

# Das Klima als Entwurfsfaktor – Architektur und Energie bei Wohn- und Bürogebäuden

Diese Studie wurde durch das Zentrum für Integrale Gebäudetechnik ZIG der Hochschule Luzern in Horw ausgearbeitet. Als Grundlage diente das im Quart Verlag erschienene Buch „Das Klima als Entwurfsfaktor – Architektur und Energie“, 1. Band der Reihe Laboratorium, herausgegeben von Tina Unruh, Abteilung Architektur, HSLU – Technik & Architektur.



# Impressum

Hochschule Luzern  
Technik & Architektur  
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik ZIG  
Technikumstrasse 21  
6048 Horw

Gianrico Settembrini Hochschule Luzern – Technik & Architektur  
Urs-Peter Menti Hochschule Luzern – Technik & Architektur

Diese Studie ist das Ergebnis der Weiterführung eines Forschungsprojekts mit dem Fokus Energie der Abteilung Architektur und des Zentrums für Integrale Gebäudetechnik der Hochschule Luzern. Aus diesem Gemeinschaftsprojekt sind bereits zwei Buchbänder mit dem Titel „Das Klima als Entwurfsfaktor“ erschienen.

Sie sind Teil der Buchreihe „Laboratorium“ und werden ab S. 39 detailliert vorgestellt.

Herausgeberin: Hochschule Luzern – Technik & Architektur

Tina Unruh, CC Material, Struktur & Energie in Architektur

Textbeiträge: Christian Hönger, Roman Brunner, Urs-Peter Menti, Christoph Wieser.

Mit Positionen von Roger Boltshauser, Gion Caminada, Philippe Rahm, Sascha Roesler

Im Bericht werden Themen sowie Bildmaterial aus diesen Publikationen wiedergegeben.

09. Juli 2014

Abbildung 1 (Titelseite): Architekturpreisträgerobjekte - Beispiele aus dem Schweizer Bürobausektor

Links oben: Wohn-und Geschäftshaus „Perron 1“, Solothurn 2012, Morger + Dettli Architekten AG, Foto Ruedi Walti, Sieger Arc-Award 2013, [www.arc-award.ch](http://www.arc-award.ch)

Rechts oben: ÖKK Hauptsitz, Landquart 2012, Bearch & Deplazes Architekten,  
Foto Ralph Feiner, Auszeichnung Beton-Preis 2013, [www.architekturpreis-beton.ch](http://www.architekturpreis-beton.ch)

Links unten: UVEK Campus, Ittigen BE 2006, GWJ Architektur,  
Foto Dominique Uldry, Sieger Holzbaupreis 2005, [www.prixlignum.ch](http://www.prixlignum.ch)

Rechts unten: Bundesverwaltungsgericht, St. Gallen 2013, Staufer & Hasler Architekten AG, Foto Roland Bernath, Auszeichnung Beton-Preis 2013, [www.architekturpreis-beton.ch](http://www.architekturpreis-beton.ch)

„Die Sonne einführen, das ist eine neue und die gebieterische Aufgabe des Architekten.“ *Le Corbusier*

„Wir brauchen Gebäude, sie sich von der Sonne ernähren.“  
*Prof. Stefan Schleicher, Karl-Franzens-Universität Graz*

„Wir sparen nicht Energie, wir produzieren sie. Das sind ganz neue Formen der Architektur.“ *Wolf D. Prix, Coop Himmelb(l)au.*

„Architektur ist Wissen um die Technik, Empfänglichkeit gegenüber der künstlerischen Seite der Angelegenheit.“ *Arne Jacobsen*

Zeige mir, wie du baust, und  
ich sage dir, wer du bist.  
*Christian Morgenstern*

„Die Architektur ist die Fortsetzung der Natur in ihrer konstruktiven Tätigkeit.“ *Karl Friedrich Schinkel*

# „FORM FOLLOWS ENERGY“

*Brian Cody, TU Graz*

„Man kann nicht in die Zukunft schauen, aber man kann den Grund für etwas Zukünftiges legen – denn Zukunft kann man bauen.“  
*Antoine de Saint-Exupéry*

„2050 sollte es kein Gebäude ohne Sonnenenergienutzung mehr geben. Ich bin zwar gegen Zwangsvorschriften, aber mit attraktiven Förderungen müsste das zu schaffen sein“  
*Ing. Franz Karl Meusberger*

„Energielösungen für die nächsten Generationen brauchen technische und unternehmerische Innovationen, sie werden sich aber nur dann durchsetzen, wenn sich mit der Technik auch unser Lebensstil und unsere Wirtschaftsweise ändert.“  
*Robert Korab, raum & kommunikation GmbH*

«Ich glaube der Mensch kann sich nicht ändern. In der Schweiz ändert sich nur etwas, wenn wirklich Not ist... Wenn wir keine Energie mehr haben aus fossilen Quellen, dann werden wir etwas machen. Vorher geschieht nichts ... Ich finde es manchmal schade, dass der Mensch nicht mehr antizipiert.»

*Jacques Herzog, Architekturbüro Herzog & de Meuron, Basel*

**“Architektur ist im Idealfall immer direkte Auseinandersetzung mit dem Menschen.”**  
*Richard Alan Meier*

Billiger bauen heißt noch lange nicht schlechter bauen.  
Architekten müssen endlich lernen, mit den Ressourcen besser umzugehen, auch mit Energie. *Peter P. Schweger*

Diese Broschüre ist auf der Homepage der Abteilung Technik & Architektur der Hochschule Luzern ebenfalls als pdf-Datei unter folgender Adresse im Bereich „links und download“ kostenlos erhältlich:  
[www.hslu.ch/de-ch/technik-architektur/forschung/kompetenzzentren/zig](http://www.hslu.ch/de-ch/technik-architektur/forschung/kompetenzzentren/zig)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Ausgangslage</b>	<b>8</b>
2.1	Architektur und Energie	8
2.2	Energieeffizienz – ein neues Thema?	9
2.3	Strategien	9
<b>3</b>	<b>Methodik</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Wohngebäude</b>	<b>12</b>
4.1	Bisherige Publikationen	12
4.2	Wichtigste Resultate für den Wohnbau	12
<b>5</b>	<b>Bürogebäude</b>	<b>14</b>
5.1	Vergleich zur Wohnnutzung	14
5.2	Standort	14
5.3	Beleuchtung	14
5.4	Energieträger und Wärmeerzeugung	15
5.5	Kompaktheit	16
5.6	Formoptimierung	16
5.7	Proportion und Massstab	17
5.8	Orientierung	17
5.9	Fensteranteil	18
5.10	Fensterverteilung	18
5.11	Materialisierung	19
5.12	Balkone	19
5.13	Gebäudehülle	20
5.14	Hoftypologien	21
5.15	Zusammenfassung	22
<b>6</b>	<b>Diskussion und Ausblick</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>28</b>
7.1	Glossar	28
7.2	Bibliographie	30
<b>8</b>	<b>Das Zentrum für Integrale Gebäudetechnik ZIG</b>	<b>31</b>
8.1	Die vier Forschungsthemen am ZIG	32
8.2	Auswahl aktueller ZIG-Projekte	36
8.3	Die Prüfstelle am ZIG	38

# 1 Zielsetzung

**Entscheidungen in der frühen Phase des konzeptionellen Entwurfs haben die grössten energetischen Auswirkungen. Diese Studie quantifiziert den Einfluss frühkonzeptioneller Entscheide auf die Energiebilanz von Gebäuden.**

**Daraus können Handlungsempfehlungen für eine energieeffiziente Architektur abgeleitet werden. Bisherige Untersuchungen haben sich mehrheitlich mit dem Wohnungsbau befasst. Der Schwerpunkt dieses Berichts ist bewusst auf den Bürobau gelegt.**

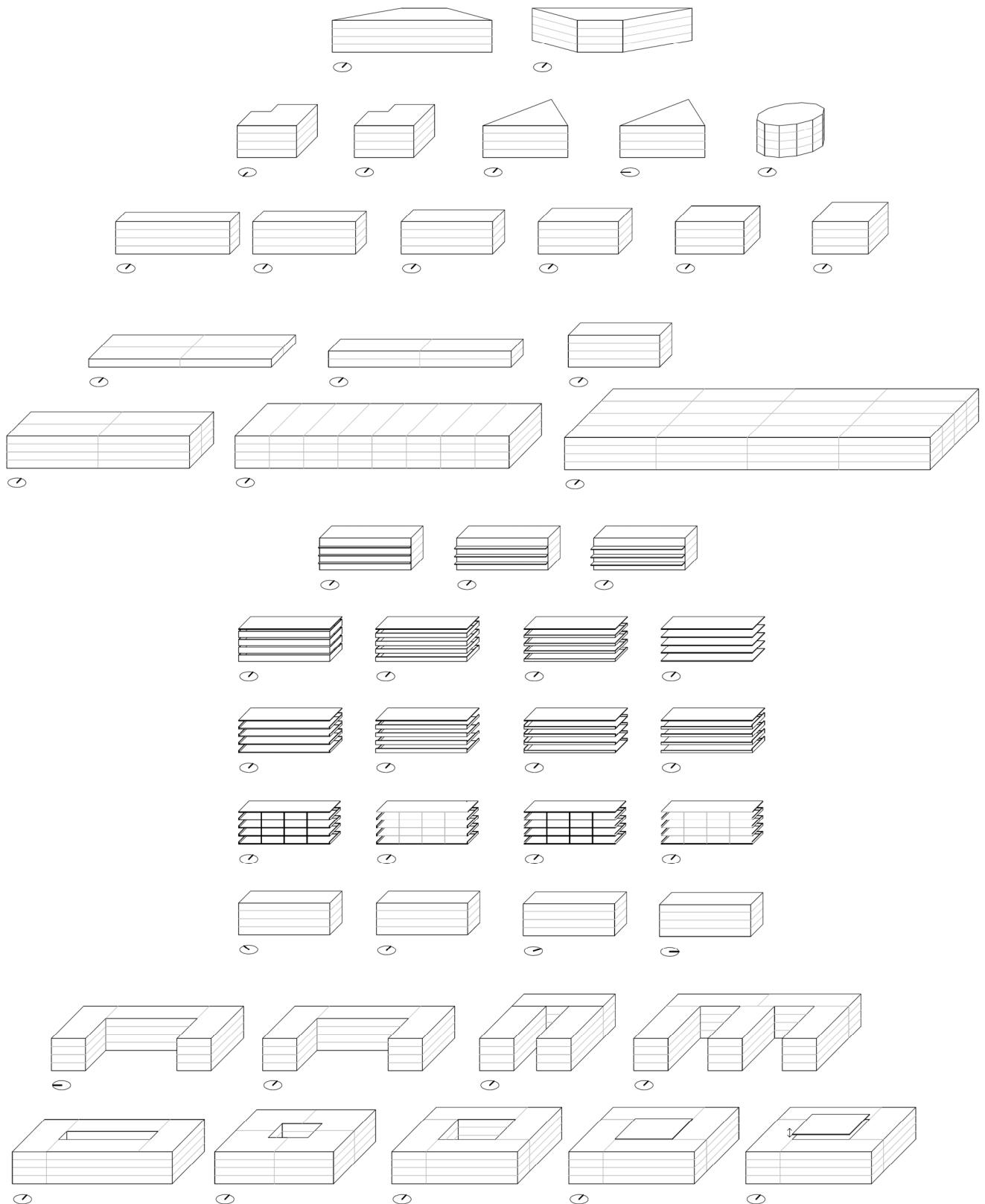
Am Anfang des Entwurfs werden die wichtigsten Entscheidungen zu Form, Materialisierung und Konstruktion eines Gebäudes gefällt. Die Vielfalt möglicher Lösungen ist in dieser Phase enorm, wie die Baukörperauswahl in der Abbildung 2 zeigt. Der dargestellte „Gebäudezoo“ bildet einen Teil der in der Studie untersuchten Varianten von Bürogebäuden ab. Analysiert werden u.a. die Aspekte Ort, Orientierung, Umhüllung, Balkon, Porosität, Verformung, Massstab, Abstufung, Öffnungsanteil, Öffnungsverteilung, Hülle, Eingrabung oder Konstruktion.

Ziel der Arbeit ist die Sensibilisierung der Baubranche auf die Anliegen der Energieeffizienz. Das Aufzeigen der Größenordnung der Auswirkung früher Entscheide soll Architekten motivieren, energiebewusster zu entwerfen und ihre Verantwortung auf dem Weg zu einer nachhaltigen Gesellschaft wahrzunehmen.

Der bedeutende amerikanische Architekt Louis Sullivan wurde gegen Ende des 19. Jahrhunderts durch seine Hochhausentwürfe berühmt. Er war Vertreter der Chicago School und verwendete in den Aufsätzen zu seinen Werken erstmals den Gestaltungsleitsatz „form follows function“. Der Ausdruck wurde in den 20er Jahren vom Bauhaus, eine der wichtigsten Architekturbildungsstätten, aufgenommen. Er war für die Architektursprache der Moderne prägend. Heute, über 100 Jahre später, erlangt der Grundsatz, in abgeänderter Form, wieder Aktualität. Brian Cody, Professor am Institut für Gebäude und Energie an der TU Graz, propagiert das Prinzip „form follows energy“. Ob und wie stark dieser Leitsatz die Architektur der Zukunft ebenfalls beeinflussen wird, muss sich noch erweisen. Diese Arbeit zeigt den Zusammenhang zwischen Form und Energie und dessen Größenordnung auf.

Im Bericht werden zahlreiche Ausdrücke aus dem Energie- und Baubereich verwendet. Die wichtigsten Begriffe sind im Kapitel 7.1 „Glossar“ auf Seite 28 erläutert.

Abbildung 2 (rechts): „Gebäudezoo“  
volumetrische Darstellung von  
Baukörpern untersuchter Bürogebäude



## 2 Ausgangslage

### 2.1 Architektur und Energie

Gebäude verbrauchen Ressourcen und produzieren beträchtliche Mengen Schadstoffe. Global wird die Hälfte der gesamten Energie von Gebäuden verbraucht<sup>1</sup>. In der Schweiz ist der Gebäudepark für rund 30% der Treibhausgasemissionen verantwortlich<sup>2</sup> (Abbildung 3). Energieeffizientes Bauen muss deshalb ein Anliegen der Architektur sein. Umso mehr, wenn man berücksichtigt, dass fast 40% der Lebenszykluskosten durch eine Minderung des Energieverbrauchs reduziert werden könnten<sup>3</sup>.

Kontemporäre Architektur trumpft oftmals mit einer vielfältigen Formen- und Materialsprache auf (Abbildung 4 und Abbildung 5). Will man Energieeffizienz als Thema im konzeptionellen Entwurf etablieren, müssen die abweichenden Auswirkungen auf die Umwelt von unterschiedlichen Gebäudekonzepten quantifiziert werden. Nur so kann ausgemacht werden, ob und wie verantwortungslos die gewählte architektonische Formensprache in ökologischer Hinsicht tatsächlich ist.

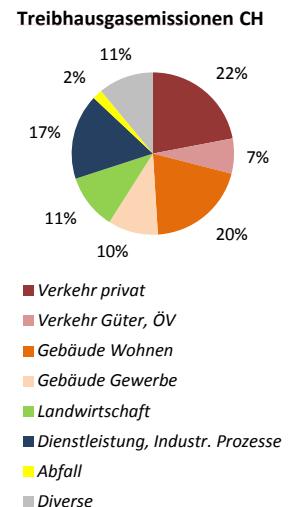


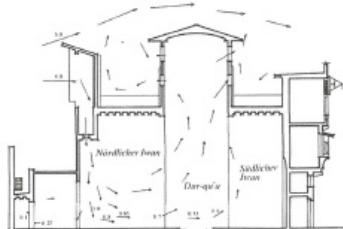
Abbildung 3 (links oben):  
Prozentuale Aufteilung der Schweizer  
Treibhausgasemissionen auf die ver-  
schiedenen Sektoren, Stand 2007.

Abbildung 4 (links mitte):  
Wohnüberbauung Bern Brünnen,  
Baufeld 2; Projektwettbewerb 2011,  
1. Rang; Architektur u. Visualisierung:  
Nord Architekten, Basel

Abbildung 5 (links unten):  
Actelion Business Center,  
Allschwil 2010;  
Architektur Herzog & de Meuron;  
Foto: [www.taller52012.wordpress.com](http://www.taller52012.wordpress.com)

<sup>1</sup> Behling 2000, S. 20  
<sup>2</sup> BAFU, Treibhausgasinventar, 2009.  
<sup>3</sup> Schwarz 2007, S. 600

## 2.2 Energieeffizienz – ein neues Thema?



Umwelteinflüsse hatten immer einen grossen Einfluss auf die Architektur. Traditionelle Bauformen sind oftmals als Reaktion auf klimatische Bedingungen entstanden und zeichnen sich in der Regel durch einen effizienten Umgang mit den natürlichen Ressourcen aus. Bauplätze und Gebäudeformen wurden in unserer Klimazone beispielsweise so ausgewählt, dass sie Schutz vor Wind, Regen und Kälte bieten konnten. In den arabischen Ländern weisen Gebäude Konzepte auf, die eine Kühlung durch die Kombination von ermöglichter Luftströmung und Speicherfähigkeit der verwendeten Baumaterialien erlaubt. (Abbildung 6)



In der Moderne galt u.a. der Architekt Richard Buckminster Fuller (1895 bis 1983) als Vordenker der Nachhaltigkeit. Er plädierte für eine globale Sicht im Umgang mit Energiequellen, entwickelte Welt-Klimakarten (z.B. Dymaxion-Weltkarte, 1953) und propagierte eine nachhaltige „Bedienungsanleitung für das Raumschiff Erde“. Mit seinen „Domes“ – kuppelförmige Bauten – praktizierte er eine energieeffiziente Architektur mit minimalem Materialaufwand. (Abbildung 7)

Energieeffizienz in der Architektur ist mit Sicherheit keine neue Materie. Vielmehr wurde das Thema im Laufe der Zeit vernachlässigt. Regionaltypische Bauweisen haben sich über Jahrhunderte entwickelt und bewährt. Sie reagieren auf vor Ort vorhandenen klimatischen Bedingungen und Baumaterialien. Heute bestehen Anforderungen, jeden Entwurf überall in der Welt umzusetzen und nachträglich mit Hilfe von Gebäudetechnik ein komfortables Innenraumklima wieder herzustellen.

## 2.3 Strategien

Die Planung eines energieeffizienten Gebäudes erlaubt unterschiedliche Handlungsstrategien. Diese können – abhängig vom örtlichen Klima – stark voneinander abweichen. Die Abbildung 8 zeigt mögliche Strategiegrundsätze für unterschiedliche Klimazonen in schematischer Art auf. In der Architekturwelt werden häufig Mischformen davon angewendet. Die Strategien und die entsprechenden Beispielobjekte sind hier lediglich in Kurzform dargestellt. Sie sind dem Buch „Klima als Entwurfssfaktor“<sup>6</sup> entnommen und werden dort ausführlich beschrieben und diskutiert.

Abbildung 6 (rechts oben):  
Qa'a des Muhib Ad-Din, Ash-Shaf i Al-Mawaggi, Kairo, 1350, Schemaschnitt;  
Hassan Fathy (1900–1989)<sup>4</sup>

Abbildung 7 (rechts mitte):  
Richard Buckminster Fuller (1895 – 1983): Kuppeln als energieeffiziente Gebäudekonzepte.<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Fathy, Hassan. Architektur aus 1001 Steinen. In: Arch+, Feb. 1987, S. 43.

<sup>5</sup> Bild: [www.robertleather.wordpress.com](http://www.robertleather.wordpress.com)

© Bettman/CORBIS

<sup>6</sup> Hönger 2013, S. 34ff.

## Sparen



### Verdicken

**Volumen dicker machen, Oberfläche verkleinern:**  
Die schiere Größe und Proportion eines Baukörpers hat einen entscheidenden Einfluss auf die Energieeffizienz.



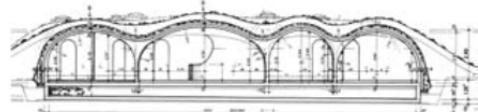
### Schrumpfen

**Zusammengezogene Gestalt (Winterhaus):**  
Während im Sommer die gesamte Nutzfläche zur Verfügung steht, ziehen sich die Bewohner im Winter in einige wenige bewohnte Räume zurück.



### Eingraben

**Ins Terrain eingraben, mit Erde zudecken:**  
Das Gebäude wird teilweise in die Erde eingesenkt oder mehrheitlich überschüttet. Dadurch werden die Energieverluste zwischen Gebäude und Umgebung reduziert.



## Gewinnen



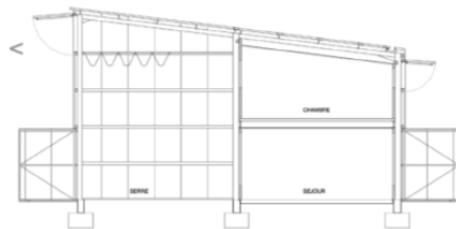
### Aussetzen

**Die sonnengeformte Gestalt:**  
Die Volumenbegrenzungsfächen werden entsprechend der genauen örtlichen Sonneninstrahlung ausgerichtet, um möglichst viel Sonne einzufangen.



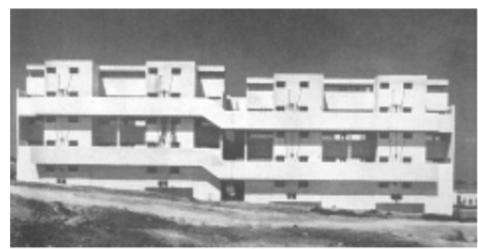
### Blähen

**Das Sommerhaus:**  
Das Haus dehnt sich im Sommer aus, indem Räume mit Zwischenklima auch schon in den Übergangszeiten mittels der Sonne aufgewärmt werden.



### Umhüllen

**Raumhaltige Hülle:**  
Die aussenseitige, umhüllende Schicht oder die Fensteröffnungen werden raumhaftig und gegen Süden zu "Sonnenfallen" bzw. zu "Pufferräumen" auf der Nordseite.

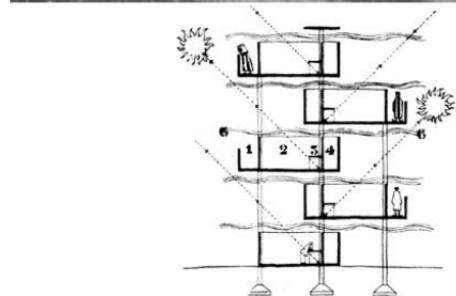


## Ausweichen



### Einschliessen

**Raumhaltige Hülle:**  
Die eigentlichen Nutzräume sind im Innern des Volumens "gefangen". Die äußerste Schicht funktioniert als baulicher Sonnenschutz, welcher die Sonne im Sommer abhält und im Winter einlässt.



### Durchlüften

**Querlüftung durch tiefe Volumen:**  
Mehrheitlich vorherrschende Winde und Windrichtung werden zur Durchlüftung und somit zur natürlichen Kühlung der Gebäude eingesetzt.



### Ausweichen

**Wandern:** Nutzungsneutrale Räume  
Die bewohnten Räume wechseln sich innerhalb des Hauses zwischen Tag und Nacht und zwischen Sommer und Winter ab.

Abbildung 8:

Auflistung möglicher Strategien für eine energieeffiziente Architektur mit ausgewählten Beispielen (von oben nach unten):

Das teilweise eingegrabene Wohnhaus Raven, Ascona 1982, Arch. Peter Vetsch, Foto und Längsschnitt<sup>7</sup>

Das flexibel ausdehbare Haus Latapie, Floirac 1993, Arch. Locatoni & Vassal, Foto und Querschnitt<sup>8</sup>

Der durchlüftete Wohnblock Semiramis, Casablanca 1953, Arch. Candilis Josic, Foto und Schemaschnitt<sup>9</sup>

<sup>7</sup> Vetsch 1994, S. 44

<sup>8</sup> www.lacatonvassal.com

<sup>9</sup> Joedicke 1968, S. 26f

### 3 Methodik

In der Studie werden wichtige Parameter des konzeptionellen Entwurfes wie Orientierung, Volumetrie, Materialisierung, Öffnungsverhalten usw. an fiktiven Gebäuden untersucht. Ausgangslage bilden zwei typische, den Gebäudepark Schweiz repräsentierende Baukörper für die Nutzungen Wohnen und Büro.

Der „Wohnblock“ wird als viergeschossiger Zweispänner mit 8 Wohneinheiten und einer Gesamtenergiebezugsfläche von  $800\text{m}^2$  angenommen. ( $\text{LxBxH} = 10 \times 20 \times 12$  Meter). Das viergeschossige Bürogebäude besitzt eine Gesamtenergiebezugsfläche von  $2400\text{m}^2$ . ( $\text{LxBxH} = 15 \times 40 \times 14$  Meter). Beide Basisvarianten gehen von einem südorientierten Massivbau mit Kompaktfassade aus und stehen im Schweizer Mittelland. Die wichtigsten Parameter sind in der Abbildung 9 festgehalten. Ausgehend von diesen Baukörpern werden einzelne Parameter verändert und in Relation zur Basisvariante gesetzt, wobei die Energiebezugsfläche beibehalten wird.

Gesucht sind Strategien, die den Gesamtenergiebedarf über den ganzen Lebenszyklus des Gebäudes optimieren. Es werden die Nutzenergie für die Raumwärme, Raumkühlung und Beleuchtung sowie die Graue Energie für die Erstellung, Unterhalt und den Rückbau des Gebäudes ausgewiesen. Auf den Energiebedarf für Warmwasser, Lüftung oder Betriebseinrichtungen wird nicht eingegangen, da er bei den vorgenommenen Variationen innerhalb der jeweiligen Nutzungen „Wohnen“ und „Büro“ als nahezu konstant angenommen werden kann. Als Kennwerte dienen die nicht erneuerbare Primärenergie (PEne) und die Treibhausgasemissionen (THG).

Der Betriebsenergiebedarf wird mit „IDA ICE 4.51“<sup>10</sup> errechnet, einer Software für thermische Raumsimulationen. Die Ermittlung der Grauen Energie und der Grauen THG erfolgt anhand der Rechenhilfe zum MB SIA 2040 „Effizienzpfad Energie“<sup>11</sup>. Ergänzend werden Werte aus dem Online-„Bauteilkatalog“<sup>12</sup> sowie den KBOB-Ökobilanzdaten<sup>13</sup> eingesetzt.

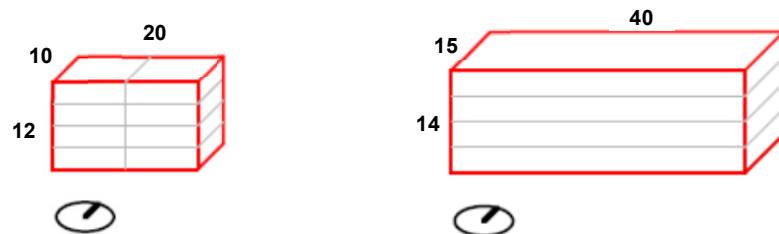


Abbildung 9:  
Basisgebäude für die Nutzungen „Wohnen“ und „Büro“ mit den jeweiligen Ausgangsparametern.

<sup>10</sup> IDA Indoor Climate and Energy, Version 4.51; Equa Simulation AB, Stockholm

<sup>11</sup> SIA MB 2040, SIA-Effizienzpfad Energie (2011)

<sup>12</sup> [www.bauteilkatalog.ch](http://www.bauteilkatalog.ch)

<sup>13</sup> KBOB, Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1(2012)

#### «Wohn-Block»

- 4-geschossiger Zweispänner
- 8 Wohneinheiten à  $300\text{m}^3$  ( $\text{LxBxH} = 10 \times 10 \times 3\text{m}$ )
- Massivbau mit Kompaktfassade
- Fensteranteil ca. 40%
- U-Wert opak  $0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Isolierverglasung 3-fach
- Orientierung Süd
- WP Luft/Wasser (JAZ Wärme/Kälte: 2.8/2.5)

#### «Büro-Block»

- 4-geschossig mit Infrastrukturkern
- 4 Büroeinheiten à  $2'100\text{m}^3$  ( $\text{LxBxH} = 15 \times 40 \times 3.5\text{m}$ )
- Massivbau mit Kompaktfassade
- Fensteranteil ca. 75%
- U-Wert opak  $0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Isolierverglasung 3-fach
- Orientierung Süd
- WP Sole/Wasser (JAZ Wärme/Kälte: 3.9/3.8)

## 4 Wohngebäude

### 4.1 Bisherige Publikationen

Die Nutzung Wohnen macht den Hauptteil der gesamten, schweizerischen Energiebezugsfläche von Gebäuden aus und ist für den grössten Teil des Energieverbrauchs verantwortlich (Abbildung 10). Deswegen haben sich bisherige Studien vorwiegend mit Energiebilanzen von Wohngebäuden befasst.

Das im Jahr 2009 publizierte Buch „Das Klima als Entwurfsfaktor“<sup>14</sup> zeigte den Einfluss frühkonzeptioneller Überlegungen auf Energiebilanzen von Wohnbauten auf (Abbildung 11). Mit der zweiten, kürzlich erschienenen Auflage des Buches wurden die Berechnungen aktualisiert und ergänzt. Die Publikation ist als Gemeinschaftsprojekt der Abteilung Architektur und dem Zentrum für Integrale Gebäudetechnik der Hochschule Luzern entstanden und ist dem Klima und den daraus entstehenden energetischen und gestalterischen Konsequenzen gewidmet. Es zeigt anhand interdisziplinärer Inputs die Zusammenhänge zwischen Architektur und Energie auf. Die Blickweise ist nicht eine abstrakt-technische, sondern eine anschaulich-räumliche, die die Suche nach inspirierenden Lösungen bewusst stimuliert.

In diesem Bericht stehen die Resultate der Büronutzung im Vordergrund. Auf die im Buch aufgezeigten Erkenntnisse bei Wohnbauten wird hier nur knapp hingewiesen. In den Abbildungen auf der folgenden Seite sind die wichtigsten Resultate zusammengefasst. Eine schematische Darstellung von weiteren untersuchten Varianten mit den entsprechenden Ergebnissen ist im Kapitel 5.15 „Zusammenfassung“ ersichtlich.

### 4.2 Wichtigste Resultate für den Wohnbau

Die Simulationen und Berechnungen zeigen, dass im Wohnbau der Energiebedarf für die Raumwärme und für die Graue Energie die relevanten Kenngrössen sind. Der Energieaufwand für die Beleuchtung und für die Raumkühlung spielt eine untergeordnete Rolle.

Eine kompakte Bauweise hat einen positiven Effekt sowohl auf den Energiebedarf für die Raumwärme als auch auf die Graue Energie. Somit kann davon ausgegangen werden, dass eine kompakte Bauweise auch energieeffizientes Bauen bedeutet. Dies wird durch die Untersuchungen zur Massstäblichkeit und Proportionen der Gebäude bestätigt. Strategien, bei denen der Formfaktor<sup>15</sup> vergrössert wird, erweisen sich als kontraproduktiv. Dies gilt sowohl für reizvolle Verformungen mit dem Ziel, solare Gewinne zu maximieren (Variante 023 in der Abbildung 12), als auch für Teileingrabungen des Gebäudes, bei denen versucht wird, die Transmissionsverluste zu minimieren (Variante 093). Balkone erweisen sich ebenfalls – aus rein energetischer Sicht – als nicht wünschenswert (Variante 081).

Die Auswahl der in der Abbildung 13 dargestellten Varianten macht deutlich, dass die negativen Auswirkungen auf die Gesamtbilanz der Gebäude generell ausgeprägter ausfallen als die positiven. Vergrössert man beispielsweise das Basisgebäude (8 Wohneinheiten) um das zehnfache (Variante 034; 80 Wohnungen), reduziert sich die nicht erneuerbare Primärenergiemenge (PEne) um ca. 7%. Betrachtet man ein Einfamilienhaus mit derselben Bauweise (Reduktion von 8 auf 1 Wohneinheit) erhöht sich der PEne-Wert um über 50%.

Energiebezugsfläche CH

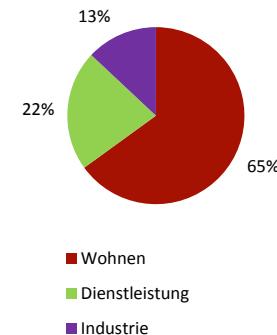


Abbildung 10 (links oben):  
Übersicht über die Anteile der Energiebezugsflächen der Nutzungen „Wohnen“, „Dienstleistung“ und „Industrie“.<sup>16</sup>

Abbildung 11 (links unten):  
Frontseite des Buchs „Das Klima als Entwurfsfaktor – Architektur und Energie“

<sup>14</sup> Hönger 2013

<sup>15</sup> Formfaktor = Gebäudehüllfläche / Gebäudevolumen; ein tiefer Formfaktor ist typisch für ein kompaktes Gebäude und weist auf ein hohes Gebäudevolumen bei vergleichsweise tiefer Gebäudehüllfläche hin.

<sup>16</sup> BFE-Bericht Zukünftige Entwicklung der Energiebezugsflächen, 2004

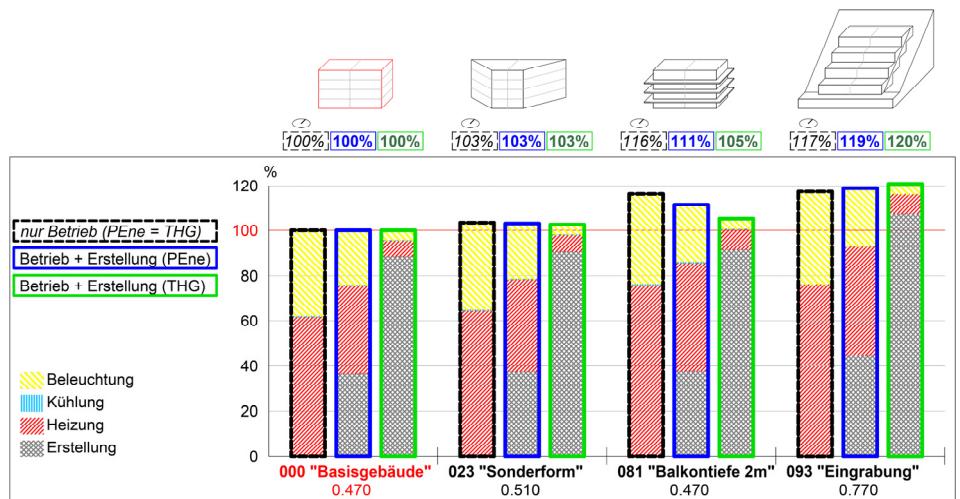


Abbildung 12 (rechts oben):

Prozentuale Abweichung der Gebäudebilanz in Abhängigkeit von dessen Form und Gestaltung. (Basis = 100%, rot gekennzeichnet)

Die Varianten sind oben axonometrisch dargestellt und unterhalb des Balkendiagramms beschrieben. Die dreistellige Zahl bezeichnet die Variantennummer, der Dezimalwert zeigt den Formfaktor des jeweiligen Gebäudes auf.

Der schwarz umrahmte Diagrammbalken und die kursive Prozentzahl beziehen sich auf die Betriebsenergie, die farbig umrahmten Balken auf die Summe des Aufwands für Betrieb sowie Erstellung (inkl. Instandhaltung und Rückbau). Blaue Rahmen und Zahlen beziehen sich jeweils auf Werte der PEne, grüne auf die THG.

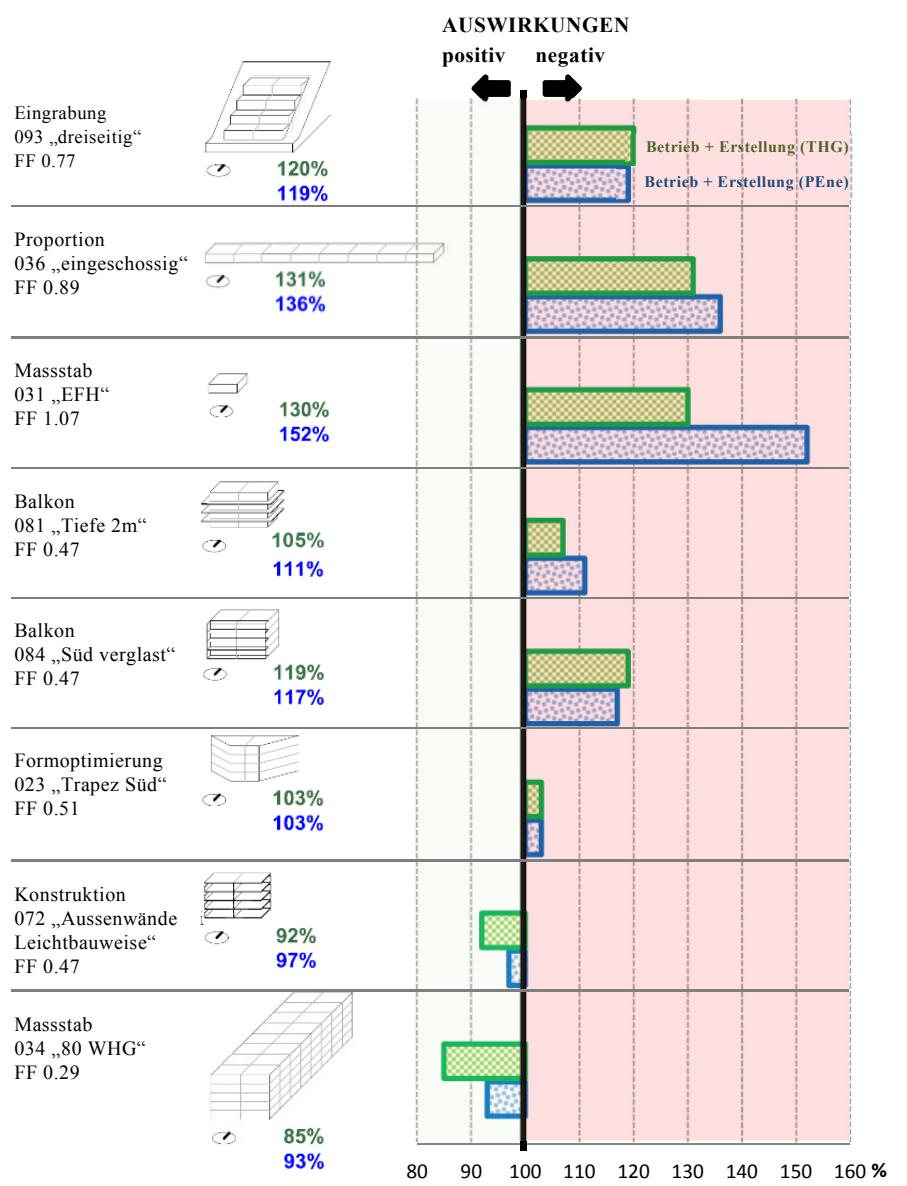
Die Bereiche Beleuchtung, Kühlung, Heizung und Erstellung sind mit unterschiedlichen Farben und Schraffuren dargestellt. Dabei ist die Dominanz der Grauen Energie und insbesondere der Grauen THG in der Gesamtbilanz ersichtlich.

Lesebeispiel: Der Betriebsaufwand der Balkonvariante 081 „Balkon 2m“ verursacht einen um 16% höheren Energiebedarf, bzw. höheren Treibhausgasemissionen als die Basisvariante 000 „Basis“. Diese werden zu 75.7% durch den Heizwärmebedarf, zu 0.5% durch den Kühlbedarf und 40.1% durch die Beleuchtung verursacht. (Summe = 116%; Werte in Relation zur Basisvariante). Die Summe für den Aufwand für Betrieb und Erstellung der Variante 081 verursacht einen um 11% höheren Wert der PEne, respektive 5% der THG im Vergleich zur Basisvariante. Die THG setzen sich aus den Emissionen durch den Betrieb (Heizung 8.9%, Kühlung 0.1% und Beleuchtung 4.7%) sowie der Erstellung (91.5%) zusammen. (Summe = 105%; Werte in Relation zur Basisvariante)

Abbildung 13 (rechts unten):

Prozentuale Einsparungen, bzw. Verschlechterung der Gebäudebilanz bei bedeutenden untersuchten Varianten im Vergleich zur Basisvariante.

Die farbigen Balken und Prozentzahlen beziehen sich auf die Summe für den Aufwand für Betrieb sowie Erstellung (blau: PEne, grün: THG). Im hellgrünen Bereich sind die positiven, im hellroten Bereich die negativen Auswirkungen zu sehen. Die vertikale schwarze Linie markiert die Basisvariante (100%).

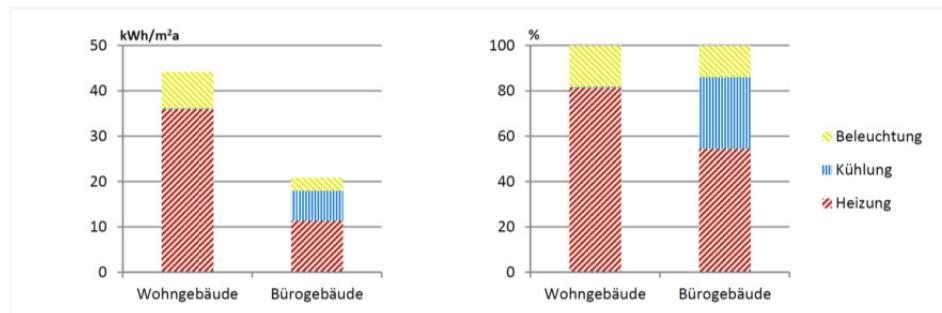


## 5 Bürogebäude

### 5.1 Vergleich zur Wohnnutzung

Vergleicht man die Betriebsenergiebilanzen der Basisvarianten der jeweiligen Nutzungen, fällt der deutlich höhere Verbrauch beim Wohngebäude gegenüber dem Bürogebäude auf. Erkennbar ist, dass die Kühlung beim Wohngebäude kaum eine Rolle spielt, während sie bei Bürogebäuden ca. ein Drittel des berücksichtigten Nutzenergieverbrauchs (ohne Warmwasseraufbereitung) ausmacht (Abbildung 14). Die augenfällige Differenz beim Gesamtverbrauch lässt sich zum grossen Teil durch die unterschiedliche Dimension der Basisvarianten erklären. Das Wohngebäude weist eine Energiebezugsfläche EBF von 800m<sup>2</sup> auf; der Flächenwert beim Büro liegt mit 2'400m<sup>2</sup> drei Mal höher. Das Bürogebäude ist somit kompakter und weist weniger Gebäudehülle pro m<sup>2</sup> EBF auf. Dies hat reduzierte Transmissionsverluste und, bezogen auf die EBF, einen geringeren Heizwärmebedarf zur Folge. Bei Bürogebäuden fallen zudem durch die Einrichtung der Arbeitsplätze deutlich höhere interne Lasten als bei Wohnbauten an. Die Wärmeabgabe dieser Infrastruktur reduziert den Heizwärmebedarf der Bürogebäude in der Kälteperiode und führt zu höheren Kühlleistungen in Wärmeperioden.

In unseren Breitengraden wird nicht immer von einem Kühlsystem ausgegangen. In solchen Fällen entspricht ein hoher Kühlbedarf in Realität einem Raum mit zeitweise erhöhten Raumlufttemperaturen und entsprechend verminderter thermischem Komfort.



### 5.2 Standort

Die Relevanz von Klimafaktoren wie Aussentemperatur oder solare Einstrahlung lässt sich mit der Standortvariation darstellen (Abbildung 15). Dasselbe Gebäude benötigt in Basel etwa gleich viel Betriebsenergie wie in Engelberg, wendet jedoch in Basel lediglich die Hälfte für die Heizung und entsprechend mehr für die Kühlung als in Engelberg auf. Solchen Umständen ist im konzeptionellen Entwurf im Rahmen der Analyse des Bauplatzes bereits Rechnung zu tragen.

### 5.3 Beleuchtung

Die Größenordnung der effektiv notwendigen Energiemenge für die Beleuchtung wird ersichtlich, wenn anstelle der Nutzenergie die Werte der nicht erneuerbaren Primärenergie für den Vergleich beigezogen werden und damit eine Wertigkeit der verschiedenen Formen (z.B. elektrische, erneuerbare oder fossile Energie) eingeführt wird (Abbildung 15). Es ist zu erkennen, dass der Energieaufwand für Beleuchtung höher als jener für Heizung oder Kühlung sein kann. Mit dieser Erkenntnis wird die Relevanz einer optimierten Tageslichtplanung in der frühen Entwurfsphase deutlich.

Abbildung 14: (links)  
Vergleich der Nutzenergie für Beleuchtung, Kühlung und Heizung bei Wohn- und Bürogebäude (Basisvarianten). Im linken Diagramm sind die Werte absolut – bezogen auf die jeweils unterschiedliche EBF – dargestellt, rechts werden die entsprechenden Anteile prozentual verglichen.

Abbildung 15: (rechts oben)  
Vergleich der notwendigen Betriebsenergie (Beleuchtung, Kühlung und Heizung) für die Basisvariante Büro an den Standorten Lugano (273 m.ü.M), Basel (300 m.ü.M), Zürich (600 m.ü.M), Engelberg (1000 m.ü.M) und Davos (1500 m.ü.M). Im linken Diagramm ist der Vergleich auf Stufe Nutzenergie, im rechten Diagramm auf Stufe nicht erneuerbarer Primärenergie dargestellt. Es ist zu erkennen, dass aufgrund der höheren Wertigkeit von elektrischer Energie die Beleuchtung einen wichtigen Anteil des nicht erneuerbaren Gesamtenergiebedarfs einnehmen kann.

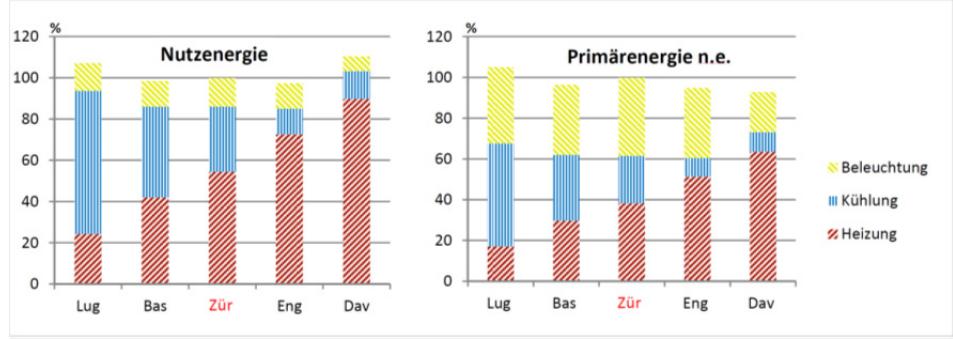


Abbildung 16: (rechts unten)  
Prozentuale Abweichung der Bürogebäudebilanz in Abhängigkeit des gewählten Energieträgers für die Wärmeerzeugung. (Basis = 100%; entspricht einer Sole/Wasser-Wärmepumpe).

Die Nutzenergiemenge ist bei allen Varianten gleich. Zur Berechnung der Endenergie sind folgende Standardnutzungsgrade und -arbeitszahlen Heizung gemäss SIA MB 2040<sup>17</sup> verwendet worden:

Öl- und Gasfeuerung kondensierend 0.90, Wärmepumpe Sole/Wasser 3.90, Pellets 0.75, Fernwärme 0.95

Zur Ermittlung der PEne und der THG wurden folgende Faktoren und Koeffizienten gemäss Ökobilanzdaten des KBOB<sup>18</sup> verwendet.

PEne: Heizöl EL 1.23, Erdgas 1.11, Elektrizität CH Verbrauchermix 2.63, Pellets 0.21, Fernwärme Durchschnitt Netze CH 0.796

THG (Werte in kg/MJ): Heizöl EL 0.0827, Erdgas 0.0658, Elektrizität CH Verbrauchermix 0.041, Pellets 0.0102, Fernwärme Durchschnitt Netze CH 0.0445

Die Werte der Grauen Energie, bzw. der Grauen Treibhausgasemissionen des Wärmeerzeugungssystems sind ebenfalls den Ökobilanzdaten des KBOB entnommen. Die angenommene Amortisationszeit der Heizanlagen entspricht den Werten des SIA MB 2032<sup>19</sup>: 20 Jahre. Für die Erdsonden wurde die doppelte Lebensdauer einge-rechnet: 40 Jahre.

Bei der Betrachtung wurden lediglich die Werte der Heizung variiert. Da in unseren Breitengraden nicht immer eine Kühlanlage vorgesehen ist, werden die entsprechenden Werte der Basisvariante nicht verändert.

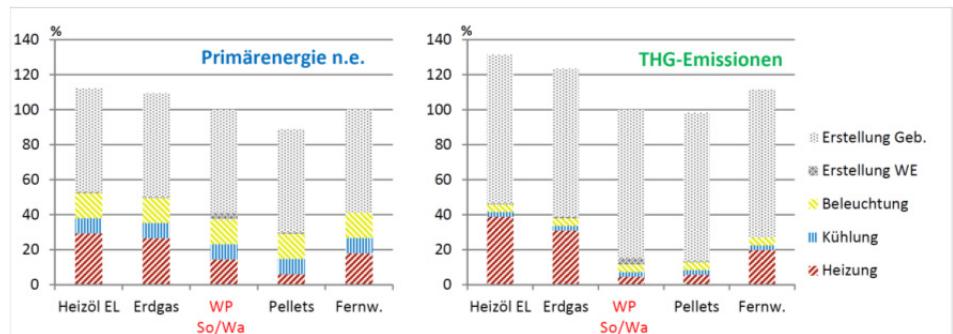
## 5.4 Energieträger und Wärmeerzeugung

Bei den Basisvarianten, sowohl beim Wohn- als auch beim Bürogebäude, wurde zur Bereitstellung der Heizenergie ein Wärmepumpensystem angenommen. Die Wahl des Heizsystems hat einen grossen Einfluss auf die Gesamtbilanz eines Gebäudes, wie die Abbildung 16 deutlich zeigt.

Zur korrekteren Gegenüberstellung wurde neben der notwendigen Betriebsenergiemenge auch der energetische Aufwand zur Erstellung des Gebäudes dargestellt. Dabei wurden die verschiedenen Wärmeerzeugungssysteme differenziert betrachtet und die entsprechenden Werte für die Graue Energie berechnet. Der erhöhte Aufwand für die Erdsondenbohrung konnte somit beispielsweise berücksichtigt werden. Ein restlos korrekter Vergleich zur Grauen Energie der verschiedenen Systeme ist allerdings aufgrund der vielen ausschlaggebenden Faktoren schwierig (z.B. Mit-einbezug allfälliger Tankräume oder die Bestimmung der Systemgrenze bei der Fernwärme). Betrachtet man die absoluten Werte der Grauen Energie und Grauen THG für die verschiedenen Wärmeerzeugungssysteme (in der Grafik als Erstellung WE bezeichnet), zeigt sich, dass diese gegenüber dem Energiebedarf oder den Emissionen durch den Betrieb der Heizung eine untergeordnete Rolle spielen.

Die Betrachtung zeigt die Nachteile der fossilen Energieträger Öl und Gas deutlich auf. Die auf den nachwachsenden Rohstoff Holz basierende Pelletsheizung schliesst sowohl bei der Primärenergie als auch bei den Treibhausgasemissionen am besten ab. Mit einer Holzschnitzelheizung wären noch bessere Werte erzielt worden. Dabei gilt es jedoch zu beachten, dass für die Erdsonden-Wärmepumpe mit elektrischer Energie aus dem schweizerischen Verbrauchermix gerechnet wurde. Durch die Verwendung von Labelstrom oder die Berücksichtigung der Möglichkeit von Freier Kühlung in den Hitzeperioden würde die Bilanz der Wärmepumpen deutlich besser ausfallen. Bei Fernwärmeanlagen sind die Ergebnisse stark von der Art der Wärmeerzeugung abhängig. Die angenommenen Werte bilden den Schweizer Durchschnitt ab und können lokal stark variieren.

Eine nicht optimale Systemwahl für die Wärmeerzeugung kann bis zu einer 30-prozentigen Verschlechterung der Gesamtbilanz bewirken!



<sup>17</sup> SIA MB 2040, SIA-Effizienzpfad Energie (2011)

<sup>18</sup> KBOB; Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1, (2012)

<sup>19</sup> SIA MB 2032, Graue Energie von Gebäuden (2010)

## 5.5 Kompaktheit

Die Wichtigkeit von kleinen Gebäudeformfaktoren (Hüllfläche/Volumen) wurde bereits bei den Studien an Wohngebäuden belegt. Bei Bürogebäuden lassen sich – bei gleich bleibender Energiebezugsfläche – mit einer quadratischen Grundrissform gegenüber einem langgezogenen rechteckigen Form rund 10% der gesamten Energie (PEne), bzw. der THG einsparen. Mit einem zwölfeckigen Grundriss, der einer maximal kompakten Form nahe kommt, sind weitere geringfügige Einsparungen möglich. (Abbildung 17)

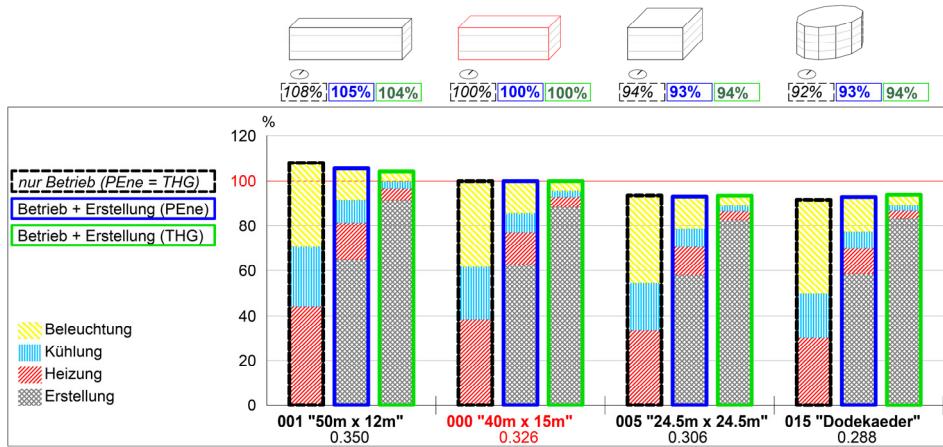


Abbildung 17:  
Prozentuale Abweichung der Bürogebäudebilanz in Abhängigkeit von dessen Form (Basis = 100%).

## 5.6 Formoptimierung

Verformungen der Gebäudehülle mit dem Ziel die Südfächen, bzw. Ost- und Westflächen zu Lasten anderer Fassadenflächen zu vergrössern, führen – so wie zuvor bei den Wohngebäuden ebenfalls festgestellt – im Vergleich mit der rechteckigen Basisvariante zu schlechteren Gesamtbilanzen. Die Vergrösserung der Gebäudehüllfläche ist dabei massgebend für den Mehrbedarf an Energie. Die entsprechenden negativen Auswirkungen sind grösser als allfällige zusätzliche solare Gewinne durch südlich orientierte Fassadenflächen. (Abbildung 18)

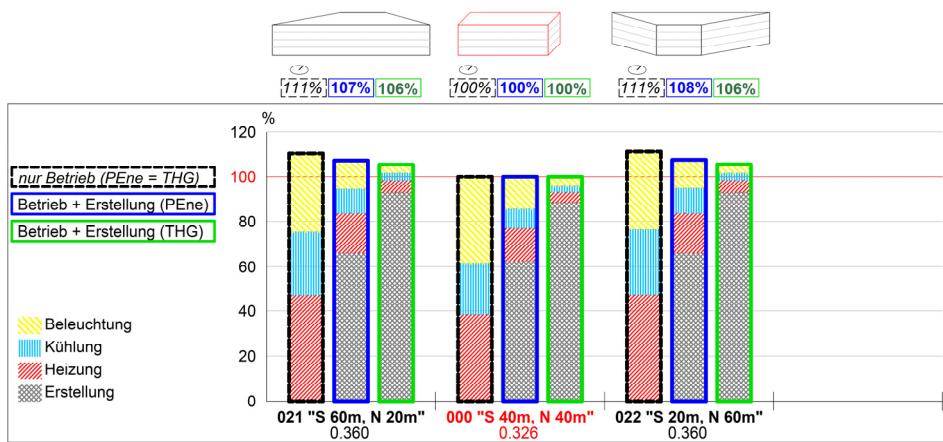
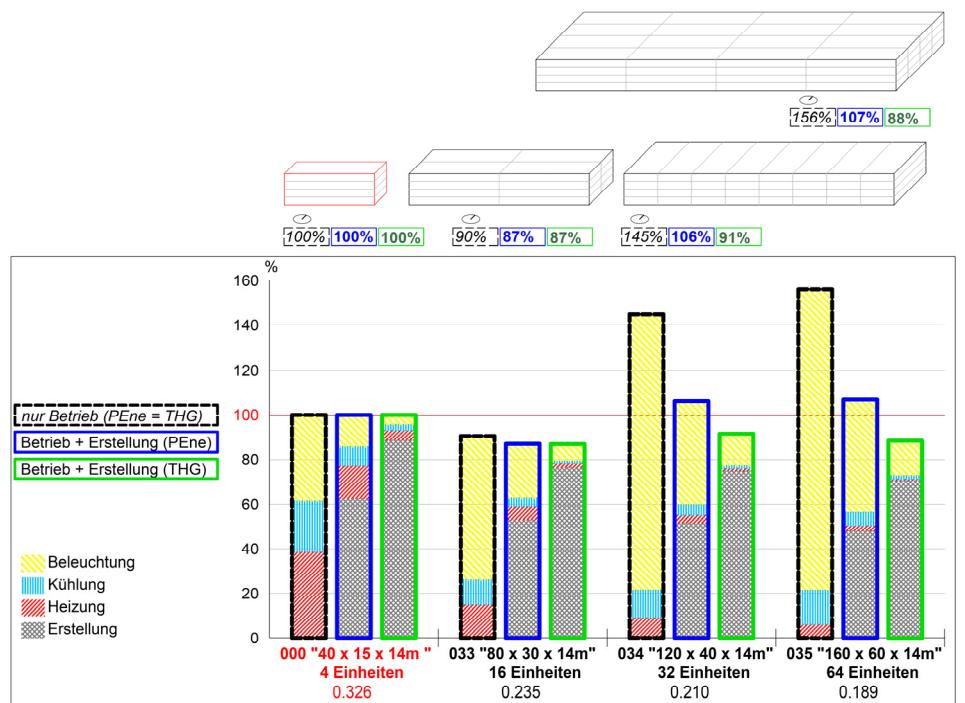


Abbildung 18:  
Prozentuale Abweichung der Bürogebäudebilanz in Abhängigkeit von dessen Grundform (Basis = 100%).

## 5.7 Proportion und Massstab

Die Wichtigkeit des Formfaktors und der Beleuchtung wird nochmals in aller Deutlichkeit bei der Veränderung des Gebäudemassstabs aufgezeigt. Bei einer kontinuierlichen Erweiterung des Gebäudes von 4 auf 64 Büroeinheiten sinkt der Aufwand für die Erstellung – bezogen auf den Quadratmeter Energiebezugsfläche – konstant. Dies lässt sich durch den tieferen Anteil erstellungsintensiven Gebäudehülle im Verhältnis zum Gesamtbauvolumen erklären und entspricht der Strategie „Verdicken“ zum energieeffizienten Bauen (vgl. Kapitel 2.3 Strategien). Ab einer Gebäudetiefe von 30 Meter und der entsprechenden Vergrößerung der Raumtiefen wird der Aufwand für die Belichtung der Räumlichkeiten jedoch so hoch, dass die Einsparungen an Grauer Energie und THG nicht mehr massgebend sind, da die notwendige Menge Betriebsenergie für Beleuchtung überproportional ansteigt. (Abbildung 19)



Erklärung zu den Abbildungen:  
Die Varianten sind oben axonometrisch dargestellt und unterhalb des Balkendiagramms beschrieben. Die dreistellige Zahl bezeichnet die Variantennummer, der Dezimalwert zeigt den Formfaktor (Hüllfläche/Volumen) des jeweiligen Gebäudes auf. Die Basisvariante ist rot dargestellt.  
Der schwarz umrahmte Diagrammbalken und die kursive Prozentzahl beziehen sich auf die Betriebsenergie, die farbig umrahmten Balken auf die Summe des Aufwands für Betrieb sowie Erstellung (inkl. Instandhaltung und Rückbau). Blaue Rahmen und Zahlen beziehen sich jeweils auf Werte der Pene, grüne auf die THG.  
Die Bereiche Beleuchtung, Kühlung, Heizung und Erstellung sind mit unterschiedlichen Farben und Schraffuren dargestellt. Dabei ist die Dominanz der Grauen Energie und insbesondere der Grauen THG in der Gesamtbilanz ersichtlich.

## 5.8 Orientierung

Dreht man das Gebäude in den verschiedenen Himmelsrichtungen ab, ergeben sich – bei gleich bleibendem Fensteranteil von 75% in den jeweiligen Fassaden – eher kleinere Abweichungen der Gesamtenergiebilanzen. Die Unterschiede liegen in der Größenordnung von weniger als 2%. Die detaillierten Ergebnisse sind in der Abbildung 29 im Kapitel „5.15 Zusammenfassung“ dargestellt.

## 5.9 Fensteranteil

Ein zu hoher Öffnungsanteil wirkt sich negativ auf die Gesamtbilanz aus. Fenster sind bei der Erstellung die energieintensivsten Bauteile der Gebäudehülle, insbesondere bezüglich der THG-Emissionen. Die Simulationen zeigen einen idealen Öffnungsanteil um die 50% (über 10% Einsparung gegenüber einer vollverglasten Fassade). Bei einem kleineren Fensteranteil überwiegt der Strombedarf für die Beleuchtung gegenüber dem niedrigeren Kühlbedarf und dem geringeren Aufwand bei der Grauen Energie (Abbildung 20).

Die Vergleichszahlen beschränken sich auf den reinen Energiebedarf und die Emissionen. Nicht berücksichtigt wurden allfällige Komforteinbussen durch den unterschiedlichen Fensteranteil, z.B. durch Kaltluftabfall an den Glasflächen, durch Blendung am Arbeitsplatz oder durch fehlende individuelle Regelung des Sonnenschutzes.

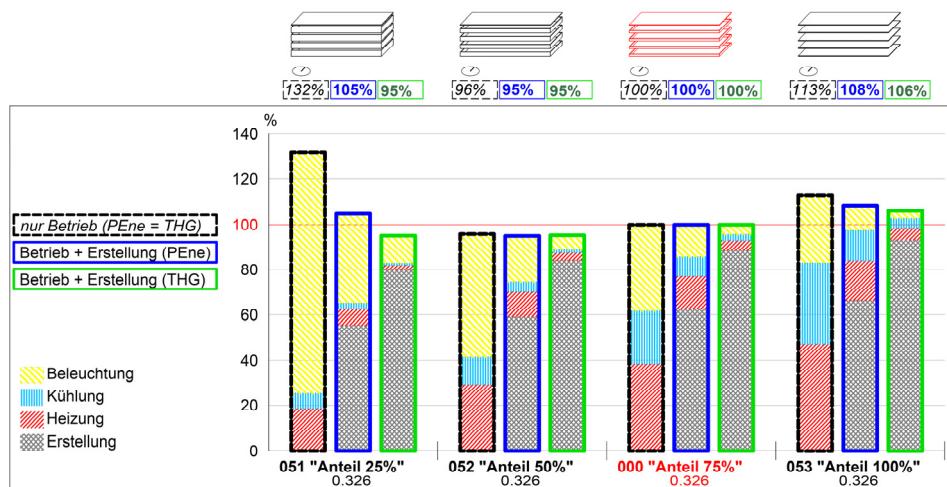


Abbildung 20: (links)  
Prozentuale Abweichung der Gebäudebilanz in Abhängigkeit von dessen Fensteranteil (Basis = 100%).

## 5.10 Fensterverteilung

Bei dieser Variation wird der Fensteranteil in einer Fassade auf 100% erhöht und auf der gegenüber liegenden Fassade jeweils auf 50% reduziert. Die errechneten Gesamtbilanzen der untersuchten Varianten unterscheiden sich nur leicht. Die Abweichungen betragen weniger als 2%.

Aufgrund der internen Wärmelasten, respektive des erhöhten Kühlbedarf ist die Bestimmung der optimalen Fensterverteilung bei Bürogebäuden schwieriger als bei Wohnbauten. Eine Reduktion nordseitiger Öffnungen und die Erhöhung des Öffnungsanteils nach Süden erweisen sich jedoch auch hier als vorteilhaft.  
(vgl. Abbildung 29 im Kapitel „5.15 Zusammenfassung“)

## 5.11 Materialisierung

Eine Konstruktion in Massivbauweise wirkt sich aufgrund der grösseren Speichermasse für den Betrieb positiv aus. Aufgrund der Gesamtbilanz bei den THG-Emissionen ist der Einsatz von Leichtbaukonstruktionen gleichwohl zu befürworten. Mit einer geeigneten Materialwahl, das heisst in diesem Fall durch den Entscheid für einen Leichtbau, lassen sich bis zu 10% THG einsparen. (Abbildung 21)

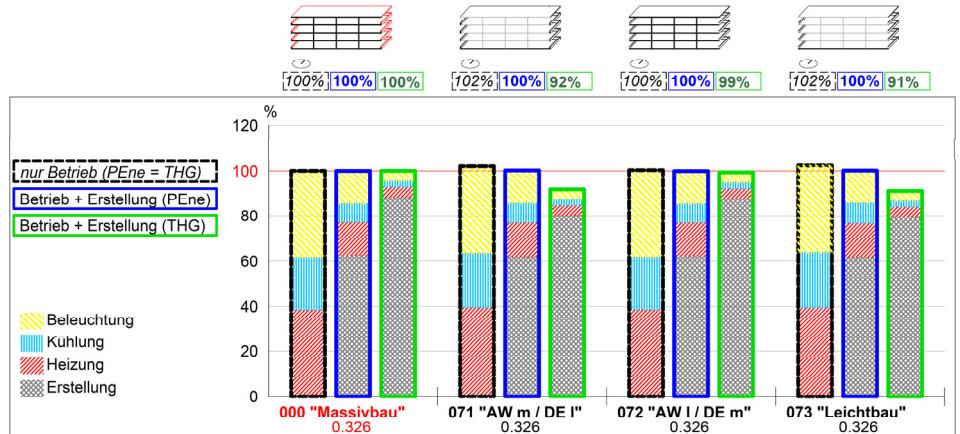


Abbildung 21: (rechts oben)

Prozentuale Abweichung der Gebäudebilanz in Abhängigkeit von dessen Materialisierung (Basis = 100%). Zu sehen sind folgende Varianten (von links nach rechts): Basisvariante 000 in Massivbauweise; Mischbauvariante 071: Aussenwände in Massivbauweise, Decken in Leichtbauweise; Mischbauvariante 072: Aussenwände in Leichtbauweise, Decken in Massivbauweise; Variante 073 komplett in Leichtbauweise.

## 5.12 Balkone

Balkone an der Südfront führen in sämtlichen untersuchten Dimensionen zu schlechteren Gesamtbilanzen im Vergleich zur balkonlosen Basisvariante. Die Balkone reduzieren die passiv-solaren Gewinne gesamthaft stärker als dass sie den Kühlbedarf reduzieren. Zudem haben sie einen negativen Einfluss auf die Beleuchtung. Aus rein energetischer Sicht sind demnach Balkone oder fixe horizontale Beschattungselemente nicht zu befürworten. (Abbildung 22)

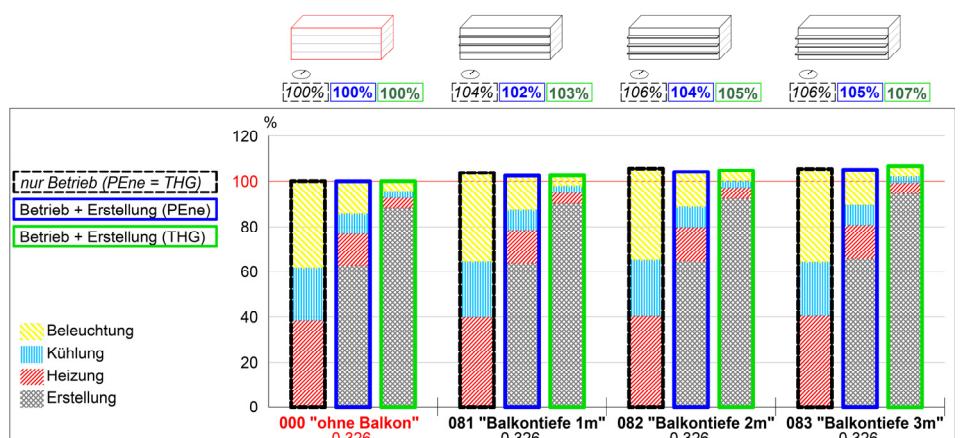


Abbildung 22: (rechts unten)

Prozentuale Abweichung der Gebäudebilanz in Abhängigkeit von dessen Balkonform (Basis = 100%).

Erklärung zu den Abbildungen:  
Die Varianten sind oben axonometrisch dargestellt und unterhalb des Balkendiagramms beschrieben. Die dreistellige Zahl bezeichnet die Variantennummer, der Dezimalwert zeigt den Formfaktor (Hüllfläche/Volumen) des jeweiligen Gebäudes auf. Die Basisvariante ist rot dargestellt.

Der schwarz umrahmte Diagrammbalken und die kursive Prozentzahl beziehen sich auf die Betriebsenergie, die farbig umrahmten Balken auf die Summe des Aufwands für Betrieb sowie Erstellung (inkl. Instandhaltung und Rückbau). Blaue Rahmen und Zahlen beziehen sich jeweils auf Werte der PEne, grüne auf die THG. Die Bereiche Beleuchtung, Kühlung, Heizung und Erstellung sind mit unterschiedlichen Farben und Schraffuren dargestellt. Dabei ist die Dominanz der Grauen Energie und insbesondere der Grauen THG in der Gesamtbilanz ersichtlich.

## 5.13 Gebäudehülle

Bei der Gesamtbetrachtung der Gebäudehülle schliessen 3-fach-Isolierverglasungen besser als 2-fach-Isolierverglasungen ab. Die Verbesserung der opaken Bauteile auf einen U-Wert von 0.1 W/m<sup>2</sup>K bewirkt eine deutliche Senkung des Betriebsenergiebedarfs. Dem steht ein höherer Wert der Grauen Energie gegenüber, welcher – in Abhängigkeit der Materialwahl – den Gewinn wiederum stark mindern kann.  
(Abbildung 23)

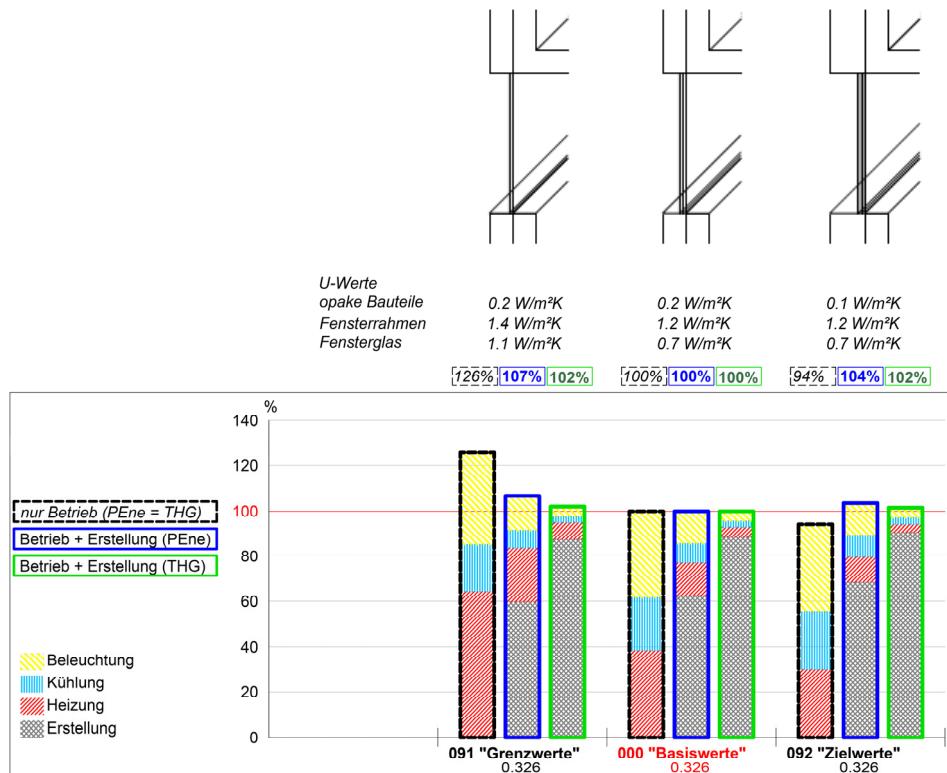


Abbildung 23:  
Prozentuale Abweichung der Gebäudebilanz in Abhängigkeit der Ausführung der Gebäudehülle  
(Basis = 100%).

## 5.14 Hoftypologien

Hoflösungen erweisen sich aus der Sicht der Tageslichtnutzung als vorteilhaft. Berücksichtigt man jedoch den erhöhten Erstellungsaufwand aufgrund der höheren Gebäudehüllzahl, sind Hofkonzepte aus rein energetischer Sicht nicht empfehlenswert. In der Abbildung 24 ist der geringere Strombedarf bei den Hofgebäuden gegenüber dem Basisgebäude (Variante 100) ablesbar. Demgegenüber steht aber der höhere Energiebedarf für die Bereitstellung der Wärme sowie für die Gebäudeerstellung. Größere Fassadenflächen implizieren höhere Transmissionsverluste und mehr Graue Energie. Mit einer ausgewogenen Hofproportion lässt sich der Energiebedarf durchaus optimieren, wie die unterschiedlichen Bilanzen der Varianten 101 und 102 in Abbildung 24 aufzeigen.

Mit einer Hofüberdachung und der entsprechenden Nutzung des Hofraums als Pufferzone lassen sich Kälte- und Wärmebedarf um rund 10% reduzieren. Durch eine saisonale Regelung der Überdachungsöffnung sind gar weitere Einsparungen möglich. Der Aufwand für die Erstellung des zusätzlichen Glasdaches wirkt sich jedoch negativ auf die Gesamtbilanz aus. Zudem verursacht die Dachkonstruktion eine Verschattung des Innenhofs und somit einen höheren Strombedarf für die Beleuchtung. (Abbildung 25)

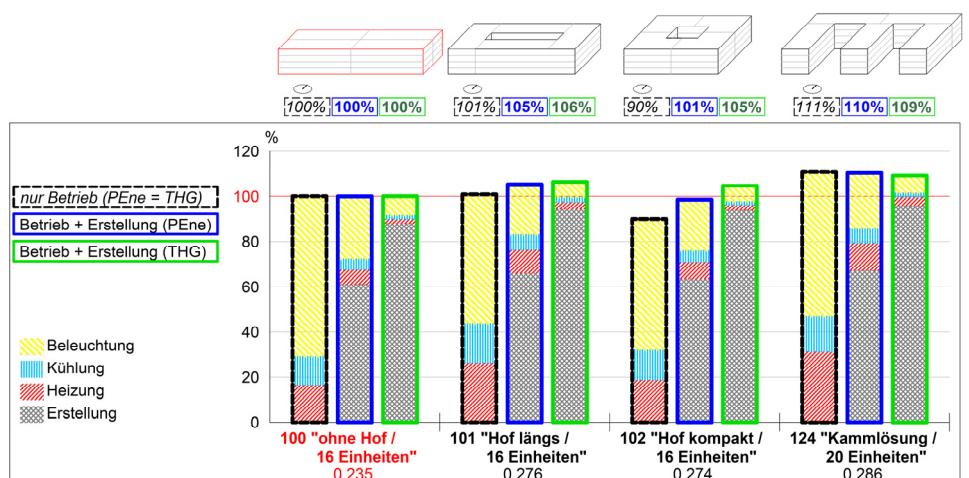


Abbildung 24:  
Prozentuale Abweichung der Gebäudebilanz in Abhängigkeit von dessen Form (Basis = 100%).

### Erklärung zu den Abbildungen:

Die Varianten sind oben axonometrisch dargestellt und unterhalb des Balkendiagramms beschrieben. Die dreistellige Zahl bezeichnet die Variantennummer, der Dezimalwert zeigt den Formfaktor (Hüllfläche/Volumen) des jeweiligen Gebäudes auf. Die Basisvariante ist rot dargestellt.

Der schwarz umrahmte Diagrammbalken und die kursive Prozentzahl beziehen sich auf die Betriebsenergie, die farbig umrahmten Balken auf die Summe des Aufwands für Betrieb sowie Erstellung (inkl. Instandhaltung und Rückbau). Blaue Rahmen und Zahlen beziehen sich jeweils auf Werte der PEne, grüne auf die THG.

Die Bereiche Beleuchtung, Kühlung, Heizung und Erstellung sind mit unterschiedlichen Farben und Schraffuren dargestellt. Dabei ist die Dominanz der Grauen Energie und insbesondere der Grauen THG in der Gesamtbilanz ersichtlich.

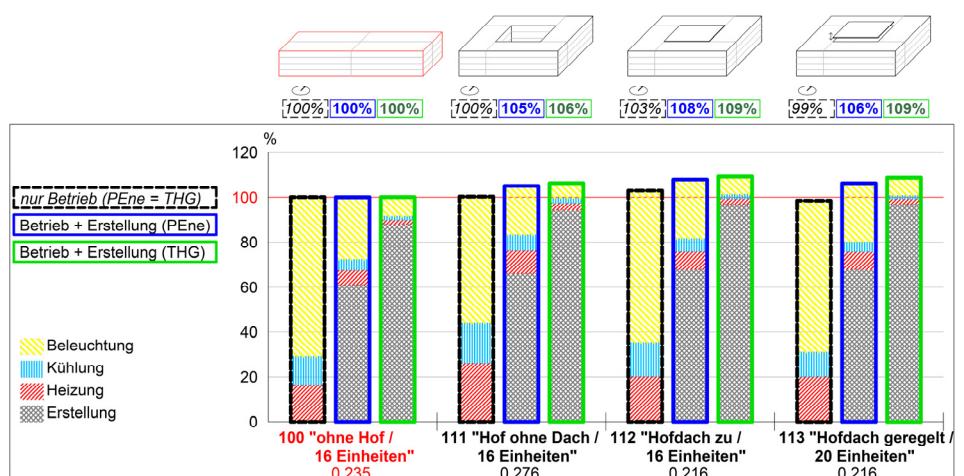


Abbildung 25:  
Prozentuale Abweichung der Gebäudebilanz in Abhängigkeit der Hofausführung (Basis = 100%).

## 5.15 Zusammenfassung

Grundsatzentscheidungen im konzeptionellen Entwurf haben einen bedeutenden Einfluss auf die Gebäudegesamtbilanz (Energieaufwand, bzw. THG für Erstellung und Betrieb des Gebäudes). Die Abbildung 26 und die Abbildung 27 fassen die relevantesten Massnahmen zusammen, die zu einer Verbesserung, bzw. einer Verschlechterung der Gesamtbilanz im Vergleich zur Basisvariante führen.

Mit einfachen Massnahmen im konzeptionellen Entwurf lassen sich beträchtliche Mengen Energie und THG einsparen. Mit einer kompakten Form, einem optimierten Fensteranteil oder einer akkurate Materialwahl lässt sich die Gebäudebilanz jeweils um rund 10% verbessern. Werden die Strategien kombiniert, sind noch grössere Einsparungen möglich. Die erwähnten Parameter sind für die Gebäudegestaltung massgebend und können allesamt in der frühen Entwurfsphase beeinflusst werden. Den Hebel für eine gute Gebäudebilanz bei diesen Parametern anzusetzen erweist sich effizienter als die nachträgliche Optimierung einzelner Gebäudeteile, z.B. die Vergrösserung der Fenstersüdfächen oder die Verbesserung der Dämmwerte der Gebäudehülle.

Die besten Ergebnisse erhält man mit der Vergrösserung des Gebäudes, solange die Raumtiefen eine genügende natürliche Belichtung erlauben. In dieser Studie ergaben sich optimale Werte bei einer Gebäudetiefe von 30 Meter. Dieses Ergebnis ist jedoch stark von der Grundrissgestaltung abhängig. Bei den untersuchten Bürogebäuden wurde ein Infrastrukturkern mit weniger tageslichtabhängigen Räumen (Nasszellen, Archive usw.) in der Gebäudemitte angenommen. Werden auf dem gesamten Geschoss Arbeitsplätze vorgesehen, reduziert sich die optimale Gebäudetiefe zusehends. Die Strategie der Vergrösserung des Gebäudevolumens bedingt eine Anpassung des Raumprogramms des Bauvorhabens. Dies ist nur möglich, wenn die architektonische Aufgabe zu Beginn hinterfragt wird. Dabei können städtebauliche, wirtschaftliche oder gesetzliche Rahmenbedingungen gegenüber dem architektonischen Konzept eine übergeordnete Rolle spielen.

Wird zu Beginn eines Entwurfs das Projekt in eine falsche Richtung gelenkt, kann das enorme Konsequenzen haben. In den Abbildungen auf der folgenden Seite sind die Auswirkungen ausgewählter „Fehlentscheidungen“ auf die Gebäudebilanz ersichtlich. Diese kann sich durch einen ungünstigen Fensteranteil um über 10% verschlechtern. Architektonische Elemente wie Südbalkone haben ebenfalls markante negative Auswirkungen. Ein ungünstiger Formfaktor kann die Menge der notwendigen Energie oder der Schadstoffemissionen um rund 30% erhöhen. Dies ist mehr als der negative Effekt durch eine unpassende Wahl des Energieträgers, z.B. einer Ölfeuerung, für die Beheizung des Gebäudes. Dies zeigt die Relevanz des frühkonzeptionellen Entwurfs gegenüber rein technischen Entscheidungen.

Die Abbildung 27 verdeutlicht, dass negative Auswirkungen auf die Energie- und THG-Bilanzen der Gebäude viel ausgeprägter sein können als das Ausmass der Optimierungsmassnahmen. Durch eine kompaktere Formulierung des Basisgebäudes (Variante 005) reduziert sich beispielsweise die nicht erneuerbare Primärenergiedichte (PEne) um ca. 7%. Konzipiert man dieselbe Bürofläche als eingeschossiges Gebäude (Variante 031) erhöht sich der PEne-Wert um fast 30%.

Auf der folgenden Doppelseite findet sich eine Übersicht mit Körperstudien und den entsprechenden errechneten Gebäudebilanzen. Die Abbildung 28 fasst die Ergebnisse zu den Wohngebäuden zusammen, die Abbildung 29 stellt die Varianten der Büronutzung dar.

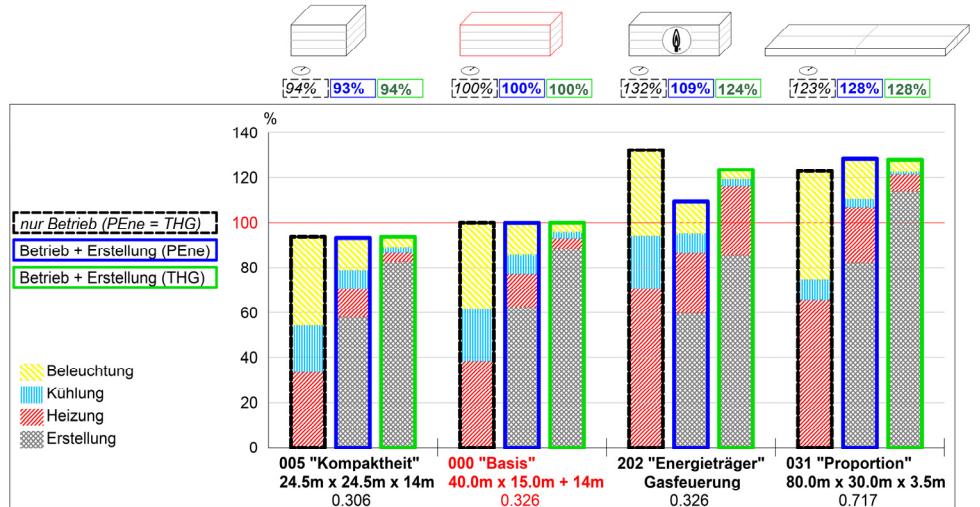
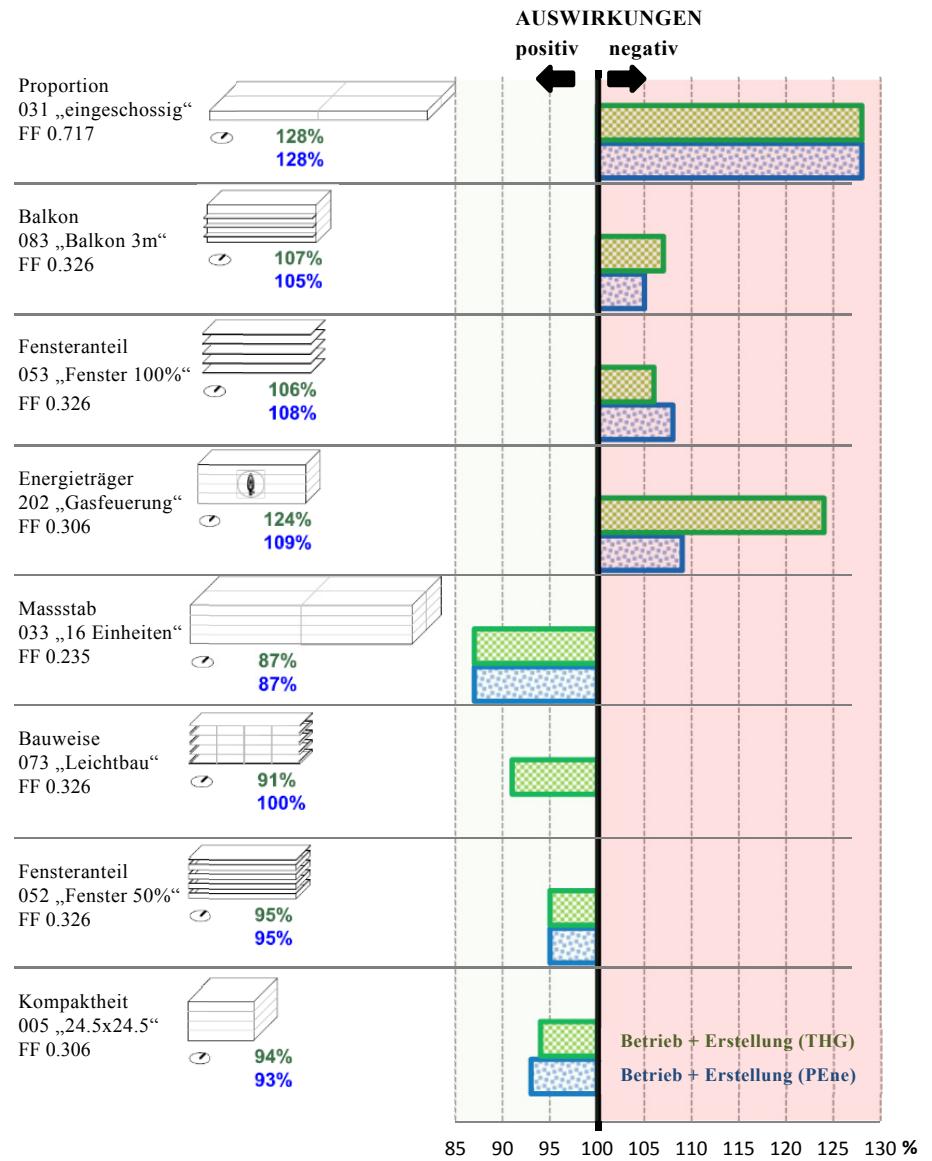


Abbildung 26: (rechts oben)  
Spannweite der prozentualen Extremwerte bezüglich Verbesserung, bzw. Verschlechterung der Gebäudebilanz bei ausgewählten untersuchten Varianten (Basis = 100%).  
Die Varianten sind oben axonometrisch dargestellt und unterhalb des Balkendiagramms beschrieben. Die dreistellige Zahl bezeichnet die Variantennummer, der Dezimalwert zeigt den Formfaktor (Hüllfläche/Volumen) des jeweiligen Gebäudes auf. Die Basisvariante ist rot dargestellt.  
Der schwarz umrahmte Diagrammbalken und die kursive Prozentzahl beziehen sich auf die Betriebsenergie, die farbig umrahmten Balken auf die Summe des Aufwands für Betrieb sowie Erstellung (inkl. Instandhaltung und Rückbau). Blaue Rahmen und Zahlen beziehen sich jeweils auf Werte der PEne, grüne auf die THG.  
Die Bereiche Beleuchtung, Kühlung, Heizung und Erstellung sind mit unterschiedlichen Farben und Schraffuren dargestellt. Dabei ist die Dominanz der Grauen Energie und insbesondere der Grauen THG in der Gesamtbilanz ersichtlich.

Abbildung 27: (rechts unten)  
Prozentuale Einsparungen, bzw. Ver schlechterung der Gebäudebilanz bei bedeutenden untersuchten Varianten im Vergleich zur Basisvariante.  
Die farbigen Balken und Prozentzahlen beziehen sich auf die Summe für den Aufwand für Betrieb sowie Erstellung (blau: PEne, grün: THG). Im hellgrünen Bereich sind die positiven, im hellroten Bereich die negativen Auswirkungen zu sehen. Die vertikale schwarze Linie markiert die Basisvariante (100%).



## WOHNGEBAUDE

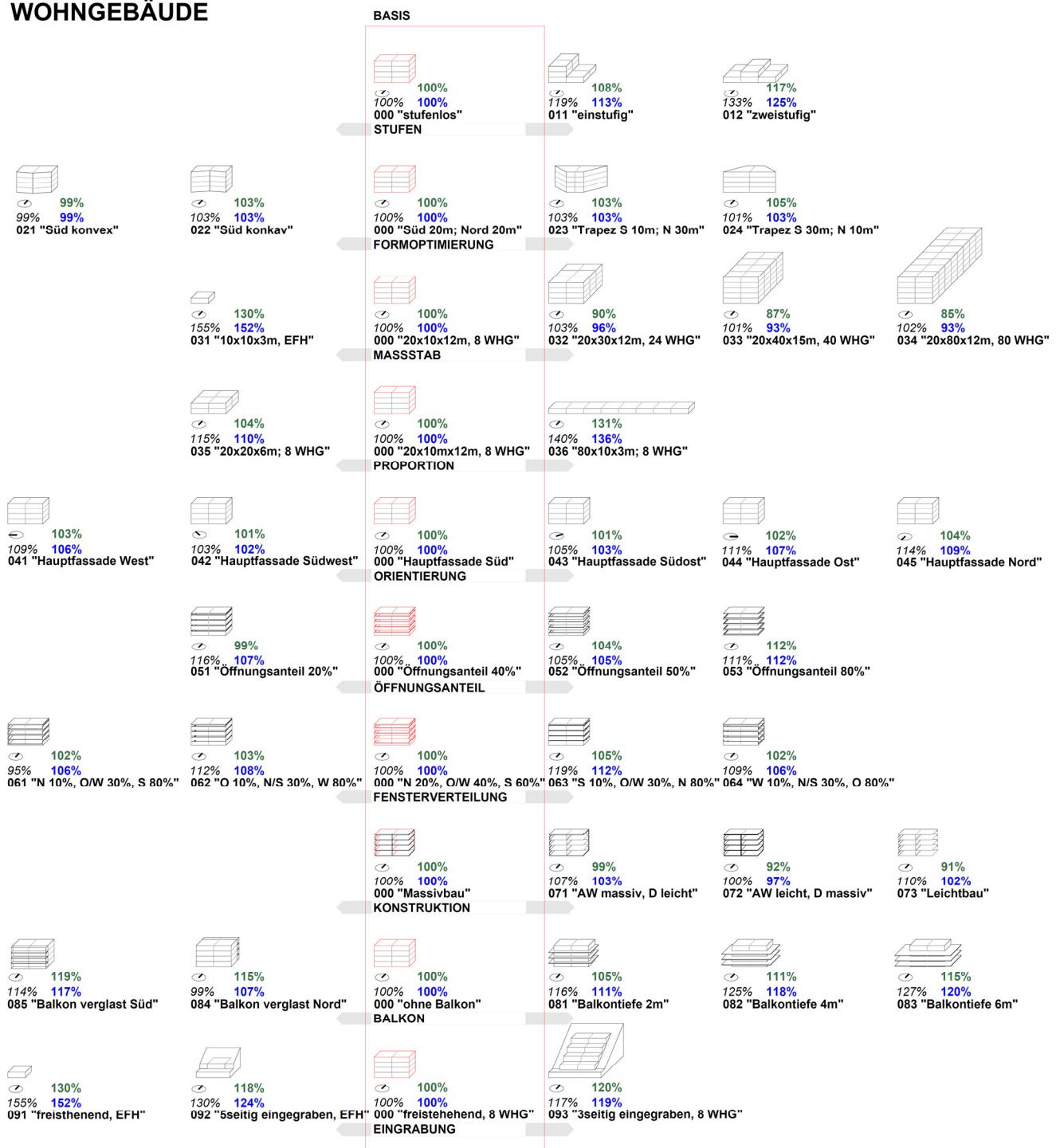
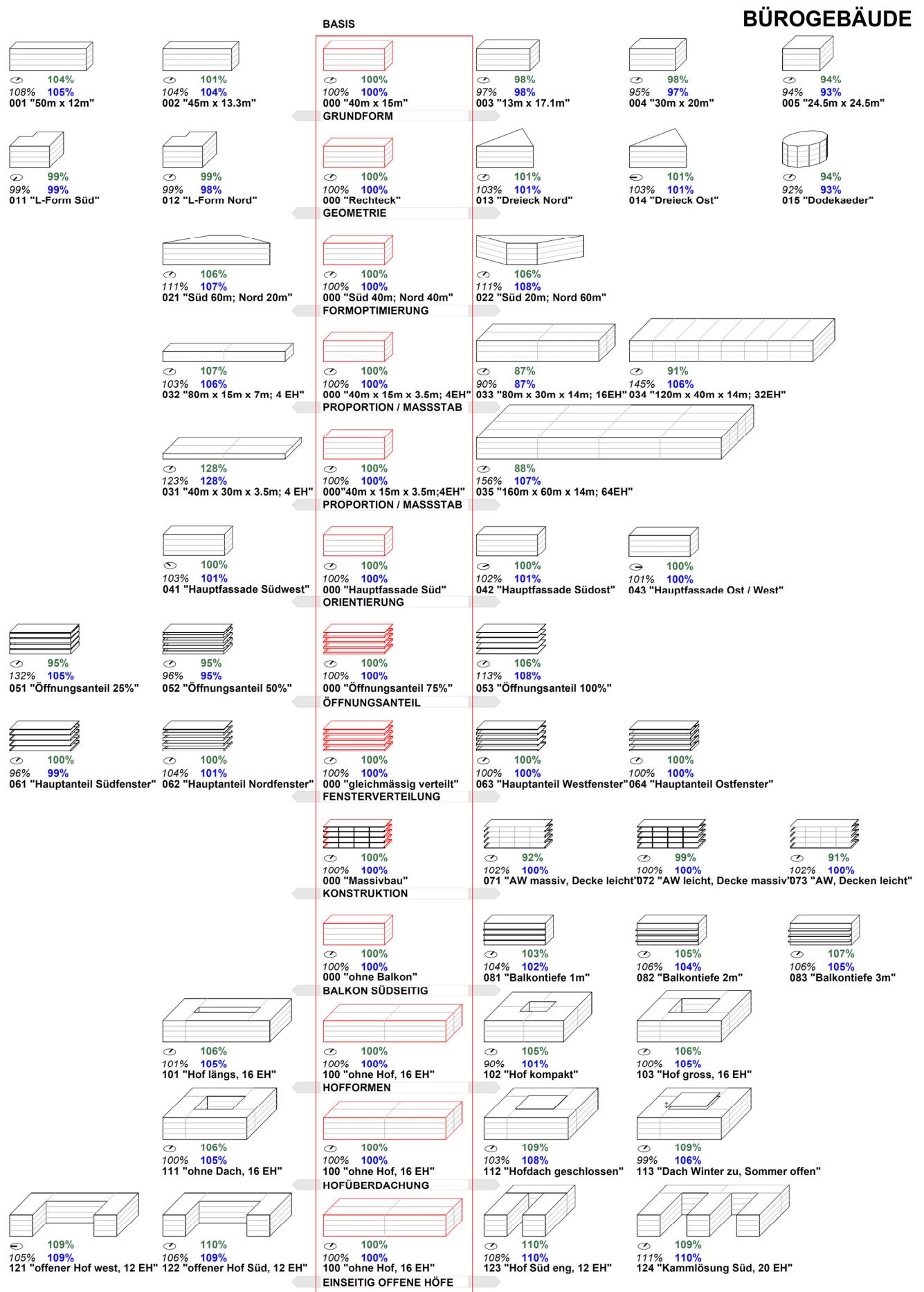


Abbildung 28 (links):  
Prozentuale Abweichung der Bilanzen von Wohngebäuden in Abhängigkeit von Form und Gestaltung.

Abbildung 29 (rechts):  
Prozentuale Abweichung der Bilanzen von Bürogebäuden in Abhängigkeit von Form und Gestaltung

Die Basisvariante ist jeweils rot gekennzeichnet und entspricht 100%. Die schwarze kursive Zahl bezieht sich auf die Betriebsenergie, die farbigen Werte auf die Summe des Aufwands für Betrieb sowie Erstellung (inkl. Instandhaltung und Rückbau). Blaue Zahlen beziehen sich jeweils auf Werte der PEne, grüne auf die der THG.



## 6 Diskussion und Ausblick

Die Simulationsergebnisse der Bürogebäudekörperstudien zeigen, dass der Energiebedarf für Heizung, Kühlung und Beleuchtung durch die vorgenommenen Variationen deutlich durch den Architekten beeinflusst werden kann. Aufgrund der höheren spezifischen internen Lasten ist der Kühlbedarf wichtiger als bei Wohnbauten. Auf Stufe Nutzenergie behält der Heizwärmeverbrauch die dominierende Rolle. Werden die Koeffizienten für die PEne und die THG-Emissionen berücksichtigt, nimmt jedoch auch der Energiebedarf für die Beleuchtung eine bedeutende Rolle ein.

Den Stellenwert der Grauen Energie und der Grauen THG-Emissionen gilt es richtig einzuordnen. Die Menge der Grauen Energie für das Gebäude ist in einer Gesamtbilanz leicht höher als die Summe des Aufwands für Wärme, Kälte und Licht. Die Grauen THG-Emissionen sind gar mehr als fünf Mal höher als die Emissionen für den untersuchten Teilbereich des Betriebes.

Es erstaunt deshalb nicht, dass die besten Resultate auf einer kompakten Bauweise basieren. Diese hat sowohl auf den Energiebedarf für die Raumwärme als auch auf den Aufwand für die Erstellung einen positiven Effekt. Mit einer Optimierung des Formfaktors (Gebäudehüllfläche/Gebäudevolumen) und mit der Erhöhung der Büroeinheiten pro Gebäude lässt sich die Gesamtbilanz um bis zu 15% reduzieren. Mit der Vergrösserung der Raumtiefen steigt allerdings der Strombedarf für die Beleuchtung. Bei Gebäudetiefen über 30 Meter wird der Aufwand für die Beleuchtung überproportional hoch und dementsprechend dominant.

Die Studie zeigt, dass der Einfluss früher Entwurfsentscheide von grosser Bedeutung ist. Wesentlich ist eine ganzheitliche Beurteilung sowohl der Komponenten der Betriebsenergie (Heizung, Kühlung, Beleuchtung) als auch des Aufwands für die Erstellung der Gebäude. Dabei müssen die PEne und die THG-Emissionen berücksichtigt werden. Umso wichtiger erscheint, dass die Beteiligten bei der Definition des Gebäudekonzepts die quantitativen Folgen ihres Handelns kennen. Kurse für energieeffizientes Entwerfen müssten daher Bestandteil der Architektenausbildung sein und durch die Hochschulen bereits in den Grundkursen angeboten werden.

Nachhaltige Architektur sollte ökologische, ökonomische und soziale Anliegen möglichst verknüpfen. Dabei spielen die Grundregeln der Energieeffizienz genauso eine Rolle wie das Eingehen auf städtebauliche Gegebenheiten oder ortsspezifische Bauformen. Idealerweise resultiert Architektur aus der Analyse des Standorts und hält weitgehend die Grundsätze des kompakten Bauens ein. In der Regel werden damit die wirtschaftlichen Interessen ebenfalls abgedeckt.

In den Erläuterungen zu seinem „form follows energy“ ermuntert Brian Cody, energieeffiziente Architektur als Triade aus minimiertem Energieverbrauch, optimalem Raumklima und hervorragender architektonischer Qualität zu begreifen. Für Architekten stellt sich somit die Aufgabe, die Anliegen der Energieeffizienz genauso als Inspiration aufzunehmen wie beispielsweise das Zusammenspiel der gewählten Baumaterialien. Das Minimieren der Umwelteinflüsse beim Bauen kann dabei den selben Reiz ausüben wie das Entwerfen von ausgewogenen Raumproportionen. Allzu oft werden ökologische Grundsätze in der Architektur noch als Behinderung betrachtet. Beispiele kontemporärer Architektur zeigen jedoch, dass die unterschiedlichen Anliegen durchaus vereinbar sind. In diesem Sinne sind in den letzten Jahren Bestrebungen der Baubranche erkennbar. Vermehrt werden Architekturpreise an Bauten vergeben, welche sich nicht nur aufgrund der zeitgemässen und qualitativ hochstehenden Architektursprache, sondern auch durch eine intelligente, innovative Energienutzung auszeichnen. (Abbildung 30 und Abbildung 31)



Abbildung 30 (oben):  
SAC Hütte Sektion Monte Rosa, Zermatt;  
Architektur: ETH Studio Monte Rosa / Bearch & Deplazes Architekten AG;  
Norman Foster Solar Award 2010

Abbildung 31 (unten):  
MFH Eco Renova, Romanshorn;  
Architektur: Viridén + Partner AG;  
Norman Foster Solar Award 2013<sup>20</sup>

<sup>20</sup> Fotos: Solar Agentur Schweiz,  
[www.solaragentur.ch](http://www.solaragentur.ch)

## 7 Anhang

### 7.1 Glossar

Folgend werden relevante im Bericht verwendete Begriffe näher erläutert. Die Definitionen stammen zum grossen Teil aus SIA Normen oder Empfehlungen.

Das SIA MB 2040 „Effizienzpfad Energie“<sup>21</sup> definiert zwei Zielwerte für den Gebäudepark Schweiz.

Der erste bezieht sich auf die nicht erneuerbare Primärenergie (PEne) und der zweite auf die Treibhausgasemissionen (TGE). Damit ein Gebäude den SIA-Vorgaben entspricht und damit für die 2000-Watt-Gesellschaft tauglich ist, müssen beide Werte erfüllt sein.

Die jeweiligen Zielwerte unterteilen sich in drei Kategorien, welche dem Verwendungszweck der aufgebrachten Energie, respektive der entstehenden Emissionen entsprechen und wie folgt definiert sind:

#### Betrieb

Der Bereich Betrieb umfasst den energetischen Aufwand zur Bereitstellung der Wärme (Raumheizung und Warmwasser), für Lüftung bzw. Klimatisierung, Beleuchtung sowie Betriebseinrichtungen eines Gebäudes.

#### Mobilität

Der Bereich Mobilität umfasst die Energie für die standortabhängige Alltagsmobilität und die zugehörige Infrastruktur (Fahrzeuge, Strassen und Geleiseanlagen). (vgl. dazu auch das SIA MB 2039) <sup>22</sup>

#### Erstellung

Der Bereich Erstellung umfasst die Erstellung, allfällige Ersatzinvestitionen und Entsorgung eines Gebäudes und entspricht dem Begriff der „Grauen Energie“. Die Graue Energie und die Grauen Treibhausgasemissionen werden aufgrund ihrer Amortisationszeit in Werte pro Jahr umgerechnet, damit sie mit den Werten der Betriebsenergie vergleichbar sind.

Das Merkblatt SIA MB 2032 „Graue Energie von Gebäuden“<sup>23</sup> ist erstmals im Jahr 2010 erschienen und lehnt an das SIA MB 2040 an. Es befasst sich mit dem darin beschriebenen Bereich Erstellung und liefert die Definition folgender Begriffe:

#### Graue Energie

„Gesamte Menge nicht erneuerbarer Primärenergie, die für alle vorgelagerten Prozesse, vom Rohstoffabbau über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und für die Entsorgung, inkl. der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel, erforderlich ist. Sie wird als kumulierter, nicht erneuerbarer Energieaufwand bezeichnet.“

<sup>21</sup> SIA Merkblatt 2040, Effizienzpfad Energie (2011)

<sup>22</sup> SIA Merkblatt 2039, Mobilität – Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort (2011)

<sup>23</sup> SIA Merkblatt 2032, Graue Energie von Gebäuden (2010)

**Graue Treibhausgasemission**

„Kumulierte Menge der Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, Methan, Stickoxid und weitere klimawirksame Gase), die bei allen vorgelagerten Prozessen, vom Rohstoffabbau über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und bei der Entsorgung, inkl. der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel, emittiert wird. Sie wird als äquivalente CO<sub>2</sub>-Emissionsmenge ausgedrückt, die denselben Treibhauseffekt wie die Gesamtheit der Treibhausgasemissionen hat. Dabei wird die gleiche Sachbilanz berücksichtigt wie bei der Grauen Energie.“

Auch Definitionen von wichtigen Bezeichnungen aus früheren SIA Merkblättern werden im MB SIA 2032 aufgegriffen:

**Primärenergie**

„Form der Rohenergie, die noch keiner technischen Umsetzung oder Umwandlung und keinem Transport unterworfen worden ist, z.B. Rohöl, Erdgas, Uran oder Kohle in der Erde, Holz im Stand, Solarstrahlung, potenzielle Energie des Wassers, kinetische Energie des Windes.“

**Endenergie**

„Energie, die dem Verbraucher zur Umsetzung zur Verfügung steht. Dazu zählt die Energie, die von der letzten Stufe des Handels (inkl. nachbarliche Netze) geliefert wird und die am Standort gewonnene und benutzte Energie.“

Andere in diesem Bericht verwendeten Begriffe richten sich weitestgehend nach der Norm SIA 416/1<sup>24</sup>. Für den Zweck dieser Studie werden jedoch für die Begriffe Gesamtenergieeffizienz und Nutzenergie leicht abweichende Definitionen verwendet.

**Gesamtenergieeffizienz, bzw. -bilanz**

Gesamtenergieeffizienz wird erreicht, indem der Energiebedarf für den Betrieb eines Gebäudes über alle Verwendungszwecke (Heizen, Warmwasser, Lüften, Klima, Beleuchtung und Betriebseinrichtungen) optimiert wird. Im Rahmen dieser Studie wird die Optimierung der Gesamtenergieeffizienz auf die Verwendungszwecke Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung eingeschränkt. Die Optimierung der Gesamtenergieeffizienz erfolgt auf Stufe Primärenergie oder Treibhausgasemissionen.

**Thermische Gebäudehülle**

Die thermische Gebäudehülle setzt sich aus den Bauteilen zusammen, welche die beheizten und/oder gekühlten Räume allseitig und vollständig umschließen.

**Energiebezugsfläche (EBF)**

Summe aller ober- und unterirdischen Geschossflächen die innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und für deren Nutzung ein Beheizen oder Klimatisieren notwendig ist. Diese Fläche ist in SIA 416/1 im Detail definiert.

**Beleuchtung**

Beleuchtung von Innenräumen (Raumbeleuchtung, Dekorationsbeleuchtung, Sicherheits- und Notbeleuchtung usw.)

<sup>24</sup> SIA Norm 416/1, Kennzahlen für die Gebäudetechnik (2007)

## 7.2 Bibliographie

BAFU, Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz nach ausgewählten Sektoren, 2009.

Behling, Sophia u. Stefan: Solar Power, The Evolution of Sustainable Architecture. München: Prestel, 2000

BFE-Bericht Zukünftige Entwicklung der Energiebezugsflächen – Perspektiven bis 2035, 2004

Fathy, Hassan. Architektur aus 1001 Steinen. In: Arch + 88 Aachen: Februar 1987.

Hönger Christian, Brunner Roman, Menti Urs-Peter, Wieser Christoph u.a. Das Klima als Entwurfssfaktor, Quart Verlag GmbH, Luzern 2009 (1. Auflage), 2013 (2. überarbeitete und ergänzte Neuauflage)

Joedicke, Jürgen. Candilis-Josic-Woods, A Decade of Architecture and Urban Design, Stuttgart/Bern 1968

KBOB; Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren, Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1 (Stand Juli 2012), Bundesamt für Bauten und Logistik BBL, Bern 2012

Schwarz, Dietrich, Nachhaltiges Bauen. In: Detail Nr. 6, Energieeffiziente Architektur 2007.

SIA Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Norm 416/1, Kennzahlen für die Gebäudetechnik - Bauteilabmessungen, Bezugsgrössen und Kennzahlen für Energie – und Gebäudetechnik, Zürich 2007

SIA Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Merkblatt MB 2032, Graue Energie von Gebäuden, Zürich 2010

SIA Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Merkblatt MB 2039, Mobilität – Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandort, Zürich 2011

SIA Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Merkblatt MB 2040, SIA-Effizienzpfad Energie, Zürich 2011

Vetsch, Peter. Erd- und Höhlenhäuser von Peter Vetsch, Sulgen 1994.

## 8 Das Zentrum für Integrale Gebäudetechnik



Lucerne University of Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE LUZERN**

Technik & Architektur

**Zentrum für Integrale Gebäude-technik (ZIG)**

Ihr Partner für Forschung und Entwicklung, Studien, Beratungen und Expertisen.

[www.hslu.ch/zig](http://www.hslu.ch/zig)

**Unsere Forschungsthemen:**

- Gebäude – Mensch – Energie
- Transformation Gebäudepark
- Areal und Quartiervernetzung
- Luft- und Wasserreinheit (Fokus Gebäudepark)

FH Zentralschweiz

## 8.1 Die vier Forschungsthemen am ZIG

### Forschungsthema Gebäude – Mensch – Energie

#### Fragestellung

Im Forschungsthema «Gebäude – Mensch – Energie» werden Konzepte, Methoden und Werkzeuge zur Bewertung und Optimierung des Gesamtsystems Gebäude entwickelt. Im Zentrum steht der Mensch als Sensor und Aktor sowie seine Interaktionen mit dem Gebäude und der Gebäudetechnik. In die integrale Betrachtung eingeschlossen sind insbesondere auch die Wechselwirkungen im Dreieck Gebäude – Mensch – Energie. Das Thema wird modular bearbeitet. Die zu beantwortenden Kernfragen sind:

1. Welche Methoden, Techniken und Werkzeuge braucht es in der Anlagenbetriebspraxis, um der Interaktion zwischen dem Gebäude und den Anlagen zu begegnen, und um die dadurch bedingten Last- und Ertragsschwankungen auszugleichen?
2. Welche Konzepte (Anlagen- und Regelungstechnik) eignen sich, um nutzerspezifische Kommunikations- und Konditionierungskonzepte in die Strategie zur Erreichung eines energieneutralen Gebäudeparks zu integrieren?
3. Wie können Nutzer und Betreiber zielgerichtet und nutzerspezifisch über den Anlagenbetrieb informiert werden, so dass ein energieeffizienter Anlagenbetrieb und eine hohe Produktivität erreicht werden?

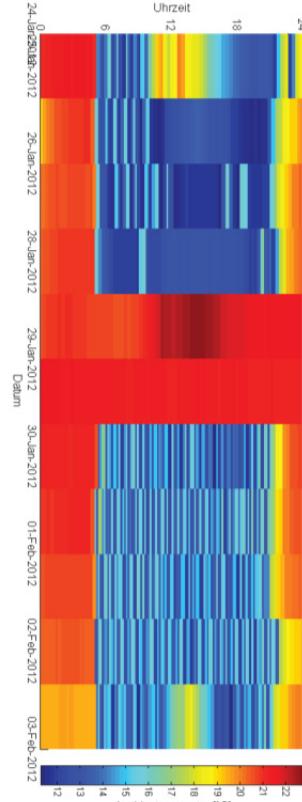
#### Laufende Projekte

Robustheitsbewertung von integrierten gebäudetechnischen Konzepten in Verwaltungsbauten hinsichtlich Klima und Nutzervariabilität (BFE)

Machbarkeitsbeurteilung eines Gebäudeautomations-Moduls zur nutzerspezifischen Kommunikation von Anlagenbetriebs- und Raumzustandsdaten (KTI)

Potentialbewertung von Gebäudehüllen mit steuerbarem U-Wert zur Erhöhung von Energieeffizienz und thermischen Komfort (intern)

### Gebäudetechnik



#### Kontakt

Christian Struck  
T: +41 (0)41 349 35 85  
christian.struck@hslu.ch

#### Kernteam

Davide Bionda  
Jan Eckart  
Doris Ehrbar  
Beat Frei  
Christina Orehounig  
Peter Parrag  
Axel Seerig



Quelle: [www.novartis.ch](http://www.novartis.ch)

## Forschungsthema Transformation Gebäudepark (Fokus Gebäudetechnik)

Gebäudetechnik

### Kontakt

Stefan Brücker  
T: +41 (0)41 349 33 42  
stefan.bruecker@hslu.ch

### Fragestellung

Die Beheizung und der Betrieb des Gebäudeparks Schweiz machen rund 50 % des schweizerischen Primärenergieverbrauches aus und verursachen rund 40 % der in unserem Land anfallenden Treibhausgasemissionen. Gebäude, welche vor 1980 erstellt wurden, verbrauchen bzw. produzieren rund das Fünffache an Energie und Treibhausgasen als heutige Neubauten. Durch eine geschickte Kombination von Sanierungsmassnahmen können der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen drastisch reduziert werden. Trotz kommunalen, kantonalen und nationalen Förderprogrammen befindet sich die Sanierungsrate des schweizerischen Gebäudeparks mit 0.9 % pro Jahr auf einem Niveau, welches die Energie- und Treibhausgasemissionsziele des Bundes deutlich verfehlt lässt.

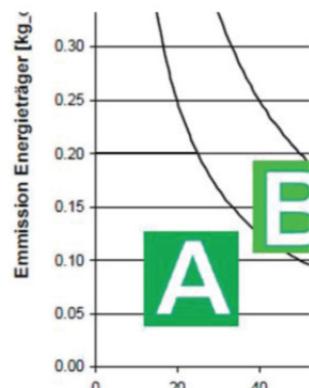
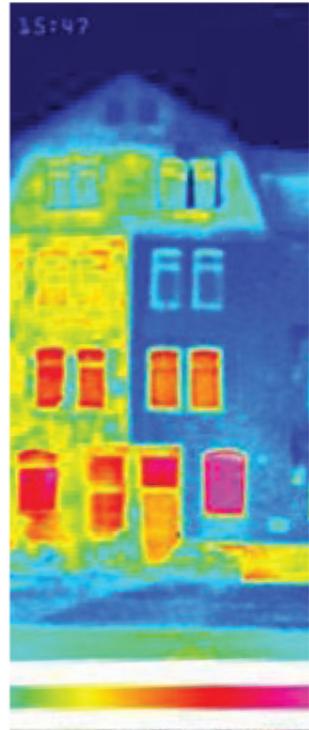
Massnahmen zur Verbesserung der Situation sind auf allen Ebenen gefordert, von der Entwicklung neuer Materialien oder gebäudetechnischer Komponenten über neue Analyse- und Planungswerzeuge bis zu effektiven Anreizsystemen. Eine gesamtheitliche und auch an langfristigen Zielen orientierte Sicht ist hier besonders wichtig. Das ZIG möchte im Rahmen seiner Kompetenzen zusammen mit Partnern aus Planung, Beratung, Industrie und öffentlicher Hand einen massgebenden Beitrag zu einer effizienten, raschen und zielgerichteten Umsetzung der nötigen Massnahmen liefern.

### Laufende Projekte

Aktuell beschäftigt sich das ZIG z.B. mit der Erarbeitung von Sanierungsstrategien von Schulschwimmanlagen, erarbeitet Konzepte für die Realisierung von Komfortlüftungen bei der Sanierung von Wohnbauten, analysiert das Energieeinsparpotential beim Ersatz von Elektroboilern durch Wärmepumpenboiler oder unterstützt die Entwicklung eines dezentralen Lüftungsgerätes.

### Zukünftige Projekte

Künftige Betätigungsfelder des ZIG werden von der Entwicklung von standardisierten Gebäudeanalyse- und Monitoringkonzepten über die Entwicklung und Optimierung gebäudetechnischer Komponenten (z.B. Wärme- und Warmwassererzeugungssysteme, Lüftungsgeräte) bis hin zur Optimierung von Gesamtsystemen reichen.



## Forschungsthema Energieversorgung für Quartiere und Areale

### Gebäudetechnik

#### Fragestellung

Die Veränderungen in der Energieeinspeisung (dezentral, stark intermittierend, hohe Gleichzeitigkeit) führen zu einem Paradigmawechsel im Energiesystem Schweiz. Der angestrebte Wechsel geht von der vorwiegend zentralen, uni-direkionalen Energieversorgung zu einem mehr dezentral organisierten, bi-direktonalen Energiesystem.

Das Forschungsthema „Energieversorgung für Quartiere und Areale“ setzt sich vor diesem Hintergrund mit folgender Forschungsfrage auseinander: Wie können dezentral orientierte, bi-direktionale Energiesysteme zukünftig einen wirtschaftlichen, sozial-räumlichen und ökologischen Mehrwert gegenüber der derzeitigen zentral orientierten, uni-direktonalen Energieversorgung erlangen? Welche Massnahmen, raumplanerischen Instrumente und Vorgehensmodelle sind im Weiteren nötig, um die Transformation des Schweizer Energieversorgungssystems zu ermöglichen bzw. zu beschleunigen? Konkret sind folgende Fragen zu beantworten:

1. Welche Quartiers- und Arealentwicklung ist sinnvoll, um dezentrale Energiesysteme umzusetzen (Rollenverteilung in der Gebäudetechnologie, Funktionen des Energy-Hubs, Netzstrukturen, etc.)?
2. Welche Funktionen sollen im zukünftigen Energiesystem dezentral und welche zentral erbracht werden (Allokation)?
3. Wie können intersektorale Wechselwirkungen die Ausnutzung von Synergien zwischen den Strom-, Wärme- und Gasnetzen maximieren (Funktionen von Energy-Hubs und Multi-Energy-Grids)?



#### Kontakt

Matthias Sulzer  
T: +41 (0)41 349 39 93  
matthias.sulzer@hslu.ch

#### Kernteam

Urs-Peter Menti  
Volker Wouters  
Matthias Sulzer



#### Laufende Projekte

Neue Optionen für dezentrale Energiesysteme (NODES): Ganzheitliche Betrachtung von dezentralen Energiesystemen (Gemeinschaftsprojekt der Kompetenzzentren PIM (Produktinnovation und Management) und ZIG (Zentrum für Integrale Gebäudetechnik).

PLUSQUA (BFE, Stadt Zürich): Entwicklung von architektur-typologischen und technischen Massnahmen, um in bestehenden städtischen Quartieren eine möglichst ausgeglichene Bilanz zwischen Energieproduktion und Energieverbrauch zu realisieren (Elektrizität und thermische Energie zwecks Reduktion der Netzbelastung).

Suurstoffi: Wissenschaftliche Begleitung der Entwicklung des Energieversorgungskonzeptes für ein Areal mit Mischnutzung, Monitoring des Energieverbrauchs und Entwicklung eines neuen Geschäftsmodells für die Arealversorgung.

V-ZUG-Areal: Entwickeln von Energieversorgungsstrategien und Infrastrukturkonzepten für die Transformation des bestehenden Areals in einen Energy-Hub.

## Forschungsthema Luft- und Wasserreinheit

Gebäudetechnik

### Kontakt

Benoit Sicre  
T: +41 (0)41 349 33 97  
benoit.sicre@hslu.ch

### Kernteam

Arnold Brunner  
Reto von Euw  
Kurt Hildebrand  
Rüdiger Külpmann  
Benoit Sicre

### Fragestellung

In den letzten Jahren hat das Thema Luft- und Wasserreinheit in der breiten Öffentlichkeit zunehmend an Bedeutung gewonnen. Nationale und internationale Richtlinien und Normen stellen Anforderungen nicht nur an Komponenten, Geräte und Systeme, sondern auch an die Planung, Errichtung und Instandhaltung der Anlagen. In der Schweiz werden Kompetenzen im Bereich Luft- und Wasserreinheit benötigt, um Forschungsfragen zu klären sowie um Geräte zu entwickeln und zu testen.

Aufbauend auf den Kompetenzen aus den Projekten «Gebäudetechnik im Gesundheitswesen» und «Hygienezustand in RLT-Anlagen» beschäftigt sich das Forschungsthema Luft- und Wasserreinheit des Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG) mit der Entwicklung von Konzepten, Produkten sowie Mess- und Prüfverfahren

- 1 zur Verbesserung der Luftqualität mit Schwerpunkt Lüftungsanlagen und Raumlüftung von der Wohnung bis zum Reinraum
- 2 für eine hygienisch unbedenkliche Wasseraufbereitung, -speicherung und -verteilung in Gebäuden unter Berücksichtigung von energetischen und sozio-ökonomischen Randbedingungen.

### Laufende Projekte

Im Rahmen einer Feldmessung erforscht das ZIG die Lüftungseffizienz eines neuartigen Lüftungskonzeptes für Laboratorien, das puncto Behaglichkeit und Energieeffizienz Massstäbe setzen möchte.

Zudem beschäftigt sich das ZIG derzeit mit der Entwicklung eines Prüfverfahrens für die Typenprüfung von Umluftreinigern für den privaten Bereich.

Ferner wird eine Strategie für den Wohnungsbau im Bestand, für den Ersatz von Elektrowasserwärmern durch energieeffizientere Lösungen mit dem besonderen Augenmerk auf die Wasserhygiene entwickelt.

### Zukünftige Projekte

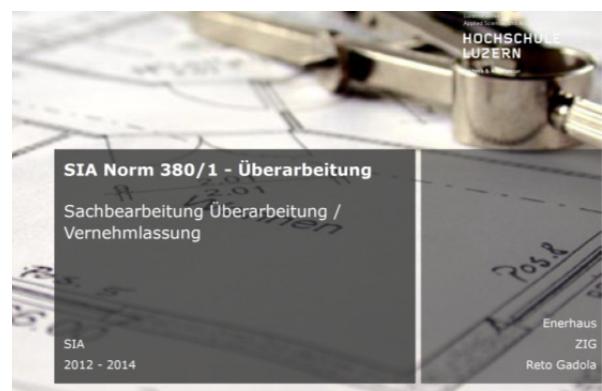
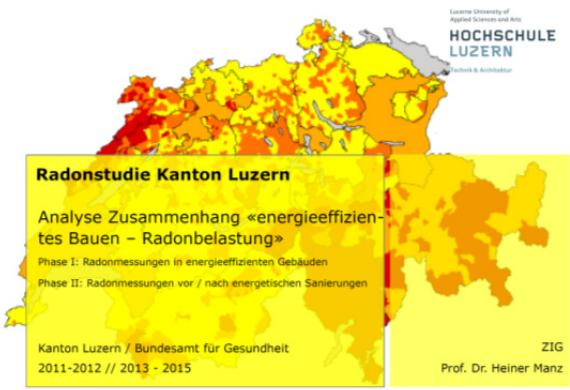
Die künftigen Betätigungsfelder des ZIG im Bereich Luft- und Wasserreinheit umfassen die Entwicklung von Konzepten, Produkten, Mess- und Prüfverfahren mit dem Schwerpunkt Anlagentechnik zur Verbesserung der Luftqualität und zum Erhalt der Wasserbeschaffenheit, von der Wohnung bis hin zum Reinraum. Hierfür werden Test- und Prüfmöglichkeiten im Labor aber auch für den Feldeinsatz geschaffen, damit Komponenten und Systeme bewertet und weiterentwickelt werden können.

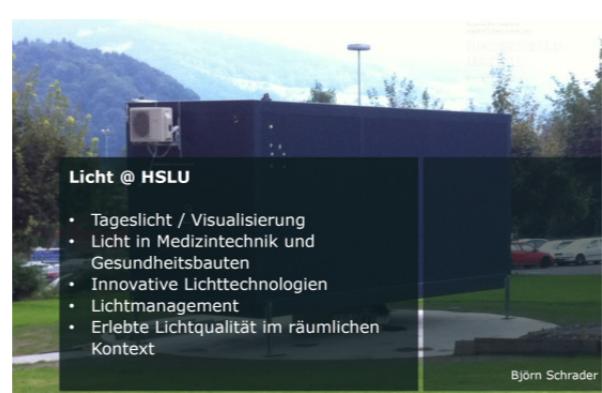


Bild: Bau und Umweltchemie AG



## 8.2 Auswahl aktueller ZIG-Projekte





## 8.3 Die Prüfstelle am ZIG

### Prüfstelle Gebäudetechnik

Die Prüfstelle Gebäudetechnik, früher Prüfstelle HLK genannt, innerhalb des Zentrums für Integrale Gebäudetechnik ist spezialisiert auf Messungen im Gebäudetechnik-Bereich und seit 1997 nach der internationalen Norm ISO/IEC 17025 akkreditiert. Sie bietet Dienstleistungen wie auch angewandte Forschungs- und Entwicklungsunterstützung zuhause der Industrie an.

Der Tätigkeitsbereich umfasst primär wärme- und strömungstechnische sowie akustische Messungen an Komponenten und Anlagen der Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Sanitärtechnik.

Die Prüfstelle ist mit speziellen Prüfständen (2) ausgezeichnet dafür gerüstet, thermische und akustische Messungen an Kompaktlüftungsgeräten mit und ohne Wärmepumpe wie auch Messungen nach EN 308 oder ASHRAE (3) an Wärmeübertragern bis 7'000 m<sup>3</sup>/h durchzuführen.

Eine Klimakammer (4) erlaubt es, verschiedene Komponenten auch bei variablen klimatologischen Bedingungen zu untersuchen, wie auch Studien zum thermischen Komfort und der Behaglichkeit durchzuführen.

Zwei Luftkomponentenprüfstände (5) ermöglichen strömungstechnische Untersuchungen zur Vermessung von Gebläsekennlinien, Druckverlusten von Komponenten oder von Volumenstrom-Messgeräten bis 32'000 m<sup>3</sup>/h. Anemometer werden an unserem Laser-Doppler Prüfstand geprüft.

Weitere Kernkompetenzen sind Schallmessungen im eigenen Schallmessraum (6), bestehend aus Senderaum und Hallraum oder nach dem Schallintensitätsverfahren.

Am Hydraulikprüfstand finden Untersuchungen mit Wasser als Medium statt. Hier werden unter anderem Druckverlustbeiwerte sowie Ventilcharakteristika und Pumpenkennlinien gemessen.

Mittels Spurengasmessungen (7), eine weitere Spezialität der Prüfstelle, werden Luftvolumenstrom- und Leckagemessungen in Tunnels, aber auch Luftwechselraten und Luftalter in Räumen, Gebäudeleckagen oder die Wirksamkeit von Dunstabzugshauben zuverlässig gemessen.

Ferner werden *in situ* Messungen zum thermischen Komfort und Zugluftrisiko (8) nach ISO 7730 durchgeführt.

Typische Projekte neben den Komponenten- und Gerätemessungen sind Erfolgskontrollen, Pilot- und Demonstrationsprojekte, angewandte Forschung wie auch Entwicklungsprojekte an Komponenten (9), Feldmessungen sowie die Erstellung von Gutachten und Expertisen.

Ausserhalb des akkreditierten Bereichs bilden die Themen Reinraumtechnik und Hygiene weitere Kompetenzschwerpunkte. Schutzgradmessungen nach SWKI 99-3 sowie hygienische Untersuchungen an raumluftechnischen Anlagen nach SWKI VA104-01 gehören zu den Aufgabenfeldern. Hierfür unterhält die Prüfstelle einen eigenen OP-Prüfstand (10).



### Kontakt

Tjeerd de Neef  
T: +41 (0)41 349 32 71  
tjeerd.deneef@hslu.ch

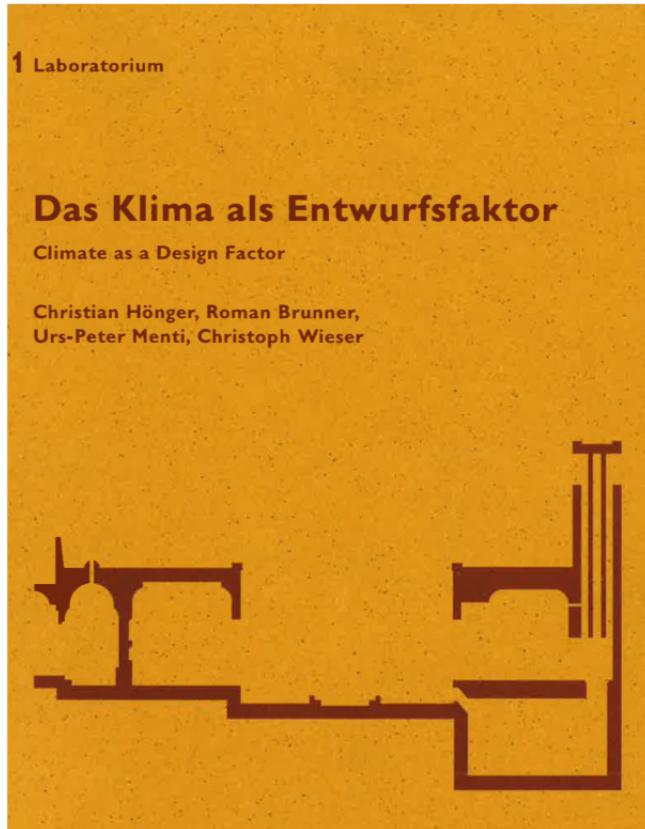
### Akkreditierung

Die Akkreditierung nach ISO/IEC 17025 ermöglicht es der Prüfstelle, Messungen für Zertifizierungsstellen durchzuführen. Wir messen für

- Eurovent und AHRI
- den Schweiz. Verein des Gas- und Wasserfaches (SVGW)
- das deutsche Passivhausinstitut und deklariert.ch

Sie gibt unseren Kunden die Gewähr, ihre Aufträge einem kompetenten und unabhängigen Partner zu vertrauen.





Das Klima als Entwurfsfaktor / Climate as a design factor  
1. Band der Reihe Laboratorium

Herausgeberin: Hochschule Luzern – Technik & Architektur,  
Tina Unruh, CC Material, Struktur & Energie in Architektur

Textbeiträge: Christian Hönger, Roman Brunner, Urs-Peter Menti,  
Christoph Wieser

Lektorat: Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Tina Unruh,  
Dieter Geissbühler, CC Material, Struktur & Energie in Architektur

Simulationen: Zentrum für Integrale Gebäudetechnik,  
Hochschule Luzern – Technik & Architektur  
Urs-Peter Menti, Serge Mattli, Iwan Plüss

Planaufbereitung: Tao Bam, Janine Boog, Michaela Burri, Cornelia Keller,  
Dominik Nachbur, Irene Widerkehr

Grafische Umsetzung: Quart Verlag, Luzern  
Lithos: Printeria, Luzern  
Druck: Engelberger Druck AG, Stans

© Copyright 2009  
Quart Verlag Luzern, Heinz Wirz  
Alle Rechte vorbehalten  
ISBN 978-3-03761-010-7

Quart Verlag GmbH  
Denkmalstrasse 2, CH-6006 Luzern  
E-Mail books@quart.ch, www.quart.ch

Printed in Switzerland



Das Klima als Entwurfsfaktor  
Architektur und Energie

1. Band der Reihe Laboratorium  
Überarbeitete und ergänzte Neuauflage

Herausgeberin: Tina Unruh  
Hochschule Luzern – Technik & Architektur

Textbeiträge: Christian Hönger, Roman Brunner, Urs-Peter Menti,  
Christoph Wieser, Roger Boltshauser, Gion Caminada,

Philippe Rahm, Sascha Roesler

Lektorat: Tina Unruh; Dieter Geissbühler (1. Auflage)

Textlektorat: Agnes Kloocke, Berlin; Miriam Seifert-Waibel, Hamburg

Simulationen: Zentrum für Integrale Gebäudetechnik,  
Hochschule Luzern – Technik & Architektur

Christoph Stettler, Urs-Peter Menti, Dieter Lüthi,

Serge Mattli, Iwan Plüss (1. Auflage)

Planaufbereitung (1. Auflage): Tao Bam, Janine Boog, Michaela Burri,  
Cornelia Keller, Dominik Nachbur, Irene Widerkehr

Zeichnung Körperstudien: Sarah Federli

Zeichnung Titel: Janine Boog, Rainer Vonäsch

Grafische Umsetzung: Quart Verlag, Linus Wirz

Lithos: Printeria, Luzern

Druck: Freiburger Graphische Betriebe, Freiburg D

© Copyright 2013

Quart Verlag Luzern, Heinz Wirz

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-03761-072-5

Dieser Titel erscheint auch in Englisch (ISBN 978-3-03761-073-2)

Quart Verlag GmbH

Denkmalstrasse 2, CH-6006 Luzern

books@quart.ch, www.quart.ch