GESAMTENERGIEEFFIZIENZ VON BÜROBAUTEN MIT TIEFEM U-WERT

Reto Gadola[1], Iwan Plüss[1], Urs-Peter Menti[1], Martin Ménard[2]
[1]Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG)
[2]Lemon Consult GmbH

KURZFASSUNG

Mit der MuKEn 2008 [1] wird der Trend der letzten Jahre zu sehr gut gedämmten Gebäudehüllen weitergeführt. Damit soll eine weitere Reduktion des Heizwärmebedarfs erzielt werden. Nun stellt sich aber die Frage, wie es in diesem Zusammenhang mit der Gesamtenergieoptimierung aussieht: Wird durch die mit den Vorgaben geforderte sehr gute Dämmung der Gebäudehülle und die sehr kompakte Bauweise allenfalls der Klimakälte- und Beleuchtungsenergiebedarf erhöht? Diese Frage wird anhand einiger typischer, grosser Bürobauten in der vorliegenden Studie beantwortet.

Die Betrachtung auf Stufe Primärenergie zeigt, dass eine sehr gute Gebäudehülle nach Minergie-P gegenüber einer Gebäudehülle, welche „nur" die gesetzlichen Anforderungen erfüllt, nicht zu einem Mehrbedarf führt – aber (abhängig vom Heizsystem/Energiequelle) auch nur einen minimen Minderbedarf aufweist. Dieser Vorteil wird hinfällig, sobald in die Betrachtung die Investitionen und die Graue Energie miteinbezogen werden.

Eine hohe Kompaktheit reduziert zwar den Heizwärmebedarf, gleichzeitig wird aber der Elektrizitätsbedarf für die Beleuchtung erhöht (schlechte Tageslichtnutzung aufgrund hoher Raumtiefen). Spätestens bei einer Primärenergiebetrachtung wird der Mehrbedarf für die Beleuchtung massgebend, somit ist eine extreme Kompaktheit (Gebäudehüllziffer < 0.8) ineffizient.

AUSGANGSLAGE

Die gesetzlichen Vorgaben – oft an die entsprechenden SIA-Normen gebunden – definieren sehr spezifische Anforderungen an einzelne Verwendungszwecke der Energie: Die Norm SIA 380/1 [2] beinhaltet die Anforderung an den Heizwärmebedarf, die Norm SIA 380/4 [3] definiert Vorgaben für den Beleuchtungsenergiebedarf und die SIA 382/1 [4] definiert Anforderungen an den Elektrizitätsbedarf für Lüftung/Klima sowie an den sommerlichen Wärmeschutz.

Diese spezifischen Vorgaben für einzelne Teilbereiche der Energie führen tendenziell dazu, dass im Planungsprozess nicht eine Optimierung des Gesamtsystems „Gebäude" durchgeführt wird, sondern mehrere punktuelle Optimierungen durchgeführt werden. Die Summe vieler minimierter Teilverbräuche ist unter Umständen aber höher als ein integral minimierter Gesamtverbrauch – vor allem auch dann, wenn für die Berechnung der Teilbereiche unterschiedliche oder gar sich widersprechende Randbedingungen verwendet werden.

Konkret besteht nun bei Minergie-P-Gebäuden ein Verdacht: Die stark forcierte Maximierung der Dämmeigenschaften der Gebäudehülle und der solaren Gewinne könnte in einzelnen Fällen zu einer übermässigen Erhöhung des Klimakältebedarfs und somit zu einem nicht optimalen Gesamtenergiebedarf führen. Dies könnte vor allem dann der Fall sein, wenn aufgrund hoher interner Lasten schon bei einer nicht nach den Anforderungen von Minergie-P entsprechenden Gebäudehülle (fast) kein Heizwärmebedarf mehr resultiert. Dieser Verdacht betrifft primär Bürobauten mit hohen internen Lasten sowie Verkaufs-, Schul-, Spital- oder Industriebauten.

Ein weiterer Punkt der bei einer Gesamtoptimierung zu Zielkonflikten in der Planung führen kann, ist das Thema „Kompaktheit des Gebäudes" sowie die Ausrichtung der Fensterflächen: Die Norm SIA 380/1 [2] privilegiert kompakte Bauten zwecks Minimierung der Wärmeverluste. Diese Bauweise hat aber einen negativen Einfluss auf die Tageslichtnutzung, weil Kompaktheit in der Tendenz zu hohen Raumtiefen führt. Dominiert nun z.B. bei Bürobauten der Energiebedarf für die Beleuchtung und ist gleichzeitig der Heizwärmebedarf marginal, stellt sich berechtigterweise die Frage, ob eine kompakte Bauweise aus gesamtenergetischer Sicht wünschenswert ist. Die Suche nach einem optimalen Verhältnis zwischen Raumtiefen und Fensteranteilen zur Maximierung der Tageslichtnutzung ist dann besonders wichtig. Diese Erkenntnisse könnten dazu führen, dass ein auf den Gesamtenergiebedarf optimiertes Gebäude bei der Gebäudeform und thermischen Qualität der Gebäudehülle von einem auf die Minergie-P-Primäranforderung optimierten Gebäude abweicht.

Fragestellung

Aus der Ausgangslage können zwei Fragen abgeleitet werden:

- Ist ein auf die Minergie-P-Primäranforderung optimiertes Gebäude betreffend Fensteranteil, U-Werte (Fenster, opake Bauteile), g-Wert Verglasung sowie der Gebäudeform vergleichbar mit einem auf einen minimalen Primärenergiebedarf betreffend Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung optimierten Gebäude?
- Ist ein kompaktes Gebäude mit entsprechend minimalem Heizwärmebedarf aus Sicht des Primärenergiebedarfs für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung besser als ein auf eine gute Tageslichtnutzung optimiertes Gebäude mit entsprechend geringerer Kompaktheit?

Parallel zu diesen Leitfragen entstanden im Laufe der Analysearbeiten weitere Fragen aus dem gleichen Kontext. So werden unter anderem auch die Einflüsse der Primärenergiefaktoren und Energieträger untersucht.

Die Erkenntnisse aus der Studie können in die Weiterentwicklung von Standards und Normen einfliessen. Daher richtet sich die Arbeit vor allem an den Verein Minergie, die Normengremien des SIA sowie Vertreter von Bund und Kanton.

MINERGIE-P PRIMÄRANFORDERUNG VS. GESAMTENERGIEEFFIZIENZ

Vorgehen

Die Untersuchungen werden anhand von synthetischen Gebäuden durchgeführt. Dies ermöglicht gewisse Vereinfachungen in der Objektdefinition, ohne damit die Aussagekraft der Resultate entscheidend zu schmälern. Folgende Parameter werden variiert:

- U-Werte opake Aussenflächen (0.1 W/m^{2}K → 0.2 W/m^{2}K)
- U-Werte transparente Aussenfläche (0.5 W/m^{2}K → 1.0 W/m^{2}K)
- g-Wert der Verglasung (0.4 → 0.6)
- Anteil der Verglasung an Fassade (50% → 70% bezogen auf Nettofassade)

Die nachfolgenden Resultate gelten für das Gebäude T1 welches nachfolgend beschrieben ist. Resultate weiterer Gebäudetypen können im Schlussbericht nachgelesen werden.

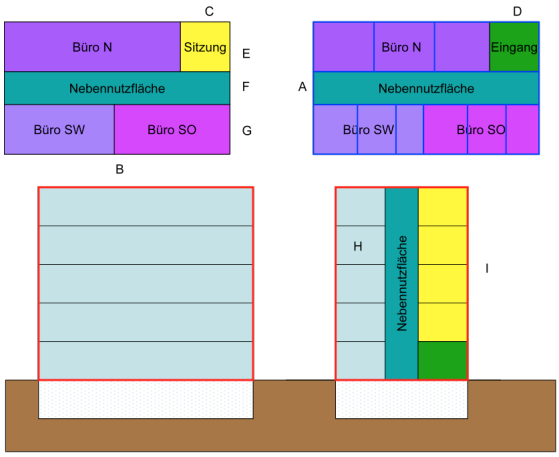

Abbildung 1: Modellgebäude T1

Die Längsfassade ist nach Nord/Süd ausgerichtet. Grundriss Erdgeschoss mit Eingang, Büros und Nebennutzflächen (Treppengeschoss, Lift, WC-Anlagen); Grundriss Obergeschosse mit Sitzungszimmer, Büros und Nebennutzflächen. Die Fenster sind als umlaufendes Fensterband angeordnet. Der Gebäudeformfaktor liegt bei 1.02. Das Untergeschoss befindet sich ausserhalb der thermischen Gebäudehülle und ist komplett im Erdreich. L=28m;B=15m;H=15m netto.

Aufteilung der Flächen: Büro 71%, Sitzung 7%, Nebenflächen 20% Empfang 2%.

Resultate / Fazit

Für jede Variante wurden mit dem Simulationsprogramm IDA ICE Berechnungen des Energiebedarfs durchgeführt. Der so ermittelte Nutzenergiebedarf wurde anschliessend in End- und dann in Primärenergie umgerechnet. Für die Umrechnungen werden die Faktoren (Nutzungsgrad η, Jahresarbeitszahl JAZ, Primärenergiefaktoren) gem. Tab. 1 eingesetzt. Die verwendeten Primär-energiefaktoren stammen aus der Studie Primär-energiefaktoren von Energiesystemen [5].

Tabelle 1
Übersicht zu den verwendeten Nutzungsgraden, Jahresarbeitszahlen und Primärenergiefaktoren

ENERGIE-QUELLE	η BZW. JAZ	PRIMÄR-ENERGIEFAKTOR
	-	kWh/kWh
Wärmepumpe (Erdsonde)	4.30	2.97
Fernwärme	0.95	0.85
Gas	0.90	1.15
Holz (Pellet)	0.85	1.22
Kältemaschine	5.50	2.97
Beleuchtung	1.00	2.97

Während Beleuchtung und Kälteanlage nicht verändert werden, werden die eingesetzten Heizsysteme / Energiequellen variiert (Erdsonden-Wärmepumpe, Fernwärme, Gasheizung, Holzheizung).

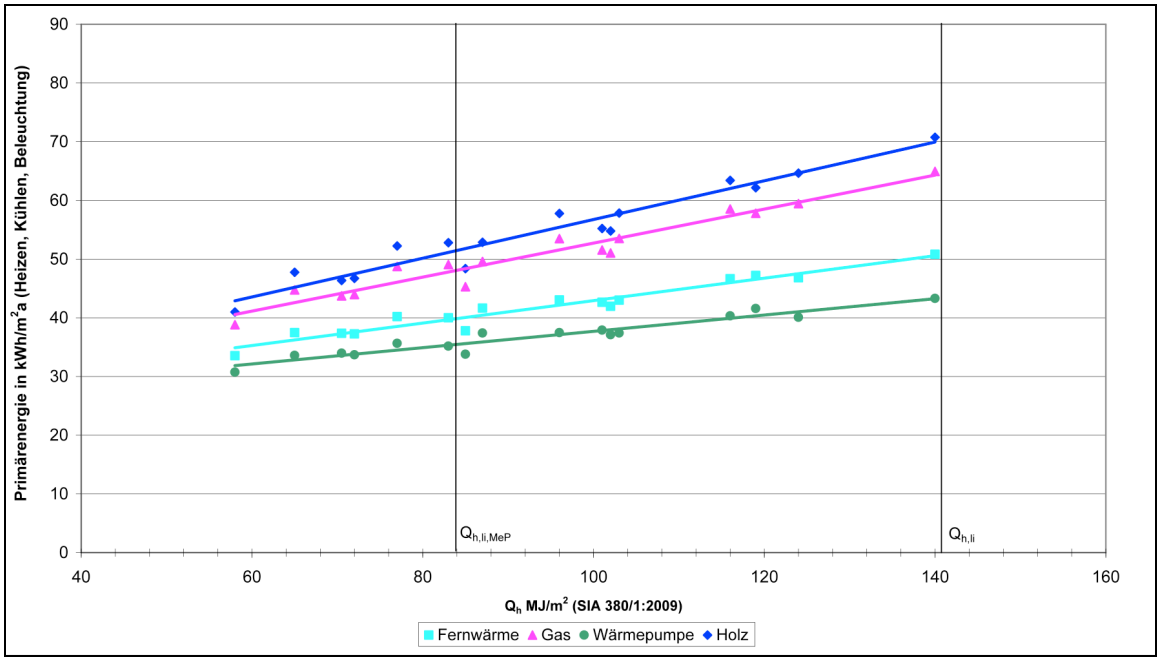

Abbildung 2: Darstellung des Primärenergiebedarfs für das Gebäude T1 mit den Primärenergiefaktoren aus der Tab. 2 bezogen auf den Heizwärmebedarf Q_h.

Unabhängig vom eingesetzten Energieträger nimmt der Primärenergiebedarf mit zunehmendem Heizwärmebedarf zu. Die Gebäude mit einer gut gedämmtenen Gebäudehülle weisen also einen tieferen Primärenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung auf als Gebäude mit einer schlecht gedämmten Gebäudehülle. Die Geraden verlaufen jedoch relativ flach, vor allem bei den Energiequellen mit einem tiefen Umrechnungsfaktor zwischen Nutz- und Primärenergie. Abb. 2 zeigt auch: Betreffend Primär-energiebedarf hat die Wahl des Energieträgers den grösseren Einfluss als die thermische Qualität der Gebäudehülle. Ein Gebäude, das knapp den Grenzwert $Q_{h,li}$ nach Norm SIA 380/1[2] erfüllt und mittels einer optimal ausgelegten Erdsonden-Wärmepumpe beheizt wird, ist betreffend Primärenergiebedarf in etwa gleich gut wie ein Gebäude mit sehr guter Gebäudehülle (entsprechend Minergie-P) und einer Holzheizung.

GEBÄUDEKOMPAKTHEIT VS. GESAMTENERGIEEFFIZIENZ

Vorgehen

Die Untersuchungen werden anhand von synthetischen Gebäuden durchgeführt. Die Qualität der Gebäudehülle ist bei allen Untersuchungen identisch, es wird nur die Gebäudegeometrie variiert. Nachfolgend sind die Gebäude dargestellt, T-B entspricht dabei dem Gebäude T1 aus dem vorhergehenden Kapitel.

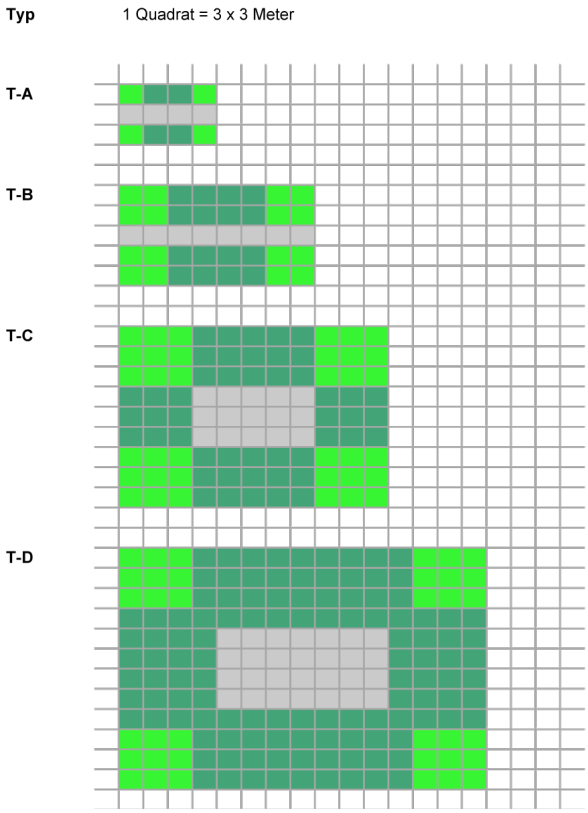

Abbildung 3: Modellgebäude T-A bis T-D

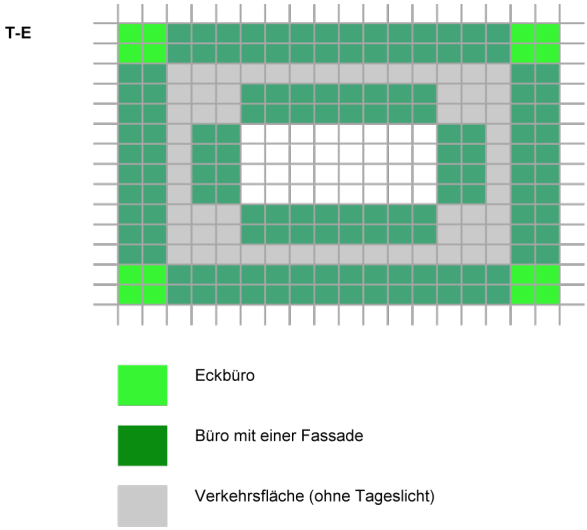

Abbildung 4: Modellgebäude T-E / Legende Nutzung

Resultate für Erdsonden-Wärmepumpe

In Abb. 5 ist der Primärenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung für die Gebäudetypen T-A bis T-D dargestellt (ohne T-E, welches ein Gebäude mit Atrium darstellt). Die Heizwärme wird mit einer Erdsonden-Wärmepumpe erzeugt. Der Primärenergiebedarf steigt bei tiefen Gebäudehüllzahlen an (massgebend ist hier der Bedarf für Beleuchtung). Bei hohen Gebäudehüllzahlen verläuft die Kurve flach.

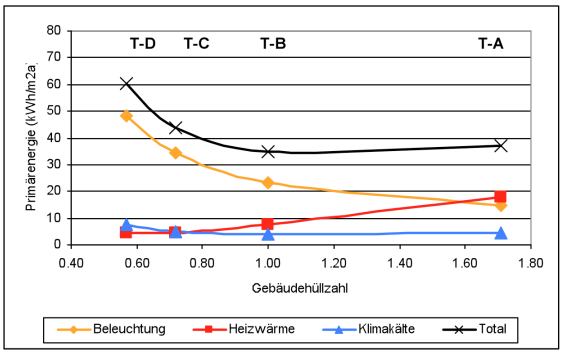

Abbildung 5: Primärenergiebedarf (mit Erdsonden-Wärmepumpe) in Abhängigkeit der Gebäudehüllzahl: Varianten T-A bis T-D, Betrachtung ohne Atrium-Bauten (T-E).

In Abb. 6 ist der Verlauf des Primärenergiebedarfs für die Gebäudetypen T-A, T-B und T-E (schmale Bauten, bzw. Bauten mit Atrien), ohne die grossvolumigen Gebäudetypen T-C und T-D dargestellt. Hier bleibt das Total des Primärenergiebedarfs über das ganze Spektrum der untersuchten Gebäudehüllzahlen nahezu konstant. Die Verläufe des Primärenergiebedarfs für Beleuchtung und für Heizwärme kompensieren sich gegenseitig.

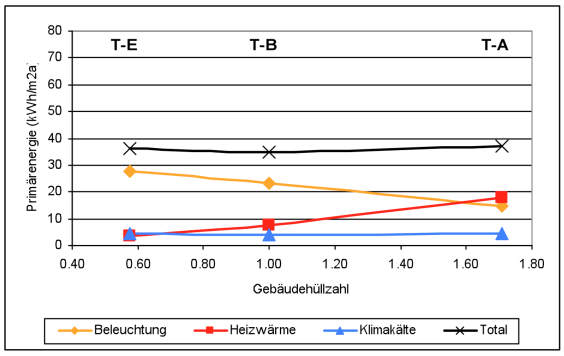

Abbildung 6: Primärenergiebedarf (mit Erdsonden-Wärmepumpe) in Abhängigkeit der Gebäudehüllzahl: Varianten T-A, T-B und T-E (Atrium-Bau), ohne die sehr kompakten Gebäudetypen T-C und T-D

Primärenergiebedarf (mit weiteren Wärmeerzeugern)

In Abb. 7 ist der Primärenergiebedarf in Abhängigkeit von der Gebäudehüllzahl für die Gebäudetypen T-A bis T-D dargestellt. Bei tiefen Gebäudehüllzahlen steigt das Total des Primärenergiebedarfs für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung mit allen vier untersuchten Wärmeerzeugern deutlich an. Bei hohen Gebäudehüllzahlen steigt die Kurve ebenfalls leicht an. Am stärksten ist der Anstieg bei Holz- und Gasheizungen, dies als Folge der vergleichsweise hohen Primärenergiefaktoren. Die tiefesten Primärenergiebedarfswerte liegen bei einer Gebäudehüllzahl von 0.9 bis 1.0.

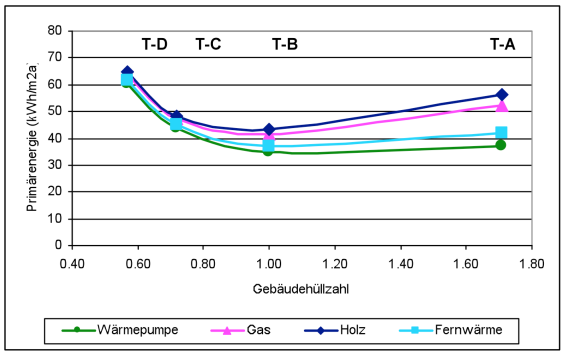

Abbildung 7: Primärenergiebedarf mit unterschiedlichen Wärmeerzeugern: Varianten T-A bis T-D, Betrachtung ohne Atrium-Bauten (T-E)

In Abb. 8 ist der Verlauf des Primärenergiebedarfs für die Gebäudetypen T-A, T-B und T-E dargestellt. Beim Atrium-Bau mit einer Gas- oder Holzheizung nimmt der Primärenergiebedarf über die ganze Bandbreite der gerechneten Gebäudehüllzahlen mit zunehmender Kompaktheit ab. Bei Wärmepumpen und Fernwärme ist der Primärenergiebedarf nahezu unabhängig von der Gebäudehüllzahl, die Kurve verläuft flach.

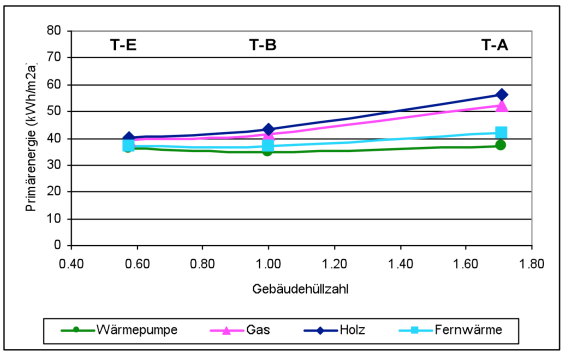

Abbildung 8: Primärenergiebedarf mit unterschiedlichen Wärmeerzeugern: Varianten T-A, T-B und T-E (Atrium-Bau)

Fazit

Kompakte Gebäude weisen in der Tendenz einen tiefen Heizwärmebedarf auf. Oft aber weisen diese Gebäude Raumtiefen auf, welche eine Tageslichtnutzung erschweren, was zu einem hohen Beleuchtungsenergiebedarf führt. In der Gesamtbetrachtung sind deshalb sowohl wenig kompakte als auch extrem kompakte Gebäude ungünstig. Optimal sind kompakte Gebäude mit gleichzeitig geringen Raumtiefen.

AUSBLICK

Die vorliegende Studie vermag nicht alle Fragen zu beantworten. Der Schritt von einer Beurteilung einzig über den Heizwärmebedarf zu einer Beurteilung über den Primärenergiebedarf (oder die Treibhausgasemissionen) für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung wurde vollzogen, aber für eine umfassende Beurteilung sind auch die Graue Energie für das gesamte Gebäude, die Investitionen und die Energiepreise (inkl. deren Entwicklung) zu berücksichtigen. Vor allem die hier favorisierte Lösung mit Atrien und Lichthöfen bei Gebäuden mit hoher Kompaktheit könnte unter diesen Aspekten evtl. schlechter abschneiden: Die gute Tageslichtnutzung wird hier mit einem höheren Aufwand bei der Gebäudehülle (Graue Energie) und entsprechend bei den Kosten erkauft.

Zudem zeigen die durchgeführten Sensitivitätsanalysen eine relativ schwache Resultatsensitivität auf einzelne der variierten Parameter (interne Lasten, Verschattung, Sonnen¬schutz, Be¬leuchtung etc.). Hier wäre zu prüfen, ob bei einer stärkeren Variation eine deutlich höhere Sensitivität auftritt. Insbesondere interessiert, ab welchen internen Lasten der Pri¬märenergiebedarf bei einer gut gedämmten Bauhülle steigt, weil dadurch der Energiebedarf für Klimakälte und/oder Beleuchtung überproportional erhöht wird. Anderseits wäre interessant zu wissen, wie weit die Aussagen auch noch bei stark reduzierten internen Lasten gelten (deutlich effizientere Geräte, Beleuchtung etc.).

Last but not least beschränken sich die hier durchgeführten Untersuchungen auf Bürobauten. Damit die Aussagen verallgemeinert werden können, müssten weitere Nutzungen (Wohnbauten, Schulbauten, Lagerbauten etc.) untersucht werden. Während z.B. gerade bei Schulbauten die Tageslichtnutzung noch bedeutender sein dürfte, fällt dieser Aspekt bei den Lagerbauten fast komplett weg. Zudem wird nur zwischen dem heute gesetzlich vorgeschriebenen Dämmstandard und einer von Minergie-P geforderten Dämmung unterschieden, auch hier wäre eine Ausweitung der untersuchten Gebäudekategorien vorstellbar.

LITERATUR / REFERENZEN

[1] MuKEn Musterverordnung der Kantone um Energiebereich, 2008, www.endk.ch

[2] Norm SIA 380/1, Thermische Energie im Hochbau, Ausgabe 2009.

[3] SIA 380/4, Elektrische Energie im Hochbau, Ausgabe 2006, Teil Beleuchtung mit SIA Tool Beleuchtung www.energycodes.ch

[4] SIA 382/1, Lüftungs- und Klimaanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderung, Ausgabe 2005

[5] Primärenergiefaktoren von Energiesystemen; Rolf Frischknecht, Matthias Tuchschmid, Version 1.4 vom 18 Dezember 2008

[6] Norm SIA 382/2:2010, Klimatisierte Gebäude – Leistungs- und Energiebedarf, Ausgabe 2010

[7] Merkblatt 2044, Klimatisierte Gebäude – Standard-Berechungsverfahren für den Leistungs- und Energiebedarf, Ausgabe 2010