



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

DIE WIRKUNGEN VON MuKE_n, MINERGIE[®] UND MINERGIE-P[®]

KOMBINIERTE ENERGIE UND KOSTENSIMU- LATION ZUR UNTERSUCHUNG DER AUS- WIRKUNGEN DES BAUHERRENENTSCHEI- DES FÜR EINEN STANDARD BEZÜGLICH KOSTEN

Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

**Christian Zeyer, Dr. sc. nat. ETH, E Plus U Energie- und Umweltberatung GmbH
Monbijoustr. 61 3000 Bern 23, christian.zeyer@eplusu.ch, www.eplusu.ch**

Impressum

Datum: 24. November 2008, rev. 23.02.09

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Energie in Gebäuden

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

www.bfe.admin.ch

Projektnummer: 101694

Bezugsort der Publikation: www.energieforschung.ch

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

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Abstract	2
1 Ausgangslage	4
2 Vorgehen	5
2.1 Allgemeines	5
2.2 Simulationsmethode	6
2.3 Standards	7
2.4 Gebäude	7
2.5 Kostensätze und Randbedingungen	8
2.6 Begrenzungen	12
3 Resultate	13
3.1 Ablauf einer Optimierung	13
3.2 Überprüfung der Simulation durch Architekten-Vorkalkulation und an ausgeführten Objekten	13
3.3 Kostensteigerung von Minergie zu Minergie 08	16
3.4 MuKE n zu Minergie	18
3.5 Minergie-P mit jedem neuen Gebäude erreichbar ?	19
3.6 Kostenschritt zwischen Minergie und Minergie-P	21
3.7 Gas-Solar oder Holzheizung – der günstigere Weg zu Minergie 08	21
3.8 Qualität der Planung aus energetischer Sicht	24
3.9 Auswirkungen von Grösse, Orientierung und Siedlungsstruktur auf die Kosten von Bauten nach Minergie-P, Minergie und Muken	27
3.10 Auswirkungen der Gebäudedistanz	28
3.11 Lohnt es sich wirtschaftlich, im Minergie-P-Standard zu bauen ?	29
4 Schlussfolgerungen	31
4.1 Einleitung	31
4.2 Planungsempfehlungen	32
4.3 Haustechnik	32
4.4 Was bringt die Zukunft ?	33
5 Danksagungen	33
6 Verzeichnis der verwendeten Grundlagen	34

Zusammenfassung

Am Beispiel von 38 ausgeführten Gebäuden in den Standards MuKEEn, Minergie und Minergie-P des Typs EFH, MFH und Verwaltung wurde untersucht, welche Kosten entstanden wären, wenn die anderen Standards mit dem vorliegenden Gebäude umgesetzt worden wären. Dazu wurden die Objekte in einem Energiebilanztool aufgenommen und einer kombinierten Kosten und Energiesimulation unterzogen. Dabei wurden die Bauteile schrittweise optimiert, wobei immer dasjenige Bauteil verbessert wurde, der das beste Kosten-Nutzenverhältnis aufwies. Die Haustechnik wurde in den Konfigurationen Holz Pellets und Gas-Solar 70% Warmwasser) berücksichtigt.

Die Resultate zeigen eine gute Übereinstimmung mit den von der Minergie Agentur publizierten Aussagen bezüglich Kosten. Es zeigt sich aber, dass sehr unterschiedliche Kosten entstehen, je nach Qualität der Umsetzung. Die Orientierung des Gebäudes, die Kompaktheit und die Wärmebrücken spielen dabei eine herausragende Rolle.

Um die Mehrkosten auszuweisen wurde auf eine absolute Grösse zurückgegriffen, die im Gegensatz zu den prozentualen Mehrkosten unabhängig ist vom Ausbaustandard.

Folgende Mehrkosten fallen an:

	Kompakte Bauten [Fr/m ² EBF]	Nicht kompakte Bauten [Fr/m ² EBF]
MuKEEn -> Minergie Inkl. Lüftung	150	200
Minergie -> Minergie 08	20	40
Minergie -> Minergie-P	100	200

Diese Kosten sind erreichbar unter der Bedingung, dass konsequent energieoptimiert geplant und gebaut wird. Wird darauf nicht Rücksicht genommen entstehen Mehrkosten in der doppelten bei dreifachen Höhe.

Zusätzlich zeigen die Daten, dass es günstiger ist, Minergie mit einer Holzpellettheizung zu erreichen, als über ob eine Kombination Gas-Solar (WW 70%), wobei der Unterschied bei Geschäftsbauten nur gering ist.

In einem weiteren Abschnitt wird auf der Basis der Daten die Wirtschaftlichkeit des Minergie-P Standards untersucht. Bei weiterhin steigenden Energiepreisen ist die Minergie-P Dämmung wirtschaftlich, der Einbau der Komfortlüftung jedoch nicht, sie muss über die Komfortsteigerung begründet werden.

Abstract

Using data of 38 effectively constructed buildings, built according to the standards MuKEEn, Minergie und Minergie-P, the influence of these standards on project costs was investigated, when the buildings would have been constructed in the respective other standards. Investigated building classes were single family home, condominiums and office buildings.

To do this, a combined simulation tool for energy and cost simulation was built, optimising insulation and windows of the buildings stepwise following a least cost path. The simulations were run in parallel with wood pellet heating and natural gas heating with 70% coverage of solar water heating.

The results are in good accordance with the findings of the Minergie association. However the results demonstrate, that the effective cost vary up to threefold, according to the quality of the construction plans. It is therefore important to optimise the orientation, to maintain a compact hull, and to avoid thermal bridges.

In order to quantify the additional cost for a respective other standard, an absolute measure was adopted, that does not vary with the building standard in other respect than energy (unlike the often used percentage of building cost).

The following additional cost could be attributed :

	Compact buildings [Fr/m ² EBF]	Non compact buildings [Fr/m ² EBF]
MuKEn -> Minergie incl. air conditioning	150	200
Minergie -> Minergie 08	20	40
Minergie -> Minergie-P	100	200

This level of additional cost can realistically be achieved, when the design principles for energy-optimised buildings are respected. If not, additional cost can double or even triple.

In addition, the results demonstrate, that it is cheaper to reach Minergie in combination with wood pellet heating than with the combination of natural gas and solar warm water generation.

Based on these results, it was investigated, whether the standard of Minergie-P is economical. Under the assumption of increasing energy costs, it can be demonstrated that an isolation according to Minergie-P becomes economical, however the required air conditioning is not.

1 Ausgangslage

Bauen findet in einem kompetitiven Marktumfeld statt. Preise spielen eine grosse Rolle, da die Investitionskosten über die Amortisation einen grossen Teil der späteren Kosten im Betrieb ausmachen und auch den Gewinn beim Wiederverkauf stark beeinflussen.

Aus Sicht der Energiepolitik spielt der Gebäudepark eine wichtige Rolle, weil mehr als 30 % des schweizerischen Energieverbrauchs zur Beheizung von Gebäuden verwendet wird. Dieser Energieverbrauch wird über drei Faktoren bestimmt:

- Wärmedämmung und Luftdichtigkeit
- Benutzerverhalten
- Wärmeerzeugung

Das Konzept des Minergie Labels ist es, diese drei Faktoren gemeinsam zu optimieren. Durch eine gut gedämmte Hülle wird der Energieverlust durch die Transmission reduziert, durch die Komfortlüftung und die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle wird der Wärmeverlust durch den Luftaustausch verringert und durch eine geeignete Heizung die Energiebereitstellung optimiert. Typisch an diesem Konzept ist, dass keine Beschränkungen in Materialisierung oder der Art der Energiequelle gemacht werden. Ob das Label erreicht wird oder nicht, ist ersichtlich aus dem Erreichen des Grenzwertes. Dieser wird über eine gewichtete Wärmebilanz erreicht, wobei verschiedene Energieträger eine unterschiedliche Wertung erhalten.

Diese Vorgehensweise zeichnet sich dadurch aus, dass sie den Architekten die Freiheit in der Gestaltung lässt. Es gibt also nicht das typische Minergie Haus als klar erkennbaren Stil, es gibt Gebäude verschiedenster Art und Bauweise, die sich über einen tiefen Energieverbrauch ausweisen.

Dies birgt gleichzeitig auch eine Gefahr, in dem es grundsätzlich möglich ist, sämtliche Grundregeln des energiegerechten Bauens zu missachten und trotzdem in der Lage zu sein, ein Gebäude zu bauen, welches den Minergie Standard erreicht. Die Folge davon sind Gebäude mit unnötig dicken Isolationen, welche sich in höheren Baukosten und einer schlechteren Gesamtkobilanz auswirken.

Aussagen über die Kosten in der Erstellung wiederum diskreditieren das Konzept. Einzelne Fälle von Baukosten, die 20 % und mehr über den üblichen Kosten liegen, kontrastieren zu den Aussagen der Minergie Agentur Bau, die fordert, die Baukosten dürften nicht mehr als 10% über den Normkosten liegen. (www.minergie.ch)

Für diese unklare Situation gibt es mehrere Gründe. Die zwei Hauptgründe sind vermutlich, dass eine Abgrenzung der effektiv für die Reduktion des Energieverbrauchs relevanten Mehrkosten kaum gemacht werden, und dass andererseits nicht unterschieden werden kann, welcher Kostenanteil der Dämmung grundsätzlich notwendig ist, und welcher Anteil davon eine mangelhafte Planung kompensieren muss.

Nach wie vor sind Minergie Bauten nicht selbstverständlich. Oft wird auch heute so gearbeitet, dass das Gebäude grundsätzlich fertig geplant wird, und anschliessend so gedämmt wird, dass gerade noch der anvisierte Grenzwerte erreicht wird. Dieses Situation hat weitreichende Folgen. Sie

- erhöht unnötig die Kosten der effektiv ausgeführten Bauten, da der gleiche Effekt durch eine konsequent energiegerechte Planung zu tieferen Kosten erreicht werden könnte
- diskreditiert das energiegerechte Bauen als etwas, das sich nur Reiche leisten können
- erzielt einen tieferen energiepolitischen Nutzen pro eingesetztem Franken
- führt deshalb letztlich auch zu einem Wohlstandsverlust

Denn energetisch wenig optimiertes Planen führt vielleicht zu architektonisch und ästhetisch befriedigenden Bauten, erzeugt aber einen volkswirtschaftlichen Verlust, da die vorhandene Sonnenenergie nicht genutzt wird und stattdessen durch nicht erneuerbare Energien ersetzt wird. Die Herausforderung der Zukunft ist es, diese beiden Aspekte des Bauens unter einen Hut zu bringen.

Ziel dieser Studie ist es, diese Situation ein Stück weit zu objektivieren. Werden Objekte in der Art, wie sie ausgeführt sind, aufgenommen und anschliessend einer kombinierten Kosten und Energiesimulation unterworfen, in der verschiedene energetische Ziele angestrebt werden, ergeben sich Aussagen über die Grenzen und die Streuung der Kosten von verschiedenen angestrebten Standards. Neben dem Mittelwert für die Kosten von Optimierungsmassnahmen kann auch ein Bereich definiert werden,

von dem man sagen kann, dass er unter dem momentanen Stand der Technik die minimalen notwendigen Investitionen für das Erreichen eines Labels unter dem Einhalten der Empfehlungen für energiegerechtes Bauen darstellt.

Der Schwerpunkt der Untersuchung wird dabei auf das Thema Wärmedämmung gelegt, ohne die Aspekte der Haustechnik ausser Acht zu lassen. Dies ergibt sich daraus, dass die Gestaltungsmöglichkeiten im Bereich Haustechnik eher geringer sind. Ist die Hülle und der Grundriss gegeben, ergeben sich Optimierungsmöglichkeiten nur noch durch die Systemauswahl an sich (Art der Heizung, der Lüftung) sowie durch die Auswahl eines Fabrikates.

Ganz anders im Bereich der Wärmedämmung: Hier kann sehr differenziert in kleinen Schritten von einigen Zentimetern optimiert werden, wobei für unterschiedliche Bauteile unterschiedliche Kostenfaktoren zum Einsatz kommen müssen.

2 Vorgehen

2.1 ALLGEMEINES

Das ausgewählte Vorgehen orientiert sich an einer kombinierten Energie- und Kostensimulation. Ausgangslage sind 38 ausgeführte Gebäude der Kategorien EFH, MFH und Verwaltung, wobei Minergie und Minergie-P Gebäude genauso berücksichtigt wurden wie Gebäude, die kein Label erreichen, also nach MuKE n geplant wurden. Für diese Gebäude wurde der Ist Zustand aufgenommen. Dazu wurde das Energiebilanztool Huber Entech (Huber, Vers. 2006) leicht modifiziert, um die Erfassung zu beschleunigen. Dabei wurden die Flächen der Gebäude erfasst und die Konstruktion jeweils in einen konstruktiven Anteil und einen Wärmedämmungs-Bulk¹ Anteil aufgetrennt. Eine Aussenwand mit dem üblichen Aufbau (Wärmeübergang innen, Innenputz, Backstein, Isolation, Aussenputz, Wärmeübergang aussen) wurde also aufgeteilt in die (variable) Dämmung und einen konstanten U-Wert für den Anteil der Konstruktion, der bei einer Veränderung der Wärmedämmung nicht geändert wird. Diese Grundlagen wurden nun automatisch modifiziert, in dem die Wärmedämmung, je nach dem definierten Ziel dicker oder dünner gestaltet wird. Nach jedem Schritt wurde untersucht, ob der anvisierte Grenzwert erreicht ist, oder nicht. Dabei wurde die Optimierung so gestaltet, dass der kostenoptimale Weg zum Ziel beschritten wird. Es wurden folgende Grenzwerte anvisiert:

Tabelle 1: Standards und Konfigurationen

Standard	Haustechnik	
	Pelletsheizung	Gas mit 70% Solar Warmwasser
MuKE n	X	X
Minergie ²	X	X
Minergie 08	X	X
Minergie-P	X	X

Nach dem Erreichen des Grenzwertes wird die Simulation gestoppt. Die wichtigsten Resultate werden festgehalten und das vollständige Energiebilanzfile wird als neue Variante abgespeichert. So entstanden 8*38 fertige Energiebilanzen in den 8 anvisierten Konfigurationen.

Zur Überprüfung der Simulationsergebnisse wurden einige der ausgeführten Simulationen vom Architekturbüro BSR durch unabhängige Kostenschätzungen überprüft. Ausserdem wurden die verwendeten Kostenfaktoren an einigen ausgeführten Konstruktionen überprüft.

¹ Als Wärmedämmungs-Bulk wird hier jener Teil der Dämmung verstanden, der den Hauptteil der Dämmung ausmacht. So wird in der Holzmodulbauweise oft innen an der eigentlichen Tragschicht eine Installationsschicht aufgebracht, welche ebenfalls leicht gedämmt ist. Diese wäre nach der verwendeten Definition nicht Teil des Wärmedämmungs-Bulk, und würde deshalb den U-Wert der Grundkonstruktion an sich verbessern.

² Als Annäherung ergeben diese Resultate auch Aussagen über die notwendige Dämmung bei MuKE n Revision 08

2.2 SIMULATIONSMETHODE

Für die Simulation wird auf eine Sekantenmethode³ zurückgegriffen. Dabei wird bei jedem Simulationsschritt für jedes Bauteil die spezifische Kostenfunktion bestimmt. Dazu wird berechnet, wie stark sich die Energiebilanz des Gebäudes bei einer Optimierung des entsprechenden Bauteils verbessert. Dieser Wert wird in Relation gesetzt zu den Kostensteigerungen der Optimierung.

Für die Optimierung nach oben, also ausgehend von einem schlechten Standard hin zu einem besseren Standard wird jener Optimierungsschritt ausgewählt, bei dem der Quotient zwischen Energieeinsparung und Preis maximal ist.

Für die Optimierung nach unten, also ausgehend von einem besseren Standard hin zu einem schlechteren Standard wird jener Optimierungsschritt ausgewählt, bei dem der Quotient zwischen Verschlechterung Energieeinsparung und Preis minimal ist. Dadurch optimiert sich die Kostenfunktion.

Da die Kostenfunktion in n Dimensionen linear unabhängig ist und im wesentlichen nur ein Skalarprodukt mit stetiger, monotoner und eindimensionaler Kostenfunktion darstellt, ist die Sekantenmethode unproblematisch in der Anwendung. Lokale Optima gibt es in dieser Kostenfläche nicht.⁴

Die untenstehende Grafik zeigt das Vorgehen auf.

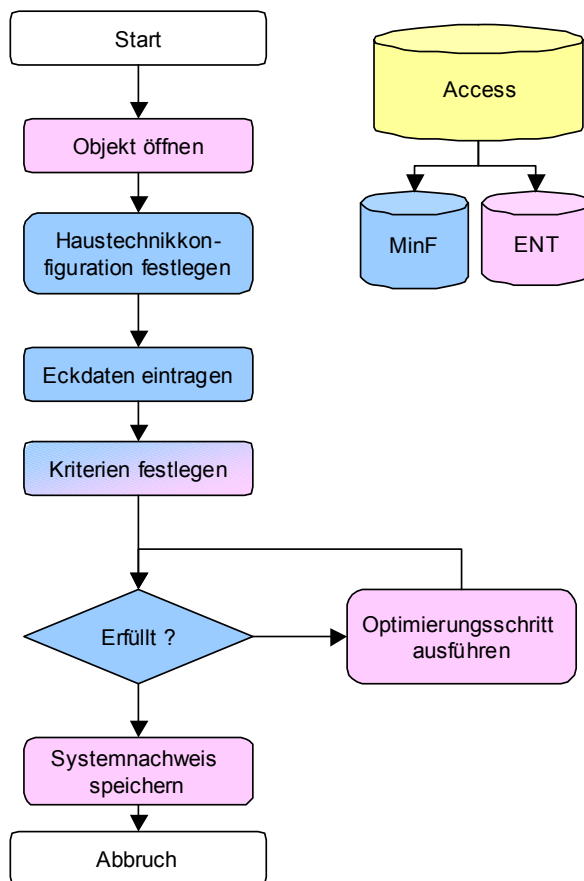


Fig. 1: Access steuert den Optimierungsprozess und enthält die Kostenfaktoren für die Optimierungsfunktion. Dabei wird über ODBC-Schnittstellen direkt auf die Programme zugegriffen.

Begriffe:

MinF: Minergie Nachweisformular

ENT: Energiebilanzsoftware Entech

³ Bei der Sekantenmethode wird einer Kurvenfläche in diskreten Schritten gefolgt, wobei der jeweils grössten Sekantensteigung gefolgt wird.

⁴ Die Wirkung der Wärmedämmung wird durch eine Hyperbel beschrieben. Dickere Wärmedämmung gibt deshalb immer bessere Dämmung – mit abnehmendem Nutzen. Dies gilt für alle betrachteten Bauteile. Wäre dies nicht der Fall, und könnte es sein, dass trotz besserer Dämmung ein physikalisches Optimum bestünde, nachdem der Energieverlust wieder zunähme, dann könnte es sein dass die Sekantenmethode versagt und das Optimum durch die Sekantenmethode nicht gefunden würde. Dies ist jedoch aus obigen Gründen nicht zu befürchten.

Die Simulation liefert als Resultat die Differenzkosten zwischen dem aufgenommenen Realzustand und dem synthetisch erzeugten Wert, der einen anderen Grenzwert erfüllen würde. Werden jeweils alle definierten Grenzwerte angestrebt, können die Differenzkosten zwischen den einzelnen Standards durch einfache Differenzbildung zwischen den Differenzkosten von Original zu jeweiliger Simulation bestimmt werden.

2.3 STANDARDS

Folgende Standards wurden betrachtet:

MuKEEn: Energieverbrauch gemäss kantonalen Mustervorschriften, abgestimmt auf die Heizgrenzwerte nach SIA 380/1:2001 unter Berücksichtigung von Modul 2 (= Anteil erneuerbare Energie an Heizung und Warmwassererzeugung von 20%)

Minergie: Bis 2008 gültige Definition des Labels gemäss den Festlegungen des Vereins Minergie mit einer Primäranforderung von 80% des Heizgrenzwertes nach SIA 380/1 in Kombination mit einem vom Gebäudetyp abhängigen, gewichteten Grenzwert für Heizung und Warmwasser.

Minergie 08: Ab 2008 gültige Definition des Labels gemäss den Festlegungen des Vereins Minergie mit einer Primäranforderung von 60% des Heizgrenzwertes nach SIA 380/1:2001 in Kombination mit einem vom Gebäudetyp abhängigen, gewichteten Grenzwert für Heizung und Warmwasser.

Minergie-P: 2007 gültige Definition des Labels gemäss den Festlegungen des Vereins Minergie mit einer Primäranforderung von 20% des Heizgrenzwertes nach SIA 380/1:2001 unter Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung aus der Komfortlüftung in Kombination mit einem vom Gebäudetyp abhängigen, gewichteten Grenzwert für Heizung und Warmwasser.

2.4 GEBÄUDE

2.4.1 Auswahl

Ziel dieses Projektes war es, Gebäude mit unterschiedlicher Herkunft miteinander zu vergleichen. Es wurden deshalb für die Simulationen ausgeführte Gebäude analysiert, die den Minergie, den Minergie-P Standard oder nur die Richtlinien nach MuKEEn⁵ erfüllen. Ausserdem wurden EFH, MFH und Verwaltungsgebäude in die Untersuchung mit einbezogen. In der untenstehenden Tabelle ist dargestellt, welche Art von Gebäuden in die Untersuchung einbezogen wurden.

Tabelle 2: Objekte nach Ursprungsklassen

	MuKEEn	Minergie	Minergie-P
EFH	4	8	4
MFH	4	5	3
V		6	4

Die Dossiers von Minergie Gebäuden wurden durch die kantonalen Minergie-Kontrollstellen zur Verfügung gestellt, die Minergie-P Dossiers erhielten wir von der zentralen Prüfstelle, die an die Hochschule Luzern - Technik & Architektur angeschlossen ist. Die Standardgebäude entstammen einer Untersuchung, die das Amt für Umweltkoordination und Energie des Kantons Bern 2006 durchgeführt hat, um die Qualität der Baubewilligung beurteilen zu können.

2.4.1.1 Qualität der Grundlagen

Eine der grössten Herausforderungen des Projektes war es, aus den Unterlagen konsistente Energiebilanzen abzuleiten. Viele der Dossiers waren unvollständig und basierten zum Teil noch auf älteren Berechnungsmethoden. Im Fall von ungenügenden Daten wurden die Unterlagen auf Grund der Pläne und entsprechend dem Stand der Technik ergänzt, so dass eine vollständige Energiebilanz zur Verfügung stand.

Gleichzeitig kann aber festgehalten werden, dass die Qualität der jüngeren Dossiers und auch die Qualität der Berechnungsmethoden deutlich besser ist. Wenn es also gelänge, die Architekten weiter dafür zu sensibilisieren, den energietechnischen Massnahmenachweis als integralen Bestandteil des Planungsprozesses zu verstehen und entsprechende Fachleute bereits im frühen Stadium der Pla-

⁵ MuKEEn: Erfüllen von Grenzwert Heizwärmebedarf nach SIA 380/1:2001 und Bereitstellung von 20% der Energie in der Form erneuerbarer Energien

nung bei zu ziehen, würde sich dies mit Sicherheit zusätzlich positiv auf die energetische Qualität der Bauten auswirken.

2.5 KOSTENSÄTZE UND RANDBEDINGUNGEN

2.5.1 Fassaden

M. Jakob et al. weisen an verschiedenen Stellen darauf hin, dass eine starke Streuung der eingeholten Preisempfehlungen vorliegt. Insbesondere bei grösseren Isolationsdicken streuen die Kosten um + -15%. Entscheidende Unterschiede liegen hier weniger bei den Materialkosten als bei den Handlingkosten. Aus den Unterlagen ist zu entnehmen, dass je nach Offerte der Anteil des Rohmaterials variiert und dass der Materialanteil nur rund 30% ausmacht. (z.B. Jakob, S 114)

2.5.1.1 Kostenunterschiede im Dämmmaterial

Grundsätzlich ist die Kostenberechnung unter Verwendung der Kostenfaktoren von Jakob et al. mittels Optimierung relativ einfach, solange die eingesetzten Materialien den im Detail abgehandelten Kategorien Kompaktfassade (Polystyrol, Mineralfaser) und hinterlüftete Fassade entsprechen. Abweichungen sind zu erwarten, wenn neuere Materialien mit besseren λ -Werten zum Einsatz kommen. Diese sind zwar leistungsfähiger in der Wärmedämmung, jedoch teuer und im Handling zum Teil noch nicht so erprobt.

Um einen U-Wert von $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ mit einem Dämmmaterial der gängigen Polystyrole zu erreichen ($\lambda = 0.035 \text{ W/mK}$) werden 21 cm Dämmung benötigt. Um den gleichen Wert bei $\lambda = 0.02 \text{ W/mK}$ (z.B. Gongon PU) zu erreichen, ist eine Dicke von 12 cm notwendig.

Laut M. Jakob kostet eine Dämmung mit Polystyrol von 20 cm 140 Fr/m^2 , eine Dämmung von 12 cm 117 Fr/m^2 .

Der Anteil des Dämmmaterials laut Listenpreis ist bei der Polystyrol Dämmung rund 23 Fr/m^2 für die Dämmung mit 12 cm Dicke, ein Hochdämmender kostet hingegen etwa 40 Fr/m^2 mehr. Es wäre also nicht korrekt, die Kostenfaktoren für Polystyrol und die Dicke für einen hochdämmenden Baustoff einzusetzen. Kompensiert man die Dicke jedoch mit dem λ -Wert des Dämmmaterials, resultiert für die hochdämmende Fassade ein Wert von 140 Fr/m^2 , was immer noch eher tief ist, jedoch für die Simulation befriedigend ist. Die Aussage ist dann die Folgende: „Was hätte diese Wand gekostet, wenn sie in üblicher Art und Weise ausgeführt worden wäre?“ Da hochdämmende Wärmedämmmaterialien aus Kostengründen heute eher selten angewendet werden, ist diese Vorgehensweise unserer Ansicht nach ein vernünftiger Kompromiss zwischen Genauigkeit und Aufwand für die Bereitstellung der Methode.

Anders gehandhabt werden müssen hingegen inhomogene Konstruktionen, die auf Grund der Verwendung von unüblichen, tragenden Materialien dicker ausfallen. Hier kann die Normkostenberechnung für die hinterlüftete Fassade zur Anwendung kommen, ohne dass korrigiert werden muss. Ist der Anteil des schlechter dämmenden Materials grösser, muss die Dicke der Dämmung grösser gewählt werden, was zu einem höheren Kostensatz führt.

Das gleiche gilt für die Verwendung von schlechter dämmendem Material. Diese Materialien werden meist nicht auf Grund günstigerer Rohstoffe, sondern aus spezifischen Gründen (Bauphysik, Bauökologie) verwendet. Es ist auch nicht davon auszugehen, dass diese Materialien günstiger sind. Eine Bonuskorrektur drängt sich hier nicht auf, es kann die normale Rechnung, je nach Typ der Dämmung verwendet werden (hinterlüftet, kompakt).

In einer späteren Phase könnten die Simulationen allenfalls verfeinert werden, indem man für die Materialien einen gewichteten Korrekturfaktor bestimmt. Dies würde jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen und die Aussagekraft nur unwesentlich vergrössern.

2.5.1.2 Anschlusskosten

Jakob et al. weisen nach, dass sich die Anschlusskosten in Funktion der Länge der Fenster nur unwesentlich verändern (S 107). Steigt die spezifische Anschlusslänge in m/m^2 Fläche, steigt zwar der absolute Betrag, die Zusatzkosten sind jedoch annähernd unabhängig von der Dicke der Isolation. Am Beispiel ergibt sich eine Steigerung von weniger als 5 %⁶. Ähnliches resultiert aus den Überlegungen

⁶ Dämmung 10 cm: bei 0.45m/m^2 Ansch.: 112 Fr/m^2 , bei 0.65m/m^2 Ansch.: 128 Fr/m^2 Dif. 16 Fr/m^2
Dämmung 30 cm: bei 0.45m/m^2 Ansch.: 174 Fr/m^2 , bei 0.65m/m^2 Ansch.: 193 Fr/m^2 Dif. 19 Fr/m^2
(Jakob et al. S.107)

zu hinterlüfteten Fassaden (Jakob S.122). Da unsere Berechnungen sich auf die Mehrkosten der zusätzlichen Dämmung beschränken, resultiert hier ein Differenzbetrag, der für unsere Berechnungen keine Rolle spielt

2.5.1.3 Hinterlüftete Fassaden in Polystyrol (PS)

Hinterlüftete Fassaden werden selten in PS ausgeführt. Neuerdings sind entsprechende Systeme auf dem Markt, es sind jedoch keine Kostenfaktoren dafür bekannt. Die hinterlüftete Fassade in Polystyrol, falls sie vorkommen sollte wird deshalb mit dem gleichen Kostensatz gerechnet, der für die mineralische, hinterlüftete Fassade gilt.

2.5.1.3.1 Materialisierung der Fassadenbekleidung bei hinterlüfteten Fassaden

Bei hinterlüfteten Fassaden kommen unterschiedliche Fassadenbekleidungen zum Einsatz. Diese haben bezüglich Materialisierung und verwendeter Konstruktion auf die Kosten einen Einfluss. Die Konstruktion findet ihren Ausdruck bereits in den Kostenfaktoren, die Jakob et al. berechnet haben. Da wir die Energiebilanz über ein Bilanztool berechnen, findet die Konstruktion auch in der Energiebilanz seinen Niederschlag. Wir gehen für die Simulation davon aus, dass die verwendete Konstruktion, zumindest bezüglich Energieverbrauch über die ganze Dicke identisch bleibt.

Was die Materialisierung der Fassade anbelangt, bleibt diese unabhängig von der Dicke und fällt im Differenzverfahren weg.

Es kommen folgende Kostensätze zum Einsatz:

Tabelle 3: Kostenfaktoren für Wände

Wand	λ- Wert von 0.036 W/mK für alle Dämmaterialien		
Dicke	Kompakt Polystyrol	Kompakt Mineralisch	Hinterlüftet
[cm]	[Fr/m ²]	[Fr/m ²]	[Fr/m ²]
10	112	140	190
12	117		198
14	121		206
16	127	linear	214
20	140		230
24	156		246
30	174	240	270

2.5.1.4 Holzmodulbau

Im Rahmen der Architekturüberprüfung ergab sich, dass der Holzmodulbau eine andere Kostenfunktion benötigt, als ursprünglich angenommen. Die zuerst festgelegte Funktion für hinterlüftete Konstruktionen erwies sich als zu steil. Dieser Kostensatz wurde ursprünglich verwendet, weil es grosse Ähnlichkeit in den Konstruktionen gibt, was auch Jakob et al. festhalten (S. 127).

Die neue Kostenfunktion wurde durch Rückfragen bei einem Hersteller von Gebäuden in Holzmodulbau und einem Architekten bestimmt. Sie gleicht eher der Kostenfunktion einer Kompaktfassade, allerdings mit einer etwas höheren Steigung wegen des tieferen mittlern λ-Werts.

Die Kostenfunktion lautet:

$$Y \text{ (Fr/m}^2\text{)} = 3.25 * D \text{ (cm)} + 107$$

Wobei Y die Quadratmeterkosten und D die Dicke der Dämmung in cm darstellen.

Als Normgrösse für die Wärmedämmung wurde ein λ- Wert von 0.044 W/mK eingesetzt (bei 15% Anteil von Vollholz für die Konstruktion).

2.5.1.5 Kellerdecken und Kellerböden

Für Kellerdecken und Kellerböden lässt sich aus der CEPE Studie keine Kostenfunktion ableiten. Diese wurde deshalb durch Nachfrage bei einem Anbieter bestimmt.

Für Kellerdecken wurde als Normmaterial Steinwolle festgelegt. Mit diesem Material ergibt sich eine Kostenfunktion von

$$Y (\text{Fr/m}^2) = 1.96 * D (\text{cm}) + 62$$

Für die Dämmung des Kellerbodens ergab sich die Kostenfunktion von.

$$Y (\text{Fr/m}^2) = 3.9 * D (\text{cm}) + 7.5$$

Als Material wurde ein hochdämmendes PU angenommen. ($\lambda = 0.028 \text{ W/mK}$)

Kellerbodendämmungen weisen also eine wesentlich steilere Kostenfunktion auf, als die Dämmung der Kellerdecke, die als eine der günstigsten Möglichkeiten für eine gute Dämmung gilt. Dies ist vermutlich einer der Gründe weshalb die meisten Passivhäuser über unbeheizte, nicht gedämmte Keller verfügen. Der andere wichtige Grund ist, dass Keller innerhalb des Dämmperimeters zwar die Energiebezugsfläche vergrößern, aber kaum Möglichkeiten für solare Gewinne bieten.

2.5.2 Dach

2.5.2.1 Steildach

Bei der Bestimmung der Kosten für den Dachausbau geht Jakob einen anderen Weg, indem er von einer Referenzbauweise ausgeht und die Kostenentwicklung über den U-Wert darstellt. Dadurch werden unterschiedliche Materialisierungen und Kosten der Dämmmaterialien scheinbar aufgefangen. Die gewählte Referenzbauweise mit einem U-Wert von 0.27 ist insofern ungünstig, als sie für die Bauweise nach MuKE n, Einzelbauteil Nachweis mit Standardlösung Wärmepumpe zu gut ist. Wir treffen die Annahme, dass die Steigung der ersten Verbesserungsstufe von 0.27 $\text{W/m}^2\text{K}$ auf 0.24 $\text{W/m}^2\text{K}$ auch nach unten gilt, was vermutlich korrekt ist. Des Weiteren treffen wir die Annahme, dass die Dachkonstruktion über die gesamte Dicke (zumindest was die Simulation der Dämmung betrifft) identisch sei. Wird also homogen oder mit reduzierter Stärke der Tragkonstruktion oberhalb der Dachsparren gedämmt, ergibt sich daraus ein kleiner Fehler. In der Differenzbildung fällt diese Grundannahme annähernd heraus. Ein kleiner Fehler entsteht, wenn z.B. ein Minergie konformes Dach mit dicken Balken gebaut würde und oben nur eine dünne Schicht mit homogener Konstruktion oder dünnerer Tragkonstruktion ausgeführt würde. Dieser Unterschied kürzt sich über die Kostenfunktion mit U-Wert zwar heraus, es entsteht aber ein Fehler daraus, dass der Energiebilanzteil der Simulation nicht auf die veränderte Konstruktion reagieren kann. Wir gehen jedoch davon aus, dass dies ein eher unwahrscheinlicher Spezialfall ist.

2.5.2.2 Flachdach und Steildach

Sinngemäß kann auch mit dem Flachdach verfahren werden. Dort ist die Referenzdicke der Dämmung bei 0.3 $\text{W/m}^2\text{K}$, weshalb die Extrapolation anstelle der Interpolation noch weniger ins Gewicht fällt.

Es werden folgende Kostenfaktoren verwendet:

Tabelle 4: Kostenfaktoren für Dächer

Steildach		Flachdach	
U	Kosten	U	Kosten
[$\text{W/m}^2\text{K}$]	[Fr/m^2]	[$\text{W/m}^2\text{K}$]	[Fr/m^2]
0.27	0	0.3	0
0.24	5	0.25	9
0.21	14	0.21	25
0.18	26	0.18	38
0.15	39	0.14	60
0.13	50	0.11	88
0.11	64		

2.5.2.3 Estrichbodendämmung

Die Kostensätze für die Estrichbodendämmung sind in Jakob et al. nur summarisch angegeben, ohne dass auf das Material direkt Rücksicht genommen wird. Da heute eher das Dach als der Dachboden gedämmt wird, verzichten wir darauf, hier die Kostensätze weiter zu detaillieren und übernehmen die Kostensätze von Jakob et al. mit folgenden Werten:

Tabelle 5: Kostensätze für Estrichbodendämmung

Estrichboden	
Dicke	Kompakt Polystyrol
[cm]	[Fr/m ²]
10	80
30	135

Entgegen der Ansicht von Jakob sind wir jedoch der Meinung, dass im Neubau im Differenzverfahren die linearen Anschlüsse keine bedeutende Rolle spielen, weshalb wir diesen Einfluss aus dem Kostensatz eliminieren.

2.5.3 Energiepreisssteigerungen, Lernkurve und Bauteuerung

Die Energiepreisssteigerungen haben die Kosten der Rohmaterialien stark beeinflusst. Laut Auskunft der Swisspor liegt die Preissteigerung im Bereich Polystyrol bei rund 17 % von 2004 bis Ende 2006. Im Bereich der mineralischen Dämmstoffe beträgt er rund 10% (Auskunft Flumroc). Da laut Jakob et al. das Rohmaterial mit etwa 30% in die Kosten eingerechnet werden muss, ergibt sich aus den Kostensätze des Rohmaterials ein um 5% höherer Preis für Polystyrol und ein 3% höherer Preis für mineralische Dämmstoffe. Gleichzeitig geht Jakob (S.253) von einer Lernkurve von 0.6 % aus, was in den letzten 4 Jahren seit dem Erscheinen der Studie eine Kostendegression von 2.6% ergibt. Gleichzeitig unterliegt das Bauen der allgemeinen Bauteuerung. Wir verzichten deshalb darauf, die Kostensätze anzupassen. Fallweise können die Resultate mit einem Faktor für die allgemeine Bauteuerung korrigiert werden. Dass diese Annahmen vernünftig sind, zeigen die Resultate der Architekturüberprüfung. Da diese Überprüfung mit Werten von Herbst 2007 und sogar mit Daten von ausgeführten Objekten im Frühjahr 2008 gemacht wurden, kann auch davon ausgegangen werden, dass diese Aussage für die bis Anfang 2007 erfolgten Energiepreisssteigerungen stimmt.

2.5.4 Fenster

Es ist zwar möglich, eine graduelle Verbesserung der Fenster bezüglich Wärmeverlust darzustellen, jedoch entspricht dies oft nicht der Baupraxis. Aus Gründen der Vereinfachung wurde eine bestimmte Bauart der Fenster bezüglich U- und g-Wert für das ganze Haus ausgewählt. Wir haben uns entschieden, Fenster in drei diskreten Schritten abzuhandeln.

MuKEn – Standard: Rahmen 1.5 W/m²K, Glas: 1.2 W/m²K,

Minergie – Standard: Rahmen 1.3 W/m²K, Glas: 0.7 W/m²K,

Minergie-P – Standard: Rahmen 1.0 W/m²K, Glas: 0.5 W/m²K

Dabei lassen wir offen, dass ev. die Stufe Minergie-P mit dem Nachweis auch ohne Minergie-P Fenster erreicht werden kann bzw. bereits ein Minergie Standard Passivhaus-Fenster verlangt.

Grundsätzlich beschränken wir uns in der Berechnung auf Holzfenster. Kommen Kunststofffenster zum Einsatz, ergibt dies für das Passivhausfenster eine Einsparung von rund 50 sFr/m² Fenster, für das Minergie Haus eine solche von rund 25 sFr/m².

Da der Unterschied nicht gravierend ist und bauökologische Argumente eher für Holzfenster sprechen, wird darauf verzichtet, diesen Aspekt in die Berechnung einzubinden. Es kann jedoch von der fertigen Simulation ein entsprechender Abzug gemacht werden, falls dies gewünscht wird.

Folgende technischen Werte und finanziellen Eckdaten wurden verwendet:

Tabelle 6: Verwendete Eckdaten für Fenster.

Fenster			MuKE	Minergie	Minergie-P
1.7 m ²	U Rahmen	[W/m ² K]	1.5	1.3	1
Glasanteil	U Glas	[W/m ² K]	1.2	0.7	0.5
70%	U Fenster	[W/m ² K]	1.55	1.13	0.87
	Preis	[Fr/m ²]	543	680	792
3.5 m ²	U Rahmen	[W/m ² K]	1.5	1.3	1
Glasanteil	U Glas	[W/m ² K]	1.2	0.7	0.5
78%	U Fenster	[W/m ² K]	1.4	0.97	0.74
	Preis	[Fr/m ²]	475	594	692
5 m ²	U Rahmen	[W/m ² K]	1.5	1.3	1
Glasanteil	U Glas	[W/m ² K]	1.2	0.7	0.5
85%	U Fenster	[W/m ² K]	1.32	0.89	0.67
	Preis	[Fr/m ²]	425	495	618

Für die Kosten wird über die Fläche interpoliert, ab 5 m² wird jedoch davon ausgegangen, dass keine Kostendegression mehr stattfindet. Da es sich um relative Preis Veränderungen zwischen den einzelnen Standards bei gleicher Fensterfläche handelt, ist der Einfluss dieser Entscheidung relativ gering.

Für die U- Werte wird jeweils der am nächsten liegende Wert ausgewählt.

2.6 BEGRENZUNGEN

Die von Jakob et al. bestimmten Kostenfunktionen beziehen sich auf einen definierten Dickenbereich. Die Kostenfunktion weit über diesen Bereich zu extrapolieren ist eine mögliche Fehlerquelle, die es zu eliminieren gilt. In der Simulation wurde deshalb ein spezielles Abbruchkriterium eingefügt, welches ein Bauteil aus der Simulationsroutine ausschliesst, sobald die Dicke des Bauteils einen bestimmten bauteilspezifischen Maximalwert aufweist. Danach wird die Simulation mit den verbleibenden Bauteilen weitergeführt, bis alle Bauteile das Abbruchkriterium erfüllen. In diesem Fall wird die Simulation abgebrochen. Dies spielt vor allem bei Simulationen zum Erreichen von Minergie-P eine Rolle. Die korrekte Interpretation des Simulationsabbruchs vor dem Erreichen des Grenzwertes ist die Aussage, dass Minergie-P mit dieser Gebäudestruktur nicht mit vertretbaren Kosten erreicht werden kann.

Folgende Abbruchkriterien wurden gewählt:

Tabelle 7: Maximale Dicken

Typ	Maximale Dicke / [m]
Kompakt Polystyrol	0.35
Kompakt Mineralisch	0.35
Hinterlüftet Polystyrol	0.45
Hinterlüftet Mineralisch	0.45
Steildach	0.45
Flachdach	0.45
Kellerboden	0.3
Kellerdecke	0.3
Estrichboden	0.5
Holzmodul	0.5

3 Resultate

3.1 ABLAUF EINER OPTIMIERUNG

In Fig. 2 wird der Ablauf einer Optimierung dargestellt. Auf der Y-Achse ist das Optimierungskriterium dargestellt. Es errechnet sich daraus, dass bei jedem Optimierungsschritt bestimmt wird, wie viel sich die Energiebilanz bei der Verbesserung jedes Bauteils verbessert, und was die Kosten dieser Massnahme wäre. Der Koeffizient dieser beiden Grössen muss für die Festlegung des Schrittes maximal sein.

Die Grafik zeigt deutlich das nahezu asymptotische Verhalten bei zunehmend dickeren Dämmstärken. Der grosse Optimierungsschritt von einem Heizwärmebedarf von rund 93 auf etwa 80 MJ/m²a erfolgt auf Grund des Schrittes von Fenstern des Typs Minergie zu Fenstern des Typs Minergie-P. Dabei ist es relativ aussergewöhnlich, dass dieser Schritt so früh kommt. In vielen anderen Simulationen wird der Wechsel zu Minergie-P Fenstern viel später vollzogen, da mit anderen Massnahmen kostengünstig gearbeitet werden kann. Es handelt sich beim vorliegenden Beispiel um ein Gebäude, welches energetisch wenig optimiert ist.

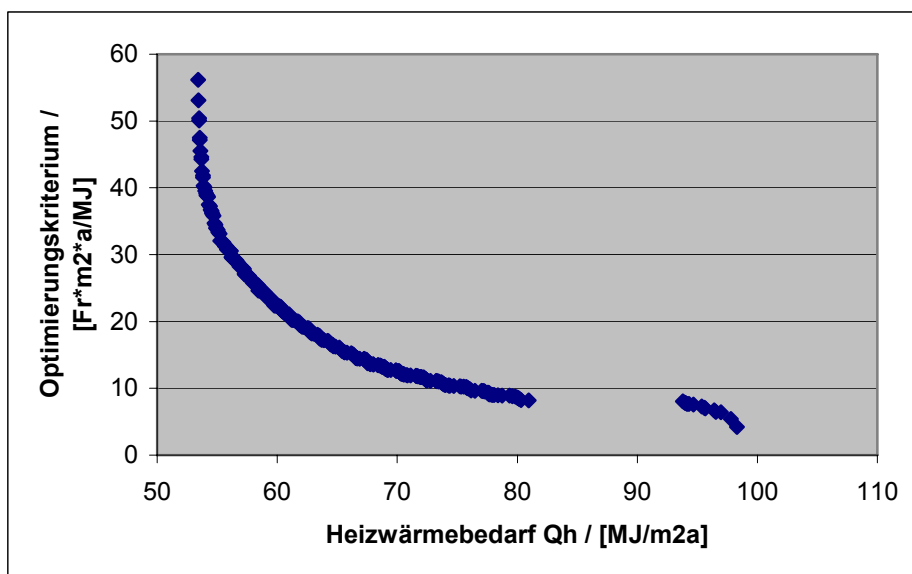


Fig 2: Ablauf einer Optimierung: Das Optimierungskriterium steigt kontinuierlich an, was anzeigt, dass die schrittweise Verbesserung der Dämmung immer teurer wird. Die Lücke in der Kurve stellt einen Schritt dar, bei dem auf bessere Fenster gewechselt wird. Dieser Schritt führt zu einer wesentlichen Verbesserung des Heizwärmebedarfs.

3.2 ÜBERPRÜFUNG DER SIMULATION DURCH ARCHITEKTEN-VORKALKULATION UND AN AUSGEFÜHRTEN OBJEKTEN

3.2.1 Einleitung

Zur Verifizierung der Simulationsergebnisse wurden die Unterlagen von drei Objekten in mehreren Simulationsstufen einem Architekturbüro mit der Aufgabe übergeben, für die ausgerechneten Differenzkosten je eine Kostenschätzung anzugeben. Damit lässt sich einerseits die grundsätzliche Funktionsweise der Kostenfunktionen überprüfen, andererseits erhält man so Indizien, ob die bestimmten Differenzkosten in der Summe der Realität standhalten. Da Architekten in der Vorkalkulation allerdings eher vorsichtig sind, muss das Resultat des Vergleichs mit einem gewissen Vorbehalt betrachtet werden. Die verwendeten Kostenfunktionen wurden deshalb auch noch mit einem ausgeführten Projekt verglichen

3.2.2 Überprüfung mit Architektur - Vorkalkulation

Fig. 3 zeigt die Resultate der Vorkalkulation durch den Architekten. Die einzelnen Bauteile wurden zur besseren Illustration und Zuordnung in Klassen zusammengefasst. In der untenstehenden Grafik wurden auf der Y- Achse die KV – Kosten eingetragen, auf der X- Achse die Resultate der Simulation. Bei einer optimalen Übereinstimmung würden alle Datenpunkte um die 1:1 - Achse streuen. Im Allgemeinen kann dieses Bild bestätigt werden, es zeigt sich jedoch eine zweite Zahlenpopulation, die ein

scheinbar anderes Verhalten aufweist. Es handelt sich dabei um Bauteile, die im Holzmodulbau erstellt wurden. In der Folge wurde für diese Bauteile eine andere Kostenfunktion aufgebaut, die sich auf Aussagen von zwei Herstellern abstützen. Beim Einbezug aller Faktoren, die es zu berücksichtigen gilt, (insbesondere auch der Kosten für die konstruktiven Anteile) ist die Differenz von der ursprünglich gewählten Kostenfunktion nicht mehr allzu gross.

Bei den anderen Bauteilen zeigt sich ein Trend zu konservativeren Einschätzungen bei Bauteilen mit grossen Dämmdicken (grosse positive Differenzkosten).

Ganz allgemein wurde von den Architekten festgehalten, dass insbesondere in der Konstruktion der Dächer zum Teil bei geänderter Dämmdicke besser auf eine andere Konstruktion gewechselt werden sollte. Dieses Problem kann natürlich durch eine automatische Kostensimulation nicht sauber gelöst werden. Grundsätzlich wurden jedoch die Konstruktionen, welche analog zu den vorgefundenen Massnahmenachweisen ausgewählt wurden⁷, vom Architekturbüro eher kritisch beurteilt. Dies mag damit zu tun haben, dass das ausgewählte Büro eine grosse Erfahrung im Bereich Minergie und Minergie-P hat und deshalb Konstruktionen, die sich für geringe Dicken eignen, heute nicht mehr selber anwendet. Dies hat in einigen Bereichen auch zu Kostenüberschreitungen bei den Differenzkosten geführt (s. unten). In der Praxis lässt sich aus der Diskussion der Resultate schliessen, dass – selbst bei definiertem grundsätzlichem Bauteiltyp – je nach der Qualität der Auswahl sowohl Kosten gespart werden können, wie auch sehr unterschiedliche Qualitäten erreicht werden.

Die einzelnen Kategorien der Bauteile werden wie folgt beurteilt:

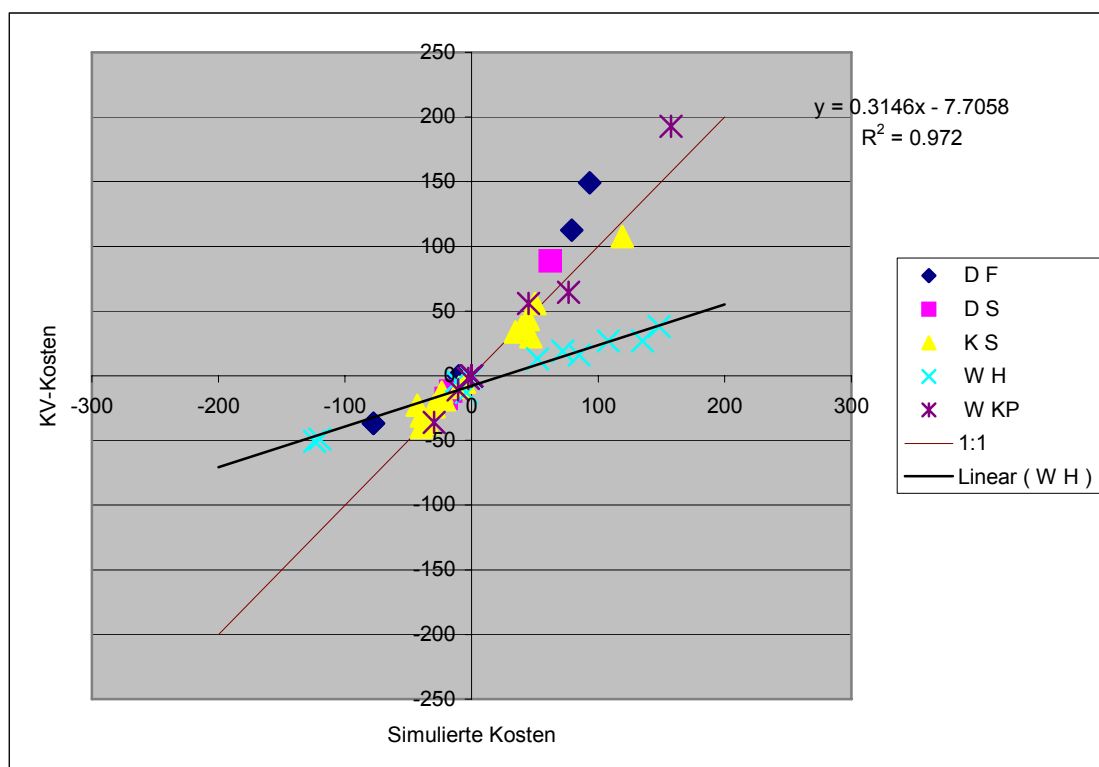


Fig. 3: Vergleich automatische Kostenkalkulation und Vorkalkulation Architekten. Bei einer perfekten Übereinstimmung zwischen Vorkalkulation und Kostensatz für die Simulation würden alle Punkte auf einer Geraden mit der Steigung 1 liegen. Es zeigen sich Abweichungen, die als Holzmodulbau identifiziert werden können. Daraufhin wurde für diese Bauteile die Kostenfunktion angepasst.

Beim **Flachdach (DF)** scheint die Kurve um den Nullpunkt zu knicken. Der dingfest gemachte Ausreisser ist aber Mitglied der Population Holzmodulbau, für die in der Folge eine spezielle Kostenfunktion gewählt wurde. Die Kosten für normale Flachdächer sind in der KV Berechnung deutlich konservativer als die Simulation. So stellt sich in der Diskussion heraus, dass die gewählte Konstruktion des Dachs mit der grössten relativen Abweichung (Simulationswert: 93 Fr/m², KV-Wert 143 Fr/m²) in ei-

⁷ insbesondere im Bereich Dach

nem Fall bei steigender Dicke umgekehrt werden sollte. Dadurch sollte sich in der Erwartung der Architekten auch der Unterschied in den Kosten massiv verringern.

Auch die Kostenfunktionen im Bereich **Steildach (DS)** scheinen eher etwas konservativ.

Bei den **hinterlüfteten Wänden (WH)** zeigt sich bei Holzmodulbauten oder Holzständerkonstruktionen ein deutlich anders Verhalten als angenommen. Da in dieser Bauweise Tragstruktur und Dämmung nicht getrennt werden können, muss eine etwas andere Kostenfunktion gewählt werden, die dem Rechnung trägt. Die Tatsache, dass hier eine deutliche Population auf den ersten Blick ausgemacht werden konnte, gibt auf der Ebene der Systemüberprüfung ein deutliches Indiz dafür, dass die Simulationsroutine korrekt funktioniert. Wäre dies nicht der Fall, liesse sich die systematische Abweichung nicht klar erkennen.

Bei den **Kompaktfassaden (WKP)** entsprechen die KV Kosten den Erwartungen. Gleiches kann auch für die Kellerböden in Polystyrol (**KS**) gesagt werden.

3.2.3 Überprüfung anhand eines konkreten Bauprojekts

3.2.3.1 Kompaktfassade

Für die Aussenwandsanierung eines bestehenden Gebäudes mit einer 28 cm Dicken Dämmung in Lambdapor (Swisspor ($\lambda = 0.031 \text{ W/m}^2\text{K}$)) wurden die vorhandenen Vergabeofferten ausgewertet (Region Bern). Es handelt sich dabei um eine Wand mit 7 kleineren Fenstern und einer relativ komplexen Abwicklung mit Dachanschlüssen. Die neuen Fensterrahmen wurden auf die bestehenden Gewände aufgesetzt und überdämmt, so dass ein Mittenanschlag entsteht. Alles in allem muss die vorliegende Wand als eher komplex angesehen werden.

Die Offerte weist folgende Eckdaten auf:

Tabelle 8: Eckdaten einer ausgeführten Wärmedämmung

		Istwert Lambdapor	Analoge Dicke	Modell
Fläche	[m ²]	223.0		
spez. Kosten	[Fr/m ²]	178.6		180
Dicke	[cm]	28.0	31.6	32
Spez. Kosten pro Dicke	[Fr/m ² cm]	2.0		3
Achsenabschnitt	[Fr/m ²]	122.6		84
Dämmung (Angabe Offerte)	[Fr/m ²]	120.0		
Begleitarbeiten	[Fr]	58.6		
Anteil Material aufgebracht	[%]	0.67		

Genau wie im verwendeten Modell wurde die verwendete Dicke des (überdurchschnittlich guten) Materials über die Wärmeleitfähigkeit des Materials normiert. Aus der verwendeten Dämmstärke von 28 cm wird so eine gerechnete Dämmstärke von 32 cm. Wird darauf die Funktion des Simulationsprogramms angewendet, ergeben sich Kosten von 180 Fr/m², was den Ist-Kosten genau entspricht. Interessant ist allerdings, dass der ausgewählte Isoleur mit einer Steigung von 2 Fr/zusätzlichem cm rechnet. Diese Kostenfunktion ist wesentlich flacher als die Kostenfunktion, welche Jakob et al. verwenden, und die auch der vorliegenden Simulation zu Grunde liegt. Würde die ganze Industrie die Kostenkalkulation auf diese Art durchführen, wären in vielen Fällen heute dickere Dämmungen auch aus wirtschaftlichen Gründen attraktiv. Dieses Objekt wurde in der Zwischenzeit ausgeführt – die Kosten konnten eingehalten werden.

3.2.3.2 Dachdämmung mit Isofloc

Ebenfalls untersucht wurde auf der Basis eines ausgeführten Objektes, ob die Kostenfunktion für die Dämmung eines Daches vernünftige Werte liefert. Es handelt sich dabei um ein Dach, welches ursprünglich mit einer Dämmung von 0.15 hätte ausgeführt werden sollen, dann aber schliesslich mit einer Dämmung von 0.1 ausgeführt wurde. Als Dämmmaterial wurde Isofloc verwendet. Die Kostendifferenz gemäss Nachtrag beläuft sich auf 28.3 Fr/m². Auf Grund der Kostenfunktion müsste eine Differenz von 32 Fr/m² bestehen. Der ausgewählte Unternehmer war also um mehr als 10% günstiger.

3.2.3.3 Holzmodulbau

Bei einem ausgeführten Holzmodulbau wurde die Kostenfunktion für Bodenelemente und für Wände überprüft. Während die Kostenfunktion der Wände den Erwartungen entsprach, war die Kostenfunktion für das auf zwei Streifenfundamenten aufgelegte Bodenelement überraschenderweise wesentlich günstiger. Die Kostendifferenz zwischen einer ausgeführten Dämmung von 42 cm (entspricht $0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$) und 28 cm ($0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$) ist nur rund 6 Fr/m^2 . Die Erklärung dafür ist die folgende: Die Konstruktion des Elementes konnte bei der grösseren Dämmstärke mit weniger mächtigen Trägern ausgeführt werden als bei der weniger dicken Dämmung. Da das Konstruktionsholz im Verhältnis zum Dämmmaterial teuer ist, ergibt sich eine teilweise Kompensation.

3.2.4 Zusammenfassung Architekturüberprüfung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass zwar eine grundsätzliche Übereinstimmung festgestellt werden kann, dass aber doch Unterschiede bei den einzelnen Bauteilen festgestellt werden müssen. Da

- die in der Simulation verwendeten Kostenfunktionen jedoch auf der wohl umfassendsten Untersuchung von Kosten basieren,
- auch in dieser Untersuchung eine sehr breite Streuung festgestellt wird,
- die ausgeführten Objekte durchwegs günstiger ausgeführt werden konnten als von den Kostenfunktionen her angenommen werden kann,

wird entschieden, mit der etablierten Kostenfunktionen der Studie Jakob et al. weiterzuarbeiten.

3.3 KOSTENSTEIGERUNG VON MINERGIE ZU MINERGIE 08

3.3.1 Einleitung

Die Simulationen, welche der Studie zu Grunde liegen, wurden im Winter 2007 durchgeführt. Zu dieser Zeit war das Ausmass der Veränderung beim Übergang von MuKE n zur MuKE n Revision 2008 noch nicht bekannt. Bekannt war nur, dass die Energiedirektoren der Kantone einen Wert nahe am Minergie Standard anstrebten.

Gleichzeitig verkündete der Verein Minergie eine Anpassung der Grenzwerte mit einerseits einer Verschärfung der Primäranforderungen, andererseits einer Senkung des Minergie Grenzwertes (im weiteren bezeichnet als Minergie 08).

Die Kostendifferenz Minergie zu Minergie 08 ist deshalb von Interesse. Erstens interessiert, was denn die Kostensteigerung ist, welche der neu definierte Minergie Grenzwert verursacht (Schritt Minergie -> Minergie 08). Zweitens ermöglicht dieser Wert auch eine erste Abschätzung über die Kostenunterschiede zwischen einem zukünftigen Bau im Minergie 08 Standard und dem Baustandard nach MuKE n Rev. 2008 (im weiteren bezeichnet als MuKE n 08), da MuKE n 08 bezüglich Dämmung etwa dem noch gültigen Baustandard Minergie vor 2008 entspricht. Um die Mehrkosten für das Label Minergie 08, ausgehend von MuKE n 08 zu erhalten, müssen zusätzlich die Kosten für die Lüftung berücksichtigt werden.

Zur Bestimmung der Kostendifferenz wurde folgendes Vorgehen gewählt: Jedes Gebäude wurde zuerst in einer Simulation vom Ist-Zustand in den jeweiligen Sollzustand gebracht. Die Kostendifferenz zwischen den Simulationen ergibt dann ein Mass für die Kostenunterschiede beim Übergang vom einen Standard zum andern Standard. Dabei muss nicht nur die Dämmung berücksichtigt werden, sondern auch die Haustechnik-Konfiguration. Diese definiert über den sekundären Grenzwert auch den notwendigen Dämmstandard.

3.3.2 Resultat der Simulation

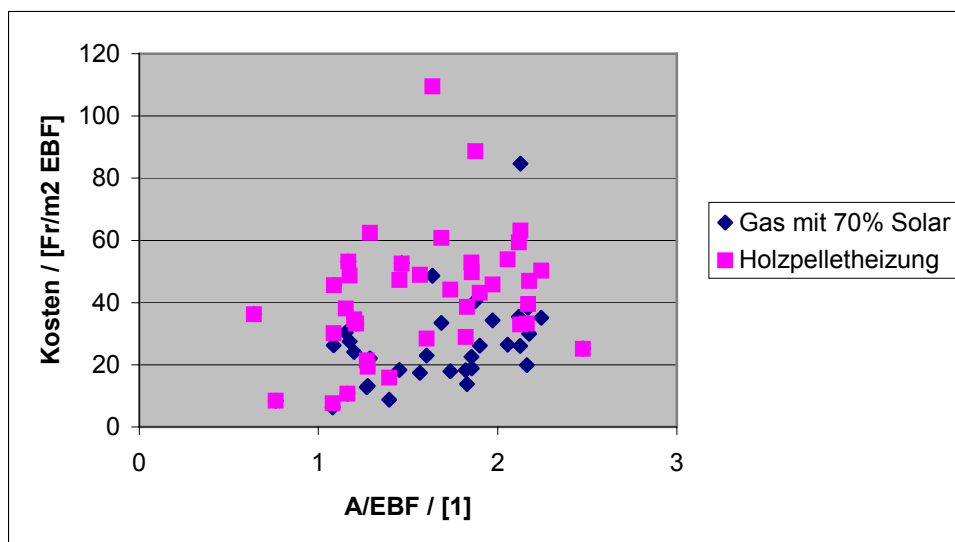


Fig. 4: Kostenssteigerung beim Übergang von Minergie zu Minergie 08. Diese Differenz gibt eine Annäherung für die Mehrkosten der Dämmung beim Schritt von MuKEn 08 zu Minergie 08 (ohne Berücksichtigung der Kosten der Komfortlüftung). Aus der Grafik ist deutlich ersichtlich, dass die Mehrkosten pro Energiebezugsfläche für wenig kompakte Gebäude ansteigen.

In Fig. 4 sind die Zusatzkosten pro m² EBF als Funktion der Hüllzahl dargestellt. Diese Darstellung ist deshalb interessant, weil sie einen direkten Vergleich zwischen Gebäuden mit ähnlicher Gebäudestruktur erlaubt. Die Resultate zeigen eine relativ grosse Streuung. Der Grund dafür ist die Qualität des Bauens. Gebäude mit eher vielen Wärmebrücken benötigen eine dickere Zusatzdämmung zur Kompensation als Gebäude, bei denen auf die Wärmebrücken geachtet wurde. Unter den Gebäuden mit tiefen Zusatzkosten befinden sich auch viele (reduzierte) Minergie-P Gebäude, was darauf hinweist, dass auch die solare Ernte eine grosse Rolle spielt.

Zwar ist die Streuung nach oben relativ gross und es finden sich auch einige Ausreisser, bei denen deutlich wird, dass es bei einer Architektur, die auf Energieeffizienz wenig Rücksicht nimmt, tatsächlich sehr teuer ist, im Minergie Standard zu bauen. Interessant ist aber, dass es offenbar eine Minimumfunktion geben muss.

Es zeigt sich auch ein Trend, dass der Kostenschritt für kompakte Gebäude weniger gross ist. Dies ist ebenfalls einleuchtend, da wiederum die Dämmstärke der kompakten Gebäude wesentlich geringer ausfällt. Somit wird mit einem kleineren Zuwachs in der Dämmstärke ein grösserer Effekt erzielt.

Für Holzpelletheizungen ist der Kostenschritt eher etwas grösser. Dies liegt daran, dass der Primärgrenzwert deutlicher angehoben wurde als der Sekundärgrenzwert. Minergie Gebäude mit Gas-Solar-Wärmeerzeugung sind selten durch die Hülle begrenzt, meistens ist der gewichtete Minergie Grenzwert das relevante Kriterium. Dies ist bei Gebäuden mit Holzheizung anders: Dort wird in den meisten Fällen der gewichtete Grenzwert automatisch erreicht, wenn die Primäranforderung erfüllt ist. Holzheizungen weisen deshalb eine deutlich weniger gut gedämmte Hülle auf, als Gebäude mit der Konfiguration Gas-Solar.

Kompakte Gebäude (A/EBF um 1) können bereits für rund 10 Fr. pro m² von Minergie auf den Dämmstandard von Minergie 08 gebracht werden.

Für ein EFH (A/EBF über 2) muss bei konsequenter Bauweise mit Mehrkosten von 40 Fr/m² für ein Gebäude mit Holzpellet Heizung gerechnet werden; bei Gas-Solar führt die Verschärfung des Grenzwertes zu Zusatzkosten ca. 25 Fr/m² EBF. Die Kosten von unter Fr. 10'000 für ein EFH sind somit bei den benötigten Bausummen von mindestens Fr. 500'000 gering.

Diese Summe von 10'000 Fr. kann unter Umständen sogar noch um weitere 10 % reduziert werden, wenn der nächst kleinere Heizkessel gewählt werden kann⁸.

⁸ Dies ist aber wegen der diskreten Funktion der Kosten der Heizungstechnik nicht in jedem Fall so. Liegt der schlechter gedämmte Standard mit der Leistung am oberen Rand des Leistungsbereichs und der Bessere ebenfalls deutlich im Leistungsband, resultiert keine Kosteneinsparung.

Bei Verwaltungsgebäuden führt die Tatsache, dass der gewichtete Minergie Grenzwert nicht verändert wurde, aber der Primärgrenzwert gesenkt wurde, dazu, dass die Hülle (primärer Grenzwert) für die Optimierung prädominant wird. Die Folge davon: die Optimierung der Hülle stoppt bei identischer Ausgestaltung für die Variante Holzpellet und Gas/Solar. Dieser Effekt zeigt sich auch bei wenig kompakten Gebäuden: Deshalb nimmt die Differenz auch bei Gebäuden mit hohen A/EBF ab.

Für die Frage des Investitionskostenunterschieds zwischen Normalbau (MuKEn 08) und Minergie Standard (Version 08) ist auch die Komfortlüftung von einiger Bedeutung. Hier gilt es zu unterscheiden zwischen EFH und MFH einerseits und Verwaltungsgebäuden andererseits.

Bei Verwaltungsgebäuden zeichnet sich ein deutlicher Trend zu Gebäuden mit Lüftung ab. Wir unterstellen, dass ein Investor, der heute einen Verwaltungsbau ohne Lüftung plant, mittelfristig auf dem Markt einen erheblichen Nachteil gegenüber vergleichbaren Gebäuden erfahren wird. Deshalb wird hier die Frage der Kosten der Komfortlüftung ausser acht gelassen.

Bei Wohnbauten hingegen hat sich die Lüftung noch nicht in gleicher Weise durchgesetzt. Die rund Fr. 15'000 pro Wohneinheit für eine Lüftung sind eine nicht unerhebliche Investition.

Alles in allem ist also für ein EFH mit Mehrkosten von etwa Fr 25'000 zu rechnen, vorausgesetzt, die Architektur wird von Anfang an auf eine optimale Nutzung der Energie ausgelegt. Dies entspricht 3 bis 5 % der Baukosten. Bei ungünstigen Verhältnissen können aber die Mehrkosten durchaus 10% betragen.

3.4 MUKEN ZU MINERGIE

3.4.1 Einleitung

Da in vielen Kantonen die Revision 2008 der MuKEn bereits 2009 in Kraft treten soll und in den meisten Kantonen diese Revision bis 2010 abgeschlossen sein sollte, interessiert Planende eher der Schritt zwischen MuKEn 08 und Minergie 08, welcher unter Berücksichtigung der Kosten für den Einbau der Komfortlüftung aus den Angaben im vorherigen Kapitel abgeleitet werden kann.

In gleicher Weise konnte durch die Simulationen auch der Kostenunterschied zwischen MuKEn und Minergie untersucht werden. Um einen Vergleich mit der oft zitierten fünfprozentigen Kostendifferenz machen zu können, wurde in dieser Berechnung auch ein Kostenfaktor für die Lüftung mit einbezogen. Dies im Wissen, dass diese Kosten auf Grund des gewählten Konzeptes und der geplanten Raumaufteilung sehr unterschiedlich gross sein können. Es wurde dabei auf einen Kostenfaktor von 150 Fr/m² zurückgegriffen, der in den meisten Fällen die Erstellung einer Lüftung erlaubt.

3.4.2 Resultate

Auf Grund der durchgeführten Simulationen lässt sich die bisher vom Verein Minergie aufgestellte Grenze, eine Realisierung in Minergie sei mit weniger als 10% Mehrkosten zu realisieren, verifizieren. Gleichzeitig zeigen die Resultate aber auch eine ganz erhebliche Streuung. Diese verdeutlicht die in der Einleitung gemachte Aussage, dass eine optimale Planung die Kosten für die Realisierung von Minergie reduziert. Generell kann gesagt werden, dass die Realisierung von Minergie für kompakte Gebäude deutlich günstiger ist als für Gebäude mit einer grossen Hüllzahl. Ausserdem zeigt die Grafik, dass die Hülle deutlich mehr optimiert werden muss, wenn die Haustechnikkombination Gas Solar gewählt wird, wie wenn eine Holzheizung verwendet wird. Dies bestätigt die Aussage, dass bei Holzpelletheizungen der Grenzwert für die Primäranforderung dominiert, während bei der Kombination Gas-Solar über den Grenzwert hinaus die Hülle weiter optimiert werden muss.

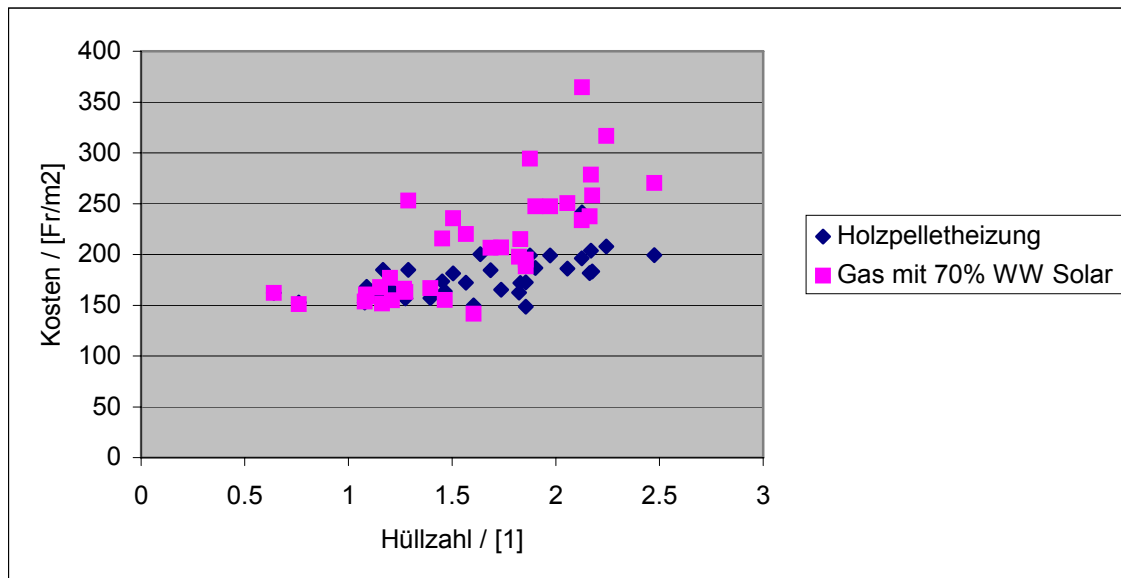


Fig 2: Resultate der Optimierung MuKE n zu Minergie: Deutlich sichtbar ist die Streuung in den Realisierungskosten. Systembedingt finden sich ein Bereich im unteren Teil der Darstellung, in dem keine Simulationsresultate liegen. Durch den Entscheid in Minergie zu bauen, ergibt sich ein inkrementaler Anstieg der Kosten, der nicht optimiert werden kann, sondern nur durch eine geschickte Planung und Systemauswahl etwas reduziert wird.

Die Grafik demonstriert aber auch, dass die Kosten stark durch die Komfortlüftung dominiert werden. Das sei am Beispiel einer typischen Wohnung in einem MFH mit 120m² EBF illustriert (Gebäudehüllzahl 1.5) In einem solchen Gebäude lässt sich Minergie mit rund 170 Fr/m² EBF realisieren, was einem Betrag von Fr. 20'000 pro Wohneinheit ausmacht. Dafür muss für die Lüftung alleine etwa 12'000 - 15'000 Fr. gerechnet werden. Bei einem Erstellungspreis von Fr. 500'000 beträgt also der Zusatz für Minergie 4 % wobei mehr als die Hälfte des Betrags für die Lüftung aufgewendet werden muss.

Für Geschäftsbauten fällt die Gewichtung etwas anders aus, wenn zunehmend mehr Geschäftsbauten generell mit Lüftung ausgelegt werden. In diesem Fall kann – auch auf Grund der meist kompakten Gebäudestruktur – Minergie mit sehr geringen Zusatzkosten realisiert werden.

3.5 MINERGIE-P MIT JEDEM NEUEN GEBÄUDE ERREICHBAR ?

3.5.1 Einleitung

Sind Minergie-P Gebäude spezielle Gebäude? Falls nein, müsste es möglich sein, mit jedem Gebäude den Minergie-P Grenzwert zu erreichen, in dem man die Dämmung verbessert. Wie bereits oben festgehalten, ist dies mit den heute erhältlichen Materialien nur beschränkt möglich. Ausserdem wird die Wirkung der Dämmung mit zunehmender Dicke immer schlechter, sodass der Grenznutzen der Dämmung pro investiertem Franken abnimmt. Sind also Gebäude aus energetischer Sicht nur ungenügend konzipiert, bricht die Simulation ab, bevor der Grenzwert erreicht ist. Man muss deshalb davon ausgehen, dass dieses Gebäude unter vernünftigem Aufwand nicht so gedämmt werden kann, dass die Minergie-P Grenzwerte erreicht werden können.

Des weiteren interessiert, ob nur die Primäranforderung, nur der eigentliche Grenzwert oder beide Werte nicht erfüllt werden.

3.5.2 Resultate

Mit allen 38 für die Simulation verwendeten Gebäude wurde versucht, das Niveau Minergie-P sowohl in der Konfiguration Gas - Solar, wie auch in der Konfiguration Holzpellet zu erreichen. Dabei wurden ausgehend vom Originalzustand die Dämmungen und die Qualität der Fenster schrittweise verbessert, wobei verschiedene Abbruchkriterien aus konstruktiven Gründen berücksichtigt wurden.

Die erstellten Simulationen wurden verglichen. Konnten die Grenzwerte erreicht werden, wurde dem Objekt pro Haustechnikkonfiguration, welche den Grenzwert erreicht eine 1 zu gewiesen. Ist es möglich, das Gebäude sowohl in der Konfiguration Gas-Solar, wie auch in der Konfiguration Holz als Minergie-P Gebäude zu bauen, erhielt das Gebäude eine 2. Dabei ergibt sich folgendes Bild:

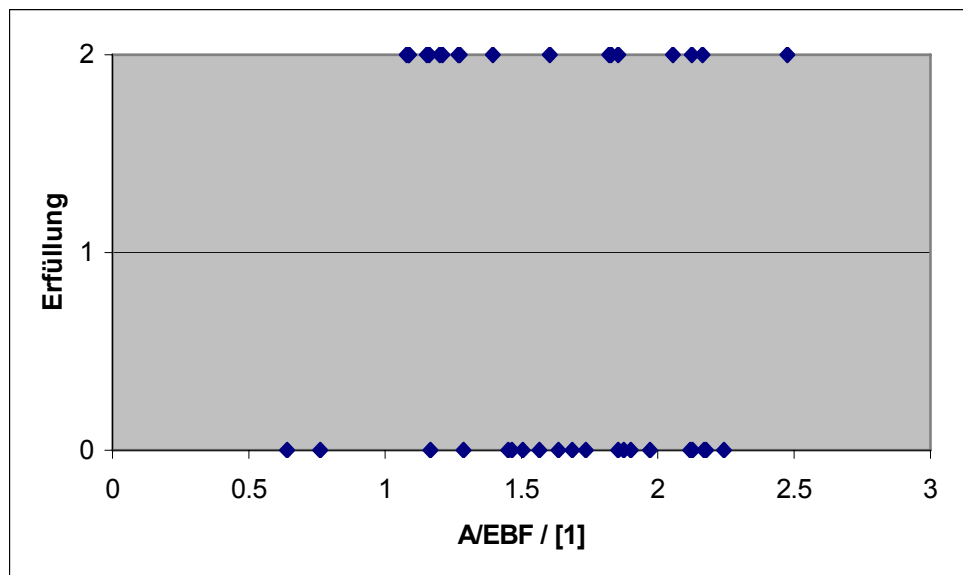


Fig. 5: Erfüllung bzw. Nichterfüllung des Standards in den zwei Konfigurationen Holz und Gas-Solar. Gebäude, die den Standard mit üblichen Dämmdicken nicht erreichen können, liegen auf der Nulllinie, Gebäude, bei denen eine Konfiguration (Holzpellets oder Gas-Solar) den Grenzwert erreichen, liegen bei 1. Es wird deutlich, dass eine Erfüllung des Grenzwertes in der einen Konfiguration auch dazu führt, dass die andere Konfiguration erfüllt ist. Minergie-P ist mit jeder Hüllzahl möglich aber nicht mit jedem Gebäude.

Das Bild führt zu folgenden Schlüssen:

- Minergie-P kann unabhängig von der Gebäudemorphologie (Hüllzahl) erreicht werden. (1)
- Ein Gebäude, welches die Grenzwerte in der einen Haustechnikkonfiguration erfüllt, erfüllt diese auch in der andern Konfiguration. (2)

Unter der Voraussetzung von 2 ist 1 eigentlich nicht weiter erstaunlich: Wenn die Wahl des Haustechniksystems keine Rolle spielt, bedeutet dies, dass der Grenzwert stark von der Primäranforderung geprägt ist (s. auch unten). Da diese aber eine Funktion der Hüllzahl ist, profitieren wenig kompakte Gebäude vom steigenden Grenzwert.

Folgende Informationen können aus den Daten zusätzlich herausgelesen werden:

- In nur 36 von 76 Fällen wurde die Primäranforderung erfüllt.
- In 70 von 76 Simulationen wurde der effektive Grenzwert erfüllt.
- In keinem Fall wurde der Primäranforderung erfüllt, der effektive Grenzwert aber verletzt.
- Von den nach MuKE n errichteten Gebäuden konnten 25% so optimiert werden, dass der Minergie-P Standard erfüllt würde. Bei Minergie waren es deren 38% der Bauten, mit denen der Minergie-P Standard erreicht werden könnte.
- Die Primäranforderung ist so dominant, dass die Gebäude in beiden Haustechnikkonfigurationen die selbe Hülle aufweisen.

Diese Resultate bestätigen die oft gehörte Aussagen, dass

- Minergie-P nicht einfach durch eine bessere Dämmung erreicht werden kann. Eine konsequente Planung ist von Anfang an notwendig.
- der Minergie-P Grenzwert höhere Anforderungen an die Bauphysik stellt als an die Haustechnik.
- bereits der Minergie Standard Architekten zu einer konsequenteren Planung bezüglich Energieverbrauch anregt. Gleichzeitig scheint hier aber noch einiges an Verbesserungspotential zu liegen. Dies bestätigen die Resultate der Kostensimulationen Minergie zu Minergie 08

3.6 KOSTENSCHRITT ZWISCHEN MINERGIE UND MINERGIE-P

3.6.1 Einleitung

In gleicher Weise wie der Kostenschritt von Minergie zu Minergie 08 berechnet wurde, wurde auch der Schritt von Minergie zu Minergie-P bestimmt.

3.6.2 Resultate

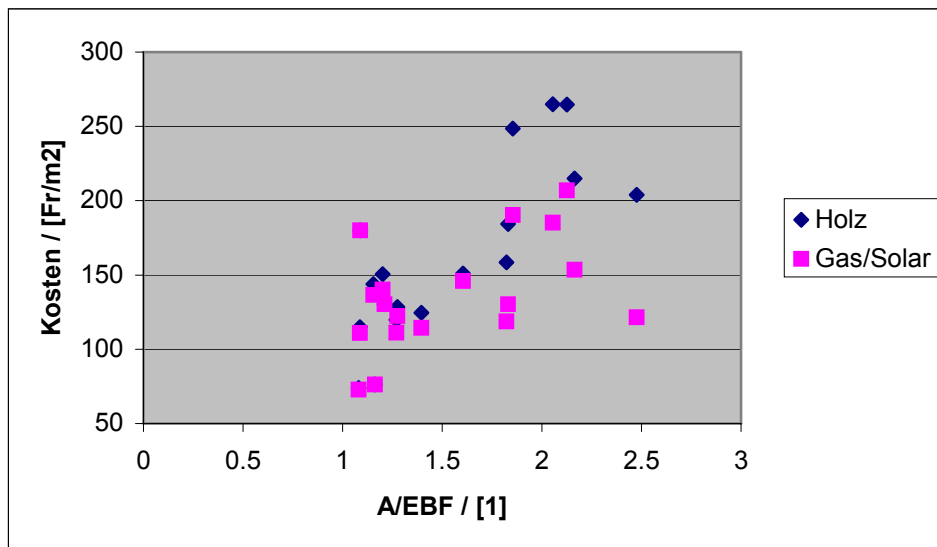


Fig. 6: Kostensteigerung beim Übergang von Minergie zu Minergie-P. Aus der Grafik ist deutlich ersichtlich, dass die Kosten pro Energiebezugsfläche für wenig kompakte Gebäude ansteigen.

Der Kostenunterschied zwischen Minergie (vor 2008) und Minergie-P zeigt eine deutliche Abhängigkeit von der Gebäudemorphologie. Obwohl bei jeder Morphologie grundsätzlich Minergie-P erreicht werden kann, ist es doch so, dass dies bei kompakten Gebäuden deutlich günstiger zu erreichen ist.

Wiederum zeigen die Resultate der Simulation, dass die konsequente Anwendung des energieoptimierten Bauens kostengünstige Lösungen ermöglicht. Wird nicht darauf geachtet, stiegen die Kosten deutlich an. Es fällt allerdings auf, dass die Streuung in diesem Run wesentlich tiefer ist, als bei den Simulationen zum Minergie Standard. Dies kann zwanglos damit erklärt werden, dass Gebäude, die nicht energieoptimiert sind, den Grenzwert nicht erreichten und damit aus den Resultaten ausgeschlossen wurden.

Bei kompakten Gebäuden ist es möglich, Minergie-P mit Zusatzkosten von unter 100 Fr/m² zu erreichen. Für typische Einfamilienhäuser mit einem Flächenkoeffizienten von grösser als 2 ist mit rund 200 Fr/m² EBF zu rechnen.

Das im ersten Augenblick erstaunliche Resultat, dass die Kostensteigerung in der Variante Gas-Solar weniger gross ist, ist erklärbar, wenn man bedenkt, dass im Minergie Standard (alte Version) die Wärmedämmung eine wesentlich weniger dominante Rolle spielt als im Minergie-P Standard. Gebäude mit einer Holzfeuerung sind im Minergie Standard deutlich weniger gut isoliert, müssen also um den Minergie-P Standard zu erreichen, erheblich mehr nachgedämmt werden.

3.7 GAS-SOLAR ODER HOLZHEIZUNG – DER GÜNSTIGERE WEG ZU MINERGIE 08

3.7.1 Einleitung

Grundsätzlich stellt sich die Frage, ob es günstiger ist, den Minergie Standard mit einer besseren Dämmung und einer Gasheizung zu erreichen, oder ob eine Holzheizung in der Investition günstiger ist. Die vorliegenden Simulationsresultate können dazu Hinweise geben.

3.7.2 Resultate

Simuliert man die Gebäude zum Zustand Minergie 08 und wählt entweder die Konfiguration Gas-Solar (70% WW) oder die Konfiguration Holz, zeigt sich bezüglich Wärmedämmung folgendes Bild:

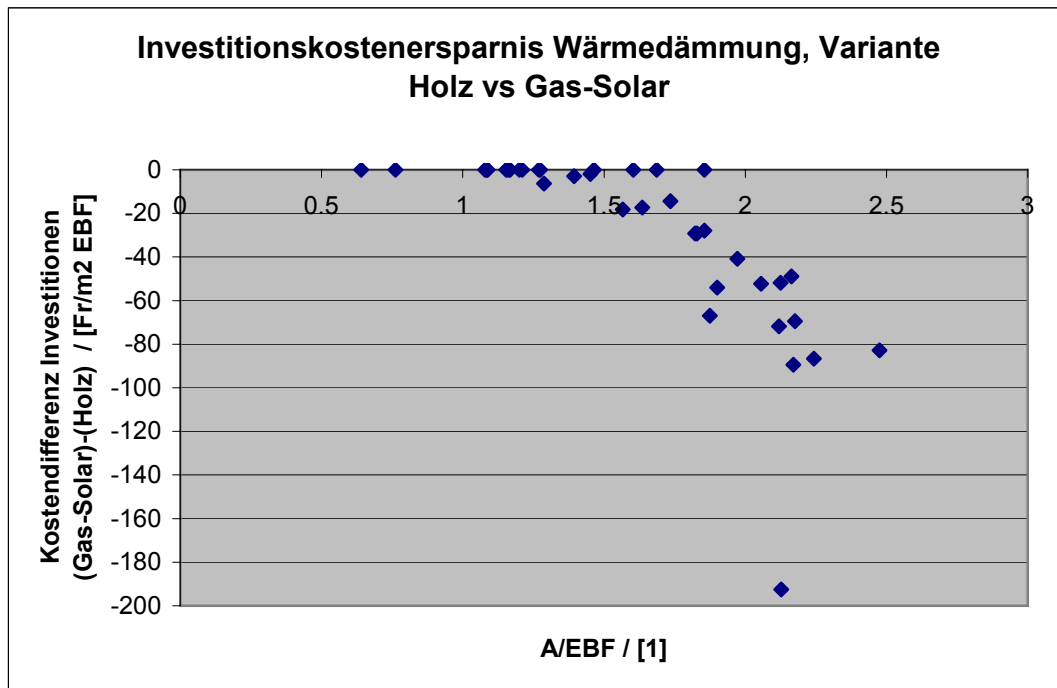


Fig 7: Differenz zwischen den Kosten für die notwendige Dämmung bei der Realisierung des Minergie 08 Standards mit einer Holzpellet Heizung und einer Kombination von Gas und Solar. Die Grafik zeigt, dass die Hülle für die Variante Holzpellet immer günstiger oder gleich teuer ist.

Es lässt sich daraus ablesen, dass insbesondere bei kompakten Gebäuden kaum zusätzliche Kosten entstehen. Dies bedeutet, dass die Hülle für die beiden Konfigurationen identisch ist, was in den Rohdaten auch bestätigt werden kann. In diesem Fall ist also die Primäranforderungen für das Erreichen des Labels dominant. In den Fällen, wo grosse zusätzliche Kosten für die Konfiguration Gas ausgewiesen wurden, kann dies darauf zurückgeführt werden, dass zum Erfüllen des Grenzwertes eine deutlich bessere Hülle notwendig ist, da die Gasheizung – trotz solarer Unterstützung – mit dem Gewichtungsfaktor von 1 deutlich mehr ins Gewicht fällt als eine Holzpelletheizung.

Die Tatsache, dass kompakte Gebäude in beiden Konfigurationen mit identischen Hüllen ausgestattet werden sollen, bedeutet jedoch noch nicht, dass die Konfiguration Gas-Solar nun gleich teuer sei, wie die Konfiguration mit einer Holzheizung. Dazu müssen die Kosten der Haustechnik abgeschätzt werden. Dazu wurde mit Hilfe eines Heizungslieferanten, der sowohl Holzpellet-Heizungen wie auch Gasheizungen vertreibt, eine Kostenfunktion ermittelt. Diese ist folgendermassen ausgestaltet:

Funktion: $\text{Kosten} = A \cdot \text{Leistung} + B$

Leistung in kW, berechnet aus dem Heizwärmebedarf mit 2000 Volllaststunden.

Tabelle 9: Kostenfunktion für die Investitionskosten von Wärmeerzeugungen mit Holzpellet oder Gas

Gas		Holz	
A	69.5	A	193.1
B	3896	B	19309

Die Investitionskosten für eine Holzheizung sind also deutlich höher.

Zu den Kosten der Wärmeerzeugung müssen noch die Kosten der Sonnenkollektoren addiert werden. Für die Kollektorkosten wurde auf die kürzlich veröffentlichte Studie von econcept (Ott et al.) zurückgegriffen. Diese weist eine sehr grosse Streuung auf, kann jedoch trotzdem wie folgt zusammengefasst werden:

Tabelle 10: Kostenfunktion Sonnenkollektoren

Fläche	Kosten	Linearisierte Funktion				
		Kleine Kollektorflächenn		Grosse Kollektorflächen		
[m ²]	[Fr/m ²]	A	B	A	B	
1	2950		-50	3000		
20	2000		-50	3000	-7.5	2150
100	1400				-7.5	2150

Werden diese Werte nun in die Tabelle eingesetzt und verrechnet, ergibt sich ein anderes Bild:

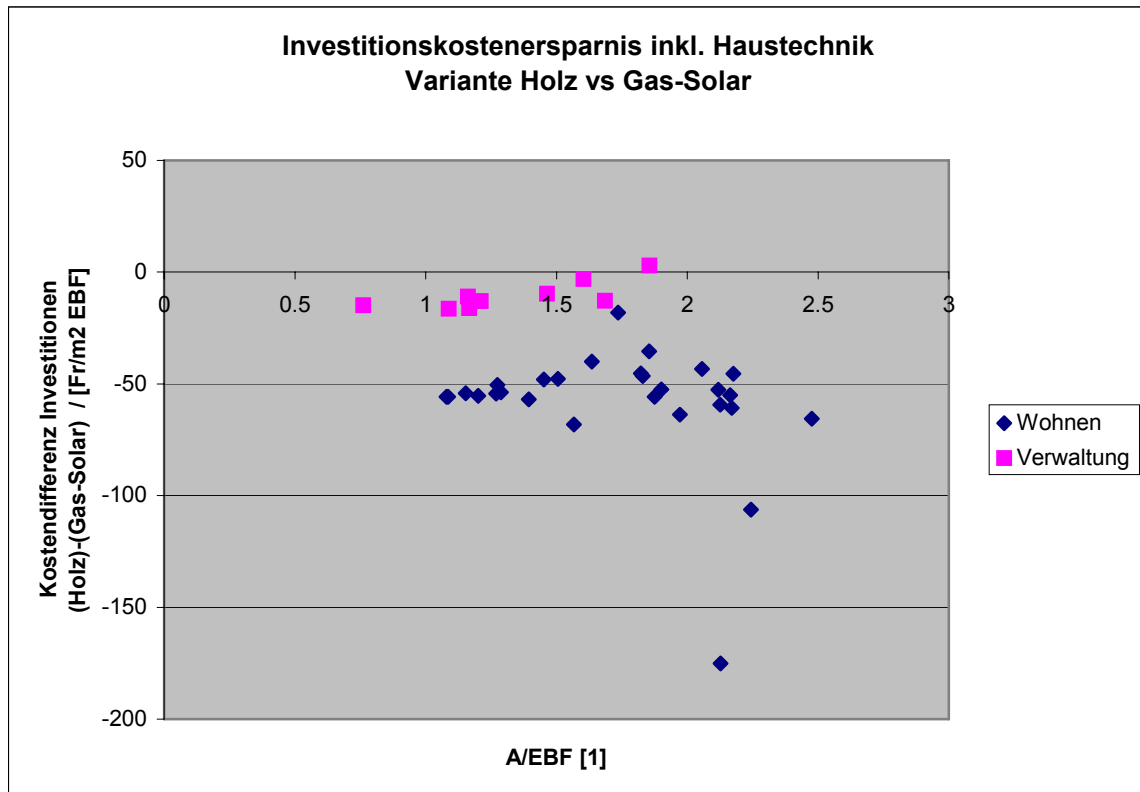


Fig. 8: Kostenersparnis bei der Realisierung der Variante Holz gegenüber der Variante Gas/Solar. Bei Verwaltungsbauten sind die Unterschiede der Kosten marginal.

Es zeigt sich, dass bei der Wahl dieser Konfiguration die Gasvariante in Wohnbauten jeweils deutlich teurer ist. Die Mehrkosten für Kollektoren, Gasheizung und zusätzliche Dämmung sind also grösser als die Mehrkosten der Holzheizung.

In Verwaltungsbauten sind die Unterschiede nur sehr gering. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass der Anteil des Warmwassers am Gesamtverbrauch bei Verwaltungsbauten klein ist. Somit ist die notwendige Anlagengrösse für eine 70% solare Abdeckung mit Warmwasser relativ klein, was kleine Zusatzkosten nach sich zieht.

Aus diesen Resultaten, insbesondere aus dem Vergleich der beiden oben dargestellten Grafiken, muss jedoch auch die Frage aufgeworfen werden, ob die oben ausgewählte Konfiguration mit einem solaren Warmwasseranteil von 70 % wirklich in jedem Fall die ökonomisch richtige Lösung darstellt. Wäre es nicht auch denkbar, dass ein kleinerer Anteil an solarer Energie bei gleichzeitig bessere Dämmung günstiger wäre ?

Grundsätzlich ist es so, dass auch hier eine Grenzkostenüberlegung gemacht werden müsste. Solange eine kWh durch verbesserte Dämmung günstiger gespart werden kann, als sie solar erzeugt werden kann, wäre es sinnvoll, die Fläche der Sonnenkollektoren zu reduzieren. Die Grösse der Solaranlage müsste deshalb durch eine Simulation von Simulationen bestimmt werden – dazu wurde das vorliegende Programm nicht ausgelegt. Um trotzdem in der Tendenz eine Antwort geben zu können,

wurde für ein Objekt (EFH, Hüllfaktor 1.97) die Grösse der Solaranlagen variiert und die Summe der Mehrkosten der Dämmung (im Vergleich zum gleichen Gebäude mit einer Pelletheizung) und der Kosten der Kollektoranlage berechnet. Dies ergibt für das untersuchte Gebäude folgende Grafik:

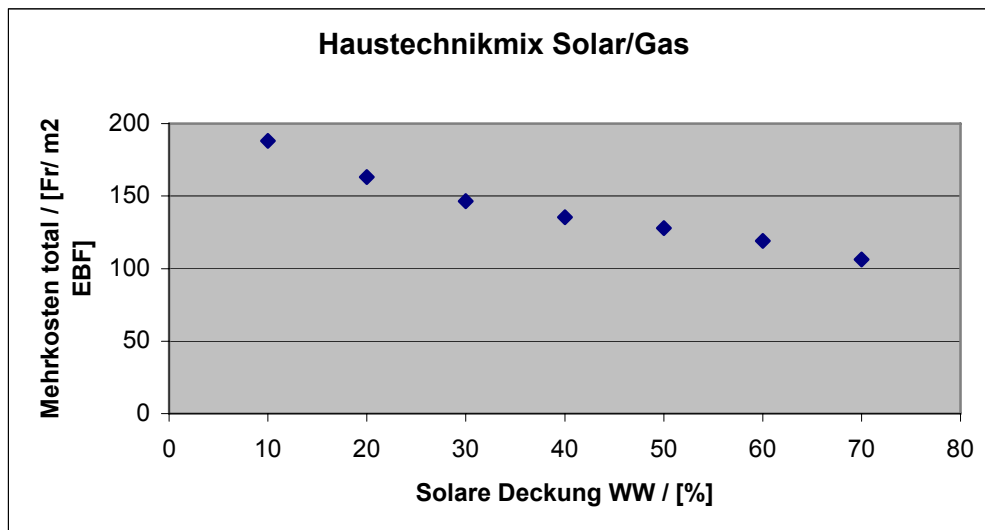


Fig. 9: Darstellung der Mehrkosten der Variante Solar/Gas in Abhängigkeit des solaren Deckungsgrades des Warmwassers. Deutlich ersichtlich wird, dass eine grössere Deckung tiefere Investitionskosten nach sich zieht.

Die so erzeugte Funktion weist kein Minimum auf. In diesem Fall war also die Auswahl der Konfiguration korrekt. Interessant ist, dass die Steigung der Kurve sogar ab einer Deckung von 60% wieder zunimmt. Der Grund dafür ist die Kostendegression der Solarkollektoren.

Es ist davon auszugehen, dass bei optimal ausgerichteten, kompakten Gebäuden mit minimalen Wärmebrücken durchaus eine Situation eintreffen könnte, in der es besser wäre, eine etwas kleinere Anlage zu wählen, dafür besser zu dämmen. Der Grund dafür ist einfach: Optimierte Gebäude weisen dünnere Dämmungen bei gleichem Heizwärmebedarf auf. Wird die Dämmung in diesem Fall dicker ausgelegt, ergibt sich ein kostengünstiger Optimierungsschritt.

3.7.3 Schlussfolgerungen

Alles in allem kann also festgehalten werden, dass es günstiger ist, Minergie (Grenzwert 08) mit einer Holzpellet-Heizung, als mit einer Kombination von Gas und Solarkollektor für Warmwasser zu erreichen. Bei Verwaltungsbauten ist jedoch der Unterschied nur sehr gering. Hier kommen auch höchstens kleine Solaranlagen zum Einsatz, da der Warmwasserverbrauch sehr klein ist. Unter Berücksichtigung der Leitungsverluste müsste sogar überlegt werden, ob eine zentrale Warmwasseraufbereitung Sinn macht.

3.8 QUALITÄT DER PLANUNG AUS ENERGETISCHER SICHT

3.8.1 Einleitung

Die durchgeführten Optimierungen können auch dazu verwendet werden, eine Aussage zu generieren, ob die Architekten die Wärmedämmungen so planen, dass die Hülle aus Kostensicht dem Optimum entspricht. Dabei charakterisiert das Optimum jenen Zustand, bei dem in der Erstellung des Gebäudes für den angestrebten Wärmeschutz am wenigsten Geld ausgegeben wird. Dieser Zustand wird erreicht, indem alle Bauteile, gemäss den jeweiligen Kostenfunktionen, optimal ausgelegt werden.

In erster Annäherung kann wohl angenommen werden, dass eine gleichmässige Dämmwirkung der Teile gegen die Aussenluft und eine etwas reduzierte Dämmung der Bauteile gegenüber Boden/unbeheizt anzustreben ist. Diese Faustregel gilt jedoch nicht, wenn einzelne Bauteile eine deutlich steilere Kostenfunktion aufweisen. In diesem Fall ist es besser, diese Bauteile dünner, die andern dicker auszulegen. Wie dies genau zu geschehen hat, kann nur anhand einer Optimierung festgelegt werden.

Unabhängig davon setzen Architekten die Dämmung gemäss eigenen Präferenzen fest. Es interessiert deshalb, in wiefern in den Objekten Bauteile mit Dämmungen versehen wurden, die nicht der optimalen Kostenfunktion entsprechen. Dabei ist festzuhalten, dass dies im Rahmen des energetisch kostenoptimalen Bauens erst der dritte Schritt ist. In einem ersten Schritt gilt es Orientierung und Kubatur zu optimieren und ein Maximum an passivem Solargewinn zu erzeugen. Im zweiten Schritt gilt es, die Wärmebrücken zu reduzieren. Im dritten Schritt wird erst die optimale Dämmdicke festgelegt.

3.8.2 Resultate

Eine Aussage, ob die untersuchten Objekte aus Kostensicht optimal geplant wurden, lässt sich gewinnen, in dem man für die durchgeführten Optimierungen untersucht, wie stark die Dicken gegenüber dem Ursprungszustand verändert wurden. Dabei stellt die Standardabweichung der Dickenänderung ein Mass für die Balance in der Planung dar. Ist die Standardabweichung hoch, bedeutet dies, dass einige Bauteile ungenügend gedämmt waren und deshalb sehr stark optimiert wurden (positive Abweichung vom Mittelwert) andere Bauteile hingegen überdurchschnittlich gedämmt sind und die Planung deshalb nur wenig optimiert wurde⁹.

Stellt man die Standardabweichung der Dickenänderung pro Optimierung dar, ergibt sich das untenstehende Bild:

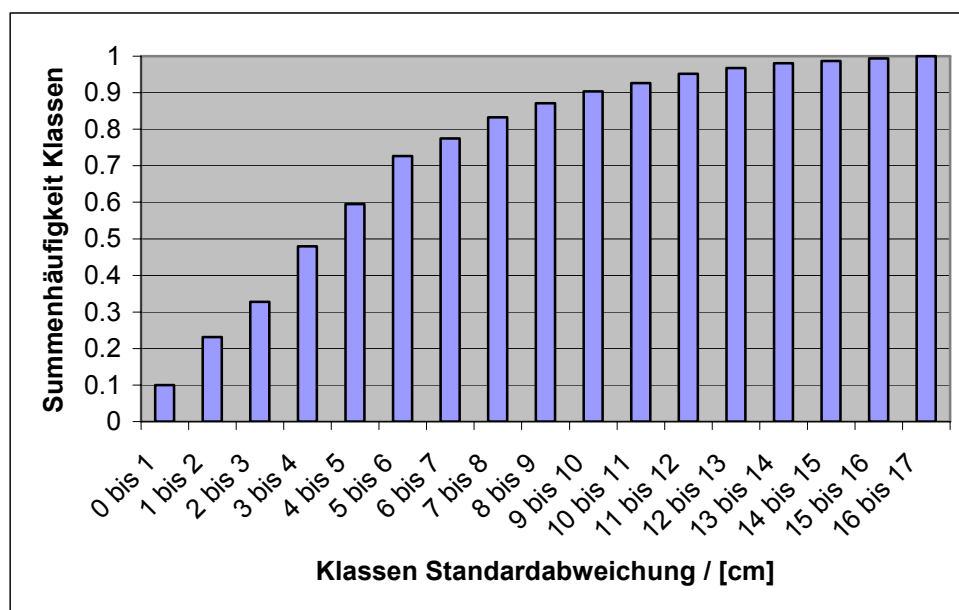


Fig. 10: Häufigkeitsverteilungen der Standardabweichung der Optimierungsschritte. Bei optimaler Planung durch die Architekten ist eine kleine Standardabweichung zu erwarten.

Die Häufigkeitsverteilung der Dickenoptimierung deutet drauf hin, dass in der ursprünglichen Planung zum Teil erhebliche Ungleichgewichte festzustellen sind.

Bezeichnet man Abweichungen von mehr als 5 cm als erhebliche Differenzen, muss festgehalten werden, dass mehr als 40 % aller Gebäude nicht optimal ausgeglichen ausgelegt wurden. Da die Optimierung einer strikt ökonomischen Logik folgt, kann sie nicht auf spezielle Gründe wie z.B. Gebäudeästhetik oder spezielle Gegebenheiten des Grundstücks Rücksicht nehmen. Man müsste deshalb in jedem Fall prüfen, ob der Optimierungspfad gerechtfertigt ist. Gleichwohl regt das Resultat zum Denken an.

Um herauszufinden, ob ein Bauteil besonders oft ungünstig dimensioniert wurde, wurden alle jene Bauteile herausgefiltert, deren Dickendifferenz sich in der Optimierung um mehr als 7 cm vom Mittelwert der Dickendifferenz des Optimierungslaufs für alle Bauteile des Gebäudes unterscheiden. Dazu wurde zuerst für alle Optimierungen der Mittelwert der Differenz zwischen Anfang und Enddicke jedes Bauteils bestimmt. Dann wurde von jedem Bauteil die Differenz zum jeweiligen Optimierungsmittelwert

⁹ Da bei zunehmender Dämmstärke die Wirkung der Dämmung asymptotisch abnimmt, ergibt sich auch bei einer linearen Kostenfunktion eine abnehmende Steigung der Nutzenfunktion. Dicke Bauteile werden deshalb in der Optimierung kaum mehr weiter gedämmt.

gebildet und diese Datenmenge gefiltert. Die so gewonnene Häufigkeitstabelle wurde darauf noch auf die in der Datenbank enthaltenen Bauteile gleicher Art normiert. Dadurch kann man eine Aussage dafür gewinnen, wie häufig diese Bauteile falsch dimensioniert wurden.

Dies ergibt folgende Tabelle:

Tabelle 11: Häufigkeitsverteilung der Optimierungsdifferenz nach Bauteilen: Bauteil mit Veränderung der Dämmung von mehr als 7 cm Abweichung vom Mittelwert der Veränderung

	Absolut [%]	BTD grösser als StAbw ¹⁰ / [%]	BTD kleiner als StAbw / [%]
Wand kompakt, Styrol	17.3	15.4	1.9
Wand kompakt, mineralisch	12.3	7.8	4.5
Wand Hinterlüftet, Polystyrol	0	0	0
Wand Hinterlüftet, mineralisch	6.2	3.1	3.1
Steildach	21.9	12.5	9.4
Flachdach	18.7	14.2	4.4
Kellerboden (Styrol)	15.5	6.5	9.0
Kellerdecke (Styrol)	8.3	0.0	8.3
Holzmodulbau	19.9	7.8	12.1

Insbesondere den Dachkonstruktionen scheint eher zu wenig Augenmerk geschenkt zu werden. Auch bei den Holzmodulbauten ergibt sich in 20 % von allen Fällen ein Ungleichgewicht. Dies erstaunt eigentlich, da bei Holzmodulbauten oft annähernd die ganze Konstruktion aus Holzmodulen besteht.

Aus der Optimierung geht hingegen nicht hervor, in welchem räumlichen Kontext das Gebäude steht. Befinden sich Gebäude in einer Bauzone mit einer beschränkten Ausnutzungsziffer, kann zwanglos erklärt werden, weshalb Architekten dazu neigen, Dächer überproportional zu dämmen. Im Gegensatz zu einer dickeren Wand verliert man bei einer dickeren Dämmung der Decke keine Nutzfläche.

Der Einfluss dieser Berechnung darf aber nicht vernachlässigt werden: Nimmt man einen Wert von 5000 Fr/m² realisierter Wohnfläche an, ergibt sich ein Zuschlag von 0.4 Fr/m² Dämmung. Diese Grösse entspricht, in Abhängigkeit des gewählten Materials bei Wanddämmungen rund 10 bis 16 % der Zusatzkosten pro cm Mehrdämmung. Unter der Annahme eines Hüllfaktors von 1.7¹¹ entstehen so bei einer Wohnung von 120 m² virtuelle Mehrkosten von 410 Fr pro Wohnung bei einer zusätzlichen Dämmung von 10 cm.

Tabelle 12: Auswirkungen einer AZ - Beschränkung auf die Kosten der Dämmung einer Wand.

Wohnungspreis	[Fr]	600'000
Grösse Wohnung	[m ²]	120
Wert	[Fr/m ²]	5000
Durch 1 cm Dämmung verloren	[m ²]	0.01
Diskontierung 50J 4% (RBF)	[1]	21.4
Verlust pro lfm Dämmung	[Fr]	1.2
bei 3 m Geschosshöhe pro m ² Dämmung	[Fr/m ²]	0.4

¹⁰ BTD: Bauteildickendifferenz, StAbw: Standardabweichung

¹¹ Bei einem Flächenanteil der Wand von 50 %

3.9 AUSWIRKUNGEN VON GRÖSSE, ORIENTIERUNG UND SIEDLUNGSSTRUKTUR AUF DIE KOSTEN VON BAUTEN NACH MINERGIE-P, MINERGIE UND MUKEN

3.9.1 Einleitung

Anhand eines einfachen Blockmodells wurde untersucht, wie sich die Orientierung auf die Erstellungskosten eines Baus in Holzmodulbauweise auswirkt. Dabei wurde von sehr vereinfachten Bauformen ausgegangen, da dadurch die Rotation und die Simulation vereinfacht wird. Die angegebenen Kosten sind die Kosten der Erstellung der Hülle, relevant sind folglich nur die Differenzen zwischen den einzelnen Messpunkten. Sie geben die absolute Kostensteigerung bei veränderter Morphologie an.

3.9.2 Auswirkung der Orientierung

Für diese Berechnung wurde ein Gebäude ausgewählt, welches einem typischen Reiheneinfamilienhaus entspricht. Bei einer Gebäudetiefe von 10 m weist das Haus eine Längsfront mit einer Länge von 30 m bei 2 Stockwerken auf. Die Fenster sind vorwiegend in einer Längsachse angeordnet (50% Fensterfläche), die andern Wände weisen wesentlich weniger Fenster auf. Die Wand mit grossen Fenstern verfügt über ein grosses Vordach und Balkone. Die untenstehende Tabelle fasst die geometrischen Formen zusammen.

Tabelle 13: Einfaches Gebäude für Kostensimulation mit Rotation um 360 °

Höhe Stockwerk	[m]	3		
Stockwerk		2		
	L	Distanz zu Nachbar	Überhang	Fenster Fläche
	[m]	[m]	[m]	[%]
Wand1	10	20	0	10
Wand2	30	20	2.5	50
Wand3	10	20	0	10
Wand4	30	20	0	5

Die folgenden Berechnungen wurden mit Programm Entech 380/1, Version 4.0 durchgeführt. Für das Abbruchkriterium wurde der neue 30% Grenzwert für MFH ohne WRG verwendet. Bei den Grenzwerten Minergie, Minergie 08 und MuKEn wurde jeweils nur die Erfüllung der Anforderung an die Hülle berücksichtigt.

Wird dieses Gebäude nun in 45° Schritten um 360° rotiert, verändern sich die Kosten zur Erfüllung des Minergie-P Standards und entsprechend, wenn auch in weit geringerem Mass der andern Standards .

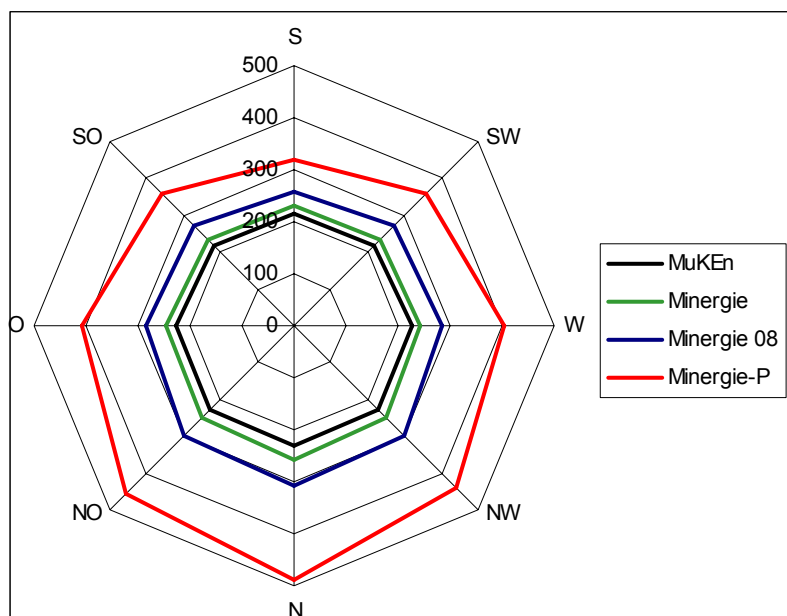


Fig. 11: Rotation und Kosten
 Wird ein einfaches 2-stöckiges Gebäude 360 ° um die eigene Achse rotiert, steigen die Kosten der Realisierung an, da die möglichen Sonnengewinne abnehmen. Der Effekt ist bei allen Standards sichtbar, jedoch bei Minergie-P mit rund 170 Fr/m² beim Vergleich der Nord- zur Südvariante am Grössten.

Es zeigt sich, dass bereits eine leichte Drehung des Hauses um 45° um rund 35 Fr/m² EBF höhere Kosten bewirkt. Bei einer Nordorientierung steigen die Kosten um 170 Fr/m² EBF, was doch erheblich ist.

Dieser Effekt zeigt sich auch in der mittleren benötigten Dämmung:

Tabelle 14: Benötigte Dämmstärken zum Erreichen eines Standards

Orientierung	MuKE n	Minergie	Minergie 08	Minergie-P
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
S	8	11	16	28
SW	9	12	19	35
W	10	13	21	41
NW	10	15	24	47
N	11	16	26	60
NO	10	15	24	54
O	10	14	21	45
SO	9	12	19	36

Der Einbezug der Orientierung ist also wichtig. Dies gilt es auch bei der Erstellung von Punkthäusern¹² zu untersuchen. Zwar ist dort das Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen besser, damit aber gefällige Wohnungen errichtet werden können, müssen auch vermehrt Fensterflächen mit ungünstiger Orientierung erstellt werden. Erstellt man grosse Punkthäuser, überwiegt der Vorteil der Kompaktheit.

Vergleicht man ein 4-stöckiges Punkthaus mit einer Kantenlänge von 30 m und einer gleichen spezifischen Fensterfläche mit einem länglichen Haus mit der Grösse 30x10m und einer Fensterdominanz im Süden, überwiegt die Kompaktheit. Wie das optimale Verhältnis zwischen Länge zu Breiten - Verhältnis und Grösse ist, müsste gesondert untersucht werden.

3.10 AUSWIRKUNGEN DER GEBÄUDEDISTANZ

3.10.1 Einleitung

Wenn behauptet wird, dass der Minergie-P Standard der Standard sei, den es braucht um die 2000 W Gesellschaft realisieren zu können, dann ist es auch von grossem Interesse, sich zu überlegen, ob Minergie-P auch in einer kompakten Siedlungsform realisiert werden kann. Bereits verschiedentlich haben wir nachgewiesen, dass kompakte Gebäude eine kosteneffiziente Minergie-P Bauweise erlauben. Im nächsten Schritt soll ansatzweise untersucht werden, was geschieht, wenn Gebäude in einer Siedlung näher zusammenrücken. Dazu wurde das gleiche Tool benutzt, mit dem die Auswirkungen der Orientierung bestimmt wurden. Es wurde jedoch anstelle eines 2-stöckigen Modells ein 4-stöckiges Model mit Seitenlänge 10 m x 30 m verwendet. Mit diesem Model in klassischer Südorientierung wurde untersucht, wie sich die Kosten verändern, wenn der Abstand zwischen den (identischen) Nachbarblocks auf der Nord-Südachse reduziert wird.

¹² Als Punkthaus wird hier ein Haus verstanden, welches sich nicht an einer Längsachse orientiert.

3.10.2 Resultate

Dazu wurde folgende Gebäudestruktur verwendet:

Tabelle 15: Gebäude zur Untersuchung der Auswirkungen der Distanz zu einem identischen Nachbargebäude

Höhe Stockwerk	[m]	3		
Stockwerk		4		
	L	Distanz zu Nachbar	Überhang	Fenster Fläche
	[m]	[m]	[m]	[%]
N	30	variabel	0	5
O	10	5	0	10
S	30	variabel	2.5	50
W	10	5	0	10

Das Resultat¹³ zeigt, dass ab der zweifachen Gebäudetiefe bei dieser Bausituation keine grossen Kostenunterschiede mehr festzustellen sind. Werden jedoch die Blocks sehr nahe zueinander gebaut, erhöht dies die Baukosten mit bis zu 100 Fr/m² EBF.

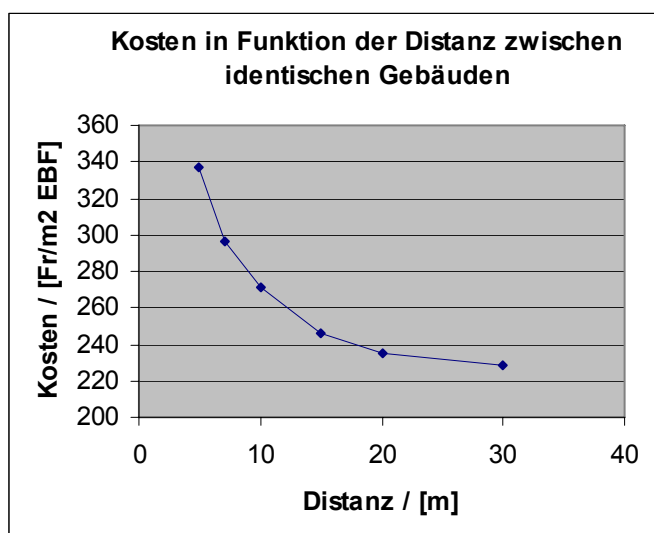


Fig. 12: Auswirkungen der Distanz zwischen zwei identischen Gebäuden auf die Kosten der Realisierung für den Standard Minergie-P.

Man kann daraus schliessen, dass es recht kostenintensiv ist, wenn man in klassischen Innenstadtsituationen Gebäude in Minergie-P Standard realisieren will. In Siedlungen mit Ausnützungsziffern von rund 1, wie sie in der Agglomeration angetroffen werden kann aus energetischer Sicht empfohlen werden, eine Siedlungsstruktur anzustreben, in der kompakte, grosse Gebäude sich mit freier Aussenraumgestaltung abwechseln.

3.11 LOHNT ES SICH WIRTSCHAFTLICH, IM MINERGIE-P-STANDARD ZU BAUEN ?

3.11.1 Einleitung

Besonders interessiert, ob der Baustandard Minergie-P sich über die Lebensdauer der Bauteile rechnet. Es ist nahezu unmöglich, zu dieser Frage eine Aussage zu machen, ohne eine Reihe von Annahmen einzuführen. Anstelle einer Aussage für einzelne Gebäude wird deshalb an dieser Stelle versucht, eine möglichst robuste Aussage zu generieren, die die wesentlichen Parameter und deren Einfluss auf das Resultat darstellt. Dazu werden die untenstehenden fixen Annahmen getroffen und einige Scharparameter festgelegt. Durch die Auswahl der Scharparameter kann dann eine Auswahl nach der eigenen Investitionspräferenz gemacht werden.

¹³ Entech 4.0, 20% Grenzwert mit WRG

3.11.2 Methode

Als Methode zur wirtschaftlichen Betrachtung wird eine Berechnung des Gegenwartswertes¹⁴ durchgeführt. Diese Methode hat gegen über der klassischen Amortisation zwei Vorteile:

- Zukünftige Restwerte und Erneuerungsarbeiten können in die Berechnung mit einbezogen werden
- Der Energiepreis kann als Zeitfunktion in die Berechnung mit eingebracht werden.

Die vorliegende Gegenwartsberechnung wird über einen Zeitraum von 30 Jahren durchgeführt.

3.11.3 Getroffene Annahmen

- Restwert Bauteile nach 30 J.
Es wird angenommen, dass der Restwert der Bauteile des Gebäudes (Wand, Fenster...) 50 % beträgt. Damit wird berücksichtigt, dass Bauteile unterschiedliche Lebensdauern aufweisen und dies zumindest zum Teil auch den Wert der Aussenhülle betrifft: Fenster weisen eine Lebensdauer von ca. 30 Jahren auf. Es ist deshalb davon auszugehen, dass sie bis dann ersetzt werden müssen. Wärmedämmungen können oft einfach neu verputzt werden, bzw. es reicht, den Verputz auszubessern und neu zu streichen. Sie weisen deshalb noch einen relativ grossen Restwert auf.
- Haustechnik hat heute typischerweise eine Lebensdauer von 15 Jahren. Sie muss deshalb im betrachteten Zeitraum einmal erneuert werden.
- Eckdaten für die Zusatzkosten in der Hülle.
Es werden spezifische Kosten von 110 Fr/m² EBF für einen Hüllefaktor 1 und 245 Fr/m² für einen Hüllefaktor 2.5 angenommen. Damit werden gemäss Simulation Werte ausgewählt, die einem recht gut optimierten Gebäude entsprechen. Da die Auswahl des Haustechniksystems im Ausgangszustand eine Rolle spielt, im Zielsystem Minergie-P jedoch nicht, handelt es sich bei den ausgewählten Kostenfaktoren um ein relativ gut ausgerichtetes Gebäude mit Holzheizung oder ein mässig optimiertes Gebäude in der Kombination Gas-Solar.
- Berechnung Energieeinsparung:
Während eine Hülle, die den Minergie Standard vor 2008 erfüllt, die Primäranforderung von 80 % des SIA-Grenzwertes erfüllen muss, muss die Minergie-P Hülle einen Energieverbrauch aufweisen, der kleiner als 20% des Grenzwertes ist. Somit kann in vernünftiger Näherung diese Differenz für die Einsparung an Energie angenommen werden, ohne dass auf die Wertigkeit der Energien Bezug genommen werden muss.

3.11.4 Scharparameter

- Energiepreis:
Wir gehen davon aus, dass die Energiepreise sich in einem frei beweglichen, knappen Markt befinden. Unter diesen Umständen kann davon ausgegangen werden, dass die Energiepreise sich gegenseitig angleichen: steigen Gas- und Ölpreis an, steigt auch der Mittelpreis für Holz soweit an, dass keine Absatzbewegung vom Holz in den Gas- und Ölmarkt stattfindet. In einem idealen Markt wird diese Absatzbewegung dann gestoppt, wenn die effektiven Heizkosten inkl. Abschreibung der Heizanlage für verschiedene Energien gleich sind. Dieser virtuelle Heizenergiepreis eignet sich deshalb sehr gut als Scharparameter. Es werden zwei klammernde Annahmen für die Entwicklung des Energiepreises angenommen¹⁵:
 - Energiepreis bleibt konstant bei 0.1 Fr/kWh
 - Energiepreis steigt von 0.1. auf 0.3 Fr/kWh über die nächsten 30 Jahre

¹⁴ Bei der Gegenwartsberechnung (auch Net Present Value bzw. Discounted Cash Flow Methode genannt) wird jede Ausgabe und jede Einnahme mit dem Zins diskontiert. Eine Summe von sFr 100.- in einem Jahr bei 5 % entspricht also einem Gegenwartswert von sFr. 95.2, weil ein Betrag von sFr. 95.2 heute auf die Bank gebracht in einem Jahr einen Wert von sFr. 100 aufweisen wird.

¹⁵ Es ist drauf hinzuweisen, dass ordnungspolitische Massnahmen wie z.B. Lenkungsabgaben diese Verhältnisse nur kurzfristig verzerren können. Wird z.B. eine starke Lenkungsabgabe auf Gas eingeführt, hat dies eine Verschiebung von Gas auf Holz zur Folge. Da die Menge an zur Verfügung stehendem Holz begrenzt ist, wird der Preis steigen, was dazu führt, dass sich wiederum ein Gleichstand in den Preisen entwickelt, bis die Absatzbewegung stoppt.

- Zinssatz:
Als zweiter Scharparameter wurde der interne Zinssatz zwischen 1% und 4.5% variiert¹⁶.

3.11.5 Nicht berücksichtigte Faktoren

In dieser Berechnung ist der Wiederverkaufswert des Gebäudes nicht berücksichtigt. Falls eine grosse Knappheit an Energie entsteht, wird der Wiederverkaufswert schlechter isolierter Gebäudes sinken. Dies darf aber in der vorliegenden Betrachtung keinen Einfluss haben, es sei denn man analysiere diesen Faktor im Detail. Zu prüfen wäre dann, welcher Zeitpunkt für die Sanierung den besten Gegenwarts-wert erzielen würde, was den Rahmen dieser Studie sprengt.

3.11.6 Resultate

Die Resultate dieser Berechnungen finden sich im Anhang. Sie können folgendermassen zusammengefasst werden: Betrachtet man nur die Dämmung, wird eine Minergie-P Dämmung wirtschaftlich, wenn die Energiepreise noch deutlich steigen. Steigen die Energiepreise nicht weiter, kann die Zusatzinvestition nur bei kompakten Gebäuden und tiefen Zinssätzen refinanziert werden.

Die Minergie-P Dämmung weist somit die Charakteristika einer Versicherung gegen hohe Energiepreise auf.

Werden zusätzlich die Kosten der Komfortlüftung einbezogen, kann die Zusatzinvestition „Minergie-P“ als Gesamtes aber unter keiner Bedingung auch nur annähernd refinanziert werden. Die Komfortlüftung muss deshalb über den monetarisierten Komfortgewinn refinanziert werden.

Wird jedoch eine weitere Nebenbedingung eingeführt, nämlich dass in einem Minergie-P Haus durch geschickte Systemwahl die Kosten für das Heizverteilsystem reduziert werden könnten, besteht wiederum die Chance, eine betriebswirtschaftlich interessante Konstellation anzutreffen. Allerdings sind Systeme ohne zusätzliche Heizverteilungen eher unbefriedigend bezüglich Regelverhalten.

Diese Überlegungen definieren gleichzeitig auch den Handlungsbedarf im Bereich der Forschung. Gesucht werden:

- Konzepte, die zu tiefen Kosten Rest-Heizenergie verteilen, um die Regelungsproblematik der Beheizung mit Minergie-P Bereich befriedigen zu lösen
- Kostengünstige Lösungen für die Komfortlüftung

Werden in diesen beiden Bereichen Lösungen gefunden, kann Minergie-P der wirtschaftliche Standard der Zukunft sein.

4 Schlussfolgerungen

4.1 EINLEITUNG

Die seit dem Beginn dieser Studie erfolgten Energiepreissteigerungen und auch die verschärfte Diskussion um den Klimawandel haben gezeigt, dass die Bedeutung des energiegerechten Bauens kontinuierlich zunimmt.

ArchitektInnen sind deshalb heute mit einer zusätzlichen Herausforderung konfrontiert: Sie müssen Gebäude schaffen, die sowohl ästhetisch wie auch energietechnisch befriedigen. Wie gross diese Herausforderung ist, zeigt diese Studie.

So zeigen denn die Simulationsresultate, dass bei den untersuchten Gebäuden selbst bei ähnlicher Hüllzahl die Kosten für die Realisierung in einem höheren Standard um bis zu einem Faktor drei unterschiedlich sein würden. Dies bedeutet, dass die Anforderungen an das energiegerechte Bauen sehr unterschiedlich gut umgesetzt wurden.

Die oft gehörte Aussage, dass nur einfache Baukörper im heute höchsten üblichen Baustandard, dem Minergie-P Standard, gebaut werden können, hat sich direkt nicht bestätigt. In weiten Grenzen ist es auch bei komplexen Baukörpern möglich, den Grenzwert zu erreichen. Es zeigt sich allerdings deutlich, dass dies – auch beim Einhalten aller andern Parameter, die kosteneffizientes Bauen ermöglichen – mit jeweils erheblichen Zusatzkosten verbunden ist.

¹⁶ Dabei handelt es sich um einen vollständigen, internen Zinssatz, der nicht um den Faktor Werterhalt/Unterhalt reduziert werden muss. Dieser Aspekt wird in der Restwertüberlegung bereits berücksichtigt.

Generell bestätigt auch diese Studie wieder, dass die Anwendung des heutigen Regelwerks über die Verwendung der SIA Norm 380/1 seine Vorteile aufweist, weil es eine ganzheitliche Sicht erlaubt und in gewissen Grenzen auch Kompromisse zwischen den verschiedenen Anforderungen zulässt.

In diesem Sinn sind auch die untenstehenden Planungsempfehlungen zu verstehen. Sie sollen Mut machen, möglichst viele Aspekte mit einzubeziehen, aber trotzdem auch in Situationen, die für energiegerechtes Bauen nicht optimal sind, das Bestmögliche anzustreben.

4.2 PLANUNGSEMPFEHLUNGEN

4.2.1 Wärmebrücken

Die Studie unterstreicht einmal mehr die Tatsache, dass gut gelöste Wärmebrücken, bzw. deren womöglich vollständige Elimination energiegerechtes Bauen erst ermöglichen. Obwohl nicht zwingend die wichtigste Empfehlung, wird sie hier an erster Stelle erwähnt. Dies deshalb, weil es bei Neubauten heute keine Gründe mehr gibt, warum man nicht versuchen sollte, Wärmebrücken wenn möglich zu vermeiden.

4.2.2 Kompaktheit

Kompakte Gebäude senken die Kosten des energetisch optimierten Bauens deutlich. Insbesondere spricht dies auch für grössere Bauten. In Zusammenhang mit dem oben Gesagten muss die Frage gestellt werden, ob es richtig ist, die heute vorhandenen Einfamilienhaussiedlungen, deren Bauten zusätzlich zur grossen Hüllzahl meist auch über nicht eliminierbare Wärmebrücken verfügen, Haus für Haus zu sanieren. Besser wäre es wohl, in diesen Quartieren eine neue Planung vorzunehmen und mit Neubauten eine Verdichtung bei gleichzeitiger Entmischung vorzunehmen. Mit Sicherheit ist diese Empfehlung heute nicht realistisch. Sollten sich die heute festgestellten Energiepreissteigerungen weiter fortsetzen, wird dies zusammen mit dem demografischen Wandel durchaus denkbar.

Aus Ressourcensicht kommt dem kompakten Bauen ein zusätzliches Gewicht zu. Da der Primärgrenzwert mit der Hüllzahl ansteigt, haben kompakte Gebäude einen deutlich tieferen absoluten Energieverbrauch als Gebäude mit hoher Hüllzahl. Sie sind deshalb auch wesentlich Ressourcen effizienter. Sie sind es aber nicht nur bezüglich Energieverbrauch, sie sind es auch bezüglich grauer Energie: Grössere Hüllen bedeuten mehr Material, welches zusätzlich noch mit grösserer Dämmstärke ausgeführt werden muss.

4.2.3 Passiver Solarenergiegewinn und Orientierung

Grundsätzlich erlaubt erst passiver Energiegewinn Bauen in modernen Standards, was diese Studie einmal mehr bestätigt. Der hohe solare Energiegewinn kann aber bei ungenügender Planung im Sommer zu erheblichen Überhitzungsproblemen führen. Diesem Aspekt muss genau so Rechnung getragen werden.

Gleichzeitig kann gesagt werden, dass mit den heutigen Fenstern eine nicht optimale Orientierung des Gebäudes mit vertretbaren Kosten kompensiert werden kann, vorausgesetzt, dass andere Gründe den Architekten zu einer suboptimalen Ausrichtung zwingen. Voraussetzung ist dann, dass die Fenster gross sind und möglichst ohne Wärmebrücken eingebaut werden.

4.2.4 Raumplanung

Wichtig ist aber auch der räumliche Kontext, in dem ein Gebäude steht. Städtische Siedlungsstrukturen weisen eine grosse Kompaktheit auf, erlauben jedoch keine ganzjährige Besonnung. Minergie-P ist deshalb wohl kaum der Standard für innerstädtische Lagen. Es ist zu vermuten, dass die Sanierung im Minergie-P Standard in diesem Fall eher schwierig ist. Gleichzeitig ist aber der Ballungsraum aus Sicht des Landverbrauchs ökologisch gesehen interessant. Es ist einer der negativen Aspekte des durch das Minergie-P Konzept gewählten Wegs, dass hervorragende Sanierungen im dichten Bestand kaum Möglichkeit haben, sich mit diesem Label zu profilieren.

Besonderes Potential kann aber in Siedlungen geortet werden, die gleichzeitig entmischen und verdichten, also grössere Baukörper mit freien Zwischenräumen verbinden.

4.3 HAUSTECHNIK

4.3.1 Heizsystem

Etwas überraschend, bei näherem Hinsehen jedoch verständlich, ist die Feststellung, dass – im Gegensatz zum Minergie Standard – der Minergie-P Standard keine unterschiedliche Hülle für eine Gas-Solar Wärmeerzeugung oder eine Pelletheizung fordert. Im Gegenteil kann man davon ausgehen,

dass, wenn der Primärgrenzwert bei 20% des Grenzwertes nach SIA 380/1 erreicht ist, auch der Sekundärgrenzwert für eine Kombination von Gas mit 70% Warmwasser aus Solarkollektoren mit guter Reserve erreicht wird. Dies ist insbesondere für Verwaltungsgebäude interessant, die über einen kleinen Warmwasserverbrauch verfügen und deshalb nur kleine Solaranlagen benötigen.

4.3.2 Komfortlüftung

Einmal mehr zeigt die Studie, dass Komfortlüftungen nicht über die Energieeinsparung alleine gerechtfertigt werden können. Während eine Dämmung nach Minergie-P bei weiter steigenden Energiepreisen nicht nur ökologisch die gute Wahl ist, sondern auch ökonomisch Sinn macht, werden auch in diesem Fall die Kosten der Komfortlüftung nicht amortisiert. Da jedoch die Lüftung als Komfortmerkmal zunehmend an Bedeutung gewinnt, sollte die Argumentation für eine Komfortlüftung vorwiegend über den deutlichen Komfortgewinn und den Schutz der Bauten vor Feuchteschäden erfolgen. Gleichwohl unterstreicht auch diese Studie, dass Forschung im Bereich der Komfortlüftung notwendig ist, wenn sich diese durchsetzen soll¹⁷. Ausschliesslich aus energetischer Sicht kann aber auch hier einmal mehr die Frage aufgeworfen werden, ob es zwingend notwendig ist, dass nachhaltige Gebäude über eine Komfortlüftung verfügen. Denn die ins Feld geführten Argumente – Bautenschutz und Komfort – stimmen heute für alle Gebäude, da auch Gebäude nach den kantonalen Normen im Wesentlichen gleich dicht sind wie Minergie oder Minergie-P Bauten. Es wäre demnach nur logisch, wenn man entweder für alle Gebäude eine Komfortlüftung vorschreiben würde oder dann dies auch in den freiwilligen Labels fallen gelassen wird. Dem widerspricht der ganzheitliche Qualitätsanspruch von Minergie. Denn Wohnqualität hat viel mit Luftqualität zu tun. Ein regelmässiger Luftwechsel ist dafür unerlässlich. Dies mit Fensterlüftung sicherzustellen, stellt an den Bewohner hohe Anforderungen.

Ob eine Komfortlüftung über die Energieeinsparungen finanziert werden kann, kann aber auf Grund der Anlage der Studie auch gar nicht beurteilt werden. Alle Aussagen in dieser Studie basieren auf Annahmen über den thermisch wirksamen Luftwechsel, welche mit der Norm SIA 380/1 in Einklang sind. Es gibt durchaus Indizien dafür, dass diese Annahmen bei richtig betriebenen Gebäuden zu konservativ sind.

4.4 WAS BRINGT DIE ZUKUNFT ?

Durch die Ankündigung der Revision der MuKE n (Musterverordnung der Kantone für Energiegerechtes Bauen) 2007 wurde die Minergie – Agentur veranlasst, den Grenzwert für das Minergie Label zu senken. Bestätigen sich die heute gehegten Befürchtungen bezüglich Energieknappheit und Klimawandel, ist davon auszugehen, dass die Gesetzgebung weiter verschärft werden wird. Dadurch wird auch die Minergie Agentur gezwungen, einen Schritt voraus zu gehen. Bereits heute aber werden Forderungen der Umweltverbände laut, dass eine Dämmung gemäss dem Minergie-P Standard möglichst bald gesetzliche Norm werden soll.

Es öffnet sich hier ein gewisses Dilemma, welches systemimmanent ist: Um die 2000 W Gesellschaft realisieren zu können brauchen wir Gebäude, die dem Minergie-P Standard entsprechen. Gleichzeitig versteht sich die Marke Minergie als das Pionier Label im Bereich bauen. Es wird also unumgänglich sein, dass die gesetzlichen Grenzwerte schrittweise dem Label nachfolgen.

Dies wäre an sich nicht dramatisch, hätten Gebäude nicht eine Lebensdauer von vielen Jahrzehnten. Bisher war ein Minergie Gebäude ein klar definierter Begriff. Mit der antizipierten Entwicklung wird es aber von zunehmender Bedeutung sein, wann ein Gebäude seine Zertifizierung erhalten hat. Dadurch wird der Markt für das meist nur ungenügend informierte Publikum zunehmend intransparenter. Damit geht eine der Stärken der Marke Minergie leider verloren.

5 Danksagungen

Diese Studie konnte dank Unterstützung des Bundesamtes für Energie BFE und der Minergie Agentur Bau und der Firma Flumroc erstellt werden. Besonderer Dank geht an Fabio Pesavento und Patricia Bürgi (Minergie Agentur Bau), Bruno Hari und Carol Gächter (BSR Architekten), Beatrix May (E plus U) für ihre kritische Mitarbeit und Andreas Eckmanns (BFE) für konstruktive Feedbacks.

¹⁷ Diese Aussage gilt insbesondere auch mit Hinblick auf den Sanierungsmarkt.

6 Verzeichnis der verwendeten Grundlagen

Huber, ENTECH 380/1, Version 3.17, Huber Energietechnik AG Ingenieur- und Planungsbüro, Jupiterstrasse 26, 8032 Zürich

M. Jakob, E. Jochen, K. Christen, Grenzkosten bei forcierten Energie Effizienzmassnahmen in Wohngebäuden, CEPE, 2002

W. Ott et al. Einsatz von Sonnenkollektoren auf dem Gebiet der Stadt Zürich, 2007

Programm Entech 380/1, Version 4.0, Huber Energietechnik AG Ingenieur- und Planungsbüro, Jupiterstrasse 26, 8032 Zürich

Anhang 1: Wirtschaftlichkeit von Minergie-P Bauten

