



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Schlussbericht 29. April 2010

Gesamtenergieeffizienz von Büro-Bauten

**Optimierung des Heizwärmebedarfs vs.
Optimierung der Gesamtenergieeffizienz**



Departement für Wirtschaft, Soziales und
Umwelt des Kantons Basel-Stadt

Amt für Umwelt und Energie



Stadt Zürich

Amt für Hochbauten

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Lindenhofstrasse 21, Postfach, 8021 Zürich
Amt für Umwelt und Energie, Hochbergstrasse 158, 4019 Basel

Auftragnehmer:

Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG)
Technikumsstrasse 21
CH-6048 Horw
www.hslu.ch

Lemon Consult GmbH
Hofstrasse 1
CH-8030 Zürich
www.lemonconsult.ch

Autoren:

Reto Gadola, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, reto.gadola@hslu.ch
Urs-Peter Menti, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, urs-peter.menti@hslu.ch
Iwan Plüss, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, iwan.pluess@hslu.ch
Sebastian Klauz, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, sebastian.klauz@hslu.ch
Martin Ménard, Lemon Consult GmbH, menard@lemonconsult.ch

Begleitgruppe:

Dr. Charles Filleux, Bundesamt für Energie BFE, Forschungsprogramm Energie in
Gebäuden
Dr. Heinrich Gugerli, Stadt Zürich, Amt für Hochbauten
Heinrich Huber, MINERGIE® Agentur Bau, St. Jakobs-Strasse 84, 4132 Muttenz
Vesna Dengi, Amt für Umwelt und Energie, Hochbergerstrasse 158, 4019 Basel

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Charles Filleux

BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153576 / 102773

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts
verantwortlich.

Zusammenfassung

In der MuKE 2008 (Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich) wird der Trend der letzten Jahre zu sehr gut gedämmten Gebäudehüllen weiter geführt. Da dieser Trend aber nur den Heizwärmeverbrauch berücksichtigt stellt sich berechtigterweise die Frage: Wie sieht es mit der Gesamtenergieoptimierung aus? Wird durch eine gute Dämmung der Gebäudehülle und sehr kompakte Bauweise allenfalls der Klimakälte- und Beleuchtungsenergiebedarf erhöht?

In der vorliegenden Studie werden vor allem zwei Fragestellungen untersucht:

- Sind Fensteranteil, g -Werte, U -Werte der Fassade und die Gebäudeform bei einem auf einen tiefen Heizwärmeverbrauch (Minergie-P Primäreranforderung) optimierten Bürogebäude vergleichbar mit einem auf einen tiefen Primärenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung optimierten Gebäude?
- Ist ein kompaktes Gebäude mit entsprechend minimalem Heizwärmeverbrauch aus Sicht des Primärenergiebedarfs für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung besser als ein auf eine gute Tageslichtnutzung optimiertes Gebäude mit tendenziell geringerer Kompattheit (aber geringeren Raumtiefen)?

Diese Fragen werden anhand von synthetischen Bürogebäuden untersucht. In einer Sensitivitätsanalyse wird weiter der Einfluss der Verschattungssituation, der internen Lasten (inkl. der Beleuchtung) sowie des Sonnenschutzes untersucht.

Für die unterschiedlichen Bürogebäude wird einerseits der Heizwärmeverbrauch nach der Norm SIA 380/1 [4] ermittelt. Andererseits wird der Energiebedarf für die Heizwärme, die Klimakälte und die Beleuchtung simuliert. Ausgehend von diesen Werten auf Stufe Nutzenergie wird über die Nutzungsgrade bzw. Jahresarbeitszahlen sowie über Primärenergiefaktoren der Bedarf auf Stufe Primärenergie berechnet. Dabei werden für die Primärenergiefaktoren verschiedene Werte berücksichtigt. Parallel wird auch eine Betrachtung der Treibhausgasemissionen durchgeführt.

Die Untersuchungen zeigen folgende Haupterkenntnisse:

- Der Nutzen einer sehr gut gedämmten Gebäudehülle (Minergie-P) gegenüber einer nur nach den heutigen gesetzlichen Vorschriften gedämmten Gebäudehülle ist bei einer Primärenergieträgerbetrachtung je nach verwendeten Energieträgern gering bzw. bei einer Treibhausgasbetrachtung nicht vorhanden. Es ist aber auch so, dass eine sehr gute Gebäudehülle nie zu einem höheren Primärenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung führt. Mit abnehmendem Heizwärmeverbrauch nimmt auch der Primärenergiebedarf ab.
- Das gewählte Heizsystem bzw. der verwendete Energieträger hat auf den Primärenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung einen grösseren Einfluss als der Dämmstandard der Gebäudehülle.
- Kompakte Gebäude weisen in der Tendenz einen tiefen Heizwärmeverbrauch auf. Oft aber weisen diese Gebäude Raumtiefen auf, welche eine Tageslichtnutzung erschweren, was zu einem hohen Beleuchtungsenergiebedarf führt. In der Gesamtbetrachtung sind sowohl wenig kompakte als auch extrem kompakte Gebäude ungünstig. Optimal sind kompakte Gebäude mit gleichzeitig geringen Raumtiefen.

Diese Aussagen beziehen sich auf eine Betrachtung des Primärenergiebedarfs für den Betrieb bzw. der Treibhausgas-Emissionen im Betrieb. Für eine umfassende Beurteilung ist die Mitberücksichtigung der Kosten (Investition, Betrieb, Energiepreisseigerungen) nötig. Dies konnte im Rahmen dieser Studie nicht berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass zukünftig bei Nicht-Wohnbauten stärker auf eine gesamtheitliche Beurteilung der (energetischen) Qualität eines Gebäudes auf Basis Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen geachtet werden sollte. Die gesamtheitliche Betrachtung kann dadurch gefördert werden, dass seitens des Gesetzgebers oder durch Standards wie Minergie® die Beurteilung auf einen gesamtheitlichen Grenzwert forciert wird.

Conclusion

Dans le MoPEC 2008 (Modèle de prescriptions énergétiques des cantons), la tendance à la promotion des très bonnes enveloppes de bâtiment, fût ces dernières années maintenue. Du fait que ce trend fasse seulement référence aux besoins de chaleur pour le chauffage, la question se pose de savoir, qu'en serait-il avec une optimisation énergétique globale du bâtiment ? Le besoin de froid et le besoin en éclairage serait-il dans tous les cas amélioré, ceci conjugué avec une meilleure isolation de l'enveloppe et un type de bâtiment plus compacte ?

Dans l'étude présentée les deux questions suivantes ont été analysées :

- La part vitrée des façades, la valeur U, le taux de transmission d'énergie globale et le facteur d'enveloppe sont-ils les mêmes pour un immeuble de bureau optimisé avec une faible besoins de chaleur pour le chauffage que pour le même objet optimisée au vu de son besoin primaire en énergie ?
- Un bâtiment de géométrie compacte avec un besoin énergétique minimal dans le sens du besoin primaire en énergie est il meilleur qu'un bâtiment ayant un apport en lumière diurne optimisée?

Les points ci-dessus ont été analysés à l'aide de modèles de locaux de bureau. Dans une phase d'analyse plus poussée des données, les facteurs suivant ont également été analysés. A savoir l'influence du facteur d'ombrage, des charges internes (éclairage inclus) et des protections solaires. Pour les différents bâtiments analysés, le besoins de chaleur pour le chauffage fût premièrement déterminé selon la norme (SIA 380/1). Pour sa part le besoin énergétique pour le chauffage/refroidissement/éclairage à été obtenu par simulation.

L'énergie primaire fût calculée par rapport aux résultats obtenus du besoin d'énergie utile. Ceci en prenant en compte le facteur d'occupation/coefficient de performance/facteur de pondération d'énergie primaire. Différentes setting de ce facteur de pondération d'énergie primaire ont été appliqués pour cette recherche. Au final, pour toutes ces différentes configurations, on a encore déterminé le potentiel d'émission de gaz à effet de serre.

Ce travail de recherche permet d'aboutir aux conclusions suivantes :

- L'avantage procuré par une très bonne enveloppe (Minergie-P) par rapport aux exigences légales actuelles est dépendant du vecteur énergétique utilisé, il est faible lors ce qu'on analyse celui-ci sous l'angle de l'énergie primaire et est quasi inexistant en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Une très bonne enveloppe n'engendre jamais un besoin plus élevé en énergie primaire en termes de chauffage, climatisation et éclairage. La diminution du besoin de chauffage engendre une baisse du besoin en énergie primaire.
- Le système de chauffage ainsi que le vecteur énergétique choisi ont une plus grande influence sur le besoin énergétique de (chauffage, refroidissement et d'éclairage) que la qualité physique et de construction du bâtiment.
- Les bâtiments de construction compacte ont tendance à montrer un besoin énergétique de chauffage plus faible. Il est important de relever que la profondeur des locaux joue un facteur important. Dans l'analyse globale des résultats, il est apparu que les types de bâtiments de géométrie extrême non-compacte / très compact sont défavorables. Les meilleures solutions sont obtenues avec des bâtiments compacts ayant des locaux de faible profondeur.

Ces conclusions se basent sur l'analyse du besoin en énergie primaire du bâtiment en exploitation, ceci en prenant également en compte leurs émissions de gaz à effet de serre. Afin de réaliser une étude complète de la problématique les points suivant sont également à analyser : l'énergie grise / coûts d'exploitation. Malheureusement cela n'a pas été réalisable dans le cadre de cette étude.

Les résultats démontrent clairement que dans le futur, une analyse globale de la qualité (énergétique) du bâtiment doit être réalisée pour les bâtiments non-résidentiels. Ceci en se basant sur le besoin primaire en énergie et le taux d'émission de gaz à effet de serre. Cette prise en compte de l'énergie globale du bâtiment ne pourra être effectuée, que par une prise de position du législatif, ou de standards tels que Minergie® allant dans ce sens. Ceci implique une augmentation des exigences des valeurs limites énergétiques.

Glossar

Die in diesem Bericht verwendeten Begriffe richten sich weitestgehend nach der Norm SIA 416/1 [15]. Für den Zweck dieser Studie werden jedoch für die Begriffe Gesamtenergieeffizienz und Nutzenergie leicht abweichende Definitionen verwendet.

Gesamtenergieeffizienz	Gesamtenergieeffizienz wird erreicht, indem der Energiebedarf für den Betrieb eines Gebäudes über alle Verwendungszwecke (Heizen, Warmwasser, Lüften, Klima, Beleuchtung und Betriebseinrichtungen) optimiert wird. Falls ein Gebäude mit unterschiedlichen Energieträgern versorgt wird, muss eine Optimierung der Gesamtenergieeffizienz auf Stufe Primärenergie oder Treibhausgasemissionen erfolgen. Im Rahmen dieser Studie wird die Optimierung der Gesamtenergieeffizienz auf die Verwendungszwecke Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung eingeschränkt.
Thermische Gebäudehülle	Die thermische Gebäudehülle setzt sich aus den Bauteilen zusammen, welche die beheizten und/oder gekühlten Räume allseitig und vollständig umschließen.
Energiebezugsfläche (EBF)	Summe aller ober- und unterirdischen Geschossflächen die innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und für deren Nutzung ein Beheizen oder Klimatisieren notwendig ist. Diese Fläche ist in SIA 416/1 [15] im Detail definiert.
Beleuchtung	Beleuchtung von Innen-Räumen (Raumbeleuchtung, Dekorationsbeleuchtung, Sicherheits- und Notbeleuchtung usw.).
Primärenergie	Form der Rohenergie, die noch keiner technischen Umsetzung oder Umwandlung und keinem Transport unterworfen worden ist, z.B. Rohöl, Erdgas, Uran oder Kohle in der Erde, Holz im Stand, Solarstrahlung, potentielle Energie des Wassers, kinetische Energie des Windes. Die Primärenergie beinhaltet die Energien für die Heizung, Kühlung und Beleuchtung.
Primärenergie Erstellung (Graue Energie)	Gesamte Menge nicht erneuerbarer Primärenergie, die für alle vorgelagerten Prozesse, vom Rohstoffabbau über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und für die Entsorgung, inkl. der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel, erforderlich ist. Sie wird auch als kumulierte, nicht erneuerbare Energieaufwand bezeichnet. Die Graue Energie und die Grauen Treibhausgasemissionen der Bauteile werden auf Grund ihrer Amortisationszeit in Werte pro Jahr umgerechnet.
Primärenergiefaktor	Dieser Faktor berücksichtigt die Energie, die erforderlich ist, um die Energie zu gewinnen, umzuwandeln, zu raffinieren, zu lagern, zu transportieren und zu verteilen, sowie alle Vorgänge, die erforderlich sind, um die Energie dem Gebäude zuzuführen, das sie verbraucht.

Treibhausgasemission	Menge der Treibhausgase (CO_2 , Methan, Lachgas und weitere klimawirksame Gase), die als Folge der Lieferung der Netto-Primärenergie an das Gebäude emittiert werden.
Treibhausgas-Emissionskoeffizient	Menge der Treibhausgase, die pro verwendete Energieeinheit in die Atmosphäre emittiert wird. Sie wird als äquivalente CO_2 -Emissionsmenge ausgedrückt, die denselben Treibhauseffekt wie die Gesamtheit der Treibhausgasemissionen hat. Zusätzlich zu den beim Primärenergiefaktor berücksichtigten Prozessen berücksichtigt er die Treibhausgasemission bei der Verbrennung innerhalb des Bilanzperimeters.
Energieträger	Substanz oder Erscheinung, die eingesetzt werden kann, um mechanische Arbeit oder Wärme zu erzeugen oder physikalische oder chemische Prozesse auszulösen. Der Energiegehalt von Brennstoffen ist durch ihren Brennwert gegeben. Energieträger sind Elektrizität, Holz, Kohle, Heizöl, Erd- oder Flüssiggas, Biogas, Fernwärme, Umgebungswärme, Sonnen- oder Windenergie und Geothermie. (SIA 2031 [11])
Heizwärmebedarf	Wärme, die dem beheizten Raum durch eine Heizungsanlage zugeführt werden muss, um den Sollwert der Raumtemperatur aufrecht zu erhalten.
Klimakältebedarf	Wärme, die dem klimatisierten Raum durch eine Kühlanlage entzogen werden muss, um den Sollwert der Raumtemperatur aufrecht zu erhalten.
Nutzenergie	Thermische Energie, die dem Verbraucher unmittelbar zur Verfügung steht, z.B. als Wärme im Raum, als dem Raum entzogene Wärme (Kühlung) oder als Warmwasser an der Entnahmestelle. Im Rahmen dieser Studie wird – in Abweichung zur SIA Definition - auch die für die Raumbeleuchtung eingesetzte Elektrizität der Nutzenergie zugeordnet, obwohl es sich dabei gemäss Definition um eine Endenergie handelt.
Primärenergiebedarf	Ist die Summe des Heizwärme-, Klimakälte- und Beleuchtungsenergiebedarfs, gewichtet mit den entsprechenden Primärenergiefaktoren.
Minergie-P-Primäranforderung	Minergie-P Anforderung an die Gebäudehülle. Bei Neubauten entspricht die Anforderung dem Zielwert der Norm SIA 380/1:2009 [4].

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	9
1.1.	Ausgangslage	9
1.2.	Fragestellung	10
1.3.	Abgrenzung.....	10
1.4.	Vorgehen.....	10
1.5.	Aufbau des Berichts.....	11
2.	MINERGIE-P Primärenforderung vs. Gesamtenergieeffizienz.....	12
2.1.	Fragestellung	12
2.2.	Vorgehen.....	13
2.2.1.	Beschrieb der analysierten Gebäude	16
2.2.2.	Variation der Parameter	18
2.3.	Ergebnisse	18
2.3.1.	Nutzenergie	18
2.3.2.	Primärenergie	20
2.4.	Sensitivitätsanalyse	21
2.5.	Schlussfolgerungen	25
3.	Gebäudekompaktheit vs. Gesamtenergieeffizienz	26
3.1.	Fragestellung	26
3.2.	Vorgehen.....	26
3.3.	Nutzenergiebedarf	29
3.4.	Primärenergiebedarf (mit Erdsonden-Wärmepumpe).....	30
3.5.	Primärenergiebedarf (mit weiteren Wärmeerzeugern)	31
3.6.	Treibhausgasemissionen (mit Erdsonden-Wärmepumpe)	32
3.7.	Treibhausgasemissionen (mit weiteren Wärmeerzeugern)	33
3.8.	Einfluss der Qualität der Bauhülle.....	35
3.9.	Schlussfolgerungen	38
3.9.1.	Primärenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung.....	38
3.9.2.	Treibhausgasemissionen für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung	38
4.	Sensitivitätsanalysen.....	39
4.1.	Grundvariante	40
4.2.	Beleuchtung	41
4.3.	Sonnenschutz	42
4.4.	Städtische Verschattung	43
4.5.	Interne Lasten	44
4.6.	Fazit	44
5.	Primärenergiebedarf für Erstellung (graue Energie) / Betrieb	45
5.1.	Treibhausgasemissionen im Betrieb.....	45
5.2.	Treibhausgasemissionen / Primärenergiebedarf für Erstellung.....	45
5.3.	Treibhausgasemissionen in Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs	46
5.4.	Fazit	49
6.	Einfluss der Primärenergiefaktoren (Sensitivitätsanalyse)	50
6.1.	Primärenergiefaktoren SIA Öko	51
6.2.	Minergie-Gewichtungsfaktoren 2009	52
6.3.	Erneuerbare Energie am Standort.....	53
6.4.	Fazit	54
7.	Einfluss der Beleuchtungsenergie	55
7.1.	Fragestellung	55
7.2.	Ergebnisse	55
7.3.	Fazit	56
8.	Fazit und Ausblick	57
8.1.	Fazit für Gesetzgeber, Behörden, Normenschaffende, Minergie	57
8.2.	Fazit für Planende	58
8.3.	Offene Fragen	58

9.	Literaturverweise.....	59
A 1.	Übersicht Gebäude und Varianten.....	61
A 1.1.	Fenster.....	61
A 1.2.	Opake Konstruktionen	62
A 2.	Thermische Behaglichkeit und bauliche Anforderungen	64
A 2.1.	Sonnenschutz.....	64
A 2.2.	Wärmespeicherfähigkeit.....	64
A 2.3.	Raumluftqualität.....	65
A 2.4.	Raumlufttemperaturen.....	65
A 2.5.	Glas U-Werte und Fensterhöhe.....	65
A 3.	Berechnung nach Norm SIA 380/1:2009	67
A 3.1.	Berechnung für Grundvariante	67
A 3.2.	Einfluss einer städtischen Verschattung auf Q_h	67
A 3.3.	Berechnung T1_1_01	70
A 4.	Vergleich Solargewinne mit SIA 380/1 und IDA	74
A 5.	Resultate SIA 380/4	75
A 6.	MINERGIE-P Antrag Version 11.....	80
A 6.1.	Berechnungen der Minergie-P-Anforderungen	80
A 6.2.	Berechnung T1_1_01 mit WP	81
A 7.	Resultate Primärenergie	87
A 7.1.	Grundvariante	88
A 7.2.	Variante mit reduzierter Beleuchtungsleistung.....	92
A 7.3.	Variante mit transparenterem Sonnenschutz	95
A 7.4.	Variante mit städtischer Verschattung.....	98
A 7.5.	Variante mit hohen internen Lasten.....	101
A 8.	Berechnungen Primärenergiebedarf für Erstellung / Rückbau und Treibhausgasemissionen.	102

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage

Die 2000-Watt-Gesellschaft [1] definiert ein Budget für Primärenergie und Treibhausgasemissionen pro Erdenbewohner. Dabei wird frei gelassen, für welchen Verwendungszweck wie viel Energie und Treibhausgasemissionen aufgewendet werden dürfen. Der SIA Effizienzpfad Energie [2] definiert, wie Gebäude den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft gerecht werden können. Dabei wird die Gebäudeerstellung (Graue Energie), die Betriebsenergie (Heizwärme, Warmwasser, Lüftung/Klima, Beleuchtung und Betriebseinrichtungen) und die gebäudeinduzierte Mobilität berücksichtigt. GebäudeLabel wie Minergie oder Minergie-P [3] definieren Anforderungen an den Heizwärmebedarf (thermische Qualität der Gebäudehülle), an die gewichtete Energiekennzahl (für Heizen, Lüften und Kühlen) sowie an den Beleuchtungsenergiebedarf (bei Nicht-Wohnnutzungen). Bei Minergie wird aber keine integrale Vorgabe für den gesamten Energiebedarf des Gebäudes gemacht.

Die gesetzlichen Vorgaben – oft an die entsprechenden SIA-Normen gebunden – definieren sehr spezifische Anforderungen an einzelne Verwendungszwecke der Energie: Die Norm SIA 380/1 [4] beinhaltet die Anforderung an den Heizwärmebedarf, die Norm SIA 380/4 [5] definiert Vorgaben für den Beleuchtungsenergiebedarf und die SIA 382/1 [6] (sowie die SIA 380/4) definieren Anforderungen an den Elektrizitätsbedarf für Lüftung/Klima.

Diese spezifischen Vorgaben für einzelne Verwendungszwecke der Energie führen tendenziell dazu, dass im Planungsprozess nicht eine Optimierung des Gesamtsystems „Gebäude“ durchgeführt wird, sondern mehrere punktuelle Optimierungen durchgeführt werden. Die Erfahrung zeigt aber, dass im Optimierungsprozess eine gesamtheitliche Betrachtung ein wichtiger Faktor sein kann. Die Summe vieler minimierter Einzelverbräuche (verschiedene Verwendungszwecke) ist unter Umständen höher als ein integral minimierter Gesamtverbrauch – vor allem auch dann, wenn für die Berechnung der Einzelverbräuche unterschiedliche oder gar sich widersprechende Randbedingungen verwendet werden. Zwischen einzelnen Bereichen (z.B. Tageslichtnutzung, sommerlicher Wärmeschutz, passiv-solare Gewinne) bestehen grosse Abhängigkeiten und Zielkonflikte, welche es in einer Gesamtoptimierung zu berücksichtigen gilt.

Gehen also heute die Optimierungsüberlegungen betreffend Energiebedarf eines Gebäudes noch selten von einer gesamtheitlichen Betrachtung aus, sind die neuen Normenentwürfe SIA 382/2 [16] und SIA 382/3 [17] ein erster Schritt in diese Richtung: Der Bedarf für Heizwärme, Klimakälte, Lüftungs- und Beleuchtungsenergie wird integral betrachtet und kann somit auch gesamtheitlich optimiert werden.

Konkret besteht nun bei Minergie-P-Gebäuden ein Verdacht: Die stark forcierte Maximierung der Dämmeigenschaften der Gebäudehülle und der solaren Gewinne führen teilweise zu einer übermässigen Erhöhung des Klimakältebedarfs und somit zu einer nicht optimalen Gesamtenergiebilanz. 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 Bürogebäude mit hohen internen Lasten sowie Verkaufs-, Spital- oder Industriebauten.

Ein weiterer Punkt der bei einer Gesamtoptimierung zu Zielkonflikten in der Planung führen kann, ist das Thema „Kompaktheit“ sowie die Ausrichtung der Fensterflächen: Die Norm SIA 380/1 [4] privilegiert kompakte Bauten zwecks Minimierung der Wärmeverluste. Diese Bauweise hat aber einen negativen Einfluss auf die Tageslichtnutzung. Dominiert nun z.B. bei Bürogebäuden der Energiebedarf für die Beleuchtung und ist gleichzeitig der Heizwärmebedarf marginal, stellt sich berechtigerweise 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 Gebäudehülle von einem auf die Minergie-P-Primäranforderung optimierten Gebäude abweicht.

1.2. Fragestellung

Zwei Fragen stehen im Vordergrund:

- Ist ein auf die Minergie-P-Primäranforderung optimiertes Gebäude betreffend Fensteranteil, U-Werte, g-Werte der Fassade sowie der Gebäudeform identisch 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?

Diese beiden Fragestellungen werden anhand von verschiedenen Bürogebäuden untersucht. Die Ergebnisse sind in den Abschnitten 2 und 3 dieses Berichtes erläutert.

Parallel dazu entstanden im Laufe der Analysearbeiten weitere Fragen aus dem gleichen Kontext, eine Auswahl davon sei hier aufgeführt:

- Welchen Einfluss haben die internen Lasten? Ändern sich die Kernaussagen ab einem bestimmten Wert?
- Bestehen Unterschiede zwischen einer städtischen Situation und einer Situation ohne markante Verschattung durch Nachbargebäude?
- Welchen Einfluss hat die Qualität (betreffend Reduktion Energie- und Lichtdurchlassgrad) des Sonnenschutzes?
- Welchen Einfluss haben die Energieträger (bzw. die entsprechenden Gewichtungsfaktoren / Primärenergiefaktoren) auf die Antworten zu den beiden Hauptfragen?
- Welchen Einfluss hat die Wahl eines bestimmten Stromproduktes am Beispiel Ökostrom aus Wasserkraft.
- Wie lauten die Empfehlungen, wenn anstelle der Primärenergie die Treibhausgasemissionen als massgebendes Kriterium betrachtet werden?

Die Überlegungen zu diesen zusätzlichen Fragen sind – wenn nicht bereits im Abschnitt 2 und 3 von Relevanz – in den Abschnitten 4 bis 7 dokumentiert.

Die Erkenntnisse aus der Studie können in die Weiterentwicklung von Standards und Normen einfließen. Angesprochen werden mit dem Bericht deshalb vor allem der Verein Minergie, die Normengremien des SIA sowie Vertreter von Bund und Kanton.

1.3. Abgrenzung

Diese Untersuchungen werden mittels diversen „Gesamtenergiebetrachtungen“ durchgeführt, wobei hier damit der Bedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtungsenergie gemeint ist. Andere Energieverbraucher (Betriebseinrichtungen, Pumpen, Ventilatoren etc.) werden hier nicht berücksichtigt, sie haben keinen signifikanten Einfluss auf die Endergebnisse bzw. weisen bei allen Variationen vergleichbare Werte auf. In eine umfassende Gesamtbeurteilung gehört zudem auch der Aspekt der Primärenergie der Bauteile (Graue Energie). Um den Umfang der vorliegenden Studie einzuschränken konnte auf diesen Aspekt nur am Rande (Abschnitt 5) eingegangen werden.

1.4. 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. Um den Aufwand für die diversen Berechnungen

(Simulationen) in Grenzen zu halten, ist bei der Variation eine Beschränkung auf die wesentlichsten Einflussparameter nötig. Für die Berechnungen werden die Methode nach Norm SIA 380/1 und das Simulationstool IDA ICE 4 eingesetzt. In den Abschnitten 2 und 3 sind fragenspezifisch das Vorgehen und die analysierten Gebäude beschrieben. Die Bauteilkonstruktionen sind für alle Fragestellungen identisch und werden im Anhang A1 beschrieben.

1.5. Aufbau des Berichts

Der vorliegende Bericht definiert die wesentlichen Ergebnisse. Viele Detailergebnisse werden – zur besseren Übersichtlichkeit des Hauptteils – nur im Anhang dokumentiert.

Die Antworten auf die beiden Hauptfragen werden in zwei Abschnitten gesondert betrachtet (Abschnitt 2 und 3). Im Abschnitt 4 werden die Ergebnisse weiterer Detailfragen und der Zusatzfragen, die erst im Verlauf der Analyse entstanden sind, dokumentiert. Im Abschnitt 5 sind zusätzliche Auswertungen auf Basis der Treibhausgasemissionen beschrieben und in den Abschnitten 6 und 7 wird der Einfluss der verwendeten Energieträger, ergo der Einfluss der Primärenergiefaktoren, auf die Ergebnisse analysiert.

Abschliessend wird im Abschnitt 8 ein Gesamtfazit gezogen, es werden Empfehlungen formuliert und es wird weiterer Forschungsbedarf identifiziert.

2. MINERGIE-P Primärforderung vs. Gesamtenergieeffizienz

2.1. Fragestellung

Die Primärforderung von Minergie-P verlangt, dass der Heizwärmeverbrauch weniger als 60% des in der Norm SIA 380/1 definierten Grenzwertes beträgt (Neubau). Dies entspricht dem Zielwert nach Norm SIA 380/1. Diese Anforderung ist nur eine von mehreren Anforderungen von Minergie-P, erweist sich meist aber als anspruchsvollste Anforderung. In Bürogebäuden zeigt die Erfahrung, dass der Heizwärmeverbrauch relativ gering ist und aufgrund der passiv-solaren Gewinne sowie der internen Lasten solche Bauten vor allem außerhalb der effektiven Nutzungszeiten beheizt werden müssen. Größere Bedeutung bekommt dann der Energieverbrauch für Klimakälte und für Beleuchtung zu. Je nach Situation kann eine sehr gut gedämmte Gebäudehülle sowohl den Klimakältebedarf (verminderte Auskühlung des Gebäudes) als auch den Beleuchtungsenergiebedarf erhöhen (schlechtere Tageslichtnutzung aufgrund der Dreifachverglasung).

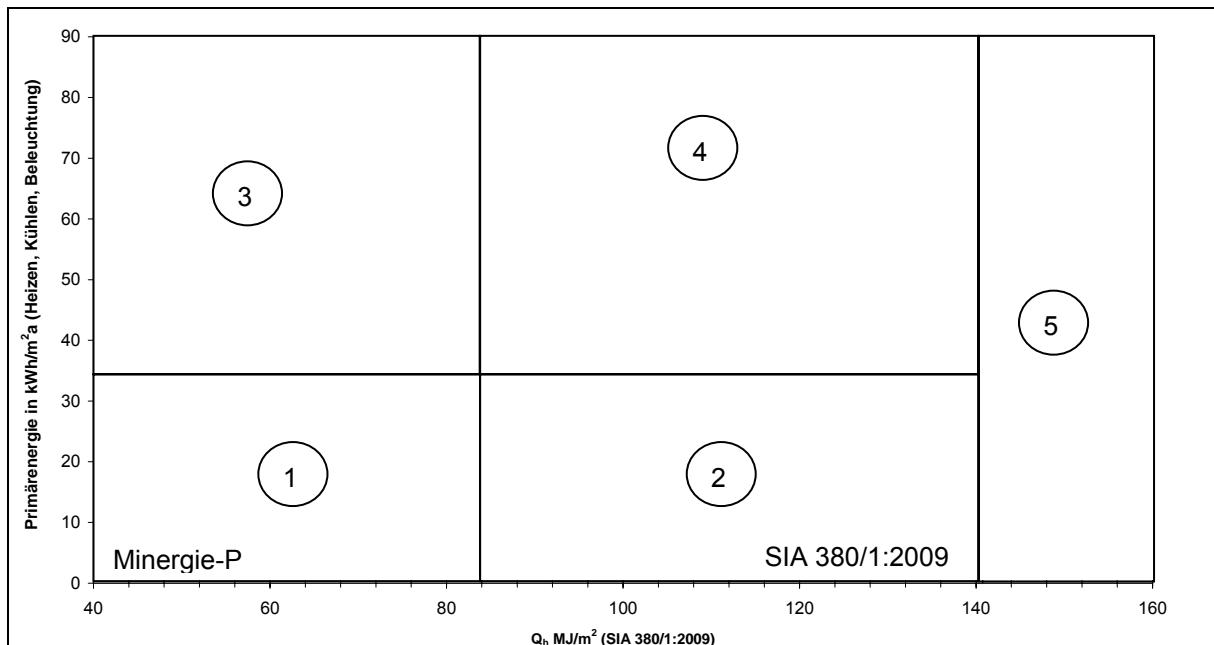
Es stellt sich deshalb die Frage, ob und unter welchen Umständen die Optimierung auf einen sehr tiefen Heizwärmeverbrauch zur Erfüllung der Primärforderung bei Minergie-P den Gesamtenergieverbrauch für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung erhöhen kann – oder anders formuliert: Ist ein auf die Minergie-P-Primärforderung optimiertes Bürogebäude betreffend Fensteranteil, U-Werte, g-Werte der Fassade und der Gebäudeform identisch mit einem auf einen minimalen Primärenergieverbrauch betreffend Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung optimierten Gebäude?

Hinweis: In folgender Analyse nicht berücksichtigt wird der Energieverbrauch für die Lüftung, für Betriebseinrichtungen und das Warmwasser. Diese Anteile am Gesamtenergieverbrauch sind für die hier diskutierte Fragestellung irrelevant. Für eine umfassende Beurteilung müsste jedoch die Graue Energie mitberücksichtigt werden und es wäre auch eine Beurteilung über die Investitions- und Betriebskosten (Life-Cycle-Costs) nötig. Dies wird aber hier aus Gründen der Vereinfachung vorerst nicht gemacht.

Die Figur 1 veranschaulicht die oben formulierte Fragestellung. Sie zeigt für verschiedene Gebäudevarianten den Heizwärmeverbrauch Q_h (nach SIA 380/1 [4]) auf der x-Achse und den jeweiligen Primärenergieverbrauch für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtungsenergie auf der y-Achse. Objekte im Feld 1 weisen sowohl einen tiefen Primärenergieverbrauch als auch einen tiefen Heizwärmeverbrauch (Minergie-P-Primärforderung erfüllt) auf. Im Feld 2 befinden sich Objekte, die ebenfalls einen tiefen Primärenergieverbrauch aufweisen, aber einen vergleichsweise hohen Heizwärmeverbrauch haben (der SIA 380/1 [4] Grenzwert ist erfüllt, nicht aber die Minergie-P-Primärforderung). Objekte im Feld 3 erfüllen zwar die Minergie-P-Primärforderung, haben aber einen vergleichsweise hohen Primärenergieverbrauch. Objekte im Feld 4 erfüllen nur noch den SIA 380/1 [4] Grenzwert beim Heizwärmeverbrauch und haben gleichzeitig einen relativ hohen Primärenergieverbrauch. Die Objekte im Feld 5 erfüllen betreffend Heizwärmeverbrauch den SIA 380/1 [4] Grenzwert nicht.

Im Fokus der vorliegenden Studie steht die Frage, wie häufig und unter welchen Bedingungen Objekte im Feld 2 oder gar im unteren Bereich des Feldes 5 anzutreffen sind, d.h. sie erfüllen die Anforderungen von Minergie(-P) nicht, obwohl sie einen tiefen Primärenergieverbrauch haben.

Figur 1: Einteilung der Energiekennzahlen der Objekte in verschiedene „Effizienzfelder“



2.2. 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. Um die Anzahl der zu rechnenden Varianten sowie den Aufwand für die diversen Berechnungen in Grenzen zu halten, wird nur eine beschränkte Anzahl Parameter variiert. Die Berechnungen werden einerseits nach den Normen SIA 380/1 [4] sowie SIA 380/4 [5] (Beleuchtung) und anderseits mit dem Simulationstool IDA ICE 4 [8] durchgeführt.

In Figur 2 ist das Vorgehen dargestellt. Die Gebäudetypen werden auf Basis von Erfahrungen der Zertifizierungsstelle Minergie-P, von reellen Objektplanungen (Lemon Consult GmbH) und der BFE-Studie *Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten* [9] definiert. Für die unterschiedlichen Gebäudegeometrien werden folgende Parameter variiert:

- U-Wert opake Bauteile
- U-Wert Verglasung
- g-Wert Verglasung
- Fensteranteil in der Fassade

Für alle verschiedenen Gebäudevarianten wird einerseits der Heizwärmebedarf nach der Norm SIA 380/1 und anderseits der Gesamtenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung mit dem Simulationsprogramm IDA ICE berechnet. Zur Überprüfung ob die verschiedenen Gebäude die Anforderung von Minergie-P an den Beleuchtungsenergiebedarf erfüllen, wird auch eine Berechnung nach SIA 380/4 (Beleuchtung) durchgeführt. Die Resultate sowie ein Vergleich des Heizwärmebedarfs Q_h mit den Simulationsergebnissen sind im Anhang zu finden.

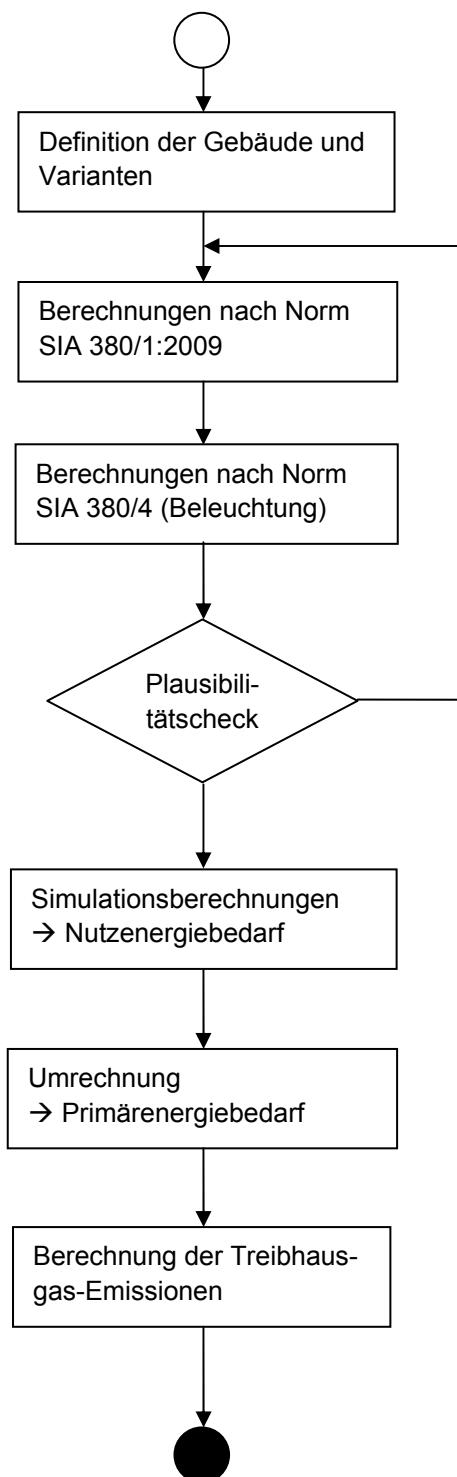
Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind alle auf Stufe Nutzenergie. Die Ergebnisse der Simulationen werden zusammengefasst und mittels Nutzungsgraden/Jahresarbeitszahlen

und Primärenergiefaktoren (je nach Energieträger) auf einen Gesamtenergiebedarf auf Stufe Primärenergie umgerechnet. Für die Analyse werden folgende Energieträger berücksichtigt:

- Erdsonden-Wärmepumpe (Strom)
- Fernwärme (Schweizer Durchschnittswert)
- Gasheizung
- Holzheizung (Pellet)

Abschliessend werden für die gleichen Energieträger und die verschiedenen Gebäudetypen die Treibhausgasemissionen ermittelt.

Figur 2: Vorgehen bei der Berechnung



Gebäudebeschreibung in Abschnitt 2.2.1 und Anhang A 1, Variantenbeschreibung im Abschnitt 2.2.2

Anhang A 3

Anhang A 5

Abschnitt 2.3.1, alle Resultate sind im Anhang A 7 tabellarisch aufgelistet.

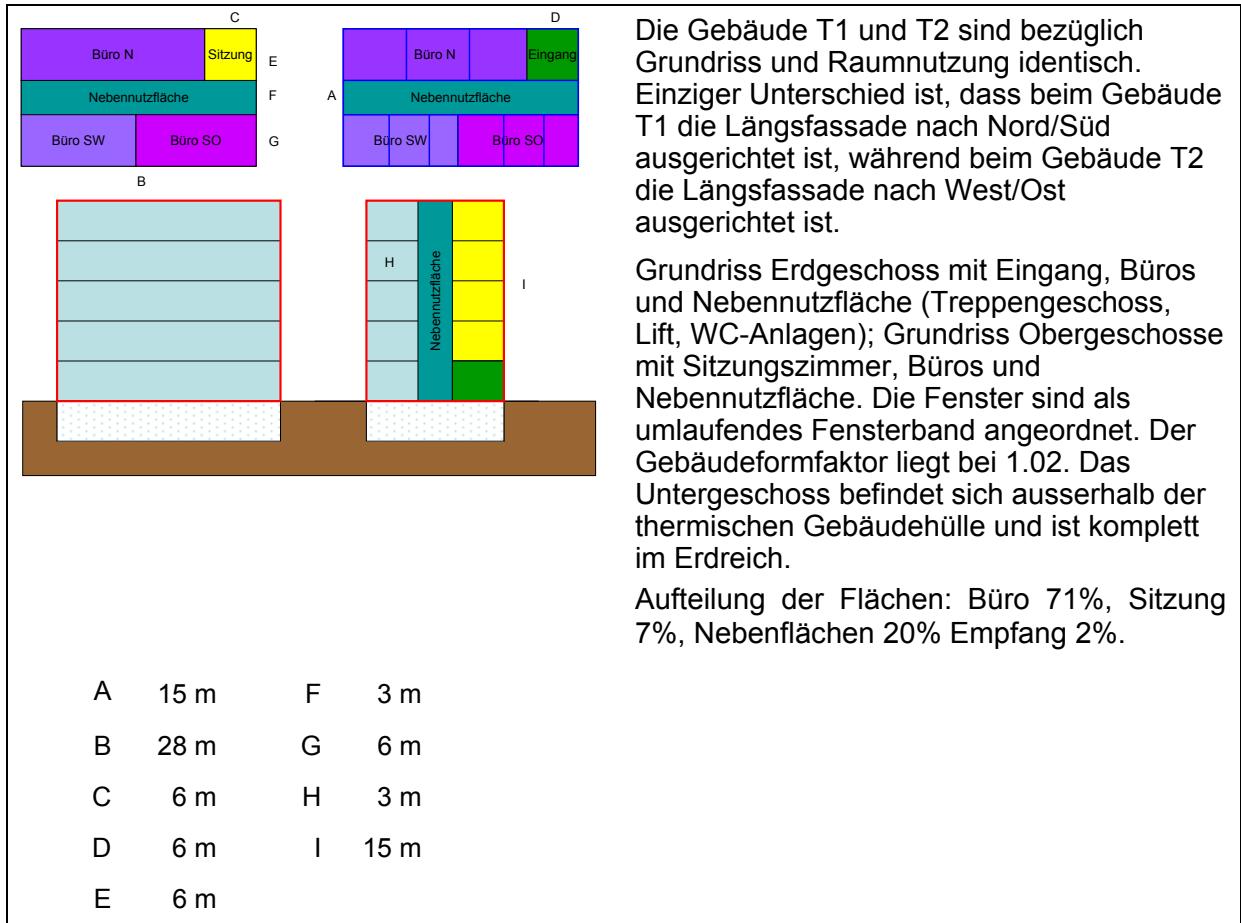
Abschnitt 2.3.2, alle Resultate sind im Anhang A 7 tabellarisch aufgelistet.

Abschnitt 5 und Anhang A 8.

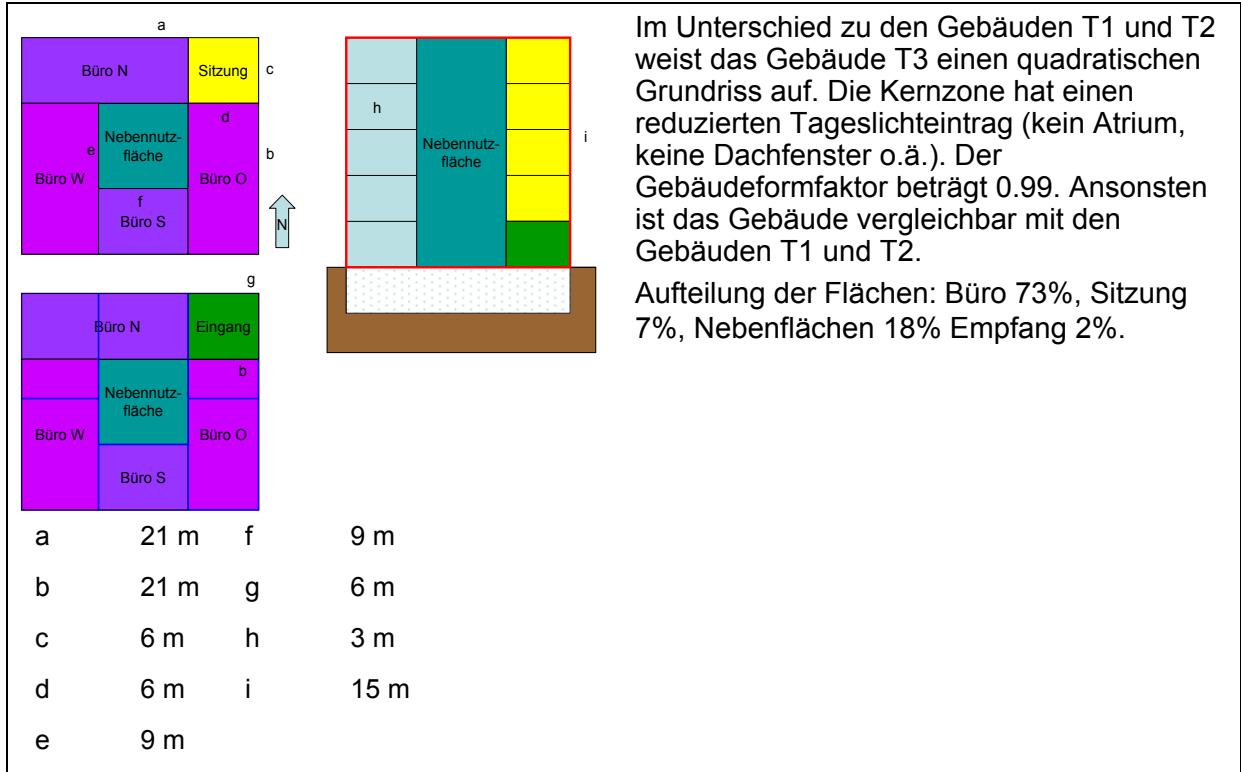
2.2.1. Beschrieb der analysierten Gebäude

Gewählt wurden vier Gebäude welche typische Bürogebäude in der Schweiz repräsentieren. Der grösste Teil der Nutzfläche wird als Büro genutzt, zusätzlich sind Sitzungszimmer, ein Empfang sowie Nebenräume für Treppe, Lift und WC-Anlagen berücksichtigt. Die Bauteile und Konstruktionen (Aussen- und Innenwände, Boden, Zwischenböden, Dach) sind bei allen Gebäudetypen identisch (siehe Anhang A1).

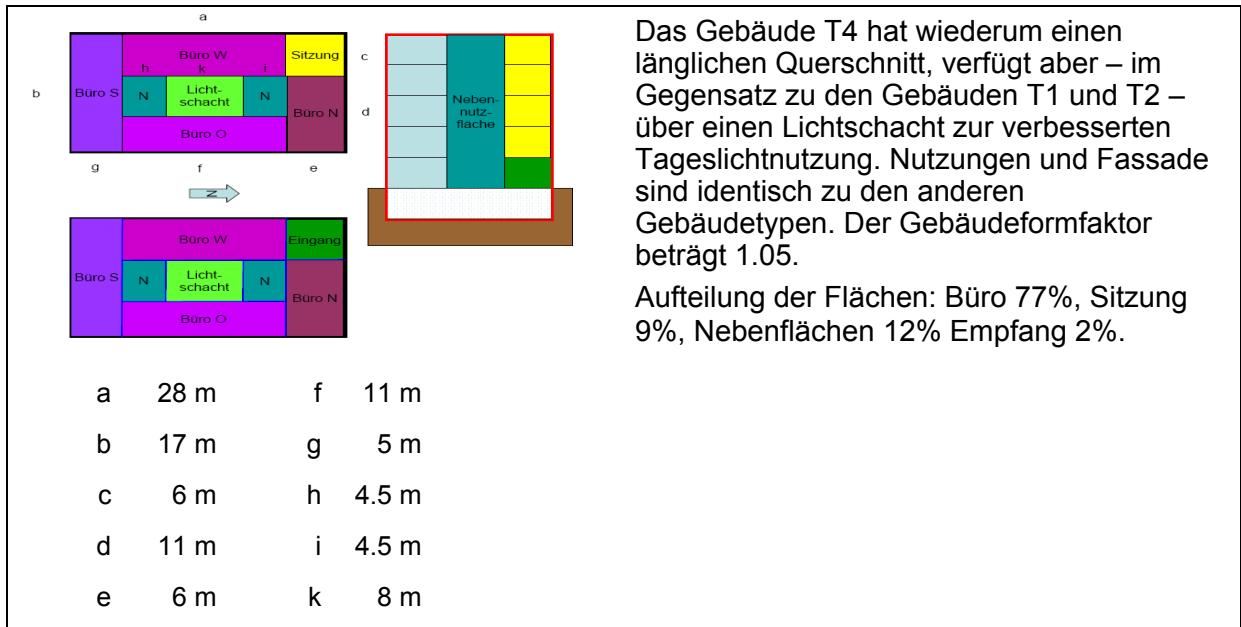
Figur 3: Geometrie und Nutzungen Gebäude T1 und T2



Figur 4: Geometrie und Nutzungen Gebäude T3



Figur 5: Geometrie und Nutzungen Gebäude T4



2.2.2. Variation der Parameter

Für alle Gebäudetypen werden in der Analyse folgende Parameter variiert (je zwei unterschiedliche Werte): U -Werte der opaken Bauteile sowie der Verglasungen, g -Wert der Verglasung sowie der Anteil der Fensterflächen in Bezug auf die Netto-Fassadenfläche. Die daraus resultierenden 16 Kombinationen sind in Tabelle 1 zu sehen.

Tabelle 1: Zusammenstellung aller Kombinationen (gültig für alle Gebäudetypen). Es wurden bewusst auch Kombinationen gewählt, welche zurzeit in der Praxis (noch) nicht realisierbar sind (z.B. ein Glas mit $U_g = 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $g = 0.6$).

Nummer	U -Wert opak	U -Wert Glas	g -Wert Glas	Fensterfläche
	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	--	%
01	0.10	0.50	0.40	50
02	0.10	0.50	0.40	70
03	0.10	0.50	0.60	50
04	0.10	0.50	0.60	70
05	0.10	1.00	0.40	50
06	0.10	1.00	0.40	70
07	0.10	1.00	0.60	50
08	0.10	1.00	0.60	70
09	0.20	0.50	0.40	50
10	0.20	0.50	0.40	70
11	0.20	0.50	0.60	50
12	0.20	0.50	0.60	70
13	0.20	1.00	0.40	50
14	0.20	1.00	0.40	70
15	0.20	1.00	0.60	50
16	0.20	1.00	0.60	70

Die Berechnungen der 16 Varianten erfolgen für alle vier Gebäudetypen mit freiem Horizont, einer aus heutiger Sicht sehr guten Beleuchtung (Steuerung über Präsenzmelder und tiefe installierte Leistungen), standardmässigen internen Personen- und Gerätelasten für Einzel- und Gruppenbüros (gemäss Merkblatt 2024 [10]) sowie einem Sonnenschutz mit guter Reduktionswirkung und automatischer Steuerung. Detaillierte Angaben zu den Randbedingungen sind im Anhang A1 aufgeführt.

Mit dem Bezeichnungsschema T1_1_01 ist jede Variante eindeutig identifizierbar. Der erste Teil der Bezeichnung (T1) identifiziert das Gebäude und ist in den Figuren 3 bis 5 beschrieben. Der mittlere Teil (_1_) steht für die Grundvariante und richtet sich nach der Tabelle 5. Der Schluss (01) steht für die Parametervariante und richtet sich nach der Tabelle 1.

2.3. Ergebnisse

2.3.1. Nutzenergie

Aus den Simulationen resultieren der Heizwärme-, der Klimakälte- und der Beleuchtungsenergiebedarf auf Stufe Nutzenergie (somit ohne Berücksichtigung allfälliger Wirkungsgrade oder Jahresarbeitszahlen). Figur 6 zeigt den summierten Nutzenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung für alle Varianten und alle vier Gebäudetypen. Dargestellt sind spezifische Werte pro EBF.

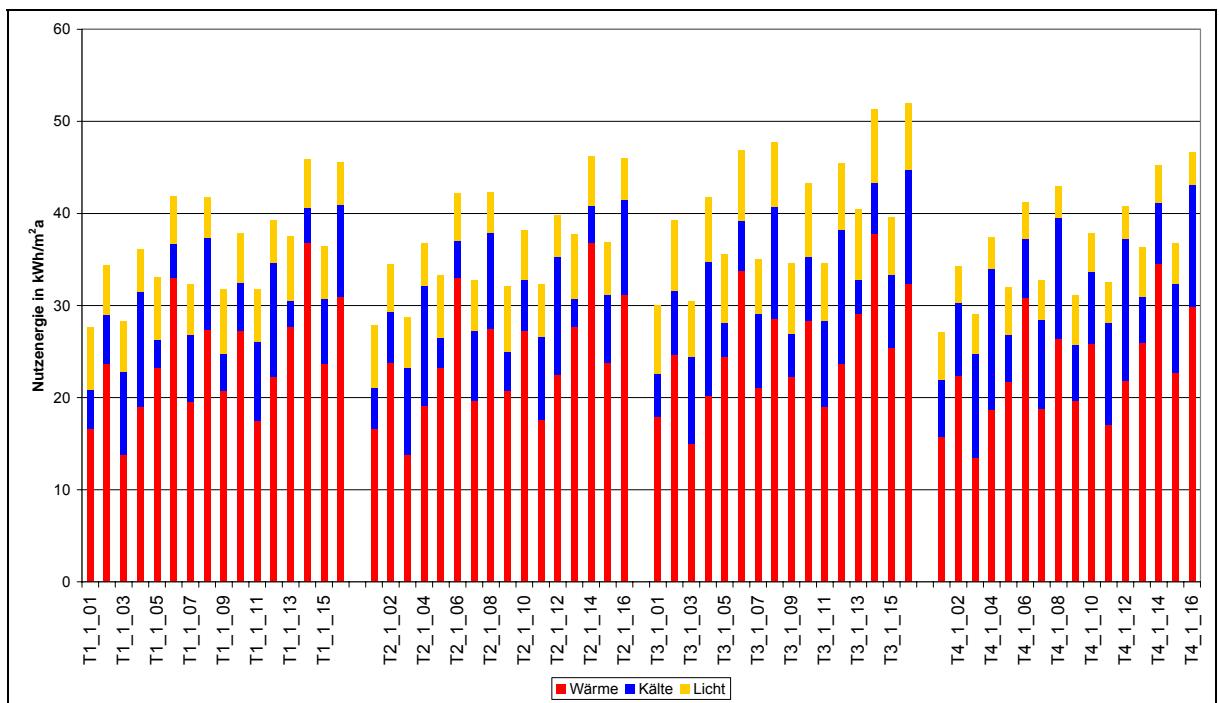
Auffallend ist der doch recht hohe Heizwärmbedarf, zeigt doch die allgemeine Erfahrung, dass dieser in heutigen Bürogebäuden mit gutem Dämmstandard oft fast schon vernachlässigbar ist. Der hier gerechnete, unerwartet hohe Anteil des Heizwärmbedarfs ist mit grosser Wahrscheinlichkeit auf zwei Punkte zurück zu führen:

- Die internen Wärmelasten der Betriebseinrichtungen wurden verhältnismässig tief eingesetzt (in Realität meist höher)
- Bei der Beleuchtung handelt es sich um eine sowohl betreffend installierter Leistung als auch betreffend Steuerung optimierten Beleuchtung, was zu relativ tiefen Abwärmelasten führt.

Folgende Erkenntnisse liefert Figur 6:

- Eine Drehung des Gebäudes um 90° ($T1 \rightarrow T2$) hat einen marginalen Einfluss auf den Nutzenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung. Das umlaufende Fensterband ist auf allen Fassadenseiten identisch und nicht auf eine bestimmte Orientierung ausgerichtet.
- Den höchsten Nutzenergiebedarf hat das Gebäude $T3$ (Tageslichtnutzung eingeschränkt). Die Gebäude $T1$, $T2$ und $T4$ liegen in etwa gleich auf. Die Unterschiede liegen im Bereich von rund 10%.

Figur 6: Nutzenergiebedarf der Grundvarianten aller Gebäude bezogen auf die EBF.



Verschiedene Sensitivitätsanalysen haben gezeigt, dass mit Erhöhung der internen Lasten die Aufteilung des Nutzenergiebedarfs auf verschiedene Nutzungen sehr schnell kippen kann. Bei einer nicht optimalen – heute wohl eher die Realität darstellenden – Beleuchtung macht der Energiebedarf für die Beleuchtung schnell einmal einen signifikanten Anteil aus (weil dadurch auch gleichzeitig der Heizwärmebedarf reduziert wird).

2.3.2. Primärenergie

Für die Umrechnung der Nutzenergie in Endenergie und Primärenergie werden die Umrechnungsfaktoren (Nutzungsgrad η , Jahresarbeitszahl JAZ, Primärenergiefaktoren) aus dem SIA Merkblatt 2031 [11] verwendet (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Übersicht zu den verwendeten Nutzungsgraden, Jahresarbeitszahlen und Primärenergiefaktoren (Quellen: SIA Merkblatt 2031 [11] und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen [12]).

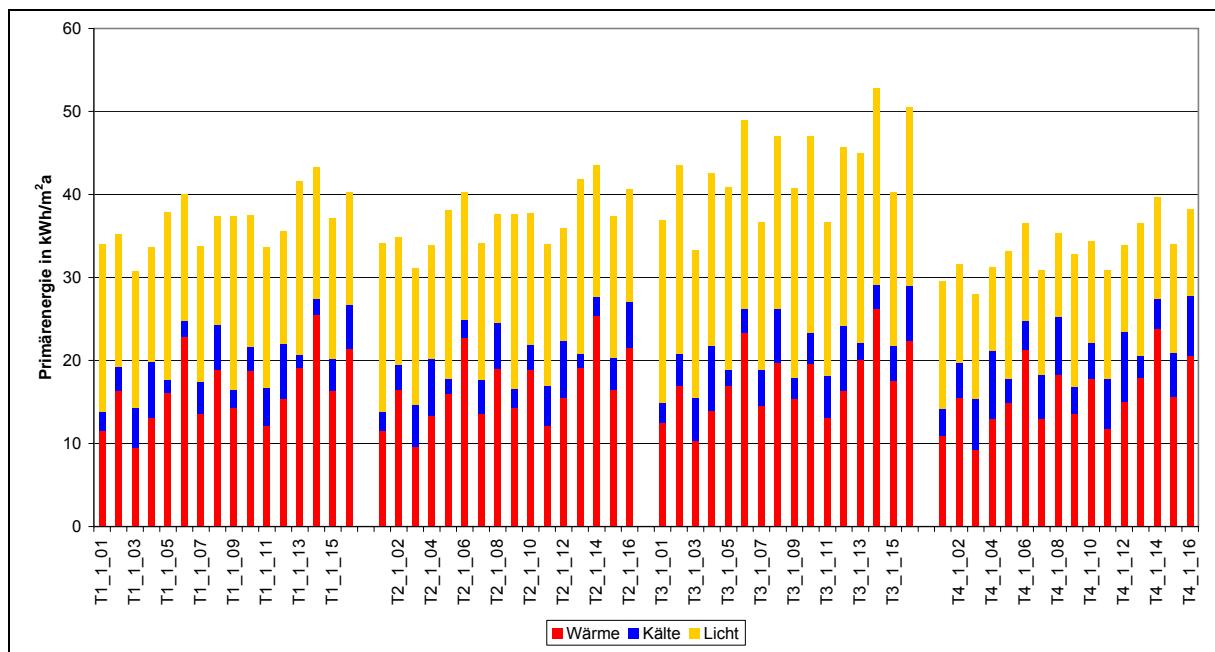
Energiequelle	η bzw. JAZ	Primärenergie- faktoren SIA
	-	kWh/kWh
Wärmepumpe (Erdsonde)	4.30	2.97 ¹⁾
Fernwärme	0.95	0.85 ²⁾
Gas	0.90	1.15
Holz (Pellet)	0.85	1.22
Kältemaschine	5.50	2.97 ¹⁾
Beleuchtung	1.00	2.97 ¹⁾

¹⁾ CH-Verbrauchermix für Strom

²⁾ Quelle: Primärenergiefaktoren von Energiesystemen [12]

Gerechnet werden – bei gleicher Beleuchtung und Kälteanlage – je eine Variante mit Wärmepumpe (Erdwärmesonden), Fernwärme, Gas und Holz. In Figur 7 sind die Ergebnisse mit Wärmepumpe für alle Gebäudevarianten aufgeführt. Die Jahresarbeitszahl / Nutzungsgrade und Primärenergiefaktoren sind aus Tabelle 2 ersichtlich.

Figur 7: Primärenergiebedarf mit Erdsonden-Wärmepumpe basierend auf den SIA-Primärenergiefaktoren



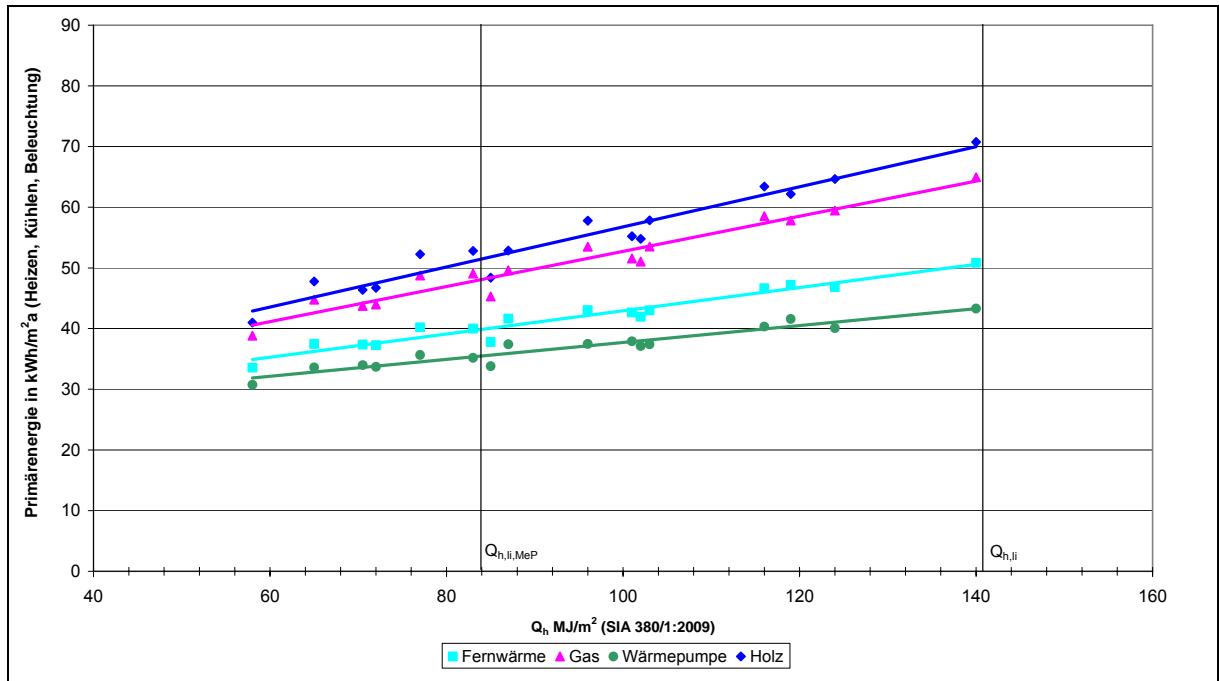
Mit dieser Umrechnung auf den Primärenergiebedarf findet eine Verschiebung der Anteile statt: Der Anteil des Klimakältebedarfs reduziert sich merklich, während der Beleuchtungsenergiebedarf stark zunimmt und in den meisten Varianten den grössten Anteil

am Gesamtbedarf ausmacht. Auf Stufe Primärenergie ist also bei der Beleuchtung das grösste Optimierungspotenzial zu vermuten.

Diese Aussage wird gestützt durch die Tatsache, dass der Beleuchtungsenergiebedarf im Objekt T4 den kleinsten Anteil ausmacht (T4 → gute Tageslichtnutzung aufgrund Gebäudeform und Atrium).

Das Gebäude T3 hat zwar aufgrund der kompakten Form den tiefsten Formfaktor (Verhältnis Oberfläche zu Volumen), weist aber den insgesamt höchsten Primärenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung auf, was ein Indiz dafür ist, dass kompakte Gebäudeformen betreffend Tageslichtnutzung nicht optimal sind (siehe Abschnitt 3).

Figur 8: Darstellung des Primärenergiebedarfs für das Gebäude T1_1 mit den Primärenergiefaktoren aus der Tabelle 2 bezogen auf den Heizwärmebedarf Q_h .



Unabhängig vom eingesetzten Energieträger nimmt der Primärenergiebedarf mit zunehmendem Heizwärmebedarf (auf Stufe Nutzenergie) zu. Die Gebäude mit einer guten Gebäudehülle sind also auch betreffend Primärenergiebedarf besser als die Gebäude mit einer schlechten Gebäudehülle. Die Geraden verlaufen jedoch relativ flach, vor allem bei den Energieträgern mit einem tiefen Umrechnungsfaktor zwischen Nutz- und Primärenergie. Figur 8 zeigt auch: Betreffend Primärenergie hat die Wahl des Energieträgers den grössten Einfluss als die thermische Qualität der Gebäudehülle. Ein Gebäude das knapp den Grenzwert $Q_{h,li}$ nach Norm SIA 380/1[4] erfüllt und mittels einer Erdsonden-Wärmepumpe beheizt wird, ist betreffend Primärenergiebedarf in etwa gleich gut wie ein Gebäude mit sehr guter Gebäudehülle (Minergie-P) und einer Holzheizung.

2.4. Sensitivitätsanalyse

Um aufzuzeigen, welche Parameter welchen Einfluss auf den Heizwärmebedarf Q_h bzw. auf den Primärenergiebedarf haben, wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt und in Figur 6 dargestellt. Ausgehend von der Basisvariante T1_1_01 werden folgende Variationen vorgenommen (ceteris paribus):

- U-Wert opake Außenwände
- U-Wert Verglasung
- g-Wert Verglasung
- Fensterflächenanteil (in % der Fassadenfläche)

Zusätzlich wird die Art der Wärmeerzeugung variiert (Erdsonden-Wärmepumpe, Fernwärme, Gas, Holz). Die Ergebnisse werden in den folgenden Diagrammen illustriert.

Ausgangspunkt ist die Variante T1_1_01 (Basisvariante). Bei der Variante T1_1_02 wird der Fensterflächenanteil von 50% auf 70% angehoben. Der Heizwärmeverbrauch nimmt dadurch merklich um rund 20% zu, beim Primärenergiebedarf sind die Veränderungen marginal. Die Zunahme des Heizwärmeverbrauchs erklärt sich dadurch, dass die Transmissionsverluste stärker anwachsen als die passiv-solaren Gewinne. Dies lässt den Schluss zu, dass die zusätzlichen passiv-solaren Gewinne oft auch dann auftreten, wenn gar kein Heizwärmeverbrauch besteht (tagsüber), während die Verluste primär nachts bei tiefen Außenlufttemperaturen auftreten. Da auf der Nordseite genau gleich grosse Fensterflächen vorhanden sind wie an den übrigen Fassaden, kann vor allem dort der erhöhte Verlust nicht durch erhöhte Gewinne kompensiert werden.

Figur 9: Einfluss der untersuchten Parameter auf den Primärenergiebedarf. Alle Variationen sind mit Erdsonden-Wärmepumpe gerechnet.

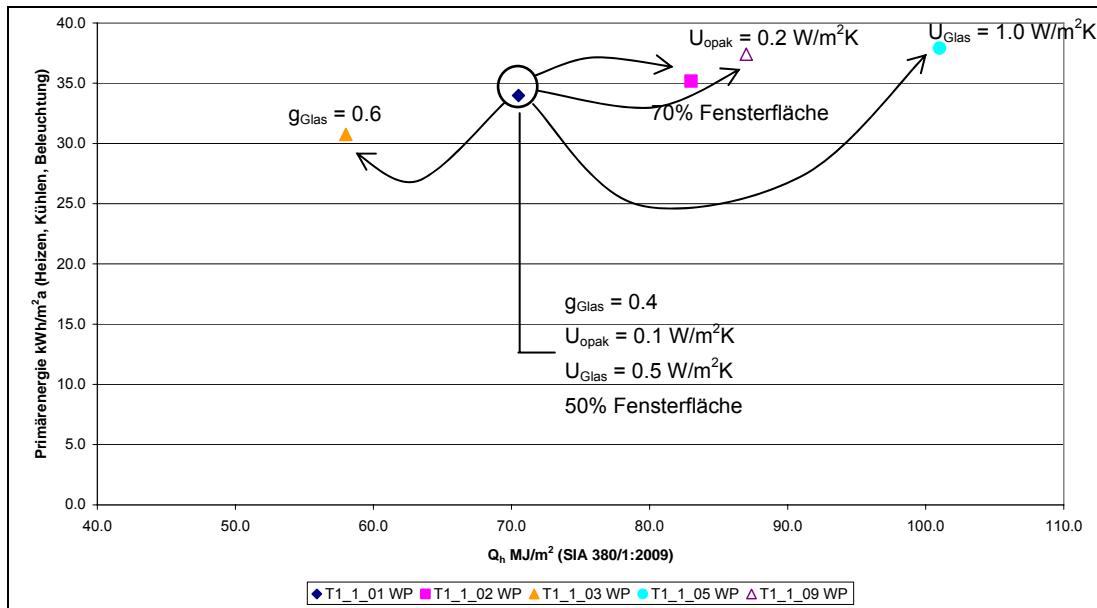


Tabelle 3: Übersicht der varierten Parameter

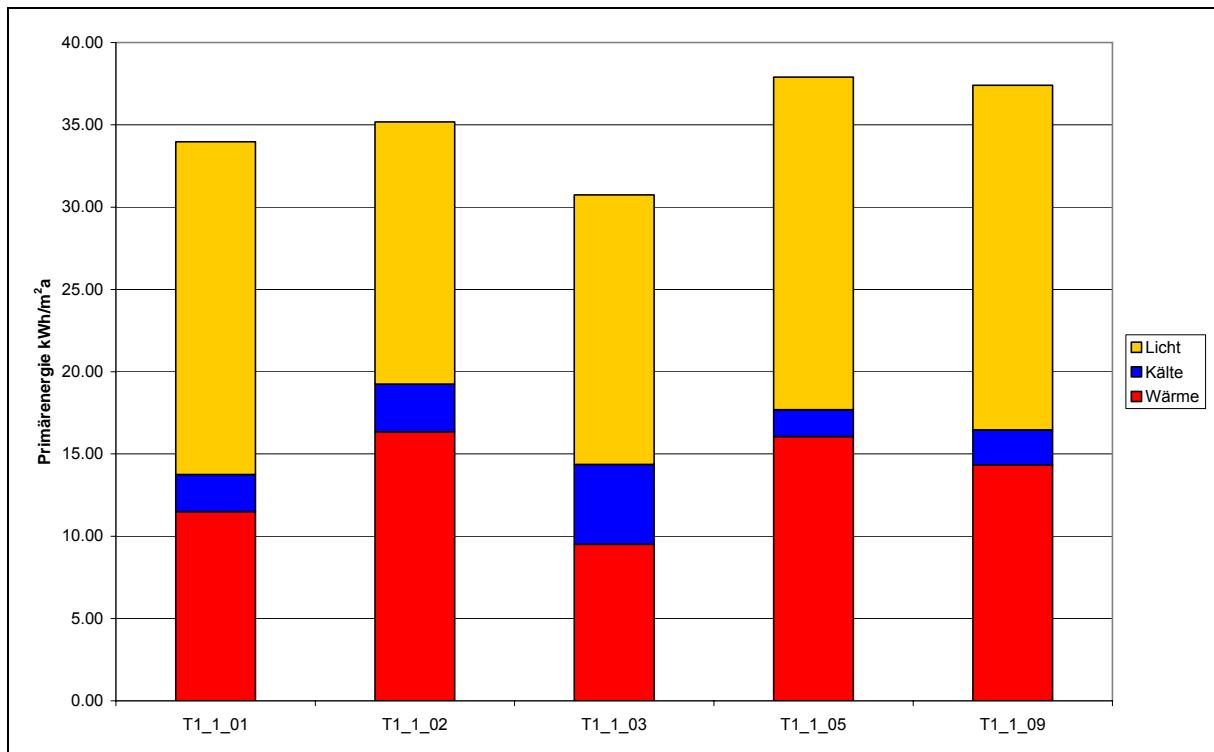
	T1_1_01	T1_1_02	T1_1_03	T1_1_05	T1_1_09
U-Wert opak [W/m²K]	0.10	0.10	0.10	0.10	0.20
U-Wert Verglasung [W/m²K]	0.50	0.50	0.50	1.00	0.50
g-Wert Verglasung [-]	0.40	0.40	0.60	0.40	0.40
Fensterflächenanteil [% der Nettofassadenfläche]	50%	70%	50%	50%	50%

In der Figur 10 sind die Varianten in einem Säulendiagramm dargestellt. Zu sehen sind die Unterschiede für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung.

Bei der Variante T1_1_03 wird gegenüber der Variante T1_1_01 der g-Wert der Verglasung von 0.40 auf 0.60 erhöht. Diese Variante weist einen um fast 20% tieferen Heizwärmeverbrauch auf als die Basisvariante und auch der Primärenergiebedarf ist rund 10% tiefer. Der tiefere Heizwärmeverbrauch erklärt sich durch die besseren passiv-solaren Gewinne, der tiefere

Primärenergiebedarf durch den tieferen Heizwärmebedarf, vor allem aber durch die verbesserte Tageslichtnutzung (eine Erhöhung des g-Wertes hat auch eine Erhöhung des Lichtransmissionsgrads zur Folge). Wichtig: Bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs (nach SIA 380/1) wird auch im Winter ein allenfalls geschlossener Sonnenschutz ignoriert. Bei der Simulation (zur Berechnung des Primärenergiebedarfs) kann der Sonnenschutz sowohl im Sommer als auch im Winter geschlossen sein. Dies erklärt unter anderem, warum die Erhöhung des g-Wertes der Verglasung beim Heizwärmebedarf einen viel deutlicheren Einfluss hat als beim Primärenergiebedarf. Zudem wird die Reduktion beim Primärenergiebedarf dadurch wieder teilweise kompensiert, weil beim höheren g-Wert auch der Klimakältebedarf ansteigt.

Figur 10: Primärenergiebedarf der Varianten T1_1_01-03, 05 und 09. Variante mit Wärmepumpe.

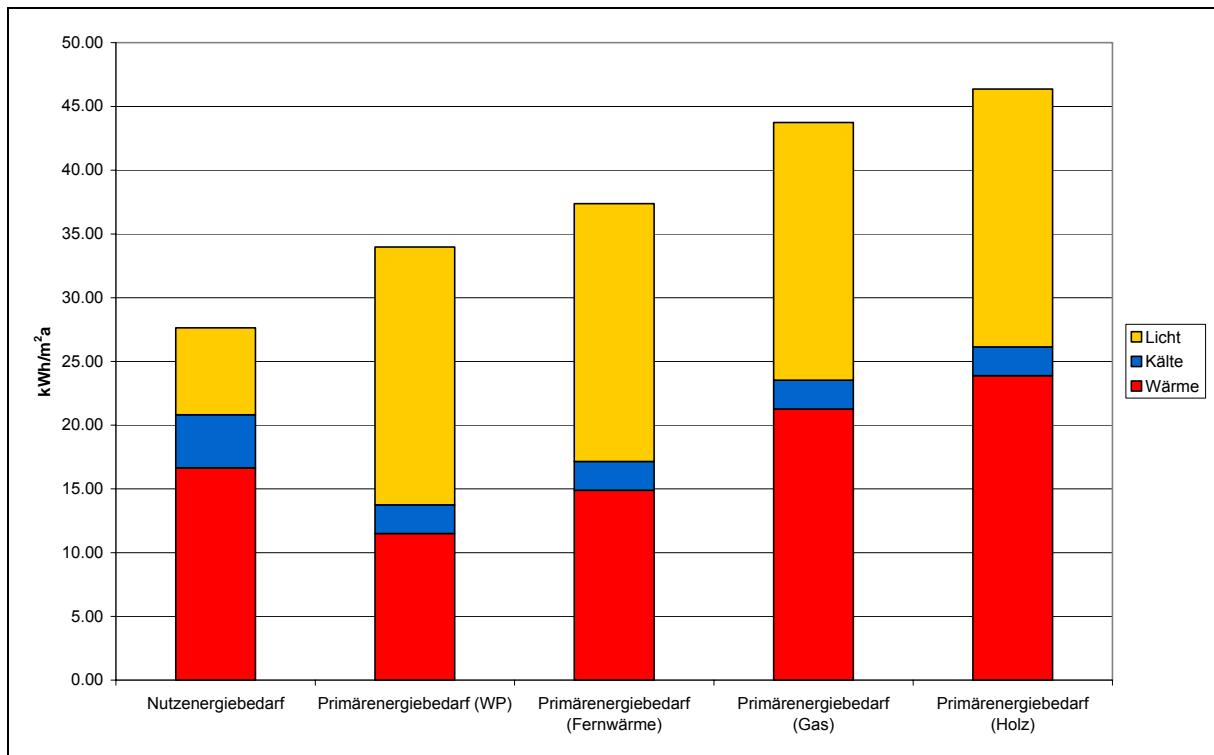


Bei der Variante T1_1_05 wird gegenüber der Variante T1_1_01 der U -Wert der Verglasung von $0.50 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf $1.00 \text{ W/m}^2\text{K}$ erhöht. Erwartungsgemäß nimmt dadurch der Heizwärmebedarf Q_h um rund 50% zu. Diese Zunahme beim Heizwärmebedarf führt auch beim Primärenergiebedarf zu einer merklichen Zunahme, obwohl dort die Zunahme durch den verminderten Klimakältebedarf (bessere Auskühlung) teilweise kompensiert wird. Der Beleuchtungsenergiebedarf bleibt mehr oder weniger unverändert.

Bei der Variante T1_1_09 wird der U -Wert der opaken Fassadenbereiche von $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf $0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$ erhöht. Dadurch erhöht sich der Heizwärmebedarf um gut 20%. Beim Primärenergiebedarf ist ebenfalls eine Zunahme festzustellen, auch wenn hier die Zunahme des Heizwärmebedarfs durch eine Abnahme beim Klimakältebedarf wiederum tendenziell kompensiert wird. Der Beleuchtungsenergiebedarf bleibt weitestgehend unbeeinflusst. (Hinweis: Da die Nutzflächen in dieser Variation unverändert belassen wurden sind bei der Variante T1_1_09 die Außenmasse des Gebäudes größer (höhere Dämmstärken), ergo hat auch die Energiebezugsfläche zugenommen. Dies wurde bei der Auswertung korrigiert).

In der Figur 11 ist der Einfluss der verschiedenen Energieträger auf den Primärenergiebedarf dargestellt. Die erste Säule stellt den Nutzenergiebedarf dar (vom Energieträger unabhängig), danach folgt der Primärenergiebedarf für die Wärmepumpe, die Fernwärme, die Gasheizung und am Schluss für die Holzheizung. Die Anteile für die Klimakälte und Beleuchtung sind bei allen Varianten gleich gross.

Figur 11: Einfluss der Energieträger auf den Primärenergiebedarf, ausgehend von Nutzenergiebedarf (Säule ganz links). Dargestellt wird die Variante T1_1_01.



Der unterschiedliche Primärenergiebedarf der einzelnen Varianten ist das Abbild der unterschiedlichen Nutzungsgrade / Jahresarbeitszahlen bzw. Primärenergiefaktoren. Es gelten folgende Faktoren:

- Variante Wärmepumpe: Jahresarbeitszahl 4.3; Primärenergiefaktor (Strom) 2.97
- Variante Fernwärme: Primärenergiefaktor 0.89 (Nutzungsgrad im Faktor bereits enthalten)
- Variante Gas: Primärenergiefaktor 1.28 (Nutzungsgrad im Faktor bereits enthalten)
- Variante Holz: Primärenergiefaktor 1.43 (Nutzungsgrad im Faktor bereits enthalten)

Da die Nutzungsgrade, Jahresarbeitszahlen und Primärenergiefaktoren nicht vom Gebäude sondern nur von den eingesetzten Energiesystemen und den entsprechenden Energieträgern abhängig sind, gelten die Verhältnisse zwischen den oben diskutierten Varianten für alle Gebäudetypen.

Im Abschnitt 6 werden weitere Energiesysteme / Energieträger analysiert, um so den Einfluss der Primärenergiefaktoren vertieft zu diskutieren, auch im Vergleich zu den von Minergie verwendeten Gewichtungsfaktoren.

2.5. Schlussfolgerungen

Auf Stufe Nutzenergie dominiert in den untersuchten Varianten der Heizwärmebedarf. Dies mag auf eher optimistische Annahmen betreffend Energieeffizienz bei den Betriebseinrichtungen und bei der Beleuchtung (tiefe installierte Leistungen, tiefe Betriebszeiten durch optimale Steuerung) zurück zu führen sein. Hier besteht zudem eine hohe Sensitivität, denn ein höherer Beleuchtungsenergiebedarf reduziert gleichzeitig den Heizwärmebedarf, d.h. Veränderungen bei der einen oder anderen Grösse haben eine starke Hebelwirkung auf das Verhältnis zwischen Beleuchtungsenergie- und Heizwärmebedarf. Mit der Umrechnung auf Primärenergie wird der Anteil der Klimakälte nahezu vernachlässigbar, während der Anteil der Beleuchtung deutlich grösser wird. Der Beleuchtungsenergiebedarf liegt dann betragsmässig im Bereich des Heizwärmebedarfs.

Mit zunehmendem Heizwärmebedarf nimmt in allen gerechneten Varianten auch der Primärenergiebedarf zu – auch wenn die Zunahme vor allem bei erneuerbaren Energieträgern (mit tiefem Primärenergiefaktor) relativ gering ist. Ein Gebäude mit sehr guter Gebäudehülle (Minergie-P) und einer Gas- oder Holzheizung hat meist einen höheren Primärenergiebedarf als ein Gebäude mit weniger guter Gebäudehülle (lediglich die gesetzlichen Anforderungen sind erfüllt) und einer Erdsonden-Wärmepumpe.

In dieser Betrachtung nicht berücksichtigt sind die Graue Energie und die Kosten. Eine bessere Gebäudehülle führt zu einem Mehraufwand an Grauer Energie und zu höheren Kosten (3-fach-Verglasung, mehr Dämmmaterial, aufwändigere Konstruktionen). Ob dieser Mehraufwand durch die tieferen Betriebskosten und den tieferen Betriebsenergieaufwand kompensiert werden kann, bleibt hier vorerst unbeantwortet. Schlussendlich ist es eine Grenzkostenfrage, wo Investitionen zur grössten Energiebedarfsreduktion führen.

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, wie komplex die Zusammenhänge teilweise sind. Eine Drei-fachverglasung vermindert die Transmissionsverluste (wünschenswert), reduziert aber auch die passiv-solaren Gewinne im Winter (nicht wünschenswert) und reduziert die externen Lasten im Sommer (wünschenswert). Gleichzeitig reduziert sich die Tageslichtnutzung und damit erhöht sich der Kunstlichtbedarf (nicht wünschenswert). Diese Zielkonflikte sind nur in einer integralen Betrachtung und mit einer Optimierung des Gesamtsystems zu lösen.

Die heutigen Normen und Vorschriften verunmöglichen diese Gesamtoptimierung oft. Der Heizwärmebedarf ist mit einer Berechnung nach SIA 380/1 nachzuweisen. Der Kühlenergiebedarf ist mit einer eigenständigen Berechnung nach SIA 382 (bzw. SIA 380/4) nachzuweisen, ebenso der Bedarf für die Beleuchtungsenergie nach SIA 380/4. Werden spezifische Grenzwerte für die einzelnen Verwendungszwecke vorgegeben, wird eine gesamtheitliche Optimierung verhindert. Hier ist der Ansatz des SIA Effizienzpfad Energie Ziel führender, weil Zielwerte über den gesamten Lenbeszyklus des Gebäudes (Erstellung, Betrieb, Rückbau und Mobilität) definiert werden, innerhalb derer der Architekt / Planer einen höheren Freiheitsgrad geniesst.

Bei Minergie und vor allem Minergie-P wird durch die strenge Anforderung an den Heizwärmebedarf (Primäreranforderung) ein starker Fokus auf die thermische Qualität der Gebäudehülle gelegt. Die oben dokumentierten Berechnungen zeigen aber, dass auch mit deutlich schlechterer Gebäudehülle aber einem effizienten und auf erneuerbaren Energien basierenden Heizsystem eine aus Sicht Primärenergiebedarf vergleichbare Lösung realisiert werden kann. Die strenge Anforderung an die Gebäudehülle wird häufig damit begründet, dass die Hülle mit einer Lebensdauer von vielleicht 40 oder 80 Jahren deutlich beständiger ist als die Gebäudetechnik mit einer Lebensdauer von 15-25 Jahren. Hier kann aber das Argument eingebracht werden, dass die Gebäudetechnik in 15-20 Jahren kaum durch eine weniger effiziente Gebäudetechnik als heute schon vorhanden ersetzt werden wird.

Immerhin kann aufgrund der Berechnungen festgehalten werden, dass in einer reinen Betriebsenergiebetrachtung eine aus thermischer Sicht sehr gute Gebäudehülle niemals kontraproduktiv ist.

3. Gebäudekompaktheit vs. Gesamtenergieeffizienz

3.1. Fragestellung

Kompakte Gebäude haben aufgrund ihres günstigen Verhältnisses zwischen der thermischen Gebäudehüllfläche und der Energiebezugsfläche (bzw. des Volumens) einen vergleichsweise geringen Heizwärmebedarf. Gleichzeitig steigt bei kompakten Bürogebäuden aufgrund grosser Raumtiefen der Energiebedarf für Beleuchtung. Aufgrund des höheren Beleuchtungsbedarfs steigt auch der Energiebedarf für die Klimatisierung. Damit stellt sich die Frage, ob sehr kompakte Bürogebäude aus gesamtenergetischer Sicht überhaupt einen Vorteil aufweisen.

3.2. Vorgehen

Für die Untersuchungen werden mittels thermischen Simulationen für typische Bürogebäude mit unterschiedlicher Kompaktheit der Heizwärme-, der Klimakälte und der Beleuchtungsenergiebedarf berechnet. Die grundlegenden Gebäudeparameter (Fassade, interne Lasten, Nutzungsprofile etc.) werden analog zu den in Abschnitt 2 dokumentierten Untersuchungen festgelegt. Zur Vereinfachung werden jedoch Sitzungszimmer und Empfang weggelassen und nur Einzel-/Gruppenbüros sowie Verkehrsflächen berücksichtigt. Aufgrund des geringen Flächenanteils der Sitzungszimmer (5%) und des Empfangs (2%) hat diese Vereinfachung keinen merklichen Einfluss auf die Ergebnisse.

Für die Variation der Kompaktheit werden gegenüber den in Abschnitt 2 analysierten Gebäuden zusätzliche Typen mit unterschiedlichen Gebäudehüllzahlen definiert. Zur Unterscheidung mit den in Abschnitt 2 verwendeten Gebäudetypen T1_1 bis T4_1 werden im Folgenden die Bezeichnungen T-A bis T-E verwendet. Dabei ist T-A ein besonders kleines Bürogebäude mit einer Gebäudehüllzahl von 1.7. Der Typ T-B entspricht mit einer Gebäudehüllzahl von 1.0 ziemlich genau dem in Abschnitt 2 verwendeten Typ T1. T-D entspricht dagegen einem grossvolumigen Gebäude mit tiefen Räumen und einer Gebäudehüllzahl von 0.57.

Die Herleitung der Gebäudegrundrisse und die je nach Anzahl Geschossen resultierenden Gebäudehüllzahlen sind in Figur 12 und Figur 13 dargestellt. Zur Vereinfachung der Auswertung wird von jedem Gebäudetyp jeweils nur die in Figur 13 markierte Anzahl Geschosse mit der zugehörigen Gebäudehüllzahl dargestellt.

Zudem werden anhand des Gebäudetyps T-E auch Atrium-Bauten berücksichtigt, welche im Vergleich zu den Typen T-C und T-D eine bessere Tageslichtnutzung aufweisen. Der Atrium-Bau T-E wird ohne Atrium-Dach simuliert (bei geschlossenen Atrien sinkt der Heizwärmebedarf während der Energiebedarf für Beleuchtung und Klimatisierung in der Regel leicht zunimmt).

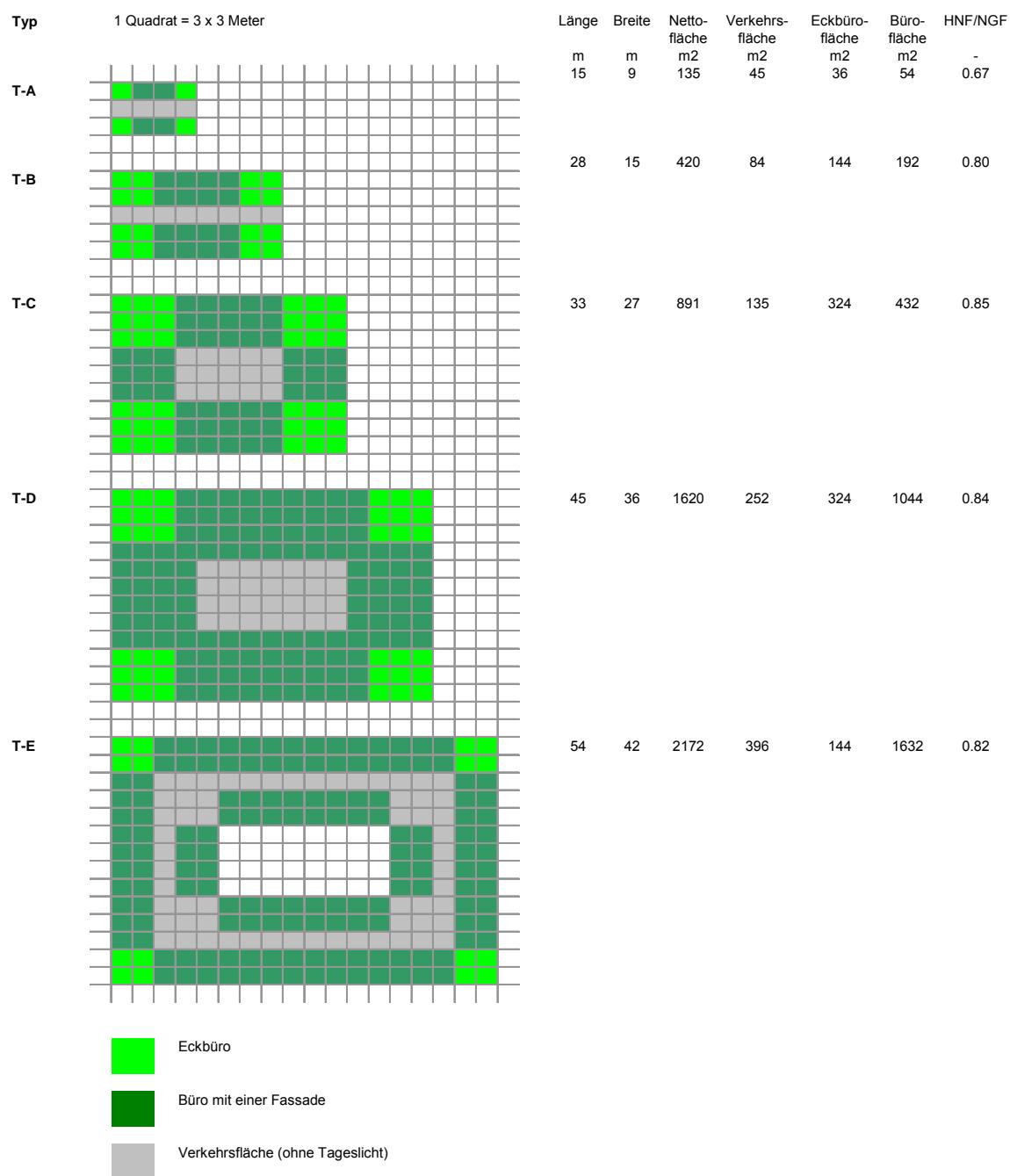
Bezüglich der Qualität der Gebäudehülle werden die folgenden Varianten untersucht (Nomenklatur und Parameter der Varianten analog Abschnitt 2).

Tabelle 4: Überblick der in diesem Abschnitt untersuchten Varianten, X = A, B, C, D, E

Variante	<i>U</i> -Wert opake Bauteile	<i>U</i> -Wert Ver-glasung	<i>g</i> -Wert Ver-glasung	Fenster-fläche
	W/(m ² K)	W/(m ² K)	--	% (Nettofassadenfläche)
T-X_1_01	0.1	0.5	0.4	50
T-X_1_02	0.1	0.5	0.4	70
T-X_1_13	0.2	1.0	0.4	50
T-X_1_14	0.2	1.0	0.4	70

Für die Nutzungsgrade der verschiedenen Wärme- und Kälteerzeuger sowie die Primärenergiefaktoren je Energieträger werden die gleichen Werte wie in Abschnitt 2 eingesetzt.

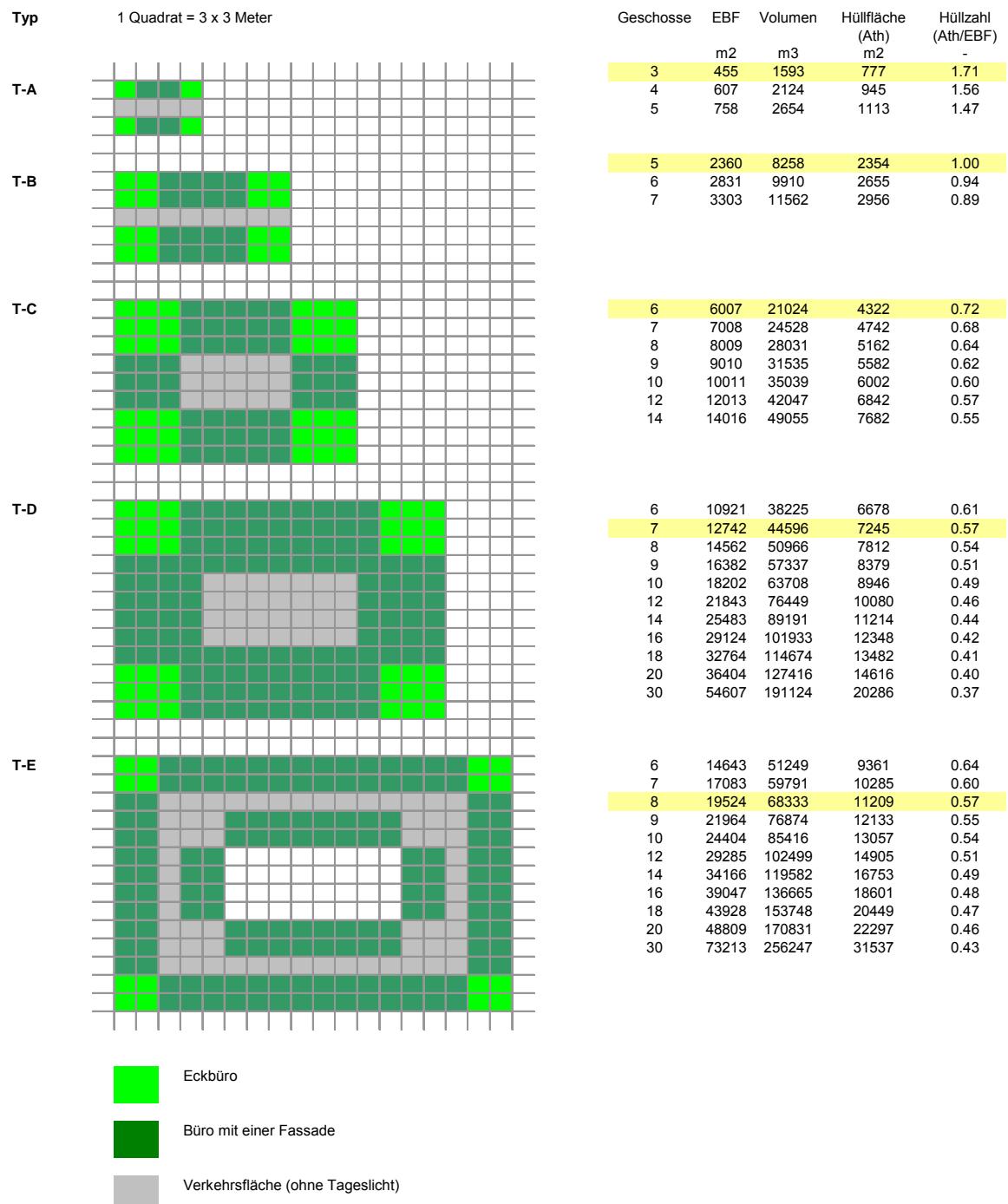
Figur 12: Gebäudetypen T-A bis T-E: Grundrisse und Nutzflächen



Abkürzungen:

- HNF = Hauptnutzfläche
- NGF = Nettopgeschossfläche

Figur 13: Gebäudetypen T-A bis T-E: Berechnung der Gebäudehüllzahl als Funktion der Anzahl Geschosse; zur Vereinfachung werden in der Auswertung nur die gelb hinterlegten Werte dargestellt.



Die Gebäudehüllzahl wurde mit den folgenden Annahmen berechnet:

- Durchschnittliche Geschoss Höhe (brutto): 3.5 m
- Verhältnis Netto-Geschoßfläche zu Energiebezugsfläche: 0.89
- b-Wert Keller: 0.8

Abkürzungen:

- A_{th} = Gebäudehüllfläche
- A_E = Energiebezugsfläche

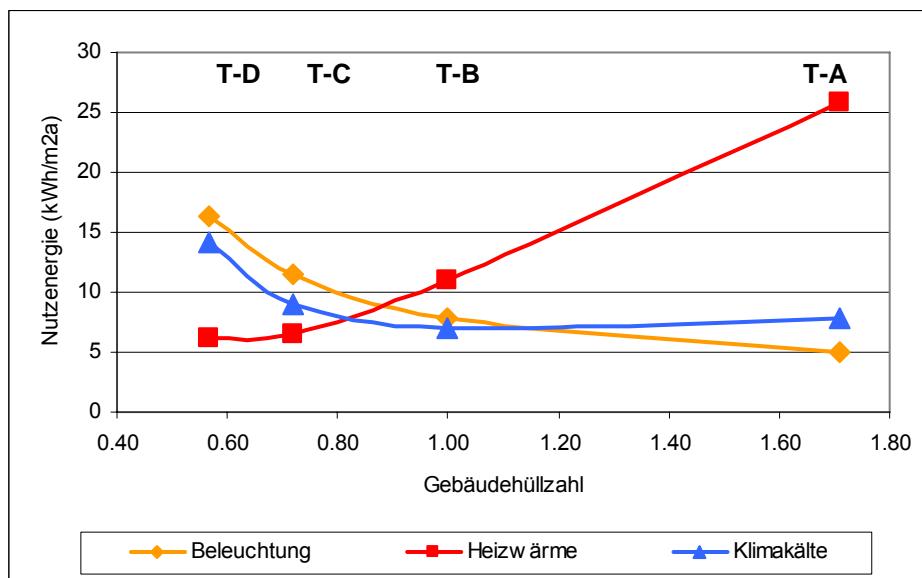
3.3. Nutzenergiebedarf

In Figur 14 ist der Nutzenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung in Abhängigkeit der Gebäudehüllzahl für die Gebäudetypen T-A_1_01 bis T-D_1_01 dargestellt. Erwartungsgemäss nimmt der Heizwärmeverbrauch nahezu linear mit zunehmender Gebäudehüllzahl zu (je kompakter das Gebäude, desto tiefer der Heizwärmeverbrauch). Der Beleuchtungsenergiebedarf und vor allem der Klimakälteverbrauch nehmen dagegen bei tiefen Gebäudehüllzahlen, d.h. bei den Gebäudetypen T-C und T-D stark zu.

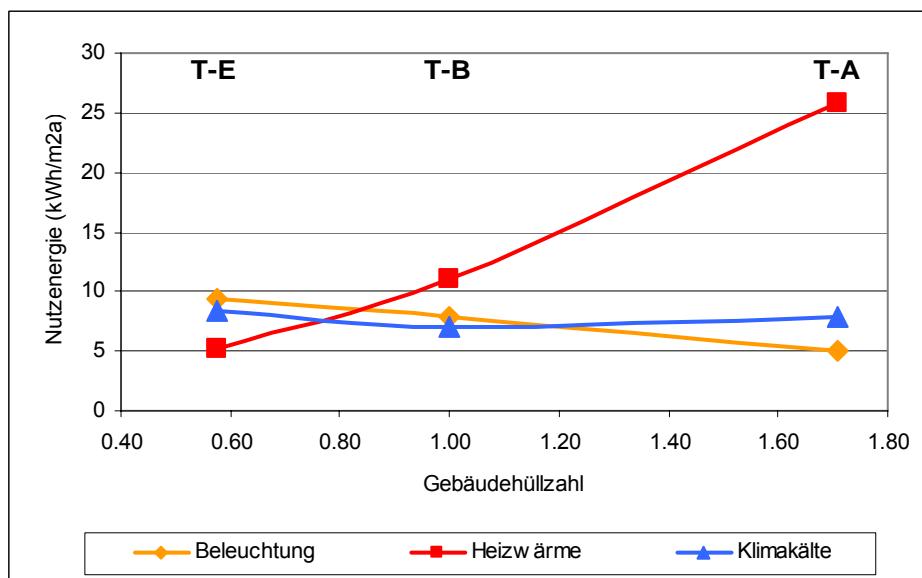
In Figur 15 ist der Verlauf des Nutzenergiebedarfs für die Gebäudetypen T-A bis T-E ohne die grossvolumigen Typen T-C und T-D dargestellt. Dabei entspricht T-E einem Atrium-Bau mit einer maximalen Raumtiefe der Hauptnutzflächen von 6 m.

Weil beim Atrium-Bau die Tageslichtnutzung deutlich besser ist, nimmt der Beleuchtungsenergiebedarf bei kompakter Gebäudeform (und entsprechend tiefer Gebäudehüllzahl) nur unwesentlich zu. Dies gilt auch für den Klimakälteverbrauch.

Figur 14: Nutzenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtungsenergie in Funktion der Gebäudehüllzahl: Varianten T-A_1_01 bis T-D_1_01, ohne Atrium-Bau (T-E)



Figur 15: Nutzenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung in Funktion der Gebäudehüllzahl: Varianten T-A_1_01 bis T-E_1_01 (Atrium-Bau), ohne die Gebäudetypen T-C und T-D

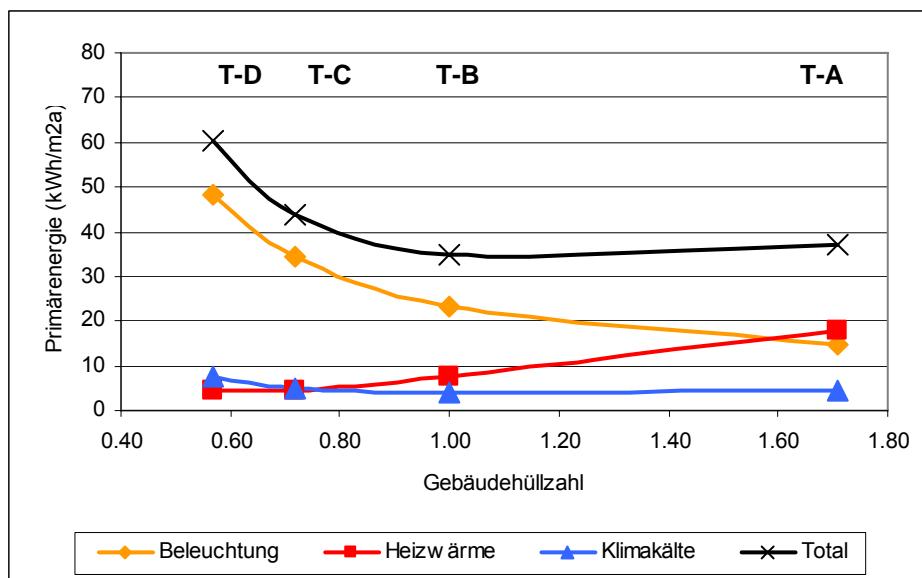


3.4. Primärenergiebedarf (mit Erdsonden-Wärmepumpe)

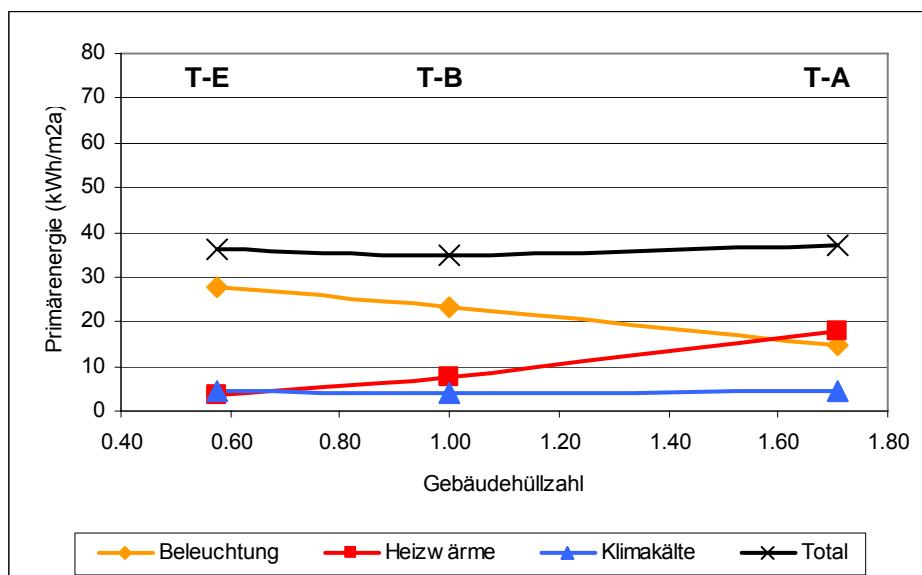
In Figur 16 ist der Primärenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung für die Gebäudetypen T-A_1_01 bis T-D_1_01 dargestellt. Die Heizwärme wird mit einer Erdsonden-Wärmepumpe erzeugt. Der Primärenergiebedarf steigt bei tiefen Gebäudehüllzahlen (kompakter Bauweise) an (massgebend ist hier der Bedarf für Beleuchtung und Klimakälte). Bei hohen Gebäudehüllzahlen (wenig kompakte Bauweise) verläuft die Kurve flach.

In Figur 17 ist der Verlauf des Primärenergiebedarfs für die Gebäudetypen T-A bis T-E, 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 gegenläufigen Verläufe des Primärenergiebedarfs für Beleuchtung und für Heizwärme kompensieren sich gegenseitig.

Figur 16: Primärenergiebedarf (mit Erdsonden-Wärmepumpe) in Abhängigkeit der Gebäudehüllzahl: Varianten T-A_1_01 bis T-D_1_01, Betrachtung ohne Atrium-Bauten (T-E)



Figur 17: Primärenergiebedarf (mit Erdsonden-Wärmepumpe) in Abhängigkeit der Gebäudehüllzahl: Varianten T-A_1_01 bis T-E_1_01 (Atrium-Bau), ohne die Gebäudetypen T-C und T-D

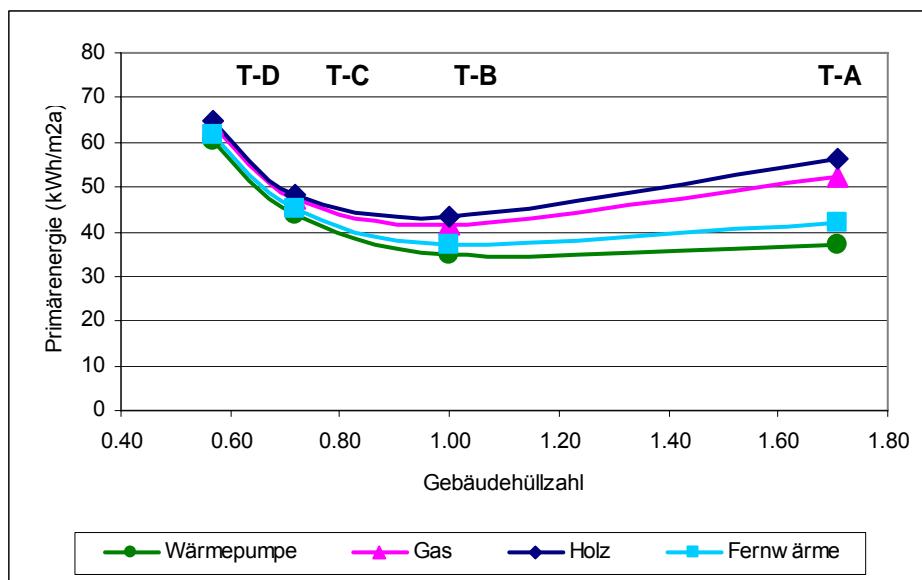


3.5. Primärenergiebedarf (mit weiteren Wärmeerzeugern)

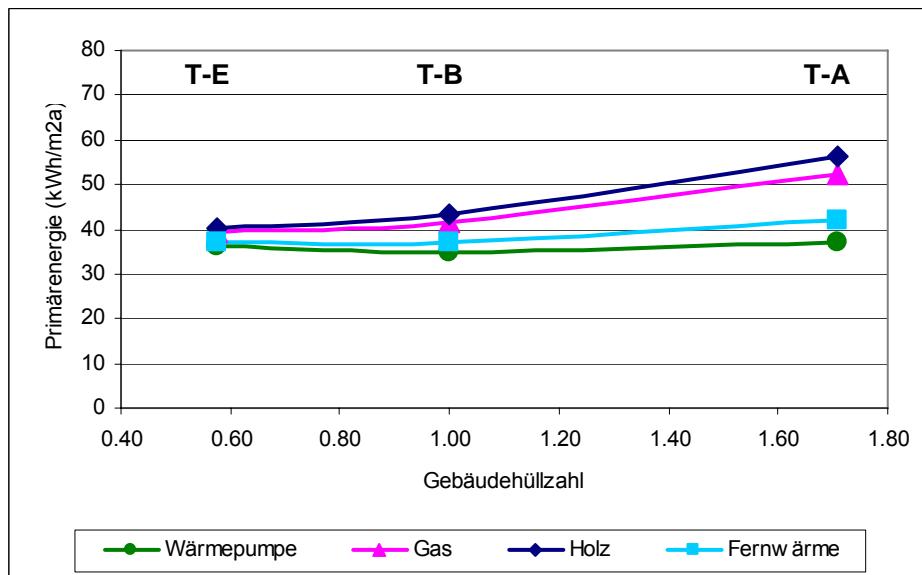
In Figur 18 ist der Primärenergiebedarf in Abhängigkeit von der Gebäudehüllzahl für die Gebäudetypen T-A_1_01 bis T-D_1_01 dargestellt. Bei tiefen Gebäudehüllzahlen (komplexe Bauweise) steigt das Total des Primärenergiebedarfs für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung mit allen vier untersuchten Wärmeerzeugern stark an. Bei hohen Gebäudehüllzahlen steigt die Kurve leicht an. Am stärksten ist der Anstieg bei Holz- und Gasheizungen, dies als Folge der vergleichsweise hohen Primärenergiefaktoren.

In Figur 19 ist der Verlauf des Primärenergiebedarfs für die Gebäudetypen T-A bis T-E dargestellt. Bei Atrium-Bauten mit einer Gas- oder Holzheizung nimmt der Primärenergiebedarf auch bei sehr tiefen Gebäudehüllzahlen weiterhin ab. Bei Wärmepumpen und Fernwärme ist der Primärenergiebedarf nahezu unabhängig von der Gebäudehüllzahl, die Kurve verläuft flach.

Figur 18: Primärenergiebedarf mit unterschiedlichen Wärmeerzeugern: Varianten T-A_1_01 bis T-D_1_01, Be- trachtung ohne Atrium-Bauten (T-E)



Figur 19: Primärenergiebedarf mit unterschiedlichen Wärmeerzeugern: Varianten T-A_1_01 bis T-E_1_01 (Atri- um-Bau), ohne die Gebäudetypen T-C und T-D



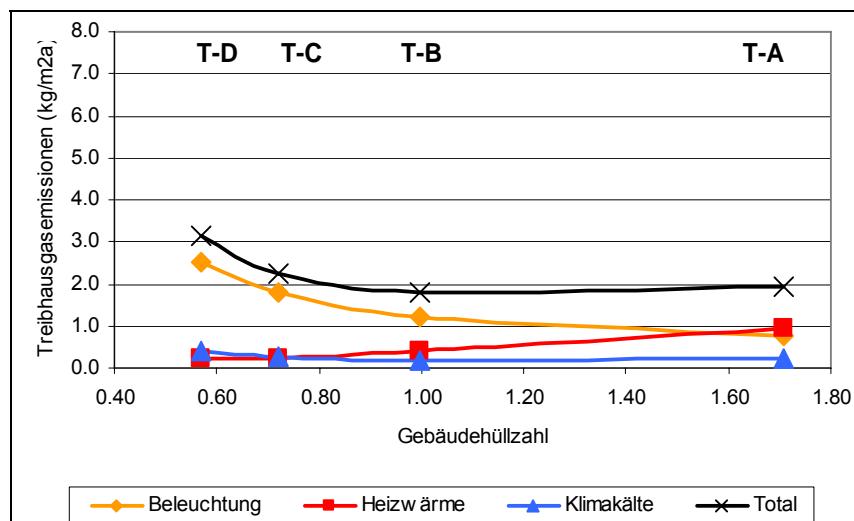
3.6. Treibhausgasemissionen (mit Erdsonden-Wärmepumpe)

In Figur 20 ist die Abhängigkeit der Treibhausgasemissionen von der Gebäudehüllzahl für die Gebäudetypen T-A_1_01 bis T-D_1_01 mit einer Erdsonden-Wärmepumpe dargestellt. Analog zum Primärenergiebedarf steigen auch die Treibhausgasemissionen (beides jeweils für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung) bei tiefen Gebäudehüllzahlen (kompakter Bauweise) stark an, treibender Faktor ist der Strombedarf für die Beleuchtung. Bei hohen Gebäudehüllzahlen verläuft die Kurve dagegen flach.

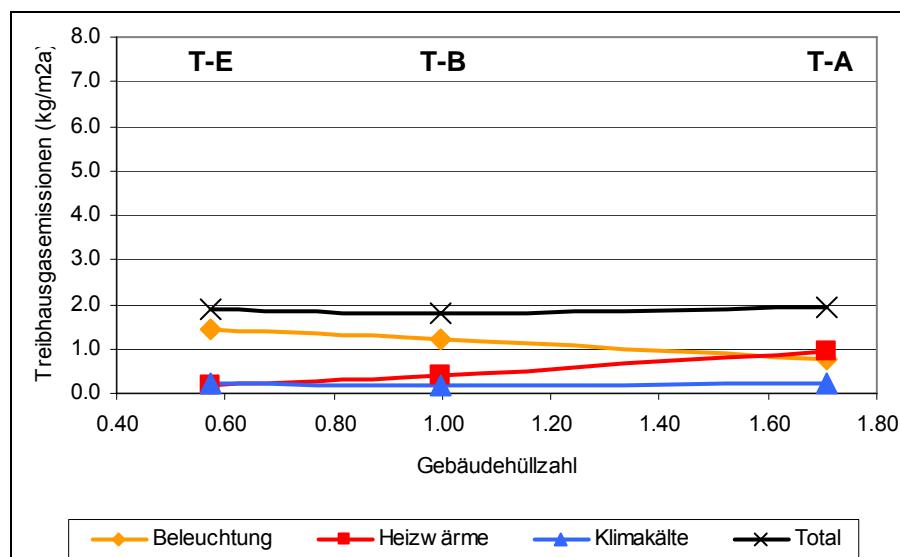
In Figur 21 sind die Treibhausgasemissionen für die Gebäudetypen T-A, T-B und T-E dargestellt. Das Total für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung bleibt über das ganze Spektrum der untersuchten Gebäudehüllzahlen konstant. Der unterschiedliche Verlauf der Beleuchtungsenergie und der Heizwärme kompensieren sich gegenseitig.

Fazit: das Total der Treibhausgasemissionen nimmt bei Gebäuden mit grossen Büroraumtiefen von 9 m (T-C) bis 12 m (T-D) stark zu. Bei Atrium-Bauten mit maximalen Büroraumtiefen von 6 m (T-E) sind die Treibhausgasemissionen bei der Variante mit einer Wärmepumpe dagegen nahezu unabhängig von der Gebäudehüllzahl.

Figur 20: Treibhausgasemissionen mit Erdsonden-Wärmepumpe als Funktion der Gebäudehüllzahl: Varianten T-A_1_01 bis T-D_1_01, Betrachtung ohne Atrium-Bauten (T-E)



Figur 21: Treibhausgasemissionen mit Erdsonden-Wärmepumpe als Funktion der Gebäudehüllzahl: Varianten T-A_1_01 bis T-E_1_01 (Atrium-Bau), ohne die Gebäudetypen T-C und T-D

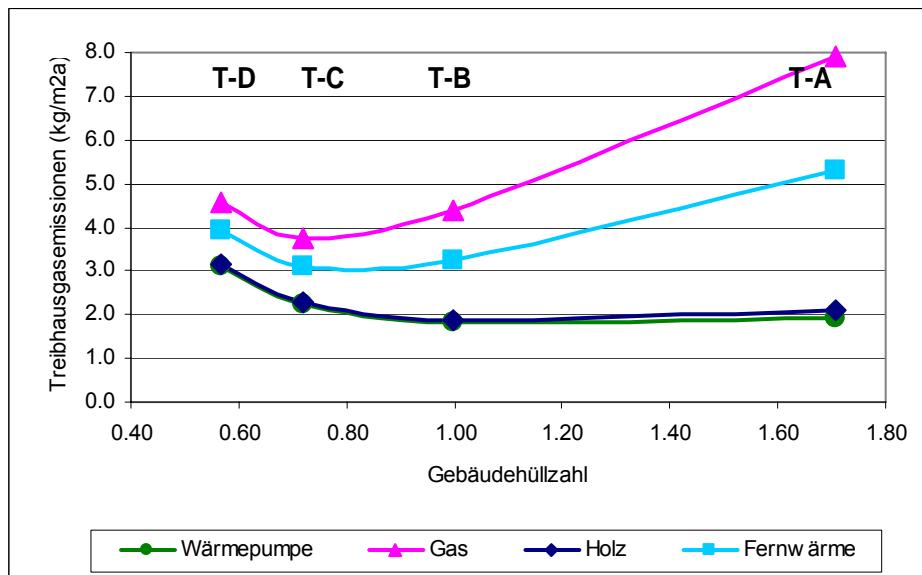


3.7. Treibhausgasemissionen (mit weiteren Wärmeerzeugern)

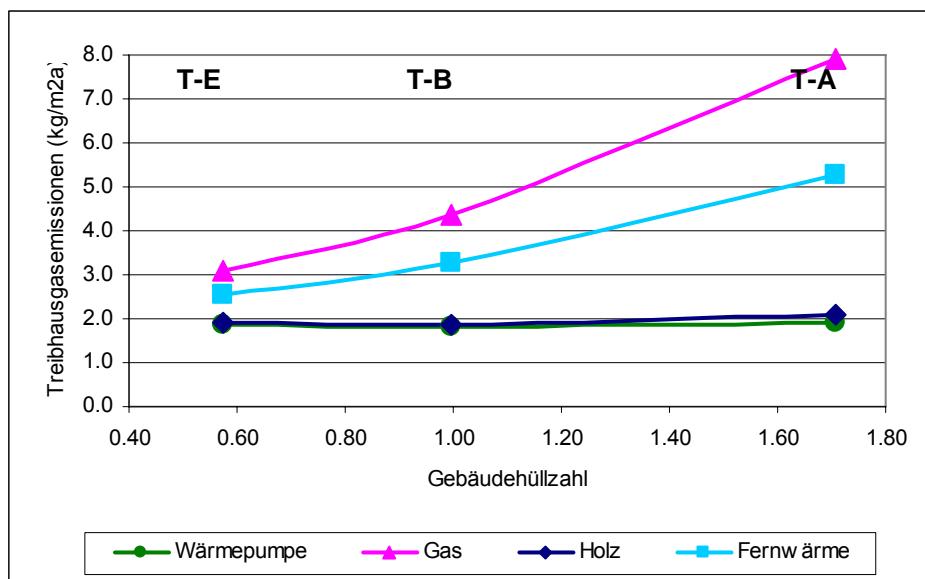
In Figur 22 sind die Treibhausgasemissionen in Abhängigkeit von der Gebäudehüllzahl für die Gebäudetypen T-A_1_01 bis T-D_1_01 dargestellt. Bei tiefen Gebäudehüllzahlen (kompakte Bauweise) steigen die Treibhausgasemissionen bei allen vier untersuchten Wärmeerzeugern deutlich an. Bei hohen Gebäudehüllzahlen steigen dagegen nur die Kurven der Gasheizung und der Fernwärme stark an. Bei der Wärmepumpe und der Holzheizung bleiben die Treibhausgasemissionen auch bei hohen Gebäudehüllzahlen nahezu konstant.

In Figur 23 sind die Treibhausgasemissionen in Abhängigkeit von der Gebäudehüllzahl für die Gebäudetypen T-A bis T-E dargestellt. Bei hohen Gebäudehüllzahlen steigt die Kurve bei der Gasheizung und der Fernwärme wiederum stark an. Bei der Erdsonden-Wärmepumpe und der Holzheizung bleiben die Treibhausgasemissionen über das ganze untersuchte Spektrum von Gebäudehüllzahlen konstant.

Figur 22: Treibhausgasemissionen mit unterschiedlichen Wärmeerzeugern: Varianten T-A_1_01 bis T-D_1_01, Betrachtung ohne Atrium-Bauten (T-E)



Figur 23: Treibhausgasemissionen mit unterschiedlichen Wärmeerzeugern: Varianten T-A_1_01 bis T-E_1_01 (Atrium-Bau), ohne die Gebäudetypen T-C und T-D



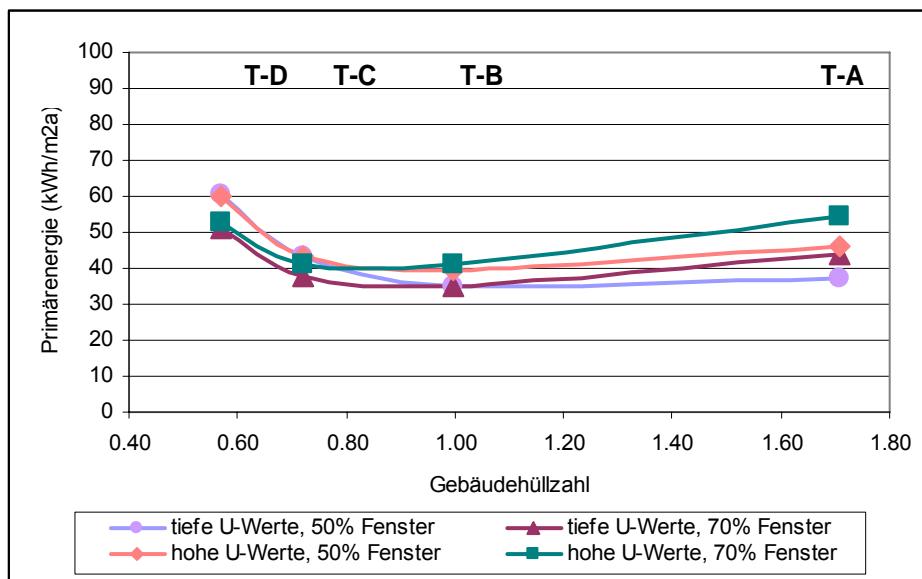
3.8. Einfluss der Qualität der Bauhülle

In Figur 24 ist der Primärenergiebedarf in Abhängigkeit der Gebäudehüllzahl für die Gebäudetypen T-A bis T-D bei unterschiedlichen U -Werten (opake Bauteile: 0.1 W/m²K bzw. 0.2 W/m²K, Verglasung: 0.5 W/m²K bzw. 1.0 W/m²K) und bei unterschiedlichen Fensteranteilen der Fassade (50% und 70% der Netto-Geschossfläche) dargestellt. Die Heizwärme wird mit einer Erdsonden-Wärmepumpe erzeugt.

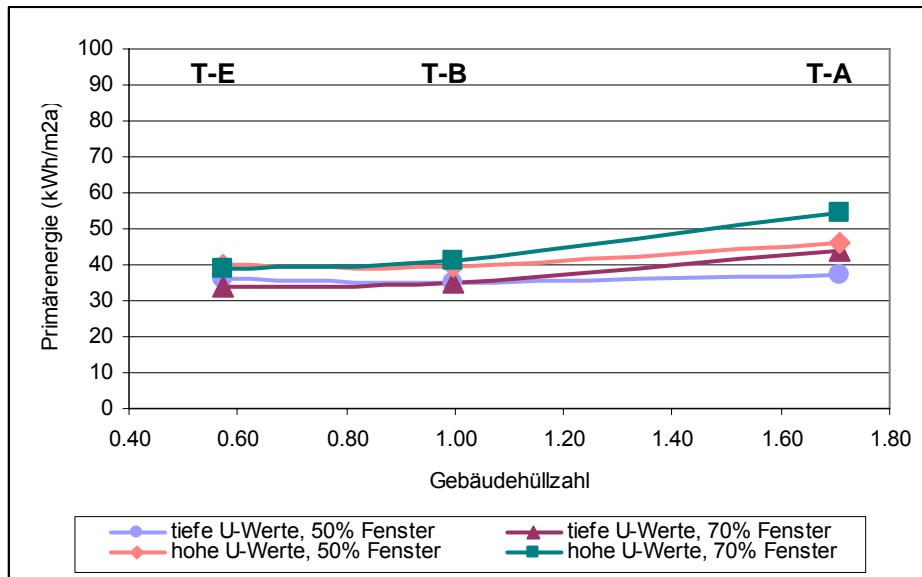
Die Kurven liegen relativ nahe beieinander. Den höchsten Primärenergiebedarf weisen fast bei allen Gebäudehüllzahlen die Gebäude mit einem hohen Fensteranteil und hohen U -Werten auf. Der tiefste Primärenergiebedarf liegt je nach Variante bei Gebäudehüllzahlen zwischen 0.7 und 1.0.

Bei Atrium-Bauten (Figur 25) liegt das Optimum tendenziell bei noch tieferen Gebäudehüllzahlen, insgesamt steigen die Kurven aber auch bei hohen Gebäudehüllzahlen nur geringfügig an.

Figur 24: Primärenergiebedarf mit unterschiedlichen Parametern der Bauhülle und einer Erdsonden-Wärmepumpe, Betrachtung ohne Atrium-Bauten (T-E)



Figur 25: Primärenergiebedarf mit unterschiedlichen Parametern der Bauhülle und einer Erdsonden-Wärmepumpe
Betrachtung mit Atrium-Bau (T-E) und ohne die Gebäudetypen T-C und T-D.

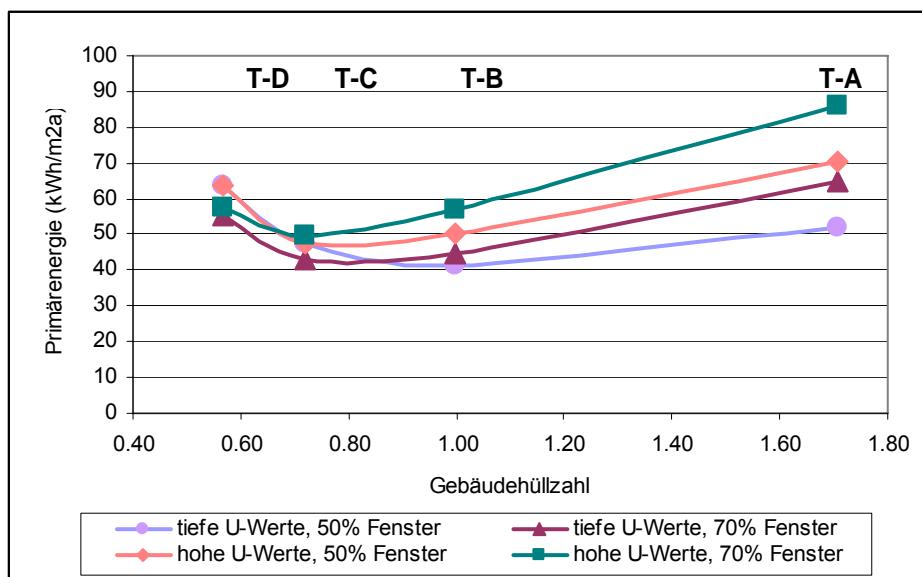


Auch mit einer Gasheizung zeichnet sich ein ähnliches Bild (siehe Figur 26 und Figur 27), das Optimum verschiebt sich allerdings zu etwas tieferen Gebäudehüllzahlen (0.7 bis 0.9) und die Zunahme des Primärenergiebedarfs bei hohen Gebäudehüllzahlen ist stärker ausgeprägt.

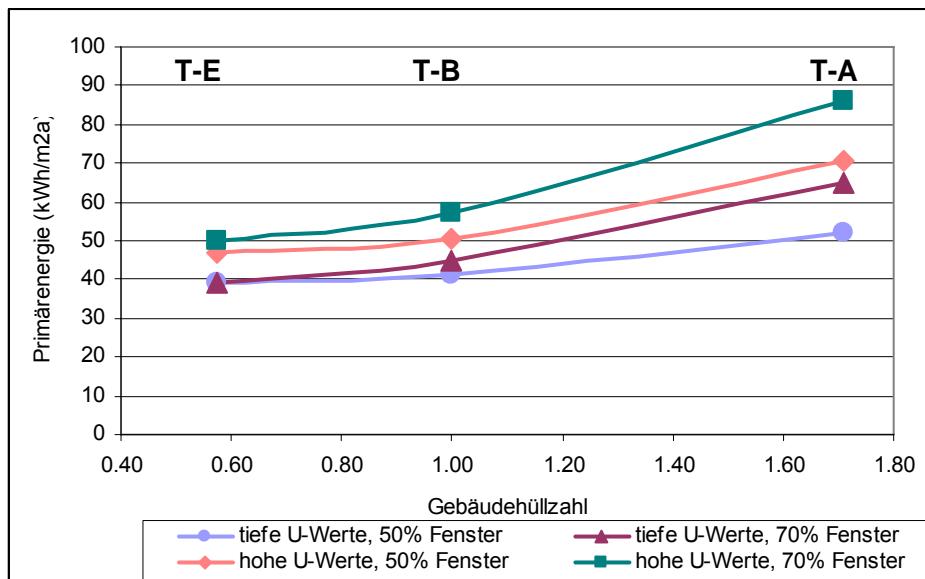
Fazit: Bei Bürogebäuden mit Erdsonden-Wärmepumpe sind aus Sicht des Primärenergiebedarfs für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtungsenergie Gebäudehüllzahlen zwischen 0.7 und 1.0 ideal. Je besser die Bauhülle gedämmt ist, desto weniger wirkt sich auch eine hohe Gebäudehüllzahl negativ auf den Primärenergiebedarf aus. Bei Bürogebäuden mit Gasheizung liegt das Optimum im Bereich von 0.7 bis 0.9.

Bei noch tieferen Gebäudehüllzahlen sind – unabhängig von der Art der Energieträger – Atrium-Bauten zu bevorzugen, um die Tageslichtnutzung zu verbessern. Dieselben Aussagen gelten auch für die Treibhausgasemissionen.

Figur 26: Primärenergiebedarf mit unterschiedlichen Parametern der Bauhülle und einer Gasheizung, Betrachtung ohne Atrium-Bauten (T-E)



Figur 27: Primärenergiebedarf mit unterschiedlichen Parametern der Bauhülle und einer Gasheizung, Betrachtung mit Atrium-Bau (T-E) und ohne die Gebäudetypen T-C und T-D.



3.9. Schlussfolgerungen

3.9.1. Primärenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass der Zusammenhang zwischen Gebäudekompaktheit – ausgedrückt als Verhältnis der thermischen Gebäudehüllfläche zur Energiebezugsfläche – und Tageslichtverfügbarkeit nicht linear ist. So können sehr kompakte Bürogebäude dank eines Atriums oder Lichthofs trotz tiefer Gebäudehüllzahl über eine relativ gute Tageslichtnutzung verfügen. Die Schlussfolgerungen fallen daher für Bürogebäude mit Atrium anders aus, als für Bürogebäude ohne Atrium. Anders ausgedrückt: es ist nicht primär die Gebäudehüllzahl als Kriterium zu verwenden, sondern besser die mittlere Raumtiefe.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei Bürogebäuden ohne Atrium der Primärenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung bei Gebäudehüllzahlen unter 1.0 leicht und bei Werten unter 0.7 stark zunimmt. Diese Aussage stimmt für alle untersuchten Energieträger. Aus Sicht des Primärenergiebedarfs ist also eine hohe Kompaktheit mit entsprechend grossen Raumtiefen kontraproduktiv.

Bei Bürogebäuden mit Atrium bleibt dagegen der Primärenergiebedarf bei Gebäudehüllzahlen von 1.0 und tiefer – unabhängig von der Art des Energieträgers – nahezu konstant. Bei kompakten Baukörpern mit einer Gebäudehüllzahl < 1.0 sind aus Sicht Primärenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung demzufolge Atrium-Bauten mit entsprechend geringen Raumtiefen und guter Tageslichtnutzung zu bevorzugen. In dieser Beurteilung nicht berücksichtigt sind die Graue Energie und die Kosten (welche durch Atrien tendenziell nach oben getrieben werden).

Bei sehr kompakten Bürogebäuden ohne Atrium hat der Fensteranteil der Fassade einen stärkeren Einfluss auf den Primärenergiebedarf als der Wärmedämmstandard der Fassade. Ein hoher Fensteranteil ist bei sehr kompakten Bauten begrüssenswert und führt aufgrund der besseren Tageslichtnutzung zu einer Reduktion des Primärenergiebedarfs.

Bei hohen Gebäudehüllzahlen hat die Art des Wärmeträgers einen grossen Einfluss auf das Ergebnis. Bei Bürogebäuden mit Gas- und Holzheizungen steigt der Primärenergiebedarf bei Gebäudehüllzahlen über 1.0 deutlich an (als Folge des zunehmenden Heizwärmebedarfs). Bei Gebäuden mit Fernwärme oder Wärmepumpe verläuft dagegen der Primärenergiebedarf nahezu konstant über das ganze Spektrum der untersuchten Gebäudehüllzahlen.

3.9.2. Treibhausgasemissionen für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung

Die Gebäudekompaktheit hat auf die Treibhausgasemissionen ähnliche Auswirkungen wie auf den Primärenergiebedarf. Der einzige Unterschied liegt bei Gebäuden mit Holzheizungen oder Fernwärme. Da Holzheizungen sehr geringe Treibhausgasemissionen verursachen, verhalten sich diese diesbezüglich wie die Wärmepumpen, d.h. das Total der Treibhausgasemissionen bleibt bei einer Gebäudehüllzahl über 1.0 nahezu unverändert.

Dagegen nimmt das Total der Treibhausgasemissionen bei Fernwärme und Gas bei einer Gebäudehüllzahl von > 1.0 stark zu. Im schweizerischen Durchschnitt wird Fernwärme rund zur Hälfte mit fossiler Heizenergie erzeugt, was sich entsprechend im Primärenergiefaktor auswirkt.

4. Sensitivitätsanalysen

Im Abschnitt 2 wurden für verschiedene Gebäudetypen der *U*-Wert der opaken Bauteile, der *U*- und *g*-Wert der Verglasungen sowie der Fensterflächenanteil variiert. In einem zweiten Schritt wird hier nun untersucht, inwiefern die Erkenntnisse aus Abschnitt 2 sich verändern, wenn eine deutlich energieeffizientere Beleuchtung (wie es in Zukunft allenfalls mit der LED-Technologie erwartet werden kann) eingesetzt wird. Weiter wird untersucht, was die Auswirkungen eines anderen Sonnenschutzes sind (Sonnenschutz mit geringerem Energie-Reduktionsfaktor, aber entsprechend besserer Lichtdurchlässigkeit), wie sich eine städtische Situation (stärkere Verschattung der Gebäude) auswirkt und was bei deutlich höheren internen Lasten passiert.

Das Vorgehen für diese Untersuchungen entspricht weitestgehend dem in Abschnitt 2 beschriebenen Vorgehen, insbesondere wurden die gleichen vier Gebäudetypen verwendet, die mit der Nummer „1“ versehene Grundvariante in Abschnitt 2 ist auch hier die Grundvariante. Die Parameter der verschiedenen Varianten sind in Tabelle 5 aufgelistet. In den Abschnitten 4.1 bis 4.5 sind die Ergebnisse dokumentiert. Da die Gebäude T2 bis T4 sich bei den hier gemachten Untersuchungen ähnlich wie das Gebäude T1 verhalten, werden hier nur die Ergebnisse für das Gebäude T1 dokumentiert. Die Detailergebnisse für die anderen Gebäudetypen sind im Anhang A 7 zu finden.

Tabelle 5: Parameter der Sensitivitätsanalyse

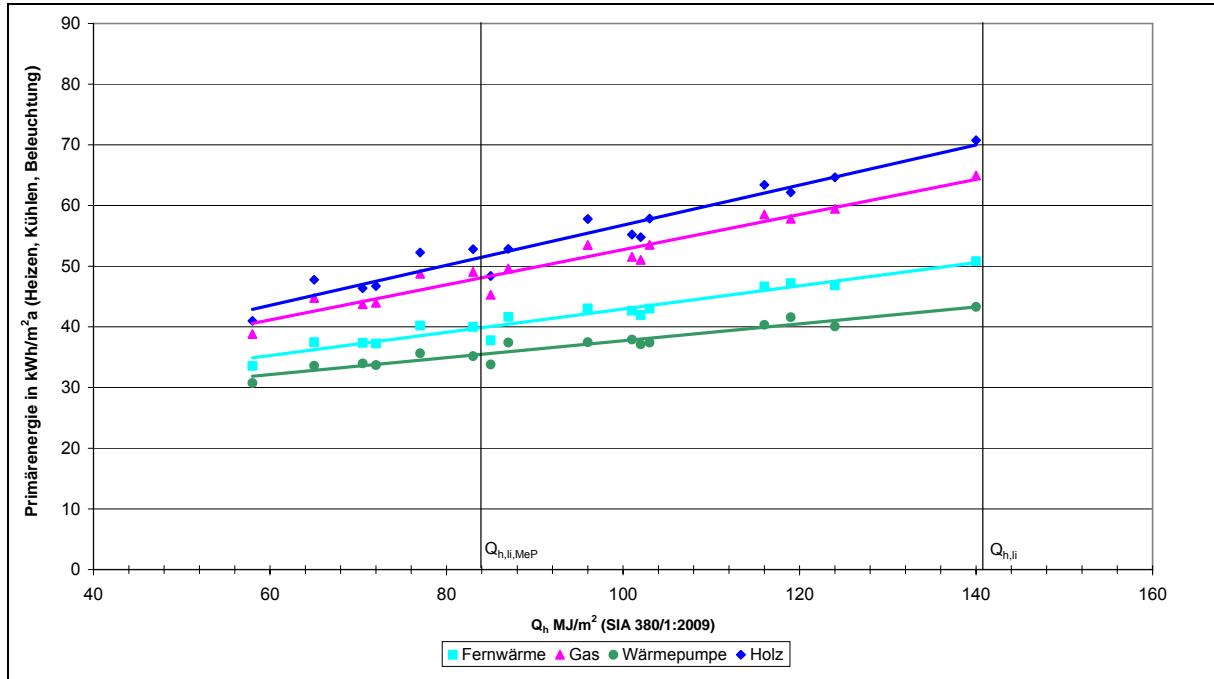
	Grundvariante	Beleuchtung	Sonnenschutz	Städtische Verschattung	Interne Lasten
Nummer	1	2	3	4	5
Beleuchtung:					
Büro	9.8 W/m ²	5 W/m ²	9.8 W/m ²	9.8 W/m ²	9.8 W/m ²
Sitzung	9.8 W/m ²	5 W/m ²	11.6 W/m ²	11.6 W/m ²	11.6 W/m ²
Empfang	4.6 W/m ²	2.3 W/m ²	5.6 W/m ²	5.6 W/m ²	5.6 W/m ²
Nebenräume	4.0 W/m ²	2.0 W/m ²	4.1 W/m ²	4.1 W/m ²	4.1 W/m ²
Sonnenschutz*:					
g-Wert 0.4	0.08	0.08	0.12	0.08	0.08
g-Wert 0.6	0.12	0.12	0.18	0.12	0.12
Verschattung	Keine	Keine	Keine	Siehe Figur 48	Keine
Hohe interne Lasten (Büro):					
Lux	500 lx	500 lx	500 lx	500 lx	800 lx
Gerätelelast	7 W/m ²	7 W/m ²	7 W/m ²	7 W/m ²	19 W/m ²
Personenfläche	14 m ² /P	14 m ² /P	14 m ² /P	14 m ² /P	8 m ² /P
Lüftungssteuerung	CAV	CAV	CAV	CAV	VAV

* in der Tabelle dargestellt ist der Gesamt-*g*-Wert aus Sonnenschutz und Verglasung

4.1. Grundvariante

Die Figur 28 zeigt die Ergebnisse für die Grundvariante und ist in Abschnitt 0 erläutert. Für die weiteren Erläuterungen werden die beiden Varianten mit einer Wärmepumpe und einem Heizwärmebedarf von $Q_h = 58 \text{ MJ/m}^2$ bzw. $Q_h = 124 \text{ MJ/m}^2$ verwendet.

Figur 28: Darstellung des Primärenergiebedarfs für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung für das Gebäude T1_1 mit den SIA-Primärenergiefaktoren bezogen auf den Heizwärmebedarf Q_h . Grundvariante von der aus nachfolgend weitere Betrachtungen durchgeführt werden.



In den nachfolgenden Betrachtungen werden nur die Ergebnisse mit der Wärmepumpe dargestellt. Alle Werte sind tabellarisch aufgelistet, in den Figuren ist jeweils die Grundvariante T1_1 wiederholt. Die Energieträger Holz, Gas und Fernwärme verhalten sich ähnlich wie die Wärmepumpe.

4.2. Beleuchtung

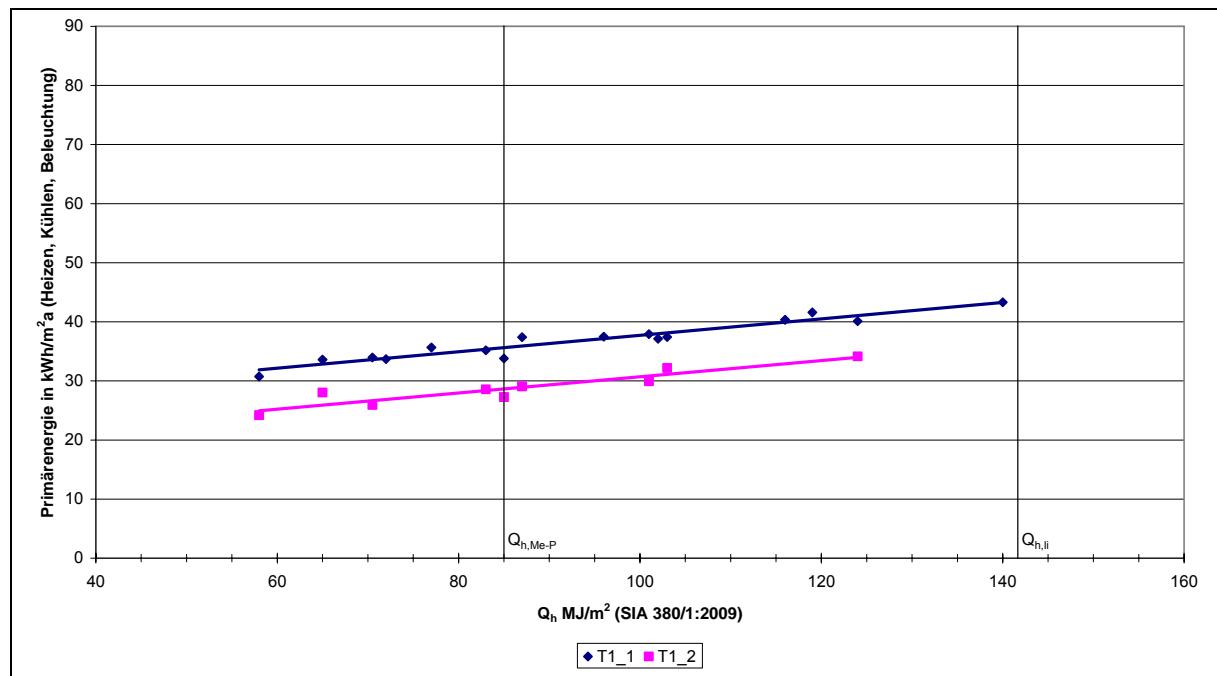
Ausgehend von der Annahme mit der LED-Technik in 20 Jahren die gleiche Beleuchtungsqualität mit der Hälfte der heute nötigen Leistung erbringen zu können, werden hier die installierten Beleuchtungsleistungen entsprechend reduziert (detaillierte Werte siehe Tabelle 5). Bei gleicher Anzahl Vollaststunden werden die gleichen Luxwerte in den einzelnen Zonen gewährleistet.

Bei Gebäuden mit tiefem Q_h (58 MJ/m²) reduziert sich dadurch der Primärenergiebedarf um 21% und bei Gebäuden mit hohem Q_h (124 MJ/m²) um 15%. Weitere Varianten sind in der Tabelle 6 aufgelistet.

Tabelle 6: Variante T1_2 (mit 50% Beleuchtungsleistung) im Vergleich mit der Grundvariante (100% Beleuchtungsleistung). Es ist nur der Primärenergiebedarf der Variante mit Wärmepumpe aufgelistet.

Q_h	MJ/m ²	58	65	71	83	85	87	101	103	124
Variante		_03	_04	_01	_02	_07	_09	_05	_08	_06
T1_1	kWh/m ² a	30.7	33.6	34.0	35.2	33.8	37.4	37.9	37.4	40.1
T1_2	kWh/m ² a	24.2	28.0	25.9	28.6	27.3	29.1	29.9	31.2	34.1
	%	-21	-17	-24	-19	-19	-22	-21	-17	-15

Figur 29: Darstellung des Primärenergiebedarfs für die Gebäude T1_1 und T1_2 mit den SIA-Primärenergiefaktoren bezogen auf den Heizwärmebedarf Q_h . Variante mit Wärmepumpe.



Diese Auswertung vermag die real zu erwartenden Veränderungen nicht ganz korrekt wiederzugeben, da in der Berechnung nach der Norm SIA 380/1 die reduzierte internen Wärmegewinne als Folge der reduzierten Beleuchtungsleistung nicht berücksichtigt werden. Würde dies berücksichtigt, verschieben sich die einzelnen Quadrate (T1_2) aufgrund des höheren Heizwärmebedarfs nach rechts, wodurch die Kurve für die Variante T1_2 ihre Steigung verändert.

4.3. Sonnenschutz

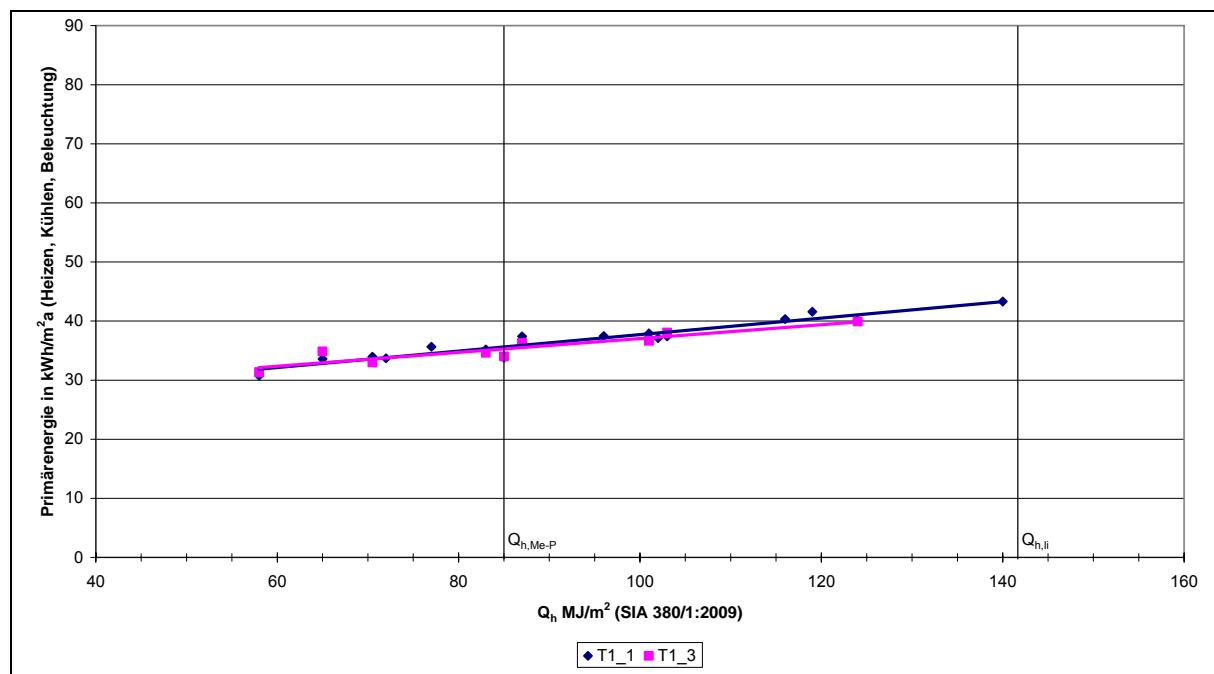
Werden Rafflamellen geschlossen, muss meistens die künstliche Beleuchtung eingeschaltet werden, um die geforderten Luxwerte in den Nutzflächen zu erreichen. Stoffstoren haben einen höheren g -Wert als z.B. Rafflamellen, was den Energieeintrag ansteigen lässt, gleichzeitig ist aber – je nach Produkt – auch der Lichttransmissionsgrad höher, die Tageslichtnutzung wird – trotz geschlossener Store – besser. Das heisst, das Kunstlicht muss bei geschlossener Store weniger oft eingeschaltet werden. In der Gesamtbetrachtung könnte also ein vermeintlich „schlechterer“ Sonnenschutz zu einem tieferen Gesamtenergiebedarf (auf Stufe Primärenergiebedarf) führen. Dieser Effekt wird in der Variante T1_3 untersucht.

Die in Figur 30 dargestellten Resultate sind mit einem gesamten Sonnenschutz (Glas + Sonnenschutz) von 0.12 (g -Wert Glas 0.4, Reduktionsfaktor Sonnenschutz 0.3) respektive 0.18 (g -Wert Glas 0.6, Reduktionsfaktor Sonnenschutz 0.3) gerechnet. In der Grundvariante sind für den gesamten Energie-Durchlassgrad die Werte 0.08 und 0.12 eingesetzt worden. Die Variante Wärmepumpe mit einem Q_h von 58 MJ/m²a erzielt dabei einen Primärenergieverbrauch von 31.4 kWh/m²a was im Vergleich zur Grundvariante mit 30.7 kWh/m²a einem um 2% höheren Wert entspricht. Bei Q_h von 124 MJ/m² ist die Primärenergie um 0.5% gesunken. Die Abweichungen sind hier also marginal. Grund dafür ist u.a. die geringe Differenz der gewählten Sonnenschutzsysteme betreffend Energie- und Lichttransmissionsgrad, sowie die Tatsache, dass bei tieferen Betriebszeiten der Beleuchtung auch der Heizwärmebedarf zunimmt (fehlende interne Gewinne).

Tabelle 7: Variante T1_3 (Stoffstore, g -Wert = 0.3) im Vergleich mit der Grundvariante (Rafflamelle, g -Wert = 0.2). Es ist nur der Primärenergiebedarf der Variante mit Wärmepumpe aufgelistet.

Q_h	MJ/m ²	58	65	71	83	85	87	101	103	124
Variante		03	04	01	02	07	09	05	08	06
T1_1	kWh/m ² a	30.7	33.6	34.0	35.2	33.8	37.4	37.9	37.4	40.1
T1_3	kWh/m ² a	31.4	34.9	33.0	34.6	34.0	36.3	36.7	38.1	39.9
	%	2	4	-3	-2	1	-3	-3	2	0

Figur 30: Darstellung des Primärenergiebedarfs für die Gebäude T1_1 und T1_3 mit den SIA-Primärenergiefaktoren bezogen auf den Heizwärmebedarf Q_h . Variante mit Wärmepumpe.



4.4. Städtische Verschattung

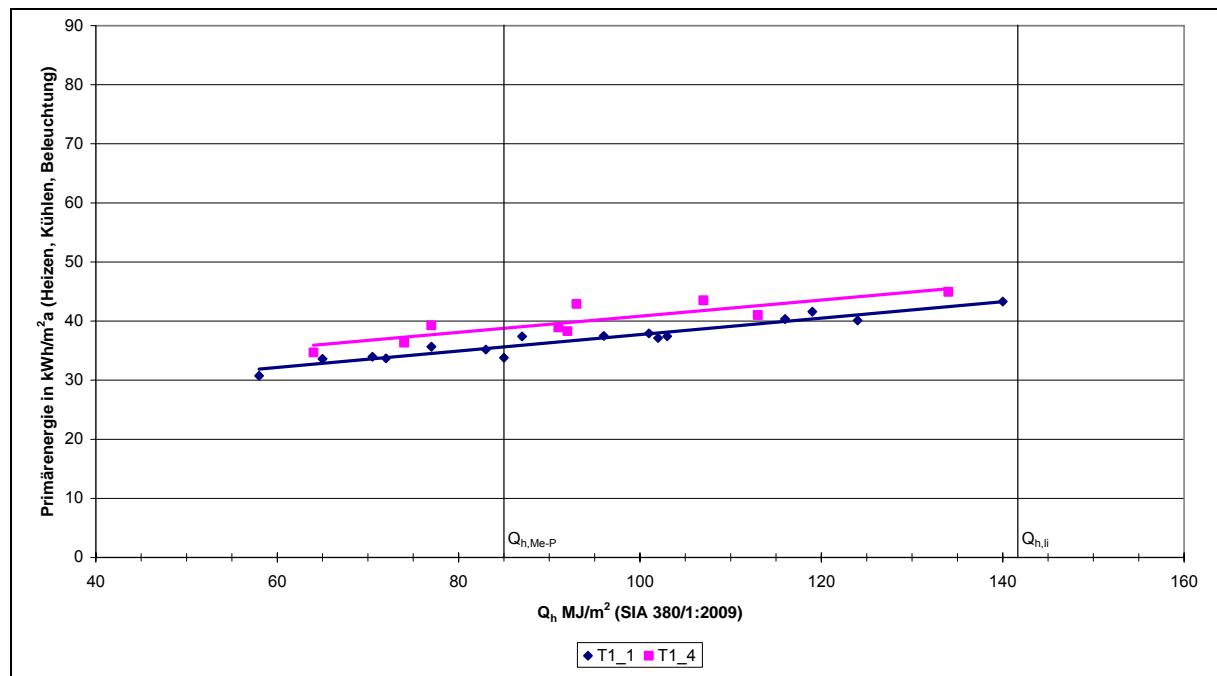
Die Verschattung der einzelnen Fassaden beeinflusst sowohl den Primärenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung als auch den Heizwärmebedarf Q_h . Die Variante mit dem tiefsten Primärenergiebedarf weist jetzt ein Q_h von 64 MJ/m^2 auf (der Gebäudetyp wurde nicht verändert, die externe Beschattung erhöht aber aufgrund der reduzierten solaren Gewinne das Q_h von 58 MJ/m^2 auf 64 MJ/m^2).

Wie in Tabelle 8 aufgelistet, resultiert bei einem Q_h von 64 MJ/m^2 ein Primärenergiebedarf von $34.7 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ was im Vergleich zur Grundvariante einem um 13% höheren Wert entspricht. Bei einem Q_h von 134 MJ/m^2 ist der Primärenergiebedarf um 12% gestiegen. Eine städtische Verschattung wirkt sich somit nicht nur auf den Heizwärmebedarf negativ aus, sondern auch auf den Primärenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung.

Tabelle 8: Variante T1_4 (mit Verschattung) im Vergleich mit der Grundvariante (ohne Verschattung). Es ist nur der Primärenergiebedarf der Variante mit Wärmepumpe aufgelistet.

Q_h	MJ/m^2	64	74	77	91	92	93	107	113	134
Variante		_03	_04	_01	_02	_07	_09	_05	_08	_06
T1_1	$\text{kWh/m}^2\text{a}$	30.7	33.6	34.0	35.2	33.8	37.4	37.9	37.4	40.1
T1_4	$\text{kWh/m}^2\text{a}$	34.7	36.4	39.3	38.9	38.3	42.9	43.5	41.0	44.9
	%	13	8	16	11	13	15	15	10	12

Figur 31: Darstellung des Primärenergiebedarfs für die Gebäude T1_1 und T1_4 mit den SIA-Primärenergiefaktoren bezogen auf den Heizwärmebedarf Q_h . Variante mit Wärmepumpe.



4.5. Interne Lasten

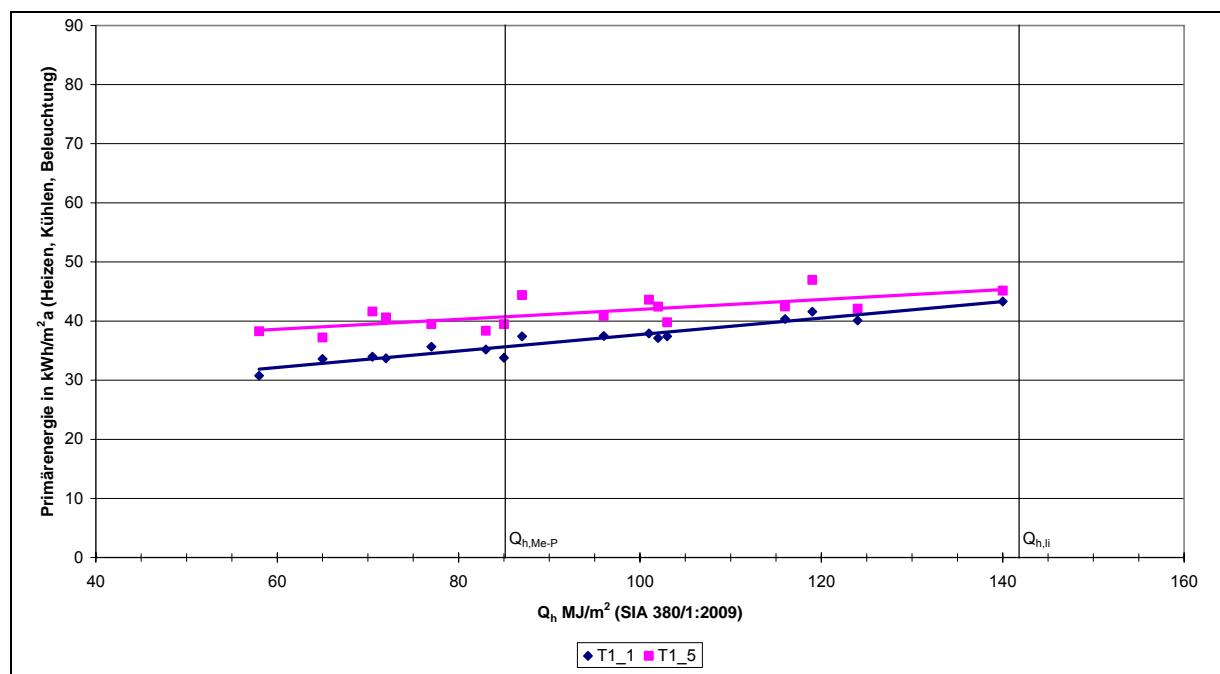
Die internen Lasten werden erhöht: In den Büroräumen wird neu mit der Nutzung Grossraumbüro aus dem SIA Merkblatt 2024 [8] gerechnet. Für die Personen- und Gerätelasten werden die Höchstwerte (grösster Wert des angegebenen Bereichs) eingesetzt. Die Beleuchtungsleistung und -steuerung wird gegenüber der Grundvariante nicht verändert, der Sollwert der Beleuchtungsstärke wird aber auf 800 lx erhöht. Weitere Unterschiede sind in Tabelle 5 ersichtlich.

Tabelle 9: Variante T1_5 (hohe interne Lasten) im Vergleich mit der Grundvariante (durchschnittliche interne Lasten). Es ist nur der Primärenergiebedarf der Variante mit Wärmepumpe aufgelistet.

Q_h	MJ/m ²	58	65	71	72	77	83	85	87	96	101	102	103	116	119	124	140
Variante		_03	_04	_01	_11	_12	_02	_07	_09	_10	_05	_15	_08	_16	_13	_06	_14
T1_1	kWh/m ² a	30.7	33.6	34.0	33.7	35.7	35.2	33.8	37.4	37.5	37.9	37.1	37.4	40.3	41.6	40.1	43.3
T1_5	kWh/m ² a	38.3	37.2	41.6	40.6	39.5	38.3	39.5	44.4	40.9	43.6	42.4	39.8	42.5	47.0	42.1	45.1
%		25	11	22	20	11	9	17	19	9	15	14	6	5	13	5	4

Aus rein energetischer Sicht ist eine gute Gebäudehülle auch bei den hier eingesetzten hohen internen Lasten von Vorteil. Der nochmals flacher gewordene Verlauf der Kurve lässt aber die Frage zu, ob die (geringen) Einsparungen auf Seiten Betriebsenergiebedarf die Mehrinvestitionen bei der Gebäudehülle rechtfertigen (Grenzkostenüberlegung). Wie hoch die internen Lasten sein müssten, damit die Kurve mit zunehmendem Q_h sogar fällt, müssten weitere Untersuchungen zeigen (Ermittlung des „Break-even“).

Figur 32: Darstellung des Primärenergiebedarfs für die Gebäude T1_1 und T1_5 mit den SIA-Primärenergiefaktoren bezogen auf den Heizwärmebedarf Q_h . Variante mit Wärmepumpe.



4.6. Fazit

Die Sensitivitätsanalysen zeigen, dass einzig bei der Erhöhung der internen Lasten (T1_5) eine signifikante Veränderung des Verhältnisses zwischen Primärenergiebedarf (für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung) und des Heizwärmebedarfs resultiert (unterschiedliche Steigung der Trendlinien). Bei den übrigen Sensitivitätsanalysen verschieben sich zwar die Trendlinien, verändern ihre Steigung aber nicht.

5. Primärenergiebedarf für Erstellung (graue Energie) / Betrieb

In einer Gesamtbetrachtung sind für ein Gebäude der Primärenergiebedarf für Erstellung und Rückbau (graue Energie) sowie der Primärenergiebedarf für den Betrieb zu berücksichtigen. Entsprechend verursachen Erstellung, Betrieb und Rückbau auch Treibhausgasemissionen. Im Folgenden werden aufgrund der Ergebnisse aus den vorhergehenden Abschnitten der Treibhausgasausstoss für den Betrieb (Abschnitt 5.1) und der Primärenergiebedarf sowie der Treibhausgasausstoss für Erstellung und Rückbau (Abschnitt 5.2) berechnet. Je nach Energieträger und System sind unterschiedliche Faktoren für die Umrechnung von Nutz- in Endenergie bzw. von End- in Primärenergie bzw. in den Treibhausgasausstoss zu verwenden (siehe Abschnitt 5.1).

Im Abschnitt 5.3. werden die gesamten Treibhausgasemissionen (Erstellung, Rückbau und Betrieb) in Relation zum Heizwärmebedarf dargestellt und analysiert. Es werden nur die Gebäude T1_1 (Grundvariante) und T1_5 (hohe interne Lasten) in diesem Abschnitt dokumentiert. Die Resultate für die übrigen Gebäude sind im Anhang zu finden.

5.1. Treibhausgasemissionen im Betrieb

Berechnet werden die Emissionen für die Varianten mit einer Wärmeerzeugung mit Gas, Holz, Fernwärme und Erdsonden-Wärmepumpe. Für den Elektrizitätsbedarf der Beleuchtung, der Kälteerzeugung und den Betrieb der Wärmepumpe werden unterschiedliche Faktoren eingesetzt (CH-Verbrauchermix sowie Strom aus Wasserkraft). Die verwendeten Treibhausgas-Faktoren sind in Tabelle 10 ersichtlich.

Tabelle 10: Übersicht Treibhausgasemissionsfaktoren. Quelle: *Primärenergiefaktoren von Energiesystemen [12]*

		Treibhausgas-Emissionskoeffizienten	
Energiequelle	η bzw. JAZ	SIA	SIA Öko
	-	kg/MJ	kg/MJ
Wärmepumpe (Erdsonde)	4.3	0.043 ¹⁾	0.003 ²⁾
Fernwärme	0.95	0.044	0.044
Gas	0.9	0.067	0.067
Holz (Pellet)	0.85	0.01	0.01
Kältemaschine	5.5	0.043 ¹⁾	0.003 ²⁾
Beleuchtung	1	0.043 ¹⁾	0.003 ²⁾

¹⁾ CH Verbrauchermix für Strom

²⁾ Strom aus Wasserkraft

Die Berechnungen / Simulationen liefern Ergebnisse auf Stufe Nutzenergie. Diese Ergebnisse werden mit den entsprechenden Jahresarbeitszahlen bzw. Nutzungsgraden in Endenergie umgerechnet. Ausgehend von der Endenergie wird mit den Emissionskoeffizienten die entsprechende Treibhausgas-Emission ermittelt. Die Resultate sind in Abschnitt 5.3 dokumentiert, zusammen mit den Treibhausgas-Emissionen für die Erstellung.

5.2. Treibhausgasemissionen / Primärenergiebedarf für Erstellung

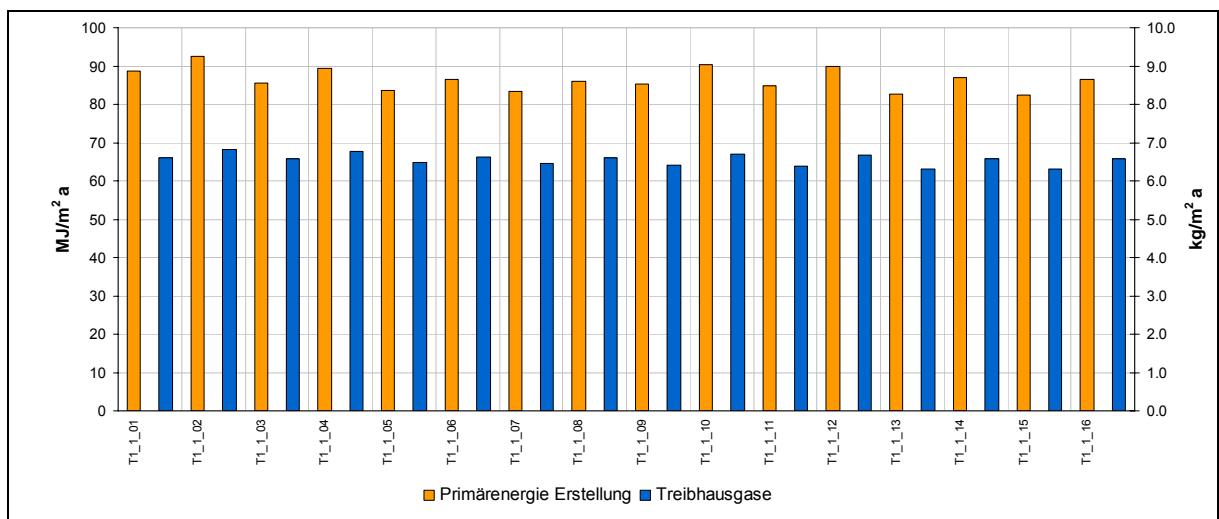
Der Primärenergiebedarf für die Erstellung (Graue Energie) schliesst alle Energien mit ein, welche für Herstellung, Transport, Verarbeitung, Rückbau und Entsorgung des jeweiligen Bauteils nötig sind. Entsprechend verhält es sich mit den Treibhausgasemissionen. Die Datengrundlage für diese Berechnungen liefert die Datenbank der KBOB [13]. Bei der Haustechnik wird von einem mittleren Ausbaustandard ausgegangen. Da die Grundlagendaten für die Haustechnik spezifisch pro m² Gebäudefläche definiert sind, hat die Gebäudeform bei

der Haustechnik keinen Einfluss auf den Bedarf auf die Treibhausgasemissionen. Zudem werden Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen für Erstellung und Rückbau entsprechend der Lebensdauer der jeweiligen Komponenten auf jahresspezifische Werte umgerechnet, um diese Werte mit den Zahlen aus dem Betrieb vergleichen zu können.

Die unterschiedlichen Ergebnisse der verschiedenen Varianten resultieren aus den unterschiedlichen Dämmstärken sowie aus den unterschiedlichen Fenstern. Bei einem Fenster mit Glas U -Wert 0.5 W/m²K und g -Wert von 0.4 ist eine 3-fach-Isolierverglasung mit Alu-Rahmen eingesetzt. Dieses Fenster weist einen Primärenergiebedarf von 2204 MJ/m² sowie eine Treibhausgasemission von 132.7 kg/m² auf. Bei einem Fenster mit Glas U -Wert 1.0 W/m²K und g -Wert 0.6 (2-fach-Verglasung) liegt der Primärenergiebedarf bei 1901 MJ/m² und die Treibhausgasemission bei 120.6 kg/m².

Aus dem Diagramm wird ersichtlich, dass die Ergebnisse der verschiedenen Varianten nur geringfügig voneinander abweichen (Unterschiede beim Primärenergiebedarf Erstellung ca. 11%, bei den Treibhausgasemissionen ca. 8%).

Figur 33: Primärenergiebedarf Erstellung und Treibhausgasemissionen für T1_1.



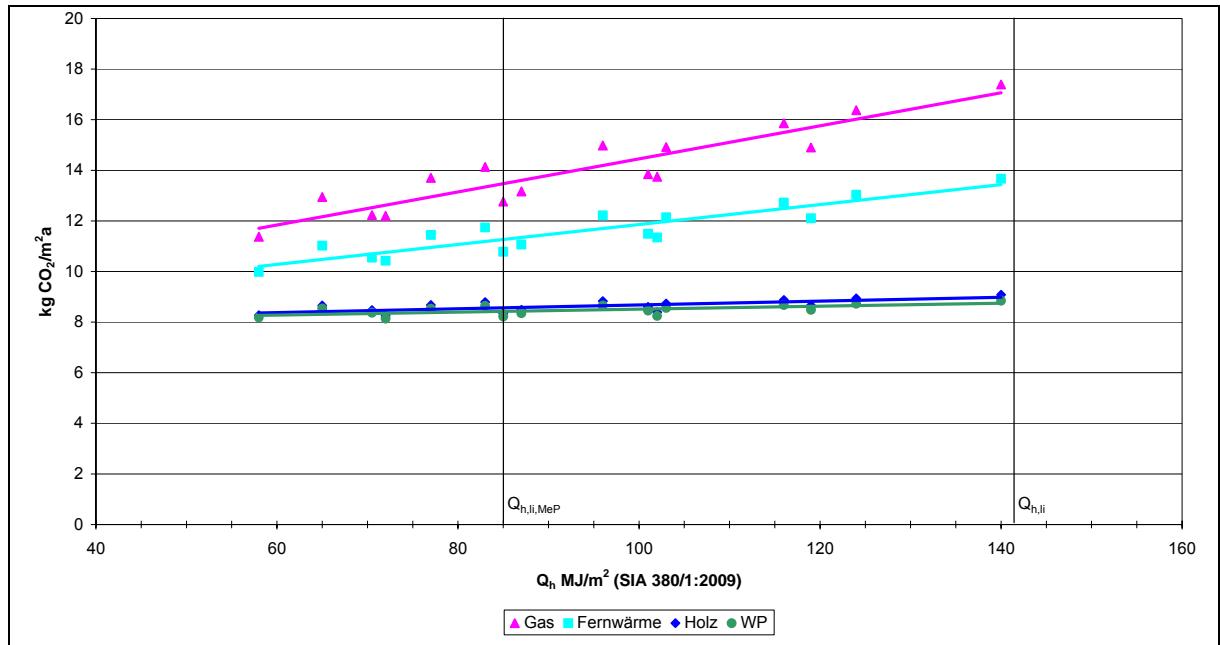
5.3. Treibhausgasemissionen in Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs

In Figur 34 werden die Treibhausgasemissionen für Erstellung und Betrieb in Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs Q_h für die Varianten Wärmepumpe, Gas, Holz und Fernwärme dargestellt. Die Trendlinien für Holzheizung und Wärmepumpe sind deckungsgleich, weisen beide eine sehr geringe Steigung und vergleichsweise tiefe Werte auf. Die Variante mit einer Gasheizung weist die höchsten, die Fernwärme die zweithöchsten Werte auf.

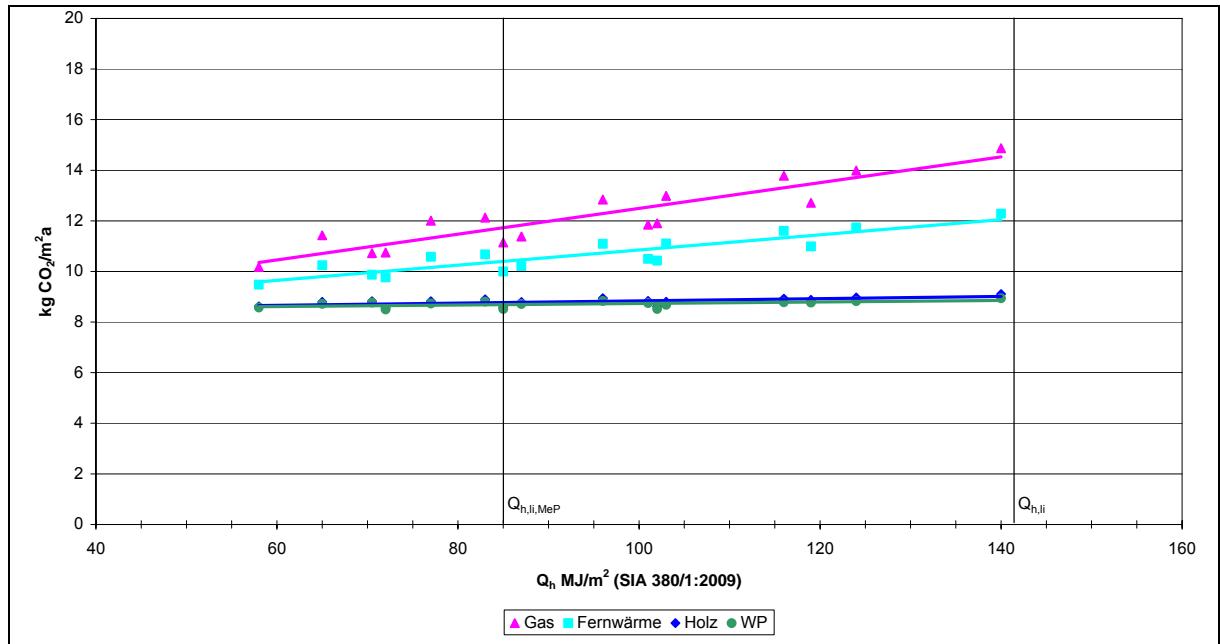
Steigt bei der Wärmepumpe die Emission zwischen den beiden Punkten $Q_h = 58 \text{ MJ/m}^2$ ($8.18 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2$) und $Q_h = 140 \text{ MJ/m}^2$ ($8.85 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2$) lediglich um 8% an, ist es bei der Gasheizung ein Anstieg von 53%. Die Variante Gasheizung liegt bei $Q_h = 58 \text{ MJ/m}^2$ um 39% über der Variante Wärmepumpe und bei $Q_h = 140 \text{ MJ/m}^2$ sogar 96% höher.

In Figur 35 sind die Treibhausgasemissionen für die Variante mit hohen internen Lasten dokumentiert. Im Wissen, dass die Toleranzen (Unsicherheiten) bei den Treibhausgasemissionen der Bauteile sehr gross sind, sind die vorhandenen Differenzen eher zufällig und lassen keine Aussage zu. Auch hier sind die Trendlinien für Holzheizung und Wärmepumpe deckungsgleich. Die Werte bei der Gasheizung bzw. bei der Fernwärme starten auf einem tieferen Wert und die Linien verlaufen nicht so steil wie in der Grundvariante. Grund für die schwache Steigung ist der geringere Anteil der Wärmeenergie am Gesamtenergiebedarf.

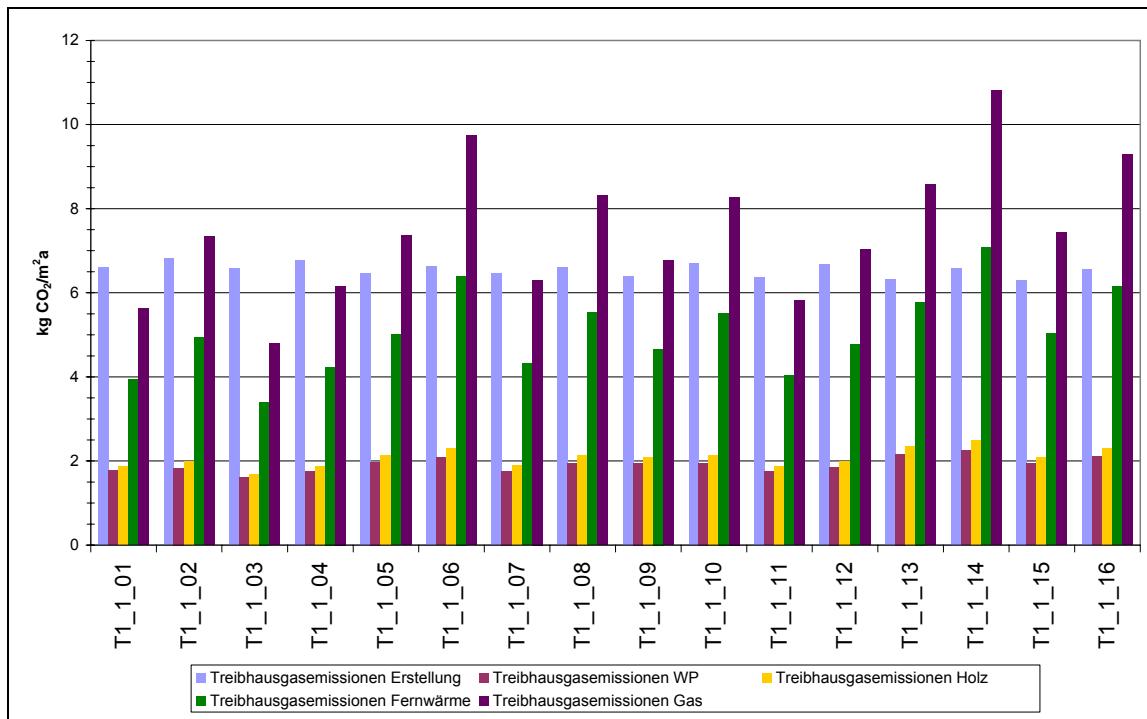
Figur 34: Treibhausgasemissionen Erstellung und Betrieb für das Gebäude T1_1, gerechnet mit den SIA-Primärenergiefaktoren



Figur 35: Treibhausgasemissionen Erstellung und Betrieb für das Gebäude T1_5, gerechnet mit den SIA-Primärenergiefaktoren



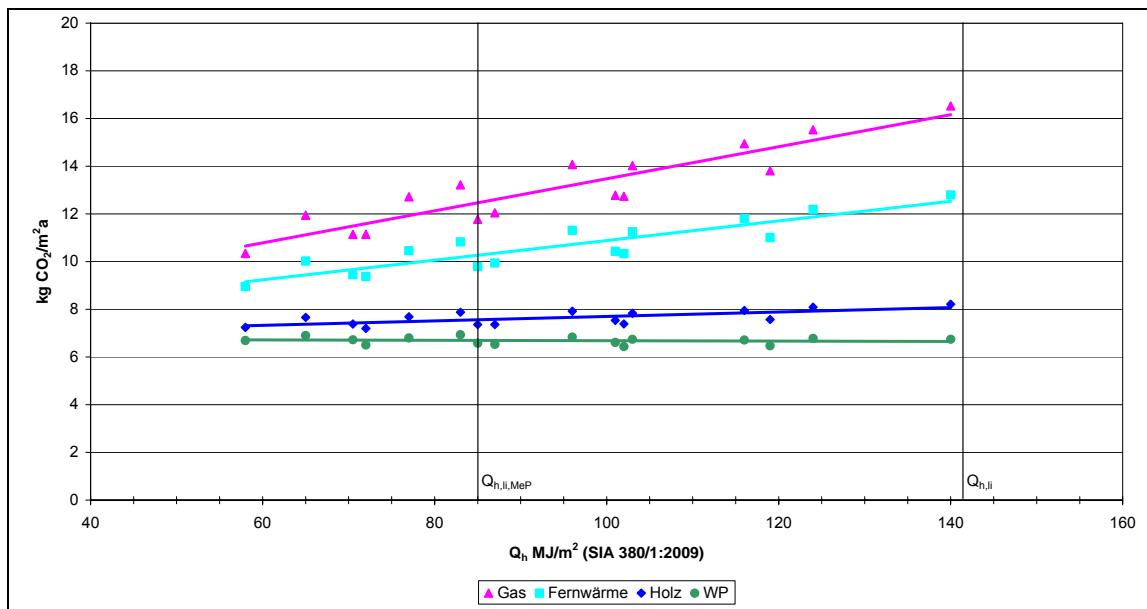
Figur 36: Treibhausgasemissionen für das Gebäude T1_1. Strom: CH-Verbrauchermix.



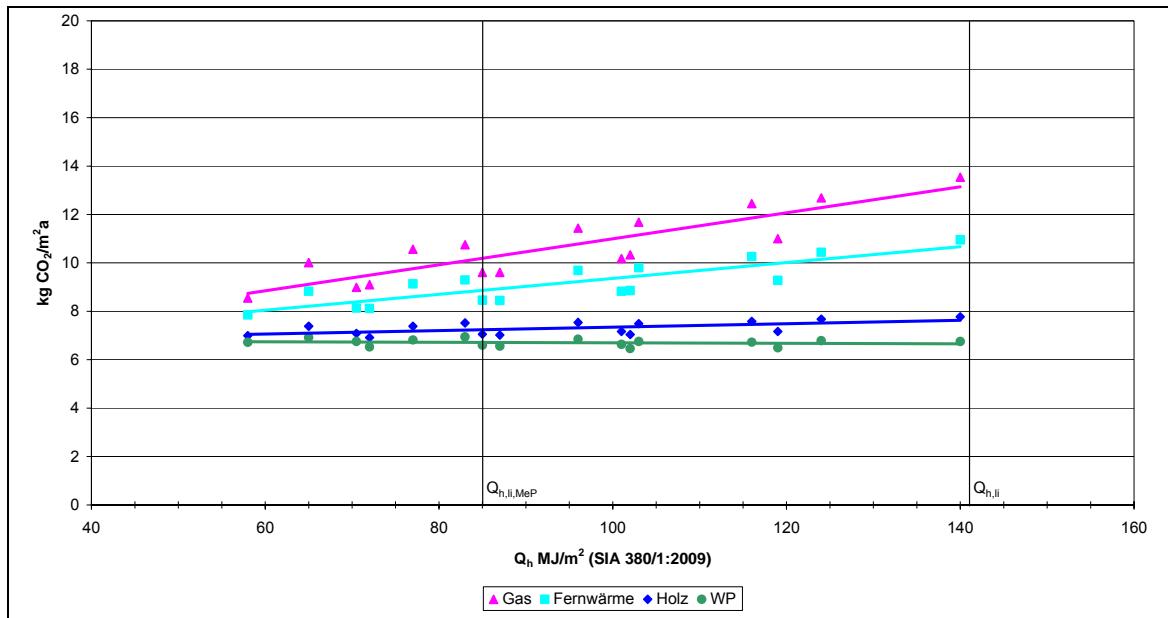
Die anderen Gebäudevarianten verhalten sich tendenziell gleich wie die hier abgebildeten Varianten.

Für die Varianten T1_1 und T1_5 werden die Treibhausgasemissionen zusätzlich auch mit den Faktoren SIA-Öko (Strom aus Wasserkraft) gerechnet (Resultate siehe Figur 37 und Figur 38). Im Vergleich mit Figur 34 und Figur 35 liegen hier die Werte etwas tiefer, die Variante mit der Wärmepumpe liegt zudem jetzt etwas tiefer als die Variante mit der Holzheizung. Bei der Variante mit Wärmepumpe nimmt der Primärenergiebedarf mit zunehmendem Heizwärmeverbrauch nicht mehr zu.

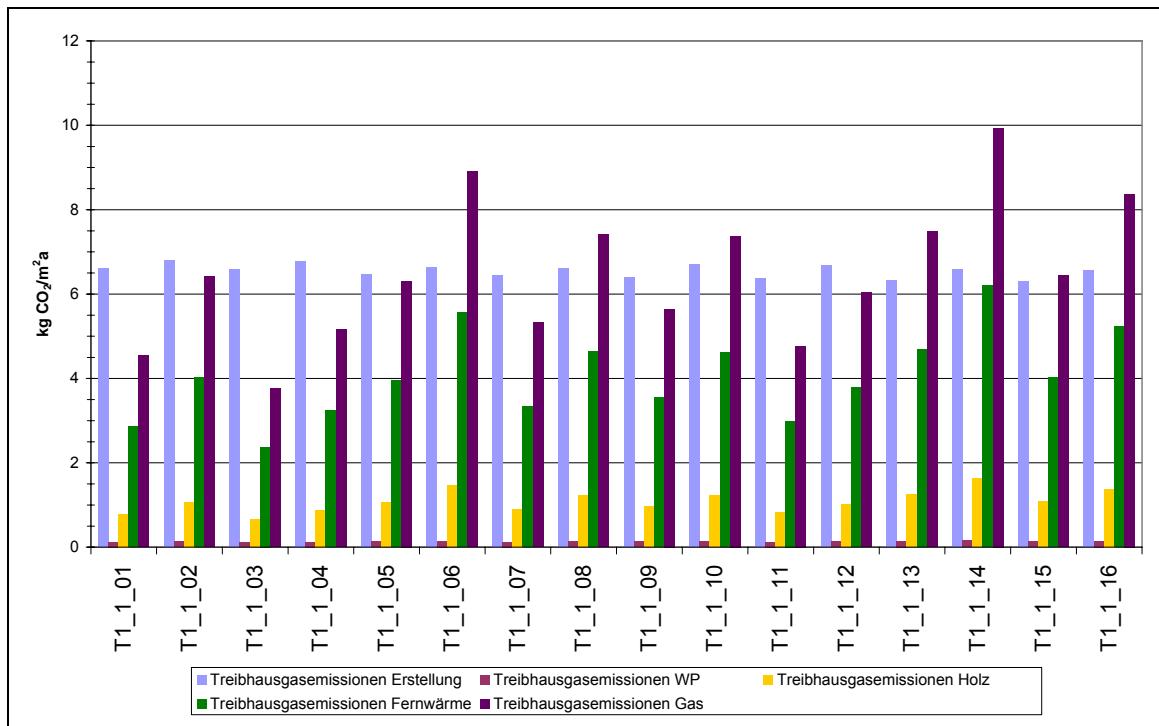
Figur 37: Treibhausgasemissionen Erstellung und Betrieb für das Gebäude T1_1, gerechnet mit den SIA Öko-Faktoren (Strom aus Wasserkraft)



Figur 38: Treibhausgasemissionen Erstellung und Betrieb für das Gebäude T1_5, gerechnet mit den SIA Öko-Faktoren (Strom aus Wasserkraft)



Figur 39: Treibhausgasemissionen für das Gebäude T1_1 (gerechnet mit Strom aus Wasserkraft)



5.4. Fazit

Graue Energie und Treibhausgasemissionen variieren für die unterschiedlichen Gebäudevarianten nur unwesentlich. Der entsprechende Mehraufwand für Gebäude mit thermisch guter Gebäudehülle dürfte somit durch die Einsparungen im Betrieb kompensiert werden.

Die Treibhausgasemissionen nehmen bei der Fernwärme und der Gasheizung mit zunehmendem Heizwärmebedarf merklich zu. Bei der Holzheizung und der Wärmepumpe ist praktisch keine Zunahme des der Emissionen mit zunehmendem Heizwärmebedarf festzustellen.

6. Einfluss der Primärenergiefaktoren (Sensitivitätsanalyse)

In Abschnitt 2.3 ist der Einfluss der Energieträger auf den Primärenergiebedarf dokumentiert. Entsprechend den jeweils zu verwendenden Faktoren schneidet die Erdsonden-Wärmepumpe am besten ab, gefolgt von der Fernwärme, dann der Gasheizung und am Schluss mit den höchsten Werten die Holzheizung. Nachfolgend wird untersucht, wie sich unterschiedliche Primärenergie- bzw. Gewichtungsfaktoren bei der Elektrizität auswirken (SIA, SIA Öko, Minergie). Tabelle 11 zeigt die verwendeten Primärenergie- bzw. Gewichtungsfaktoren.

Tabelle 11: Übersicht der verwendeten Primärenergiefaktoren. Quelle *Primärenergiefaktoren von Energiesystemen* [12] und Minergie [3]

	Primärenergiefaktoren		Gewichtungsfaktoren
System	SIA ¹⁾	SIA Öko ²⁾	Minergie
	kWh/kWh	kWh/kWh	kWh/kWh
Wärmepumpe (Erdsonde) [Strom]	2.97	1.22	2.00
Fernwärme	0.85	0.85	0.60
Gas	1.15	1.15	1.00
Holz (Pelltet)	1.22	1.22	0.50
Kältemaschine [Strom]	2.97	1.22	2.00

¹⁾ CH-Verbrauchermix für Strom

²⁾ Strom aus Wasserkraft

Die Nutzungsgrade und Jahresarbeitszahlen beeinflussen den Faktor mit welchem die Nutzenergie direkt multipliziert wird, um die Primärenergie zu berechnen. Um den Effekt dieser Faktoren zu illustrieren werden sie variiert (siehe Tabelle 12). Die Variante 1 entspricht der Tabelle 2 aus dem Abschnitt 2.

Tabelle 12: Nutzungsgrade und Jahresarbeitszahlen

	η bzw. JAZ	
System	Var. 1	Var. 2
	-	-
Wärmepumpe (Erdsonde)	4.30	3.1
Fernwärme	0.95	0.9
Gas	0.90	0.85
Holz (Pelltet)	0.85	0.80
Kältemaschine	5.50	4.8

6.1. Primärenergiefaktoren SIA Öko

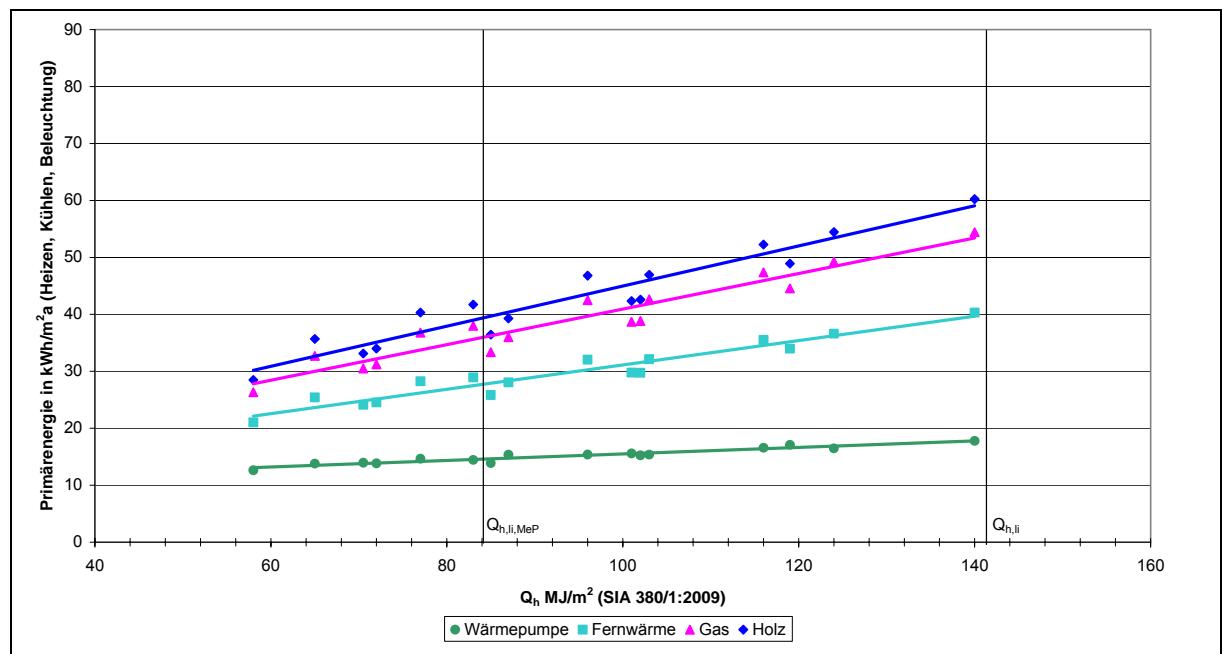
Mit den Angaben aus Tabelle 11 und Tabelle 12 werden die Umrechnungsfaktoren von Nutz- zu Primärenergie bestimmt.

Tabelle 13: Umrechnungsfaktoren Nutz- zu Primärenergie (Basis SIA Öko)

System	Var. 1	Var. 2
	-	-
Wärmepumpe (Erdsonde)	0.28	0.39
Fernwärme	0.89	0.94
Gas	1.28	1.35
Holz (Pellet)	1.43	1.52

Einzig die Variante mit der Wärmepumpe wird durch die Verwendung von Wasserkraft-Strom beeinflusst, die anderen Wärmeerzeugungssysteme sind (hier) vom Strom unabhängig. Der Primärenergiebedarf ist bei der Verwendung von reinem Wasserkraft-Strom nur noch geringfügig vom Heizwärmebedarf (Dämmung der Fassade) abhängig, wie Figur 40 für Variante 1 zeigt.

Figur 40: Primärenergiebedarf für T1_1 mit Primärenergiefaktoren SIA-Öko und η bzw. JAZ der Variante 1



6.2. Minergie-Gewichtungsfaktoren 2009

Das Vorgehen ist analog zu Abschnitt 6.1, ausser dass an Stelle von Primärenergiefaktoren die Gewichtungsfaktoren von Minergie (identisch zu den nationalen Gewichtungsfaktoren) eingesetzt werden (Werte in Tabelle 14). Es wird so nicht ein Primärenergiebedarf berechnet sondern ein gewichteter Endenergiebedarf. Im Vergleich mit den Ergebnissen bei den Primärenergiefaktoren SIA Öko fällt auf, dass die Reihenfolge bei den Systemen anders ist und der Unterschied zwischen Fernwärme und Wärmepumpe gering wird.

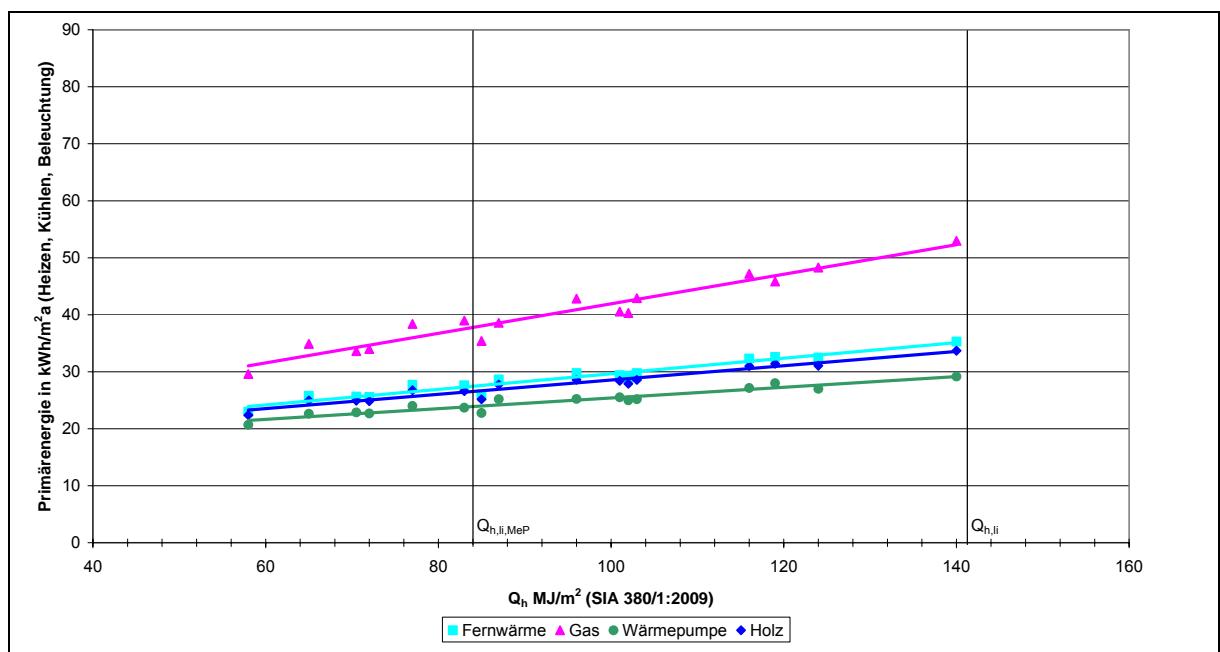
Tabelle 14: Umrechnungsfaktoren Nutz- zu gewichteter Endenergie (Minergie-Gewichtungsfaktoren)

System	Var. 1	Var. 2
	-	-
Wärmepumpe (Erdsonde)	0.47	0.65
Fernwärme	0.63	0.67
Gas	0.90	0.85
Holz (Pelltet)	0.59	0.63

Die Wärmepumpe (Var.1) weist den geringsten gewichteten Endenergiebedarf auf. An zweiter Stelle folgt hier – anders als bei der Primärenergie – die Holzheizung (mit den SIA-Öko-Werten war sie die schlechteste der vier untersuchten Varianten), dann die Fernwärme und deutlich am Schluss die Gasheizung. Mit den Umrechnungsfaktoren der Variante 2 gerechnet ist die beste Lösung Holz, dicht gefolgt von der Wärmepumpe und Fernwärme. Die Variante mit Gas ist sowohl bei der Primärenergie als auch bei der gewichteten Endenergie weit abgeschlagen am Schluss.

In Figur 41 sind die Ergebnisse der Variante 1 dokumentiert. Wie schon aufgrund der Faktoren aus Tabelle 14 zu sehen ist, liegen die Varianten Wärmepumpe, Holz und Fernwärme nahe bei einander.

Figur 41: Gewichteter Endenergiebedarf für T1_1 mit Minergie-Gewichtungsfaktoren und η bzw. JAZ aus Tabelle 2.



6.3. Erneuerbare Energie am Standort

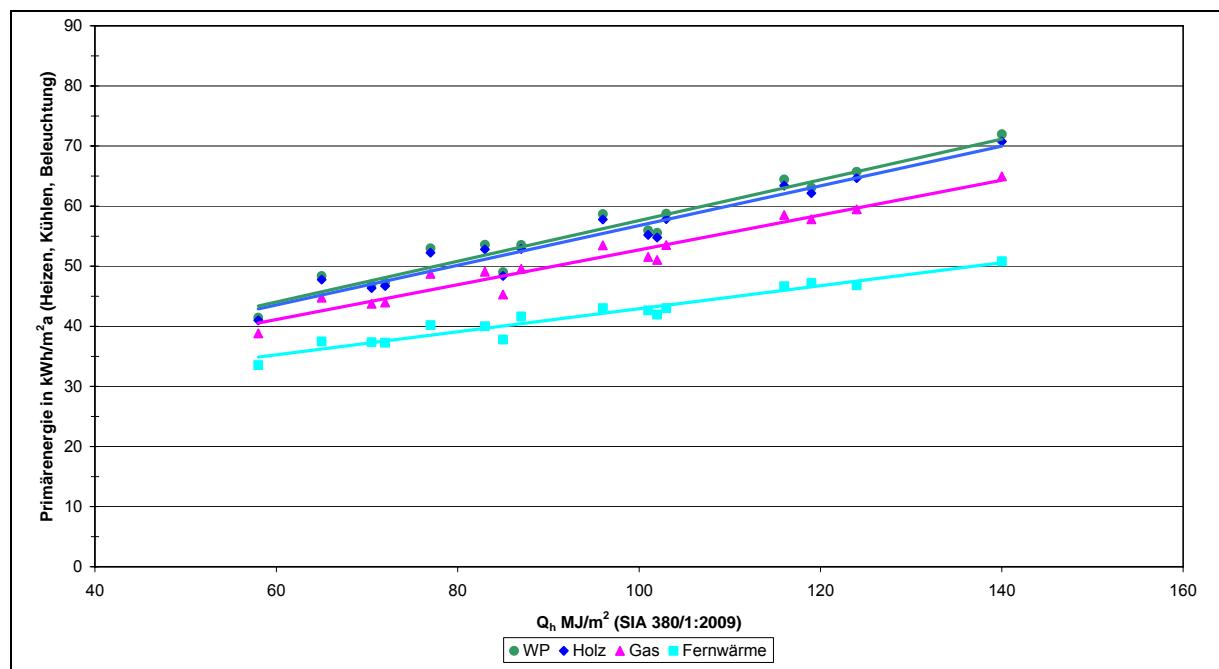
In den bisherigen Betrachtungen wurde bei den Primärenergiefaktoren die erneuerbare Energie am Standort (Erdwärme, Aussenluft, etc.) konsequent nicht berücksichtigt. Eine davon abweichende Betrachtungsweise fordert jedoch die Berücksichtigung der erneuerbaren Energien am Standort, was die Ergebnisse / Erkenntnisse teilweise beeinflusst (andere Primärenergiefaktoren). Wurde in den bisherigen Betrachtung bei der Wärmepumpe der Nutzenergiebedarf mit dem Faktor 0.69 multipliziert (CH-Strommix: 2.97 dividiert durch Jahresarbeitszahl Wärmepumpe: 4.3) um den Primärenergiebedarf zu erhalten, beträgt der Faktor mit Berücksichtigung der erneuerbaren Energie am Standort 1.46 (Primärenergiefaktor ohne Umweltenergie plus (1-1/4.3)). Mit den Primärenergiefaktoren SIA-Öko betragen die Faktoren 0.28 (ohne erneuerbarer Energie am Standort) bzw. 1.05 (mit erneuerbarer Energie am Standort). In Tabelle 15 sind alle Werte aufgelistet.

Tabelle 15: Umrechnungsfaktoren Nutz- zu Primärenergie (mit Berücksichtigung der erneuerbaren Energie am Standort)

System	SIA	SIA Öko
	-	-
Wärmepumpe (Erdsonde)	1.46	1.05
Fernwärme	0.89	0.89
Gas	1.32	1.32
Holz (Pelltet)	1.43	1.43

Mit dem anhand der Faktoren aus Tabelle 15 berechneten Primärenergiebedarf liegt die Wärmepumpe an letzter Stelle, gar hinter der Variante mit einer Gasheizung. Ohne Berücksichtigung der erneuerbaren Energien am Standort war die Wärmepumpe die Lösung mit dem tiefsten Primärenergiebedarf.

Figur 42: Primärenergiebedarf für T1_1 mit Berücksichtigung der erneuerbaren Energien am Standort.



6.4. Fazit

Die hier angestellten Vergleiche zeigen, dass

1. die Wahl des Energieträgers
2. die verwendeten Primärenergiefaktoren
3. die Güte der Nutzungsgrade und Jahresarbeitszahlen

im Allgemeinen den grösseren Einfluss auf den Primärenergiebedarf haben als der Heizwärmebedarf (bzw. die Dämmung der Gebäudehülle). Je grösser diese Faktoren gewählt werden, desto grösser wird der Einfluss der Gebäudehülle. Bei der bestmöglichen Lösung (von den hier untersuchten) mit einer Wärmepumpe mit hoher Jahresarbeitszahl und Strom aus Wasserkraft ist der Primärenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung kaum mehr vom Heizwärmebedarf abhängig, das heisst bei der Ausgestaltung der Gebäudehülle entsteht so ein relativ grosser Spielraum ohne dass die Energieeffizienz (Stufe Primärenergie) merklich tangiert wird.

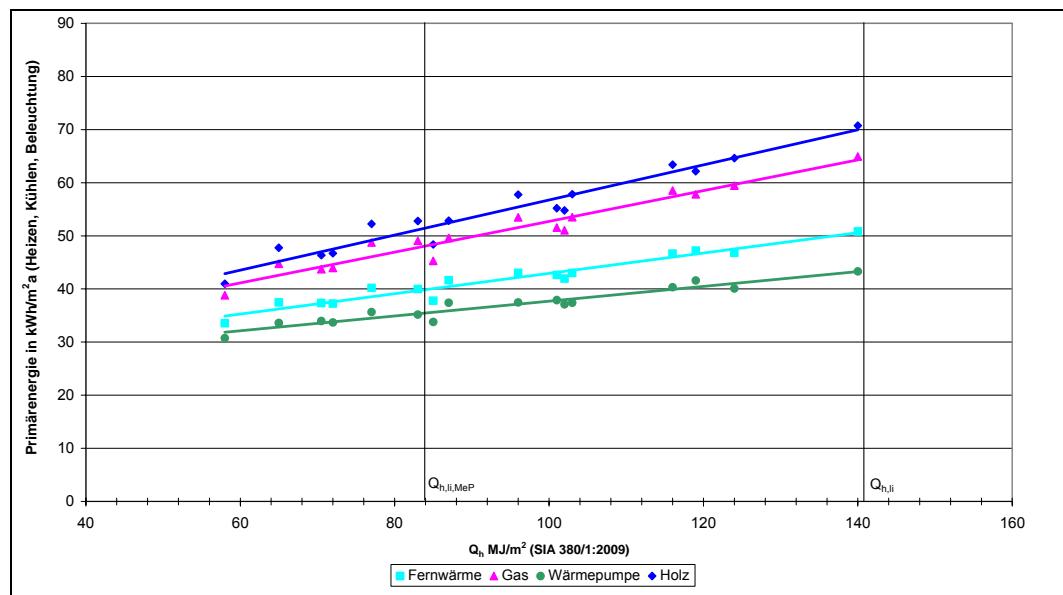
7. Einfluss der Beleuchtungsenergie

7.1. Fragestellung

Bei allen vorangegangenen Betrachtungen wird immer der Primärenergiebedarf für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung dargestellt. Wie sieht nun eine Auswertung ohne Beleuchtungsenergie aus? Steigen die Trendlinien immer noch an? Sieht die Reihenfolge der „effizientesten“ Wärmeerzeuger gleich aus wie bei den Auswertungen mit Beleuchtungsenergie? Diese Fragen werden anhand des Gebäudes T1_1 beantwortet. Die Figur 8 aus Abschnitt 2 wird dazu hier noch einmal aufgeführt und bildet die Grundvariante.

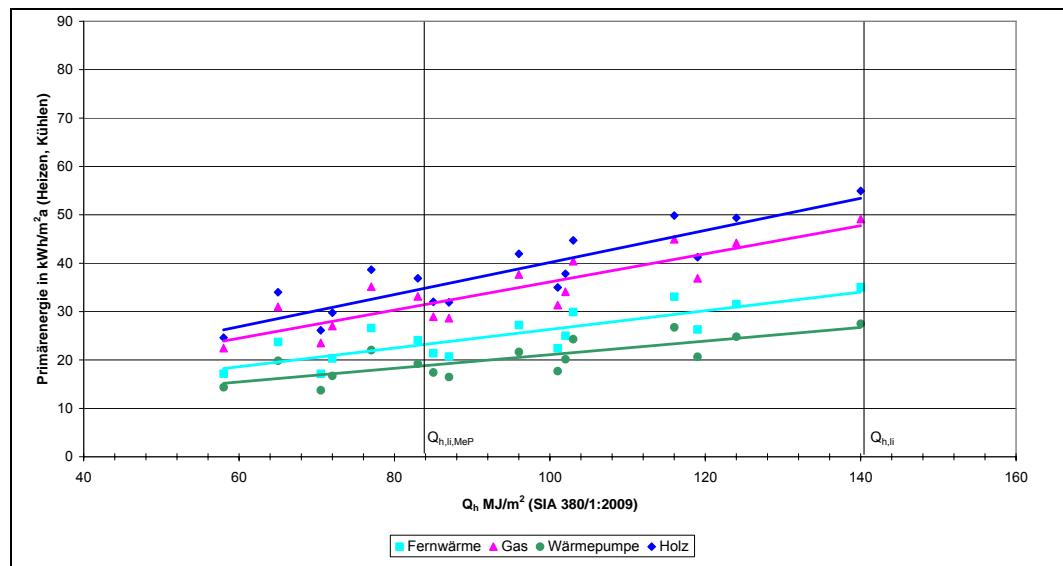
7.2. Ergebnisse

Figur 43: Primärenergiebedarf für T1_1 mit SIA-Primärenergiefaktoren; Auswertung inkl. Beleuchtung



In Figur 43 wird der Primärenergiebedarf mit den SIA-Primärenergiefaktoren gerechnet. Die Auswertung erfolgt für die Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung. In Figur 44 wird im Gegensatz dazu die Beleuchtung nicht mehr berücksichtigt.

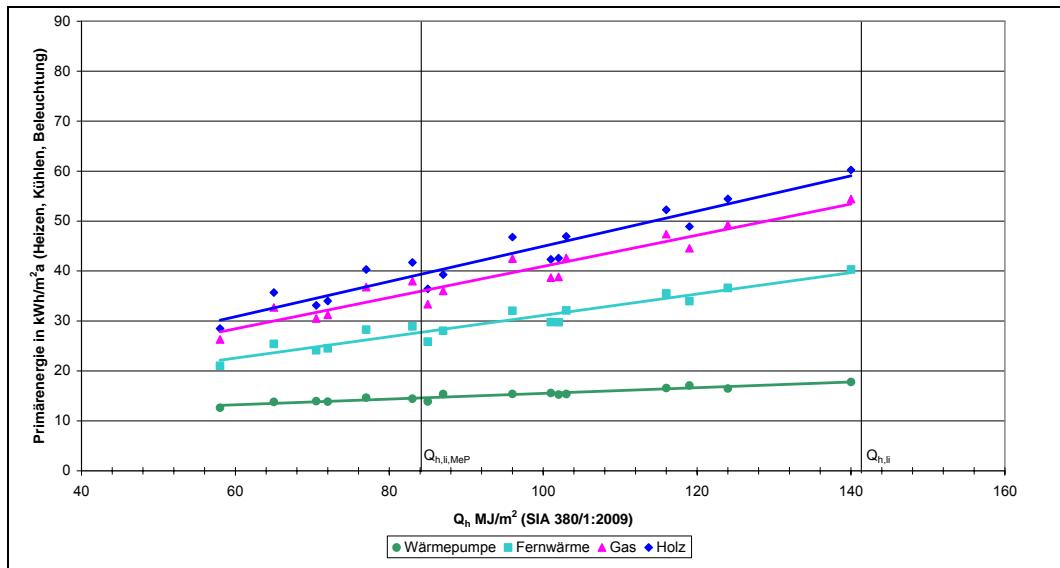
Figur 44: Primärenergiebedarf für T1_1 mit SIA-Primärenergiefaktoren; Auswertung exkl. Beleuchtung



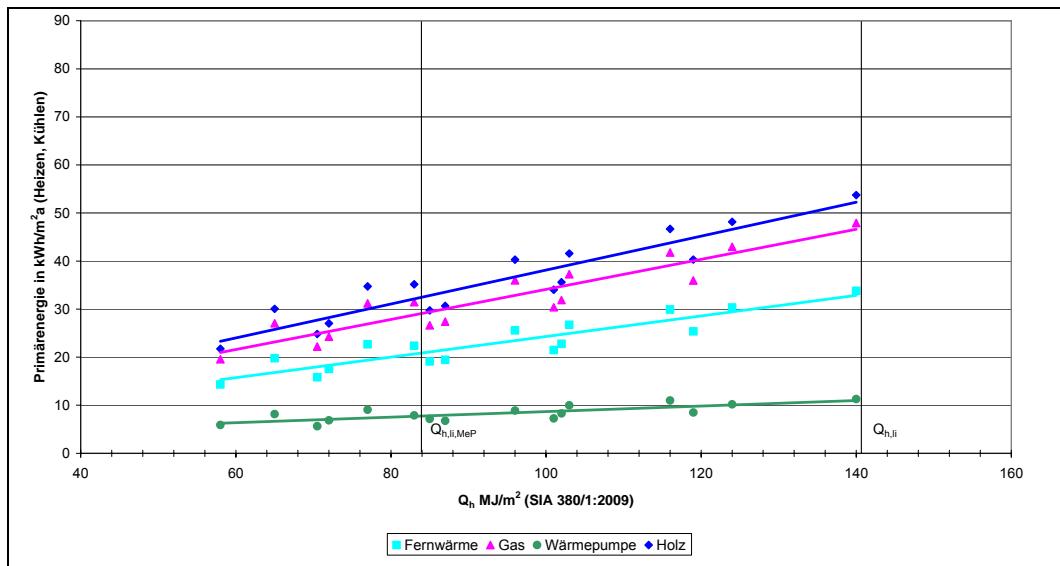
Der Primärenergiebedarf sinkt um rund 15 kWh/m²a. Die Reihenfolge der Energieträger betreffend Primärenergiebedarf bleibt unverändert, ebenso die Steigung der Trendlinien. Die Schwankungen beim Beleuchtungsenergiebedarf wirken sich somit nicht auf die Steigung der Trendlinie aus.

In Figur 45 und Figur 46 ist der Primärenergiebedarf mit den SIA Öko-Primärenergiefaktoren dargestellt (einmal mit und einmal ohne Beleuchtungsenergie). Auch hier ist die Reihenfolge der Wärmeerzeugungen unverändert und die Trendlinien verlaufen in beiden Varianten mit mehr oder weniger der gleichen Steigung.

Figur 45: Primärenergiebedarf für T1_1 mit SIA Öko-Primärenergiefaktoren; Auswertung inkl. Beleuchtung



Figur 46: Primärenergiebedarf für T1_1 mit SIA Öko-Primärenergiefaktoren; Auswertung exkl. Beleuchtung



7.3. Fazit

Wird die Beleuchtungsenergie bei der Auswertung weggelassen, ändert sich an der Aussage zum Primärenergiebedarf nichts. Die Tendenzen bleiben gleich.

8. Fazit und Ausblick

8.1. Fazit für Gesetzgeber, Behörden, Normenschaffende, Minergie

Die Energievorschriften im Gebäudebereich fokussieren heute stark auf eine gute Gebäudehülle, welche durch den Heizwärmebedarf nach Norm SIA 380/1 auf Stufe Nutzenergie bewertet wird. Minergie geht bei seinen Standards Minergie und Minergie-P einen Schritt weiter, indem auch Grenzwerte für den Energiebedarf für Heizen, Kühlen, Lüften auf Stufe gewichteter Endenergie bewertet werden. Vor allem bei Minergie-P ist die Anforderung an den Heizwärmebedarf aber meist derart dominierend, dass die Anforderung an den Grenzwert vergleichsweise einfach einzuhalten ist. Grundsätzlich fördern die Gesetze und auch Minergie heute ein kompaktes Bauen.

Die vorliegende Studie zeigt, dass aus Sicht Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung das Streben nach einem tiefen Heizwärmebedarf – für die hier gerechneten Fälle – nicht kontraproduktiv ist: Ein tiefer Heizwärmebedarf muss nicht auf Kosten eines höheren Primärenergiebedarfs „erkauf“ werden, weil eine zu gut gedämmte Gebäudehülle den Klimakälte- oder Beleuchtungsenergiebedarf erhöhen würde. Der Vorteil der sehr guten Gebäudehülle ist aber in einigen Fällen so gering, dass bei einer zusätzlichen Berücksichtigung erhöhten Materialbedarfs und vor allem der Kosten durch die sehr gute Gebäudehülle gesamthaft kein Mehrwert entsteht. Weiter zeigt die Studie, dass die Beleuchtung mindestens auf Stufe Primärenergiebedarf einen wesentlichen Anteil am Gesamtenergiebedarf ausmacht, während der Anteil der Klimakälte (bei effizienter Erzeugung) marginal bleibt. Die Bedeutung der Beleuchtungsenergie (bzw. der Tageslichtnutzung) zeigt auch die Erkenntnis, dass sehr kompakte Bauten gesamthaft ineffizienter sind, wenn aufgrund der Kompaktheit hohe Raumtiefen resultieren und somit eine schlechte Tageslichtnutzung in Kauf genommen wird.

Bei der Beurteilung des Primärenergiebedarfs für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung zeigt sich der grosse Einfluss des für die Wärmeerzeugung gewählten Systems. Bei Systemen mit schlechtem Nutzungsgrad und/oder hohem Primärenergiefaktor (Gasheizung, Holzheizung) steigt der Primärenergiebedarf mit zunehmendem Heizwärmebedarf stark an. Bei „effizienten“ Systemen mit tiefem Primärenergiefaktor (z.B. Fernwärme und vor allem Erdsonden-Wärmepumpe) ist nur noch ein geringer oder gar kein Zusammenhang zwischen Primärenergiebedarf und Heizwärmebedarf mehr festzustellen. Gleicher gilt für die Betrachtung der Treibhausgasemissionen anstelle des Primärenergiebedarfs.

Als Konsequenz davon ist es also möglich, ein Gebäude mit einer vergleichsweise schlecht gedämmten Gebäudehülle zu realisieren, dank effizienter Gebäudetechnik aber trotzdem einen sehr tiefen Primärenergiebedarf (bzw. tiefe Treibhausgasemissionen) zu realisieren.

Wichtig ist eine integrale Betrachtung des Energiebedarfs bzw. der Treibhausgasemissionen wie es die 2000-Watt-Gesellschaft, die 1-to-CO₂-Gesellschaft oder der SIA Effizienzpfad Energie vorsehen. Ergo wäre es wichtig, Grenzwerte und Anforderungen zu definieren, die sich auf einen Gesamtenergiebedarf bzw. auf Gesamtemissionen beziehen. Dies würde die Planenden stärker fordern, gesamtheitlich intelligente Lösungen anzustreben – ihnen aber auch grössere Freiheiten im architektonischen Entwurf und in der Konzipierung der technischen Lösungen bieten.

Gesamtheitliche Grenzwerte bieten aber auch gewisse Gefahren und Risiken – vor allem wenn sie auf Basis der Primärenergie definiert sind: Je nachdem welche Werte für Primärenergiefaktoren oder Gewichtungsfaktoren verwendet werden (SIA-Primärenergiefaktoren, Öko-Primärenergiefaktoren, Minergie-Gewichtungsfaktoren etc.) drängen sich z.T. sehr unterschiedliche Lösungen auf. Speziell deutlich wird dies bei der Frage, ob die Umweltenergie bei den Primärenergiefaktoren berücksichtigt werden soll oder nicht, entsprechend ist nämlich die Erdsonden-Wärmepumpe – wie die Studie zeigt – die beste bzw. die schlechteste der vier untersuchten Wärmeerzeugungs-Varianten.

Die hier durchgeführten Untersuchungen beinhalten keine ausführlichen, detaillierten Überlegungen zur Grauen Energie oder zu den Kosten (Investitionen, Energiepreisentwicklungen).

Es wäre weiter zu untersuchen, welche Erkenntnisse aus dieser Studie durch diese zusätzlichen Aspekte bestätigt oder in Frage gestellt werden (gerade z.B. bei der Frage der Kompaktheit).

Wichtig ist zu bemerken, dass die hier gewonnenen Erkenntnisse sich primär auf die untersuchte Nutzung „Büro“ beziehen und dass lediglich zwischen gut gedämmten Gebäudehüllen (heute geltende gesetzliche Anforderungen) und sehr gut gedämmten Gebäudehüllen (Minergie-P) unterschieden wurde.

8.2. Fazit für Planende

Wichtige Erkenntnis für Planende ist, dass das Streben nach einem tiefen Heizwärmebedarf (gut gedämmte Gebäudehülle, optimale Nutzung der passiv-solaren Gewinne) auch aus Sicht des Primärenergiebedarfs für Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung zu guten Ergebnissen führt. Ebenso wichtig ist aber die Erkenntnis, dass Massnahmen auf der technischen Seite (Wärmeerzeugungssystem, eingesetzte Energieträger) einen ebenso grossen meist gar grösseren Beitrag zu einem tiefen Primärenergiebedarf oder zu tiefen Treibhausgasemissionen leisten. Wichtig ist dabei aber, dass die haustechnischen Systeme auch mit der der Planung zugrunde liegenden Effizienz betrieben werden (COP, JAZ, Nutzungsgrad etc.).

Die grosse Bedeutung der Tageslichtnutzung wird hier unterstrichen. Kompakte Gebäude – oft mit hoher Energieeffizienz gleich gesetzt – führen zwar zu einem tiefen Heizwärmebedarf, verursachen aber – wenn die Kompaktheit mit hohen Raumtiefen „erkauf“ wird – aufgrund der schlechten Tageslichtnutzung einen hohen Beleuchtungsenergiebedarf, was sich dann in der Gesamtbilanz negativ auswirkt. Ziel müssen also möglichst kompakte Gebäude sein, die aber dank Atrien oder Lichthöfen (und daran angrenzende Bürozonen) trotzdem möglichst geringe Raumtiefen aufweisen, damit eine genügende Tageslichtnutzung möglich ist.

Wie gerade auch die Sensitivitätsanalysen zeigten, bestehen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen einzelnen Gebäudeparametern. Dies führt in verschiedenen Fällen zu Zielkonflikten (z.B. die optimale Wahl des g -Wertes der Verglasung) welche mit einem integralen Planungsansatz ab Projektbeginn am besten gelöst werden können.

8.3. Offene Fragen

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 (hier nur mit m^2 -spezifischen Werten berücksichtigt, was die Realität nur teilweise wiederzugeben vermag), 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 dürfte unter diesen Aspekten evtl. anders ausfallen: Die gute Tageslichtnutzung wird hier mit einem grossen Aufwand beim Bauvolumen (Graue Energie) und entsprechend bei den Kosten erkauft.

Zudem zeigten die hier durchgeföhrten Sensitivitätsanalysen eine relativ schwache Resultatsensitivität auf einzelne der variierten Parameter (interne Lasten, Verschattung, Sonnenschutz, Beleuchtung etc.). Hier wäre zu prüfen, ob bei einer stärkeren Variation eine deutlich höhere Sensitivität auftritt. Insbesondere interessiert, ab welchen internen Lasten der Primärenergiebedarf mit zunehmendem Heizwärmebedarf abnimmt, weil eine zu gute Gebäudehülle den Energiebedarf für Klimakälte und/oder Beleuchtung überproportional erhöht.

Last but not least beschränken sich die hier durchgeföhrten Untersuchungen auf Bürogebäuden. 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.

9. Literaturverweise

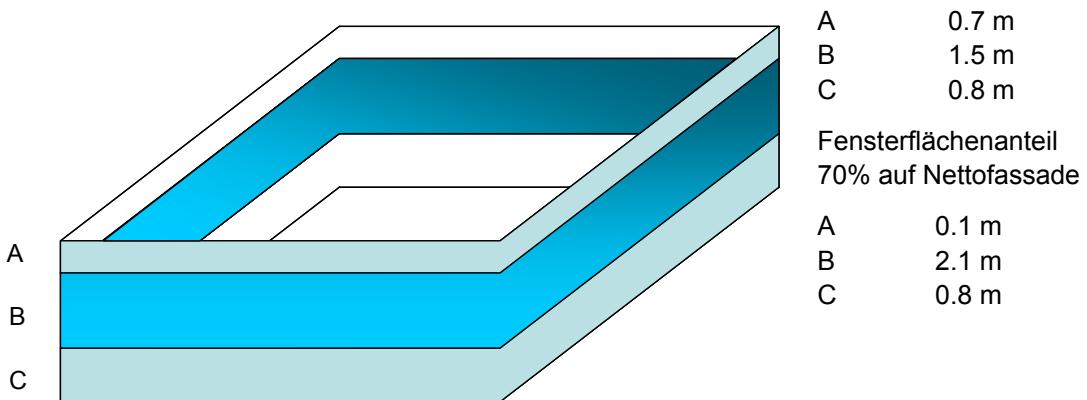
- [1] 2000-Watt-Gesellschaft, www.novatlantis.ch
- [2] SIA Effizienzpfad Energie, Dokumentation D0216, Ausgabe 2006
- [3] Verein Minergie®, www.minergie.ch
- [4] Norm SIA 380/1, Thermische Energie im Hochbau, Ausgabe 2009.
- [5] SIA 380/4, Elektrische Energie im Hochbau, Ausgabe 2006, Teil Beleuchtung mit SIA Tool Beleuchtung www.energycodes.ch
- [6] SIA 382/1, Lüftungs- und Klimaanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderung, Ausgabe 2005
- [7] MuKEn Musterverordnung der Kantone um Energiebereich, 2008, www.endk.ch
- [8] IDA ICE 4.0, www.equa.se
- [9] Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten, BFE Projekt
- [10] SIA Merkblatt 2024, Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik, Ausgabe 2006
- [11] SIA Merkblatt 2031, Energieausweis für Gebäude, Ausgabe 2009
- [12] Primärenergiefaktoren von Energiesystemen; Rolf Frischknecht, Matthias Tuchschmid, Version 1.4 vom 18 Dezember 2008
- [13] Ökobilanzdaten im Baubereich KBOB / eco-bau / IPB 2009/1
- [14] SIA Merkblatt 2032, Graue Energie Vernehmllassungsexemplar Ausgabe April 2008
- [15] Norm SIA 416/1, Kennzahlen für die Gebäudetechnik, Ausgabe 2007
- [16] Entwurf SIA 382/2, Thermischer Leistungsbedarf, Heizwärme- und Klimakältebedarf von Gebäuden mit Klimagesystemen, Entwurf für die zweite Vernehmllassungsrunde
- [17] Entwurf SIA 382/3, Systemwahl, Nutzungsgrad und Energiebedarf von Lüftungs- und Klimagesystemen, Entwurf für die zweite Vernehmllassungsrunde
- [18] Lüften von grossen Räumen, Handbuch für Planer, Bundesamt für Energie / Clima-Suisse, 2 Auflage April 1998

Anhänge

A 1. Übersicht Gebäude und Varianten

A 1.1. Fenster

Figur 47: Fensterband der Gebäude T1 bis T4 und T_A bis T_E



In Tabelle 16 sind die Fenster U-Werte angegeben und wie diese Werte berechnet wurden

Tabelle 16: Grunddaten für Fenster U-Wertberechnung.

<i>U</i> -Wert Glas	W/m ² K	0.5	1.0	0.5	1.0
<i>U</i> -Wert Rahmen	W/m ² K	1.2	1.2	1.2	1.2
Fensterfläche	m ²	5.20	5.2	7.35	7.35
Glasfläche	m ²	4.16	4.16	5.88	5.88
Rahmenfläche	m ²	1.04	1.04	1.47	1.47
Länge Einbau	m	10.0	10.0	11.2	11.2
χ Einbau in Wand	W/mK	0.12	0.12	0.165	0.155
Länge Glasrandverbund	m	9.1	9.1	10.1	10.1
χ Glasrandverbund	W/mK	0.05	0.05	0.05	0.05
<i>U</i> -Wert Fenster	W/m ² K	0.73	1.13	0.71	1.12
<i>U</i> -Wert total	W/m ² K	0.96	1.36	0.96	1.36

A 1.2. Opake Konstruktionen

Aussenwand (der Aufbau erfolgt von innen nach aussen)

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Innenputz	0.7	1'400	900	0.015
Gipskartonplatten	0.25	900	1'000	0.030
Flumroc-Dämmplatte EUROTHERM	0.038	120	1'000	0.350 0.170
Gips 900 kg/m3	0.3	900	1'000	0.015
Luft (Hinterlüftung)	0.5556	1.15	1'006	0.050
Aluminiumblech	160	2'800	880	0.001
Summe (ohne Hinterlüftung)				0.41 0.23
U-Wert (ohne Hinterlüftung)	W/m²K			0.10 0.20

Innenwand (Aufbau ist symmetrisch)

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Innenputz	0.7	1'400	900	0.015
Gipskartonplatte	0.25	900	1'000	0.025
Dämmung	0.036	32	1'030	0.05
Gipskartonplatte	0.25	900	1'000	0.025
Innenputz	0.7	1'400	900	0.015
Summe				0.13
U-Wert	W/m²K			1.56

Innenwand Verkehrsfläche

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Beton 2% armiert	2.5	2'400	1'000	0.2
U-Wert	W/m²K			2.94

Zwischengeschossdecke (oben nach unten)

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m
Bodenbelag	0.06	200	1'300	0.005
OSB- Platte	0.13	650	1'700	0.04
Luftraum ($R = 0.18 \text{ m}^2\text{K/W}$)	0.5556	1.15	1'006	0.1
Beton 2% armiert	2.5	2'400	1'000	0.25
Summe				0.395
U-Wert	W/m²K			1.07

Dach (innen nach aussen)

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke	
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m	
Beton 2% armiert	2.5	2'400	1'000	0.25	
Dämmung	0.038	30	1'400	0.35	0.17
Erde	2.0	2'000	1'000	0.1	
Summe				0.7	0.52
U-Wert	W/m²K			0.10	0.21

Boden Keller (oben nach unten)

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke	
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m	
Bodenbeleg	0.06	200	1'300	0.005	
OSB- Platte	0.13	650	1'700	0.025	
Luftraum (R = 0.18 m ² K/W)	0.5556	1.15	1'006	0.1	
Beton 2% armiert	2.5	2'400	1'000	0.25	
Dämmung	0.022	32	1'400	0.13	
Erde ¹⁾	2.0	2'000	1'000	5.5	
Summe (ohne Erdreich)				0.51	
U-Wert (ohne Erdreich)	W/m²K			0.15	

Boden Treppe (oben nach unten)

Bezeichnung	λ	Dichte	c_p	Dicke	
	W/(mK)	kg/m ³	J/(kgK)	m	
Zement, Sand	1.0	1'800	1'000	0.06	
Beton armiert mit 2% Stahl	2.5	2'500	1'000	0.20	
Erde ¹⁾	2.0	2'000	1'000	0.35	
Summe (ohne Erdreich)				0.26	
U-Wert (ohne Erdreich)	W/m²K			2.5	

¹⁾ Das Erdreich stellt in den Simulationstools den b-Wert gegen Keller dar. Für die SIA 380/1:2009-Berechnung wird diese Schicht nicht berücksichtigt. $b_{uF} = 0.7$

A 2. Thermische Behaglichkeit und bauliche Anforderungen

A 2.1. Sonnenschutz

Die Hauptnutzflächen der Gebäude T1 bis T3 sind allesamt Eckräume. Das Gebäude T4 weist ein Büro mit drei verglasten Fassaden auf, da die Fassaden aber 17 m auseinander liegen kann dieser Raum auch als Eckraum angesehen werden. Die Grenzwerte für den Sonnenschutz werden anhand des Gebäudes T1 mit einer Fensterfläche von 70% (bezogen auf die Nettofassade) ermittelt. Das Gebäude weist keine Dachfenster auf. Die Werte in der Tabelle 17 werden mit dem Minergie-Zusatzblatt Version 10+11 berechnet.

Tabelle 17. Berechnung des minimalen Sonnenschutzes mit dem Minergie Zusatzblatt für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes

Raum Büro Nord		Büro N	Sitzung	Büro SW	Büro SO
Fassade1					
Orientierung		N	N	S	S
Reflexion von Nachbarfassade		nein	nein		
Länge der Fassade	m	22	6	14	14
Fassadenfläche Zwischengeschoß	m^2	74.8	20.4	47.6	47.6
Glassfläche für den Raum	m^2	39.6	10.8	25.2	25.2
Glasanteil bezogen auch den Raum	-	0.53	0.53	0.53	0.53
Fassade 2					
Orientierung		W	E	W	E
Reflexion von Nachbarfassade					
Länge der Fassade	m	6	6	6	6
Fassadenfläche	m^2	20.4	20.4	20.4	20.4
Glassfläche für den Raum	m^2	10.8	10.8	10.8	10.8
Glasanteil bezogen auch den Raum	-	0.53	0.53	0.53	0.53
max. g-Wert ¹⁾		0.132	0.132	0.097	0.097
g-Wert ¹⁾ bei g-Wert Glas 0.4		0.08	0.08	0.08	0.08
g-Wert ¹⁾ bei g-Wert Glas 0.6		0.12	0.12	0.12	0.12

¹⁾ Verglasung + Sonnenschutz

Die Anforderungen des sommerlichen Wärmeschutzes werden bei einem g-Wert Glas von 0.6 auf der Südseite nicht eingehalten. Die Überschreitung der Anforderung wird bewusst in Kauf genommen.

A 2.2. Wärmespeicherfähigkeit

Das Gebäude wird mit einer Betondecke ausgestattet welche zu 100% frei ist. Die Anforderung an die Wärmespeicherfähigkeit ist laut Norm SIA 382/1 [6], Abschnitt 2.1.4.2 ohne einen rechnerischen Nachweis erfüllt.

A 2.3. Raumluftqualität

Bei den Hauptnutzflächen Büro und Sitzungszimmer (mit längeren Aufenthaltszeiten von Personen) wird eine Aussenluftrate zwischen 22 und 36 m³/h und Person gefordert. In der Simulation wurden die Standardwerte aus dem SIA Merkblatt 2024 [10] übernommen was einer Luftrate von 36 m³/h und Person entspricht. Damit ist die Anforderung aus der SIA 382/1 [6], Abschnitt 2.2.5.4 eingehalten.

Im Empfang ergibt sich aus dem SIA Merkblatt 2024 [10] eine Luftrate von 30 m³/h und Person. Somit wird auch im Empfang die Anforderung aus der SIA 382/1 eingehalten.

A 2.4. Raumlufttemperaturen

Im Büro, Sitzungszimmer und Empfang liegt die obere Temperatur während der Nutzungsdauer im Sommer bei 26°C und im Winter bei 21°C (Empfang 20°C). Die Raumlufttemperatur wird in der Simulation unabhängig von der Aussentemperatur zwischen diesen Werten gehalten. Eine Regelabweichung wird nicht berücksichtigt. Die gewählten Temperaturen werden dem SIA Merkblatt 2024 [10] entnommen und stimmen mit dem Anhang A, SIA 382/1 [6] überein.

A 2.5. Glas U-Werte und Fensterhöhe

Beurteilt wird das mögliche Komfortproblem bei hohen Fenstern aufgrund des Kaltluftabfalls. In der Norm SIA 382/1 [6], Figur 8 wird in Abhängigkeit der Glashöhe ein max. Glas U-Wert verlangt. Bei einer Glasfront über Eck kann die Grafik aus der SIA Norm nicht angewendet werden. Daher wird der vereinfachte Ansatz (Formel 25) aus dem Planungshandbuch *Lüften von grossen Räumen* [18] verwendet.

$$w_{D\max} = f \cdot \sqrt{h \cdot \Delta T}$$

Formel 1

Darin bedeuten:

$w_{D\max}$	Maximalgeschwindigkeit	m/s
f	Anpassfaktor	-
h	Lauflänge / Raumhöhe	m
ΔT	Temperaturdifferenz Raum zu Oberfläche	K

Betrachtet wird nur der Winterfall mit 21°C Raumtemperatur und -8°C Aussentemperatur. Bei 1 m Abstand zur Aussenwand liegen die Luftgeschwindigkeiten zwischen 0.18 m/s und 0.13 m/s. Laut Norm SIA 382/1 [6] liegt bei 21°C Raumtemperatur die maximale Luftgeschwindigkeit bei 0.13 m/s. Diese Anforderung ist nur in einem Fall gegeben. Bei 2 m Abstand liegen die Werte zwischen 0.1 m/s und 0.7 m/s, die Anforderung ist hier erfüllt.

Tabelle 18: Luftgeschwindigkeiten bei einem Eckraum bei 70% Fensteranteil bezogen auf die Nettofassade

Mittlerer U-Wert der Aussenwand 70% Fensteranteil, $U_{opak} = 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$	0.73 W/m ² K ($U_F 0.96 \text{ W/m}^2\text{K}$)	1.01 W/m ² K ($U_F 1.36 \text{ W/m}^2\text{K}$)
Abstand zur Aussenwand 1m ($f = 0.052$)	0.15 m/s	0.18 m/s
Abstand zur Aussenwand 2 m ($f = 0.0282$)	0.08 m/s	0.10 m/s

Tabelle 19: Luftgeschwindigkeiten bei einem Eckraum bei 50% Fensteranteil bezogen auf die Nettofassade

Mittlerer U-Wert der Aussenwand 50% Fensteranteil, $U_{opak} = 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$	0.58 W/m ² K ($U_F 0.96 \text{ W/m}^2\text{K}$)	0.73 W/m ² K ($U_F 1.36 \text{ W/m}^2\text{K}$)
Abstand zur Aussenwand 1m ($f = 0.052$)	0.13 m/s	0.15 m/s
Abstand zur Aussenwand 2 m	0.07 m/s	0.08 m/s

($f = 0.0282$)		
------------------	--	--

A 3. Berechnung nach Norm SIA 380/1:2009

A 3.1. Berechnung für Grundvariante

Gebäude mit sehr guter Gebäudehülle erfüllen den SIA 380/1:2009 [4] Zielwert (Systemanforderung). Dieser Wert entspricht der Primäranforderung Minergie-P und ist in Figur 49 und Figur 50 als Linie zu sehen. Alle grün dargestellten Balken erfüllen die Minergie-P-Anforderung, die roten Balken erfüllen die Anforderung nicht. Die Variante T4_1_14 erfüllt als einzige den Grenzwert nach SIA 380/1 nicht. Für das Gebäude T1_1_01 ist im Abschnitt A 3.3 die Berechnung ersichtlich. In der Tabelle 20 sind die wichtigsten Eckdaten aufgeführt.

Tabelle 20: Die Grenz- und Zielwerte für die Gebäudetypen T1 bis T5 sind für alle Varianten gleich. Die Abweichungen bei der Energiebezugsfläche resultiert von den Dämmstärken der Fassade.

Gebäude	Nummer	A_E	A_{th}/A_E	Zielwert	Grenzwert
		m^2	--	MJ/m^2	MJ/m^2
T1 / T2	01 bis 08	2370.5	1.02	84	141
T1 / T2	09 bis 16	2289.5	1.03	85	142
T3	01 bis 08	2431.0	0.99	83	138
T3	09 bis 16	2339.3	1.00	84	139
T4	01 bis 08	2430.0	1.05	86	143
T4	09 bis 16	2345.0	1.06	86	144

A 3.2. Einfluss einer städtischen Verschattung auf Q_h .

Eine städtische Verschattung beeinflusst erwartungsgemäss den Heizwärmebedarf Q_h . Der Grenzwert wird bei T2_4_06 und T4_4_06 überschritten. Die Grenz- und Zielwerte sind die gleichen wie in der Grundvariante. In Tabelle 21 sind die Resultate der Grundvariante den Resultaten mit städtischer Verschattung gegenübergestellt. Die grösseren Verschattungsfaktoren F_s bei der städtischen Verschattung erhöhen den Heizwärmebedarf durchschnittlich um 10%.

Tabelle 21: Vergleich $Q_{h,G}$ Grundvariante ohne Verschattung (100%) mit Variante mit städtischer Verschattung.

Variante	$Q_{h,G}$	$Q_{h,V}$	$Q_{h,V} / Q_{h,G}$
	Grundvariante	Verschattet	
	MJ/m^2	MJ/m^2	%
T1_X_01	71	77	108%
T1_X_02	83	91	110%
T1_X_03	58	64	110%
T1_X_04	65	74	114%
T1_X_05	101	107	106%
T1_X_06	124	134	108%
T1_X_07	85	92	108%
T1_X_08	103	113	110%
T1_X_09	87	93	107%

Die gewählte Verschattungssituation ist in Figur 48 dargestellt und die Verschattungsfaktoren in Tabelle 22 aufgelistet. Diese wurden nur in der SIA 380/1 Berechnung berücksichtigt. In der Simulation sind die benachbarten Gebäude grafisch dargestellt. Die Verschattung wir aufgrund der Sonnenhöhe gerechnet.

Figur 48: Darstellung der städtischen Beschattungen. Die Abstände sind für a/d 10m und für b/c 20m.

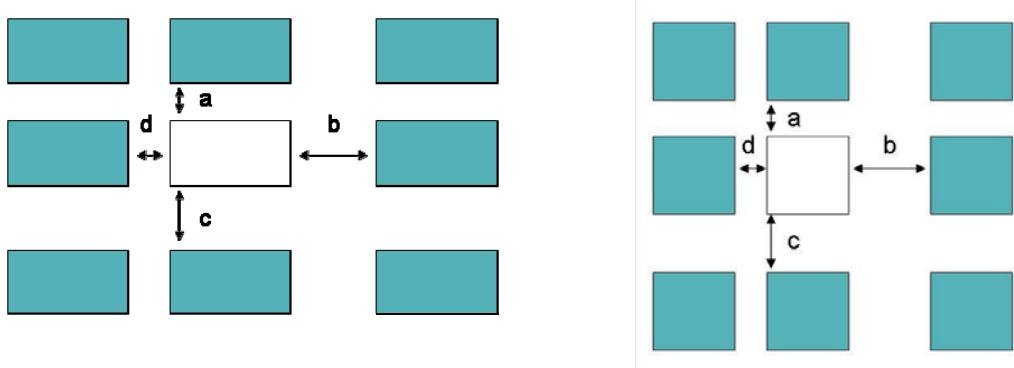
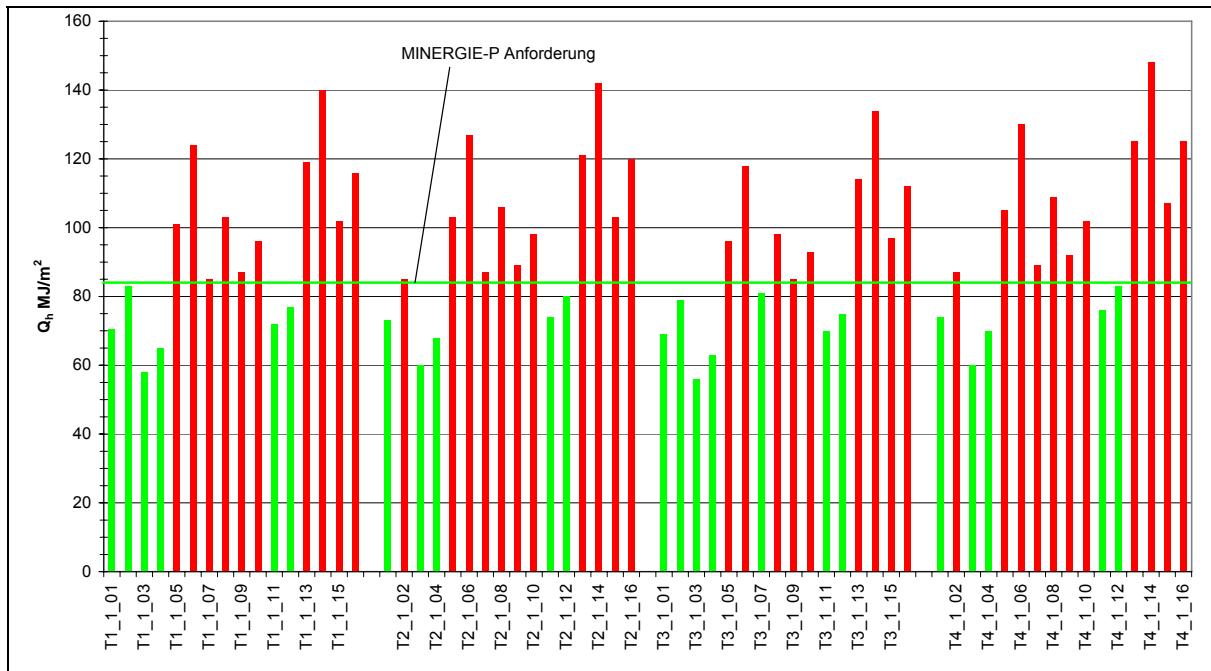


Tabelle 22: Verschattungsfaktoren für die SIA 380/1:2009 Berechnung.

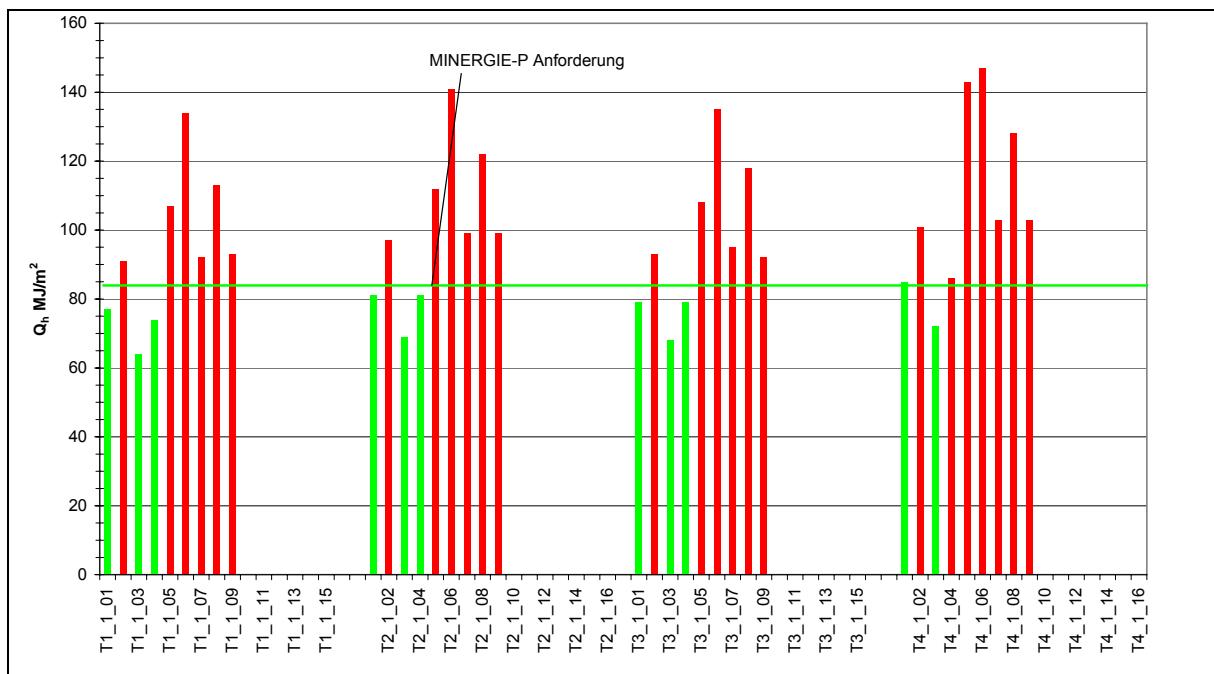
	Horizont		Überhang		Seitenblende	
	-		0.415m	0.235	Wert 1	Wert 2
N	0.9		0.92	0.96	1	1
O/W	0.9		0.92	0.96	1	1
S	0.9		0.92	0.96	1	1

	Horizont		Überhang		Seitenblende	
	20 m	10 m	0.415m	0.235	Wert 1	Wert 2
N	0.96	0.89	0.94	0.97	1	1
O/W	0.76	0.58	0.93	0.97	0.98	1
S	0.73	0.43	0.94	0.97	0.98	0.98

Figur 49: Berechnung Q_h nach SIA 380/1:2009 für die Gebäude T1 bis T4 ohne städtische Verschattung



Figur 50: Berechnung Q_h nach SIA 380/1:2009 für die Gebäude T1 bis T4 mit städtischer Verschattung



A 3.3. Berechnung T1_1_01

Nachweis SIA 380/1:2009

Akten-Nr.:
Projekt: Büro Typ 1
Haus: Bürogebäude
Projektdresse:

Bauherrschaft: Adresse Bauherrschaft,
Adresse:
Tel.: Fax.: e-mail:
evtl. BauherrschaftvertreterIn:
Adresse:
Tel.: Fax.: e-mail:
Verfasser Wärmedämmprojekt:
Sachbearbeiter:
Adresse:
Tel.: Fax.: e-mail:
Verfasser Nachweis: Adresse Ersteller,
Sachbearbeiter:
Adresse:
Tel.: Fax.: e-mail:

Art des Bauvorhabens:

Neubau

Systemnachweis

Anforderung gemäss: SIA 380/1 (Ausgabe 2009)
Klimastation: Zürich MeteoSchweiz (Merkblatt SIA 2028)
Energiebezugsfläche: A_E : 2370.5 m² Gebäudehüllzahl A_{lh}/A_E 1.02 [-]
Verschattungsfaktor der Fassade mit der grössten verglasten Fläche: F_s 0.83 [-]
Summe der Längen aller Wärmebrücken: (1.2 % von Q_i) I 172.70 m
Gebäude mit Bodenheizung: nein Auslegung Vorlauf: $\theta_{h,max}$ °C
Regulierungszuschlag: $\Delta\theta_{i,g}$ 0 °C System: Einzelraum-Temperaturregelung

Heizwärmebedarf Systemanforderung	Projektwert	Q_p	71 MJ/m ² erfüllt	Grenzwert	$Q_{h,li}$	141 MJ/m ²
--------------------------------------	-------------	-------	---------------------------------	-----------	------------	-----------------------

Die Unterzeichnenden bestätigen hiermit mit ihrer Unterschrift die Richtigkeit und Vollständigkeit der in diesem Nachweis gemachten Angaben:

Verfasser des Wärmedämmprojekts: _____ Datum: _____

Verfasser des Nachweises: _____ Datum: _____

Dieses Programm ist lizenziert für: HTA Luzern 6048 Horw

1. Energiebezugsfläche und Grenzwert

Thermische Zone	Gebäude-Kategorie	A_E m ²	A_{H}/A_E	$Q_{h,\text{li}}$ MJ/m ²
Verwaltung	Verwaltung	2370.5	1.02	141
Total		2370.5		

Temperaturkorrektur in %: -7

Verwaltung

2. Gebäudehüllfläche

Flächen [m ²]	Aussen	Unbeheizt		Erdreich		Beheizt		Total Fläche	
		ohne Reduktionsfaktor	mit Reduktionsfaktor	ohne Reduktionsfaktor	mit Reduktionsfaktor	ohne Reduktionsfaktor	mit Reduktionsfaktor	ohne Reduktionsfaktor	mit Reduktionsfaktor
Dach (a,E)	474.1							474.1	474.1
Aussenwand (a,E)	1616.1							1616.1	1616.1
Boden (a,E)									
Innenwand (b,u)									
Decke (b,u)		474.1	331.9					474.1	331.9
Total	2090.2	474.1	331.9					2564.3	2422.0

a = aussen, E = Erdreich, u = unbeheizt, b = beheizt

Gebäudehüllzahl $A_{\text{H}}/A_E = 1.02$

3. Aufteilung der Fenster/Türen-Flächen auf Fassaden/Dach/Boden

Flächen [m ²]	Dach	Aussenwand/Innenwand						Decke	Boden	Total
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Opake Bauteile	474.1	307.4		170.7		307.4		170.7		474.1
Fenster/Türen		210.0		120.0		210.0		120.0		660
Total	474.1	517.4		290.7		517.4		290.7		2564.3
Anteil Fenster/Türen an opake Bauteile		0.41		0.41		0.41		0.41		0.26
Verschattungsfaktor F_S (flächengewichteter Mittelwert)										
F_{S1} (Horizontal)		0.90		0.90		0.90		0.90		
F_{S2} (Überhang)		0.92		0.92		0.92		0.92		
F_{S3} (Seitenblende)		1.00		1.00		1.00		1.00		
$F_S (=F_{S1} \cdot F_{S2} \cdot F_{S3})$		0.83		0.83		0.83		0.83		

4. Einzelbauteile

4.1 Flächige Bauteile

Nr.	Bezeichnung	Dämmst. cm	BTH	U-Wert W/m ² K	Fläche m ²	Code	H (U*A*b) W/K	Verlust MJ/m ²	%
1	Aussenwand	nein		0.10	956.1	B1	98.95	13.96	7.0
2	Decke zu Keller	nein		0.15	451.6		47.01	6.63	3.3
3	Dach	nein		0.10	474.1	A1	49.74	7.02	3.5
4	Decke Treppe	nein		2.50	22.5		39.38	5.55	2.8
Total					1904.28			33.15	

4.1.1 Fenster / Türen

Nr.	Bezeichnung	g-Wert [-]	U-Wert W/m ² K	Fläche m ²	Code	H (U*A*b) W/K	Verlust MJ/m ²	%
1	Fenster (inkl. allen Wbr.)	0.40	0.96	660.00		633.60	89.4	44.9
Total				660.0			89.4	

4.1.2 Rollladen

Nr.	Bezeichnung	Höhe m	U-Wert W/m ² K	Fläche m ²	Code	H (U*A*b) W/K	Verlust MJ/m ²	%
Total								

4.2 Linienbezogene Wärmebrücken

Nr.	Bezeichnung	ψ - Wert W/mK	Länge m	Code	H (U*A*b) W/K	Verlust MJ/m ²	%
1	Gebäudesockel	0.08	92.66		5.19	0.7	0.4
2	IW Keller	0.22	80.00		12.32	1.7	0.9
Total			172.66			2.5	

4.3 Punktbezogene Wärmebrücken

Nr.	Bezeichnung	γ - Wert W/K	Anzahl Stk	Code	H (U*A*b) W/K	Verlust MJ/m ²	%
Total							

5. Spezielle Eingabedaten

Thermische Zone	Wärmespeicher-fähigkeit C/A _E MJ/m ² K	Temp. Zuschlag Regulierung °C	max. Vorlauftemperatur für Flächenheizung °C	max. Vorlauftemperatur für Heizkörper vor Fenster °C	thermischer Volumenstrom m ³ /m ² h
Verwaltung	0.3	0			0.7

Die Vorlauftemperaturen sind in Tabelle Bauteile der einzelnen Zonen aufgeführt.

6. Energiebilanz

Thermische Zone	Q_T MJ/m ²	Q_V MJ/m ²	Q_i MJ/m ²	Q_s MJ/m ²	η_g [-]	Q_h MJ/m ²	$Q_{h,li}$ MJ/m ²	H W/K
Verwaltung	125	74	104	144	0.52	71	141	1413
Total						71	141	

Verwaltung

Energiebezugsfläche		Sektor	A_E m ²	Höhe (OK-OK) m
Etage/Bereich	Raum			
Dachgeschoss	DG	Dach	474.10	3.70
EG bis 3.OG	OG	OG 1	474.10	3.40
EG bis 3.OG	OG	OG 2	474.10	3.40
EG bis 3.OG	OG	OG 3	474.10	3.40
Erdgeschoss	EG	Erdgeschoss	474.10	3.40
Total			2370.5	

Gewählte Standardnutzung nach Norm SIA 380/1:2009

Bezeichnung		Verwaltung
Innentemperatur	°C	20
Personenfläche	m ² /P	20
Wärmeabgabe Personen	W/P	80
Präsenzzeit pro Tag	h	6
Elektrizitätsverbrauch	MJ/m ²	80
Reduktionsfaktor Elektrizitätsverbrauch	-	0.90
Aussenluft-Volumenstrom V/A _E	m ³ /m ² h	0.7
Wärmebedarf für Warmwasser pro Jahr und A _E	MJ/m ²	25
numerischer Parameter für Ausnutzungsgrad	-	0.80
Referenzzeitkonstante für Ausnutzungsgrad	h	70
Temperaturzuschlag für Regulierung	°C	0
Wärmespeicherfähigkeit pro A _E :	MJ/m ³ K	0.30

Bauteile

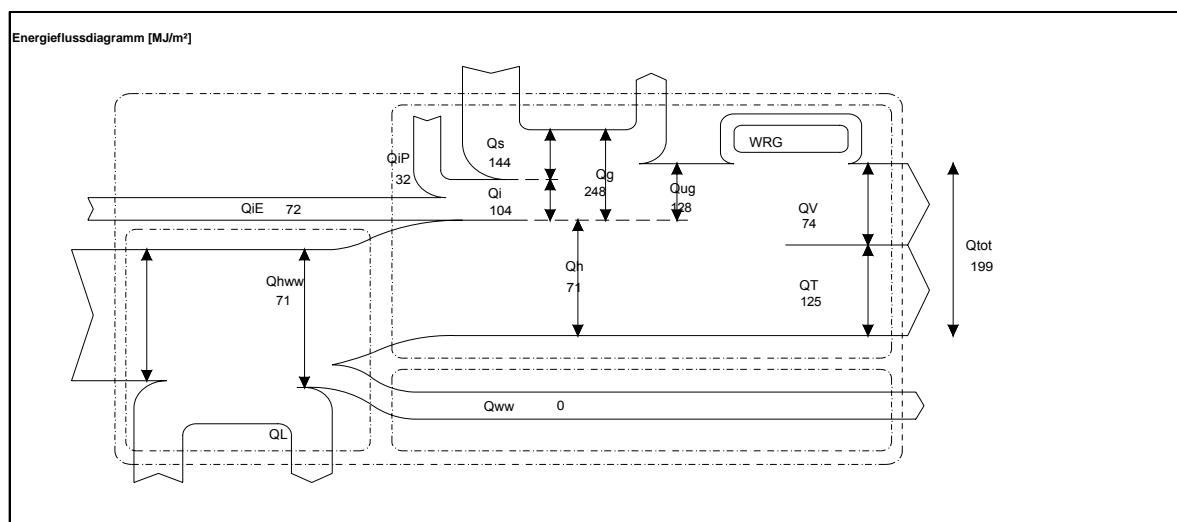
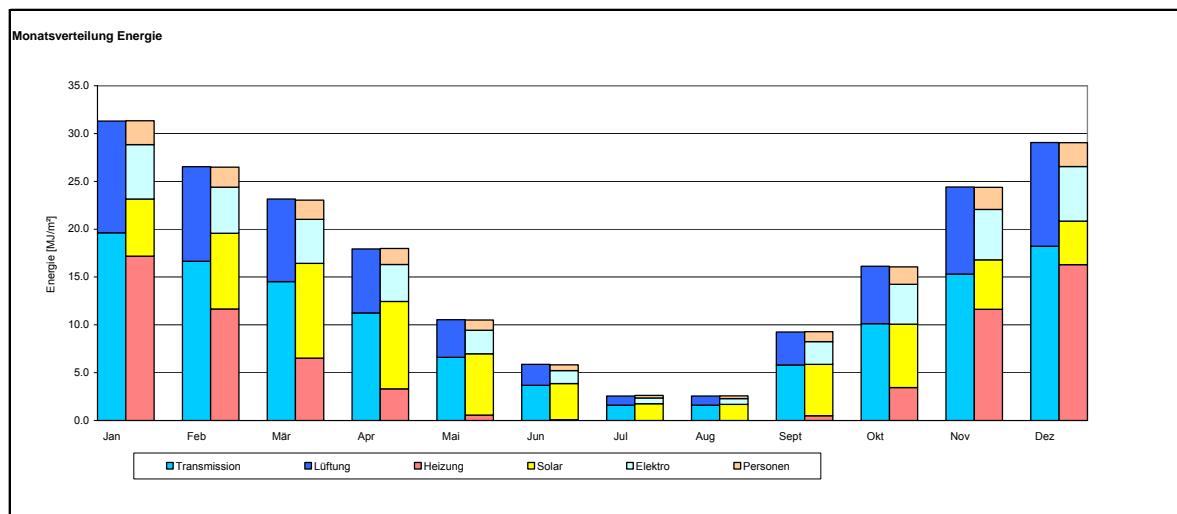
Nr.	Bauteil	Typ	Etage/Raum	Orient.	Breite m	Höhe/Lan- ge m	Anzahl Stk.	Fläche Brutto m ²	Abzug	Fläche Netto	U-Wert W/m ² K	b-Wert [-]	V _L °C
1	Dach	Dach	Dachgeschoss/DG	H	29.05	16.32	1	474.10		474.10	0.1	1.00	
2	Nordfassade	Aussenwand	EG bis 3.OG/OG	N	29.05	17.81	1	517.38	210.0	307.38	0.1	1.00	
3	FE	Fenster (inkl. allen Wbr.)			28.00	1.50	5	210.00		210.00	0.96	1.00	
4	Ostfassade	Aussenwand	EG bis 3.OG/OG	E	16.32	17.81	1	290.66	120.0	170.66	0.1	1.00	
5	FE	Fenster (inkl. allen Wbr.)			16.00	1.50	5	120.00		120.00	0.96	1.00	
6	Südfassade	Aussenwand	EG bis 3.OG/OG	S	29.05	17.81	1	517.38	210.0	307.38	0.1	1.00	
7	FE	Fenster (inkl. allen Wbr.)			28.00	1.50	5	210.00		210.00	0.96	1.00	
8	Westfassade	Aussenwand	EG bis 3.OG/OG	W	16.32	17.81	1	290.66	120.0	170.66	0.1	1.00	
9	FE	Fenster (inkl. allen Wbr.)			16.00	1.50	5	120.00		120.00	0.96	1.00	
10	Boden zu Erdreich	Decke zu Keller	Erdgeschoss/EG	H	1.00	451.60	1	451.60		451.60	0.15	0.70	
11	Gebäudesockel	Gebäudesockel				92.66	1				0.08	0.70	
12	IW Keller	IW Keller				80.00	1				0.22	0.70	
13	Decke Treppe	Decke Treppe	Erdgeschoss/EG	H	1.00	22.50	1	22.50		22.50	2.5	0.70	
Total											2564.28		

Glasfläche

Nr.	Glasflächen	Typ	Etage/Raum	Orient.	Breite m	Höhe m	Anzahl Stk.	Fläche m ²	F _G [-]	Glasfl. m ²	F _{S1} [-]	F _{S2} [-]	F _{S3} [-]	g-Wert [-]
1	FE	Fenster (inkl. allen W)	EG bis 3.OG/OG	N	28.00	1.50	5	210.00	0.80	168.00	0.90	0.92	1.00	0.40
2	FE	Fenster (inkl. allen W)	EG bis 3.OG/OG	E	16.00	1.50	5	120.00	0.80	96.00	0.90	0.92	1.00	0.40
3	FE	Fenster (inkl. allen W)	EG bis 3.OG/OG	S	28.00	1.50	5	210.00	0.80	168.00	0.90	0.92	1.00	0.40
4	FE	Fenster (inkl. allen W)	EG bis 3.OG/OG	W	16.00	1.50	5	120.00	0.80	96.00	0.90	0.92	1.00	0.40
Total								660.00		528.00				

Energie nach Monaten

Bezeichnung	Einheit	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Sum..	Anteil
Tage	d	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365	[%]
Außentemperatur	°C	0.4	1.6	5.5	8.4	13.4	16.2	18.4	18.4	14.0	9.9	4.2	1.8		
Strahlung Horizontal	MJ/m ²	104	165	311	417	536	570	595	522	355	214	109	80		
Strahlung Nord	MJ/m ²	43	63	94	111	150	166	166	134	91	62	39	32		
Strahlung Ost	MJ/m ²	67	109	185	233	281	295	311	287	192	112	62	51		
Strahlung Süd	MJ/m ²	177	235	313	290	284	270	297	332	311	254	158	137		
Strahlung West	MJ/m ²	80	123	198	231	287	303	327	295	218	142	75	59		
Transmissionswärmeverlust ...															
... Bauteile (Aussen, ohne BTW)	Q MJ/m ²	3.3	2.8	2.4	1.9	1.1	0.6	0.3	0.3	1.0	1.7	2.6	3.1	21.0	11%
... Bauteile (Aussen, mit BTW)	Q MJ/m ²														0%
... Bauteile (Erdreich, ohne BTW)	Q MJ/m ²														0%
... Bauteile (Erdreich, mit BTW)	Q MJ/m ²														0%
... Bauteile (Unbeheizt, ohne BTW)	Q MJ/m ²	1.9	1.6	1.4	1.1	0.6	0.4	0.2	0.2	0.6	1.0	1.5	1.8	12.2	6%
... Bauteile (Unbeheizt, mit BTW)	Q MJ/m ²														0%
... Bauteile (Beheizt, ohne BTW)	Q MJ/m ²														0%
... Bauteile (Beheizt, mit BTW)	Q MJ/m ²														0%
... Fenster/Türen (ohne HK)	Q MJ/m ²	14.0	11.9	10.4	8.0	4.7	2.6	1.2	1.2	4.2	7.2	11.0	13.0	89.4	45%
... Fenster/Türen (mit HK)	Q MJ/m ²														0%
... Wärmebrücken	Q MJ/m ²	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	2.5	1%
... Rolladen	Q MJ/m ²														0%
... gesamt	Q _T MJ/m ²	19.6	16.6	14.5	11.2	6.6	3.7	1.6	1.6	5.8	10.1	15.3	18.2	125.0	63%
Lüftungswärmeverluste (Vlh=m ³ /m ² h)	Q _V MJ/m ²	11.7	9.9	8.6	6.7	3.9	2.2	1.0	1.0	3.5	6.0	9.1	10.8	74.3	37%
Gesamtwärmeverlust	Q MJ/m ²	31.3	26.5	23.2	17.9	10.5	5.9	2.6	2.6	9.3	16.1	24.4	29.1	199.2	100%
Gewinn Glas Horizontal	Q _{SH} MJ/m ²														0%
Gewinn Glas Norden	Q _{SN} MJ/m ²	0.9	1.3	2.0	2.3	3.2	3.5	3.5	2.8	1.9	1.3	0.8	0.7	24.3	10%
Gewinn Glas Nordost	Q _{SNE} MJ/m ²														0%
Gewinn Glas Osten	Q _{SE} MJ/m ²	0.8	1.3	2.2	2.8	3.4	3.6	3.8	3.5	2.3	1.4	0.8	0.6	26.4	11%
Gewinn Glas Südost	Q _{SSE} MJ/m ²														0%
Gewinn Glas Süden	Q _{SS} MJ/m ²	3.7	5.0	6.6	6.1	6.0	5.7	6.3	7.0	6.6	5.4	3.3	2.9	64.6	26%
Gewinn Glas Südwest	Q _{SSW} MJ/m ²														0%
Gewinn Glas Westen	Q _{SW} MJ/m ²	1.0	1.5	2.4	2.8	3.5	3.7	4.0	3.6	2.6	1.7	0.9	0.7	28.2	11%
Gewinn Glas Nordwest	Q _{NNW} MJ/m ²														0%
Wärmegewinn Solar	Q _S MJ/m ²	6.4	9.1	13.2	14.1	16.0	16.4	17.5	16.9	13.4	9.7	5.8	4.9	143.5	58%
Wärmegewinn Elektrizität	Q _{IE} MJ/m ²	6.1	5.5	6.1	5.9	6.1	5.9	6.1	6.1	5.9	6.1	5.9	6.1	72.0	29%
Wärmegewinn Personen	Q _{IP} MJ/m ²	2.7	2.4	2.7	2.6	2.7	2.6	2.7	2.7	2.6	2.7	2.6	2.7	31.5	13%
Wärmegewinn intern	Q _I MJ/m ²	8.8	7.9	8.8	8.5	8.8	8.5	8.8	8.8	8.5	8.8	8.5	8.8	103.6	42%
Wärmegewinn total	Q _g MJ/m ²	15.2	17.0	22.0	22.6	24.8	24.9	26.3	25.7	22.0	18.5	14.3	13.7	247.1	100%
Wärmegewinn/-verlust Verhältnis	-	0.49	0.64	0.95	1.26	2.36	4.25	10.30	10.06	2.37	1.15	0.59	0.47		
Zeitkonstante	h	139.8	139.8	139.8	139.8	139.8	139.8	139.8	139.8	139.8	139.8	139.8	139.8	139.8	
Parameter für Ausnutzungsgrad	a	-	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	
Ausnutzungsgrad für Wärmegewinn	n _g	-	0.93	0.87	0.75	0.65	0.40	0.23	0.10	0.10	0.40	0.68	0.89	0.93	
Genutzte Wärmegewinne	Q _{ug} MJ/m ²	14.1	14.9	16.6	14.6	10.0	5.8	2.6	2.6	8.8	12.7	12.8	12.8	128.0	
Heizwärmebedarf	Q _h MJ/m ²	17.2	11.7	6.5	3.3	0.6	0.1	0.0	0.0	0.5	3.5	11.6	16.3	71.2	



A 4. Vergleich Solargewinne mit SIA 380/1 und IDA

Um die Plausibilität der Simulationsresultate zu analysieren wird für die Variante T1_1_01 ein Vergleich mit den SIA 380/1-Berechnungen durchgeführt. Da in der Simulation eine kontrollierte Lüftung zum Einsatz kommt wird der thermische Außenluftvolumenstrom von $0.7 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ auf $0.29 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ reduziert. Für den Vergleich werden die absoluten Zahlen verglichen.

Tabelle 23: Vergleich der Simulationsresultate mit den Resultaten der SIA 380/1 Berechnung für das Gebäude T1_1_01.

	Simulation	SIA 380/1
	kWh	kWh
Transmissionsverlust der opaken Bauteile inkl. Wärmebrücken	24428	23442
Lüftungsanlage	19014	20544
Int. Lasten	-47506	-68218
Bilanz der Fenster	35554	14457
Heizwärmeverbrauch	40211	26273

Beim Transmissionswärmeverlust und den Verlusten der Lüftungsanlage ist hohe Übereinstimmung vorhanden, bei den internen Lasten weist die Simulation einen höheren internen Gewinn aus. Bei der Fensterbilanz wird dem Transmissionsverlust der gewichtete solare Gewinn abgezogen. Der positive Wert deutet auf einen grösseren Verlust als Gewinn hin. Der Unterschied zwischen Simulation (Verlust deutlich höher als Gewinn) und Berechnung nach SIA 380/1 (Verlust weniger deutlich grösser als Gewinn) ist darauf zurückzuführen, dass der Sonnenschutz in der Simulation auch im Winter häufig geschlossen ist, während in der SIA 380/1-Berechnung der Sonnenschutz während der Heizperiode durchgehend offen angenommen wird – was kaum der Realität entsprechen dürfte.

SIA-380/4-Tool Beleuchtung

Objekt		Zusammenfassung		Flächen		Systemanforderungen		Definition MINERGIE Beleuchtung	
Projekt	BFE Projekt Gesamtenergieeffizienz von Büro-Bauten T1_1_01	Vorprojekt	2106 m ²	Vorprojekt	Projekt	Vorprojekt	Grenzwert	MINERGIE	Zielwert
		Nettofläche					19.8	9.7	6.3
	Energiebezugsfläche (EBF)						27.3		
	Faktor Nettofläche zu EBF						41.7	20.4	13.3
Projekt-Typ	Neubau	Vorprojekt		Projekt		Projekt		Projekt	
		kWh/m ²	13.0	MWh		kWh/m ²		MINERGIE	
		MJ/m ²				MJ/m ²		grün = erfüllt	
Projektstand				Projekt				rot = nicht erfüllt	
Bauherr									
Architekt									
Elektroplanung									
Beleuchtungsplanung									
Ersteller Nachweis									
Datum									

A 5. Resultate SIA 380/4

Software Version_280508

Tabelle 1: Typische Räume

T11_01

Typische Räume		Spezialnutzungen											
Raumbezeichnung	Standardnutzung Auswahl	Standardnutzungen						Spezialnutzungen					
		Länge m	Tiefe m	Höhe m	Beleuchtungsstärke lx	Std. Tag h	Std. Nacht h	Std. pro Jahr d	Tage pro Jahr d	Std. pro Nacht h	Std. pro Tag h	Tagessumme pro Jahr d	Std. pro Jahr h
Büro N	Einzel-Gruppenbüro	22.0	6.0	3.0	500	11	261	2871					
Büro SW	Einzel-Gruppenbüro	14.0	6.0	3.0	500	11	261	2871					
Büro SO	Einzel-Gruppenbüro	14.0	6.0	3.0	500	11	261	2871					
Sitzung	Sitzungszimmer	6.0	6.0	3.0	500	6	261	1566					
Eingang	Schalterhalle/Empfang	6.0	6.0	3.0	200	11	261	2871					
Nebennutzfläche	Verkehrsfläche	3.0	3.0	3.0	100	11	261	2871					
Nebennutzfläche	Verkehrsfläche	3.0	22.0	3.0	100	11	261	2871					
Nebennutzfläche	Verkehrsfläche	3.0	3.0	3.0	100	11	261	2871					

Tabelle 2: Tageslichtnutzung und Lichtregulierung

T11_01

Tabelle 3: Leuchten und Einzelanforderungen Vorprojekt

T11_01

Typische Räume		Leuchten Grobauslegung für Vorprojekt				Einzelanforderungen			
Raumbezeichnung	Standardnutzung	LVK-Klasse der Leuchte Auswahl	Abstrahlrichtung der Leuchte, Direktlichtanteil	Leuchtenwirkungsgrad %	Lamgentyp	Leuchtenlichtausbeute lm/W	Leuchten-Grenzwert lm/W	Akzentbeleuchtung W/m²	
Büro N	Einzel-/Gruppenbüro	D11-D63	direkt-indirekt, 25%	75%	Kompakteuchtstofflampen (EVG, lang)	56	50	60	
Büro SW	Einzel-/Gruppenbüro	D11-D63	direkt-indirekt, 25%	75%	Kompakteuchtstofflampen (EVG, lang)	56	50	60	
Büro SO	Einzel-/Gruppenbüro	D11-D63	direkt-indirekt, 25%	75%	Kompakteuchtstofflampen (EVG, lang)	56	50	60	
Sitzung	Sitzungszimmer	D11-D63	direkt-indirekt, 25%	75%	Kompakteuchtstofflampen (EVG, lang)	56	50	60	
Eingang	Schalterhalle/Empfang	A50-A60	direkt-tief, 100%	75%	Kompakteuchtstofflampen (EVG, kurz)	45	35	50	
Nebennutzfläche	Verkehrsfläche	A50-A60	direkt-tief, 100%	75%	Kompakteuchtstofflampen (EVG, kurz)	45	35	50	
Nebennutzfläche	Verkehrsfläche	A50-A60	direkt-tief, 100%	75%	Kompakteuchtstofflampen (EVG, kurz)	45	35	50	
Nebennutzfläche	Verkehrsfläche	A50-A60	direkt-tief, 100%	75%	Kompakteuchtstofflampen (EVG, kurz)	45	35	50	

Tabelle 4: Berechnung Systemanforderung Vorprojekt

T11_01

A 6. MINERGIE-P Antrag Version 11

A 6.1. Berechnungen der Minergie-P-Anforderungen

Für das Gebäude T1_1 wird für alle Varianten und Wärmeerzeuger ein Minergie-P Antrag ausgefüllt. Als Grundlage für die Primäranforderung und den Grenzwert dienen die SIA 380/1:2009-Berechnungen. Die WPesti-Berechnung liegt im Abschnitt 6.2 vor.

	Primäranforderung	Fernwärme	Gas	Holzfeuerung	WP
T1_1_01	ja	ja	nein	ja	ja
T1_1_02	ja	ja	nein	ja	ja
T1_1_03	ja	ja	nein	ja	ja
T1_1_04	ja	ja	nein	ja	ja
T1_1_05	nein	ja	nein	ja	ja
T1_1_06	nein	nein	nein	nein	ja
T1_1_07	nein	ja	nein	ja	ja
T1_1_08	nein	nein	nein	nein	nein
T1_1_09	nein	ja	nein	ja	ja
T1_1_10	nein	nein	nein	ja	ja
T1_1_11	ja	ja	nein	ja	ja
T1_1_12	ja	nein	nein	ja	ja
T1_1_13	nein	nein	nein	nein	ja
T1_1_14	nein	nein	nein	nein	nein
T1_1_15	nein	nein	nein	nein	ja
T1_1_16	nein	nein	nein	nein	nein

A 6.2. Berechung T1_1_01 mit WP

Verein MINERGIE® (AMI) Association MINERGIE®	Nutzungsantrag nur gültig für SIA 380/1:2009
MINERGIE, Version 11, zu verwenden bis max. 31. Dez. 2009 Pro Gebäude (z.B. EFH, Doppel-EFH-Einheit, Reihen-EFH-Einheit usw.) ist je ein Antragsformular zu verwenden. Ausnahme bei ZFH = 1 Antrag.	
Antrag für MINERGIE - P	
A1 Projektdata: (Präzise Objektbezeichnung, definitiver Standort des Objekts mit Strasse, Nummer, PLZ, Ort)	
Objekt: T1_1_01 Variante WP Strasse / Nr.: Postleitzahl: Ort: Kanton: Zürich ▼	
A2 Antragsteller/in: Hochschule Luzern Kontaktperson: Reto Gadola Planer/in ▼ Technikumsstrasse 21, 6048 Horw Tel.: Email:	
A3 Fachplaner/in 1: ▼ Kontaktperson: Tel.: Email:	
A4 Fachplaner/in 2: ▼ Kontaktperson: Tel.: Email:	
A5 Bauherrschaft: Name Adresse	
A6 Rechnungsadresse:	
A7 Gebäudedaten: Zone 1 Zone 2 Zone 3 Zone 4 Gebäudekategorie Verwal. □ □ □ □	
A8 EBF total bei: Einzelanwendung < 5000 m ² □	
Gebühren exkl. MWSt. Fr. 4'000	
A10 Angaben Zeile 10 bis 12 nur bei Mehrfachanwendung erforderlich: Name des Gebäudetyps: □ □ □	
A12 Klimastation: Zürich SMA	
A13 Beilagen zu Zertifikat-Antrag: Ausdruck der Register Antrag, Eingabe, Sommer, Lueftung, Produktion und Nachweis. Weitere erforderliche Beilagen sind im Register "Nachweis" aufgelistet.	
A14 MINERGIE-ECO: Wird oder wurde ein MINERGIE-ECO-Nachweis eingereicht? Ökostrombörsen: Ist Projekt an Ökostrombörsen angemeldet? Nein Nein	
A15 Die Unterzeichnenden 1. erklären, dass sie das aktuelle MINERGIE-P Nutzungsreglement zur Kenntnis genommen haben. 2. anerkennen das MINERGIE-P-Reglement als integrale Bedingung jeder Nutzung der Marke MINERGIE-P. 3. erklären, dass sie das aktuelle MINERGIE-P Gebührenreglement zur Kenntnis genommen haben. 4. sind sich im klaren darüber, dass der Antragstellende für die bauliche Umsetzung der MINERGIE-P - Anforderungen gemäss Antrag verantwortlich ist und diese sicherzustellen hat, sofern erforderlich unter Bezug der notwendigen Fachleute. 5. sind mit der Veröffentlichung der registrierten Daten (Architekt/in, Planer/in, Gebäudestandort, Eigentümer/in, usw.) einverstanden □ nicht einverstanden	
A17 Ort, Datum Unterschrift Antragstellende: Rechnungsadresse fehlt hauptverantwortlich gegenüber Bauherrschaft und MINERGIE	
A18 Ort, Datum Unterschrift Fachplanende 1 und 2: verantwortlich gegenüber Antragstellenden	
A19 Ort, Datum Unterschrift Bauherrschaft:	

Projekt:

MINERGIE, Version 11, zu verwenden bis max. 31. Dez. 2009

T1_1_01 Variante WP					
---------------------	--	--	--	--	--

E1						Anzahl Zonen 1
E2	Gebäudedaten					
(Diese sind der Heizwärmebedarfsberechnung gemäss SIA 380/1 mit Standardluftwechsel zu entnehmen.)						
E3	Zone	1	2	3	4	Summe
E4	Gebäudekategorie	Verwal.				(Mittel)
E5	Mit Warmwasser ?		Ja			
E7	Energiebezugsfläche EBF	A _E	m ²	2370		2'370
E8	Gebäudehüllzahl	A _g /A _E	-	1.02		1.02
E9	Baujahr ab 2000		Ja			
E10	Wärmeabgabe		Bauteilheizung			
E11	Thermischer Komfort im Sommer		erfüllt			
E12	Heizwärmebedarf m. Standardluftwechsel	Q _h	MJ/m ²	71		71
E13						
E14	mittlere lichte Raumhöhe	m	3			3.0
Lüftung-Klima-Kälteanlagen						2)
(Der thermisch wirksame Aussenluft-Volumenstrom ist in der Heizwärmebedarfsberechnung (SIA 380/1) wie Zeile E28 einzusetzen.)						
allgemeine Lüftungsangaben						
E15	Anzahl Einwirkseiten / Abschirmung		>1 / keine	>1 / keine	>1 / keine	>1 / keine
E16	Standard-Lüftungsanlagentyp					
E17	Anzahl Personen					
E19	Wärmerückgewinnungs-Wärmetauscher					
E20	Ventilatorantrieb mit					
E22	Nenn-Luftvolumenstrom	m ³ /h				
Externe Berechnung, z.B. aus Tool SIA 380/4						
E23	Kühlung oder Befeuchtung vorhanden?		Kühlung			
E24	Thermisch wirksame Aussenluftrate	V'	m ³ /h	395		395
E25	Strombedarf Lüftung	Q _{e,L}	kWh	7'060		7'060
E26	Strombedarf Klimakälte	Q _{e,K}	kWh	1'802		1'802
E27	Strombedarf Befeuchtung / Hilfsbetriebe	Q _{e,B}	kWh	2'000		2'000
Q_h mit effektivem, thermisch wirksamen Aussenluftvolumenstrom						
E28	Therm. wirksamer Aussenl.-Volumenstr.	V'/A _E	m ³ /hm ²	0.29		0.29
E29	eff. Heizwärmebedarf mit Lüftungsanlage	Q _{h,korr}	MJ/m ²	40		40

2) Externe Berechnung belegen und Werte in Zeilen E24 - E27 eintragen.

Zusatzaforderungen		Selbstdeklaration/Bestätigung	Zusatzaforderung erfüllt?	Anforderung	Objektwert
E30	Energieeffiziente Bürogeräte	Haushaltgeräte Label A / Kühlgeräte A+	<input checked="" type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
E31	Beleuchtung	Berechnung mit SIA 380/4 - Tool	<input checked="" type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
E32			<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
E33			<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
E34	Abwärme	Füllt Abwärme an?	<input type="checkbox"/> ja	<input checked="" type="checkbox"/> nein	
E35			<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
E36			<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	
E37	Luftdichtigkeit der Gebäudehülle	Luftdichtigkeit n50,st < 0.6 1/h	<input checked="" type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein	0.6 1/h

Projekt:

MINERGIE, Version 11, zu verwenden bis max. 31. Dez. 2009

T1_1_01 Variante WP

P 1	Wärmeerzeugung A			Wärmepumpe, Erdwärmesonde, nur Heizung	▼	Deckungsgrad [%]
P 2	Beschreibung der Anlage (Marke, Typ etc.)					Heizung Warmwasser
P 3	Jahresarbeitszahl aus Standardwert	-			3.1	
P 4	Jahresarbeitszahl berechnet (Beilage)	-			4.3	
P 5	Jahresarbeitszahl gewählt	-			4.3	
P 6	Mittl. elektr. Leistungsaufnahme der WP	W				
P 7	Wärmeleistungsbedarf Gebäude SIA 384/201	kW				
P 8	Vorlauf-Temperatur Heizung	°C				
P 9						
P 10	Zugeführte Elektrizität (ungewichtet)	kWh/m ²			2.6	
P 11	Benötigte Wärme	kWh/m ²			11.1	
P 12						100
P 13	Wärmeerzeugung B			Wärmepumpe, Erdwärmesonde, nur Warmwasser	▼	Deckungsgrad [%]
	Beschreibung der Anlage (Marke, Typ etc.)					Heizung Warmwasser
	Jahresarbeitszahl aus Standardwert	-			2.7	
	Jahresarbeitszahl berechnet (Beilage)	-			3.2	
	Jahresarbeitszahl gewählt	-			3.2	
	Mittl. elektr. Leistungsaufnahme der WP	W				
	Temperatur Warmwasser	°C				
	Zugeführte Elektrizität (ungewichtet)	kWh/m ²			2.2	
	Benötigte Wärme	kWh/m ²			6.9	
						100
P 14	Wärmeerzeugung C				▼	Deckungsgrad [%]
						Heizung Warmwasser
P 15	Wärmeerzeugung D				▼	Deckungsgrad [%]
						Heizung Warmwasser
P 16	Übertrag weitere Wärmeerzeugungen nachgewiesen durch zusätzliche Beiblätter					Deckungsgrad [%]
P 17	Anlage					Heizung Warmwasser
P 18	Zugeführte Elektrizität (ungewichtet)	kWh/m ² a				
P 19	Benötigte Wärme	kWh/m ² a				
P 20	Zugeführte Energie (ohne Strom, gewichtet)	kWh/m ² a				
P 21	Kontrolle Deckungsgrad [%]				100	100

Projekt:

MINERGIE, Version 11, zu verwenden bis max. 31. Dez. 2009

T1_1_01 Variante WP

Gebäudedaten, Lüftung und Grenzwert:		1	2	3	4	Total/Mittel
N1	Klimastation + Nutzungen	Zürich SMA	Verwal.			
N2						
N3	EBF	m2	2370			2370
N4	Qh-MP mit Standardluftwechsel	kWh/m2	19.7			19.7
N5	Qww, Wärmebedarf Warmwasser	kWh/m2	6.9			6.9
N6	Therm. Aussenluftvolumenstrom	m3/m2h	0.29			0.29
N7	Heizwärmeverbrauch Qh,eff	kWh/m2	11.1			11.1
N8	Lüftungsanlagentyp					
N9	Wärmeabgabesystem		Bauteilheizung			
N10	Strombedarf Lüftungsanlage	kWh/m2	2.98			2.98
N11	Strom Hilfsbetriebe / Kühlung	kWh/m2	1.6			1.6
N12	Grenzwert	kWh/m2	25.0			25.0
N13						
N14	Massgebender Grenzwert	kWh/m2	25.0			25.0

Wärmeerzeugung: (Heizung + Warmwasser)	η oder JAZ	Gewichtung	Deckungsgrad		gewichteter Endenergiebedarf Strom kWh/m ²	Wärmebedarf kWh/m ²
			Heizung	Warmwasser		
N15	Erdsonden-WP, Heizung	4.3	2	100.0%	5.2	11.1
N16	Erdsonden-WP, Warmwasser	3.2	2	100.0%	4.3	6.9
N17						
N18						
N19						
N20	Strombedarf Lüftungsanlage		2		6.0	
N21	Strom Hilfsbetriebe		2		3.2	
N22	Total:			100%	18.7	18.1

Erfüllung der Anforderungen:		Anforderung	Berechneter Wert	Erfüllt?
N23 Primäranforderung an Gebäudehülle		23.5 kWh/m2	19.7 kWh/m2	Ja
N24 Grenzwert MINERGIE - P		25.0 kWh/m2	18.7 kWh/m2	Ja
N25 Thermischer Komfort im Sommer				Ja
Zusatzanforderungen erfüllt? <input checked="" type="checkbox"/> Nachweis beigelegt (Zutreffendes ankreuzen)				
N27 Energieeffiziente Bürogeräte		<input type="checkbox"/>	Datenblätter Haushaltgeräte sofern bekannt	
N28 Beleuchtung		<input type="checkbox"/>	Nachweis nach SIA 380/4	
N29		<input type="checkbox"/>		
N30		<input type="checkbox"/>		
N31 Abwärme		<input type="checkbox"/>	Es fällt keine Abwärme an	
N32		<input type="checkbox"/>		
N33		<input type="checkbox"/>		
N34 Luftdichtigkeit der Gebäudehülle		<input type="checkbox"/>	Luftdichtigkeit - Protokoll mit Prüfwerten	

Beilagen gem. 'Checkliste für Antragsstellende' siehe: www.minergie.ch/index.php?standards-6.5		<input type="checkbox"/>
N35	<input type="checkbox"/>	
N36	<input type="checkbox"/>	
N37	<input type="checkbox"/>	
N38	<input type="checkbox"/>	
N39	<input type="checkbox"/>	
N40	<input type="checkbox"/>	
N41	<input type="checkbox"/>	

N42 Ort, Datum

Unterschrift Antragstellende:

N43 Ort, Datum

Unterschrift Fachplanende 1 und 2:

Projekt:MINERGIE / FWS / AWEL-En
WPest / V3.0 Sep 07 / HET

BFE Projekt Gesamtenergieeffizienz von Büro-Bauten

Für Gebäudetyp T1_1_01

<http://www.ntb.ch/files/1/3895/PruefResSW&WW220708.pdf>**Gebäudedaten**

Klimastation	Zürich SMA		
Gebäudekategorie	Verwaltung		
Energiebezugsfläche EBF	A _E	m ²	2'371
Heizwärmebedarf nach SIA 380/1	Q _h	MJ/m ² a	78
Transmissionswärmeverluste nach SIA 380/1	Q _T	MJ/m ² a	136
Lüftungswärmeverluste nach SIA 380/1	Q _V	MJ/m ² a	81
Heizung: Zusätzliche Verteilverluste		%	5%
Sperrenzeiten für Wärmepumpe		h/d	6
Heizleistungsbedarf SIA 384/201 bei -8°C	Vorschlagswert:	kW	44.2
Warmwasserbedarf nach SIA 380/1	Q _{ww}	MJ/m ² a	28
Warmwasser: Zusätzliche Speicher- und Verteilverluste		%	10%

Wärmepumpen-Anlage

Name und Typ der Wärmepumpe:	Alpha-InnoTec GmbH SW 170-I		
Wärmequelle:	Erdsonden-Wärmepumpe		
Einsatz (Heizung oder Warmwasser):	Heizung + Warmwasser		
Heizungsspeicher	ohne Heizungs - Speicher		
Betriebsweise der Wärmepumpen-Anlage:	monovalenter Betrieb Heizung		
COP bei Normtemperatur (B0 / W50):		-	3.8
Sondenanzahl:		-	21
Länge pro Erdwärmesonde:		m	100
Auslegungs-Sondentemperatur (optional, aus externer Berechnung in Beilage)	0.5	°C	
Elektrische Leistungsaufnahme Sondenpumpe:		W	500
Leistungszahl COP (B0 / W35):		-	4.2
Heizleistung bei (B0 / W35):		kW	80
Temperaturerhöhung in der Wärmepumpe bei Normbedingungen	dT Nutzer	°C	
Vorlauftemperatur der Heizung:	T VL	°C	30
Rücklauftemperatur der Heizung:	T RL	°C	24
elektrische Zusatzheizung Warmwasser:	kein Elektro-Heizstab		
garantierte Warmwassertemperatur ohne Elektroheizstab:		°C	55
Warmwassertemperatur mit Elektro - Nachwärmer Q _{ww} :		°C	55
WW-Speicher-Inhalt		Liter	400

Resultate

	0.0%		
Verluste im Heizbetrieb (Anfahren, Speicher, etc.)	4%	Etah =	96%
Verluste im WW-Betrieb (Anfahren, Speicher, etc.)	8%	Etaw =	92%
Laufzeit der Wärmepumpe		h / a	1'022
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für die Heizung	100.0%	JAZ _h =	4.26
Anteil und JAZ der Wärmepumpe für Warmwasser	100.0%	JAZ _{ww} =	3.17
Gewichtungsfaktor Heizung w _h :		-	0.75
Gewichtungsfaktor Warmwasser w _{ww} :		-	0.25
Jahresarbeitszahl Heizung + Warmwasser JAZh+ww:		-	3.92

MINERGIE®-I-P®-Nachweis Belüftung

Projektdaten:
(dito MINERGIE®-Nachweis)

für Nachweis Version 10+11

zu verwenden bis spätestens 31.12.2009
grau hinterlegte Zellen sind nicht auszufüllen

Überträge in MINERGIE®-Nachweis Lüftung-Klimaanlagen

Thermisch wirksame Außenluftrate (Übertrag in E24)		395	m3/h
Strombedarf Lüftung (Übertrag in E25)		6784	kWh/a

Ahl.-Nr.	Raumtyp	A _E 1)	durchschnittl. Luftmenge	Betriebs-Std. Luftung	Ela- WRG	thermisch wirksame Aussenluftrate	Ventilatior- Leistung	Anlagen- Effizienz	Strombedarf Lüftung
	m2	m³/h	h/a		m³/h		kW	W/(m³h)	kWh/a
	Summe	2'100	5'928		395		3,0		6784
1	Büro	1'500	3'900	2870	0,75	319	1,8	0,46	5166
2	Nebenraum	420	210	2870	0,75	17	0,1	0,48	287
3	Sitzung	144	1728	1044	0,75	51	1,0	0,58	1044
4	Eingang	36	90	2870	0,75	7	0,1	1,11	287
5					0		#DIV/0!	0	
6					0		#DIV/0!	0	
7					0		#DIV/0!	0	
8					0		#DIV/0!	0	
9					0		#DIV/0!	0	
10					0		#DIV/0!	0	
11					0		#DIV/0!	0	
12					0		#DIV/0!	0	
13					0		#DIV/0!	0	
14					0		#DIV/0!	0	
15					0		#DIV/0!	0	
16					0		#DIV/0!	0	
17					0		#DIV/0!	0	
18					0		#DIV/0!	0	
19					0		#DIV/0!	0	
20					0		#DIV/0!	0	
21					0		#DIV/0!	0	
22					0		#DIV/0!	0	
23					0		#DIV/0!	0	
24					0		#DIV/0!	0	
25					0		#DIV/0!	0	

1) Energiebezugsfläche; das Total muss nicht mit der Zahl im MINERGIE®-Nachweis Register "Eingaben" E7 übereinstimmen.

A 7. Resultate Primärenergie

Tabelle 24: Verwendete Parameter / Werte für Variantenstudie

	Grund-variante	Beleuchtung	Sonnen-schutz	Städtische Verschattung	Interne Lasten
Nummer	1	2	3	4	5
Beleuchtung					
Büro	9.8 W/m ²	5 W/m ²	9.8 W/m ²	9.8 W/m ²	9.8 W/m ²
Sitzung	9.8 W/m ²	5 W/m ²	11.6 W/m ²	11.6 W/m ²	11.6 W/m ²
Empfang	4.6 W/m ²	2.3 W/m ²	5.6 W/m ²	5.6 W/m ²	5.6 W/m ²
Nebenräume	4.0 W/m ²	2.0 W/m ²	4.1 W/m ²	4.1 W/m ²	4.1 W/m ²
Sonnenschutz					
g-Wert 0.4	0.08	0.08	0.12	0.08	0.08
g-Wert 0.6	0.12	0.12	0.18	0.12	0.12
Städtische Verschattung	Keine Verschattung	Keine Verschattung	Keine Verschattung	Siehe Figur 48	Keine Verschattung
Hohe interne Lasten (Büro)					
Lux	500 lx	500 lx	500 lx	500 lx	800 lx
Gerätelast	7 W/m ²	7 W/m ²	7 W/m ²	7 W/m ²	19 W/m ²
Personenfl.	14 m ² /P	14 m ² /P	14 m ² /P	14 m ² /P	8 m ² /P
Lüftungs-steuerung.	CAV	CAV	CAV	CAV	VAV

A 7.1. Grundvariante

Zusammenstellung T1_1

Grundlagen		Bauteile		Nutzennergie				Primärenergie / Kohlendioxid CO ₂																			
Typ	EBF	Graue Energie	CO ₂	SIA	Wärmequelle	Wärmepumpe				Gas				Holz				Fernwärme									
		kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	SIA	Wärme	Energie	CO ₂	SIA	Wärme	Energie	CO ₂	SIA	Wärme	Energie	CO ₂	SIA	Wärme	Energie	CO ₂						
T1_1_01	2371	24.6	6.60	70.5	16.6	4.4	13.8	0.72	5.6	0.05	9.3	23.5	4.58	22.2	4.46	20.0	26.1	0.82	24.8	0.71	11.3	17.1	2.89	15.8	27.8	12.0	
T1_1_02	2371	25.7	6.81	83.0	23.7	5.4	14.5	0.13	23.7	49.1	7.33	38.0	6.41	39.0	52.8	1.98	41.7	1.07	26.6	40.0	4.93	28.9	4.02	27.6			
T1_1_03	2371	23.8	6.58	58.0	13.8	9.0	5.5	30.7	1.60	0.11	20.7	38.8	4.80	26.3	3.77	29.6	41.0	1.69	28.5	0.66	22.4	33.6	3.40	21.0	2.37	23.0	
T1_1_04	2371	23.8	6.78	65.0	19.0	12.5	4.6	33.6	1.75	13.8	0.12	22.6	44.8	6.16	32.7	5.17	34.9	47.8	1.87	35.7	0.88	25.6	3.24	25.4	3.24	25.8	
T1_1_05	2371	23.2	6.47	101.0	23.2	3.0	6.8	37.9	1.98	15.6	0.14	25.5	51.6	3.77	38.7	6.31	40.5	52.2	2.12	42.3	1.06	28.4	42.7	5.01	29.8	3.96	29.4
T1_1_06	2371	24.0	6.63	124.0	33.0	3.8	5.1	40.1	2.09	16.5	0.15	27.0	59.5	9.74	49.2	8.90	64.6	2.30	54.4	1.46	31.1	46.8	6.40	36.6	5.56	32.5	
T1_1_07	2371	23.1	6.46	85.0	19.6	7.2	5.5	33.8	1.76	13.9	0.12	22.8	45.3	6.31	33.4	5.32	35.4	48.4	1.89	36.4	0.90	25.2	37.8	5.34	26.0	3.34	26.0
T1_1_08	2371	23.9	6.61	103.0	27.4	9.9	4.4	37.4	1.95	15.4	0.14	25.2	53.5	8.31	42.6	42.9	57.8	2.12	47.0	1.23	28.6	43.0	5.54	32.1	4.64	29.8	
T1_1_09	2290	23.7	6.40	87.0	20.8	3.9	7.1	37.4	1.95	15.4	0.14	25.2	49.6	6.77	36.0	5.65	38.6	52.9	2.08	39.3	0.96	27.7	41.6	4.66	28.0	3.54	28.6
T1_1_10	2290	25.1	6.70	96.0	27.3	5.2	37.5	1.95	15.4	0.14	25.2	53.5	8.28	42.5	42.8	57.8	2.13	46.8	1.22	28.6	43.0	5.52	32.1	4.61	29.8		
T1_1_11	2290	23.6	6.38	72.0	17.5	8.6	5.7	33.7	1.76	13.8	0.12	22.7	44.0	5.62	31.2	4.77	34.0	46.7	1.87	34.0	0.82	24.8	37.3	4.04	24.5	3.00	23.6
T1_1_12	2290	25.0	6.67	77.0	22.3	12.3	4.6	35.7	1.86	14.6	0.13	24.0	48.7	7.03	36.8	6.05	38.4	52.2	2.00	40.3	1.02	28.8	40.2	4.77	28.3	3.79	27.7
T1_1_13	2290	23.0	6.32	119.0	27.6	2.9	7.0	41.6	2.17	17.1	0.15	28.0	57.8	8.58	44.6	45.9	62.2	2.34	48.9	1.25	31.4	47.2	5.78	34.0	4.69	32.6	
T1_1_14	2290	22.9	6.59	140.0	36.8	3.8	5.3	43.3	1.78	2.26	0.16	29.2	64.9	10.81	54.4	9.94	53.0	70.7	1.63	33.7	50.8	40.3	6.21	35.3	3.21	35.3	
T1_1_15	2290	22.9	6.31	102.0	23.7	7.0	5.7	37.1	1.93	15.2	0.13	25.0	51.0	7.44	38.8	6.43	40.3	54.8	2.09	42.6	1.08	27.9	42.0	5.04	29.7	4.03	28.9
T1_1_16	2290	24.0	6.57	116.0	31.0	9.9	4.6	40.3	2.10	16.6	0.15	27.2	58.5	9.29	47.4	8.37	47.2	63.4	2.30	52.3	1.38	37.0	46.7	6.15	35.5	5.24	32.3

Ohne Beleuchtung

T1_1_01		2371		Gas				Holz				Fernwärme								
Nutzungsgrad	Faktor	SIA	CO ₂	Minergie	Faktor	SIA	CO ₂	Minergie	Faktor	SIA	CO ₂	Minergie	Faktor	SIA	CO ₂	Minergie	Faktor	SIA	CO ₂	Minergie
Gas	0.90	1.278	0.268	1.000	1.278	0.895	0.600	0.167	0.268	0.895	0.600	0.167	0.268	0.895	0.600	0.167	0.268	0.895	0.600	0.167
Fernwärme	0.95	0.895	0.036	0.936	0.895	0.691	0.540	0.036	0.895	0.691	0.540	0.036	0.895	0.691	0.540	0.036	0.895	0.691	0.540	0.036
Erwärmte Wärmepumpe	4.30	4.30	0.028	0.028	4.30	5.50	0.028	0.028	4.30	5.50	0.028	0.028	4.30	5.50	0.028	0.028	4.30	5.50	0.028	0.028
Kältemaschine	1.00	2.970	0.155	0.155	1.00	1.435	0.042	0.042	1.00	1.435	0.042	0.042	1.00	1.435	0.042	0.042	1.00	1.435	0.042	0.042
Beleuchtung	0.85	0.85	0.042	0.042	0.85	0.85	0.042	0.042	0.85	0.85	0.042	0.042	0.85	0.85	0.042	0.042	0.85	0.85	0.042	0.042
Holz																				

Bemerkungen

Primärenergiefaktoren		SIA		Graue Energie		SIA		Graue Energie		SIA		Graue Energie		SIA		Graue Energie		SIA		Graue Energie	
Nutzungsgrad	Faktor	SIA	CO ₂	Faktor	SIA	CO ₂	Faktor	SIA	CO ₂	Faktor	SIA	CO ₂	Faktor	SIA	CO ₂	Faktor	SIA	CO ₂	Faktor		
Gas	0.90	1.278	0.268	1.000	1.278	0.895	0.600	0.167	0.268	0.895	0.600	0.167	0.268	0.895	0.600	0.167	0.268	0.895	0.600	0.167	
Fernwärme	0.95	0.895	0.036	0.936	0.895	0.691	0.540	0.036	0.895	0.691	0.540	0.036	0.895	0.691	0.540	0.036	0.895	0.691	0.540	0.036	
Erwärmte Wärmepumpe	4.30	4.30	0.028	0.028	4.30	5.50	0.028	0.028	4.30	5.50	0.028	0.028	4.30	5.50	0.028	0.028	4.30	5.50	0.028	0.028	
Kältemaschine	1.00	2.970	0.155	0.155	1.00	1.435	0.042	0.042	1.00	1.435	0.042	0.042	1.00	1.435	0.042	0.042	1.00	1.435	0.042	0.042	
Beleuchtung	0.85	0.85	0.042	0.042	0.85	0.85	0.042	0.042	0.85	0.85	0.042	0.042	0.85	0.85	0.042	0.042	0.85	0.85	0.042	0.042	
Holz																					

CO₂ Werte Energie

Minergie definiert keine Werte für den CO₂ Ausstoss.

Die Graue Energie sowie die CO₂ Werte beziehen sich auf die Errichtung und

Entsorgung der Bauteile.

Die angegebenen Werte sind pro Jahr und

pro Energiebezugsfläche.

Zusammenstellung T2_1

Typ	Grundlagen			Bauteile			Nutzenergie			Primärenergie / Kohlendioxid CO ₂																		
										Wärmepumpe						Gas						Holz			Fernwärme			
	Energie	Graue Energie	CO ₂	Q _n	Wärme	Kälte	Licht	SIA	CO ₂	Minergie	SIA	CO ₂	Minergie	SIA	CO ₂	Minergie	SIA	CO ₂	Minergie	SIA	CO ₂	Minergie	SIA	CO ₂	Minergie	SIA	CO ₂	Minergie
	kWh/m ²	kg eq/m ²	MJ/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²				
T2_1_01	2371	89.6	6.55	73.0	16.7	4.4	6.8	34.2	1.78	14.0	0.12	23.0	43.9	5.65	30.6	4.55	33.8	46.6	1.89	33.2	0.79	25.1	37.6	3.96	24.2	2.86	25.8	
T2_1_02	2371	93.5	6.76	85.0	23.8	5.6	5.2	34.8	1.81	14.3	0.13	23.4	48.8	7.33	37.9	6.44	38.8	52.5	1.96	41.7	1.07	26.4	35.6	4.92	28.8	4.03	27.4	
T2_1_03	2371	69.3	6.52	60.0	13.8	9.4	5.5	31.1	1.62	12.8	0.11	20.9	39.2	4.83	26.5	3.79	29.9	41.4	1.71	28.7	0.66	22.6	35.9	3.43	21.2	2.39	23.2	
T2_1_04	2371	93.0	6.72	60.0	19.2	13.0	4.6	33.9	1.77	13.9	0.12	22.8	45.2	6.22	33.0	5.21	35.2	48.2	1.89	36.0	0.89	25.2	37.8	4.27	25.6	3.27	26.0	
T2_1_05	2371	87.3	6.47	103.0	23.2	3.2	6.8	38.0	1.98	15.6	0.14	25.6	51.7	7.37	38.7	6.30	40.6	55.3	2.13	42.4	1.06	28.5	42.8	5.02	29.8	3.95	29.5	
T2_1_06	2371	90.2	6.65	127.0	4.0	5.2	2.10	40.3	2.16	16.6	0.15	27.1	59.7	7.76	49.4	8.91	48.5	64.9	2.31	54.6	1.46	31.2	47.0	6.41	36.7	5.56	32.6	
T2_1_07	2371	87.0	6.46	87.0	19.7	7.6	5.5	34.1	1.78	14.0	0.12	23.0	50.7	6.34	33.6	5.25	35.7	48.8	1.90	36.7	0.91	25.4	38.1	4.35	32.0	3.36	32.6	
T2_1_08	2371	89.7	6.63	106.0	27.6	10.3	4.4	37.6	1.96	15.5	0.14	25.3	53.8	8.36	42.9	7.45	43.2	58.2	2.14	47.2	1.23	28.7	45.3	5.57	32.3	4.66	29.9	
T2_1_09	2280	86.4	6.37	89.0	20.8	4.2	7.1	37.6	1.96	15.4	0.14	25.3	49.8	6.78	36.1	5.65	38.7	53.1	2.09	39.4	0.96	27.9	41.8	4.68	28.1	3.55	28.8	
T2_1_10	2280	91.6	6.67	98.0	27.3	5.5	5.4	37.7	1.97	15.5	0.14	25.4	53.6	8.39	42.7	7.39	43.1	58.1	2.14	47.0	1.23	28.6	45.3	5.54	32.2	4.62	30.0	
T2_1_11	2280	86.0	6.34	74.0	17.6	9.0	5.7	34.0	1.77	14.0	0.12	22.9	44.3	5.85	31.4	4.79	34.3	47.1	1.89	34.2	0.82	25.1	37.6	4.07	24.7	3.01	25.8	
T2_1_12	2280	91.1	6.62	80.0	22.4	12.9	4.5	35.9	1.87	14.8	0.13	24.2	49.1	7.08	37.1	6.09	38.7	52.7	2.02	40.6	1.02	27.0	40.5	4.81	28.5	3.82	27.9	
T2_1_13	2280	84.0	6.28	121.0	21.2	7.1	4.18	21.8	1.72	15.6	0.15	28.1	58.0	8.59	44.6	7.49	46.0	62.3	2.35	49.0	1.25	31.5	47.4	5.79	34.0	4.69	32.7	
T2_1_14	2280	88.2	6.56	142.0	36.8	4.1	5.3	43.5	2.27	17.9	0.16	29.3	65.1	10.81	54.5	9.83	53.1	70.9	2.50	60.3	1.62	33.8	51.0	7.08	40.4	6.20	35.4	
T2_1_15	2280	83.6	6.27	103.0	23.8	7.3	5.7	37.4	1.95	15.4	0.14	25.2	51.4	7.48	39.0	6.46	40.6	55.1	2.10	42.8	1.08	28.1	42.3	5.06	29.9	4.05	29.2	
T2_1_16	2280	87.7	6.64	120.0	31.1	10.4	4.5	40.6	2.12	16.7	0.15	27.4	58.9	9.34	47.6	8.41	47.5	63.8	2.31	52.5	1.39	31.2	47.0	6.19	35.7	5.26	32.5	

Ohne Beleuchtung

T2_1_01	2371	89.6	6.55	73.0	16.7	4.4	6.8	34.2	1.78	14.0	0.12	23.0	43.9	5.65	30.6	4.55	33.8	46.6	1.89	33.2	0.79	25.1	37.6	3.96	24.2	2.86	25.8
T2_1_02	2371	93.5	6.76	85.0	23.8	5.6	5.2	34.8	1.81	14.3	0.13	23.4	48.8	7.33	37.9	6.44	38.8	52.5	1.96	41.7	1.07	26.4	35.6	4.92	28.8	4.03	27.4
T2_1_03	2371	69.3	6.52	60.0	13.8	9.4	14.6	0.76	6.0	0.05	9.8	22.7	3.97	19.8	3.71	18.8	24.9	0.85	22.0	0.60	11.5	17.4	2.57	14.5	2.33	12.1	
T2_1_04	2371	93.0	6.72	68.0	19.2	13.0	20.2	8.3	0.07	13.6	0.07	12.0	31.5	5.50	27.4	5.14	26.0	34.5	1.18	30.4	0.84	16.0	24.2	3.56	20.0	3.22	16.8
T2_1_05	2371	87.3	6.47	103.0	23.2	3.2	17.8	0.93	7.3	0.06	12.0	31.4	6.31	30.4	6.22	27.0	35.1	1.07	34.0	0.99	14.8	22.5	3.96	20.9	3.77	15.8	
T2_1_06	2371	90.2	6.65	127.0	33.0	4.0	25.0	1.30	10.3	0.09	16.8	44.3	8.96	43.1	8.84	38.1	49.5	1.51	48.2	1.41	20.9	3.7	5.61	30.4	5.51	22.3	
T2_1_07	2371	87.0	6.46	87.0	19.7	7.6	17.7	0.92	7.3	0.06	11.9	29.2	5.49	26.8	5.27	24.6	32.3	1.05	29.9	0.95	14.3	21.7	3.49	19.3	3.30	15.2	
T2_1_08	2280	89.7	6.63	106.0	27.6	10.3	24.6	1.28	10.1	0.09	16.6	40.8	7.68	37.5	7.39	34.4	42.7	1.19	41.8	1.19	20.0	30.2	4.89	26.9	4.62	21.2	
T2_1_09	2280	86.4	6.37	89.0	20.8	4.2	16.6	0.87	6.8	0.06	11.2	28.8	5.68	27.5	5.57	24.6	32.1	1.00	30.7	0.89	13.7	20.4	3.58	19.5	3.47	14.6	
T2_1_10	2280	91.6	6.67	98.0	27.3	5.5	21.9	1.14	9.0	0.08	14.7	37.9	7.48	36.1	7.32	32.4	42.2	1.31	40.4	1.17	18.1	27.4	4.71	25.7	19.3		
T2_1_11	2280	86.0	6.34	74.0	17.6	9.0	17.0	0.89	7.0	0.06	11.5	27.3	4.96	24.5	4.71	22.8	30.1	1.00	27.2	0.76	13.6	20.6	3.18	17.7	2.95	14.4	
T2_1_12	2280	91.1	6.62	80.0	22.4	12.9	22.4	1.17	9.2	0.08	15.1	35.6	6.38	31.5	6.01	29.6	39.2	1.31	35.1	0.98	17.9	27.0	4.10	22.9	3.77	18.8	
T2_1_13	2280	84.0	6.29	121.0	27.7	3.1	20.8	0.85	0.08	14.0	37.0	7.50	36.0	7.41	31.9	41.4	1.26	40.4	1.18	17.4	26.4	4.70	25.4	4.62	18.6		
T2_1_14	2280	88.2	6.56	142.0	36.8	4.1	27.6	1.44	11.3	0.10	18.6	49.2	9.98	47.9	9.96	42.4	55.0	1.67	53.7	1.57	23.1	35.1	6.25	33.8	6.14	24.7	
T2_1_15	2280	83.6	6.27	103.0	23.8	7.3	20.4	1.06	8.4	0.07	13.7	34.4	6.59	32.1	6.38	29.1	38.1	1.22	35.8	1.02	16.7	22.7	4.18	22.9	3.99	17.7	
T2_1_16	2431	87.7	6.54	120.0	31.1	10.4	27.1	1.41	11.1	0.10	18.3	45.4	8.64	42.1	8.34	38.4	50.3	1.61	47.0	1.34	22.1	33.5	5.48	30.2	5.21	23.4	

Bemerkungen

Primärenergiefaktoren	Nutzungsgrad	Faktor	CO ₂	Minergie	Faktor	CO ₂	SIA Öko	CO ₂	Minergie	Faktor	CO ₂	SIA Öko	CO ₂	Minergie	Faktor	CO ₂	SIA Öko	CO ₂	Minergie	Faktor	CO ₂	SIA Öko	CO ₂	Minergie
Gas</																								

Zusammenstellung T3_1

Grundlagen				Bauteile				Nutzenergie				Primärenergie / Kohlendioxid CO ₂															
Typ	EBF	Graue Energie	CO ₂					Wärmepumpe				Gas				Holz				Fernwärme							
				SIA	CO ₂	Energie	Minergie	SIA	CO ₂	Energie	Minergie	SIA	CO ₂	Energie	Minergie	SIA	CO ₂	Energie	Minergie	SIA	CO ₂	Energie	Minergie				
T3_1_01	2431	89,6	6,55	68,0	18,0	4,7	7,4	37,0	1,93	15,2	0,13	24,9	47,5	6,10	33,1	4,91	36,5	50,3	2,04	35,9	0,05	27,1	40,6	4,28	26,2	3,09	27,9
T3_1_02	2431	93,5	6,76	78,0	24,6	7,0	7,7	43,5	2,27	17,9	0,16	29,3	56,0	7,99	42,4	6,70	45,2	61,9	2,43	46,3	1,14	32,4	48,6	5,49	32,9	4,21	33,4
T3_1_03	2431	89,3	6,52	56,0	15,0	9,5	6,0	33,3	1,73	13,7	0,12	22,4	42,1	5,22	28,6	4,11	32,1	44,5	1,83	31,0	0,72	24,3	36,3	3,70	22,8	2,59	24,9
T3_1_04	2431	93,0	6,72	63,0	20,2	14,5	7,0	42,5	2,22	17,5	0,15	28,6	54,4	6,91	37,6	5,52	41,7	57,6	2,35	40,8	1,06	29,8	48,6	4,86	29,8	3,48	34,0
T3_1_05	2431	87,3	6,47	96,0	24,5	3,7	7,4	40,9	2,13	16,8	0,15	27,5	55,3	7,82	41,2	6,65	43,4	58,2	2,29	45,0	1,13	30,6	45,9	5,34	31,8	4,17	31,6
T3_1_06	2431	90,2	6,55	118,0	33,7	5,5	7,7	49,0	2,55	20,1	0,18	33,0	68,8	10,38	53,7	9,14	54,8	74,1	2,77	59,0	1,52	37,2	55,9	6,97	40,7	5,72	38,6
T3_1_07	2431	87,0	6,46	81,0	21,0	8,0	6,0	36,6	1,91	15,0	0,13	24,6	48,9	6,79	36,0	5,72	52,3	2,04	38,3	0,97	27,2	40,9	4,66	27,9	3,59	28,1	
T3_1_08	2431	89,7	6,63	98,0	28,6	12,1	7,0	47,0	2,45	19,3	0,17	31,7	63,8	9,09	47,8	7,77	50,2	68,3	2,63	52,3	1,31	35,2	52,9	6,19	36,8	4,87	36,4
T3_1_09	2339	86,4	6,37	85,0	22,3	4,6	7,7	40,7	2,12	16,7	0,15	27,4	53,8	7,29	38,9	6,06	41,8	57,3	2,26	42,4	1,04	30,2	45,3	5,04	30,3	3,81	31,1
T3_1_10	2339	91,6	6,67	93,0	28,4	7,0	8,0	47,0	2,45	19,3	0,17	31,7	63,7	9,03	47,5	7,70	50,0	68,1	2,63	52,0	1,30	35,2	52,8	6,16	36,6	4,83	36,4
T3_1_11	2339	86,0	6,34	70,0	19,0	9,3	6,2	36,6	1,91	15,1	0,13	24,7	47,8	6,33	34,0	5,19	37,0	50,3	2,03	40,5	1,40	27,0	40,5	4,40	26,7	3,26	27,8
T3_1_12	2339	91,1	6,62	75,0	23,6	14,6	7,3	45,8	2,39	18,8	0,17	30,8	59,6	7,86	42,3	6,44	46,1	63,3	2,54	46,0	1,11	33,7	50,6	5,47	33,2	4,04	34,7
T3_1_13	2339	84,0	6,29	114,0	29,1	3,6	7,7	45,0	2,34	18,5	0,16	30,3	62,1	9,10	47,4	7,90	49,1	66,6	2,53	52,0	1,32	33,9	50,9	6,15	36,3	4,95	35,1
T3_1_14	2339	88,2	6,56	134,0	37,9	5,6	8,0	52,8	2,75	21,7	0,19	35,6	75,0	11,53	59,3	10,24	60,0	81,0	2,96	65,3	1,70	40,2	60,5	7,70	44,8	6,41	41,8
T3_1_15	2339	83,6	6,27	97,0	25,4	7,9	6,2	40,3	2,10	16,5	0,15	27,1	55,2	8,00	41,8	6,90	43,6	59,2	2,26	45,8	1,16	30,3	45,5	5,42	32,1	4,32	31,4
T3_1_16	2339	87,7	6,54	112,0	32,4	12,3	7,3	50,6	2,64	20,8	0,18	34,1	69,6	10,16	53,0	8,79	55,0	74,7	2,84	58,1	1,48	38,0	57,2	6,87	40,6	5,51	39,5

Ohne Beleuchtung

T3_1_01	2431	89,6	6,55	69,0	18,0	4,7	14,9	0,78	6,1	0,05	10,1	25,5	4,95	24,0	4,82	21,7	28,3	0,89	26,8	0,77	12,3	18,6	3,13	17,1	3,01	13,1	
T3_1_02	2431	93,5	6,76	79,0	24,6	7,0	7,4	43,5	2,27	17,9	0,16	29,3	56,0	7,99	42,4	6,70	45,2	61,9	2,43	46,3	1,14	32,4	48,6	5,49	32,9	4,21	33,4
T3_1_03	2431	89,3	6,52	56,0	15,0	9,5	6,0	33,3	1,73	13,7	0,12	22,4	42,1	5,22	28,6	4,11	32,1	44,5	1,83	31,0	0,72	24,3	36,3	3,70	22,8	2,59	24,9
T3_1_04	2431	93,0	6,72	63,0	20,2	14,5	7,0	42,5	2,22	17,5	0,15	28,6	54,4	6,91	37,6	5,52	41,7	57,6	2,35	40,8	1,06	29,8	48,6	5,46	29,8	3,48	34,0
T3_1_05	2431	87,3	6,47	96,0	24,5	3,7	7,4	40,9	2,13	16,8	0,15	27,5	55,3	7,82	41,2	6,65	43,4	58,2	2,29	45,0	1,13	30,6	45,9	5,34	31,8	4,17	31,6
T3_1_06	2431	90,2	6,55	118,0	33,7	5,5	7,7	49,0	2,55	20,1	0,18	33,0	68,8	10,38	53,7	9,14	54,8	74,1	2,77	59,0	1,52	37,2	55,9	6,97	40,7	5,72	38,6
T3_1_07	2431	87,0	6,46	81,0	21,0	8,0	6,0	36,6	1,91	15,1	0,13	24,7	47,8	6,33	34,0	5,19	37,0	50,3	2,03	40,5	1,40	27,0	50,6	5,47	33,2	4,04	34,7
T3_1_08	2431	89,7	6,63	98,0	28,4	7,0	8,0	47,0	2,45	19,3	0,17	31,7	63,7	9,03	47,5	7,70	50,0	68,1	2,63	52,0	1,30	35,2	52,8	6,16	36,6	4,83	36,4
T3_1_09	2339	86,4	6,37	85,0	22,3	4,6	7,7	36,6	1,91	15,1	0,13	24,7	47,8	6,33	34,0	5,19	37,0	50,3	2,03	40,5	1,40	27,0	50,6	5,47	33,2	4,04	34,7
T3_1_10	2339	91,6	6,67	83,0	28,4	7,0	7,4	43,5	2,27	19,6	0,08	15,7	40,0	7,80	37,8	7,60	34,0	44,5	1,40	42,2	1,21	19,2	29,2	4,92	26,9	4,74	20,5
T3_1_11	2339	86,0	6,34	70,0	19,0	9,3	7,0	42,0	1,92	16,6	0,08	15,7	40,0	7,80	37,8	7,60	34,0	44,5	1,40	42,2	1,21	19,2	29,2	4,92	26,9	4,74	20,5
T3_1_12	2339	91,1	6,62	75,0	23,6	14,6	7,0	45,0	2,95	19,5	0,07	12,2	29,4	5,36	26,4	5,10	24,5	32,4	1,07	29,4	0,82	14,6	22,1	3,44	19,1	3,19	15,4
T3_1_13	2339	84,0	6,29	114,0	32,6	11,5	7,0	42,2	1,26	9,9	0,09	16,3	38,1	6,74	33,4	6,33	31,6	41,8	1,41	37,1	1,03	19,2	29,0	4,35	24,4	3,97	20,2
T3_1_14	2339	88,2	6,56	134,0	37,9	5,6	7,0	51,7	1,52	12,0	0,11	19,6	51,4	10,30	49,6	10,14	44,1	57,3	1,76	55,6	1,61	24,3	36,9	4,47	35,1	3,32	25,9
T3_1_15	2339	83,6	6,27	97,0	25,4	7,9	7,0	40,3	1,14	9,0	0,08	14,7	36,8	7,04	34,3	6,82	31,1	40,8	1,30	38,3	1,09	17,8	27,0	4,46	24,5	4,26	18,9
T3_1_16	2339	87,7	6,54	112,0	32,4	12,3	7,3	50,6	2,64	20,8	0,18	34,1	69,6	10,16	53,0	8,79	55,0	74,7	2,84	58,1	1,48	38,0	57,2	6,87	40,6	5,51	39,5

Bemerkungen

Primärenergiefaktoren	Nutzungsgrad	Faktor	CO ₂	Minergie Faktor	CO ₂	Faktor	CO ₂	SIA Öko	CO ₂	Graue Energie / CO ₂ Werte Bauteile	CO ₂ Werte Energie
Gas	0,90	1,278	0,268	1,000	0,600	1,278	0,268	0,288	0,167	Die Graue Energie sowie die CO ₂ Werte beziehen sich auf die Errichtung und Entsorgung der Bauteile.	Die CO ₂ Werte definieren keine Werte für den CO ₂ Aussöss. Die Werte aus dem Bericht ESU SIA Öko stammen aus der Variante 1.4. In der Variante SIA Öko wurde der Strom vollständig mit Wasserkraft erzeugt
Fernwärme	0,95	0,895	0,167	0,036	2,000	0,895	0,036	0,284	0,003	Entsorgung der Bauteile.	
Erdwärmewärmpumpe	4,30	0,691	0,036	0,028	2,000	0,691	0,028	0,222	0,002		
Kühlmaschine	5,50	0,540	0,155	0,155	2,000	0,540	0,155	0,220	0,011	Die angegebenen Werte sind pro Jahr und pro Energiebezugsfläche.	
Beleuchtung	1,00	2,970	0,042	1,435	0,500	1,435	0,042</				

Zusammenstellung T4_1

Grundlagen		Bauteile		Nutzenergie		Primärenergie / Kohlendioxid CO ₂																						
						Wärmeleitung	Wärmeleitung	Gas																				
		Type	EBF	Graue Energie	CO ₂	SIA	Wärme	Kälte	Licht	Energie	CO ₂	Energie	Minergie	SIA	Energie	CO ₂	Energie											
4.1.01	4.1.02	2430	94.2	6.73	74.0	15.8	6.1	5.2	29.6	1.54	12.2	0.11	20.0	38.9	5.21	27.9	4.30	30.2	41.4	1.64	30.4	0.74	21.9	329	3.61	21.8	2.70	22.6
4.1.03	4.1.04	2430	93.1	6.94	87.0	22.4	7.8	4.0	31.6	1.64	0.11	21.2	44.7	6.85	35.3	6.07	35.7	48.3	1.79	38.0	1.01	24.3	4.38	26.7	3.80	25.0		
4.1.05	4.1.06	2430	93.8	6.70	60.0	13.4	4.3	28.0	1.46	11.5	0.10	18.9	35.9	4.58	24.9	3.67	27.6	38.1	1.55	27.0	0.64	20.5	30.8	3.22	19.7	2.31	21.1	
4.1.07	4.1.08	2430	97.5	6.90	70.0	18.7	15.3	3.4	31.3	1.63	0.11	21.1	42.3	5.98	31.5	5.09	33.2	45.2	1.75	34.4	0.86	23.4	35.1	4.08	24.3	3.19	24.2	
4.1.09	4.1.10	2430	90.9	6.60	105.0	21.7	5.1	5.2	33.2	1.73	13.6	0.12	22.3	45.9	6.76	35.2	5.88	36.3	49.3	1.87	38.6	0.99	25.6	37.6	4.57	26.9	3.68	25.9
4.1.11	4.1.12	2430	94.6	6.83	130.0	30.8	6.5	4.0	38.6	1.91	15.0	0.13	24.6	54.7	9.05	45.6	8.31	44.5	59.5	2.10	50.5	1.36	28.4	42.9	5.83	33.8	5.19	28.8
4.1.13	4.1.14	2430	87.1	6.35	99.0	18.8	9.7	4.3	30.8	1.61	12.7	0.11	20.8	41.9	5.96	31.3	5.09	32.9	44.8	1.73	34.3	0.86	23.1	34.7	4.06	24.1	3.19	23.9
4.1.15	4.1.16	2430	93.0	6.74	109.0	26.4	13.1	3.4	35.4	1.84	14.5	0.13	23.8	50.9	7.96	40.8	7.13	40.9	55.0	2.01	44.9	1.18	27.1	40.8	5.29	30.7	4.46	28.2
4.1.17	4.1.18	2345	89.5	6.46	92.0	19.7	6.0	5.4	32.8	1.71	13.5	0.12	22.1	44.4	6.28	33.1	5.35	34.8	47.5	1.84	36.2	0.90	24.5	36.9	4.09	26.5	3.36	25.4
4.1.19	4.1.20	2345	86.4	6.25	162.0	23.8	7.9	4.1	34.4	1.79	14.1	0.12	23.1	49.5	7.79	39.8	6.99	39.8	53.6	1.96	43.9	1.15	26.3	39.6	5.17	29.9	4.37	27.4
4.1.21	4.1.22	2345	90.1	6.46	76.0	17.0	11.1	4.4	30.9	1.61	12.7	0.11	20.8	40.9	6.25	29.6	6.63	31.8	43.5	1.72	32.3	0.79	22.9	34.3	3.83	23.1	2.91	23.6
4.1.23	4.1.24	2345	93.5	6.25	83.0	21.8	15.4	3.5	33.9	1.76	13.9	0.12	22.8	46.7	6.83	35.6	5.91	36.9	50.1	1.90	39.0	0.99	25.5	38.3	4.82	27.2	3.71	26.4
4.1.25	4.1.26	2345	83.0	6.43	125.0	25.9	5.1	5.4	36.6	1.91	15.0	0.13	24.6	51.8	7.92	40.8	7.01	41.4	55.9	2.07	44.9	1.16	27.8	41.9	5.29	30.9	4.39	28.9
4.1.27	4.1.28	2345	92.3	6.46	148.0	34.5	6.6	4.4	39.6	2.07	16.3	0.12	26.7	50.9	10.7	45.6	9.31	48.5	65.3	2.29	60.1	1.52	30.9	37.4	5.81	32.4	3.81	32.7
4.1.29	4.1.30	2345	87.6	6.46	107.0	22.7	9.3	3.5	34.0	1.77	14.0	0.12	22.9	47.3	6.04	35.6	6.15	37.5	50.1	1.92	40.1	1.03	25.7	38.6	4.74	27.8	3.81	26.7
4.1.31	4.1.32	2345	91.7	6.25	155.0	29.3	13.3	3.5	33.2	1.99	15.7	0.14	25.7	55.8	8.92	45.4	8.06	45.0	60.5	2.18	50.1	1.33	25.7	44.3	5.89	33.9	5.04	30.7

3 ohne Beleuchtung

α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}	α_{11}	α_{12}	α_{13}	α_{14}	α_{15}	α_{16}
1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	1.16
2430	94.2	67.3	74.0	15.8	6.1	14.2	0.74	5.8	0.05	9.6	23.5	4.41	21.6	4.23	19.8
2430	98.1	6.94	87.0	22.4	7.8	19.7	1.03	8.1	0.07	13.3	32.9	6.23	30.4	6.01	27.8
2430	93.8	6.70	60.0	13.4	11.3	15.4	0.80	6.3	0.06	10.4	23.3	3.92	19.7	3.60	19.1
2430	97.5	6.90	70.0	18.7	15.3	21.2	1.11	8.7	0.08	14.3	32.2	5.45	27.3	5.02	26.4
2430	90.9	6.60	105.0	2.7	5.1	17.8	0.93	7.3	0.06	12.0	30.5	6.29	26.0	5.82	26.0
2430	94.6	6.83	130.0	30.8	6.5	24.8	1.29	10.2	0.09	16.7	42.9	8.44	40.8	8.25	36.6
2430	87.1	5.35	89.0	18.8	9.7	18.2	0.95	7.5	0.07	12.3	29.2	5.30	26.1	5.03	24.4
2430	93.0	6.74	90.0	26.4	13.1	28.3	1.32	10.4	0.09	17.0	40.8	7.44	36.6	7.07	34.1
2345	89.5	6.46	92.0	19.7	6.0	16.9	0.88	6.9	0.06	11.4	28.4	5.45	26.5	5.28	24.1
2345	86.4	6.25	102.0	25.8	7.9	22.1	1.15	9.1	0.08	14.9	37.3	7.15	34.8	6.93	31.6
2345	90.1	6.46	76.0	17.0	11.1	27.8	0.93	7.3	0.06	12.0	27.8	4.87	24.2	4.56	23.0
2345	95.3	6.25	83.0	21.8	15.4	23.4	1.22	9.6	0.09	15.8	36.2	6.28	31.3	5.85	29.8
2345	92.3	6.25	125.0	25.9	5.1	20.6	1.08	8.5	0.08	13.9	35.8	7.08	34.2	6.94	30.6
2345	87.6	6.46	107.0	22.7	9.6	20.9	1.09	8.6	0.08	14.1	34.2	6.36	31.1	6.08	28.7
2345	91.7	6.25	125.0	29.8	13.3	27.8	1.45	11.4	0.10	18.7	45.3	8.37	41.1	8.00	38.0

Bemerkungen

Primärenergiefaktoren		Nutzungsgrad	SIA	Minergie Faktor	SIA Öko Faktor	CO ₂	CO ₂ Werte Energie
		Faktor	CO ₂	Faktor	CO ₂		
Gas	0.90	1.278	0.268	1.000	1.278	0.268	Minergie definiert keine Werte für den CO ₂ Ausstoss. Die Faktoren SIA / SIA Öko stammen aus dem Bericht ESU Services (Version 1.4). In der Variante SIA Öko wurde der Strom vollständig mit Wasserkraft erzeugt
Fernwärme	0.95	0.895	0.167	0.600	0.895	0.167	
Erwärmung Wärmepumpe	4.30	0.691	0.036	2.000	0.284	0.003	
Kühlung	5.50	0.540	0.028	2.000	0.222	0.002	
Wärmespeicher	1.00	2.970	0.155	2.000	0.222	0.002	
Bleibeschleunigung	0.85	1.435	0.042	2.000	1.435	0.042	
Beleuchtung	1.00	2.970	0.155	2.000	1.435	0.042	
Strom	0.85	1.435	0.042	2.000	1.435	0.042	

Zusammenstellung T1_2

A 7.2. Variante mit reduzierter Beleuchtungsleistung

Grundlagen		Bauteile		Nutzenergie				Primärenergie / Kohlendioxid CO ₂											
Typ	EBF	Graue Energie	CO ₂	Wärmepumpe				Gas				Holz				Fernwärme			
				SIA	Energie	Minergie	SIA	Energie	Minergie	SIA	Energie	SIA	Energie	Minergie	SIA	Energie	Minergie	Energie	
		kWh/m ²	kg eq/m ²	kWh/m ²	MJ/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²	
T1_2_01	2371	88.7	6.60	70.5	19.2	3.8	25.9	1.35	10.6	0.07	23.9	37.2	5.81	29.7	5.15	36.4	40.2	1.47	
T1_2_02	2371	92.6	6.81	83.0	25.7	5.1	2.7	28.6	1.49	11.7	0.09	24.5	43.6	7.44	37.3	6.89	41.1	1.47	
T1_2_03	2371	85.7	6.58	58.0	15.8	8.6	2.9	24.2	1.26	9.0	0.08	21.5	33.4	4.92	25.6	4.24	31.7	25.9	
T1_2_04	2371	89.3	6.78	65.0	20.6	12.1	2.4	28.0	1.46	11.5	0.10	23.3	40.2	6.25	32.0	5.56	36.6	43.4	
T1_2_05	2371	83.6	6.47	101.0	25.6	2.8	3.6	29.9	1.56	12.3	0.08	26.5	45.0	7.51	37.8	6.88	43.1	1.72	
T1_2_06	2371	86.5	6.63	124.0	34.9	3.7	2.7	34.9	1.78	14.0	0.10	27.8	54.6	9.87	48.7	9.35	50.3	60.1	
T1_2_07	2371	83.3	6.46	85.0	21.6	6.9	2.9	27.3	1.42	11.2	0.08	23.6	39.9	6.42	32.6	5.79	37.5	43.3	
T1_2_08	2371	86.0	6.61	103.0	29.0	9.7	2.3	32.2	1.68	13.2	0.12	25.9	49.3	8.42	42.1	7.80	44.6	53.8	
T1_2_09	2390	85.2	6.40	87.0	23.3	3.7	3.7	29.1	1.52	11.9	0.07	26.3	42.7	6.92	35.1	6.25	41.3	46.4	
Ohne Beleuchtung																			
T1_2_01	2371	88.7	6.60	70.5	19.2	3.8	15.3	0.80	6.3	0.06	10.3	26.6	5.25	25.4	5.15	22.7	29.6	0.92	
T1_2_02	2371	92.6	6.81	83.0	25.7	5.1	2.05	1.07	8.4	0.07	13.8	35.5	7.02	33.9	6.88	30.4	39.6	0.92	
T1_2_03	2371	85.7	6.58	58.0	15.8	8.6	15.5	0.81	6.4	0.06	10.5	24.8	4.47	22.1	4.23	20.7	27.3	0.91	
T1_2_04	2371	89.3	6.78	65.0	20.6	12.1	20.8	1.08	8.5	0.08	14.0	32.9	5.87	29.1	5.53	27.3	32.3	0.90	
T1_2_05	2371	83.6	6.47	101.0	25.6	2.8	19.2	1.00	7.9	0.07	12.9	34.3	6.95	33.4	6.87	29.5	38.3	1.16	
T1_2_06	2371	86.5	6.63	124.0	34.9	3.7	2.7	34.9	1.78	14.0	0.10	27.8	54.6	9.87	48.7	9.35	50.3	60.1	
T1_2_07	2371	83.3	6.46	85.0	21.6	6.9	2.9	27.3	1.42	11.2	0.08	23.6	39.9	6.42	32.6	5.79	37.5	43.3	
T1_2_08	2371	86.0	6.61	103.0	29.0	9.7	2.3	32.2	1.68	13.2	0.12	25.9	49.3	8.42	42.1	7.80	44.6	53.8	
T1_2_09	2390	85.2	6.40	87.0	23.3	3.7	3.7	29.1	1.52	11.9	0.07	26.3	42.7	6.92	35.1	6.25	41.3	46.4	

Bemerkungen

Primärenergiefaktoren	Nutzungsgrad	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA	Minergie	Faktor
Gas	0.90	1.273	0.263	1.000	1.278	0.268	0.268	0.91	1.23	0.260	0.167	1.10	16.9	25.7	4.42	24.1	4.29
Fernwärme	0.95	0.895	0.167	0.600	0.895	0.167	0.167	0.98	0.245	0.88	0.068	12.4	18.8	28.8	1.11	26.5	13.1
Erwärmte Wärmepumpe	4.30	0.691	0.036	2.000	0.284	0.022	0.022	5.00	0.122	0.500	0.003	1.11	25.0	37.8	21.2	34.7	17.4
Kältemaschine	5.50	0.540	0.028	2.000	0.120	0.022	0.022	5.70	0.120	0.570	0.003	1.16	37.4	43.5	23.6	4.28	17.2
Beleuchtung	1.00	2.970	0.155	2.000	0.120	0.011	0.011	1.00	0.120	0.500	0.004	1.11	32.5	33.2	23.0	5.82	23.3
Holz	0.85	1.435	0.042	0.500	1.435	0.042	0.042	0.98	0.122	0.580	0.022	1.11	32.5	33.2	23.0	3.61	16.1

Primärenergiefaktoren	Nutzungsgrad	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA	Minergie	Faktor
Gas	0.90	1.273	0.263	1.000	1.278	0.268	0.268	0.91	1.23	0.260	0.167	1.10	16.9	25.7	4.42	24.1	4.29
Fernwärme	0.95	0.895	0.167	0.600	0.895	0.167	0.167	0.98	0.245	0.88	0.068	12.4	18.8	28.8	1.11	26.5	13.1
Erwärmte Wärmepumpe	4.30	0.691	0.036	2.000	0.284	0.022	0.022	5.00	0.122	0.500	0.003	1.11	37.4	43.5	23.6	4.28	17.2
Kältemaschine	5.50	0.540	0.028	2.000	0.120	0.022	0.022	5.70	0.120	0.570	0.003	1.11	32.5	33.2	23.0	5.82	23.3
Beleuchtung	1.00	2.970	0.155	2.000	0.120	0.011	0.011	1.00	0.120	0.500	0.004	1.11	32.5	33.2	23.0	3.61	16.1
Holz	0.85	1.435	0.042	0.500	1.435	0.042	0.042	0.98	0.122	0.580	0.022	1.11	32.5	33.2	23.0	3.61	16.1

Primärenergiefaktoren	Nutzungsgrad	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA	Minergie	Faktor
Gas	0.90	1.273	0.263	1.000	1.278	0.268	0.268	0.91	1.23	0.260	0.167	1.10	16.9	25.7	4.42	24.1	4.29
Fernwärme	0.95	0.895	0.167	0.600	0.895	0.167	0.167	0.98	0.245	0.88	0.068	12.4	18.8	28.8	1.11	26.5	13.1
Erwärmte Wärmepumpe	4.30	0.691	0.036	2.000	0.284	0.022	0.022	5.00	0.122	0.500	0.003	1.11	37.4	43.5	23.6	4.28	17.2
Kältemaschine	5.50	0.540	0.028	2.000	0.120	0.022	0.022	5.70	0.120	0.570	0.003	1.11	32.5	33.2	23.0	5.82	23.3
Beleuchtung	1.00	2.970	0.155	2.000	0.120	0.011	0.011	1.00	0.120	0.500	0.004	1.11	32.5	33.2	23.0	3.61	16.1
Holz	0.85	1.435	0.042	0.500	1.435	0.042	0.042	0.98	0.122	0.580	0.022	1.11	32.5	33.2	23.0	3.61	16.1

Primärenergiefaktoren	Nutzungsgrad	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA	Minergie	Faktor
Gas	0.90	1.273	0.263	1.000	1.278	0.268	0.268	0.91	1.23	0.260	0.167	1.10	16.9	25.7	4.42	24.1	4.29
Fernwärme	0.95	0.895	0.167	0.600	0.895	0.167	0.167	0.98	0.245	0.88	0.068	12.4	18.8	28.8	1.11	26.5	13.1
Erwärmte Wärmepumpe	4.30	0.691	0.036	2.000	0.284	0.022	0.022	5.00	0.122	0.500	0.003	1.11	37.4	43.5	23.6	4.28	17.2
Kältemaschine	5.50	0.540	0.028	2.000	0.120	0.022	0.022	5.70	0.120	0.570	0.003	1.11	32.5	33.2	23.0	5.82	23.3
Beleuchtung	1.00	2.970	0.155	2.000	0.120	0.011	0.011	1.00	0.120	0.500	0.004	1.11	32.5	33.2	23.0	3.61	16.1
Holz	0.85	1.435	0.042	0.500	1.435	0.042	0.042	0.98	0.122	0.580	0.022	1.11	32.5	33.2	23.0	3.61	16.1

| Primärenergiefaktoren | Nutzungsgrad | Faktor | SIA | Minergie |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

Zusammenstellung T3_2

Typ	Grundlagen			Bauteile			Nutzenergie			Primärenergie / Kohlendioxid CO ₂																	
	EBF	Graue Energie	CO ₂	Q _n	Wärme	Kälte	Licht	Wärmepumpe			Gas			Holz			Fernwärme										
								SIA	CO ₂	Energie	SIA	CO ₂	Energie	SIA	CO ₂	Energie	SIA	CO ₂	Energie								
T3_2_01	2431	89.6	6.55	69.0	20.6	4.2	16.5	0.86	6.8	0.06	11.1	28.6	5.63	27.2	5.52	24.4	31.8	0.99	30.5	13.6	20.7	3.55	19.3	3.44	14.5		
T3_2_02	2431	89.3	6.52	56.0	17.1	9.0	26.0	1.36	1.77	13.9	0.10	21.7	40.1	6.24	32.0	5.52	43.4	1.59	35.2	0.92	21.4	32.2	4.15	24.1	3.48	25.2	
T3_2_03	2431	93.5	6.76	79.0	27.1	6.2	3.9	28.0	1.46	11.5	0.07	33.9	49.9	8.07	40.9	7.29	43.8	54.1	1.94	45.2	1.20	26.2	39.5	5.32	30.5	4.58	30.3
T3_2_04	2431	93.0	6.72	63.0	22.3	13.4	3.6	33.4	1.74	13.7	0.11	29.3	46.5	6.91	35.9	6.00	43.7	50.0	1.88	39.4	1.01	25.2	38.0	4.65	27.3	3.78	33.0
T3_2_05	2431	87.3	6.47	96.0	27.2	3.3	3.9	32.1	1.67	13.2	0.08	24.5	48.0	7.97	40.2	7.29	42.0	52.3	1.85	44.5	1.20	25.0	37.6	5.22	29.8	4.58	29.0
T3_2_06	2431	90.2	6.65	118.0	36.3	4.8	4.0	39.6	2.06	16.3	0.11	30.1	60.9	10.49	52.4	9.74	53.5	66.6	2.29	58.1	1.59	31.1	47.0	6.81	38.4	6.11	36.1
T3_2_07	2431	87.0	6.46	81.0	23.2	7.6	3.2	29.5	1.54	12.1	0.09	22.7	43.2	6.93	35.2	6.24	37.7	46.8	1.69	38.9	1.03	22.7	34.3	4.58	26.3	3.92	26.6
T3_2_08	2431	89.7	6.63	98.0	30.8	11.3	3.6	38.1	1.99	15.7	0.13	32.1	56.2	9.13	46.3	8.27	52.0	61.0	2.18	51.1	1.37	29.5	44.4	6.01	34.5	5.20	37.2
T3_2_09	2339	86.4	6.37	85.0	25.1	4.1	4.0	31.6	1.64	13.0	0.08	23.5	46.3	7.46	37.9	6.73	39.7	50.2	1.80	41.8	1.11	24.3	36.7	4.92	28.3	4.23	27.7

Ohne Beleuchtung

Typ	Grundlagen			Bauteile			Nutzenergie			Primärenergie / Kohlendioxid CO ₂																
	EBF	Graue Energie	CO ₂	Q _n	Wärme	Kälte	Licht	Wärmepumpe			Gas			Holz			Fernwärme									
								SIA	CO ₂	Energie	SIA	CO ₂	Energie	SIA	CO ₂	Energie	SIA	CO ₂	Energie							
T3_2_01	2431	89.6	6.55	69.0	20.6	4.2	16.5	0.86	6.8	0.06	11.1	28.6	5.63	27.2	5.52	24.4	31.8	0.99	30.5	13.6	20.7	3.55	19.3	3.44	14.5	
T3_2_02	2431	89.3	6.52	19.2	27.1	6.2	22.1	1.15	9.1	0.08	14.9	7.45	36.1	7.27	32.4	42.3	1.32	40.3	1.16	18.2	27.6	4.70	25.7	4.54	19.4	
T3_2_03	2431	89.3	6.52	19.2	17.1	9.0	16.7	0.87	6.8	0.06	11.2	26.7	6.23	22.3	29.4	4.58	23.8	0.98	26.5	0.74	13.10	20.2	3.10	17.3	2.87	14.1
T3_2_04	2431	93.0	6.72	19.2	22.3	13.4	22.6	1.18	9.3	0.08	15.3	35.7	6.35	31.4	5.97	29.6	39.2	1.32	35.0	0.97	18.0	27.2	4.09	22.9	3.74	19.0
T3_2_05	2431	87.3	6.47	19.2	27.2	3.3	20.5	1.07	8.4	0.07	13.8	36.5	7.37	35.4	7.28	31.4	40.8	1.24	39.7	1.16	17.2	26.1	4.62	25.0	4.53	18.4
T3_2_06	2431	90.2	6.65	19.2	36.3	4.8	27.7	1.44	11.4	0.10	18.7	49.0	9.87	47.5	9.73	42.1	54.8	1.67	53.2	1.55	23.1	35.1	6.19	33.6	6.07	24.7
T3_2_07	2431	87.0	6.46	19.2	23.2	7.6	20.2	1.05	8.3	0.07	13.6	33.8	6.44	31.4	6.23	28.6	35.0	1.00	35.0	1.06	16.4	24.7	4.09	22.5	3.89	17.4
T3_2_08	2431	89.7	6.63	19.2	30.8	11.3	27.3	1.43	11.2	0.10	18.4	45.4	8.57	41.8	8.25	38.3	50.3	1.62	46.7	1.33	22.2	33.6	5.45	30.0	5.16	23.5
T3_2_09	2339	86.4	6.37	19.2	25.1	4.1	19.5	1.02	8.0	0.07	13.2	34.3	6.84	33.0	6.72	29.4	38.2	1.18	36.9	1.07	16.3	24.7	4.30	23.4	4.19	17.3

Bemerkungen

Primärenergiefaktoren	Nutzungsgrad			SIA	CO ₂	Minergie	Faktor	CO ₂	SIA Öko	Faktor	CO ₂	SIA	CO ₂	Energie	Graue Energie / CO ₂ Werte Bauteile			CO ₂ Werte Energie			
	Gas	Fernwärme	Kältemaschine																		
	0.90	0.95	0.430	0.550	1.00	0.895	0.691	0.540	2.970	1.435	0.167	0.036	0.028	0.002	0.500	1.435	0.268	0.167	0.003	0.011	0.042

Graue Energie sowie die CO₂ Werte beziehen sich auf die Erstellung und Entsorgung der Bauteile.

Die angegebenen Werte sind pro Jahr und pro Energiebezugsfläche.

Minergie definiert keine Werte für den CO₂ Ausstoß. Die Faktoren SIA / SIA Öko stammen aus dem Bericht ESU Services (Version 1.4). In der Variante SIA Öko wurde der Strom vollständig mit Wasserkraft erzeugt

Zusammenstellung T4_2

Grundlagen	Bautelle	Nutzenergie	Primärenergie / Kohlendioxid CO ₂																									
			Wärmeleitung						Gas						Holz			Fernwärme										
			SIA	Energie	Minergie	SIA	Energie	Minergie	SIA	Energie	Minergie	SIA	Energie	Minergie	SIA	Energie	SIA	Energie	Minergie									
Typ	EBF	Graue Energie	CO ₂	Q _h	Wärme	Kalte	Licht	Minergie	SIA Öko	Energie	Minergie	SIA	Energie	Minergie	SIA Öko	Energie	SIA	Energie	SIA Öko	Energie								
		kWh/m ²	kg eq/m ²	MJ/m ²	kWh/m ²	SIA	Energie	CO ₂	Energie																			
T4_2_01	24.30	94.2	6.73	87.0	74.0	18.2	5.8	2.7	23.7	1.24	9.8	0.07	21.6	34.4	5.46	27.8	4.89	33.4	37.3	1.35	30.7	0.81	18.2	27.5	3.62	20.9	3.08	24.7
T4_2_02	24.30	98.1	6.73	87.0	74.0	18.2	5.8	2.7	23.2	1.21	11.0	0.09	23.3	41.3	6.58	39.2	1.56	39.3	1.07	21.1	31.9	4.60	26.0	4.12	26.0	4.12	24.7	
T4_2_03	24.30	93.8	6.73	60.0	15.4	10.9	2.0	2.2	23.2	1.21	9.5	0.09	24.3	32.5	4.78	24.8	4.15	34.6	1.30	27.3	0.70	17.5	26.3	3.22	18.9	2.61	27.3	
T4_2_04	24.30	97.5	6.73	70.0	20.4	15.0	1.8	27.5	1.44	11.3	0.12	25.3	39.5	6.18	31.6	5.51	38.5	42.8	34.9	0.91	21.1	31.7	4.11	23.8	3.46	28.7		
T4_2_05	24.30	90.9	6.73	105.0	24.2	4.8	2.7	27.4	1.43	11.2	0.08	24.1	41.6	7.04	35.3	6.49	39.7	45.4	39.1	1.06	21.4	32.3	4.59	26.0	4.07	28.1		
T4_2_06	24.30	94.6	6.73	130.0	32.9	6.3	2.1	32.4	1.69	13.3	0.11	26.4	51.7	9.32	46.0	8.83	47.6	51.2	45.3	1.43	25.8	39.1	5.99	33.4	5.52	31.8		
T4_2_07	24.30	87.1	6.73	89.0	20.9	9.4	2.2	26.1	1.36	10.7	0.09	27.2	38.4	6.20	31.5	5.61	40.7	41.6	34.7	0.93	20.2	30.4	4.09	23.5	3.52	30.7		
T4_2_08	24.30	93.0	6.73	109.0	28.2	12.8	1.8	31.8	1.66	13.0	0.13	28.5	48.3	8.20	41.1	7.59	46.7	52.8	45.5	1.24	24.9	37.5	5.34	30.3	4.75	33.2		
T4_2_09	23.45	89.5	6.73	92.0	22.2	5.7	2.8	26.8	1.40	11.0	0.08	23.9	39.8	6.55	33.1	5.97	38.2	43.3	36.6	1.54	20.8	31.3	4.30	24.6	3.75	27.6		

Ohne Beleuchtung

T4_2_01	24.30	94.2	6.73	74.0	18.2	5.8	2.7	15.7	0.82	6.4	0.06	10.6	26.4	5.04	24.5	4.88	22.3	29.2	0.93	27.4	0.78	12.8	19.4	3.20	17.6	3.05	13.6
T4_2_02	24.30	98.1	6.73	87.0	24.5	7.6	2.7	21.0	1.09	8.6	0.08	14.1	35.4	6.78	33.0	6.56	32.5	36.8	1.05	17.2	2.50	23.6	4.10	18.2			
T4_2_03	24.30	93.8	6.73	60.0	15.4	10.9	2.0	16.5	0.86	6.8	0.06	11.1	25.6	4.44	22.1	4.13	21.1	28.0	0.96	24.5	1.67	13.0	19.7	2.88	16.2	2.59	13.7
T4_2_04	24.30	97.5	6.73	70.0	20.4	15.0	1.8	22.2	1.16	9.1	0.08	15.0	34.2	5.90	29.4	5.48	28.2	37.4	1.29	32.7	0.90	17.5	2.44	21.6	3.44	18.4	
T4_2_05	24.30	90.9	6.73	105.0	24.2	4.8	2.7	19.3	1.01	7.9	0.07	13.0	33.5	6.62	32.0	6.48	28.6	37.3	1.16	35.8	1.03	16.0	24.2	4.17	22.7	4.04	17.0
T4_2_06	24.30	94.6	6.73	130.0	32.9	6.3	2.1	19.3	1.36	10.7	0.09	17.6	45.4	8.99	43.4	8.82	38.8	50.6	1.57	48.6	1.41	21.6	32.8	5.66	30.8	5.50	23.1
T4_2_07	24.30	87.1	6.73	89.0	20.9	9.4	2.2	19.5	1.01	8.0	0.07	13.1	31.7	5.85	28.7	5.59	26.6	35.0	1.15	32.0	0.90	15.7	23.7	3.74	20.7	3.50	16.6
T4_2_08	24.30	93.0	6.73	108.0	28.2	12.8	1.8	26.4	1.38	10.9	0.10	17.8	43.0	7.92	38.9	7.56	36.0	47.4	1.56	43.4	1.22	21.3	32.2	5.07	28.1	4.73	22.5
T4_2_09	23.45	89.5	6.73	92.0	22.2	5.7	2.8	18.4	0.96	7.6	0.07	12.4	31.5	6.12	29.7	5.96	26.8	35.0	1.10	33.2	0.95	15.1	23.0	3.87	21.2	3.72	16.1

Bemerkungen

Primärenergiefaktoren	Nutzungsgrad	Faktor	SIA	Minergie	Faktor	SIA Öko	Faktor	CO ₂	Graue Energie / CO ₂ Werte Bauteile			CO ₂ Werte Energie		
									CO ₂	Faktor	CO ₂	Faktor	CO ₂	
Gas	0.90	1.278	0.268	1.000	1.278	0.268	1.000	0.268	0.167	0.895	0.284	0.003	Die Graue Energie sowie die CO ₂ Werte beziehen sich auf die Erstellung und Entsorgung der Bauteile.	
Fernwärme	0.95	0.891	0.167	0.600	0.891	0.167	0.600	0.167	0.022	0.036	0.200	0.002	Die angegebenen Werte sind pro Jahr und pro Energiebezugsfläche.	
Erdwärmepumpe	4.30	0.691	0.036	2.000	0.691	0.036	2.000	0.691	0.500	1.220	0.042	0.011		
Kühlmaschine	5.50	0.540	0.028	2.970	0.540	0.028	2.970	0.540	0.435	1.155	0.042	0.011		
Beleuchtung	1.00	1.435	0.042	0.96	1.435	0.042	0.96	1.435	0.500	1.220	0.042	0.011		
Holz	0.85													

Gas	0.263	0.167	0.022	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Fernwärme	0.167	0.022	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Erdwärmepumpe	0.022	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Kühlmaschine	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Beleuchtung	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Holz	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

Minergie definiert keine Werte für den CO₂ Ausstoss. Die Faktoren SIA / SIA Öko stammen aus dem Bericht ESU Services (Version 1.4). In der Variante SIA Öko wurde der Strom vollständig mit Wasserkraft erzeugt

A 7.3. Variante mit transparenterem Sonnenschutz

Zusammenstellung T1_3

Grundlagen		Bauteile		Nutzenergie				Primärenergie / Kohlendioxid CO ₂												Fernwärme							
Typ	EBF	Graue Energie	CO ₂					Wärmepumpe				Gas				Holz				Fernwärme							
				SIA	Q _n	Wärme	Kälte	Licht	Energie	CO ₂	Minergie	SIA	Q _n	Energie	CO ₂	Minergie	SIA	Q _n	Energie	CO ₂	Minergie	SIA	Q _n	Energie	CO ₂	Minergie	
T1_3_01	2371	88.7	6.90	70.5	15.9	5.1	6.5	33.0	1.72	13.6	0.06	24.2	42.3	5.40	29.3	4.26	31.4	44.8	1.82	0.75	24.2	36.3	3.79	23.3	2.72	23.8	
T1_3_02	2371	92.6	6.81	83.0	15.9	5.1	6.5	34.6	1.81	14.2	0.09	26.8	47.7	6.99	36.4	41.2	51.3	1.95	41.3	1.13	22.4	39.2	4.72	27.9	3.79	30.5	
T1_3_03	2371	85.7	6.98	58.0	22.3	6.7	5.3	13.4	1.63	12.9	0.08	24.6	48.9	4.61	25.7	3.46	33.1	40.9	1.72	0.72	18.2	34.0	2.07	2.22	27.0		
T1_3_04	2371	89.3	6.78	65.0	17.7	15.5	4.8	34.9	1.82	14.3	0.11	29.2	45.3	5.92	31.9	4.77	40.6	48.1	1.93	0.92	21.4	38.5	4.13	25.1	3.03	32.1	
T1_3_05	2371	83.6	6.47	101.0	22.2	3.8	6.5	36.7	1.91	15.1	0.07	23.7	49.7	7.07	37.2	5.97	38.0	53.2	2.05	41.8	1.13	23.3	41.2	4.92	28.7	3.78	27.4
T1_3_06	2371	86.5	6.63	124.0	31.3	5.0	5.3	39.9	2.08	16.4	0.10	30.3	58.3	9.35	47.5	8.41	50.6	63.3	2.28	54.2	1.51	27.3	46.3	6.18	35.5	5.29	35.5
T1_3_07	2371	83.3	6.46	85.0	18.4	9.0	5.5	34.0	1.77	14.0	0.09	27.2	44.8	6.05	32.3	4.95	39.1	47.7	1.89	36.0	0.96	21.0	37.8	5.15	30.3	3.15	
T1_3_08	2371	86.0	6.61	103.0	25.7	12.4	4.6	38.1	1.98	15.6	0.12	32.4	53.1	7.94	41.2	6.90	49.0	57.2	2.15	46.7	1.27	25.3	43.3	5.34	31.3	4.35	36.7
T1_3_09	2390	85.2	6.40	87.0	19.8	4.8	6.7	36.3	1.89	14.9	0.07	23.4	47.9	6.50	34.6	5.33	36.2	51.1	2.02	38.7	1.03	22.4	40.3	4.49	27.0	3.39	26.7
Ohne Beleuchtung																											
T1_3_01	2371	88.7	6.60	70.5	15.9	5.1	13.7	0.71	5.6	0.05	9.2	23.0	4.39	21.4	4.25	19.5	25.5	0.81	23.9	0.68	11.2	16.9	2.79	15.3	2.65	11.9	
T1_3_02	2371	92.6	6.81	83.0	22.3	6.7	5.3	19.0	0.99	7.8	0.07	12.8	32.1	6.17	30.0	5.99	27.2	35.7	1.13	33.5	0.96	15.6	23.6	3.91	21.5	3.74	
T1_3_03	2371	85.7	6.58	128.8	11.2	14.9	0.78	6.1	0.05	10.0	22.4	37.6	18.9	3.76	18.3	4.44	24.5	0.86	20.9	0.57	11.6	17.5	2.46	14.0	2.16	12.2	
T1_3_04	2371	89.3	6.78	65.0	17.7	15.5	4.8	34.9	1.82	14.3	0.11	29.2	45.3	5.92	31.9	4.77	40.6	48.1	1.93	0.92	21.4	38.5	4.13	25.1	3.03	32.1	
T1_3_05	2371	83.6	6.47	101.0	22.2	3.8	6.5	36.7	1.91	15.1	0.07	23.7	49.7	7.07	37.2	5.97	38.0	53.2	2.05	41.8	1.13	23.3	41.2	4.92	28.7	3.78	27.4
T1_3_06	2371	86.5	6.63	124.0	31.3	5.0	5.3	39.9	2.08	16.4	0.10	30.3	58.3	9.35	47.5	8.41	50.6	63.3	2.28	54.2	1.51	27.3	46.3	6.18	35.5	5.29	35.5
T1_3_07	2371	83.3	6.46	85.0	18.4	9.0	5.5	34.0	1.77	14.0	0.09	27.2	44.8	6.05	32.3	4.95	39.1	47.7	1.89	36.0	0.96	21.0	37.8	5.15	30.3	3.15	
T1_3_08	2371	86.0	6.61	103.0	25.7	12.4	4.6	38.1	1.98	15.6	0.12	32.4	53.1	7.94	41.2	6.90	49.0	57.2	2.15	46.7	1.27	25.3	43.3	5.34	31.3	4.35	36.7
T1_3_09	2390	85.2	6.40	87.0	19.8	4.8	6.7	36.3	0.95	11.0	0.06	27.9	5.45	26.4	5.32	23.8	31.1	0.98	29.5	0.95	13.4	20.3	3.44	18.8	3.32	14.3	
Bemerkungen																											
Primärenergiefaktoren		Nutzungsgrad	Faktor	SIA	CO ₂	Minergie	Faktor	SIA	CO ₂	Faktor	SIA	CO ₂	Minergie	Faktor	SIA	CO ₂	Minergie	Graue Energie / CO ₂ Werte Bauteile	CO ₂ Werte Energie								
Gas	0.90	1.278	0.288	1.000	1.278	0.268	1.000	1.278	0.268	1.000	1.278	0.268	1.000	1.278	0.268	1.000	1.278	0.268	Die Graue Energie sowie die CO ₂ Werte beziehen sich auf die Errichtung und Entsorgung der Bauteile.	Minergie definiert keine Werte für den CO ₂ Aussöss. Die Faktoren SIA / SIA Öko stammen aus dem Bericht ESU Services (Version 1.4). In der Variante SIA Öko wurde der Strom vollständig mit Wasserkraft erzeugt							
Fernwärme	0.95	0.895	0.167	0.600	0.895	0.167	0.600	0.895	0.167	0.600	0.895	0.167	0.600	0.895	0.167	0.600	0.895	0.167	Die angegebenen Werte sind pro Jahr und pro Energiebezugsfläche.								
Erwärmte Wärmepumpe	4.30	0.691	0.036	2.000	0.284	0.036	2.000	0.284	0.036	2.000	0.284	0.036	2.000	0.284	0.036	2.000	0.284	0.036									
Kältemaschine	5.50	0.540	0.028	2.000	0.222	0.028	2.000	0.222	0.028	2.000	0.222	0.028	2.000	0.222	0.028	2.000	0.222	0.028									
Beleuchtung	1.00	2.970	0.155	0.500	1.435	0.042	0.500	1.435	0.042	0.500	1.435	0.042	0.500	1.435	0.042	0.500	1.435	0.042									
Holz	0.85	1.435	0.042																								

Zusammenstellung T3_3

Typ	Grundlagen			Bauteile			Nutzenergie			Primärenergie / Kohlendioxid CO ₂														
	EBE	Graue Energie	CO ₂	Q _h	Wärme	Kälte	Licht	Wärmepumpe			Gas			Holz			Fernwärme							
								SIA	CO ₂	Energie	SIA	CO ₂	Energie	SIA	CO ₂	Energie	SIA	CO ₂	Energie	SIA	CO ₂	Energie		
T3_3_01	2431	89.6	6.55	69.0	17.4	5.5	6.8	35.3	1.84	14.5	0.07	24.6	45.5	5.87	31.7	4.66	35.8	48.2	1.95	34.5	25.9	38.8		
T3_3_02	2431	93.5	6.55	79.0	23.6	8.7	7.7	2.29	18.0	0.10	29.5	57.7	7.76	41.5	6.34	44.8	61.4	2.44	45.2	1.10	32.4	48.7	5.37	
T3_3_03	2431	89.3	6.55	56.0	14.3	11.6	5.8	1.73	13.6	0.09	26.8	41.6	5.04	27.6	3.84	36.0	43.8	1.82	30.1	0.69	24.1	35.9	22.3	
T3_3_04	2431	93.0	6.55	63.0	19.2	17.9	7.1	2.29	18.0	0.13	27.8	55.1	6.74	37.1	5.18	40.2	58.2	2.41	40.1	0.92	31.9	47.8	3.31	
T3_3_05	2431	87.3	6.55	96.0	23.8	4.4	6.8	39.1	2.04	16.1	0.08	27.2	53.1	7.55	39.7	6.38	42.5	56.8	2.19	43.4	1.09	29.3	44.0	5.15
T3_3_06	2431	90.2	6.55	118.0	32.5	7.0	7.7	49.1	2.66	20.2	0.11	28.0	68.2	10.09	52.5	8.72	49.0	73.3	2.77	57.6	3.71	55.7	6.81	40.0
T3_3_07	2431	87.0	6.55	81.0	20.0	9.8	5.8	36.2	1.89	14.9	0.09	20.8	48.0	6.53	34.8	5.39	33.8	51.1	2.02	37.9	0.93	26.9	40.3	5.51
T3_3_08	2431	89.7	6.55	98.0	27.3	15.2	7.1	48.1	2.50	19.7	0.13	26.7	64.1	8.83	46.9	7.34	44.4	68.4	2.68	51.2	1.26	36.7	53.6	6.07
T3_3_09	2339	86.4	6.55	85.0	21.7	5.4	7.1	39.0	2.03	16.0	0.08	18.8	51.7	7.05	37.5	5.81	32.8	55.1	2.17	40.9	1.00	28.9	43.4	4.66
Ohne Beleuchtung																								
T3_3_01	2431	89.6	6.55	19.2	17.4	5.5	15.0	0.78	6.1	0.05	10.1	25.2	4.81	23.4	4.65	21.3	27.9	0.89	26.1	0.75	12.2	18.5	3.05	
T3_3_02	2431	93.5	6.55	21.9	23.6	8.7	21.0	1.09	8.6	0.08	14.1	34.8	6.56	32.1	6.32	29.4	38.5	1.24	35.8	1.02	17.0	25.8	4.18	
T3_3_03	2431	89.3	6.55	15.6	14.3	11.6	16.1	0.84	6.6	0.06	10.8	24.5	4.15	20.8	3.82	20.1	26.7	0.93	23.0	1.27	12.6	19.0	3.95	
T3_3_04	2431	93.0	6.55	17.5	19.2	17.9	22.9	1.19	9.4	0.08	15.4	34.2	5.64	28.5	5.14	27.8	37.2	1.32	31.5	0.85	17.8	26.8	3.23	
T3_3_05	2431	87.3	6.55	26.7	23.8	4.4	18.8	0.98	7.7	0.07	12.7	32.7	6.49	31.4	6.37	28.0	36.5	1.13	35.1	1.02	15.6	23.6	4.09	
T3_3_06	2431	90.2	6.55	32.8	32.5	7.0	26.2	1.37	10.8	0.10	17.6	45.3	8.90	43.0	8.70	38.6	50.4	1.57	48.2	1.39	21.6	32.8	5.43	
T3_3_07	2431	87.0	6.55	32.5	22.0	9.8	19.1	1.00	7.07	0.07	12.9	56.4	27.8	53.7	25.8	34.0	1.12	30.9	0.87	15.3	23.2	3.06		
T3_3_08	2431	89.7	6.55	27.2	27.3	15.2	27.1	1.41	11.1	0.10	18.2	43.1	7.74	38.2	7.31	35.8	47.4	1.58	42.5	1.19	21.6	32.6	4.98	
T3_3_09	2339	86.4	6.55	23.6	21.7	5.4	17.9	0.93	7.3	0.07	12.0	30.6	5.96	28.9	5.80	26.0	34.0	1.07	32.3	0.93	14.7	22.3	3.62	

Bemerkungen

Primärenergiefaktoren	Primärenergie			Minergie			SIA Öko			Graue Energie			CO ₂ Werte Bauteile			CO ₂ Werte Energie		
	Nutzungsgrad	Faktor	CO ₂	Faktor	Minergie	Faktor	CO ₂	Faktor	Minergie	CO ₂	Faktor	Minergie	CO ₂	Faktor	Minergie	CO ₂		
Gas	0.90	1.278	0.268	1.000	1.278	0.268	0.895	0.167	0.895	0.284	0.003	0.284	0.002	0.1220	0.011	0.1220	0.042	
Fernwärme	0.95	0.895	0.167	0.600	0.895	0.167	0.284	0.003	0.284	0.022	0.002	0.284	0.002	0.1220	0.011	0.1220	0.042	
Erdfarbige Wärmepumpe	4.30	0.691	0.036	2.000	0.691	0.036	0.200	0.003	0.200	0.042	0.002	0.200	0.002	0.1220	0.011	0.1220	0.042	
Kaltwassermaschine	5.50	0.540	0.028	2.000	0.540	0.028	0.200	0.003	0.200	0.042	0.002	0.200	0.002	0.1220	0.011	0.1220	0.042	
Beleuchtung	1.00	2.970	0.155	0.500	2.970	0.155	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	
Holz	0.85	1.435	0.042	0.500	1.435	0.042	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	

Minergie definiert keine Werte für den CO₂ Ausstoss. Die Faktoren SIA / SIA Öko stammen aus dem Bericht ESU Services (Version 1.4). In der Variante SIA Öko wurde der Strom vollständig mit Wasserkraft erzeugt.

Zusammenstellung T1_4

A 7.4. Variante mit städtischer Verschattung

Grundlagen		Bauteile		Nutzennergie				Primärenergie / Kohlendioxid CO ₂																		
Typ	EBF	Graue Energie	CO ₂	Wärmepumpe				Gas				Holz				Fernwärme										
				SIA	Minergie	SIA	Minergie	SIA	Energie	CO ₂	Energie	SIA	Energie	CO ₂	Energie	SIA	Energie	CO ₂	Energie							
		kWh/m ²	kg eq/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²	kg eq/m ²	kg eq/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²	kg eq/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²	kg eq/m ²	kg eq/m ²												
T1_4_01	2371	88,7	6,60	77,0	17,9	2,8	8,5	39,3	2,05	16,1	0,14	23,0	49,8	6,21	34,0	4,91	34,6	52,6	2,16	36,8						
T1_4_02	2371	92,6	6,60	91,0	26,1	3,2	6,5	5,9	2,03	16,0	0,14	24,0	54,2	8,08	41,9	2,19	46,0	1,18	29,4	28,7						
T1_4_03	2371	85,7	6,60	64,0	15,5	7,0	34,7	1,81	14,2	0,13	20,4	43,8	5,41	29,7	4,25	30,4	46,3	1,19	32,2	28,4						
T1_4_04	2371	89,3	6,60	74,0	21,9	7,8	5,7	36,4	1,90	14,9	0,13	22,3	49,2	6,98	36,7	5,95	36,4	52,7	2,03	25,3	23,0					
T1_4_05	2371	83,6	6,60	107,0	24,8	1,9	8,5	43,5	2,27	17,9	0,16	25,8	58,1	8,03	42,5	6,75	41,9	62,0	2,43	32,4	30,0					
T1_4_06	2371	86,5	6,60	134,0	35,6	2,1	6,5	44,9	2,34	18,3	0,16	27,6	65,9	10,61	53,9	5,95	50,7	71,5	2,57	34,7	33,6					
T1_4_07	2371	83,3	6,60	92,0	21,9	4,4	7,0	38,3	2,00	15,7	0,14	22,8	51,2	7,08	37,5	5,95	37,0	54,6	2,14	40,9	26,5					
T1_4_08	2371	86,0	6,60	113,0	31,0	5,9	5,5	41,0	2,14	16,8	0,15	25,4	59,2	9,34	47,7	8,39	45,5	64,1	2,33	52,6	30,6					
T1_4_09	2290	85,2	6,60	93,0	222,2	2,6	8,8	42,9	2,24	17,6	0,16	25,4	55,9	7,38	39,7	6,04	39,7	59,4	2,38	43,2	31,3					
Ohne Beleuchtung																										
T1_4_01	2371	88,7	6,60	69,0	17,9	2,8	15,0	0,78	6,1	0,05	10,1	25,2	4,81	23,4	4,65	21,3	27,9	0,89	26,1	0,75	12,2	18,5	3,05	16,7	2,90	13,0
T1_4_02	2371	92,6	6,60	79,0	26,1	3,2	21,0	1,09	8,6	0,08	14,1	34,8	6,56	32,1	6,32	29,4	38,5	1,02	35,8	1,24	26,7	25,8	4,18	23,0	3,95	18,1
T1_4_03	2371	85,7	6,60	16,5	5,8		16,1	0,84	6,6	0,06	10,8	24,5	4,15	20,8	3,82	20,1	26,7	0,93	23,0	0,63	12,6	19,0	2,40	15,3	2,70	13,2
T1_4_04	2371	89,3	6,60	63,0	21,9	7,8	22,9	1,19	9,4	0,08	15,4	34,2	5,64	28,5	5,14	27,8	37,2	1,32	31,5	0,85	17,8	26,8	3,70	21,1	3,23	18,6
T1_4_05	2371	83,6	6,60	96,0	24,8	1,9	18,8	0,98	7,7	0,07	12,7	32,7	6,49	31,4	6,37	28,0	36,5	1,13	35,1	1,02	15,6	23,6	4,98	22,2	3,97	16,6
T1_4_06	2371	86,5	6,60	118,0	35,6	2,1	2,6	1,37	10,8	0,10	17,6	45,3	8,90	43,0	8,70	50,4	1,57	48,2	1,38	21,6	30,6	5,61	30,6	5,43	23,0	
T1_4_07	2371	83,3	6,60	81,0	21,9	4,4	19,1	1,00	12,9	0,07	12,9	30,9	5,64	27,8	5,37	25,8	34,0	1,12	30,9	0,87	15,3	23,2	3,61	20,1	3,36	16,2
T1_4_08	2371	86,0	6,60	98,0	31,0	5,9	27,1	1,41	11,1	0,10	18,2	43,1	7,74	38,2	7,31	35,8	47,4	1,58	42,5	1,19	21,6	32,6	4,98	27,8	4,58	22,8
T1_4_09	2290	85,2	6,60	85,0	222,2	2,6	7,3	0,93	17,9	0,07	12,0	30,6	5,96	28,9	5,80	26,0	34,0	1,07	32,3	0,93	14,7	22,3	3,76	20,6	3,62	15,6
Bemerkungen																										
Primärenergiefaktoren		Nutzungsgrad	Faktor	SIA	CO ₂	Faktor	Minergie	Faktor	SIA	CO ₂	Faktor	Minergie	Faktor	CO ₂	Graue Energie / CO ₂ Werte Bauteile				CO ₂ Werte Energie							
Gas		0,90	1,273	0,268	1,000	1,278	0,268	0,268	0,167	0,895	0,600	0,85	0,167	0,003	Die Graue Energie sowie die CO ₂ Werte beziehen sich auf die Errichtung und Entsorgung der Bauteile.				Minergie definiert keine Werte für den CO ₂ Ausstoß. Die Faktoren SIA / SIA Öko stammen aus dem Bericht ESU Services (Version 1.4). In der Variante SIA Öko wurde der Strom vollständig mit Wasserkraft erzeugt							
Fernwärme		0,95	0,895	0,167	0,991	0,036	2,000	0,284	0,222	0,028	2,000	1,220	0,500	0,011	Die angegebenen Werte sind pro Jahr und pro Energiebezugsfläche.				Minergie							
Erwärmte Wärmepumpe		4,30	0,691	0,036	0,540	0,028	0,155	0,042	0,042	0,2970	0,1435	0,042	0,500	0,042	Minergie				Energie							
Kältemaschine		5,50	0,540	0,028	1,00	0,155	0,042	0,042	0,042	0,2970	0,1435	0,042	0,500	0,042	SIA Öko				CO ₂							
Beleuchtung		0,85	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	1,435	Energie				Energie							
Holz															SIA Öko				CO ₂							

Zusammenstellung T3_4

Grundlagen		Bauteile		Nutzenergie		Primärenergie / Kohlendioxid CO ₂												Fernwärme										
Typ	EBF					Wärmepumpe				Gas				Holz				Fernwärme										
		Graue Energie	CO ₂	SIA	Q _h	Wärme	Kälte	Licht	Energie	CO ₂	Energie	SIA	CO ₂	Energie	Minergie	SIA	CO ₂	Energie	Minergie	SIA	CO ₂	Energie	Minergie					
T3_4_01	2431	89.6	6.55	21.9	19.2	3.2	9.0	41.7	2.17	17.1	0.15	20.8	53.0	6.63	36.2	5.26	33.2	56.0	2.29	39.3	0.92	30.4	45.6	4.69	28.9	3.31	24.0	
T3_4_02	2431	93.5	6.76	25.8	26.8	4.6	8.8	47.2	2.46	19.4	0.17	25.6	62.9	8.89	46.1	7.30	42.9	67.2	2.63	50.3	1.24	35.1	52.7	5.97	35.8	4.58	30.0	
T3_4_03	2431	89.3	6.52	18.9	16.8	6.4	7.5	15.2	1.94	15.3	0.14	19.3	47.1	5.84	41.3	20.2	2.05	43.7	49.7	0.81	27.1	40.6	4.14	25.6	2.90	22.1		
T3_4_04	2431	93.0	6.72	21.9	21.9	9.7	8.0	44.8	2.34	18.4	0.16	28.3	58.4	7.69	41.3	6.28	43.2	62.0	2.48	45.0	1.08	33.0	49.5	5.35	32.5	3.95	32.2	
T3_4_05	2431	87.3	6.47	30.0	26.0	2.4	9.0	45.9	2.39	18.9	0.17	23.6	61.2	8.42	44.7	7.06	40.4	65.2	2.56	48.8	1.20	34.1	51.2	5.79	34.7	4.43	27.9	
T3_4_06	2431	90.2	6.65	37.5	36.3	3.5	8.8	53.1	2.77	21.8	0.19	29.6	74.4	11.20	57.9	9.84	53.0	80.2	3.00	63.6	1.64	40.2	60.5	7.52	44.0	6.16	35.6	
T3_4_07	2431	87.0	6.54	26.4	23.2	5.2	7.4	40.9	2.13	16.8	0.15	21.8	54.6	7.53	63.2	8.82	58.2	80.2	2.28	50.4	1.07	30.4	50.4	7.17	31.0	5.43	25.7	
T3_4_08	2431	89.7	6.63	32.8	32.0	7.9	8.0	50.0	2.61	20.6	0.18	31.4	68.8	10.03	52.3	8.67	52.1	73.8	2.81	57.4	1.46	37.6	56.6	6.79	40.1	5.43	36.7	
T3_4_09	2339	86.4	6.37	25.6	23.6	3.1	9.3	45.7	2.38	18.8	0.17	22.5	59.5	7.86	42.2	6.44	37.7	63.3	2.53	46.0	1.11	33.7	50.5	5.47	33.2	4.05	26.4	
Ohne Beleuchtung																				CO₂ Werte Energie								
Primärenergiefaktoren		Nutzungsgrad		SIA		Minergie Faktor		SIA Öko		Minergie Faktor		Faktor		SIA Öko		Minergie Faktor		CO₂ Werte Bauteile										
Gas		0.90		0.95		0.95		0.90		0.95		1.00		1.00		1.00		CO₂ Werte Energie										
Fernwärme		4.30		5.50		4.30		4.30		5.50		5.50		5.50		5.50		CO₂ Werte Minergie										
Erwärmte Wärmepumpe		87.0		87.0		87.0		87.0		87.0		87.0		87.0		87.0		CO₂ Werte Minergie										
Kältemaschine		89.7		89.7		89.7		89.7		89.7		89.7		89.7		89.7		CO₂ Werte Minergie										
Beleuchtung		86.4		86.4		86.4		86.4		86.4		86.4		86.4		86.4		CO₂ Werte Minergie										
Holz		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		0.85		CO₂ Werte Minergie										

Zusammenstellung T4_4

Grundlagen		Bautelle		Nutzenergie		Primärenergie / Kohlendioxid CO ₂																						
Typ	EBF	Graue Energie	CO ₂	Q _h	Wärme	SIA	Wärmepumpe			Gas			Holz			Fernwärme												
		kWh/m ²	kg eq/m ²				SIA	Energie	CO ₂	SIA	Energie	CO ₂	SIA	Energie	CO ₂	SIA	Energie	CO ₂										
		kWh/m ²	kg eq/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	SIA	Energie	CO ₂	SIA	Energie	CO ₂	SIA	Energie	CO ₂	SIA	Energie	CO ₂										
T4_3_01	24.30	94.2	6.73	28.1	22.6	17.0	4.5	6.5	33.6	1.75	13.8	0.12	20.6	43.6	5.70	30.7	4.65	31.6	46.2	1.86	33.4	0.80	24.7	37.0	3.98	24.2	2.92	23.5
T4_3_02	24.30	98.1	6.94	28.1	24.6	5.4	5.0	34.7	1.81	14.3	0.13	22.6	49.1	7.51	38.7	6.65	38.5	53.0	1.97	42.6	1.11	24.7	36.9	5.02	29.3	4.16	26.7	
T4_3_03	24.30	93.8	6.70	20.0	15.1	7.9	5.4	30.7	1.60	12.6	0.11	23.5	39.6	5.10	27.6	4.12	32.0	30.0	0.71	22.5	31.8	3.57	21.8	2.59	25.9			
T4_3_04	24.30	97.5	6.90	23.9	21.4	10.5	4.3	33.1	1.73	13.6	0.12	24.1	45.7	6.68	34.9	5.79	37.9	49.0	1.86	38.2	0.97	24.9	36.8	4.52	26.7	3.63	27.6	
T4_3_05	24.30	90.9	6.60	39.7	23.2	3.7	6.5	37.4	1.95	15.3	0.14	23.2	51.0	7.33	38.4	6.30	38.2	54.6	2.10	42.1	1.06	28.0	37.5	4.98	29.5	3.95	27.1	
T4_3_06	24.30	94.6	6.83	40.8	33.3	4.4	5.0	40.2	2.09	16.5	0.15	25.9	59.7	9.81	49.6	8.98	47.4	64.9	2.30	54.8	1.47	31.1	43.4	6.44	36.8	6.61	31.4	
T4_3_07	24.30	87.1	6.35	28.6	20.9	6.7	5.4	34.0	1.77	14.0	0.12	26.3	46.3	6.12	34.7	5.66	39.7	49.6	1.91	38.0	0.95	25.5	35.6	4.50	26.7	3.55	29.7	
T4_3_08	24.30	93.0	6.74	35.6	29.6	8.8	4.3	37.9	1.97	15.6	0.14	27.7	55.3	8.84	45.0	7.99	46.8	59.9	2.16	49.6	1.32	29.2	42.1	5.84	33.6	5.00	32.6	
T4_3_09	23.45	89.5	6.46	28.6	21.1	4.4	6.7	36.9	1.92	15.2	0.13	22.9	49.3	6.81	36.1	5.72	36.5	52.6	2.06	39.4	0.97	27.5	36.9	4.68	28.0	3.59	26.4	

Ohne Beleuchtung

Primärenergiefaktoren		Nutzungsgrad		SIA	Minergie	SIA Öko	Graue Energie / CO ₂ Werte Bauteile		CO ₂ Werte Energie								
Gas	Fernwärme	Faktor	CO ₂	Faktor	CO ₂	Faktor	CO ₂	Faktor	CO ₂								
Gas	Fernwärme	0.90	1.278	0.268	1.000	1.278	0.263	0.167	0.167								
Erdwärmewärme	Wärmepumpe	0.95	0.895	0.167	0.600	0.895	0.167	0.003	0.003								
Kühlmaschine		4.30	0.691	0.036	2.000	0.284	0.022	0.002	0.002								
Beleuchtung		5.50	0.540	0.028	2.000	0.155	0.220	0.011	0.011								
Holz		1.00	2.970	0.155	0.500	0.042	0.435	0.042	0.042								
		0.85	1.435	0.088	7.0	0.06	11.4	28.3	5.77	27.9	5.64	25.0	32.6	1.02	31.2	0.90	14.0

Bemerkungen

Gas	SIA	Minergie	SIA Öko	CO ₂														
Fernwärme																		

Minergie definiert keine Werte für den CO₂ Ausstoss. Die Minergie definiert keine Werte für den CO₂ Ausstoss. Die Faktoren SIA / SIA Öko stammen aus dem Bericht ESU Services (Version 1.4). In der Variante SIA Öko wurde der Strom vollständig mit Wasserkraft erzeugt

Zusammenstellung T1_5

A 7.5. Variante mit hohen internen Lasten

Grundlagen		Bauteile		Nutzenergie		Primärenergie / Kohlendioxid CO ₂													
Typ	EBF	Graue Energie	Q _b	Wärme	Kälte	Licht	Wärmepumpe			Gas			Holz			Fernwärme			
							kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	SIA	CO ₂	Energie	SIA	CO ₂	Energie	SIA	CO ₂	Energie	
							kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²	kg eq/m ²	kg eq/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²	kg eq/m ²	kWh/m ²	kg eq/m ²	kg eq/m ²	
T1_5_01	2371	24.6	6.60	70.5	8.4	11.9	9.9	41.6	2.17	17.1	0.15	22.2	46.6	4.12	25.5	27.7	47.9	2.22	26.8
T1_5_02	2371	25.7	6.81	83.0	14.3	11.7	7.5	38.3	2.00	15.8	0.14	25.7	46.7	5.32	30.0	3.94	34.9	49.0	2.09
T1_5_03	2371	23.8	6.58	58.0	6.9	18.4	7.9	38.3	1.99	15.7	0.14	25.2	42.3	3.59	22.6	1.97	29.7	43.4	2.04
T1_5_04	2371	24.8	6.78	65.0	11.7	20.7	6.1	37.2	1.94	15.3	0.14	24.9	44.1	4.65	26.9	3.23	32.4	45.9	2.01
T1_5_05	2371	23.2	6.47	101.0	13.4	9.2	9.9	43.6	2.27	17.9	0.16	23.5	51.5	5.37	31.2	3.71	32.2	53.6	2.36
T1_5_06	2371	24.0	6.63	124.0	22.2	8.9	7.4	42.1	2.19	17.3	0.15	29.0	55.2	7.35	39.4	6.05	43.3	58.7	2.24
T1_5_07	2371	23.1	6.46	85.0	11.3	14.9	7.9	39.5	2.06	16.2	0.14	26.6	46.1	4.69	27.5	3.15	33.9	47.9	2.13
T1_5_08	2371	23.9	6.61	103.0	18.6	16.7	6.0	39.8	2.07	16.3	0.14	27.1	50.7	6.38	34.8	5.07	39.1	53.6	2.19
T1_5_09	2280	23.7	6.40	87.0	11.5	11.2	10.2	44.4	2.31	18.2	0.16	23.9	51.1	4.98	29.6	3.21	31.3	52.9	2.39
T1_5_10	2290	25.1	6.70	96.0	17.3	11.5	7.7	40.9	2.13	16.8	0.15	27.6	51.0	6.14	34.0	4.74	38.8	53.7	2.24
T1_5_11	2290	23.6	6.38	72.0	9.7	17.5	8.2	40.6	2.12	16.7	0.15	26.8	46.3	4.37	27.2	3.72	33.0	47.8	2.18
T1_5_12	2290	25.0	6.67	77.0	14.1	20.5	6.3	39.5	2.06	16.2	0.14	26.4	47.8	5.33	30.3	3.89	35.6	50.0	2.15
T1_5_13	2290	23.0	6.32	119.0	17.0	8.9	10.2	47.0	2.45	19.3	0.17	25.6	56.9	6.39	36.2	4.68	36.6	59.6	2.56
T1_5_14	2290	24.2	6.59	140.0	25.6	8.9	7.6	45.1	2.35	18.5	0.16	25.5	60.1	8.28	44.0	6.95	42.0	54.2	2.52
T1_5_15	2290	22.9	6.31	102.0	14.6	14.3	8.3	42.4	2.21	17.4	0.15	19.9	51.0	5.60	31.9	4.03	29.4	53.3	2.31
T1_5_16	2290	24.0	6.57	116.0	21.5	16.6	6.3	42.5	2.21	17.4	0.15	24.6	55.1	7.21	38.9	5.87	38.5	58.5	2.35
Ohne Beleuchtung																			
T1_5_01	2371	24.6	6.60	70.5	8.4	4.4	12.2	0.64	5.0	0.04	8.2	17.2	2.59	13.4	2.26	13.7	18.5	0.69	14.7
T1_5_02	2371	25.7	6.81	83.0	23.8	5.6	16.2	0.84	6.6	0.06	10.9	24.6	4.16	20.9	3.83	20.1	26.8	0.83	23.1
T1_5_03	2371	23.8	6.58	58.0	13.8	9.4	14.7	0.77	6.0	0.05	9.9	18.7	2.37	12.9	1.85	14.4	19.8	0.81	14.0
T1_5_04	2371	24.8	6.78	65.0	19.2	13.0	19.2	1.00	7.9	0.07	13.0	26.1	3.71	19.5	3.12	20.5	27.9	1.08	21.3
T1_5_05	2371	23.2	6.47	101.0	14.2	9.7	14.2	0.74	5.8	0.05	9.6	19.1	3.84	19.1	3.58	18.2	24.2	0.83	21.2
T1_5_06	2371	24.0	6.63	124.0	33.0	4.0	20.2	1.05	8.3	0.07	13.6	33.2	6.21	30.4	5.96	28.0	36.7	1.19	33.9
T1_5_07	2371	23.1	6.46	85.0	19.7	7.6	15.9	0.83	6.5	0.06	10.7	22.5	3.46	17.8	3.04	18.0	24.3	0.90	19.6
T1_5_08	2371	23.9	6.61	103.0	27.6	10.3	21.8	1.14	9.0	0.08	14.7	32.7	5.44	27.4	4.98	26.7	35.7	1.26	30.3
T1_5_09	2290	23.7	6.40	20.8	4.2	14.0	0.73	5.7	0.05	9.4	20.7	3.39	17.2	3.08	16.8	22.5	0.80	19.0	
T1_5_10	2290	25.1	6.70	96.0	27.3	5.5	18.1	0.95	7.4	0.07	12.2	28.3	4.86	24.6	4.63	23.4	31.0	1.05	27.4
T1_5_11	2290	23.6	6.38	72.0	17.6	9.0	16.1	0.84	6.6	0.06	10.9	21.8	3.09	16.3	2.60	17.1	23.4	0.90	17.8
T1_5_12	2290	25.0	6.67	77.0	22.4	12.9	20.8	1.09	8.6	0.08	14.0	4.36	22.6	3.78	3.14	1.18	24.8	0.64	15.8
T1_5_13	2290	23.0	6.32	119.0	27.7	3.1	16.5	0.86	6.8	0.06	11.1	26.5	4.80	23.7	4.55	22.1	29.2	0.97	26.4
T1_5_14	2290	24.2	6.59	140.0	36.8	4.1	22.4	1.17	9.2	0.08	15.1	37.5	7.10	34.6	6.85	31.6	41.5	1.33	38.7
T1_5_15	2290	22.9	6.31	102.0	23.8	7.3	17.8	0.93	7.3	0.06	12.0	26.4	4.31	21.8	3.91	21.4	28.7	1.02	24.1
T1_5_16	2290	24.0	6.57	116.0	31.1	10.4	23.9	1.24	9.8	0.09	16.1	36.5	6.24	31.2	5.77	30.0	39.9	1.38	34.6

Bemerkungen

Primärenergiefaktoren	Nutzungsgrad	Faktor	Minergie Faktor	Faktor CO ₂	SIA Öko	SIA Öko Faktor	CO ₂ Werte Bauteile		
							Gas	Fernwärme	Erdwärmewärmepumpe
Gas	0.90	1.278	0.268	1.000	1.278	0.268	0.895	0.167	0.036
Fernwärme	0.95	0.895	0.167	0.600	0.895	0.167	0.284	0.022	0.022
Erdwärmewärmepumpe	4.30	0.691	0.036	2.000	0.691	0.036	0.003	0.002	0.002
Kältemaschine	5.50	0.540	0.028	2.000	0.540	0.028	0.220	0.011	0.011
Beleuchtung	1.00	2.970	0.155	0.500	2.970	0.155	1.435	0.042	0.042
Holz	0.85	1.435	0.042	0.500	1.435	0.042			

Minergie definiert keine Werte für den CO₂ Ausstoß. Die Faktoren SIA / SIA Öko stammen aus dem Bericht ESU Services (Version 1.4). In der Variante 1.4 wurde der Strom vollständig mit Wasserkraft erzeugt

Die Graue Energie sowie die CO₂ Werte beziehen sich auf die Errichtung und Entsorgung der Bauteile.

Die angegebenen Werte sind pro Jahr und pro Energiebezugsfläche.

Berechnung Primärenergie Erstellung und Treibhausemissionen

Projekt
Gesamtenergieeffizienz GEE
S. Klaуз
10. November 2009

Variante

T1_01_OU1_FU1_FG1_FA1_S1

Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG)
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw
www.hslu.ch

Luzerne University of
Applied Sciences and Arts
**HOCHSCHULE
LUZERN**

EKG	Bezeichnung	Bezugsgroesse	Grundlagen				Nutzungs- dauer	Erstellung	Entsorgung	Spez. Energie	Graue Energie			Treibhausgasemissionen					
			m	m	m / -	Dichte					MJ pro m2 bzw. m3	MJ pro Einheit	MJ	kg pro Einheit	kg pro Einheit	Total			
D0	Aufstab - ohne Grundwasser	Aufstabvolumen	28	15	7.5		3150.0	60		51.80	0.00		16370	3.11	0.00	3.11	97.97		
D2	Fundament mit Bodenplatte - Beton	Bauteilfläche Masse	28	15	1	0.400	2400	403200.0	60	12.38	0.58	0.19	0.77	312077	0.11	0.01	0.12	40545	
E3	Aussenwand unter Terrain - Beton	Bauteilfläche Masse	86	3	1	0.250	2400	154800.0	60	7.74	0.58	0.19	0.77	119815	0.11	0.01	0.12	18638	
E4	Aussenwandkonstruktion total -Gips-/Weissputz -Gipskartonplatte -Steinwolle -GIPS -Aluminiumblech	Bauteilfläche Masse	86	15	1	0.406	50%	645.0	40	38.55	1541.99	0.11	1.62	20493	0.08	0.00	0.08	66210	
E5	Innenwand Verkleidung total - Beton	Bauteilfläche Masse	86	15	1	0.015	1400	50%	13545.0		1.51	0.73	0.29	6.02	104821	0.35	0.01	0.37	63777
E6	Innenwand Buros total -Gips-/Weissputz -Gipskartonplatte -Steinwolle -Gipskartonplatte -Gips-/Weissputz	Bauteilfläche Masse	12	3	5	0.015	1400	3780.0	40	11.76	5.73	0.29	6.02	23277	0.25	0.01	0.46	39822	
B14	Boden zu Keller total - OSB Platten - Beton - PU-R Platten	Bauteilfläche Masse	28	15	1	0.040	650	10920.0	60	20.82	13.80	0.16	13.96	52456	0.53	0.11	0.64	49012	
E0	Zwischengeschossdecke total - OSB Platten - Beton	Bauteilfläche Masse	28	15	4	0.040	650	43680.0	60	13.79	13.80	0.16	13.96	1390108	0.53	0.11	0.64	143982	
E1	Dach total - Steinwolle	Bauteilfläche Masse	28	15	1	0.360	120	18144.0	60	23.54	21.70	0.25	21.95	593218	0.11	0.01	0.12	70000	
E5	Fenster total - Steg V - Aufnahmen (Pulverbeschichtet)	Bauteilfläche Masse	86	15	0.8	50%	516.0	30	73.72	929.00	9.16	938.16	126565	1.46	0.01	1.47	26671		
	Total Gebäude													7815799 MJ	643466 kg				
	Total Gebäude pro m2 Energiebezugsfäche													3236 MJ/m2	271.4 kg/m2				
	Total Gebäude pro Jahr													210395 MJ/a	15646.8 kg/a				