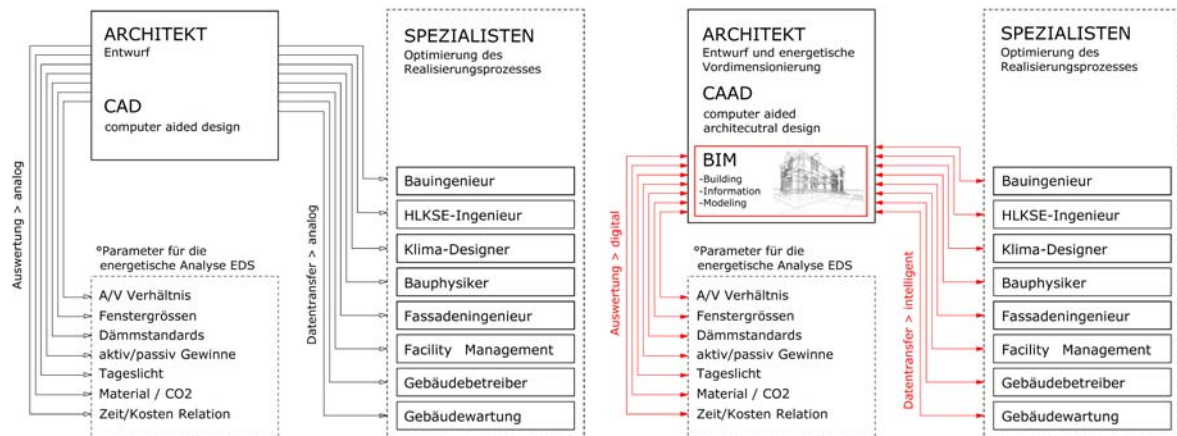


Abb. 37: Schema des konventionellen (links) und des integrierten Planungsprozesses (rechts)

3.1.3. Zusammenfassung

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 CO₂ 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 CO₂ 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. 2.4.5.).

3.2.1. Einsatz des Computers

Die Arbeitsweise von Planern und Architekten hat sich mit dem Einzug des Computers in den Architekturbüros stark verändert. CAD Systeme gehören heute zur festen Ausstattung. Während CAD-Systeme anfänglich als elektronische Reissbretter aufgenommen wurden, hat sich die Art der digitalen Planung in der Zwischenzeit deutlich verändert. Das Zeichnen von 2-D Plänen auf dem Computer ermöglichte schnellere Anpassungen der Pläne und machte das „Kratzen“ von falschen oder veralteten Plänen überflüssig. Das konstruieren mit 3D-Objekten und der Austausch von Daten über das World Wide Web eröffneten dem Bauwesen Ende der 90er Jahre neue Perspektiven der Zusammenarbeit. Dennoch gestaltet sich der Austausch der Daten auch heute noch teilweise schwierig und die Möglichkeiten einer Vernetzung mit anderen Funktionsschritten (Flächenausmasse, Kostenkalkulationen, Terminprogramme, etc.) ist oft nicht möglich. Systeme mit durchgängiger und zentraler Verwaltung, sowie der Nutzung aller Informationen über alle Planungsphasen in Form von BIM- Lösungen (Building Information Modeling) stehen heute zwar zur Verfügung, sie werden aber noch viel zu wenig eingesetzt.

Nach Schmitt⁵⁴ ist das Potenzial welches der Computer heute in Bezug auf die Architektur und das Bauwesen bereitstellt noch lange nicht ausgeschöpft. Gerade auch die Ausführungsphase, in der die wichtigsten Entscheidungen fallen, erhielt bisher wenig Unterstützung durch den Computer. Gemäss Schmitt ist der Grund einfach: Der iterative Prozess des Bauens lässt sich weder formalisieren noch quantifizieren. Dementsprechend braucht es für den Entwurfsprozess eine neue Generation von Programmen und Planungswerkzeugen⁵⁵. Diese für den Entwurf und die Bewertung des Entwurfs geeigneten Werkzeuge warten jedoch noch darauf, von Programmentwicklern gemäss den spezifischen Bedürfnissen der Planenden und Architekten umgesetzt zu werden. Diese wünschen einfache visuelle Tools, die in die Arbeitsumgebung integriert sind und einen einfachen Austausch zwischen Programmen und Software Paketen zulassen⁵⁶.

Trotz des grossen Potentials haben Planende und Architekten an den Prozessen seit der Einführung des Computers wenig verändert. Die Gebäudedaten werden, analog zum Zeichnen von Hand, oft noch als 2-D Informationen, beziehungsweise als Vektordaten, in den Computer eingegeben. Die resultierenden

⁵⁴ Dr. Gerhard N. Schmitt der ETH Zürich forscht seit langem im Bereich der Entwicklung intelligenter Entwurfsunterstützungssysteme und der architektonischen Planung des Informationsterritoriums.

⁵⁵ [Schmitt, 1993]

⁵⁶ Ergebnisse einer internationalen Umfrage des IEA SHC Task 41

Pläne werden den Fachplanern als digitale Daten oder als Papierpläne weitergeleitet. Die Grundlagen für Ausmasse, Kostenberechnungen, statische Berechnungen oder energetische Simulationen werden von den Bearbeitenden aus den Grundlagen herausgelesen und numerisch in die entsprechenden Programme übertragen. Bei Änderungen der Plangrundlagen – was in der frühen Entwurfsphase laufend der Fall ist – müssen diese Schritte immer wieder wiederholt werden. Mit der Verfügbarkeit von immer leistungsfähigeren Software-Werkzeugen könnten sich die Arbeitsmethoden von Planenden und Architekten zukünftig stark verändern.

Die verfügbaren CAAD-Systeme unterstützen prinzipiell schon heute fast alle (Teil-) Aufgaben des architektonischen Entwurfsprozesses. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Analyse- und Simulationsfunktionen zur Berechnung von Baukosten, Heizkosten, Statik, Beleuchtung, Kühlbedarf, etc. Gleichzeitig kann die CAAD-Software auch als Kommunikationsplattform für den Austausch von Daten und Entwürfen dienen, sowie das gemeinschaftliche Arbeiten und Entwickeln an verschiedenen (virtuellen) Standorten ermöglichen.

Auch die derzeit verfügbaren Bewertungs- und Simulationstools zur Beurteilung des thermischen Verhaltens des Gebäudes und der Auslegung der Haustechnik decken ein breites Spektrum an Berechnungsmöglichkeiten ab. Oftmals verlangen sie aber eine sehr detaillierte und aufwändige Eingabe des betrachteten Raums und dessen Nutzung. Diese Informationen sind meist erst in fortgeschrittenen Planungsphasen verfügbar⁵⁷. Diese Tools werden von Planenden und Architekten kaum angewendet. Sie bemängeln die Komplexität der verfügbaren Simulationstools, die zu hohen Kosten, wie auch, dass sie nicht in das CAAD integriert sind und eine zu lange Bearbeitungszeit erfordern. Das heisst, die verfügbaren Programme unterstützen die Arbeit von Planenden und Architekten zu wenig, da sie nicht in den Arbeitsprozess integriert und zu systemisch sind⁵⁸.

3.2.2. BIM als Wegweiser

Wie bereits in den vorangegangenen Abschnitten dargelegt wurde, werden CAAD Systeme heute nur mässig zur Unterstützung des Planungsprozesses eingesetzt, da nicht optimal in den Planungsprozess integriert sind oder den Anforderungen an einen optimierten Planungsprozess nicht entsprechen. Die von Planenden und Architekten generierten 2-D Daten verhindern einen wechselseitigen Datenaustausch mit den Fachplanern weitgehend. Das heisst, von Fachplanern vorgeschlagene Anpassungen haben keinen direkten Effekt auf die „Ausgangszeichnung“. Anders wäre es bei der Verwendung eines intelligenten Gebäudemodells, bei dem alle eingegebenen Gebäudeinformationen gespeichert und während dem Planungsprozess sukzessive verdichtet und ergänzt werden, wie auch jederzeit abgerufen sind. 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 Gebäude⁵⁹ 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 382⁶⁰ geht der Trend stark in Richtung dynamische Berechnung. Auch in der Praxis werden diese neuen Rechenmethoden zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes vermehrt nachgefragt.

⁵⁷ vgl. [Keller, 2003]

⁵⁸ Ergebnisse einer internationalen Umfrage des IEA SHC Task 41

⁵⁹ Je nach gesetzlichen Anforderungen, bedarf es spezifische Berechnungstools, um die Erreichung der Grenzwerte nachzuweisen.

⁶⁰ Gemäss SIA 382 wird der Energiebedarf klimatisierter Gebäude gesamtheitlich erfasst und im Stundenschritt dynamisch und unter Einbezug der Systemeinflüsse berechnet.

3.2.3. Forderungen an Bewertungs- und Simulationstools

An die Bewertungs- und Simulationstools werden heute viele unterschiedliche und zum Teil kontroverse Anforderungen gestellt. Sie müssen für Planende und Architekten einerseits einfach, schnell und fehlerresistent sein, andererseits werden von Beratern, Ingenieuren und Spezialisten detaillierte, genaue und umfassende Antworten gefragt.



Die CAAD-basierten Tools bedienen sich meistens einfacher Handrechenmethoden und schätzen die gesuchten Grössen mit zeitlichen Mittelwerten (gewöhnlich Monatswerten) ab. Hauptanforderung an Tools 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 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“.

3.2.4. Einsatz von Bewertungs- und Simulationstools im Planungsprozess

Der sich verändernde Planungsprozess sowie die erhöhten Anforderungen an die gebaute Umwelt stellen für Planende und Architekten eine grosse Herausforderung dar. Die zunehmende Komplexität der Bauwerke macht den Einbezug von Werkzeugen für die Planung und den Betrieb unabdingbar; das Trial-and Error-Prinzip stellt für diese Gebäude keine Alternative dar. Die Art und die Notwendigkeit der einzusetzenden Tools hängt vom Planungsprozess, den zu Erledigenden Aufgaben und den dafür verantwortlichen Akteuren ab.

Ablaufschema für Sanierung und Neubau

Das Ablaufschema in Abb. 38 zeigt den Informationsfluss zwischen Projektstand und dessen Bewertung, wie er in den verschiedenen Stufen des Planungsprozesses notwendig ist. Im Verlauf des Planungsprozesses verlagern sich die Anforderungen an die Tools von „einfach - schnell - fehlerresistent“ immer mehr zu „detailliert - genau - umfassend“.

Die vom Projekt in die Tools (von links nach rechts) fließende Information umfasst die zwischen den Pfeilen beschriebenen Aspekte. Der „Rückfluss“ von den Tools zum Projekt (von rechts nach links) umfasst die Berechnungs-Resultate, wie beispielsweise:

- CO₂-Ausstoss
- Graue Energie
- Betriebsenergie (Nutzenergie, Endenergie, Primärenergie)
- Behaglichkeit
- Kosten

Die Pfeile von den Tools nach rechts illustrieren die Wichtigkeit des Rückflusses von Berechnungsergebnissen zum Projekt: Werden die Tools einzig zur Bewertung der bereits erfolgten Planungsarbeiten verwendet (wie dies bei gängigen Gebäude Zertifizierungen üblicherweise der Fall ist), so können diese das Projekt nicht direkt beeinflussen. Dies führt zu einem Abbruch des Optimierungsprozesses und damit zu einem nicht ausgenützten Optimierungspotential. Um dem entgegenzuwirken, müssen künftige Zertifizierungssysteme so spät wie möglich im Planungsprozess angesetzt werden. Gleichzeitig müssen die Berechnungen so früh wie möglich in den Planungsprozess einbezogen werden. Das heisst, bei der Sanierung ist die Konzeptbewertung unabdingbar, um die Ziele einer solaren oder nachhaltigen Sanierung im Allgemeinen zu erreichen.

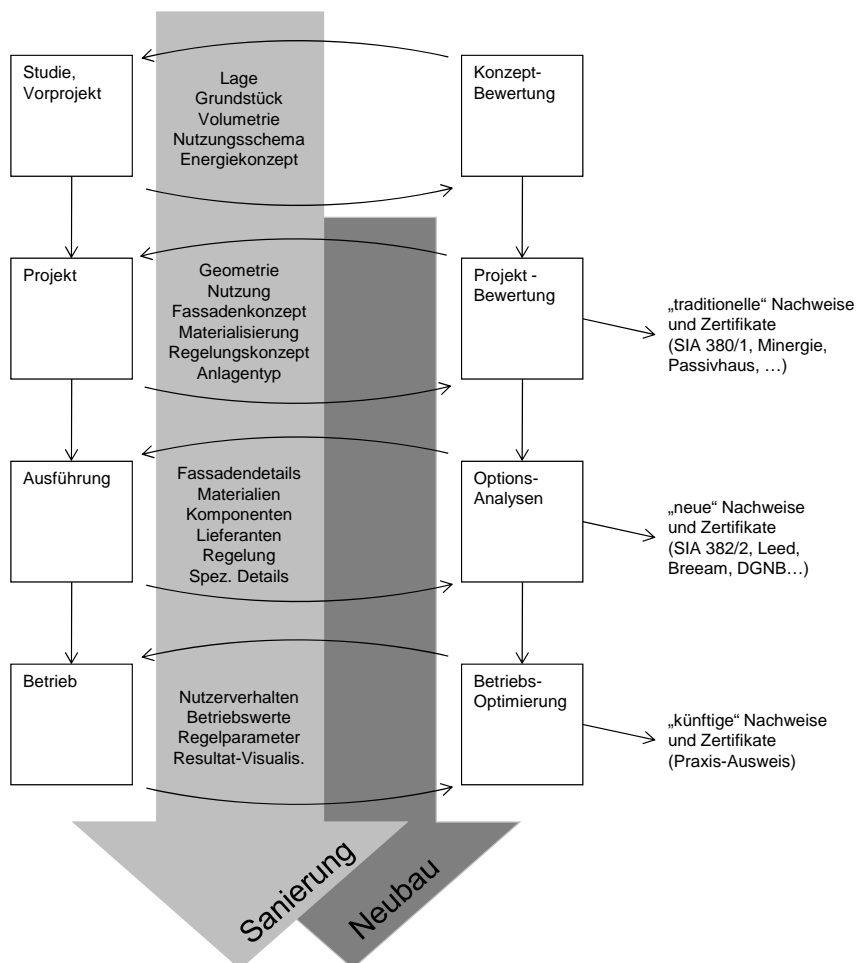


Abb. 38: Ablaufschema für Sanierung und Neubau

3.2.5. Bewertung der verschiedenen Planungsphasen

In den einzelnen Planungsphasen stehen jeweils unterschiedliche Unterlagen zur Verfügung, die für die Bewertung der jeweiligen Phase einbezogen werden können. Gleichzeitig werden verschiedene Beurteilungen mit unterschiedlichen Genauigkeiten erwartet. Im klassische Planungsprozess ist die Projektbewertung zur Erreichung von traditionellen Nachweisen (SIA 380/1, Minergie) die gängigste Form von Bewertung. Diese findet gegen Ende der Projektphase statt und hat kaum mehr einen Rückfluss auf die Planung. Da sie trotz grossem Aufwand nicht zur Verbesserung des Projekts beiträgt, kommt diese Art von Projektbewertung einer Sackgasse gleich. Neue Nachweise zielen auf die später stattfindende Optionsanalyse des Gebäudes ab. Um Energie und Komfort optimierte Gebäude zu erreichen, ist eine Bewertung aller Phasen, vor allem aber der frühen Entwurfsphase und der Betriebsphase, notwendig.

Studien und Vorprojektphase: Konzeptbewertung

Die Ausarbeitung von Studien und die Entwicklung eines Vorprojekts liegen im Aufgabenbereich des Architekten. Zu diesem Zeitpunkt liegen Pläne 1:200 und eine Kostenschätzung $\pm 20\%$ vor. Diese Grundlagen ermöglichen ein Go / No Go durch die Bauherrschaft, sowie eine erste Beurteilung durch die Baubewilligungsbehörden. In dieser Phase ist eine Konzept-Bewertung durch Planende und Architekten anzustreben, die den iterativen Entwurfsprozess mit qualitativen Daten unterstützt. In dieser Phase ist es wichtig, dass die verwendeten Tools optimal in die Arbeitsumgebung des Architekten integriert sind und Bewertungen in Bezug auf Orientierung, Grösse, Form, Materialisierung und Öffnungen des Gebäudes ermöglichen (vgl. Kap. 2.3.3. und 2.4.4.). Dabei müssen die skizzenhaften Varianten rasch abgebildet werden können, um Verbesserungen oder Verschlechterungen in Bezug auf die wichtigsten planerischen Entscheide laufend aufzeigen zu können. D.h. die Bewertungstools müssen die Migration von CAD-Daten ermöglichen und über Eingabeassistenten mit vordefinierten Templates verfügen. Die Anwendung soll „einfach - schnell - fehlerresistent“ und Web-basiert oder lokal verfügbar sein. Wichtig ist, dass Verfeinerungen der Abfrage möglich sind und das Tool für verschiedene Benutzer -Levels ausbaubar ist.

Die Fallstudie in Kapitel 2.3.3 (Sanierung Mehrfamilienhaus Elfenau) hat gezeigt, dass Konzept-Bewertungen mit Tools der Seite „detailliert – genau – umfassend“ für die qualitative Bewertung durchaus interessant sein können. In der Praxis sind solche Bewertungen aber eindeutig zu aufwändig, da der Anwender sich leicht in den Details verliert. Der Einsatz einer dynamischen Gebäudesimulation ist höchstens mit effizienten Eingabeassistenten (Im Fall von IDA etwa IDA Room oder IDA Esbo, ...) oder in „einfacheren“ Fällen auch mit stark einschränkenden Programmen (Helios, SIA TEC Tool) denkbar. Um Planende und Architekten anzusprechen zu können, ist eine Einbettung der Bewertungstools in die CAD-Umgebung unabdingbar. Einfache Lösungen bieten Plugins, bei denen der Solver eines Simulationsprogramms mittels Eingaben in einem CAD-Tool gestartet wird.

Projekt (Baueingabe): Projektbewertung

Die Ausarbeitung des Projekts liegt ebenfalls im Aufgabenbereich des Architekten. Zu diesem Zeitpunkt liegen Pläne 1:100 und ein Kostenvoranschlag $\pm 10\%$ vor. Diese Grundlagen ermöglichen ein Go / No Go durch die Bauherrschaft, sowie die Eingabe des Projekts an die Baubewilligungsbehörden. In dieser Phase ist in Abhängigkeit der Komplexität des Projekts eine Projekt-Bewertung durch den Planenden und Architekten und/oder eine Simulation durch den Ingenieur anzustreben. Beispiele solcher Projektbewertungen sind in Kapitel 2.2.3 (Mehrfamilienhaus Elfenau), sowie 2.3.3 und 2.3.4 (Wohn- und Bürogebäude Mühlebachstrasse) zu finden.

Ausführungsplanung: Optionsanalysen

In jedem Bauprojekt gib es hinsichtlich Energie und Komfort planerische Unsicherheiten, welche nur mit dynamischen Simulationen minimiert werden können. Um die Entscheide zwischen verschiedenen

Optionen richtig fällen zu können, ist eine Kosten-Nutzen-Analyse notwendig. Der Nutzen einer Planungsoption kann aber nur dann realistisch abgeschätzt werden, wenn die Folgen auf die Zielgrößen im gesamten dynamischen Wirkungsgefüge quantifiziert sind.

Solche Optionsanalysen werden von spezialisierten Ingenieuren vereinzelt schon heute angewendet, wenn die Entscheidungsträger von deren Nutzen Kenntnis haben und wenn der Aufwand für die Simulation nicht höher ist als der Nutzen der korrekten Entscheidung. Der Aufwand kann erheblich verringert werden, wenn die in der Entwurfsbewertung erfolgten Eingaben weiter verwendet werden können und nur die notwendigen Details präzisiert werden müssen.

Die umfassende Projekt-Bewertung des Wohn- und Bürogebäudes Mühlebachstrasse mit dem IDA-ICE 4 in Kapitel 2.4 hat gezeigt, dass eine spätere Optionsanalyse mit vertretbarem Aufwand möglich ist, wenn die bestehenden Synergien bei der Modelleingabe genutzt werden können.

Betrieb: Betriebsoptimierung

Ein Gebäudemonitoring in Verbindung mit einer Betriebsoptimierung mittels dynamischer Gebäudesimulation ist der letzte Schritt im hier geforderten Ablaufschema. Dies ist eine logische Folge der Forderung, dass nicht (nur) die Planungswerte eines Gebäudes, sondern (auch) die Betriebswerte bewertet werden müssen, damit überhaupt erst ein Interesse entsteht, den Planungsprozess zu optimieren.

Der Schlüssel zur Betriebsoptimierung ist ein vertieftes Verständnis über die Funktionalität des fertig gestellten Gebäudes. Hierzu werden die Signale der im Gebäudeleitsystem vorhandenen Sensoren verwendet. Heute versuchen Betreiber von Gebäuden oft nicht einmal zu verstehen, was im Gebäude passiert. Wenn man dies dennoch tut, so wird man Teilsysteme finden, welche das ganze Jahr über laufen, obschon Sie nur während einem Bruchteil dieser Zeit benötigt werden. Man wird ebenso andere Teilsysteme finden, die gegeneinander arbeiten oder nicht optimal eingestellt sind.

Spezialisierte Werkzeuge vereinfachen es dem Experten, schnell einen Überblick über kritische Details zu finden. Mittels Gebäudesimulation kann gleichzeitig auch gezeigt werden, wie ein Gebäude funktionieren kann und soll⁶¹.

Bewertende Akteure im Planungsprozess

Mit fortschreitendem Planungsprozess verändern sich sowohl die bewertenden Akteure wie auch die Anforderungen an die Bewertungstools und die geforderten Aussagen (Tab. 10). Generell kann festgehalten werden, dass Planende und Architekten idealerweise für die qualitative Bewertung der Konzept- und frühen Projektphase verantwortlich sind. Diese kann auf isolierten oder CAD-basierten Berechnungstools beruhen. Mit fortgeschrittenem Planungsstand wird die Bewertung an Energieberater, Ingenieure oder Spezialisten übergeben, die mit spezialisierteren Bewertungstools vertieftere Abklärungen vornehmen und spezifischere Fragestellungen beantworten.

Die Forderungen an künftige Bewertungs- und Simulationstools umfassen deshalb folgende Hauptstossrichtungen:

- Früherer Einsatz der Tools zur Bewertung von Energie und Komfort
- Fortlaufende Erfolgskontrolle, die über die für Nachweise und Zertifikate erforderlichen Planungswerte hinausgehen und über alle Phasen, von der Konzeptbewertung bis zur Betriebsoptimierung, eingesetzt werden
- Effizientere Einbindung der Bewertungs- und Simulationstools in den Planungsprozess

⁶¹ In dieser Arbeit wurde keine eine Betriebsoptimierung durchgeführt.

		Konzept-Bewertung		Projekt-Bewertung		Dyn. Gebäude-simulation
		„isoliert“ ^{4*}	CAD-basiert	Gesamtsystem	Teilsystem	
		<div><div></div><div>einfach, schnell fehlerresistent</div><div>detailliert, genau umfassend</div><div></div></div>				
Studien, Vorprojekt		-	Architekt	Architekt, Energiegeber.	-	-
Projekt		-	Architekt	Energiegeber., Ingenieur	Anbieter, Ingenieur	Ingenieur, Spezialist
Ausführung		-	-	-	Ingenieur	Ingenieur, Spezialist
Betrieb		-	-	-	-	Spezialist

Farbcodes:

State of the Art

Best practise

Next practise

* nicht CAD-basierte Konzept-Bewertungs-Tools (EDG II, bSol, ...) können nur vom Planungsprozess isoliert angewendet werden. Sie sind zu einfach für „genaue“ Aussagen und zu aufwändig für „schnelle“ Aussagen und deshalb allenfalls in der Lehre (oder für „spielende Bauherren“) nützlich, kaum aber in der Planungs-Praxis.

Tab. 10: Bewertende Akteure im Planungsprozess

3.2.6. Bewertung von ausgewählten Bewertungs- und Simulationstools

Wie bereits in Kapitel 3.2 erwähnt, ermöglichen die heute auf dem Markt verfügbaren Bewertungs- und Simulationstools ein breites Spektrum an Bewertungsmöglichkeiten. Die meisten von Ihnen können aufgrund der Komplexität aber erst in einer späten Planungsphase eingesetzt werden (vgl. Tab. 10). In den folgenden Abschnitten werden sechs in der Schweiz verfügbare und teilweise in der Schweiz entwickelten Simulationstools (bSol, EDGII, DPV, Lesosai, Polysun, IDA-ICE) vorgestellt und auf den Einsatz in den verschiedenen Planungsphasen überprüft.

Die untersuchten Simulationstools, bSol, EDGII, DPV, Lesosai, Polysun und IDA-ICE werden in den kommenden Abschnitten kurz vorgestellt. Ein detaillierter Beschrieb befindet sich in Anhang, Kap. 3. Abb. 39 zeigt eine Übersicht über die untersuchten Simulationstools und deren Inputs und Outputs. Abb. 40 fasst die Resultate der Untersuchung graphisch zusammen.

a) Kurzbeschrieb

bSol

Entwickler: Kompetenzgruppe Energie, Hochschule Wallis (HEVs), Bundesamt für Energie BFE

Aktuelle Version September 2011: bSol Pro

Webseite: www.bisol.ch

bSol ist ein Simulationsprogramm, welches das Wärmeverhalten eines Gebäudes unter Einbezug bestimmter klimatischer sowie topographischer Randbedingungen über ein Jahr simuliert. Die solaren Gewinne werden mitberücksichtigt. Durch die Bestimmung des energetischen Verbrauchs eines Gebäudes bei Veränderung seiner architektonischen Parameter ermöglicht das Programm die optimale Ausarbeitung der Konstruktion.

Hauptfunktionen:

Software zur Optimierung des Energieverbrauchs und des Komforts.

Energy Design Guide II

Entwickler: Professur für Gebäudetechnik ETH Zürich, Prof. Dr. Bruno Keller und Stephan Rutz

Aktuelle Version September 2011: EDG II - Version 20090409_1 vom 9.4.2009

Webseite: www.energy-design-guide.ch

Der Energy Design Guide II dient als Werkzeug für die Optimierung eines Gebäudes mit dem Ziel, den Energiebedarf und die erforderliche Leistung für Heizen und Kühlen schon in der frühen Planungsphase auf ein Minimum zu reduzieren. Der EDG II berechnet nur den Energiebedarf des Gebäudes; die Art und Weise wie dieser gedeckt werden kann ist nicht Inhalt dieses Tools. Damit soll erreicht werden, dass primär der Heiz- und Kühlenenergiebedarf des Gebäudes minimiert wird und erst sekundär der ungedeckte Wärmebedarf durch eine effiziente Haustechnik gedeckt wird.

Hauptfunktionen:

Gebäudedimensionierung, Minimierung des Energie- und Leistungsbedarf für Heizen und Kühlen.

Design Performance Viewer (DPV)

Entwickler: Professur für Gebäudetechnik ETH Zürich / KEOTO AG Arno Schlüter, Frank Thesseling

Aktuelle Version September 2011: DPV 380 beta

Webseite: www.keoto.net, www.designperformances.net

Durch die Verwendung eines digitalen Gebäudemodells können der Energie- und Exergieverbrauch, sowie die resultierenden, energiebezogene Kosten zu jedem Zeitpunkt der Planung ermittelt und ohne zusätzlichen Aufwand dargestellt werden. Relevante Energiekennzahlen werden in Echtzeit berechnet und visualisiert. Der Einfluss von Massnahmen an der Gebäudegeometrie, der Konstruktion und den technischen Systemen auf den Energie- und Exergieverbrauch, wie auch auf die Kosten sind unmittelbar ablesbar.

Hauptfunktionen:

Optimierung der Gebäudehülle, in der frühen Entwurfsphase, in Bezug auf Fensterflächen und Volumetrie. Energie- und Exergieverbrauch nach SIA Normen.

Lesosai

Entwickler: E4tech Software SA, Concepto GDI S.à.r.l, Lesbat, Intep Integrale Planung GmbH

Aktuelle Version September 2011: Lesosai 7.1

Webseite: www.lesosai.ch

Lesosai ist ein umfassendes Simulationsprogramm zur Berechnung der thermischen Bilanz von Gebäuden mit einer oder mehreren beheizten oder gekühlten Zonen. Das Programm kann zur Zertifizierung von Gebäuden herangezogen werden und wird deshalb hauptsächlich von Ingenieuren, Wärmetechnikern und Architekten eingesetzt.

Hauptfunktionen:

Berechnung von thermischen Bilanzen, Energienachweise nach SIA 380/1 und Minergie.

Polysun

Entwickler: Vela Solaris, Andreas Witzig

Aktuelle Version September 2011: Polysun 5.7

Webseite: www.polysun.ch, www.velasolaris.ch

Polysun bietet mit Auslegungs-, Ertrags- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen eine grosse Flexibilität bei der Planung von Solar- und Geothermie-Anlagen in höchster Qualität. Polysun unterstützt die optimale Planung, Gestaltung oder Auslegung von Anlagen oder kombinierte Anlagen mit Solarthermie, Photovoltaik, Wärmepumpen und solares Kühlen.

Hauptfunktionen:

Berechnung und Auslegung von Solar-, Geothermie und Photovoltaik Anlagen unter Einbezug der Kosten.

IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE)

Entwickler: EQUA Simulation Technology Group, Stockholm

Aktuelle Version September 11 : IDA-ICE 4.0

Webseite: www.equa.ch

IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) ist eine komplette Anlagen- und Gebäudesimulationssoftware. Die Vollversion bleibt als Experten-Tool den Spezialisten vorbehalten. Parallel dazu gibt es sehr einfach verständliche Eingabeassistenten wie IDA Room oder IDA Esbo.

Die Simulation der zu erwartenden Raumtemperaturen oder des zu erwartenden Leistungs- bzw. Energiebedarfs ist genauso möglich, wie die Betrachtung der Energiebilanz einzelner Räume sowie das aufzeichnen jeder beliebigen physikalischen Grösse eines Anlagen- und Gebäudemodells.

Hauptfunktionen:

- IDA Room: Berechnung des flächenspezifischen Leistungsbedarfs und Bewertung der Behaglichkeit einzelner Räume
- IDA Esbo: Bewertung des Energiebedarfspotentials von Gebäudesystemen zur Sicherstellung der Behaglichkeit im Innenraum hinsichtlich Wärme, Kälte, Luftqualität und Licht (frühe Planungsphase)
- IDA ICE: Umfassend alles rund um das Innenklima und den Energieverbrauch von Gebäuden.

b) Bewertungskriterien

Planende und Architekten brauchen Planungswerkzeuge, die die Evaluierung von CAAD-unterstützten Entwurfslösungen auf der Basis der expliziten funktionalen Spezifikation ermöglichen. Das heisst, es braucht Planungswerkzeuge, die es dem Architekten ermöglichen, energetische Vordimensionierungen zu erstellen, wie auch ein direktes Feedback auf Veränderungen des architektonischen Entwurfs in der frühen Planungsphase abfragen zu können. Wesentlich bei der Beurteilung von Bewertungs- und Simulationstools sind:

1. die Planungsphasen, in denen sie eingesetzt werden können
2. die Abfrageoptionen, Leistungsfähigkeit und Performance
3. die Programmart, das Handling, die Dateneingabe und -ausgabe

Um Aussagen über den Zeitpunkt innerhalb der Planungsphase, in dem die jeweiligen Programme eingesetzt werden können, das Verhalten und Potenzial zur Optimierung des Entwurfs, wie auch die Art der Dateneingabe zu gewinnen, wurde eine Kriterienliste (Tab. 11) erarbeitet, anhand derer die einzelnen Simulationstools bewertet wurden.

Handling / Datenimport	Eingabe	Abfrageoptionen	Export / Output
<ul style="list-style-type: none"> - Eingabeeffizienz - Eingabesicherheit/Fehlverhalten - Gestaltungsfreiheit - Simulationsgeschwindigkeit - GUI / Oberfläche - Datenimport - Support / Hilfestellung - Eingabekomplexität (Beginner/Master) - Preis/Leistungsverhältnis - Update/Daten - Standalone / CAAD integriert - statische Simulation - dynamische Simulation 	<ul style="list-style-type: none"> - Art des Datenimports - Art der Dateneingabe - Templates/Wizards - Benutzer Ebenen - Genauigkeit - Effizienz / Workflow 	<ul style="list-style-type: none"> - Energiebilanz - Heizleistung - Kühlleistung - Solare Gewinne - interne Lasten - Tageslicht - Wärmebrücken - Speichermasse - LCA / Co2 - Kosten - Massenauszüge - Klimadaten 	<ul style="list-style-type: none"> - Datenexport - Schnittstellen - SIA 380.1 - Minergie / LEED - Darstellung - Verwendbarkeit - Planungsphase

Tab. 11: Evaluationskriterien Softwarevergleich

c) Übersicht über Inputs und Outputs

Tab. 12 gibt eine Übersicht über die Inputs und Outputs der einzelnen Simulationstools.

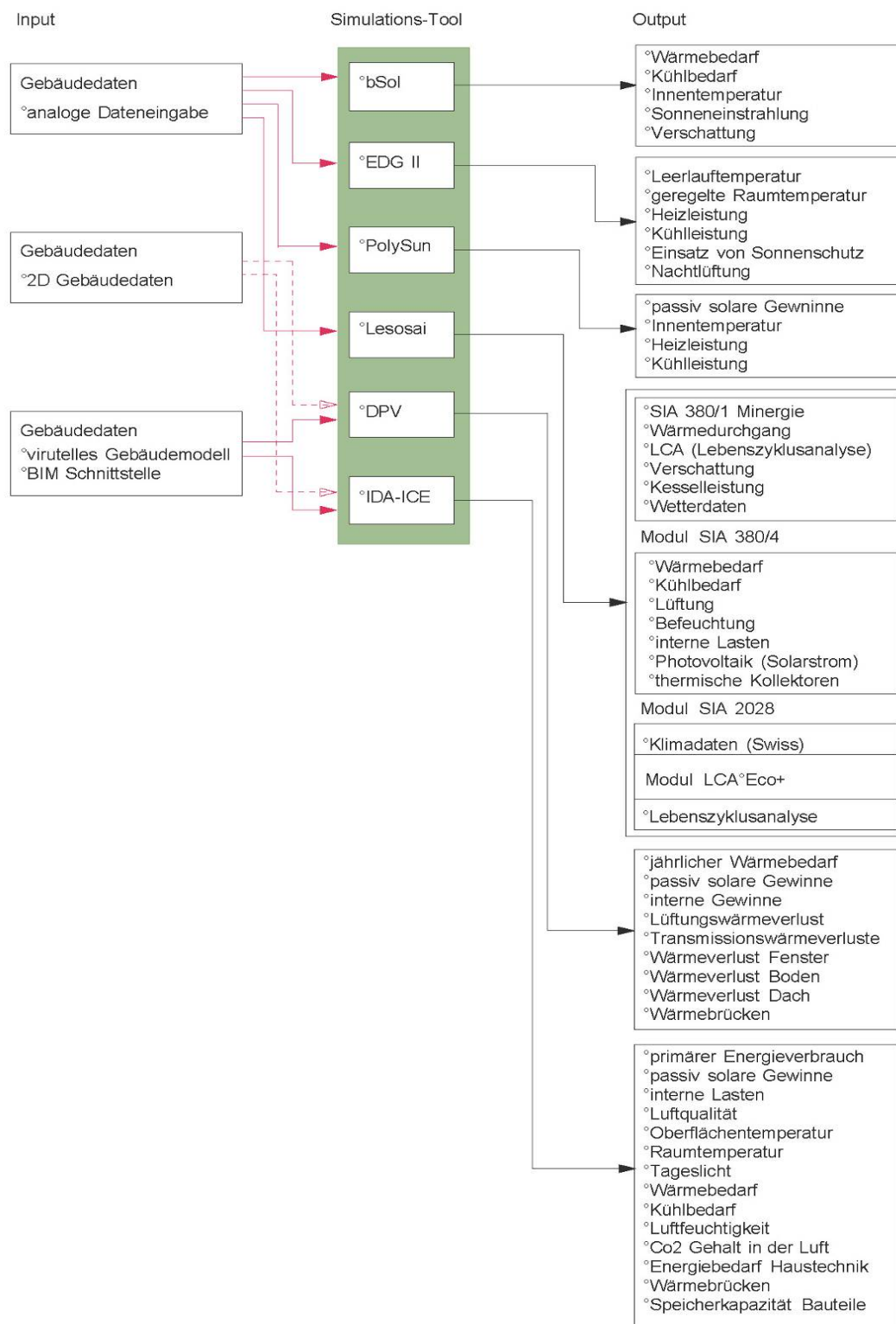


Abb. 39: Übersicht Simulationstools mit Output

d) Resultate der Bewertung

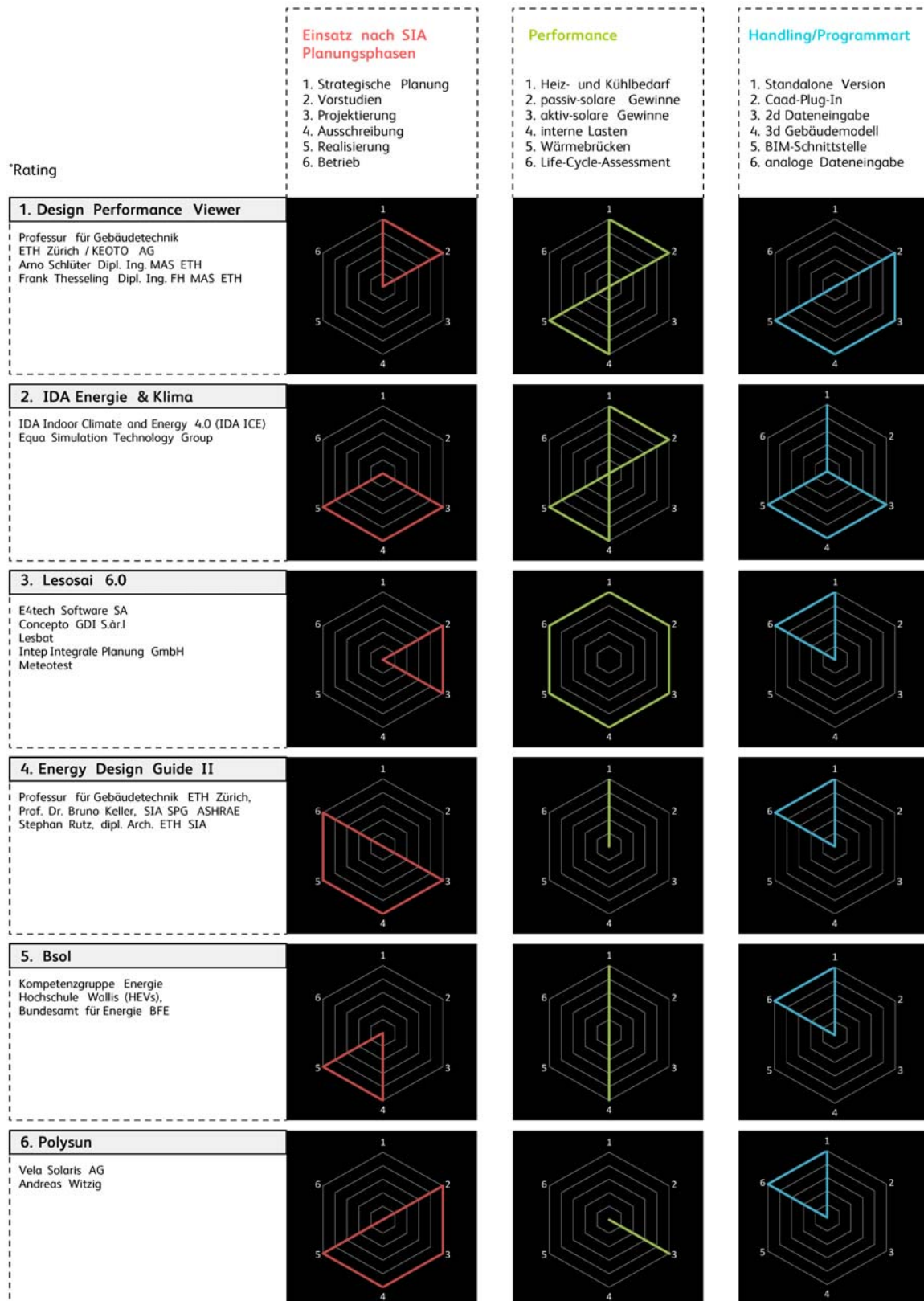


Abb. 40: Bewertung der einzelnen Simulationstools im Vergleich

Abb. 40 gibt einen Überblick über die Resultate der Bewertung der einzelnen Simulationstools in Bezug auf Kriterien der untersuchten drei Bereiche: 1. Planungsphasen, 2. Abfrageoptionen, Leistungsfähigkeit und Performance, sowie 3. Programmart und Handling, Dateneingabe und -ausgabe. Die Beurteilung der einzelnen Kriterien beruht auf einer ja-nein oder möglich-nicht möglich, etc. Bewertung. Zusammenfassend werden die Bewertungs- und Simulationstool wie folgt bewertet:

bSol

Art des Programms: Standalone
Einsatz in der Planung: Projektbewertung und z.T. auch Optionsanalyse
Systembetrachtung: Gebäude als System
Bewertung: Gutes normorientiertes Tool für Systemnachweis nach SIA 380/1 und Minergie, jedoch nicht in die Arbeitsumgebung des Architekten integriert

Energy Design Guide II

Art des Programms: Standalone
Einsatz in der Planung: Konzeptbewertung und z.T. auch Projektbewertung
Bewertung: Guter Ansatz mit Fokus nur auf das Gebäude ohne Haustechnik, jedoch nicht in die Arbeitsumgebung des Architekten integriert

Design Performance Viewer (DPV)

Art des Programms: Plug-In CAAD-basiert
Einsatz in der Planung: Konzeptbewertung und z.T. auch Projektbewertung
Bewertung: + In die CAAD-Umgebung integriert, sehr schnelles Feedback auf die spezifische Abfrage
– Zurzeit leider nur für Autocad-Revit verfügbar

Lesosai

Art des Programms: Standalone
Einsatz in der Planung: Projektbewertung und z.T. auch Optionsanalyse
Systembetrachtung: Gebäude als System
Bewertung: + Gutes, normbasiertes Tool für Systemnachweis nach SIA 380.1 und Minergie,
– Zurzeit nicht direkt, sondern nur über gbXML-Schnittstelle in die Arbeitsumgebung des Architekten integriert

Polysun

Art des Programms: Standalone, Plug-In für Lesosai
Einsatz in der Planung: Projektbewertung und z.T. auch Optionsanalyse
Systembetrachtung: Fokus auf Teilsystem „Wärmeerzeugung“
Bewertung: + Gutes Tool für die Auslegung und Berechnung des Haustechniksystems und die Evaluation von aktiv-solaren Komponenten und Geothermie
– Keine Energiebilanzen, nicht in die CAAD-Umgebung des Architekten integriert

IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE)

Art des Programms: Standalone
Einsatz in der Planung: Projektbewertung, und v.a. Optionsanalyse, sowie Betriebsoptimierung
Systembetrachtung: Anlage und Gebäude als System inklusive Regelungstechnik mit frei wählbarem Fokus (individuelle Detaillierungsmöglichkeiten für einzelne Gebäudebereiche oder Teilsysteme)

Bewertung: + Umfangreiches Tool mit IFC-Schnittstelle⁶² und Verwertung von BIM⁶³.
– Hohe Anforderungen an den Benutzer (Experten-Tool). Für Architekten sind in Spezialfällen allenfalls die zugehörigen Eingabeassistenten (IDA Raum, IDA Esbo) geeignet, ansonsten gehört das Programm in die Hände des Ingenieurs bzw. des Spezialisten.

e) Potential für den Einsatz in den verschiedenen Entwurfsphasen

Die Untersuchten Bewertungs- und Simulationstool 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, ...)
 - a. 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.

⁶² Industry Foundation Classes: CAAD-Schnittstelle für den Import und Export des intelligenten Gebäudemodells (BIM)

⁶³ Building Information Modeling: Methode der optimierten Planung, Ausführung und Bewirtschaftung von Gebäuden

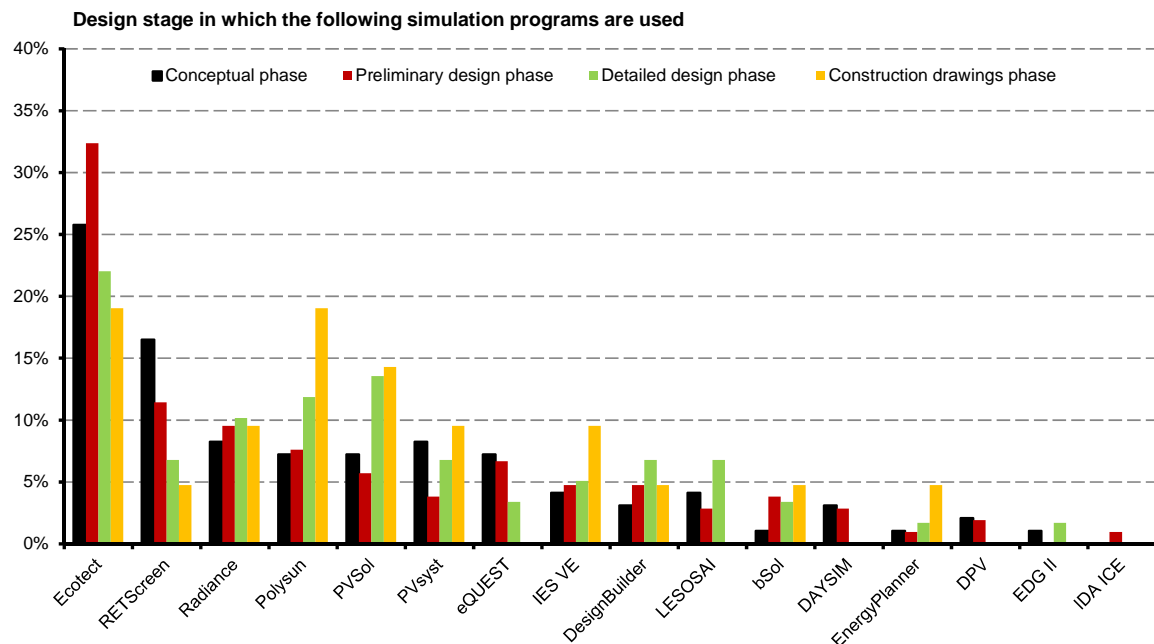


Abb. 41: Verwendung von Simulationstools in den verschiedenen Planungsphasen

Ein Vergleich zu einer internationalen Umfrage⁶⁴ zeigt, dass Ecotect und RETScreen wichtige Bewertungs- und Simulationstool für die strategische und frühe Entwurfsphase sind, gefolgt von Radiance, Polysun, PVSol, PVsyst und eQUEST. Eher unbekannt sind die in dieser Arbeit untersuchten Schweizer Bewertungs- und Simulationstool Lesosai, bSol, EDG II, DPV und IDA-ICE. Über alle Planungsphasen nimmt Polysun aufgrund der Wichtigkeit in der Projektierung und Ausführungsplanung eine wichtige Stellung in der Planung von solaren Gebäuden ein.

3.2.7. Zusammenfassung

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 CO₂, 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.

⁶⁴ Internationale Umfrage des IEA SHC Task 41

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. Forderungen an Datenbanken

Die Forderungen an die Datenbanken folgen ebenfalls dem Spannungsfeld "einfach, schnell, fehlerresistent" vs. „detailliert, genau, umfassend“. Eine Komponentendatenbank, welche sich an der linken Seite dieses Spannungsfeldes orientiert, ist einfach zu realisieren. Solche Datenbanken existieren deshalb auch in grosser Anzahl. Indem sie aber nicht untereinander verknüpft sind, berücksichtigen sie den integralen Planungsprozess aber nicht. Wird beispielsweise im frühen Planungsstadium der Entscheid „Dünnschicht-Solarzellen für die Südfassade“ gefällt, so gelangt diese Information – geschweige denn ihre Bedeutung – nicht vom Entwurfsbewertungs-Tool weiter an die Tools für die Projektbewertung oder für die Optimierungsprozesse in der Ausführungsplanung. Eine (noch nicht im Ansatz existierende) den integralen Planungsprozess unterstützende Datenbank sollte deshalb folgende Forderungen erfüllen:

- Umfassende Bibliothek von Datenobjekten, welche alle auf dem Markt erhältliche Produkttypen abdeckt (Produkttypen sind beispielsweise „3-fach-Wärmeschutzglas 0,5 W/(m²K)“, „Silizium-Dünnschichtzelle“, „Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Kolbenkompressor“, usw.)
- Unterschiedliche Datensätze für die unterschiedlichen Anforderungen der Tools (Wirkungsgrad, physikalische Kenngrössen, Graue Energie, CO₂-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 sind:

- Wetterdaten
- Nutzerprofile
- Baumaterialien -> Bauteile
- Gläser -> Fenster
- Verschattungsmaterialien -> Verschattungssysteme
- PV-Module
- Gläser/Dämmstoffe -> Thermische Kollektoren
- Speicher
- Lüftungskomponenten (WRGs, Ventilatoren, Aggregate, etc.)
- Wärmepumpen
- Kältemaschinen

- Umweltwärmetauscher (Erdregister, Erdsonden, Energiekörbe, Aussenluft-WT, etc.)
- Wärme/Kälteabgabe-Geräte (TABS, Radiatoren, Kühldecken, Konvektoren, etc.)
- Kennwerte für Lüftungsöffnungen
- Kennwerte für Doppelglasfassaden

3.3.2. Ausgangslage und Herausforderungen

In der Schweiz existieren folgende bekannte Datenbanken:

- SIA 2028 (40 Klimadatenätze)
- Meteonorm (Klimadaten-Generator)
- SIA 2024 (Nutzungstypen)
- bauteilkatalog.ch
- SIA-Tabelle Baumaterialien (EN, Herstellerangaben)
<http://www.sia.ch/download/baustoffkennwerte-110628.xls>
- materialsdb.org
- SIA 382/1 (Glastypen)
- Wärmepumpen-Testzentrum wpz.ch
- SPF Kollektor-DB <http://www.solarenergy.ch>
- (glad)
- (wis)

Im Weiteren existieren gute Testzentren, die jedoch keine systematische Datenpublikation haben:

- Hochschule Luzern, ZIG: WRGs, Kompaktlüftungsgeräte
- SUPSI: PV-Module

Die wenigsten der oben aufgeführten Datenbanken sind für die in der Planung verwendeten Bewertungs- und Simulationstool zugänglich. Häufig geschieht der Unterhalt der Daten und die Migration in die Tools – wenn überhaupt – von Hand. Es fehlt eine „Schirmherrschaft“ über die Datenbanken und deren Formate, wie auch die Publikation bzw. Zugänglichkeit der Daten. Die internationale BIM-Gemeinschaft plant die Erweiterung ihres Daten-Format-Standards auf solche Datenbanken. Auf diesen Standard müsste eine zentrale Schweizer Datenbank reagieren können. Vor allem der Koordinationsbedarf zwischen allen Beteiligten ist enorm.

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, hat die vorliegende Arbeit das Ziel, Möglichkeiten aufzuzeigen, die solare Nutzung als Teil eines gestalterischen Gesamtkonzeptes zu konzipieren. Hierfür ist es wichtig, die architektonisch relevanten Entscheidungen und die solaren Strategien in einem frühen Stadium aufeinander abzustimmen. Dies gilt 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 werden⁶⁵. 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“⁶⁶. Mit einer Mischung von gutem Design, energetischer Effizienz und Wirtschaftlichkeit steht der Akzeptanz und dem Erfolg des dezentralen „Kraftwerk Haus“ nichts mehr im Wege.

Seit Mitte der 90er Jahre sind gestalterische Fragen in Bezug auf die Art der Verwendung von solaren Systemen an Gebäuden vermehrt zum Thema geworden. Die Empfehlungen zur Auswahl und zur Anordnung von Energiekollektoren⁶⁷ von 1994 geht von den verfügbaren Produkten (Solarthermie und PV) aus und gibt Empfehlungen, wie diese auf Dächern zu platzieren sind. Dieser Ansatz ist rein technisch und abhängig von der Optimierung von Kollektoren oder PV-Anlagen in Bezug auf Kosten oder Nutzen. In diesen Fällen wird erst das Produkt optimiert und dann best möglich auf dem Dach platziert. Munari Probst⁶⁸ sieht die Verbesserung der architektonischen Qualität von Gebäudeintegrierten thermischen Systemen als wichtige Voraussetzung für die vermehrte Integration von Solarenergie in der Architektur. Wichtig für die architektonische Qualität sind konstruktive, funktionale und formale Aspekte. Letztere beinhalten die Grösse und Position der Kollektorflächen, das Material und die Oberfläche, die Farbe des Absorbers, Form und Grösse der Module und die Fugenausbildung. Diese Kriterien stellen einen wichtigen Schritt zur bewusste Gestaltung von solaren Systemen dar. Sie bleibt aber immer noch auf der technisch – rationalen Ebene. Luling⁶⁹ sieht Photovoltaik als integraler Teil der Gebäudehülle und spricht von (Bau)Materialien mit gestaltprägenden Eigenschaften. Damit verlässt sie die technische Betrachtung und beschreibt erstmals die sinnlichen Eigenschaften dieser technischen Produkte. „Bestimmende Eigenschaft der Photovoltaik ist ihre chamäleonartige und mimikryhafte Anpassungs- und Verwandlungsfähigkeit, in der ihr eigentlicher Reiz liegt.“⁷⁰ Sie geht einen Schritt weiter und stellt die Baukultur über die Technik. „Nicht Technik spielt die erste Geige, sondern Baukultur hat oberste Priorität, die haptisch-sinnliche Qualität erlebbarer Räumqualität.“⁷¹ Was hier zählt sind nicht die Produkte und Systeme per se, sondern die Wirkung, die sie auf die Betrachtenden haben und ob sie die Bedeutung – einer Sprache gleich – verstehen und entschlüsseln können. Damit kommen solare Strategien neuen Aufgaben mit neuen Lösungsmustern gleich, deren

⁶⁵ Vgl. das People-Place-Product Prinzip [Ehrbar, 2005]

⁶⁶ [Lüling, 2009]

⁶⁷ [Wasser und Energiewirtschaftsamt des Kantons Bern, 1994]

⁶⁸ [Munari Probst, 2009]

⁶⁹ [Lüling, 2009]

⁷⁰ [Lüling, 2009, 8]

⁷¹ [Lüling, 2009, 9]

Bedeutung – wie die Wörter einer Sprache – erlernt werden kann und muss. Dies ist eine wichtige Forderung, auf die die Technik reagieren muss, um eine breite Akzeptanz zu finden.

Die folgenden Abschnitte widmen sich den Prinzipien der Gestaltung der Fassade und Möglichkeiten der Gestaltung von bestehenden Fassaden mit solaren Elementen. Dabei liegt der Fokus nicht auf den verfügbaren aktiv-solaren Produkten, sondern auf der Gestaltung der Fassade und deren Wirkung.

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 den folgenden Ausführungen wird der Fokus auf die Aspekte Material, Konstruktion, Ornamentik und Symbolik gelegt.

Wirkung

Wir betrachten die Gebäudehülle als ein Bauelement, das je nach architektonischem Konzept und Materialisierung unterschiedlich wirken kann. Grundlegende Möglichkeiten sind die monolithische Wirkung, aus wenigen Materialien bestehend⁷² (Abb. 42, links.), die tektonische Wirkung mit Trägerstruktur und Ausfachung (Abb. 42, 2.v.l.), der Schichtenaufbau mit transparenter Wirkung⁷³ (Abb. 42, 3.v.l.) oder die Wirkung als Baukörper mit umgebender Hüllschicht.⁷⁴ (Abb. 42, r.).



Abb. 42: Wirkung der Gebäudehülle (Quelle: 2.v.l.: www.cgtextures.com, 2010)

Welche Wirkung ein Gebäude hervorruft, ist sowohl vom Gebäudetypus als auch von jeweils zeittypischen Merkmalen dieses Typs in der Fassadengestaltung abhängig. Mitunter unterscheidet sich die Fernwirkung von Gebäuden von ihrer Nahwirkung.

⁷² „Monolithische Gebäudehüllen liegen im Trend“, heisst es in einem Leitartikel der Fachzeitschrift Detail vom Mai 2009. Und weiter: „Nach Jahren des ‘Anything goes’ verlassen sich immer mehr Architekten auf eine begrenzte Anzahl an Materialien und Oberflächen, um ihren Gebäuden Kraft und Atmosphäre zu verleihen.“ [Rossi et al., 2009, 428]

⁷³ Vgl. hierzu Rowe, Slutzky, die in ihrem gleichnamigen Grundlagentext der Architekturtheorie „Transparenz“ als räumliche Ordnung einer Schichtung auffassen (Rowe, Slutzky, 1968). Die Idee der (gleichzeitig wahrnehmbaren) Schichtung lässt sich als Ergänzung der Bedeutung von „Transparenz“ als Durchsichtigkeit verstehen, auch wenn dies von Rowe und Slutzky nicht so intendiert war.

⁷⁴ Vgl. hierzu Loos, der in seiner von Sempers Bekleidungstheorie inspiriertem Aufsatz „Bekleidung als Princip“ von 1898 von der Umhüllung von Materialien gutheisst, sofern die Hülle nicht vorgibt, das Material selbst zu sein (Loos, 2004).



Abb. 43: Scraffito Haus, Bergell



Abb. 44: Riegelhaus, Stein am Rhein

Material

Die Wirkung wird von den Oberflächenmaterialien beeinflusst. Ganze Regionen wurden historisch durch die Einheitlichkeit der Baumaterialien geprägt (Abb. 43 und Abb. 44). Als wichtigste Oberflächenmaterialien seien hier Holz, Stein, Backstein, Putz, Beton, Eternit, Glas, Keramik und Metall genannt. Eine Erweiterung durch neue Materialien umfasst vor allem auch Kunststoffe oder Textilien.⁷⁵ Das Bauen in der Schweiz orientiert sich sowohl historisch als auch in der Gegenwartsarchitektur daran, nur wenige Materialien für die Gestaltung einer Fassade zu kombinieren. Anders beispielsweise in Grossbritannien oder Nordamerika, wo viele zeitgenössische Architekten die Materialmischung zur Gestaltungsmaxime erhoben haben (Abb. 45 und Abb. 46). Tab. 12 gibt einen Überblick über gängige Fassadenmaterialien der Schweiz.



Abb. 45: Wohn- und Gewerbehaus, Quebec



Abb. 46: Adelaide Wharf, East London (Quelle: www.flickr.com, 2011)

⁷⁵ Für eine Auswahl neuerer Konstruktions- und Fassadenmaterialien siehe Arch plus 172 (2004)

Material	Struktur / Oberfläche	Farben	Format
Backstein Kalkstein Sandstein Naturstein Natursteinplatten Kunststeinplatten Keramikplatten	bruchroh, geschliffen, poliert, sandgestrahlt, geflammt	grau-schwarz, gelblich- grünlich, rötlich-bläulich, weiß, braun Oberfläche je nach Behandlung, matt, glänzend, rau	Für Massivbau verschiedene Steinformate 120-180x250x65-140mm Platten in allen Grössen möglich.
Ortbeton Betonelemente	je nach Schalungstafel, glatt, Bretterschalung, Holzstruktur, Waschbeton, gestrahlt, sandgestrahlt, gespitzt	unbehandelt weiss-grau, eingefärbt alle Farben möglich	abhängig von Schalungstafeln Standard: 2500x1250mm 1250x2500mm 1500x3000mm
Holz Holzwerkstoffe	Schalung horizontal oder vertikal, Schindeln	Verwitterung von unbehandelten Oberflächen, braun-grau, durch Anstrich alle Farben möglich	verschiedene Grössen für Bretter und Schindeln unterschiedliche Plattenformate möglich
Metalle und Bleche	Paneele, Streckmetall, Bleche	unterschiedliche Oberflächenbehandlung, alle Farben möglich	alle Formate erhältlich
Kunststoffe	Luftkissen, Wellplatten, freie Formen	durch eingefärbtes Material alle Farben möglich	keine Einschränkungen im Format, meist Sonderanfertigung
Glas	Platten, Glasbausteine, verschiedene Strukturen möglich	weiss, durchsichtig, matt, glänzend, geschliffen, oder eingefärbt in allen Farben	max. Spannweite Glas: 3000x6000mm Standard Bausteine: 19x19x8/ 10mm 24x24x8mm
Eternit	je nach Bearbeitung alle Strukturen möglich, meist glatt	Durch eingefärbtes Material alle Farben möglich	Unterschiedliche Standardformate erhältlich: 75x60mm - 3070x1250mm
Aussendämmung	verputzt, gespritzt, besenstrich, geschlemmt, geworfen	durch Anstrich alle Farben möglich	Flächiges Material

Tab. 12: Überblick über gängige Fassadenmaterialien

Konstruktion

Je nach Materialverwendung variiert auch die Oberflächenfügung. Während Sichtbeton oder Putz gleichartig strukturierte Oberflächen hervorbringen, können Metall- und Glasoberflächen in Paneelen verschiedener Grösse angebracht werden. Relativ kleinteilig ist die Schichtung von Backsteinen oder Keramikplatten; Holzfassaden können je nach Grösse der Elemente grossflächig aufgeteilt (Paneele aus Holzwerkstoffen) linear geschichtet (Verwendung von Brettern) oder kleinteilig aufgebaut sein (Holzschindeln).

Die Fügung der Materialien verleiht der Gebäudehülle eine im Verhältnis zur Gebäudemasse kleinteilige Strukturierung durch die entstehenden Fugenbilder. Dies kann je nach Wahl der Schichtung (glatt, überlappend, mit oder ohne vertiefte Fugenausbildung) mit unterschiedlichen Licht- und Schatteneffekten einhergehen. Dadurch entsteht eine materiell bedingte Ornamentik, die von der Oberflächenbeschaffenheit des Materials beeinflusst wird. Das Material wird so geformt, dass es selbst zum Ornament wird (Abb. 47). Bei den unregelmässigen Oberflächen von Holz oder Backstein ist die Wirkung des Materials belebter als bei den glatten Oberflächen von Glas oder Metall.

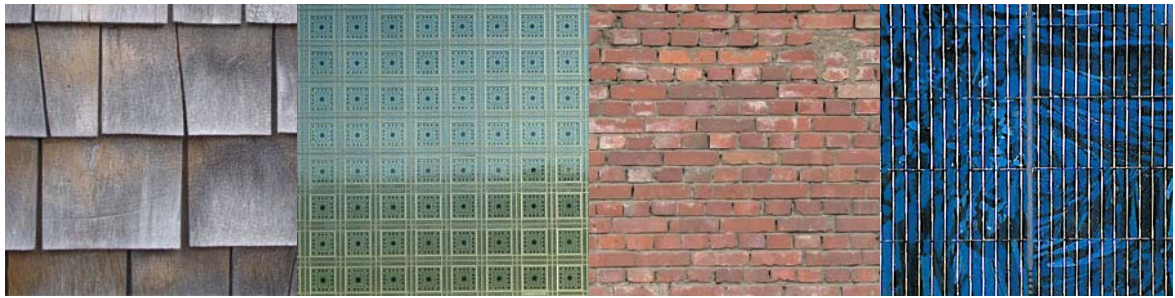


Abb. 47: Fugenbilder (Quelle 1.v.r.: www.cgtextures.com, 2010, Quelle: 2.v.r.: Hagmann, 2002)

Ornamentik

Die ornamentale Gestaltung von Fassaden ist jedoch nicht nur mithilfe von Materialeigenschaften oder konstruktiv möglich. Auch das Aufbringen von Mustern, Inschriften oder Bildern auf die Gebäudehülle ruft ornamentale Effekte hervor. Dabei gehen wir über die herkömmliche Definition des Ornaments als Ausbildung von Mustern hinaus, wie sie sich beispielsweise in folgender Definition findet: „Ein Ornament (von lat. ornare, 'schmücken, zieren') ist ein meist sich wiederholendes, oft abstraktes oder abstrahiertes Muster. Ornamente unterscheiden sich von Bildern im klassischen Sinne dadurch, dass ihre narrative Funktion gegenüber der schmückenden Funktion in den Hintergrund tritt.“ (Gleiter, 2008, 79). Gerade in der neueren Architektur werden Schriftzeichen und Bilder dekorativ verwendet, ohne ihren narrativen Gehalt einzubüssen.⁷⁶ Wir betrachten vielmehr auch Schrift und Bild als Teil der ornamentalen Wirkung einer Fassade.

Ornamente können in unterschiedlicher Weise eingesetzt werden. Nach der Verabschiedung der traditionellen Bauornamentik durch die Moderne⁷⁷ ist das Ornament in den letzten Jahren vor allem als Flächenornament in die Architektur zurückgekehrt. Historische Beispiele für flächige Ornamente finden sich vor allem bei der Verwendung von Keramikplatten als Fassadenbekleidung.⁷⁸ Hierbei besitzen die einzelnen Platten Muster, die durch die serielle Verlegung zu grösseren, sei es regelmässigen oder unregelmässigen Strukturen addieren (Abb. 48). Die Wirkung von grossen Keramikflächen ist durch die entstehenden Strukturen und den Farbeindruck geprägt, der durch die Wahrnehmung der kleinteiligen Muster aus der Ferne entsteht.

Durch neue Techniken, wie die CNC-Fräse, können auch ganze Bauteile, seien es konstruktive Elemente, Fassadenverkleidungen oder Balkongeländer ornamental gestaltet werden und als abstraktes Muster wirken, das aus kleineren Elemente addiert ist (siehe Abb. 48, 2. v. l.).



Abb. 48: Muster-Ornamente (Quelle 2.v.r.: www.cgtextures.com, 2010)

⁷⁶ So arbeitet beispielsweise auch der Architekturtheoretiker Jörg Gleiter an einer zeitgenössischen Fundierung des Ornaments im digitalen Zeitalter, welche die Definition von Ornament als Dekoration überwindet (siehe Gleiter, 2008).

⁷⁷ Zu den verschiedenen Formen der Bauornamentik siehe Pevsner et al., 1992, 77

⁷⁸ Für historische Beispiele, sowie Beispiele für die Verwendung von Keramikfassaden vom Jugendstil bis heute siehe Kaltenbach 2010, „Glanz für Jahrtausende – Die Wiederentdeckung der Glasurkeramik“.

In der neueren Architektur entstehen ornamentale Oberflächen häufig durch die Aufbringung von Pixeln. Diese können, analog zur traditionellen Keramikfassade, seriell als sich addierende Muster aufgebracht werden. Immer häufiger ist aber auch eine bildhafte Verwendung, bei der die Pixel als Rasterpunkte eines Bildes fungieren. Die technischen Möglichkeiten erlauben auch eine Mischform, bei der wiederkehrende Muster sich unregelmässig überlagern, wie dies beispielsweise bei der Fassade der Universitätsbibliothek in Cottbus von Herzog & de Meuron (Abb. 49, links) der Fall ist.

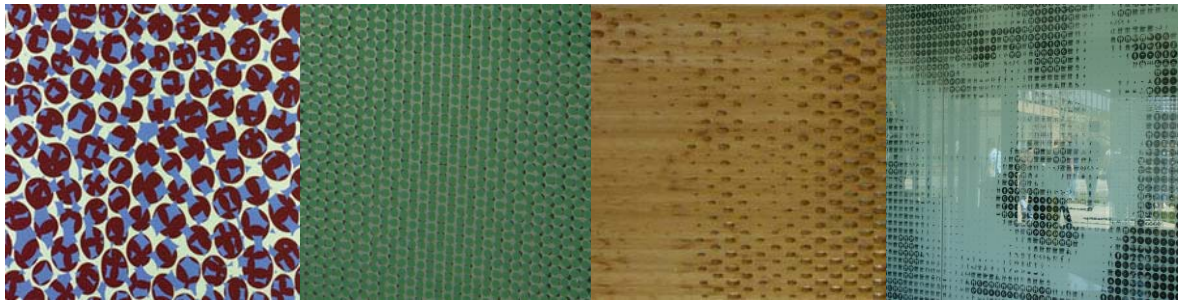


Abb. 49: Pixel-Ornamente (Quelle l.v.l.; www.cgtextures.com, 2010)

In der neueren Architektur entstehen ornamentale Oberflächen häufig durch die Aufbringung von Pixeln. Diese können, analog zur traditionellen Keramikfassade, seriell als sich addierende Muster aufgebracht werden. Immer häufiger ist aber auch eine bildhafte Verwendung, bei der die Pixel als Rasterpunkte eines Bildes fungieren. Die technischen Möglichkeiten erlauben auch eine Mischform, bei der wiederkehrende Muster sich unregelmässig überlagern, wie dies beispielsweise bei der Fassade der Universitätsbibliothek in Cottbus von Herzog & de Meuron (Abb. 50, links) der Fall ist.



Abb. 50: Bibliothek BTU Cottbus (l.) (Quelle: www.fotoclub-ost.de), Bibliothek FH Eberswalde (m), Quelle: www.wikimedia.org, Espace 400° Bell, Quebec (r.)

Symbolik

Wird die Fassade als Träger symbolischer Gehalte betrachtet,⁷⁹ kann der Inhalt der Inszenierung sehr unterschiedlich sein. Bereits 1992 fordern die 30 Unterzeichner der „Europäischen Charta für Solarenergie in Architektur und Stadtplanung“, dass die Verbreitung von Solararchitektur auf die Schaffung von Bildern angewiesen sei. Zur Gestaltung, die nicht als eigenes Thema firmiert, sondern unter die Aufgabe von Planenden und Architekten subsumiert ist, heisst es dort: „Neue Gestaltungskonzepte sind zu entwickeln, welche die Sonne als Licht- und Wärmequelle bewusst machen, weil allgemeine öffentliche Akzeptanz nur mit bildhaften Vorstellungen vom solaren Bauen zu erreichen ist.“⁸⁰ Die Aussage der Charta ist im Hinblick auf die Notwendigkeit, Akzeptanz für solare Bauweise bei den Planenden wie den Nutzenden zu erlangen, immer noch aktuell. Gestaltungsmöglichkeiten für verschiedene hier vorgeschlagene solare Strategien, die auch den Aspekt der Inszenierung berücksichtigen, werden zunächst an einem Beispiel erläutert (4.1.1.), um Aspekte der Gestaltung von Büro- und Geschäftsbauten ergänzt (4.1.2.) und unter 4.1.3. zusammenfassend dargestellt.

4.1.1. Mehrfamilienhäuser

In einer Untersuchung der ästhetischen Wirkung von Fassaden auf Laien hat Elisabeth Hefler⁸¹ gezeigt, dass die Akzeptanz von Fassadengestaltungen grösser ist, wenn diese eine gestalterische Vielfalt aufweisen und an Gewohntes erinnern.⁸² Die gezeigten Vorschläge für die Gestaltung der Fassaden nehmen daher bewusst ein Referenzmotiv aus dem Bestand auf, das in Bezug auf die Siedlung vertraut ist. Durch diese Art der ornamentalen Verwendung könnten die aktiv-solaren Elemente zur Entschlüsselung der noch nicht kodifizierten Bedeutung der solaren Produkte und somit insbesondere auch zu einer neuen Symbolik der Solarenergie im Wohnungsbau beitragen.

Siedlung Elfenau

Das in dieser Studie untersuchte Beispiel der Siedlung Elfenau in Luzern aus den 1950er Jahren weist typische Merkmale auf, so zum Beispiel die Entsprechung von Fenstergrössen und Raumfunktionen (kleine Formate für die Funktionsräume wie Bäder und Küchen, mittlere Formate für Schlafräume, grösseres Format mit Balkontür für den Wohnbereich) und die konsequente Anordnung der Fenster nach der Lage der Räume. Da die Wohnungen in den verschiedenen Geschossen gleich geschnitten sind, liegen gleiche Fensterformate übereinander. Horizontal entsteht ein unregelmässiger Wechsel von verschiedenen Fensterformaten und kleineren und grösseren Putzflächen. Diese für die 1950er Jahre typische Anordnung der Fenster führte dazu, dass die Putzfläche der Giebelfassade von prominent gelegenen Gebäuden zur Anbringung von Wandbildern genutzt wurde. Die energetische Untersuchung des Mehrfamilienhauses der Siedlung Elfenau (Kapitel 2.2.3.) hat gezeigt, dass auf dem Dach und an den Fassaden, insbesondere der nach Südost orientierten Giebelfassade, grosse solare Gewinne erzielt werden können. Bei der Festlegung der Sanierungsstrategien könnte der Einbezug des Dachs und der Giebelfassade zur Nutzung von Solarenergie die Verluste über die Südwest- und Nordostfassaden, wo eine energetische Sanierung

⁷⁹ Der Architekturtheoretiker Mark Wigley hat in seiner Interpretation der Bekleidungstheorie von Gottfried Semper die Gebäudehülle als „dissimilating fabric“ bezeichnet, welcher nicht die Aufgabe zukommt, konstruktive Wahrheit zu zeigen, sondern die vielfältiger symbolischer Aufladung dienen kann. Als „dissimilating fabric“ ist die Fassade für die „fabrication of architecture“ grundlegend (Wigley 1992, 368).

⁸⁰ Herzog et al., 1992, 314. Bei der Charta handelt es sich „um ein offizielles Dokument der Europäischen Kommission DG XII, das im Rahmen eines READ-Projektes (Renewable Energies in Architecture and Design) erarbeitet und im Rahmen der vierten Europäischen Konferenz über Solarenergie in Berlin 1996 publiziert wurde“ (Einführungstext zur Charta, Herzog, 1992, 313.).

⁸¹ [Hefler, 2010]

⁸² Siehe hierzu auch [Sadalla et al., 1993]

grosse gestalterische und finanzielle Konsequenzen hätte, kompensieren. Die aktiv-solare Nutzung der stark strukturierten und teilweise eigenbeschatteten Südwest- und Nordostfassaden empfiehlt sich daher nur als Teil einer das ganze Gebäude umfassenden energetischen Sanierungsstrategie (Abb. 51). Die folgenden Beispiele zeigen, wie aktiv-solare Elemente zum integralen Bestandteil von Fassaden der 1950er Jahre werden und gleichzeitig mit der Akzeptanz der Nutzenden rechnen können.



Abb. 51: Siedlung Elfenau, Luzern, Ansicht SW- und SO-Seite, Treppenhaus, Ansicht NO-Seite

Die charakteristische, grosse Putzfläche der Giebelfassade (Abb. 51, links) eignet sich sowohl für eine effiziente Wärmedämmung als auch zur Gewinnung von Solarenergie. Das Vorhandensein grösserer zusammenhängender Putzflächen, wie es für die Zeit typisch ist, lässt es zu, dass eine einzelne Fassade gegenüber dem Gesamtbaukörper als Fläche betont wird. Ein „Auseinanderfallen“ des Volumens in einzelne Flächen kann durch die aufeinander abgestimmte Farbgebung der einzelnen Fassaden verhindert werden. In Anlehnung an die Resultate der Untersuchung von Hefler⁸³ wird bei der Gestaltung der nach Südost ausgerichteten Giebelfassade auf ein typisches Muster der 1950er Jahre zurückgegriffen, das die Podestwände des Treppenhauses schmückt (Abb. 51, Mitte). Dieses soll mit Hilfe der aktiv-solaren Elemente auf der Giebelfassade wieder aufgenommen werden (vgl. dazu Kapitel 4.3).

Auf den ersten Blick ist die direkte Übertragung der Innenraumfarbigkeit in den Aussenraum – in diesem Fall handelt es sich um ein kräftiges Rot – ungewohnt. Die starke Farbigkeit der Giebelfassade lässt sich aber in ein farbiges Gesamtkonzept für die Siedlung und ihre Gebäude integrieren (Variante 1, Abb. 52). Möglich ist auch die Interpretation des Musters durch die Wahl eines anderen, zurückhaltenderen Farbtons und dessen farbige Abstimmung mit den übrigen Bauteilen, wie beispielsweise die Balkonbrüstungen (siehe Variante 2, Abb. 53).

⁸³ [Hefler, 2010]



Abb. 52: Siedlung Elfenau, Luzern, Variante 1



Abb. 53: Siedlung Elfenau, Luzern, Variante 2

Die Südwestfassade ist aufgrund des hohen Fensteranteils der Eigenbeschattung durch die Balkone für die aktiv-solare Nutzung der Putzflächen weniger geeignet als die Giebelfassade. Hier könnten aber die massiven Balkonbrüstungen für eine aktiv-solare Nutzung herangezogen werden. Diese können eine eigene Farbigkeit erhalten, die die Balkone als schräg hervorspringende Architekturelemente in ihrer Skulpturalität noch betont. Hierdurch würde eine weitere typische Eigenschaft des Gebäudes in Szene gesetzt. In der Visualisierung von Variante 2 wurde ein Blauton gewählt, der in der Umsetzung selbstverständlich mit dem Farbkonzept für die weiteren Fassadenflächen abgestimmt werden kann. Denkbar wäre auf der Südwestseite zudem die Integration von Photovoltaik in die Markisen (textiles Element) im Balkonbereich und die Sonnenstoren⁸⁴. Damit könnte eine grosse Synergie geschaffen werden: Die Storen und Markisen kommen immer dann zum Einsatz, wenn die Sonne scheint. Der so produzierte Strom könnte somit den Verlust des natürlichen Lichts im Innenraum kompensieren. Dies könnte direkt in Form von in die Storen integrierten LED Systemen oder über die Stromverteilung und die Gebäudebeleuchtung geschehen.

Die oben genannten Strategien, die Ornamentierung der Giebelwand, die Umgestaltung der Balkone wie auch die Aktivierung der Beschattungselemente lassen sich frei kombinieren.

Variante 3 und 4 (Abb. 54 und Abb. 55) zeigen zwei farblich unterschiedlich gestaltete Fassaden, deren Giebelfassade mit einem Referenzmotiv aus der unmittelbaren Umgebung versehen ist. Die Solarpaneele der Giebelwand werden in Anlehnung an die Wirkung des Baumbestandes im Winter mit einem Muster bedruckt, das Äste und Zweige darstellt. Diese Strategie ist eng an die Erfahrung jedes Einzelnen geknüpft: Der gleiche Effekt könnte sich auch bei der Beschattung der Giebelfassade durch einen Baum ergeben. Variante 5 (Abb. 56) vertieft das Pflanzenthema mit einer räumlich stark strukturierten Solarfassade. Beispiele dieser neuartigen Produkte werden in Kapitel 4.3.3. vorgestellt. In Variante 5 zeigt eine energetische Sanierung mit grosser Konsequenz für das Gebäude. Nebst der gesamten Gebäudehülle werden auch die Balkone zu Wintergärten transformiert. Die verglasten Balkone können in den Wintermonaten – je nach Disposition des Gebäudes – markante passive Solargewinne erbringen (vgl. Kapitel 2.2.3.). In den Sommermonaten müssen sie entfernt oder angemessen beschattet werden, um eine Überhitzung des Gebäudes zu verhindern. In dieser radikalen Form der Verwandlung werden zusätzlich zu den Balkonbrüstungen und der Verglasung der Balkone

⁸⁴ Ob diese Art der Nutzung von Photovoltaik aus technischen Gründen (Abnutzung, Verschmutzung, Kleinteiligkeit) je umgesetzt werden kann, ist noch offen. Erste Beispiele finden sich unter [www.windturbine.cc, 2010] und [www.dickson-constant.com, 2011].

die Dachvorsprünge entfernt und die ganze Gebäudehülle mit aktiv-solaren Trägern des Treppenhausornaments versehen⁸⁵.



Abb. 54: Siedlung Elfenau, Luzern, Variante 3



Abb. 55: Siedlung Elfenau, Luzern, Variante 4



Abb. 56: Siedlung Elfenau, Luzern, Variante 5



Abb. 57: Siedlung Elfenau, Luzern, Variante 6

Beispiel Horwerstrasse, Kriens

Als zweites Beispiel wurde eine Wohnüberbauung an der Horwerstrasse in Kriens (Abb. 58) gewählt. Bei der Überbauung sind die Wohneinheiten und die dazwischen liegenden Erschliessungstürme als horizontal und vertikal gestaffelte Kuben angeordnet. Die Balkone mit der zeittypischen Lochbrüstung aus Beton treten wie herausgezogene Schubladen volumetrisch aus den Kuben der Wohneinheiten hervor. Während die Grundfarbe der Gebäudevolumen hell ist, sind die Brüstungselemente der Fassaden in einem dunkleren Grau gehalten. Neben diesem Farbwechsel bilden die Lochbrüstungen das wesentliche Ornament des Baus und prägen sein Erscheinungsbild. Sie wurden daher als Referenzmotiv für die Gestaltung der aktiv-solaren Elemente gewählt.

In der hier gezeigten Variante 1 (Abb. 59) interpretieren an den Erschliessungstürmen angebrachte, transparente Photovoltaik-Module das Lochmuster der Balkonbrüstungen. Durch die helle Farbe des

⁸⁵ Wärmetechnische Sanierungen von Gebäuden in dieser radikalen Form sind nicht unüblich. In den wenigsten Fällen wird dabei eine Aktivierung der neuen Verkleidung in Betracht gezogen. Dadurch verliert das Gebäude kulturhistorisch gesehen grossen Wert, ohne dass das energetische Potential ausgeschöpft wird. Eine Abwägung des energetischen Nutzen und des kulturhistorischen Werts sollte aber in jedem Fall bewusst gemacht werden.

Untergrundes und die dunkle Wirkung der Solarzellen besitzt dieses Muster Ähnlichkeiten mit der Schattenwirkung der Brüstungslöcher. Die Verteilung der Solarzellen zeichnet die Besonnung der Fassadenflächen nach. In den beschatteten Bereichen nimmt auch die Anzahl der Solarzellen ab und das Muster löst sich allmählich auf. Zusätzlich wurden Photovoltaik-Module in unterschiedlicher Verteilung auf die Brüstungselemente aufgebracht⁸⁶.

Wie im Beispiel der Siedlung Elfenau nehmen in den Varianten 2 und 3 (Abb. 60 und Abb. 61) die Wandflächen der Treppentürme und die Brüstungselemente die Thematik des Baumbestandes im Winter wieder auf. Die beiden Varianten zeigen, wie durch das Spielen mit unterschiedlichen Farbigkeiten die Wirkung des Gebäudes beeinflusst werden kann.



Abb. 58: Horwerstrasse, Kriens, Bestand



Abb. 59: Horwerstrasse, Kriens, Variante 1



Abb. 60: Horwerstrasse, Kriens, Variante 2



Abb. 61: Horwerstrasse, Kriens, Variante 3

4.1.2. Büro- und Gewerbebauten

Grundsätzlich bieten Büro- und Gewerbebauten weniger Hindernisse für die Integration von solaren Paneelen. Dies ist unter anderem dadurch bedingt, dass grössere Flächen für eine Bestückung mit Solarpaneelen zur Verfügung stehen. Neben grösseren Dachflächen sind auch die Fassaden von Büro- und Gewerbebauten häufiger als einheitliche Flächen gestaltet (Stichwort „Vorhangfassade“). Die dafür verwendeten Materialien wie Glas oder Metall eignen sich per se zur Integration von aktiv-solaren Produkten, deren Oberfläche ebenfalls aus Glas oder Metall besteht (Abb. 62 und Abb. 63). Die

⁸⁶ Grundsätzlich wäre diese Art der Gestaltung auch mit thermischen Kollektoren möglich.

grossflächige Gestaltung der Fassaden eignet sich sowohl für ornamentale Muster als auch für eine bildhafte Gestaltung, die zu Werbezwecken eingesetzt werden kann. Die Kombination von PV-Zellen mit LED ermöglicht Lichteffekte. Insgesamt ist die Akzeptanz eines „technischen Erscheinungsbildes“ bei Büro- und Gewerbebauten höher als beim Wohnungsbau.

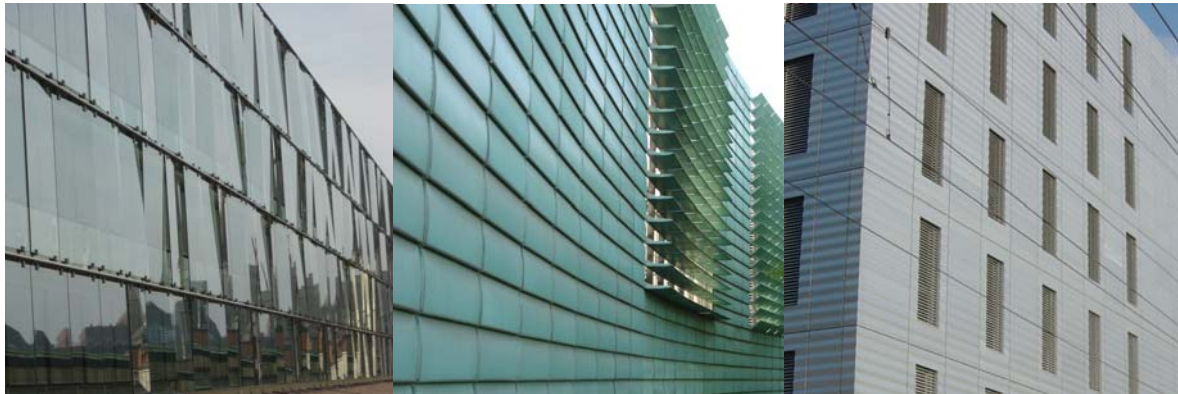


Abb. 62: Materialisierungen von Bürofassaden



Abb. 63: Materialisierungen von Bürofassaden

Anhand einer Studienarbeit⁸⁷ konnte gezeigt werden, dass in der Verknüpfung von aktiv-solaren Fassaden und Corporate Identity noch sehr viel Potential liegt. Abb. 64 und Abb. 65 zeigen das Beispiel einer mit dem Logo des Transportunternehmens aktivierten Hüllflächen einer Busstation. Für die Gestaltung der Wand- und Dachflächen stehen drei verschiedene Wafer-Typen zur Verfügung: Typ 1 ist ein ganzes Element, Typ 2 ist ein Element mit einem Logo (reduzierter Stromertrag) und Typ 3 ist ein Element mit drei Logos (Dummie). Diese Wafer-Typen können so in die verglasten Hüllflächen der Busstation (Dach und Wände) eingebaut werden, dass sie ein übergeordnetes Bild erzeugen, das eine Charakteristik des jeweiligen Standortes aufnimmt und somit zum unverwechselbaren Markenzeichen der Haltestelle wird.

⁸⁷ [Tiric et. al, 2011]



Abb. 64: Aktiv-solares Corporate Identity
(Quelle: Tiric et al., HSLU, 2011)

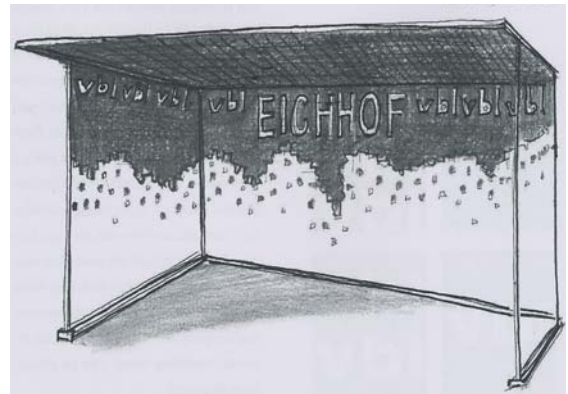


Abb. 65: Konzeptskizze der Busstation
(Quelle: Tiric et al., HSLU, 2011)

4.1.3. Zusammenfassung

Die Beispiele der Luzerner Siedlung Elfenau und des Wohnhauses Horwerstrasse in Kriens zeigen, dass es möglich ist, bestehende Eigenschaften von Wohngebäuden durch den Einsatz von Solarpaneelen im Sinne eines Material- bzw. „Stoffwechsels“⁸⁸ neu zu interpretieren. So kann die Tapete des Treppenhauses in der aktivierten Fassade interpretiert werden 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. 66 und Abb. 67 zeigen die gestalterische Nähe eines traditionellen Gebäudes und eines neuen Minergie-Gebäudes. Trotz kultureller und konstruktiver Unterschiede könnte dieses Beispiel Vorbild für eine zeitgerechte Bauerneuerung sein.



Abb. 66: Klinkerfassade Altstadtthaus, Lissabon



Abb. 67: Minergie Fassade, Renggli AG, in Sursee

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

⁸⁸ 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.)

entscheidend sein, sondern im Sinne des Gesamterscheinungsbildes des Gebäudes entworfen und gestaltet werden. Denn, die Lösung für jemanden kann nur die Lösung mit jemandem sein⁸⁹.

4.2. Verwendung von aktiv-solaren Strategien

Die Möglichkeiten für eine Verwendung von aktiv-solaren Produkten sind vielfältig. Grundsätzlich sind am Gebäude drei Strategien 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. In den folgenden Abschnitten wird kurz auf die drei Möglichkeiten der Verwendung von aktiv-solaren Produkten am Gebäude, die Addition, die Integration und die Fusion, eingegangen.

4.2.1. Addition

Um ein Gebäude möglichst unangetastet zu lassen, können aktiv-solare Produkte auf bestehende Bauelemente (Dach oder auch Fassade) aufgesetzt werden. Diese Variante greift minimal in die Bausubstanz ein und ist reversibel. Aufgrund dieser Eigenschaft ist die Addition eine gute Option für Schutzobjekte. Heute wird Addition oft mit schlechter Gestaltung in Verbindung gebracht. Dies muss aber nicht so sein, wenn anstelle einer nutzungs- oder kostenoptimierten Lösung eine Design-optimierte Lösung zum Zuge käme. Das Beispiel der Kirche in Steckborn⁹⁰ (Abb. 68) zeigt, wie Photovoltaik-Module⁹¹ auch als Dekoration im Sinne eines Bildes verstanden werden können.

4.2.2. Integration

Bei der Integration werden aktiv-solare Produkte in die Gebäudehülle integriert und übernehmen dabei Funktionen des äusseren Fassadenabschlusses oder ersetzen ein Bauelement. Sie können alleine oder in Kombination mit den anderen Materialien eingesetzt werden. Aktiv-solare Produkte werden heute meist in Dachflächen und in kleinerem Umfang auch in Fassaden, Balkonbrüstungen oder festen Beschattungselemente integriert. Dabei erscheinen sie nicht nur als technische Produkte, sondern auch als Bauteile, die eine Doppelfunktion⁹² übernehmen. Während die technischen Details bei der Integration von aktiv-solaren Produkten in der Regel sehr gut gelöst sind, wirkt deren Gestaltung oft noch befremdend. Durch die Verwendung von Dummies (nicht aktiven Elementen), einer Anlehnung an für die Bauaufgabe übliche Materialien (Grösse, Proportion, Farbe, Oberflächenbeschaffenheit, etc.) oder einer gut aufeinander abgestimmten Komposition der verwendeten Materialien könnte hier einiges erreicht werden. Ein sehr schönes Beispiel hierzu bietet das Siegerprojekt des Solar Decathlon in Washington 2009 der TU Darmstadt (Abb. 69). Trotz technisch und gestalterisch ansprechender Integration bewirkt die Integration keine Veränderung am Gebäude oder an der gestalterischen Absicht des Gebäudes; die Integration bleibt auf die Einbindung in die Gebäudehülle beschränkt.

⁸⁹ Leitsatz von Jürg Neubert in: Module für das Haus der Zukunft [Fischer, et. al, 2009]

⁹⁰ Architektonisch sehr schöner Gebäudekomplex, der (noch) nicht geschützt ist.

⁹¹ Die Solaranlage der Kirche in Steckborn (erbaut 1961-63 nach dem Projekt der Architekten Karl Zöllig aus Gossau und Hermann Schmidt aus Sirnach) wurde im April 1998 in Betrieb genommen. Die Anlage besteht aus 150 m² rahmenlose Solarmodulen (Siemens M65) und einer Nennleistung von 19,4 kWp. Seit dem Einsatz des neuen Wechselrichters kann ein Jahresertrag von bis zu 12 MWh erreicht werden. [www.solarverein.org, 2010]

⁹² Solare Produkte, die eine Doppelfunktion übernehmen, sind aus Sicht der Nachhaltigkeit zu präferenzieren.



Abb. 68: Katholische Kirche Steckborn
(Quelle: www.alt-steckborn.ch, 2011)



Abb. 69: Solar Decathlon TU Darmstadt, 2009 (Quelle: Hegger, 2009)

4.2.3. Fusion

Die Fusion geht ein Schritt weiter als die Integration. Sie steht für eine Integration der aktiv-solaren Strategien in das Konzept, die Planung und die Auslegung des Gebäudes, das Eins-werden mit dem Gebäude. Die solaren Produkte müssen nicht zwingend in die Gebäudehülle integriert sein, solange sie die ganzheitliche Erscheinung des Gebäudes vervollkommen. Gestalterisch reicht die Palette der Verwendungsmöglichkeiten von aktiv-solaren Produkten vom schwebenden Vordach, das das Konzept des Gebäudes ergänzt, bis hin zu einem gebäudebestimmenden Design, wie es im Projekt der geplanten Umweltarena in Spreitenbach (Abb. 70) angedacht ist und beim Projekt von Zaha Hadid für das Abu Dhabi Performing Arts Centre (Abb. 71) zum Tragen kommt. Kennzeichnend für die Fusion ist die Reaktion des Konzepts oder des Gebäudes auf die Aktivierung der Hüllflächen.



Abb. 70: Umweltarena, Spreitenbach, Projekt
(Quelle: www.umweltarena.ch, 2010)

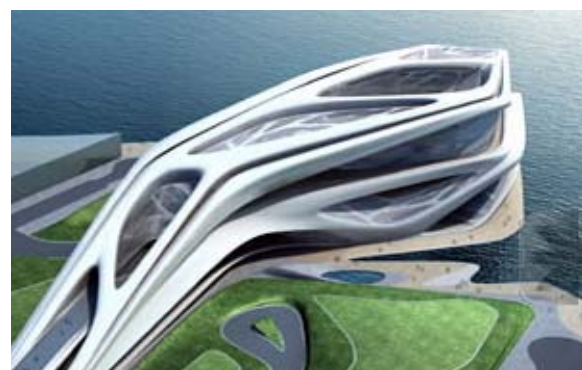


Abb. 71 Zaha Hadid, Abu Dhabi Performing Arts Centre
Projekt (Quelle: floornature.com, 2009)

4.2.4. Zusammenfassung

Bei allen drei Strategien der Verwendung von aktiv-solaren Produkten 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 4.3.3.) 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. 72). 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. 72).

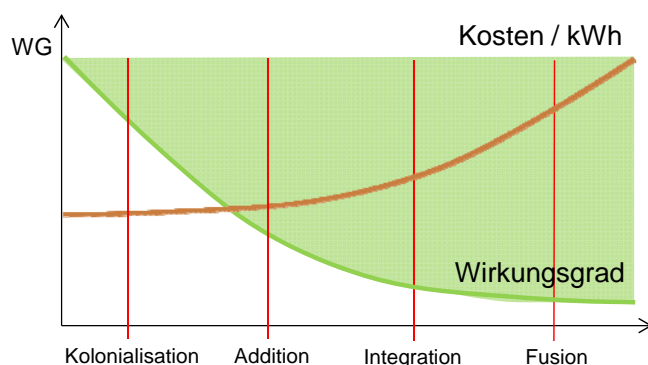


Abb. 72: Kosten – Wirkungsgrad in Bezug auf die Verwendungsart von aktiv-solaren Produkten

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 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.“⁹³ Mit dieser Aussage stellt Lüling die Gestaltung klar über die Technik. In den kommenden Abschnitten wird das gestalterische Potential⁹⁴ beleuchtet, das verfügbare oder neue Produkte haben könnten, zu attraktiven, Wärme oder Strom liefernden Baumaterialien – insbesondere Fassadenmaterialien – heranzuwachsen.

4.3.1. Thermische Produkte

Die Palette an thermischen Produkten reicht von einfachen schwarzen Kunststoffschläuchen über unverglaste Kollektoren (für Warmwasser von 10 bis 40°C), verglaste Flachkollektoren (für Warmwasser von 30 bis 60°C) bis hin zu Vakuumröhren-Kollektoren (für Warmwasser bis zu 100°C), die Wasser oder andere Medien führen⁹⁵. Wichtige Grössen von thermischen Kollektoren sind der optische Wirkungsgrad und der Wärmedurchgangskoeffizient. Die Beschichtung des Absorbers, meist in Blau- bis Schwarztönen, die Wärmedämmung und die Eigenschaften des Solarglases entscheiden über den Wirkungsgrad der Kollektoren. Unverglaste und ungedämmte Kollektoren haben einen weit tieferen Wirkungsgrad, können aber gut als Substitute in die Dach- oder Fassadenhülle eingebaut werden. Möglichkeiten für die Gestaltung von thermischen Produkten gibt es sowohl beim Produkt wie auch bei der Verwendung des Produkts.

Gestalterische Anpassungen lassen sich – unter Einbezug von geringeren Wirkungsgraden – am Rahmen, der Abdeckung und der solar-aktiven Schicht vornehmen. So lassen sich beim Solarglas und dem Absorber das Muster, die Farbe und die Strukturierung verändern. Durch die Kombination und Überlagerung der beiden Schichten liessen sich eine Reihe verschiedener Effekte erzielen (Abb. 73 und Abb. 74).

Bei Einbau stehen wiederum verschiedene gestalterische Möglichkeiten in Bezug auf Grösse, Proportionen, Rahmen- und Fugenausbildung, Position in der Fassade oder als freies Element zur Verfügung.

⁹³ [Lüling, 2009, 10]

⁹⁴ 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.

⁹⁵ [verfügbar unter: www.swissolar.ch (17.8.2011)]

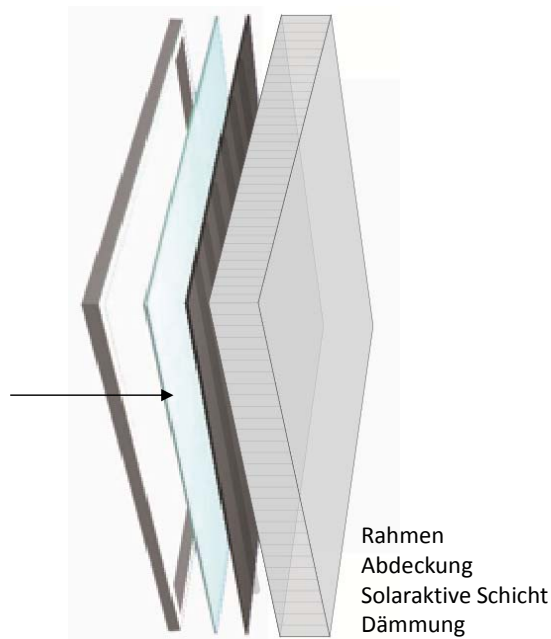


Abb. 73: Schematischer Aufbau eines thermischen Kollektors



Abb. 74: Ornamentierungen von thermischen Kollektoren unter Einbezug der Abdeckung und der solar-aktiven Schicht

Vor diesem Hintergrund wäre eine Realisierung der Giebfassaden der Siedlung Elfenau mit ungedämmten, möglichst unstrukturierten Kollektoren, deren Absorber farbig beschichtet ist, möglich oder mit verglasten Flachkollektoren, auf deren Solarglas das Muster der Tapete appliziert ist, während der Absorber in der Fassadenfarbe uni beschichtet ist (vgl. Abb. 74, unten rechts). Die folgenden Beispiele veranschaulichen architektonisch schön gestaltete Lösungen. Beim Nullenergie Mehrfamilienhaus „Sunny Woods“ von Beat Kämpfen in Zürich-Höngg sind Vakuumröhren-Kollektoren in die Brüstungselemente der nach Süden ausgerichteten Balkone integriert (Abb. 75)⁹⁶. Beim Cern Autobahn Werkhof in Bursin wurden die Fassadenelemente als unverglaste Kollektoren ausgeführt (Abb. 76)^{97 98}.

⁹⁶ Nullenergie Mehrfamilienhaus Sunny Woods von Beat Kämpfen, 2001 [Schittich, 2003, 26]

⁹⁷ [verfügbar unter: www.fuxvisp.ch (17.8.2011)]

⁹⁸ Vgl. dazu das aus Kupfer bestehende Fassaden und Dachziegel System von Atmova [Verfügbar unter: www.atmova.ch (16.5.2010)]



Abb. 75: Sunny Woods, Zürich-Höngg, mit Vakuumröhren-Kollektoren Balkonelemente (Quelle: Schnittich, 2003)



Abb. 76 Cern Autobahnmeisterei, Bursin, Solarfassade mit unverglasten Edelstahl Kollektoren (Quelle: Fuxvisp AG, 2011)

4.3.2. Photovoltaik

Photovoltaik-Module haben sich mit der Möglichkeit eines Rückseiten-Kontakts stark von der strengen Geometrie verabschiedet. Mit der Erweiterung der kristallinen Zellen durch Dünnschicht Zellen und die Möglichkeit, sie als flexible oder halbtransparente Module herzustellen, hat sich das Bild über die letzten Jahre stark verändert. Die Module wurden schlichter, vielfältiger, farbiger, flexibler und transparenter.

Ein Blick auf die grundlegenden Bauteile zeigt, dass trotz der limitierten Möglichkeiten in der Gestaltung der Abdeckung, eine Vielzahl an Gestaltungsmöglichkeiten existiert. So können Abdeckung und Träger in Oberfläche, Farbe, Transparenz und Muster variieren. Bei der solar-aktiven Schicht sind Variationen von Form, Abstand und Farben möglich. Durch die Überlagerung der drei Schichten kann wiederum eine Vielzahl an Varianten entstehen (Abb. 77 und Abb. 78), die jedoch in Bezug auf Effizienzverluste, Produktionskosten und -ablauf ausgelegt werden müssen. In Anbetracht der sinkenden Kosten, der vermehrten Rationalisierung der Produktion und der steigenden Effizienz der Module wird diese Art von Customised Products vermehrt Einzug in die Produktpalette halten.

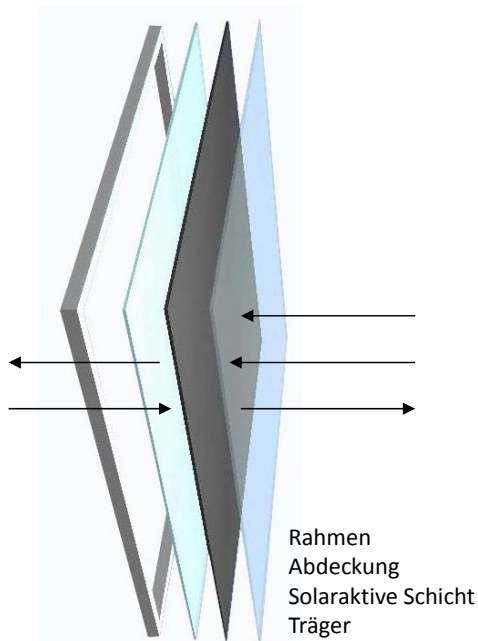


Abb. 77: Schematischer Aufbau eines PV-Moduls

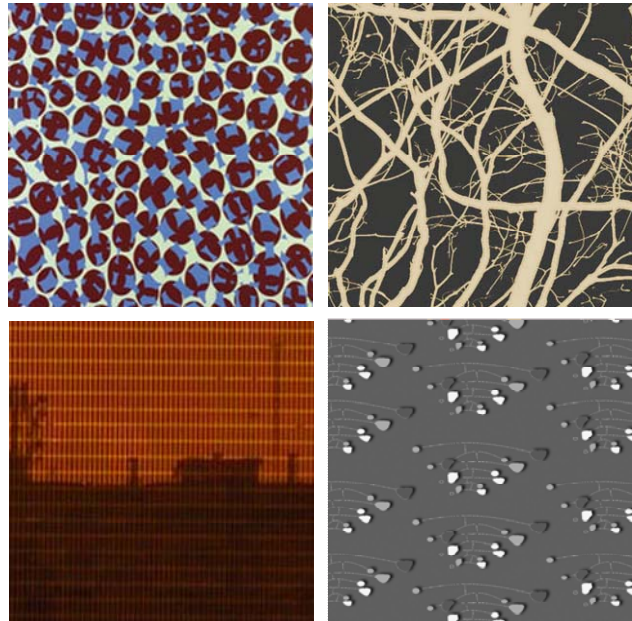


Abb. 78 Ornamentierungen von PV-Modulen unter Einbezug der Abdeckung, der solaraktiven Schicht und des Trägers.

4.3.3. Tendenzen

Ob und wann sich organische Solarzellen oder Farbstoffzellen durchsetzen können, ist unklar. Absehbar ist aber eine immer verspieltere, farbigere, transparentere und flexiblere Generationen an Photovoltaik-Produkten, die in Textilien und Glas integriert, aufgesprüht, appliziert oder leuchtend in Erscheinung treten. Einige Beispiele sind in Abb. 79 bis Abb. 86 abgebildet.

Geringerer Materialaufwand, geringere Produktionskosten und geringerer Wirkungsgrad werden den Fokus der Photovoltaik von der Ausrichtung auf die Fläche verschieben. Sie werden als dünne Schichten auf Dächern und Fassaden, Fenstern und Bauteilen in Erscheinung treten⁹⁹ und eine neue Generation von aktivierten Häusern hervorrufen.



Abb. 79: MetaboliCity by Rachel Wingfield & Mathias Gmachl
(Quelle: inventorspot.com, 2011)

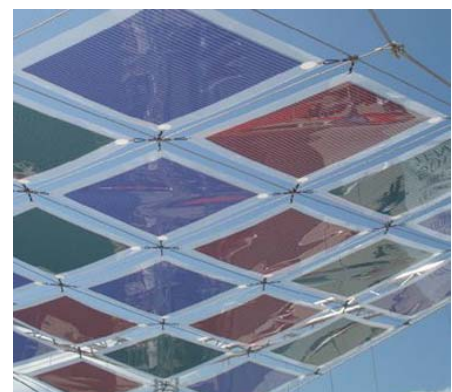


Abb. 80 Power Plastic von Konarka
(Quelle: www.konarka.com, 2011)

⁹⁹ Vgl. dazu [Lüling, 2009, 98]

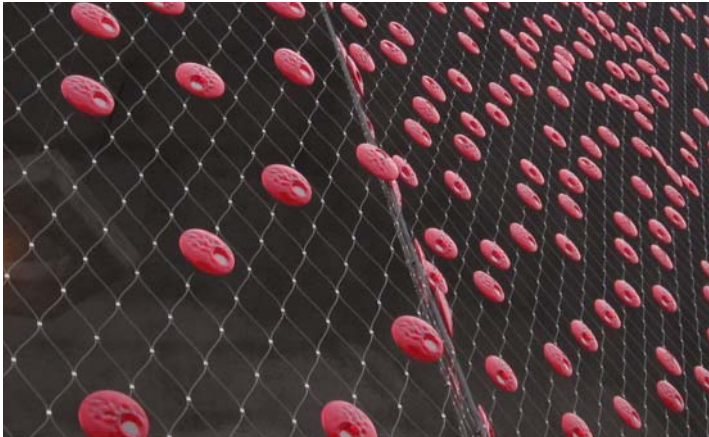


Abb. 81: Schweizer Pavillon Expo 2010, Shanghai

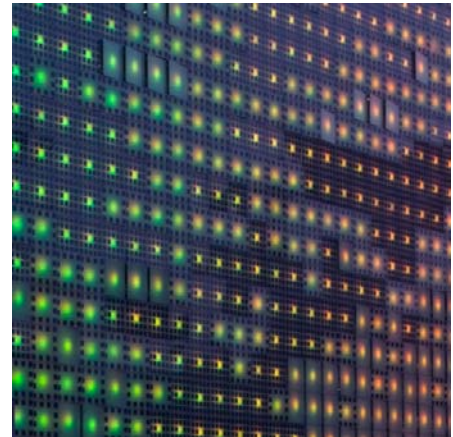


Abb. 82: GreenPix, Zero Energy Media Wall, Peking (Quelle: www.greenpix.org, 2011)

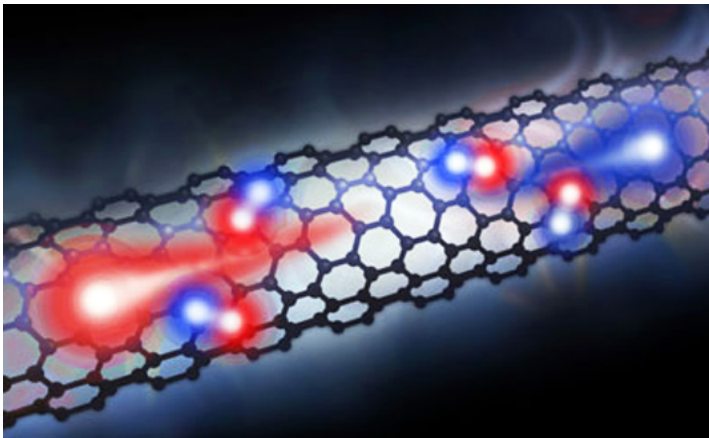


Abb. 83: Carbon Nanotube (Cornell University)
(Quelle: www.inhabitat.com, 2011)



Abb. 84 Hana Mado Solarzelle
(Quelle: www.winarco.com, 2011)

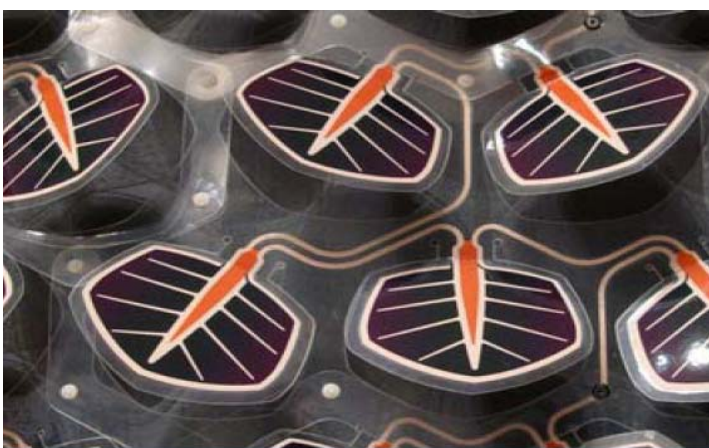


Abb. 85: Dünnschicht PV, Solar Ivy, SMIT
(Quelle: www.s-m-i-t.com, 2011)



Abb. 86: Dünnschicht PV, Solar Ivy, SMIT
(Quelle: www.s-m-i-t.com, 2011)

4.3.4. Zusammenfassung

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 (Solarthermie¹⁰⁰ 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.

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.

¹⁰⁰ Ungedämmte Kollektoren sind nur einlagig; demzufolge kann nur die Oberfläche und die Gestalt des Kollektors gestaltet werden.

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 bewirken, 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 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, CO₂, 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 zum 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, Höppe, 1984] Bründel, W; Höppe, 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, 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 Elfenau, 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 Entwurfsfaktor*. - 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-Presentation 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 [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 [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

1. Siedlung Elfenau

a) Plangrundlagen



Abb. A1: Orthophoto Elfenau (Quelle: Google, 2010)



Abbildung A2: Situationsplan Siedlung Elfenau



Abbildung A3: Grundriss UG MFH Weinberglistrasse 62/64, Luzern



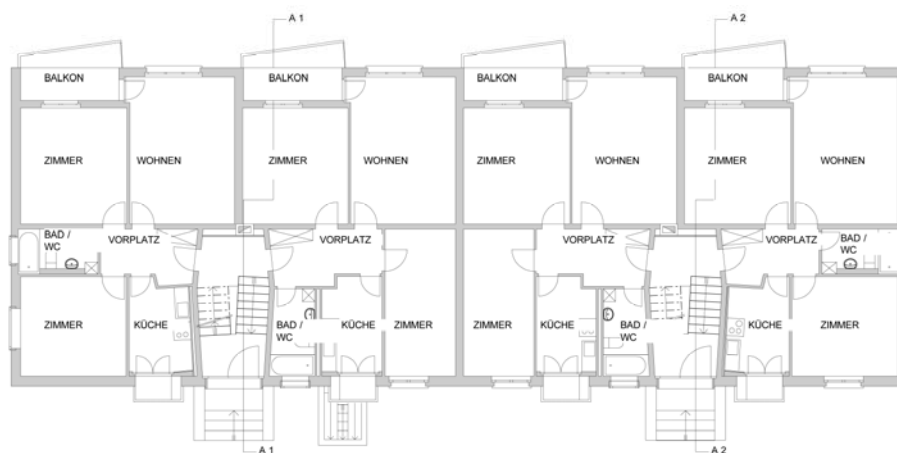


Abbildung A4: Grundriss Regelgeschoss, MFH Weinberglistrasse 62/64, Luzern

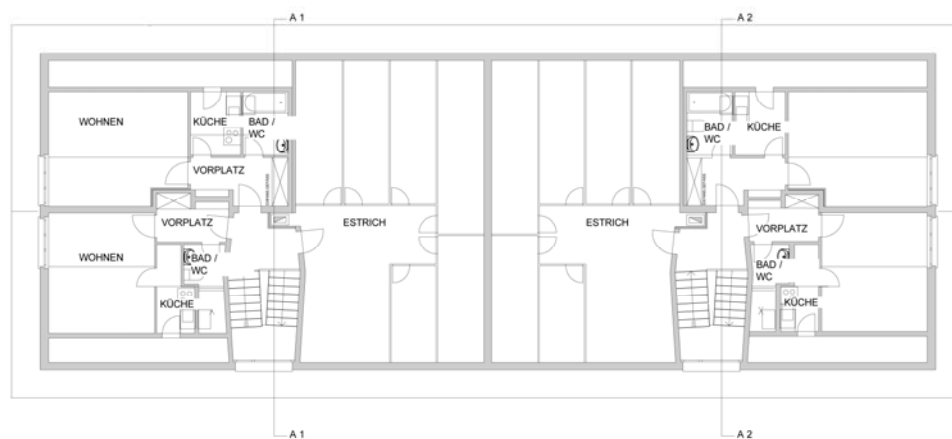


Abbildung A5: Grundriss DG, MFH Weinberglistrasse 62/64, Luzern



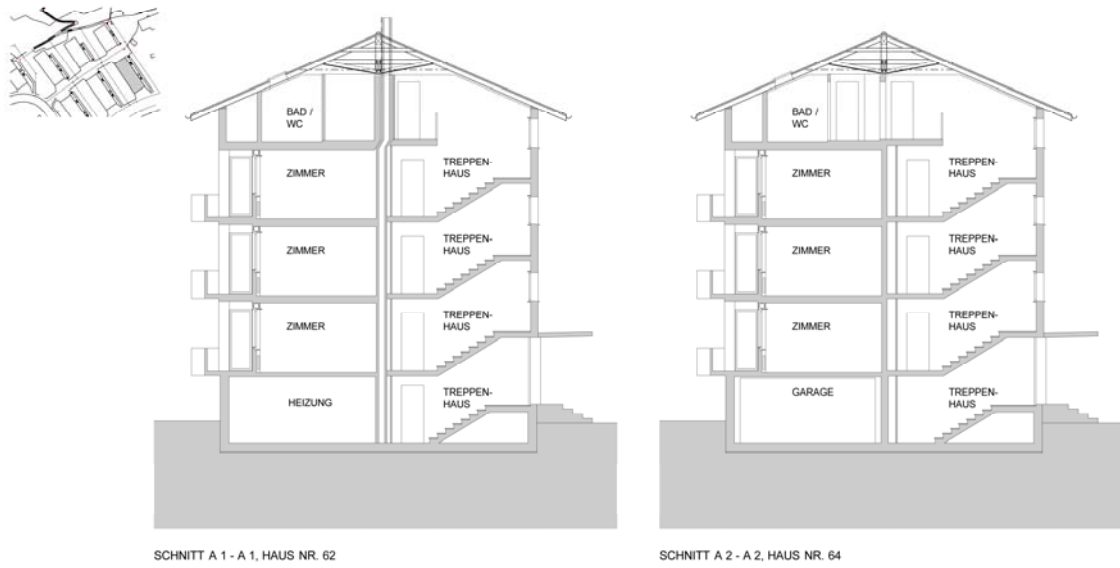


Abbildung A6: Schnitt A-A, MFH Weinberglistrasse 62/64, Luzern



b) Simulationsmatrix

	Siedlung Elfenau	Solare Strategien bei Sanierungen	A	B	C	D
Nr.	Solare Strategien	Basisdaten (wie Bestand)	Bestand (Einzelmassn.)	SIA 380/1 Sanierung	SIA 380/1 Neubau	alternativer Ersatzneubau
1	OPAKE STRUKTUR					
1.1	Standort	Schweiz, Luzern, Elfenau				
1.2.1	Gebäudeorientierung (Hauptfassade)	Azmut +60° (SWW)	keine Flexibilität	keine Flexibilität	keine Flexibilität	Vergleichbarkeit!
1.2.2	Gebäudeabstände (Kontext Umgebung)	17.75m	keine Flexibilität	keine Flexibilität	keine Flexibilität	Vergleichbarkeit!
1.2.3	Geschossigkeit (AVV+Kontext Umg.+Wohnfläche)	UG halb im Erdreich > EG, OG1, OG2+DG	keine Flexibilität	keine Flexibilität	keine Flexibilität	Vergleichbarkeit!
1.2.4	Gebäudetiefe (AVV+Kontext Umgebung)	11.5m / 31.5m (BGF=362,25m2)	keine Flexibilität	keine Flexibilität	keine Flexibilität	Vergleichbarkeit!
1.3.1	Zonierung	Wohnung gleichmässig temperiert				
1.3.2		Wohnung zweiteilig (unterschiedlich temperiert)				
1.3.3		zusätzliche Kellerwohnung		erhaltenswert?		
1.3.4		zusätzliche Dachgeschosswohnungen		erhaltenswert?		
1.4.1	AVV-Verhältnis (Fassade)	S-W-Fassade mit halbeingesch. Balkon (ca.1.0m)				
1.4.2	(inkl. bedingte Verschattung durch Balkone)	S-W-Fassade mit Loggia (0.0m)				
1.4.3		S-W-Fassade mit aussenseit. Balkon (ca.2.0m)				
1.4.4		S-W-Fassade ohne Balkon (0.0m)				
1.5.1	AVV-Verhältnis (Dach)	Satteldach DN wie Bestand 23.72°				
1.5.2		Satteldach DN steiler 40°				
1.5.3		Satteldach DN steiler 30°				
1.5.4		Satteldach DN flacher 15°				
1.5.5		Pultdach (für akt. sol. Potenzial) DN 10°			erhaltenswert?	
1.5.6		Pultdach (für pas. sol. Potenzial) DN 10°			erhaltenswert?	
1.5.7		zurückgesetztes Attikagesch. beidseitig (für akt.sol.Pot.)				
1.5.8		gesamtes Flachdach (für akt. sol. Potenzial)				
1.5.9		zurückgesetztes Attikagesch. einseitig (für akt.sol.Pot.)				
1.5.10		Flachdach (Grundriss RG fortgesetzt+für akt.sol.Pot.)				
1.6.1	AVV-Verhältnis (Dachaufbauten)	ohne				
1.6.2		Dachflächenfenster				
1.6.3		SW Dachgauben (ca. 2/5 Traufhöhe)				
1.6.4		SW Dachgauben (ca. 4/5 Traufhöhe)			erhaltenswert?	
1.6.5		SW Dachterrasse (ca. 2/5 Traufhöhe)				
1.6.6		SW Dachterrasse (ca. 4/5 Traufhöhe)			erhaltenswert?	
1.6.7		N/O Dachgauben (ca. 2/5 Traufhöhe)				
1.6.8		N/O Dachgauben (ca. 4/5 Traufhöhe)			erhaltenswert?	
1.6.9		N/O Dachterrasse (ca. 2/5 Traufhöhe)				
1.6.10		N/O Dachterrasse (ca. 4/5 Traufhöhe)			erhaltenswert?	
1.7.1	Pufferzonen	Wintergarten (bei Freibereich Wärme im Winter)		erhaltenswert?		
1.7.2		Treppenhaus (ohne Konditionierung)				
1.7.3		Treppenhaus (Überström-Kühlung im Sommer)	zu aufw. endigt!	zu aufw. endigt!	zu aufw. endigt!	zu aufw. endigt!
1.8.1	U-Wert (AW, Dach, Keller...)	bestehend				
1.8.2		Anforderung nach 'sia_Sanierung'				
1.8.3		Anforderung nach 'sia_Neubau'				
1.8.4		Anforderung nach 'Minergie'				
1.9.1	Wärmebrücken	bestehend / sehr hoch				
1.9.2		hoch				
1.9.3		mittel				
1.9.4		niedrig				
1.10.1	Speichermasse	bestehend / hoch				
1.10.2		mittel				
1.10.3		niedrig				
1.11.1	Dichtigkeit (Infiltration)	bestehend/niedrig (hoch)				
1.11.2		mittel (mittel)	hypothetisch!			hypothetisch!
1.11.3		hoch (niedrig)	hypothetisch!			hypothetisch!
1.11.4		sehr hoch (sehr niedrig)	hypothetisch!			hypothetisch!
2	OPALE STRUKTUR					
2.1.1	Fassaden-Fensteranteil	N/O 21.66% (Bestand) / 22.90% (Neubau) [EG-OG2]				
2.1.2		N/O 24.48% / 25.76%				
2.1.3		N/O 31.94% / 32.21%				
2.1.4		N/O n/a / 45.09%				
2.1.5		S/O 9.33% (Bestand) / 10.54% (Neubau) [EG-DG]				
2.1.6		S/O 15.54% / 16.93%				
2.1.7		S/O 29.34% / 27.96%				
2.1.8		S/O n/a / 41.21%				
2.1.9		SW 20.45% (Bestand) / 20.31% (Neubau) [EG-OG2]				
2.1.10		SW 32.84% / 32.63%				
2.1.11		SW 50.81% / 49.66%				
2.1.12		SW n/a / 71.94%				
2.2.1	U-Wert (Fenster)	bestehend				
2.2.2		hoch				
2.2.3		mittel				
2.2.4		niedrig				

2.3.1	g-Wert / τ-Wert (Verglasung)	77/70				
2.3.2		80/60				
2.3.3		75/40				
2.3.4		60/30				
2.3.5		50/25				
2.3.6		40/20				
2.4.1	Kunstlichtbedarf	Anwesenheit/Monat				
2.4.2		Anwesenheit/Monat u. Helligkeit (200-500lx)				
2.4.3		Anwesenheit/Monat u. Helligkeit (100-200lx)				
3	VERSCHATTUNG / MATERIALITÄT / NUTZUNG					
3.1.1	Dachüberstand	1,0				
3.1.2		ohne			erhaltenswert?	
3.1.3		2,0m			erhaltenswert?	
3.2.1	Freibereichslänge	Balkon/Loggia 1/2 Fassadenlänge				
3.2.2		Balkon vor restliche Fassade erweitert			erhaltenswert?	
3.2.3		Balkon/Loggia gesamte Fassadenlänge			erhaltenswert?	
3.3.1	Freibereichstiefe	Ost-Balkon 1,0m Auskragung				
3.3.2		ohne			erhaltenswert?	
3.3.3		Ost-Balkon 0,5m Auskragung			erhaltenswert?	
3.3.4		Ost-Balkon 1,5m Auskragung			erhaltenswert?	
3.3.5		Ost-Balkon 2,0m Auskragung			erhaltenswert?	
3.4.1	Fassadenelemente für PV	vertikale Ausrichtung (Achswiese)				
3.4.2		horizontale Neigung (Geschossweise)				
3.5.1	Verschattungsart (System)	Rolläden (aussen)				
3.5.2		leichter, dunkler Vorhang (innen)				
3.5.3		schwerer, heller Vorhang (innen)				
3.5.4		Jalousie (innen)				
3.5.5		Jalousie (aussen)			erhaltenswert?	
3.5.6		Markise (aussen)			erhaltenswert?	erhaltenswert?
3.6.1	Steuerung der Verschattung	strahlungsabhängig: 50W/m²				
3.6.2		strahlungsabhängig: 150W/m²				
3.6.3		temperaturabhängig: ab 22°				
3.6.4		temperaturabhängig: ab 24°				
3.6.5		zeitgesteuert: 9-17 Uhr (25W/m²)				
3.6.6		zeitgesteuert: 12-16 Uhr (25W/m²)				
3.6.7		ohne	hypothetisch!	hypothetisch!	hypothetisch!	hypothetisch!
3.7.1	Brüstung (Balkon/Fenster)	opak				
3.7.2		Staketengeländer				
3.7.3		Verbundsicherheitsglas				
3.7.4		Streckmetall				
3.8.1	sonstige Verschattung	Bepflanzung?				
3.8.2		variocromes Glas				
3.8.3		thermotropes Glas				
3.8.4		PDLC-Glas				
3.9.1	solaraktive Wärmedämmung	TWD (herkömmlich)				
3.9.2		transp. WDVS (z.B. Fa. Sto)				
3.9.3		Scheibenverbund mit PCM (Fa. GlassX)				
3.9.4		Scheibenverb. mit Holzlamellen (Fa. Lucido)				
3.9.5		Kartonwabendämmung				

Legende der Strategien:		
Basisdaten (Bestand)		
Basisdaten (Entwurf)		
Simulationsvariante		
Simulationsvariante (hypothetisch oder erhaltenswert)		
keine Simulation für diese Strategie		
Simulationsaufwand unverhältnismässig		
keine Simulation für diese Strategie mit IDA-ICE 4 möglich		

Tab.A1: Liste der simulierten Aspekte

2. Wohn- und Bürohaus Mühlebach

a) Plangrundlagen

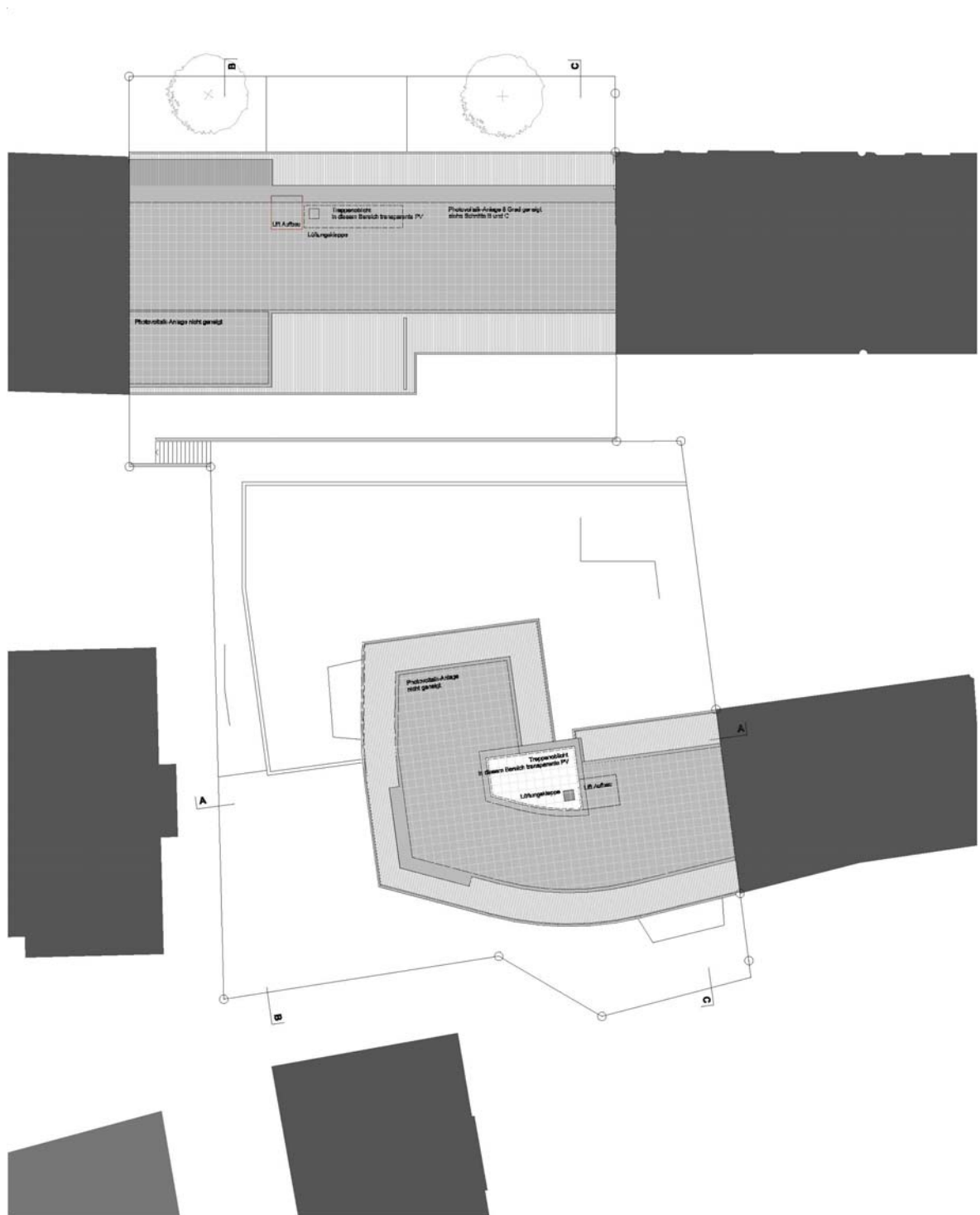


Abb. A7: Provisorische Dachaufsicht Wohn- und Bürogebäude Mühlebachstr. 8 und Hufgasse 11, Zürich
(Quelle: Kämpfen für Architektur, 2010)

105

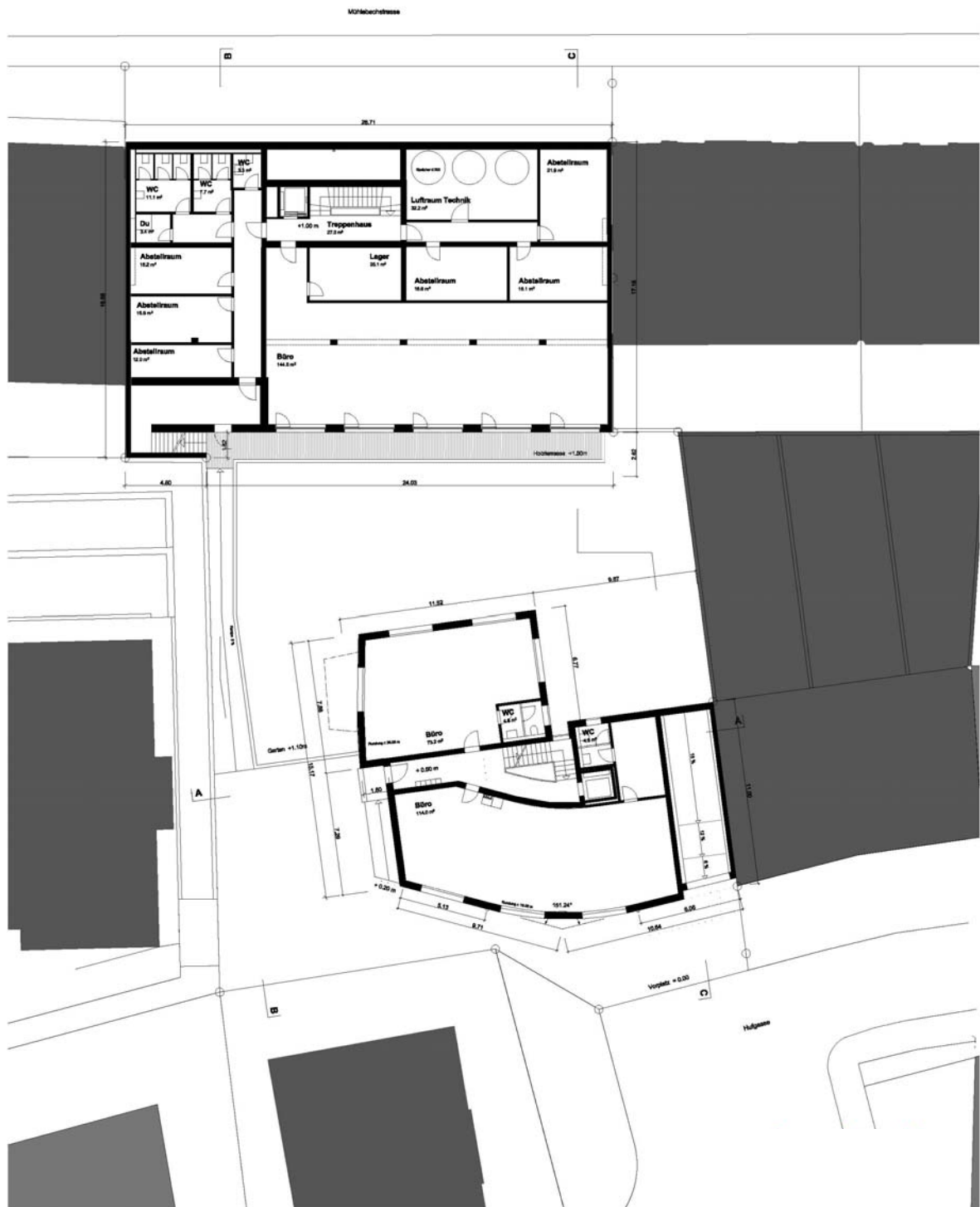


Abb. A9: Provisorischer Grundriss 1.UG, Wohn- und Bürogebäude Mühlebachstr. 8 und Hufgasse 11, Zürich
(Quelle: Kämpfen für Architektur, 2010)

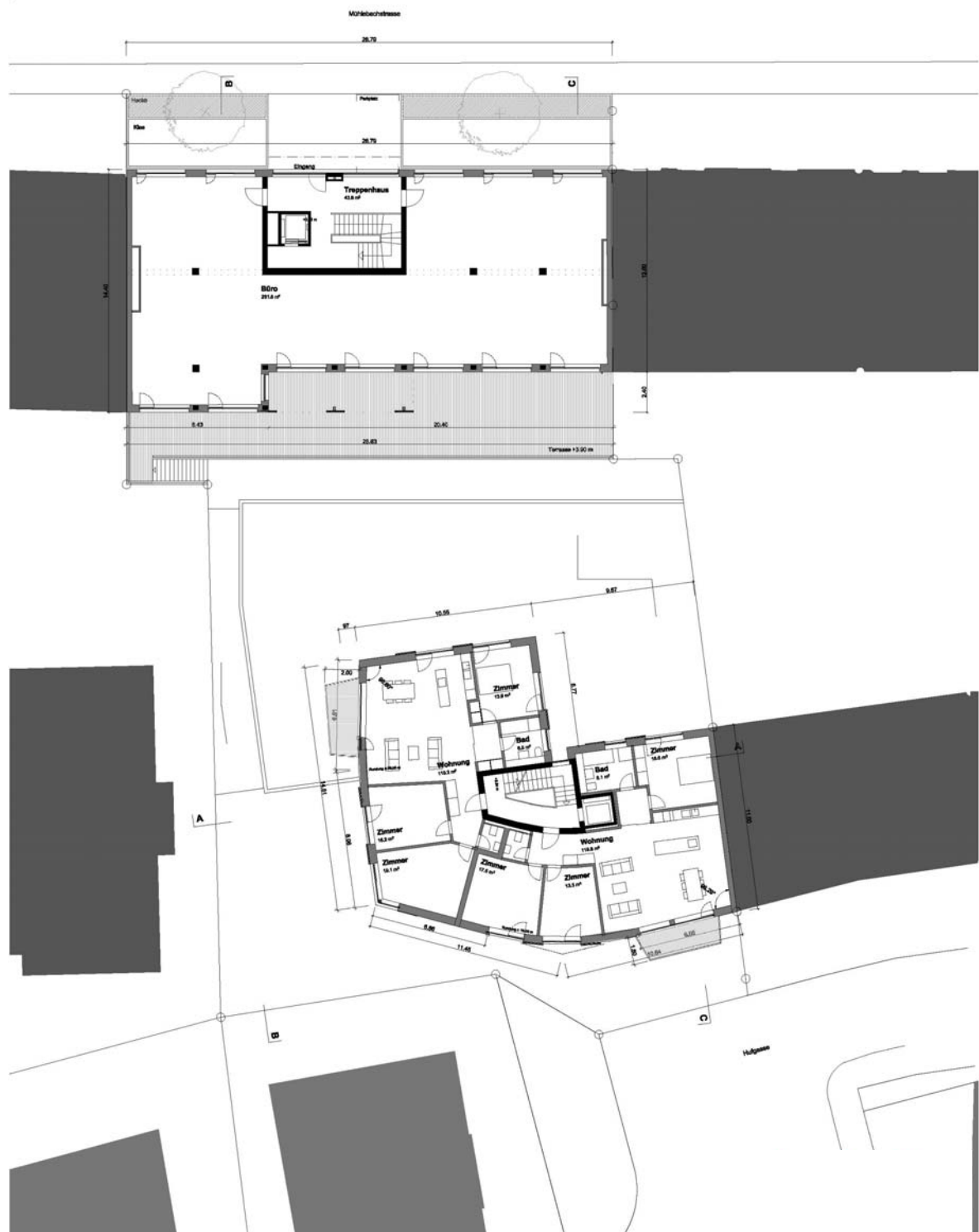


Abb. A10: Provisorischer Grundriss EG, Wohn- und Bürogebäude Mühlebachstr. 8 und Hufgasse 11, Zürich
(Quelle: Kämpfen für Architektur, 2010)



Abb. A11: Provisorischer Grundriss 1. OG, Wohn- und Bürogebäude Mühlebachstr. 8 und Hufgasse 11, Zürich
(Quelle: Kämpfen für Architektur, 2010)



Abb. A12: Provisorischer Grundriss 2. OG, Wohn- und Bürogebäude Mühlebachstr. 8 und Hufgasse 11, Zürich
(Quelle: Kämpfen für Architektur, 2010)



Abb. A13: Provisorischer Grundriss 3. OG, Wohn- und Bürogebäude Mühlebachstr. 8 und Hufgasse 11, Zürich
(Quelle: Kämpfen für Architektur, 2010)



Abb. A14: Provisorischer Grundriss 4. OG, Wohn- und Bürogebäude Mühlebachstr. 8 und Hufgasse 11, Zürich
(Quelle: Kämpfen für Architektur, 2010)

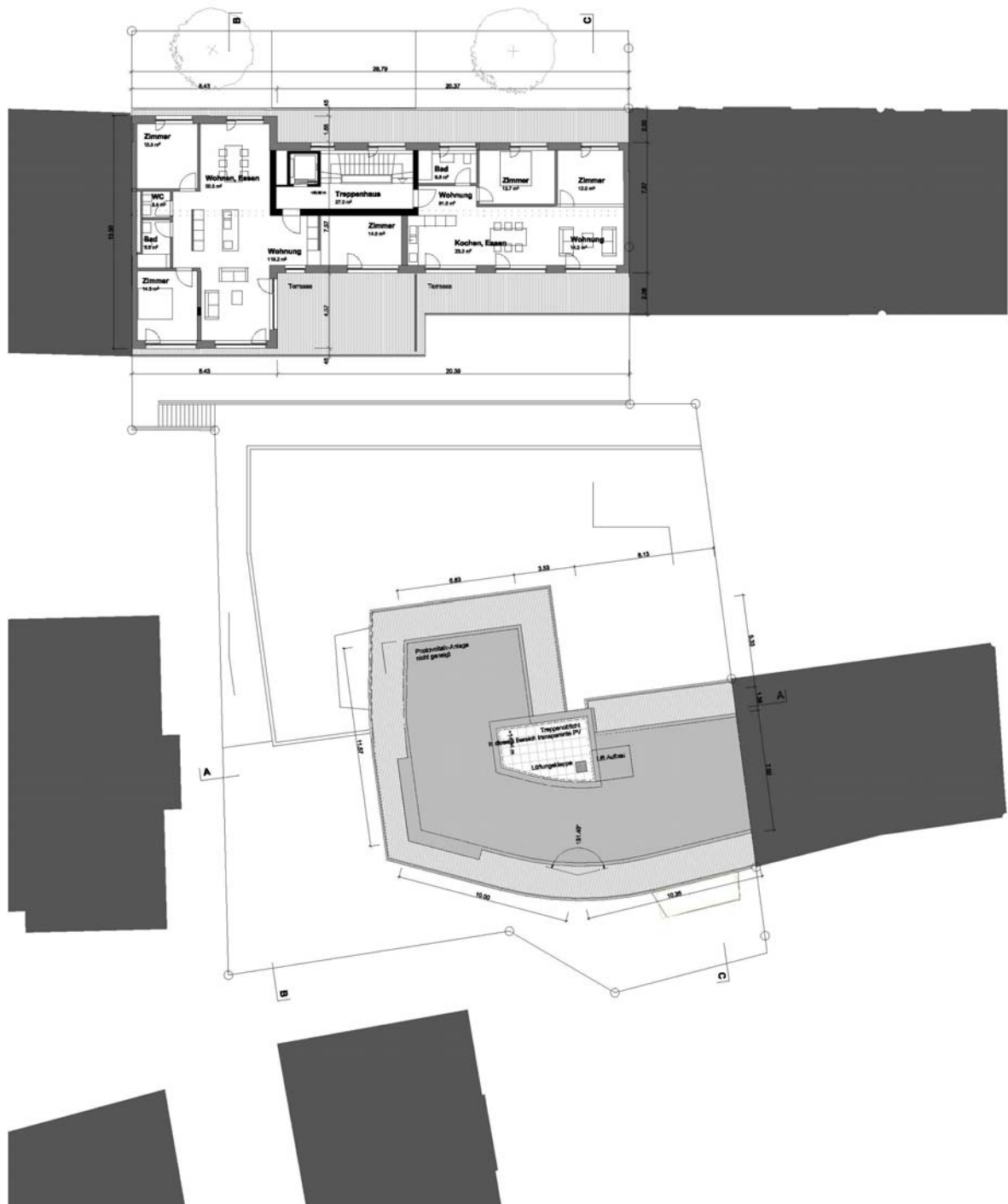


Abb. A15: Provisorischer Grundriss DG, Wohn- und Bürogebäude Mühlebachstr. 8 und Hufgasse 11, Zürich
(Quelle: Kämpfen für Architektur, 2010)



Abb. A16: Provisorischer Schnitt A-A, Wohn- und Bürogebäude Mühlebachstr. 8 und Hufgasse 11, Zürich
(Quelle: Kämpfen für Architektur, 2010)

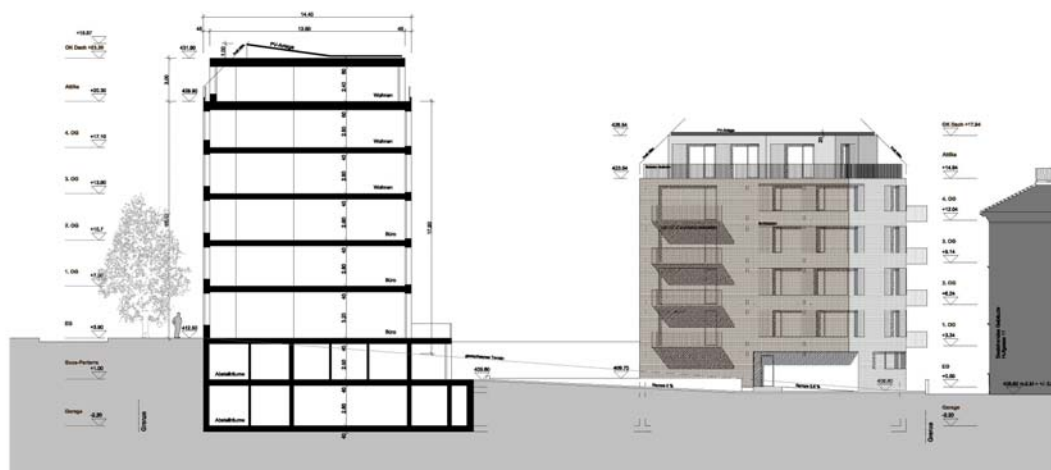
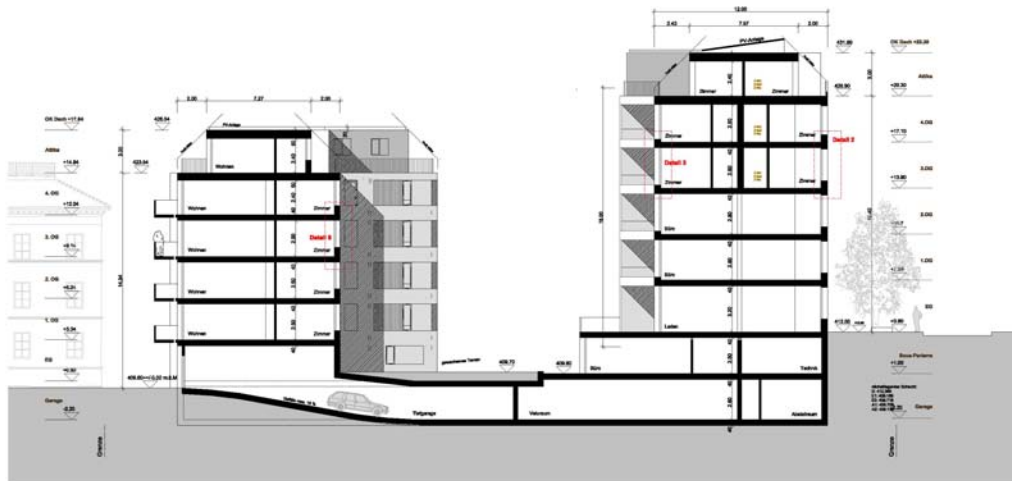


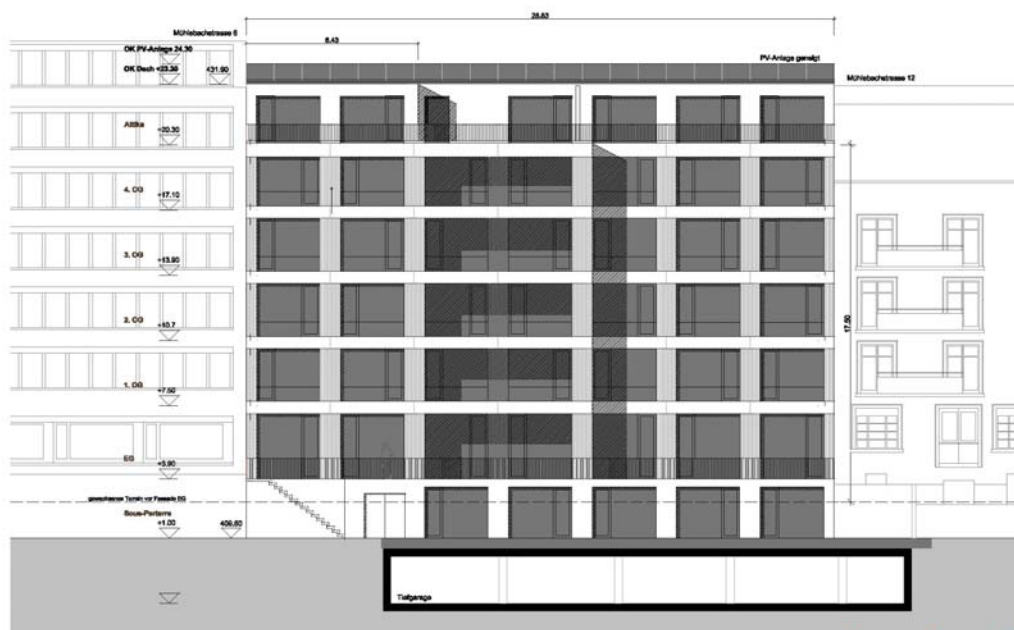
Abbildung A17: Provisorischer Schnitt B-B, Wohn- und Bürogebäude Mühlebachstr. 8 und Hufgasse 11, Zürich
(Quelle: Kämpfen für Architektur, 2010)



*Abb. A18: Provisorischer Schnitt C-C, Wohn- und Bürogebäude Mühlebachstr. 8 und Hufgasse 11, Zürich
(Quelle: Kämpfen für Architektur, 2010)*



Ansicht Nordost



Ansicht Südwest

Abb. A19: Provisorische Ansichten Wohn- und Bürogebäude Mühlbachstr. 8, Zürich
(Quelle: Kämpfen für Architektur, 2010)

b) Simulationsmatrix

	Fallstudie Mühlebach	Solare Strategien im urbanen Kontext	
Nr.		Basisdaten (wie geplant)	
1	OPAKE STRUKTUR		
1.1	Standort	Schweiz_Zürich_Mühlebachstrasse 8	keine Alternative!
1.2	Gebäudeorientierung (Hauptfassade)	Azimut +55° (SWW)	keine Flexibilität!
1.3.1	Zonierung	TH mittig	
1.3.2		TH an Strassenseite	
1.3.3		TH an Hofseite	
1.4.1	A/V-Verhältnis (Fassade)	Hofseitig mit Versprung	
1.4.2		Hofseitig mit Abschrägung	
1.4.3		Hofseitiger Versprung an Grundstücksgrenze	
1.5.1	A/V-Verhältnis (Dach)	Flachdach (mögl. Aufständigung)	
1.5.2		Pultdach (für aktives sol.Potenzial)	
1.5.3		Pultdach (für passives sol.Potenzial)	
1.6.1	A/V-Verhältnis (Dachaufbauten)	Attikaerweiterung N/O (ca. 1/3 der Trauflänge)	
1.6.2		Attikaerweiterung N/O (ca. 2/3 der Trauflänge)	
1.6.3		Attikaerweiterung S/W (ca. 1/3 der Trauflänge)	
1.6.4		Attikaerweiterung S/W (ca. 2/3 der Trauflänge)	
1.7.1	Pufferzonen	Wintergarten an Stelle des Balkons	
1.7.2		Treppenhaus (ohne Konditionierung)	
1.7.3		Treppenhaus (Überström-Kühlung im Sommer)	zu aufwendig!
1.8.1	U-Wert (AW,Dach,Keller...)	höher	
1.8.2		Entwurf	
1.8.3		niedriger	
1.9.1	Wärmebrücken	höher	
1.9.2		Entwurf	
1.9.3		niedriger	
1.10.1	Speichermasse	niedriger	
1.10.2		Entwurf	
1.10.3		höher	
1.11.1	Dichtigkeit(Infiltration)	niedriger (höher)	hypothetisch!
1.11.2		Entwurf	
1.11.3		höher (niedriger)	hypothetisch!
2	OPALE STRUKTUR		
2.1.1	Fassaden-Fensteranteil	kleiner N/O 18,91%	
2.1.2		Entwurf N/O 29,37%	
2.1.3		grösser N/O 41,12%	
2.1.4		kleiner S/W 38,67%	
2.1.5		Entwurf S/W 49,47%	
2.1.6		grösser S/W 60,29%	
2.2.1	U-Wert (Fenster)	höher	
2.2.2		Entwurf	
2.2.3		niedriger	
2.3.1	g-Wert / τ-Wert (Verglasung)	80/60	
2.3.2		75/40	
2.3.3		60/50	
2.3.4		60/30	
2.3.5		50/25	
2.3.6		40/20	
2.4.1	Kunstlichtbedarf	Anwesenheit/Monat u. Helligkeit	
2.4.2		Anwesenh./Mon. u. Helligk. (Arbeiten mehr)	
2.4.3		Anwesenh./Mon. u. Helligk. (Wohnen mehr)	
2.4.4		Anwesenh./Mon. u. Helligk. (Arbeiten weniger)	
2.4.5		Anwesenh./Mon. u. Helligk. (Arbeiten weniger)	
3	VERSCHATTUNG / MATERIALITÄT / NUTZUNG		
3.1.1	Dachüberstand	ohne	
3.1.2		0,6m	
3.1.3		1,2m	
3.1.4		1,8m	
3.2.1	Freibereichslänge	ohne	
3.2.2		Balkon ca.1/3 Fassadenlänge	
3.2.3		Balkon ca.2/3 Fassadenlänge	
3.2.4		Balkon gesamte Fassadenlänge	

3.3.1	Freibereichstiefe	Loggia 2,4m Tiefe	
3.3.2		Balkon 1,2m Auskragung	
3.3.3		Balkon 2,4m Auskragung	
3.3.4		Balkon 3,6m Auskragung	
3.4.1	Fassadenelemente für PV	vertikale Neigung (Achswiese)	aktive Strategie!
3.4.2		horizontale Neigung (Geschossweise)	aktive Strategie!
3.5.1	Verschattungsart (System)	leichter, dunkler Vorhang (innen)	
3.5.2		schwerer, heller Vorhang (innen)	
3.5.3		Jalousie (innen)	
3.5.4		Rolladen (aussen)	
3.5.5		Jalousie (aussen)	
3.5.6		Markise (aussen)	
3.6.1	Steuerung der Verschattung	strahlungsabhängig: 50W/m2	
3.6.2		strahlungsabhängig: 100W/m2	
3.6.3		strahlungsabhängig: 200W/m2	
3.6.4		temperaturabhängig: ab 20°	
3.6.5		temperaturabhängig: ab 22°	
3.6.6		temperaturabhängig: ab 24°	
3.6.7		zeitgesteuert: 9-17 Uhr (25W/m2)	
3.6.8		zeitgesteuert: 12-16 Uhr (25W/m2)	
3.6.9		ohne	hypothetisch!
3.7.1	Brüstung(Balkon/Fenster)	opak	
3.7.2		Staketengeländer	
3.7.3		Verbund Sicherheitsglas	
3.7.4		Streckmetall	
3.8.1	sonstige Verschattung	Bepflanzung?	
3.8.2		variochromes Glas	
3.8.3		thermotropes Glas	
3.8.4		PDLC-Glas	
3.9.1	solaraktive Wärmedämmung	TWD (herkömmlich)	
3.9.2		transp. WDVS (z.B. Fa. Sto)	
3.9.3		Scheibenverbund mit PCM (Fa. GlassX)	
3.9.4		Scheibenverb. mit Holzlamellen (Fa. Lucido)	
3.9.5		Kartonwabendämmung	
3.10.1	Nutzungsverteilung	Mischnutzung (UG, EG + OG1-3 Büro; OG4-5 +Attic Wohnen)	
3.10.2		Bürogeb. + Wohnen (UG, EG + OG1-5 Büro; Attic Wohnen)	
3.10.3		Bürogebäude (UG-Attic Büro)	
3.10.4		Wohnhaus + Büro (UG+EG; OG1-5 +Attic Wohnen)	
3.10.5		Wohnhaus (UG-Attic Wohnen)	

Legende der Strategien:

Basisdaten (Bestand)
Basisdaten (Entwurf)
Simulationsvariante
Simulationsvariante (hypothetisch oder erhaltenswert)
keine Simulation für diese Strategie
Simulationsaufwand unverhältnismässig
keine Simulation für diese Strategie mit IDA-ICE 4 möglich

Tab.A2: Liste der simulierten Aspekte

3. Beschrieb Simulationstools

a) bSol

SUPPLIER, SITE, CONTACT, LAST VERSION, COST

bSol is developed by University of Applied Sciences Western Switzerland (HEVs), competence group energy www.bsol.ch in Sitten.

The price is 590.- Euro for one license, 1'480.- Euro for 5 licenses and 2'070.- Euro for 10 licenses. Academic licenses are available at reduced rates.

FUNCTIONS

bSol is a program that simulates the thermal behaviour of a building over one year, considering its specific climate and the surrounding topography. It supports the optimal design of a building by defining the heating energy demand in relation to the architectural parameters, such as orientation of the building, thermal insulation, size of the opaque openings, choice of glazing, ventilation (with /without heat recovery) or thermal inertia.

Within a building, bSol supports two different climate zones (e.g. heated and an unheated zone). These zones are defined by the inclosing areas (south-oriented façade, roof, floor against the ground, etc.) with a certain heat transmission rate as well as the inherent thermal masse (floor slabs, subfloors, internal walls, load bearing walls, ...) with the potential for heat storage. The enclosure consists of the (opaque) wall, windows, doors and thermal bridges. The simulation relays on climate data from METEONORM (air temperature, diffuse global radiation, elevation of the sun, azimuth, ...).

The simulation is conducted in two steps:

In a first step, a static calculation determines the different parameters of a building. It provides the heat capacity of the different materials, the heat capacity of a zone, the heat transfer of all areas, the equivalent collector area of the windows as well as the total of surfaces, volumes, thermal transfers and heat capacity.

In a second step, dynamic calculations for every of the 8760 hours of a year determine the thermal behaviour of the building. The calculation algorithms allow identifying the solar radiation through the windows as well as displaying the effects of varying building parameters. The dynamic calculation identifies the reaction of the building in relation to weather changes (air and ground temperature, solar radiation) as well as in relation to the prevalent internal energy sources (internal gains, heating, and climatisation). Following the hourly calculation of the indoor air temperature, the contribution of the HVAC systems (supply and capacity) can be determined according to the requirements.

The results provide

- numeric data showing the potential for improving the project from an energetic point of view, the reference parameters of a building in relation to the specific heating and cooling energy / capacity over a year or a defined period of time.
- graphics giving information on the indoor air temperature or the hourly heating and cooling capacity over the entire year.
- a display of the specific climate data, such as outdoor air temperature, global horizontal radiation, etc.

DESIGN STAGE, USERS

bSol is designed for architects and engineers interested in optimizing the parameters of a building in terms of energy performance at the very early design stage as well as in later ones.

3D MODELING

bSol does not support a 3d-environment. The building model is set up through numeric inputs or predefined parameters.

COORDINATES

bSol does not relate the building model to the coordinate system.

INPUT/OUTPUT, ALGORITHM

Import from *.bSol, *.btm, *.exp, *.meteo, *.hrz

Export to *.doc, *.xls, *.jpeg, *.jpg, *.png, *.tiff, *.bmp and clipboard.

PREDECESSOR SOFTWARE, SUCCESSOR SOFTWARE

Building data is directly entered into bSol or imported from another project. It is not possible to import building data from other programs. However, the numeric or graphic results can be used in other programs.

Building and climate data, the operational parameters and the horizon are entered by the user or imported from another project.

BIM

It is not possible to import BIMs.

ACTUAL SOLAR CALCULATION

bSol does not calculate active-solar systems. But, it considers passive-solar gains. Passive solar gains are determined by calculating the incident solar radiation for every facade in consideration of climate data, orientation and horizon.

COMMENTS

bSol is very interesting due to the possibility to include the built environment into the energy performance calculation of the project.

b) Lesosai (Quelle: Dubois, Horvat, ed., 2010, 93)

SUPPLIER, SITE, CONTACT, LAST VERSION, COST

LESOSAI is developed by E4tech Software SA, a company that specializes in building physics and building energy analysis [www.e4tech.com/en/software-introduction.html]. LESOSAI 6.0 version costs 800 CHF (550€) for new version, and 480 CHF (330€) for upgrades from previous versions. Additional modules also need to be purchased depending on the users needs [www.lesosai.com/en/02_tarifs.html].

FUNCTIONS

LESOSAI www.lesosai.com is software for thermal energy calculations and certifications of buildings comprising one or more heated or cooled zones. It is designed primarily for building and thermal engineers and architects. The simulations can be done month by month or hourly; the internal gains are defined by the SIA2024 (40 possible scenarios).

LESOSAI allows the calculation of environmental impacts of energy consumption, taking into account the energy used (heating, cooling, lighting, ventilation and internal gains) but also considering the construction materials of the building. The calculation is based on a life cycle analysis of a building and uses the list of impacts provided by the KBOB (extracted from the Ecoinvent database), and methodology consistent with the SIA 2032 Swiss technical specifications.

In order to simulate buildings in many places throughout the supported countries, LESOSAI integrates the official weather data and the generator METEONORM. To calculate the thermal conductance coefficient (U-value), LESOSAI includes USai [www.u-sai.com], which can also synchronize the databases of materials with several producers who participated in the [www.materialsdb.org] project. LESOSAI also supports the calculation of heating power according to EN 12831 and SIA 384.201 by zone or by room.

The graphical user interface is optimized to handle complex buildings in sufficient detail for the building certification. From this data, all required parameters for the dynamic simulation are extracted and passed to the Polysun simulation kernel by an internal software interface. The selection of system templates is based on the Polysun template database.

DESIGN STAGE, USERS

The software supports several languages: English, French, German and Italian. Users can choose from several calculation methods. LESOSAI is certified for Switzerland, France and Luxembourg and can be used in other countries for thermal energy calculations.

3D MODELLING

Lesosai 7.0, Polysun inside will have a wizard 3D from September 2010 and import .nbdm format at the end of 2010 (export from Google Sketch Up is made possible).

COORDINATES

Lesosai 7.0 classic version is performed using area, orientation and slope, without the need for the x,y,z position. The wizard gives the possibility to quickly build classical design of buildings and drawing will be an importation of the .nbdm format.

IMPORT/EXPORT

Import in .nbdm will be possible at the end 2010. Export to .pdf, .bld, .txt files is possible.

PREDECESSOR SOFTWARE, SUCCESSOR SOFTWARE

No predecessor software is relevant for LESOSAI, but all software including exportation in .nbdm format will be accepted. Successor software is generally not relevant, but Excel can be used to open the .txt files exported from Lesosai.

BIM

Lesosai does not support the .ifc format. So, this software is not considered as a BIM application.

Actual solar calculation

LESOSAI uses the Polysun inside calculation.

c) Design Performance Viewer DPV

SUPPLIER, SITE, CONTACT, LAST VERSION, COST

DPV is developed by keoto AG, c/o ETH Zurich, Institute for Technology in Architecture, www.keoto.net in Zurich, represented by Arno Schlueter and Frank Thesseling.

The first publically available beta-version will be released at the end of January 2010. By that time, the costs for a licence will be known.

FUNCTIONS

Due to the underlying digital building model, the energy and exergy consumption as well as the resulting energy-dependant costs can be queried by the users at any time and at no additional costs.

The relevant energy figures are calculated in real time; they can be saved and well-understandably be illustrated. This means that decisions taken on the building geometry, the construction system or the technical systems are instantly reflected by the expected energy and exergy consumption as well as the respective energy-dependant costs. Design decisions regarding the efficiency of a building may be taken at any time and promptly be included into the iterating design process. Thus, the use of this simulation programs leads to an optimised planning process as well as to more sustainable buildings in terms of energy, economy and architecture.

The building model is directly built up in the CAD/BIM-environment. Parameters required for the energy calculations can be linked to the building components and be modified at any time. The upcoming release already provides templates with the most commonly used construction systems. DPV is directly linked to the library of the CAD/BIM-environment (parameterised building parts). Energy calculations for buildings in Switzerland employ the climate data provided by SIA 380/1. It is planned to implement the METEONORM climate data in upcoming releases as well as to link them with the CRB cost database.

The annual heat energy demand is calculated according to SIA 380/1. The calculation results can comprehensibly be summarised and illustrated. Also, it is possible to evaluate and display the energy flows. Parameters and calculations are saved in a digital model, whereby they can easily be exchanged among different users. Upcoming releases will be provided with a print function to create PDF outputs of the results.

DESIGN STAGE, USERS

DPV allows architects and planners to determine the energy and exergy consumption of a building already in the early design phase. Thus, at a very early design stage relevant energy figures can promptly be introduced into their design. On top, it is possible to test energy and exergy strategies by using different combinations of technical systems and construction systems (e.g. heat loss through the envelope in relation to an efficient heating system).

3D MODELING

Data export or import to / from other programs is not necessary as DPV is directly embedded into the planning environment (Autodesk REVIT). An IFC-interface will be implemented to make this energy and exergy calculations available for other design tools.

COORDINATES

DPV 2d-drawing is performed according to x and y axes and 3d-modeling is related to x, y and z axes. It uses the right hand system (depending on the CAAD environment).

METHOD OF CALCULATION (upcoming Version)

The upcoming publically available release uses static calculations to determine the annual heat energy consumption according to SIA 380/1. Exergy flows are calculated with formulas developed at ETH. After mid 2010, an additional 'physical calculation nucleus' will be available for dynamic calculations. Due to the modular design of the software, many different information and calculation models may be integrated into the program in future.

PREDECESSOR SOFTWARE, SUCCESSOR SOFTWARE

DPV is directly embedded into the planning environment (Autodesk REVIT), linking data export and import directly with the CAAD-Software.

ACTUAL SOLAR CALCULATION

Active-solar calculations are not available in DPV. In upcoming releases a simple implementation of PV or thermal collectors will be possible.

COMMENTS

In contrary to conventional programs, DPV supports an instant evaluation of energy and exergy consumption as well as the respective energy-dependant costs. The manual entry of data is not necessary as the simulation program is embedded into the CAD environment. And, starting from the early design stage, information and calculations can be accessed and exchanged throughout the entire planning process. Instant feedbacks on design decisions, such as the form of the building or building elements, construction systems and technical systems, allow minimizing wrong planning decisions and eliminate unnecessary planning stages. Information on the relevant energy figures can promptly be integrated into the design of a building.

d) Energy Design Guide II

SUPPLIER, SITE, CONTACT, LAST VERSION, COST

Energy Design Guide II (EDG II) is developed by the Institute for Building Technology at ETH Zurich, Prof. Dr. Bruno Keller and Stephan Rutz, www.energy-design-guide.ch. Last version is EDG II V. 20090409_1.

The price for one license is 500.- CHF.

FUNCTIONS

EDG II supports the outlay of a building with low heating and cooling demand at a very early design stage. As the building is meant to set the boundaries for the dimensioning of the HVAC system, only the heating and cooling demand of the buildings (and not the way it is covered) is calculated. This strategy asks to first minimize the demand of a building and secondly, to cover the needs using an efficient heating and cooling system.

EDG II relies on a completely dynamic and analytically written calculation of the heat transmission as well as the charge and discharge processes in a room, whereas the thermal condition of the room is characterised by one single temperature (simplification). The calculation relies on a model that considers the three relevant factors:

- Loss factor K [W/m^2K] (standardised on the outer surface)
- Solar temperature-correction factor γ [m^2K/W], defined through the energy transmission of the transparent elements (in relation to the outer surface)
- time constant τ [s,h], defined through the dynamic storage capacity (in relation to the outer surface)

The program consists of the three basic steps: pre-processing (input and transformation of data), processing (calculation of indoor temperature, too cold and too warm hours) and post-processing (output of data).

The data input consists of

- Environmental data: climate data in relation to the latitude, horizon, shadow through neighbouring buildings (graphic or numeric input) and reflexion of the ground
- Operating data: internal sources, comfort limits, air exchange rates (only leakage and/or users, not building equipment) relating on weekly and annual timetables.
- Control parameters: heating /cooling power, sunscreens (defined for every façade or the indoor temperature), night ventilation (high or low) and night setback
- Spatial parameters: orientation of primary façade (graphic or numeric input), U-value, construction (light, medium, heavy), detailed layering (calculation of thermal mass) and surrounding rooms (same temperature or unheated)

EDG II contains an individually upgradable library with predefined parameters that contains:

- weekly and annual timetables of operating data
- list of sunscreens (transmission τ , reflexion ρ)

- list of glazings (U-value, g-Value)
- list of window frames (U-value)
- list of building materials (λ , c, ρ -values)
- Climate data for 22 places in Switzerland as well as some in Germany and Austria (Design Reference Year – values). Values for other places in Europe, USA, Japan and China can be added. The results can be printed as technical report consisting of:
 - 3-d graphics for too warm hours (Nw), too cold hours (Nk) and 0-energy hours (N0)
 - time dependant graphics for the annual run of the heating and cooling capacity, operation of sunscreens and night cooling
 - Tables with sum of energy and peak capacity demand, too warm hours (Nw), too cold hours (Nk) and 0-energy hours (N0)

DESIGN STAGE, USERS

EDG II supports the outlay of a building with low heating and cooling demand in different planning phases, starting at the very early design stage. It is designed for architects, engineers and interested building professionals.

3D MODELING

EDG II does not provide a 3d environment. The building model is defined through the input of numeric data, graphic inputs and predefined parameters.

COORDINATES

EDG II does not relate the building model to the coordinate system.

INPUT/OUTPUT, ALGORITHM

Import from *.klf, *.helios,.....

Export to *.doc, *.xls, *.jpeg, *.jpg, *.png, *.tiff, *.bmp and clipboard.

PREDECESSOR SOFTWARE, SUCCESSOR SOFTWARE

It is not possible to import data from predecessor software. This means that all data has to be entered directly into the EDG II. However, all inputs of a specific simulation provide a model that can be exported to another user / be imported by another user. The numeric output tables can be used in other programs.

BIM

It is not possible to import BIMs.

ACTUAL SOLAR CALCULATION

EDG II does not calculate active solar systems and passive energy gains. But, the horizon, the shadow of neighbouring buildings as well as the reflexion of the ground are included into the calculation.

COMMENTS

As the program only calculates the energy demand of the building and NOT how it is covered, it provides information on how the BUILDING works. Especially the 3d graphs of the results allow an easy interpretation of the simulation and fast estimation of the parameters to be changes.

e) Polysun (Quelle: Dubois, Horvat, ed., 2010, 94)

SUPPLIER, SITE, CONTACT, LAST VERSION, COST

Polysun is developed and sold by Vela Solaris AG, a privately-held Swiss corporation, which has been founded in 2007 as a spin-off of the Institute for Solar Technology SPF at the University of Applied Science Rapperswil in Switzerland.

Polysun is sold according to three user levels. Designer, being the highest level with a price range between 1300 USD to 4200 USD (1000 to 3200 €) offers full flexibility in system design by its unique graphical editing capability. Polysun Professional ranging from 380 to 2000 USD (290 to 1600 €) offers a user friendly interface and targets solar energy professionals, who are mainly focusing on standardized systems [Vela Solaris, 2008]. Vela Solaris is engaged in several partnerships where the Polysun simulation kernel is made available for other software. With the label “Polysun Inside”, it is ensured that simulation results are consistent with the calculation of the standalone version of Polysun enabling a data exchange between the various programs.

FUNCTIONS

The standalone version of Polysun is mainly used for the prediction of system profit ratio (early planning phase) and system optimization (detail planning). Calculations are based on a dynamic simulation model and statistical weather data. As a result, Polysun is not only a valuable tool for engineering work like optimization and design, but also for quality control and marketing support. With its solar thermal features, Polysun is widely used in retrofit applications due to its unequalled flexibility in the detailed system representation. In Solar Photovoltaics, Polysun offers an automatic inverter matching as well as an accurate yield prediction.

Polysun is shipped with a comprehensive component catalogue database ranging from photovoltaic modules, inverters, solar thermal collectors, heating units, etc. In these catalogues, commercially available components are stored with all necessary data characteristics. Updates are provided over the Internet by Vela Solaris. Furthermore, a large number of system templates are included with established heating and PV concepts. This allows a fast and efficient work.

DESIGN STAGE, USERS

Polysun is mainly targeting at installers and planners of solar energy systems. Polysun offers a broad range of functionalities required for the analysis and design of domestic energy systems ranging from PV to ST, heat pump and cooling systems. With its physics-based simulation capability, it is a high quality basis for yield and economic viability calculations. It comprises the necessary calculations for amortization and the data required for subsidy applications. With its user-friendly interface translated in ten different languages (including Chinese), Polysun has a broad world-wide customer database. While Vela Solaris is providing support in German and English, they have partners in many different countries providing local support and ensuring that the template and component database are relevant and up-to-date.

3D MODELING

There is no 3D modeling capability in Polysun.

COORDINATES

There is no 3D modeling capability in Polysun. Horizon data and position of the sun are visualized graphically.

IMPORT/EXPORT

Polysun offers import for external weather data (hourly, monthly) and horizon data (plain data, HoriCatcher, SunEYE).

Predecessor software, successor software

Polysun has the METEONORM weather data kernel included. It uses OpenStreetMap for a detailed definition of the object location. Polysun offers a broad range of system components in its database (PV and inverter database of Photon, solar thermal collectors of SPF and other testing institutes, heat pump data from NTB).

The Polysun platform offers a universal software interface for other applications [Witzig, Foradini, Munari Probst, Roecker, 2009]. In these applications, the “Polysun Inside” DLL is fully integrated and users have access to the Polysun features through the host software. Examples are LESOSAI, ENERGIEplaner, DDS, plan4solar.

BIM

Polysun is not a BIM application. However, with the application DDS-CAD, it is closely linked to a BIM kernel in the DDS software.

Actual solar calculation

Polysun has a full featured solar simulation engine including in-depth representation of thermodynamic and photovoltaic physics. In particular, it offers the combination of solar thermal, photovoltaic and heat pump applications which is important because of their strong interdependence.

The program enables easy PV system sizing and delivers the most important results at an impressive speed. Shading analyses can be carried out, although in more complex shading situations PVsyst is more accurate.

f) IDA ICE

SUPPLIER, SITE, CONTACT, LAST VERSION, COST

IDA ICE is developed by the EQUA Simulation Technology Group in Stockholm, www.equa.se.

Last version is IDA ICE 4.0. The price for one license is 1800.- Euro.

FUNCTIONS

IDA ICE is based on the IDA Simulation environment, an object oriented and equation based modelling system developed by the same company.

IDA ICE is building simulation software used for predicting and optimizing heating load, cooling load, energy consumption and thermal comfort in buildings.

IDA ICE calculates the dynamic interaction between the ambient climate, the building, the building system and the building occupants.

Calculated variables: Resource consumption (energy, CO₂, ...) and comfort values (temperature, operative temperature, hours with high temperature, humidity, CO₂-concentration, Fanger comfort values, ...)

DESIGN STAGE, USERS

IDA ICE works with 4 different user levels: Wizard, Standard, Advanced and Developer:

- The wizards are easy to use and allow giving estimations for specific questions about the thermal behaviour of buildings in the design or planning stage.
- The standard level provides efficient model building with 2D and 3D GUI. It allows understanding the predicted dynamic behaviour of a building in different model fidelities: Simple models for the design stage and detailed models for the planning or optimization phase.
- The advanced and developer level allows investigating the thermal behaviour of new non-standard systems in all planning phases. The two levels need expert knowledge. Any system and any physical phenomena can – when required – be taken into account.

3D MODELING

The 3D geometry model describes the building and its thermal zones as well as the interzonal thermal connections through wall/floor/roof constructions, windows and openings. The geometry model can either be imported from an IFC file or build up from scratch. For the latter, 2D CAD Import supports the working process. Any 3D CAD object can be imported as shading element.

COORDINATES

IDA ICE 2D drawing is performed according to x and y axes and 3D modelling is related to x, y and z axes. It uses the right hand system.

INPUT/OUTPUT, ALGORITHM

Import from *.ifc, *.dxf, *.dwf, *.3ds, *.cgm, *.cmx, *.dgn, *.drw, *.gbr, *.svg, *.pcl, *.prn, *.prt, *.pct, *.plt, *.wpg, *.vwpg, *.bmp, *.jpeg, *.jpg, *.png, *.pcx, *.tiff, *.tif, *.pcd, *.tga, *.emf, *.wmf,

Export to *.html, *.doc, *.xls, *.jpeg, *.jpg, *.png, *.tiff, *.bmp and clipboard.

PREDECESSOR SOFTWARE, SUCCESSOR SOFTWARE

CAAD -> IDA ICE -> Results (Excel etc.)

BIM

IDA ICE imports all versions of IFC. The imported information from IFC includes 3D model with walls, windows, glazings, constructions and materials.

ACTUAL SOLAR CALCULATION

Passive solar: Solar load and shading calculation through ray tracing, surface reflection, venation blinds, advanced shading control, different optical parameters for different spectrums.

Active solar: Component models for PV and solar thermal exist. Actually they are not available within the user levels for the early planning phase. This is planned to be implemented in the near future.