



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Master's Thesis

Abbildung von Personenströmen bei der Berechnung von Energiekennzahlen zur Optimierung von bau- und gebäudetechnischen Maßnahmen im Bürobau

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung von

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Thomas Bednar

und

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Dr.techn. Azra Korjenic

durchgeführt am

Institut für Hochbau und Technologie

Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz

E 206

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Markus Leeb

0326434

Stolberggasse 10/15

1050 Wien

Wien, Dezember 2009

Danksagung

Danken möchte ich

meinem Betreuer Herrn Ao.Univ.Prof. Dipl. Ing. Dr. Thomas Bednar.

allen Mitarbeitern des Forschungsbereiches für Bauphysik und Schallschutz.

meinen Eltern.

meiner Freundin Doris.

und all meinen Freunden.

Kurzfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Berechnung des Primärenergiebedarfs eines Nichtwohngebäudes. Der gesamte Primärenergiebedarf, der in dieser Arbeit ausgewiesen wird, schließt den Heizenergiebedarf, den Kühlerenergiebedarf, den Be- und Entfeuchtungsenergiebedarf, den Beleuchtungsenergiebedarf, den Lüftungsenergiebedarf und den Energiebedarf der Arbeitsgeräte der anwesenden Personen ein. Dafür war es notwendig sich genauer mit dem Nutzerverhalten in Bürogebäuden auseinanderzusetzen. Hierfür wurde ein kleines Programm entwickelt, welche das stochastische Verhalten der NutzerInnen mit Hilfe von Zufallszahlen abbildet.

Ein großes Augenmerk liegt auch auf der genaueren Abbildung des Beleuchtungsenergiebedarfes. Zur Ermittlung des Beleuchtungsenergiebedarfs wurden in dieser Arbeit die Eingangsdaten der DIN V 18599 herangezogen, um die Fassadengeometrie, die Raumtiefe und die Raumgeometrie, die Unterscheidung von Großraum und Gruppenbüros, den Einfluss der Verschattung richtig zu berechnen.

Abstract

Task of this Master's thesis is the calculation of the primary energy demand for an office building in Vienna. The calculation includes the primary energy demand for heating, cooling, moistening, dehumidifying, lighting, venting as well as the energy consumption of computers. Therefore it was necessary to know how many people are working at which time in the building. To get realistic data a little program was generated, which creates the number of the attendend persons in the offices in a random mode.

An often underastimated influence on the heating and cooling demand of office buildings has the accurate calculation of the lighting. The calculation of the energy demand for lighting in this thesis is based on the German code DIN V 18599. This code offers the opportunity to calculate the effect of the fassade geometry, the depth and the geometry of the room, the difference between small and open plan offices and the influence of the shades.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Grundlagen	3
2.1	Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung	3
2.1.1	Heizwärmebedarf	4
2.1.2	Kühlbedarf	4
2.1.3	Heiz- und Kühlperioden	5
2.1.4	Zonen	6
2.1.5	Gesamtwärmedurchgang und Gesamtheit der Wärmequellen	6
2.1.6	Gesamtwärmedurchgang durch Transmission	7
2.1.7	Spezifischer Transmissionswärmedurchgangskoeffizient	8
2.1.8	Gesamtwärmeübertragung durch Lüftung	14
2.1.9	Spezifischer Lüftungswärmedurchgangskoeffizient	14
2.1.10	Interne Wärmequellen	15
2.1.11	Solare Warmegewinne	17
2.1.12	Dynamische Parameter	19
2.2	Berechnung des Nutz- und Endenergiebedarfs für Beleuchtung	22
2.2.1	Einleitung	22
2.2.2	Bilanzierungsansatz	23
2.2.3	Unterteilung der Gebäudezonen	24
2.2.4	Kunstlicht	25
2.2.5	Präsenzdetektion	30
2.2.6	Tageslicht	30
2.2.7	Nutzenergie für Beleuchtung	38
2.3	Nutzungsabbildung	41

Inhaltsverzeichnis		II
2.4	Primärenergiefaktoren	44
2.5	Klima	45
3	Variantenbeschreibung	46
3.1	Gebäudegeometrien	46
3.2	Weitere Variationen	51
3.2.1	Variante 1: Annahmen Bestand	51
3.2.2	Opake Bauteile	54
3.2.3	Fenster	54
3.2.4	Luftdichtheit	54
3.2.5	Sommernachtlüftung im Kern	54
3.2.6	Sommernachtlüftung in den Aufenthaltsräumen	54
3.2.7	Lüftungsanlage	55
3.2.8	Wärmerückgewinnung	55
3.2.9	Luftkonditionierung im Sommer	55
3.2.10	Luftkonditionierung im Winter	55
3.2.11	Kühlung in Zone	55
3.2.12	Entfeuchter	55
3.2.13	Befeuchter	56
3.2.14	Feuchterückgewinnung	56
3.2.15	Bedarfsgesteuerte Lüftung	56
3.2.16	Automatische Dimmer	56
3.2.17	Automatischer Sonnenschutz	56
3.2.18	Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich	57
3.2.19	Variation des Sonnenschutzes	57
3.2.20	Variation der Fassade	59
3.2.21	Orientierung	62

3.2.22	Büroart	63
3.2.23	Belegungsdichte	63
3.2.24	Ohne Kühlung in Zone	63
3.2.25	Ohne Kühlung in Zone plus Entfeuchtung	63
4	Ergebnisse	65
4.1	Bauform 1: Chemiehochhaus	66
4.1.1	Vergleich der Varianten 1 bis 8	66
4.1.2	Vergleich der Varianten 9 bis 14	68
4.1.3	Vergleich der Varianten 15 bis 18	68
4.1.4	Vergleich der Varianten 18 bis 23	69
4.1.5	Vergleich der Varianten 23 bis 29	70
4.1.6	Vergleich der Varianten 29 bis 35	71
4.2	Bauform 2: 8 – 6 – 8	74
4.2.1	Vergleich der Varianten 1 bis 8	74
4.2.2	Vergleich der Varianten 9 bis 14	75
4.2.3	Vergleich der Varianten 15 bis 18	75
4.2.4	Vergleich der Varianten 18 bis 23	76
4.2.5	Vergleich der Varianten 23 bis 29	77
4.2.6	Vergleich der Varianten 29 bis 35	78
4.3	Bauform 3: 7 – 5,25 – 7	79
4.3.1	Vergleich der Varianten 1 bis 8	79
4.3.2	Vergleich der Varianten 9 bis 14	80
4.3.3	Vergleich der Varianten 15 bis 18	80
4.3.4	Vergleich der Varianten 18 bis 23	81
4.3.5	Vergleich der Varianten 23 bis 29	82
4.3.6	Vergleich der Varianten 29 bis 35	83

4.4	Bauform 4: 6 – 4,5 – 6	84
4.4.1	Vergleich der Varianten 1 bis 8	84
4.4.2	Vergleich der Varianten 9 bis 14	85
4.4.3	Vergleich der Varianten 15 bis 18	85
4.4.4	Vergleich der Varianten 18 bis 23	86
4.4.5	Vergleich der Varianten 23 bis 29	87
4.4.6	Vergleich der Varianten 29 bis 35	88
4.5	Bauform 5: 5 – 3,75 – 5	89
4.5.1	Vergleich der Varianten 1 bis 8	89
4.5.2	Vergleich der Varianten 9 bis 14	90
4.5.3	Vergleich der Varianten 15 bis 18	90
4.5.4	Vergleich der Varianten 18 bis 23	91
4.5.5	Vergleich der Varianten 23 bis 29	92
4.5.6	Vergleich der Varianten 29 bis 35	93
4.6	Bauform 6: 4 – 3 – 4	94
4.6.1	Vergleich der Varianten 1 bis 8	94
4.6.2	Vergleich der Varianten 9 bis 14	95
4.6.3	Vergleich der Varianten 15 bis 18	95
4.6.4	Vergleich der Varianten 18 bis 23	96
4.6.5	Vergleich der Varianten 23 bis 29	97
4.6.6	Vergleich der Varianten 29 bis 35	98
5	Vergleich der Ergebnisse	99
5.1	Bestand	100
5.2	Passivhausstandard	101
5.3	Kühlung in der Zone	102
5.4	Weitere Maßnahmen	102

Inhaltsverzeichnis		V
5.5	Sonnenschutz	104
5.6	Fassade	105
5.7	Belegungsdichte	106
5.8	Ohne Kühlung in der Zone	107
5.9	Ohne Kühlung in der Zone mit Entfeuchtung	108
5.10	Personenbezogener Vergleich	109
6	Resümee	110
7	Literatur	111
8	Abbildungsverzeichnis	113
9	Tabellenverzeichnis	117

1 Einleitung

In letzter Zeit wird vermehrt von der Beeinflussung des Klimas durch den Menschen in allen Medien berichtet und daraus resultierend auch über die Reduktion des CO₂-Ausstoßes. Da in diesem Bereich auch die Bauphysik einen wesentlichen Beitrag leisten kann, habe ich mich entschlossen, mich genauer mit dem Thema und dessen Bewertung auseinanderzusetzen.

Der Heizwärmebedarf ist hierzulande schon sehr vielen Menschen geläufig. Das Passivhaus ist, meines Erachtens, hinsichtlich des Heizwärmebedarfs schon weit entwickelt. Das ist der Grund, warum es in dieser Arbeit nicht um Wohngebäude, sondern um Nichtwohngebäude, in diesem Fall ein Bürogebäude, geht. Daraus resultiert eine Auseinandersetzung mit den Nutzern des Gebäudes. Außerdem wurde in dieser Arbeit nicht nur der Heizwärmebedarf untersucht, sondern auch die Primärenergie für Heizung, Kühlung, Befeuchtung, Entfeuchtung, Lüftung, Beleuchtung und für die Arbeitsgeräte. Mit Arbeitsgeräten sind die Computer der Nutzer gemeint. Das heißt, fast die gesamte Technik eines Gebäudes, mit Ausnahme der Aufzüge, Teeküchen und sonstigen Geräten, wie Drucker oder Server, wurden eingerechnet. Ich bin von einem Bestandsgebäude der TU Wien, dem Chemiehochhaus am Getreidemarkt, ausgegangen. Danach habe ich die Fassade, die Raumtiefe und andere Parameter variiert, um herauszufinden, welche Faktoren einen großen Einfluss auf die Primärenergie eines Nichtwohngebäudes haben.

Sehr wichtig erscheint mir auch die Darstellung der Primärenergie für die Beleuchtung eines Gebäudes. Zurzeit beschäftigt man sich sehr mit anderen Komponenten, wie z. B. der Senkung des Heizwärmebedarfs, und lässt oft das Tageslicht außer Acht. Die Fenster bilden aber noch immer die Schwachstellen in der Gebäudehülle, darum ist es energetisch nicht richtungsweisend weiterhin Ganzglasfassaden zu errichten. Außerdem ist Tageslicht psychologisch wertvoller als Kunstlicht und verursacht noch dazu keine Kosten. Daher wird es in Zukunft maßgebend sein, sich mehr mit Lichtplanung zu beschäftigen, um den Mittelweg zwischen niedriger Beleuchtungsenergie und ausgewogener Tages- bzw. Kunstlichtbeleuchtung zu generieren.

2 Grundlagen

Die Grundlagen wurden mithilfe folgender Literatur zusammengestellt:

[Ric08] [Sof09] [Sof06] [Din07] [Oen08]
[Oen08a] [Oen05] [Oen07] [Loh08] [Fou07]

Um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu sprengen, wurden nicht alle, für diese Arbeit notwendigen, Grundlagen angeführt. Es wurden im Wesentlichen die Grundlagen des Heizwärmebedarfs, des Kühlbedarfs, der Beleuchtung, der Nutzerabbildung und der Primärenergiefaktoren aufgearbeitet.

2.1 Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung

Die Berechnung des Heizenergiebedarfs erfolgte nach der EN ISO 13790 „Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs.“

Diese Norm unterscheidet drei verschiedene Berechnungsverfahren:

- Monatsberechnungsverfahren
- Stundenberechnungsverfahren
- Simulationsverfahren

Die Berechnung der erforderlichen Wärmemengen, sei es nun zum Heizen oder zum Kühlen, erfolgt für ein Gebäude nach dem „Monatsbilanzverfahren.“ Dabei wird der Wärmehaushalt des Gebäudes für die Dauer eines Monats bilanziert und danach auf das ganze Jahr summiert. [Sof09]

Um das Nutzerverhalten gut abzubilden, wurden in dieser Arbeit alle Werte stundenbezogen ermittelt, diese dann auf einen Monat aufgerechnet und mit dem Monatsbilanzverfahren weitergerechnet.

2.1.1 Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf ist die Wärmemenge, die im Laufe eines Jahres dem Gebäude zugeführt werden muss, um eine minimale Raumtemperatur einzuhalten. [Ric08]

Nach der folgenden Formel wird der Nutzenergiebedarf für die Raumheizung berechnet:

$$Q_{NH} = Q_{L,H} - \eta_{G,H} \cdot Q_{G,H} \quad [MJ]$$

wobei $Q_{NH} \geq 0$ gilt

Q_{NH} der Heizwärmebedarf des Gebäudes [MJ]

$Q_{L,H}$ die Gesamtwärmeübertragung für den Heizbetrieb [MJ]

$Q_{G,H}$ die Gesamtheit der Wärmequellen für den Heizbetrieb [MJ]

$\eta_{G,H}$ der dimensionslose Ausnutzungsgrad der Gewinne

2.1.2 Kühlbedarf

Der Kühlbedarf ist die Wärmemenge, die im Laufe eines Jahres dem Gebäude entzogen werden muss, um eine maximale Raumtemperatur einzuhalten. [Ric08]

Nach der folgenden Formel wird der Nutzenergiebedarf für die Raumkühlung berechnet:

$$Q_{NC} = (1 - \eta_{G,C}) \cdot Q_{G,C} \quad [MJ]$$

wobei $Q_{NC} \geq 0$ gilt

Q_{NC} der Kühlbedarf des Gebäudes [MJ]

$Q_{G,C}$ die Gesamtheit der Wärmequellen für den Kühlbetrieb [MJ]

$\eta_{L,C}$ der dimensionslose Ausnutzungsgrad der Wärmeverluste

2.1.3 Heiz- und Kühlperioden

Die Länge der Heizperiode (Anzahl der Tage oder Stunden) wird durch Zählen der Tage oder Stunden der Monate bestimmt, in denen der Heizwärmebedarf über Null liegt, wobei für Monate mit einem großen Wärmegewinn/Wärmeverlust-Verhältnis ein Wichtungsfaktor (<1) gilt. [Oen05]

Die Länge der Kühlperiode (Anzahl der Tage oder Stunden) wird durch Zählen der Tage oder Stunden der Monate bestimmt, in denen der Kühlbedarf über Null liegt, wobei für Monate mit einem großen Wärmegewinn/Wärmeverlust-Verhältnis ein Wichtungsfaktor (<1) gilt. [Oen05]

Heizperiode:

Die Heizperiode umfasst alle Tage, in denen die Wärmeübertragung höher als die, mit dem Ausnutzungsgrad η_1 berechneten, Wärmequellen ausfällt.

Dies kann man mit folgender Formel berechnen:

$$\Theta_{ed} \leq \Theta_{id} - \frac{\eta_1 \cdot Q_{Gd}}{H_L \cdot t_d} \quad [^{\circ}C]$$

Θ_{ed} die mittlere Außentemperatur eines Tages [$^{\circ}C$]

Θ_{id} die mittlere Innentemperatur eines Tages [$^{\circ}C$]

η_1 der vorgegebener Ausnutzungsgrad der Gewinne, berechnet mit $\gamma = 1$

Q_{Gd} der tägliche Mittelwert für die inneren und solaren Gewinne [MJ]

H_L der Wärmeübertragungskoeffizient des Gebäudes [W/K]

t_d die Dauer des Tages in Stunden oder Sekunden

Kühlperiode:

Die Kühlperiode umfasst alle Tage, in denen die Wärmeübertragung kleiner als die, mit dem Ausnutzungsgrad η_1 berechneten, Wärmequellen ausfällt.

Die Länge der Kühlperiode kann durch zusätzliche Einrichtungen, wie beispielsweise maschineller oder manueller Nachtlüftung, verringert werden.

2.1.4 Zonen

Vor der eigentlichen Berechnung ist das Gebäude in Zonen zu teilen. Für jede Zone werden alle relevanten Energiekennwerte bestimmt. Das wichtigste Merkmal einer Zone ist die gleiche Konditionierung sowie die gleiche Nutzung der Räume. Das Unterteilen des Gebäudes in verschiedene Zonen ist laut [Oen05] nur erforderlich, wenn einer oder mehrere der folgenden Punkte auf das Objekt zutreffen:

- Die Solltemperaturen für das Heizen der Räume weichen um mehr als 4 K ab.
- Die Räume werden maschinell gekühlt, und die Solltemperaturen für das Kühlen der Räume weichen um mehr als 4 K ab.
- Die verschiedenen Bereiche des konditionierten Raumes werden von verschiedenen Heiz- oder Kühlanlagen versorgt.
- Die verschiedenen Bereiche des konditionierten Raumes werden von verschiedenen Lüftungsanlagen versorgt, und keine einzelne dieser Lüftungsanlagen versorgt mindestens 80 % des Gebäudes.
- Der Umfang der Lüftung in den Räumen, in m^3 je m^2 Nutzfläche, weicht um mehr als einen Faktor von 4 ab.

Trifft keiner der oben genannten Punkte zu, kann nach der Einzonenberechnung vorgegangen werden. Sonst muss man zwischen zwei Berechnungsarten unterscheiden:

- Mehrzonenberechnung ohne Wärmekopplung zwischen den Zonen
- Mehrzonenberechnung mit Wärmekopplung zwischen den Zonen

2.1.5 Gesamtwärmedurchgang und Gesamtheit der Wärmequellen

Der Gesamtwärmedurchgang setzt sich aus Transmission und Lüftung zusammen. Die Formel nach [Oen05] lautet:

$$Q_L = Q_T + Q_V \text{ [MJ]}$$

Q_L der Gesamtwärmedurchgang [MJ]

Q_T der Gesamtwärmedurchgang durch Transmission [MJ]

Q_V der Gesamtwärmedurchgang durch Lüftung [MJ]

Die Gesamtheit der Wärmequellen setzt sich aus Personen, Geräte und solaren Gewinnen zusammen. Die Formel nach [Oen05] lautet:

$$Q_G = Q_i + Q_s \text{ [MJ]}$$

Q_G die Gesamtheit der Wärmequellen [MJ]

Q_i die Summe der inneren Wärmequellen [MJ]

Q_s die Summe der solaren Wärmequellen [MJ]

2.1.6 Gesamtwärmedurchgang durch Transmission

Die Transmissionsverluste und –gewinne ergeben sich aus folgenden Parametern:

- Bauteilaufbauten
- Geometrie
- Temperaturverhältnisse in den angrenzenden Räumen
- Strömungsverhältnisse in den angrenzenden Räumen

Mittels dieser Formel kann die Wärmemenge, die im betrachteten Zeitraum übertragen wird, berechnet werden:

$$Q_T = \sum_k \{H_{T,k} \cdot (\theta_i - \theta_{e,k})\} \cdot t \text{ [MJ]}$$

Q_T der Gesamtwärmedurchgang durch Transmission [MJ]

$H_{T,k}$ der Transmissionswärmedurchgangskoeffizient für das Bauteil k [W/K]

θ_i die Innentemperatur des Gebäudes [°C]

$\theta_{e,k}$ die Umgebungstemperatur des Gebäudes [°C]

t die Dauer des Berechnungszeitraumes

2.1.7 Spezifischer Transmissionswärmedurchgangskoeffizient

Der spezifische Transmissionswärmedurchgangskoeffizient H_T wird laut [Oen08] wie folgt berechnet:

$$H_T = H_D + H_g + H_U + H_A \quad \left[\frac{W}{K} \right]$$

H_D der direkte Wärmedurchgangskoeffizient zwischen beheiztem oder gekühltem Raum und der Außenumgebung durch die Gebäudehülle [W/K]

H_g der stationäre Wärmedurchgangskoeffizient über das Erdreich [W/K]

H_U der spezifische Transmissionswärmedurchgangskoeffizient durch unkonditionierte Räume [W/K]

H_A der spezifische Transmissionswärmedurchgangskoeffizient an angrenzenden Gebäuden [W/K]

Direkte Transmission zwischen Innenraum und Außenumgebung:

$$H_D = \sum_i A_i \cdot U_i + \sum_k l_k \cdot \psi_k + \sum_j \chi_j \quad \left[\frac{W}{K} \right]$$

A_i die Fläche des Bauteils in der Gebäudehülle [m²]

U_i der Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils in der Gebäudehülle [W/(m²·K)]

l_k die Länge der linienförmigen Wärmebrücke k [m]

ψ_k der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient der Wärmebrücke k [W/(m·K)]

χ_j der punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizient der Wärmebrücke j [W/K]

Wärmedurchgangskoeffizient

Der Wärmedurchgangskoeffizient fasst den Wärmetransport pro Flächeneinheit und Zeiteinheit eines Bauteils im stationären Zustand zusammen. Je kleiner dieser Wert ist, umso geringer ist der Wärmedurchgang.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Der Reziprokwert des Wärmedurchgangskoeffizienten ergibt den Wärmedurchgangswiderstand. Dieser ist in drei Teile aufgeteilt, wie man der folgenden Formel entnehmen kann:

$$R_T = R_{si} + \sum_{i=1}^n R_i + R_{se} \quad \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

R_T der gesamte Wärmedurchgangswiderstand $[(m^2 \cdot K)/W]$

R_i der Wärmedurchgangswiderstand einer Schichte $[(m^2 \cdot K)/W]$

R_{si} der Wärmedurchgangswiderstand an der Bauteilinnenseite $[(m^2 \cdot K)/W]$

R_{se} der Wärmedurchgangswiderstand an der Bauteilaußenseite $[(m^2 \cdot K)/W]$

Der Wärmedurchgangswiderstand ergibt sich aus:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

d die Dicke der Schichte [m]

λ der Nennwert der Wärmeleitfähigkeit $[W/(m \cdot K)]$

Besteht der Bauteil aus mehreren homogenen Schichten, so werden die einzelnen Schichten aufsummiert:

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

$$R_t = \sum_{n=1}^n \frac{d_n}{\lambda_n} \quad \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

Wärmedurchgangskoeffizient von Fenstern und Türen

Dieser Wert hängt wesentlich von drei Parametern ab:

- dem Rahmen
- den Abstandhaltern
- und der Verglasung

Somit ergibt sich diese Formel:

$$U_W = \frac{A_f \cdot U_f + l \cdot \psi + A_g \cdot U_g}{A_W} \quad \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

U_W der U-Wert des Fensters [W/(m²·K)]

A_f die Fläche des Rahmens [m²]

U_f der U-Wert des Rahmens [W/(m²·K)]

l die Länge des Randverbundes Verglasung/Rahmen [m]

ψ der längenbezogene Leitwert für den Abstandhalter [W/(m·K)]

A_g die Fläche der Verglasung [m²]

U_g der U-Wert der Verglasung [W/(m²·K)]

A_W die Fläche des Fensters ($A_W = A_f + A_g$) [m²]

Wärmebrücken

Es werden grundsätzlich zwei verschiedene Typen unterschieden:

- die geometrische Wärmebrücke (z. B. Ecken)
- die stoffliche Wärmebrücke (verschiedene Materialien)

Außerdem wird noch zwischen linienförmigen und punktförmigen Wärmebrücken unterschieden. Näherungsweise werden diese Effekte mit Leitwertzuschlägen berücksichtigt.

Spezifischer Transmissionswärmedurchgangskoeffizient über das Erdreich

Die Berechnung der erdberührten Bauteile erfolgt mittels der Önorm EN ISO 13370. Diese Norm behandelt Berechnungsarten, welche den Wärmedurchgangskoeffizienten auf monatlicher Basis unter Berücksichtigung der thermischen Masse des Erdreiches eruiert. Um das räumliche Verhalten des Wärmestromes im Erdreich zu berücksichtigen, werden die Gleichungen mit dem charakteristischen Maß B' angegeben.

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad [\text{m}]$$

B' das charakteristische Bodenplattenmaß [m]

A die Fläche der Bodenplatte [m^2]

P der exponierte Umfang der Bodenplatte [m]

Weiters ist die wirksame Gesamtdicke d_t erforderlich:

$$d_t = w + \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad [\text{m}]$$

w die Gesamtdicke der Wände einschließlich sämtlicher Schichten [m]

R_f der Wärmedurchlasswiderstand der Bodenplatte einschließlich Dämmschichten ober- oder unterhalb der Bodenplatte [$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$]

R_{si} der innere Wärmeübergangswiderstand [$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$]

R_{se} der äußere Wärmeübergangswiderstand [$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$]

λ die Wärmeleitfähigkeit des ungefrorenen Erdreiches [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]

Der Wärmedurchgangskoeffizient wird, je nach Dämmung, wie folgt berechnet:

Bei $d_t < B'$ (ungedämmte und leicht gedämmte Bodenplatten) gilt:

$$U = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right) \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

Bei $d_t \geq B'$ (gut gedämmte Bodenplatten) gilt:

$$U = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

Ohne Berücksichtigung einer Perimeterdämmung ergibt sich der stationäre Wärmedurchgangskoeffizient über das Erdreich zu:

$$H_g = A \cdot U \quad \left[\frac{W}{K} \right]$$

Mit Berücksichtigung einer Perimeterdämmung ergibt sich der stationäre Wärmedurchgangskoeffizient über das Erdreich zu:

$$H_g = A \cdot U + P \cdot \psi_g \quad \left[\frac{W}{K} \right]$$

Ψ_g der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient für die Verbindungsstelle zwischen Wand und Bodenplatte

H_g der thermische Leitwert $[W/K]$

$$d' = R' \cdot \lambda \quad [m]$$

d' die wirksame Dicke, die sich aus der Randdämmung ergibt $[m]$

R' der durch die Randdämmung hervorgerufene zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand $[(m^2 \cdot K)/W]$

$$R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda} \quad [m]$$

d_n die Dicke der Randdämmung $[m]$

R_n der Wärmedurchlasswiderstand der waagrechten oder senkrechten Randdämmung $[(m^2 \cdot K)/W]$

Waagrechte Randdämmung:

$$\psi_g = -\frac{\lambda}{\pi} \cdot \left[\ln \left(\frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad \left[\frac{W}{K} \right]$$

D die Breite der horizontalen Randdämmung $[m]$

Senkrechte Randdämmung:

$$\psi_g = -\frac{\lambda}{\pi} \cdot \left[\ln \left(\frac{2D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad \left[\frac{W}{K} \right]$$

D die Tiefe der vertikalen Randdämmung $[m]$

Spezifischer Transmissionswärmedurchgangskoeffizient durch unkonditionierte Räume

Dieser Koeffizient zwischen einem konditionierten Raum und einem unkonditionierten Raum, welcher an der Außenumgebung liegt, berechnet sich wie folgt:

$$H_U = H_{iu} \cdot b \left[\frac{W}{K} \right] \quad \text{wobei} \quad b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

H_{iu} der direkte Wärmedurchgangskoeffizient zwischen konditioniertem und unkonditioniertem Raum [W/K]

H_{ue} der spezifische Wärmedurchgangskoeffizient zwischen unkonditioniertem Bereich und Außenumgebung [W/K]

H_{iu} und H_{ue} berücksichtigen den Transmissions- und Lüftungswärmedurchgang. Diese Werte werden mit diesen Gleichungen eruiert:

$$H_{iu} = H_{T,iu} + H_{V,iu} \left[\frac{W}{K} \right] \quad \text{und} \quad H_{ue} = H_{T,ue} + H_{V,ue} \left[\frac{W}{K} \right]$$

Die Transmissionskoeffizienten $H_{T,ue}$ und $H_{T,iu}$ werden wie die direkte Transmission berechnet. Die Lüftungswärmedurchgangskoeffizienten $H_{V,ue}$ und $H_{V,iu}$ werden mit folgenden Formeln ermittelt:

$$H_{V,iu} = \rho \cdot c_p \cdot \dot{V}_{iu} \left[\frac{W}{K} \right] \quad \text{und} \quad H_{V,ue} = \rho \cdot c_p \cdot \dot{V}_{ue} \left[\frac{W}{K} \right]$$

ρ die Dichte der Luft [kg/m³]

c_p die spezifische Wärmekapazität der Luft [Wh/(kg.K)]

$\dot{V}_{ue}$ der Luftvolumenstrom zwischen unkonditioniertem Raum und Außenumgebung [m³/h]

$\dot{V}_{iu}$ der Luftvolumenstrom zwischen konditioniertem Raum und unkonditioniertem Raum [m³/h]

Wärmedurchgang zu angrenzenden Gebäuden

Wenn ein angrenzendes Gebäude eine andere Temperatur aufweist als das betrachtete Objekt, so finden diese Formeln Verwendung:

$$H_A = b \cdot H_{ia} \left[\frac{W}{K} \right] \quad \text{mit} \quad b = \frac{\theta_i - \theta_a}{\theta_i - \theta_e}$$

θ_i die Innentemperatur des betrachteten Gebäudes

θ_a die Innentemperatur des angrenzenden Gebäudes

θ_e die Außentemperatur

2.1.8 Gesamtwärmeübertragung durch Lüftung

Die Gesamtwärmeübertragung durch Lüftung ergibt sich aus:

$$Q_V = \sum_k \{ H_{V,k} \cdot (\theta_{i,z} - \theta_{s,k}) \} \cdot t \quad [MJ]$$

Q_V der Gesamtwärmedurchgang durch Lüftung [MJ]

$H_{V,k}$ der Lüftungswärmeübertragungskoeffizient für das mit der Temperatur $\theta_{s,k}$ in die Zone eindringende Luftstromelement k [W/K]

$\theta_{i,z}$ die Innentemperatur des Gebäudes [°C]

$\theta_{s,k}$ die Zulufttemperatur des Luftstromelementes k [°C]

t die Dauer des Berechnungszeitraumes

2.1.9 Spezifischer Lüftungswärmedurchgangskoeffizient

Der Lüftungswärmedurchgangskoeffizient $H_{V,k}$ berechnet sich nach:

$$H_{V,k} = \rho_a \cdot c_a \cdot \dot{V}_{V,k} \left[\frac{W}{K} \right]$$

$\dot{V}_{V,k}$ der Luftvolumenstrom durch den konditionierten Raum [m³/s]

$\rho_a c_a$ die volumenbezogene Wärmespeicherfähigkeit der Luft ~ 1200 [J/(m³·K)]

Luftwechsel

Um ein behagliches Innenraumklima zu erhalten, muss auch eine gewisse Zufuhr von Frischluft pro Person gewährleistet werden. Die EN 13779 gibt hierfür folgende Werte an:

Hohe Innenluftqualität: $45 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$

Mittlere Innenluftqualität: $30 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$

Niedrige Innenluftqualität: $20 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$

Die Luftwechselrate n charakterisiert den Luftaustausch, und gibt an wie oft das Raumluftvolumen in einer Stunde ausgetauscht wird. Sie setzt sich aus drei Teilen zusammen:

- Infiltrationsluftwechsel
- Fensterluftwechsel
- Mechanische Lüftungsanlage

Umso dichter ein Gebäude erbaut wird, umso kleiner ist der Infiltrationsluftwechsel. Z. B. liegt der Wert bei Altbauten zwischen $n_{50} = 4$ und 12 h^{-1} und bei Passivhäusern zwischen $n_{50} = 0,1$ und $0,6 \text{ h}^{-1}$.

2.1.10 Interne Wärmequellen

Interne Wärmequellen umfassen sich in der Zone aufhaltende Personen oder Tiere oder in der Gebäudezone betriebene Geräte und Beleuchtung. Auch zählen die innerhalb der Zone liegenden Heizungsverteiler sowie Kleinwärmespeicher, Wärme- und Kälteerzeuger hinzu.

Laut [Oen05] setzen sich die Quellen wie folgt zusammen:

- Stoffwechselwärme der Nutzer
- Verlustwärme der Geräte
- durch Warm- und Kalt- sowie Abwassersysteme abgegebene oder aufgenommene Wärme

- durch Heiz-, Kühl- und Lüftungsanlagen abgegebene oder aufgenommene Wärme
- Wärme aus bzw. von Prozessen und Gütern

Alle oben erwähnten Komponenten sind in der folgenden Formel enthalten:

$$Q_i = \sum_k Q_{i,k} + \sum_l [(1 - b_l) Q_{i,u,l}] \quad [\text{MJ}] \quad \text{wobei}$$

$$Q_{i,k} = \Phi_{i,\text{mean},k} \cdot t \quad [\text{MJ}] \quad \text{und} \quad Q_{i,u,l} = \Phi_{i,\text{mean},u,l} \cdot t \quad [\text{MJ}]$$

Q_i die Summe der inneren Wärmequellen [MJ]

$Q_{i,k}$ die von der inneren Wärmequelle k abgegebene Wärme [MJ]

$Q_{i,u,l}$ die von der inneren Wärmequelle k in einem angrenzenden Raum abgegebene Wärme [MJ]

b_l der Abminderungsfaktor für den angrenzenden Raum mit der inneren Wärmequelle l

$\Phi_{i,\text{mean},k}$ der zeitlich gemittelte Wärmestrom der inneren Wärmequelle k [W]

$\Phi_{i,\text{mean},u,l}$ der zeitlich gemittelte Wärmestrom der inneren Wärmequelle l im angrenzenden Raum [W]

t die Dauer des Berechnungszeitraumes

Die Wärme der Personen, die Wärme der Geräte und die Beleuchtungswärme wurden in dieser Arbeit getrennt berechnet.

Abluftleuchten

Diese Leuchten leiten einen gewissen Anteil der erzeugten Wärme über den Deckenhohlraum bzw. über Luftleitungen ab. Der sogenannte Raumbelastungsgrad μ_L variiert zwischen 0,2 und 1,0. Das heißt, dass die inneren Gewinne der Beleuchtung auf ein Fünftel reduziert werden können.

2.1.11 Solare Warmegewinne

Um die solaren Gewinne, welche von der solaren Einstrahlung auf Objekte abhängen, zu berechnen, müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden:

- Jahreszeit, Tageszeit
- Standort, Seehöhe
- Trübung, Bewölkung, Nebel
- Horizont
- Nachbarbebauung, auskragende Bauteile, Fensterrücksprung
- Intensität der Globalstrahlung
- Energiedurchlässigkeit der Außenhülle

Somit ergeben sich nach EN ISO 13790 folgende Formeln:

$$Q_s = Q_{s,c} + \sum_j [(1 - b_j) Q_{s,u,j}] \quad [\text{MJ}] \quad \text{wobei}$$

$$Q_{s,c} = \sum_k [I_{s,k} \cdot F_{s,o,k} \cdot A_{s,k}] \quad [\text{MJ}] \quad \text{und} \quad Q_{s,u,j} = \sum_l [I_{s,l} \cdot F_{s,o,k} \cdot A_{s,l}]_u \quad [\text{MJ}]$$

Q_s die Summe der solaren Wärmequellen einschließlich der Auswirkungen der solaren Wärmequellen in angrenzenden Räumen [MJ]

$Q_{s,c}$ die Summe der solaren Wärmequellen in der betrachteten Zone [MJ]

$Q_{s,u,j}$ die Summe der solaren Wärmequellen in einem angrenzenden Raum [MJ]

b_j der Abminderungsfaktor für den angrenzenden Raum j mit der solaren Wärmequelle $Q_{s,u,j}$

$F_{s,o,k}$ der Verschattungsfaktor für außen gelegene Hindernisse

$A_{s,k}$ die wirksame Kollektorfläche k in der betrachteten Zone [m²]

$A_{s,l}$ die wirksame Kollektorfläche l des angrenzenden Raumes [m²]

$I_{s,k}$ die solare Bestrahlungsstärke, die Gesamtenergie der Sonneneinstrahlung je m^2 der Kollektorfläche k [MJ/m^2]

$I_{s,l}$ die solare Bestrahlungsstärke, die Gesamtenergie der Sonneneinstrahlung je m^2 der Kollektorfläche l im angrenzenden Raum [MJ/m^2]

Wirksame Kollektorflächen

Diese Flächen setzen sich aus allen außen liegenden opaken und nicht opaken Bauteilen zusammen, wobei auch die opaken Bauteile hinter transparenten Bauteilen dazu gezählt werden.

Wirksame solare Kollektorfläche von verglasten Bauteilen

$$A_s = F_{sh,g} \cdot g_g \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p} \quad [m^2]$$

A_s die wirksame Kollektorfläche des Bauteiles [m^2]

$A_{w,p}$ die gesamte Projektionsfläche des verglasten Bauteiles [m^2]

F_F der Rahmenfaktor, Anteil Rahmen an der gesamten Projektionsfläche

g_g der solare Gesamtenergiedurchlassgrad des transparenten Teiles

$F_{sh,g}$ der Verschattungsfaktor für bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen

Wirksame Kollektorfläche von opaken Bauteilen

$$A_s = F_r \cdot \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \quad [m^2]$$

A_s die wirksame Kollektorfläche des Bauteils [m^2]

A_c die Projektionsfläche des opaken Bauteils [m^2]

F_r der Korrekturfaktor für die Wärmestrahlung an den Himmel

$\alpha_{s,c}$ der dimensionslose Absorptionskoeffizient für die Sonnenstrahlung auf den opaken Bauteil

R_{se} der Oberflächenwärmedurchlasswiderstand des opaken Bauteile [$m^2 \cdot K/W$]

U_c der Wärmedurchgangskoeffizient des opaken Bauteiles [W/(m².K)]

Verschattung

Die Verschattung hat einen wesentlichen Einfluss auf die solaren Wärmegewinne, aber auch auf die Beleuchtung. In der vorliegenden Arbeit wurde ein Verschattungsfaktor von 0,9 für die solaren Wärmegewinne verwendet.

2.1.12 Dynamische Parameter

Ausnutzungsgrad der Gewinne

Der Ausnutzungsgrad η_G ist vom Gewinn-/Verlustverhältnis und der Zeitkonstante des Gebäudes abhängig:

$$\text{wenn } \gamma \neq 1 \quad \eta_G = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}}$$

$$\text{bzw. } \gamma = 1 \quad \eta_G = \frac{a}{a+1}$$

$$\text{mit } \gamma = \frac{Q_G}{Q_L}$$

η_G der dimensionslose Ausnutzungsgrad für Gewinne

γ das dimensionslose Gewinn-/Verlustverhältnis

Q_L die gesamten Wärmeverluste [MJ]

Q_G die gesamten Wärmegewinne [MJ]

Der Parameter a ist numerisch, dimensionslos und wird von der Gebäudezeitkonstante und von der Bezugszeitkonstante bestimmt:

$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0}$$

a_0 ein dimensionsloser numerischer Bezugsparameter

τ die Zeitkonstante des Gebäudes [h]

τ_0 die Bezugszeitkonstante [h]

In der vorliegenden Arbeit wurden die Parameter $a_0 = 1$ und $\tau_0 = 16$ für den Heiz- sowie für den Kühlfall gesetzt.

Gebäudezeitkonstante

Das Auskühlen eines Gebäudes, während keine Gewinne eingebracht werden, bzw. das Aufwärmen des Gebäudes, während Gewinne vorhanden sind, gibt die Gebäudezeitkonstante an. Also beschreibt diese Konstante die Trägheit des Gebäudes. Umso schwerer ein Gebäude erbaut wird, desto träger verhält es sich. Somit ergibt sich die Gebäudezeitkonstante aus folgender Formel:

$$\tau = \frac{C}{H_T + H_V} \quad [\text{h}]$$

C die innere Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes [Wh/K]

H_T der Transmissionswärmedurchgangskoeffizient [W/K]

H_V der Lüftungswärmedurchgangskoeffizient [W/K]

Die innere Wärmespeicherfähigkeit wurde nach [Oen07] berechnet:

$$C = f_{BW} \cdot V \quad [\text{Wh/K}]$$

f_{BW} die spezifische Kapazität einer Bauweise [Wh/K.m³]

V das konditionierte Volumen [m³]

Ermittlung der Bauweisen nach [Oen07]:

- $f_{BW} = 10 \text{ Wh/K.m}^3$ Leichte Bauweise: Holzgebäude ohne massive Innenbauteile.
- $f_{BW} = 20 \text{ Wh/K.m}^3$ Mittelschwere Bauweise: Gebäude in Mischbauweise bzw. Massivbauweise mit abgehängten Decken und Wänden in Leichtbauweise
- $f_{BW} = 30 \text{ Wh/K.m}^3$ Schwere Bauweise: Gebäude ohne abgehängte Decken, mit schwimmenden Estrichen und großteils massiven Innen- und Außenbauteilen.

-
- $f_{BW} = 60 \text{ Wh/K.m}^3$ Sehr schwere Bauweise: Gebäude mit sehr massiven Innen- und Außenbauteilen, wie z. B. Altbauten.

2.2 Berechnung des Nutz- und Endenergiebedarfs für Beleuchtung

2.2.1 Einleitung

Die Ermittlung des Energiebedarfs für Beleuchtung erfolgte teilweise mittels [Din07] Teil 4 und teilweise aus eigenen Überlegungen. Der große Unterschied zwischen der vorliegenden Arbeit und der [Din07] liegt am stundenbezogenen Abwickeln des Nutzerverhaltens und des Klimas. Die [Din07] sieht nur Berechnungen für den Jahres- und Monatsenergiebedarf vor. Grundsätzlich wird zwischen tageslichtversorgten und nicht tageslichtversorgten Bereichen unterschieden. Aus der Fenstergeometrie und anderen Faktoren, wie z. B. der Sturzhöhe, ergeben sich bessere bzw. schlechtere Tageslichtquotienten. Sehr maßgebend für den tageslichtversorgten Bereich sind auch die Jalousien.

Die gesamten Abhängigkeiten sind in Abb. 1 zu sehen:

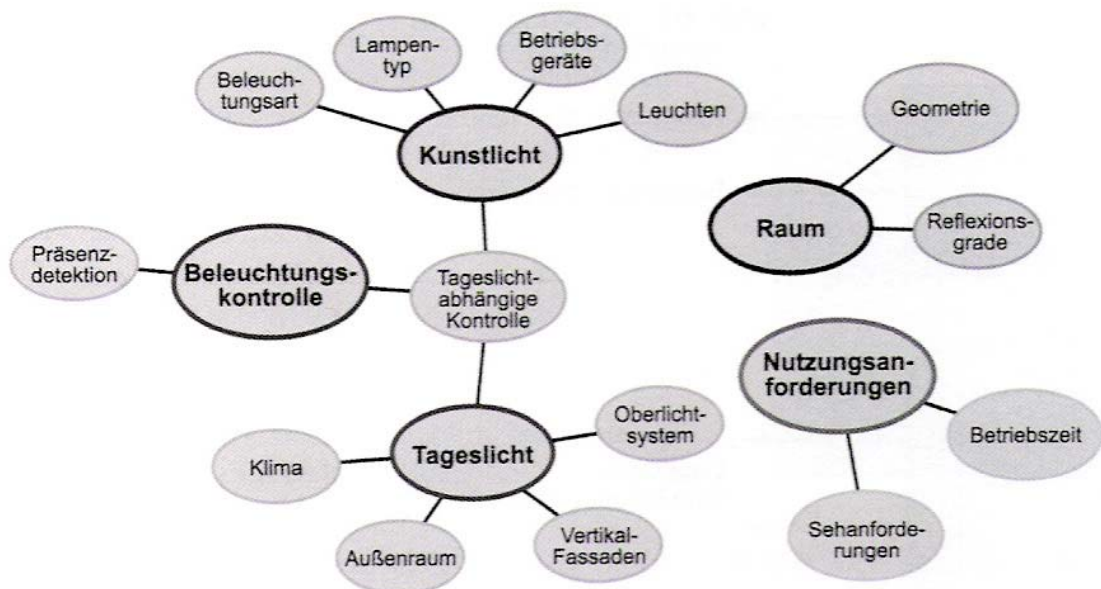


Abb. 1: Parameter des Beleuchtungsenergiebedarfs; Quelle: [Fou07]

2.2.2 Bilanzierungsansatz

Der gesamte Energiebedarf für einen Berechnungsbereich ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$Q_{l,b} = \sum_{n=1}^N F_{t,n} \cdot Q_{l,b,n} \quad [\text{kWh/a}]$$

$Q_{l,b}$ der Endenergiebedarf für Beleuchtungszwecke [kWh/a]

$Q_{l,b,n}$ der Energiebedarf für Beleuchtungszwecke einer Zone [kWh/a]

$F_{t,n}$ der Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung

Der Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit $F_{t,n}$ ist laut [Din07] für Büros aller Arten auf 0,7 zu setzen. Dieser Wert berücksichtigt einen Teilbetrieb, unabhängig von der relativen Anwesenheit, infolge Krankheit, Urlaub oder Sonstiges. Dieser Wert wurde in der vorliegenden Arbeit auf 1 gesetzt. Die relative Anwesenheit wurde mit 70% angesetzt und davon ausgegangen, dass in den 30% der Abwesenheit die oben genannten Komponenten schon enthalten sind.

Der Energiebedarf für eine Zone berechnet sich laut [Din07] wie folgt:

$$Q_{l,b,n} = p \cdot \left[A_{TL} \cdot (t_{\text{eff,Tag,TL}} + t_{\text{eff,Nacht}}) + A_{KTL} \cdot (t_{\text{eff,Tag,KTL}} + t_{\text{eff,Nacht}}) \right] \quad [\text{kWh/a}]$$

p die spezifische elektrische Bewertungsleistung [W/(m²·lx)]

A_{TL} die Fläche, die mit Tageslicht versorgt ist [m²]

A_{KTL} die Fläche, die nicht mit Tageslicht versorgt ist [m²]

$t_{\text{eff,Tag,TL}}$ die effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystems im tageslichtversorgten Bereich [h]

$t_{\text{eff,Tag,KTL}}$ die effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystems im nicht tageslichtversorgten Bereich [h]

$t_{\text{eff,Nacht}}$ die effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystems zur Nachtzeit [h]

Laut [Din07] werden die effektiven Betriebszeiten für das ganze Jahr bestimmt. Sie sind abhängig von zwei Faktoren:

- F_{TL} der Teilbetriebsfaktor zur Berücksichtigung der Tageslichtversorgung
- $F_{Prä}$ der Teilbetriebsfaktor zur Berücksichtigung der Präsenz

F_{TL} wird von sehr vielen Faktoren bestimmt. Alle Veränderungen hinsichtlich Fassade, Sonnenschutz, Ganzglasfassade, Verschattung usw. werden mit diesem Wert abgebildet. Das heißt: alle Faktoren, die den tageslichtversorgten Bereich betreffen. $F_{Prä}$ bildet die Qualität der Präsenzkontrolle und die Anwesenheit ab.

Der Vorteil der vorliegenden Arbeit liegt darin, dass durch die stundenbezogene Abbildung des Nutzerverhaltens, keine effektiven Betriebszeiten mit Faktoren eruiert werden müssen, sondern die Nutzenergie für Beleuchtung durch reine Aufsummierung über die Stunden entsteht. Gleichzeitig wird kontrolliert, ob es notwendig ist, das Licht einzuschalten, auch in Abhängigkeit der Verwendung eines Sonnenschutzes.

Darum ergibt sich die vorhergehende Formel zu:

$$Q_{l,b,n} = \sum_1^{8760} [p \cdot (A_{TL} + A_{KTL})] \quad [\text{kWh/a}]$$

p die spezifische elektrische Bewertungsleistung $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{lx})]$

A_{TL} die Fläche, die mit Tageslicht versorgt ist $[\text{m}^2]$

A_{KTL} die Fläche, die nicht mit Tageslicht versorgt ist $[\text{m}^2]$

2.2.3 Unterteilung der Gebäudezonen

Die Gebäudezonen sollten bei unterschiedlicher Nutzung und unterschiedlichen Anforderungen an die Beleuchtungsstärke in lichttechnische Berechnungsbereiche unterteilt werden.

Komponenten der verschiedenen Nutzung sind:

- der Wartungswert der Beleuchtungsstärke
- die Höhe der Nutzenebene
- die Betriebszeit

- die Anwesenheit

Aufgrund dieser Komponenten wurde das Gebäude in drei Zonen geteilt: Gruppenbüros, Großraumbüros und Verkehrsfläche.

2.2.4 Kunstlicht

Die elektrische Anschlussleistung kann nach [Din07] mittels drei verschiedenen Verfahren berechnet werden:

- Tabellenverfahren
- vereinfachtes Wirkungsgradverfahren
- detaillierte Fachplanung

In dieser Arbeit kam das Tabellenverfahren zur Anwendung. Dieses Verfahren ist ideal für die schnelle und überschlägige Ermittlung der elektrischen Anschlussleistung. Im Gegensatz zum Wirkungsgradverfahren sind beim Tabellenverfahren keine weiteren externen Informationen wie z. B. Leuchtenkataloge erforderlich. Das hat aber die Folge, dass die Ergebnisse aus dem Tabellenverfahren nicht so genau sind, wie die aus dem Wirkungsgradverfahren. Die Qualität der Ergebnisse reicht aber im Zuge dieser Arbeit völlig aus.

Tabellenverfahren

Die installierte elektrische Anschlussleistung hängt von den folgenden Parametern ab:

- Wartungswert der Beleuchtungsstärke
- Beleuchtungsart
- Lampentyp inklusive Betriebsgerät
- Minderungsfaktor für den Bereich der Sehaufgabe
- Raumgeometrie

Für die Reflexionsgrade wurden Standardwerte verwendet. Der Lichtreflexionsgrad für den Boden und den Außenbereich liegt bei 0,2, für die Wand bei 0,5 und für die Decke wird der Wert 0,7 angenommen.

Die elektrische Anschlussleistung errechnet sich aus folgender Formel:

$$p = p_{lx} \cdot \bar{E}_m \cdot k_A \cdot k_L \cdot k_R \quad [W]$$

p_{lx} die spezifische elektrische Bewertungsleistung $[W/(m^2 \cdot lx)]$

$\bar{E}_m$ der Wartungswert der Beleuchtungsstärke $[lx]$

k_A der Minderungsfaktor zur Berücksichtigung des Bereiches der Sehaufgabe

k_L der Anpassungsfaktor Lampe für nicht stabförmige Leuchtstofflampen

k_R der Anpassungsfaktor Raum

Spezifische elektrische Bewertungsleistung

Die spezifische elektrische Bewertungsleistung p_{lx} resultiert aus der Beleuchtungsart. Die [Din07] unterscheidet hier direkte, direkte/indirekte und indirekte Beleuchtung.

Wartungswert der Beleuchtungsstärke

Der Wartungswert der Beleuchtungsstärke ergibt sich aus der Nutzung. Dieser Wert beträgt bei Verkehrsflächen 100 lx und in Büros 500 lx. In Abb. 2 erkennt man den Verlauf der Beleuchtungsstärke mit und ohne Wartung. Wenn kein Wartungsplan für die Leuchten vorgesehen wird, sollte der Wartungswert laut [Fou07] um 1,5 erhöht werden. Bei den Berechnungen dieser Arbeit wurde von einem Wartungsplan ausgegangen.

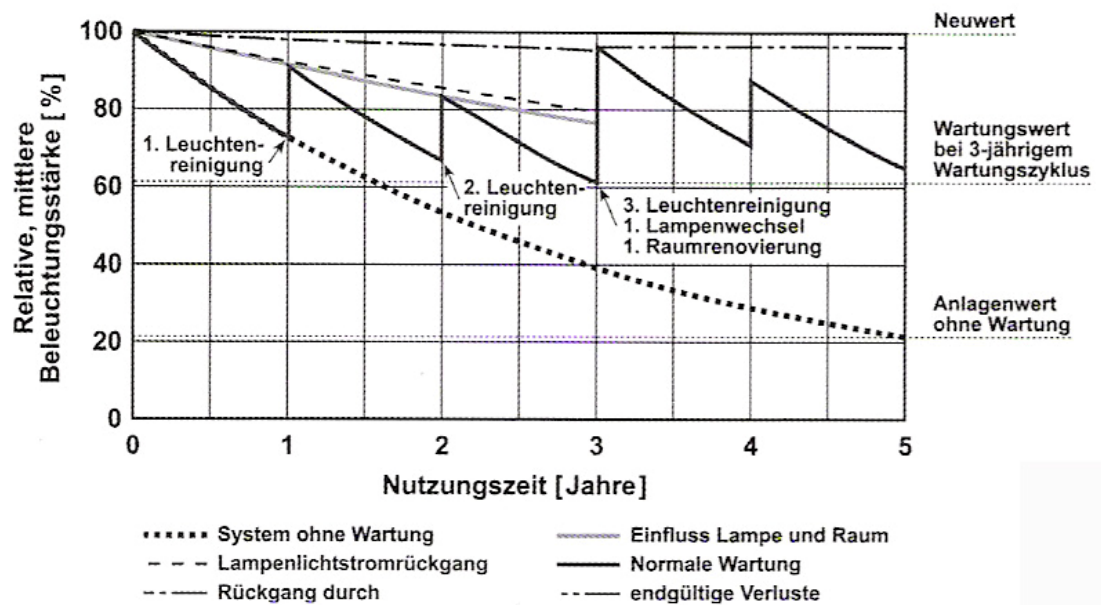


Abb. 2: Exemplarischer Wartungszyklus einer Beleuchtungsanlage; Quelle: [Fou07]

Minderungsfaktor zur Berücksichtigung der Sehaufgabe

Dieser Wert beschreibt die Abminderung des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke, da man z. B. im Büro davon ausgehen kann, dass nicht die Gesamte Fläche mit 500 lx beleuchtet wird, sondern nur der Bereich der Sehaufgabe. Außerdem stellt der Wartungswert der Beleuchtungsstärke für den Umgebungsbereich $\bar{E}_U$ sicher, dass eine gewisse Gleichmäßigkeit des Lichtes im Raum gewährleistet wird. Ansonsten kann es zu visueller Überlastung und Unbehagen führen. Laut [Din07] darf der Minderungsfaktor k_A vereinfacht aus Tabellen entnommen werden. Für diese Arbeit wurde dieser Faktor genau berechnet.

Nach [Din03] gelten für $\bar{E}_m$ und $\bar{E}_U$ die Werte in folgender Tabelle:

Tab. 1: Zusammenhang zwischen $\bar{E}_m$ und $\bar{E}_U$; Quelle: [Din03]

Beleuchtungsstärke des Bereiches der Sehaufgabe	Beleuchtungsstärke des unmittelbaren Umgebungsbereiches
lx	lx
≥ 750	500
500	300
300	200
≤ 200	E_{Aufgabe}
Gleichmäßigkeit: $\geq 0,7$	Gleichmäßigkeit: $\geq 0,5$

Um $\bar{E}_U$ berechnen zu können, wurde die Tabelle in eine Formel verwandelt und vereinfacht angenommen, dass der 1,5fache Wert von $\bar{E}_U$ $\bar{E}_m$ ergibt.

Der Minderungsfaktor k_A wird mit folgender Formel berechnet:

$$k_A = b_f + (1 - b_f) \cdot \frac{\bar{E}_U}{\bar{E}_m} \quad \text{wobei} \quad b_f = \frac{A_S}{A}$$

$\bar{E}_U$ der Wartungswert der Beleuchtungsstärke für den unmittelbaren Umgebungsbereich um den Bereich der Sehaufgabe [lx]

A_S die Fläche der Sehaufgabe [m²]

b_f der Anteil der Fläche der Sehaufgabe an der Gesamtfläche

Die Fläche der Sehaufgabe wurde mit 2 m² pro Person gewählt.

Anpassungsfaktor Lampe für nicht stabförmige Leuchtstofflampen

In Tab. 2 wird die stabförmige Leuchtstofflampe mit einem Faktor von 1,0 als Standard angegeben. Es wird auch noch zwischen den verschiedenen Vorschaltgeräten unterschieden. Tageslichtabhängige Beleuchtungskontrolle funktioniert nur mit dimmbaren, elektronischen Vorschaltgeräten.

Tab. 2: Anpassungsfaktor für unterschiedliche Lampentypen; Quelle: [Din07]

Lampenart	Faktor k_L			
	Vorschaltgerät			
	–	EVG ^a	VVG ^b	KVG ^c
Glühlampen	6	–	–	–
Halogenglühlampen	5	–	–	–
Leuchtstofflampen stabförmig	–	1,0	1,14	1,24
Leuchtstofflampen kompakt, externes Vorschaltgerät	–	1,2	1,4	1,5
Leuchtstofflampen kompakt, integriertes Vorschaltgerät	–	1,6	–	–
Metallhalogenlamp-Hochdruck	–	0,86	–	1
Natriumdampf-Hochdruck	–	–	–	0,8
Quecksilberdampf-Hochdruck	–	–	–	1,7
^a EVG: Elektronische Vorschaltgeräte. ^b VVG: Verlustarme Vorschaltgeräte. ^c KVG: Vorschaltgeräte konventioneller Bauart.				

Anpassungsfaktor Raum

Der Raumindex kann nach [Din07] entweder aus Tabellen entnommen oder berechnet werden. Er hängt von der Raumform, der Höhe der Nutzenebene und der Positionierung der Leuchten im Raum ab.

In dieser Arbeit wurde die genauere Variante, die Berechnung, angewandt:

$$k = \frac{a_R \cdot b_R}{h'_R \cdot (b_R + a_R)}$$

k der Raumindex

a_R die Raumtiefe [m]

b_R die Raumbreite [m]

h'_R die Differenz aus den Höhen der Leuchtenebene und der Nutzenebene [m]

Wird der Raumindex kleiner als 0,6 so wird mit einem Raumindex von 0,6 weitergerechnet.

Der Anpassungsfaktor k_R ist außerdem noch von der Beleuchtungsart und den Reflexionsgraden abhängig. Für die Reflexionsgrade wurden, wie vor schon beschrieben, die Standardwerte verwendet. Die Werte für den Anpassungsfaktor k_R wurden aus Tab. 3 interpoliert.

Tab. 3: Anpassungsfaktor k_R zur Berücksichtigung des Einflusses der Raumauslegung; Quelle: [Din07]

Beleuchtungsart	Anpassungsfaktor k_R											
	Raumindex k											
	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5
direkt	1,08	0,97	0,89	0,82	0,77	0,68	0,63	0,58	0,55	0,53	0,51	0,49
direkt/indirekt	1,3	1,17	1,06	0,97	0,90	0,79	0,72	0,64	0,58	0,56	0,53	0,53
indirekt	1,46	1,25	1,08	0,95	0,85	0,69	0,60	0,52	0,47	0,44	0,42	0,39
ANMERKUNG Zwischenwerte für den Raumindex können interpoliert werden.												

2.2.5 Präsenzdetektion

In dieser Arbeit wurde in allen Zonen von Bewegungsmeldern ausgegangen. Folglich wird kein Beleuchtungsenergiebedarf berechnet, wenn keine Personen anwesend sind. Diese Annahme ist zwar nicht sehr realistisch für konventionelle Bürobauten, da das Licht nicht immer beim Verlassen des Raumes ausgeschaltet wird. Hinsichtlich der Optimierung eines Gebäudes ist eine Präsenzkontrolle aber sicher notwendig.

2.2.6 Tageslicht

Der Einfluss des Tageslichts auf den Nutzenergiebedarf der Beleuchtung ist sehr wesentlich, denn umso mehr Tageslicht verwendet wird, umso mehr an Beleuchtungsenergie kann eingespart werden. Die gesamtenergetische Bewertung hinsichtlich der steigenden Kühlenergie bei der Vergrößerung der Fenster muss aber dabei berücksichtigt werden. Vorerst werden die gesamten Bereiche in tageslichtversorgte und nicht tageslichtversorgte Bereiche unterteilt. Danach wird der Tageslichtquotient für die Rohbauöffnung D_{RB} ermittelt. In diesen Wert fließen alle Parameter ein, welche mit der Planung zu tun haben. Raumtiefe, Fensteranordnung, Verbauung usw. bestimmen diesen Quotienten.

Tageslichtbereich

Jene Berechnungsbereiche, welche an Fassaden liegen und daher mit Tageslicht versorgt werden, unterteilt man in tageslichtversorgte und nicht tageslichtversorgte Flächen. Tiefe und Breite bei tageslichtversorgten Bereichen werden grundlegend von der Fassadengestaltung beeinflusst.

Die maximale Tiefe definiert sich über:

$$a_{TL,max} = 2,5 \cdot (h_{St} - h_{Ne}) \quad [m]$$

$a_{TL,max}$ die maximale Tiefe des tageslichtversorgten Bereiches [m]

h_{St} die Sturzhöhe über dem Fußboden [m]

h_{Ne} die Höhe der Nutzebene über dem Fußboden [m]

In der [Din07] wird die Parapetthöhe nicht berücksichtigt. Der Lichteinfall ist nicht direkt von der Parapetthöhe abhängig. Dies kann man sehr gut in Abb. 3 „Höhere Brüstung“ erkennen.

Außerdem beschreibt die [Din07] noch eine Zuschlagsregel. Diese besagt, dass wenn die gesamte Raumtiefe das 1,25fache von $a_{TL,max}$ nicht überschreitet, dann darf die gesamte Raumtiefe für die Berechnung der tageslichtversorgten Fläche herangezogen werden.

Die Breite des Tageslichtbereichs errechnet sich aus:

$$b_{TL} = 2 \cdot b_{Fenster} \cdot \frac{a_{TL}}{4} \quad [m]$$

b_{TL} die Breite des tageslichtversorgten Bereichs [m]

$b_{Fenster}$ die Breite des Fensters (Rohbaumaß) [m]

Die tageslichtversorgte Fläche ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$A_{TL} = a_{TL} \cdot b_{TL} \quad [m^2]$$

Die nicht mit Tageslicht versorgte Fläche ergibt sich somit aus folgender Gleichung:

$$A_{KTL} = A - A_{TL} \quad [m^2]$$

Abb. 3 stellt den Einfluss verschiedener Fenstergeometrien auf den Tageslichtbereich dar:

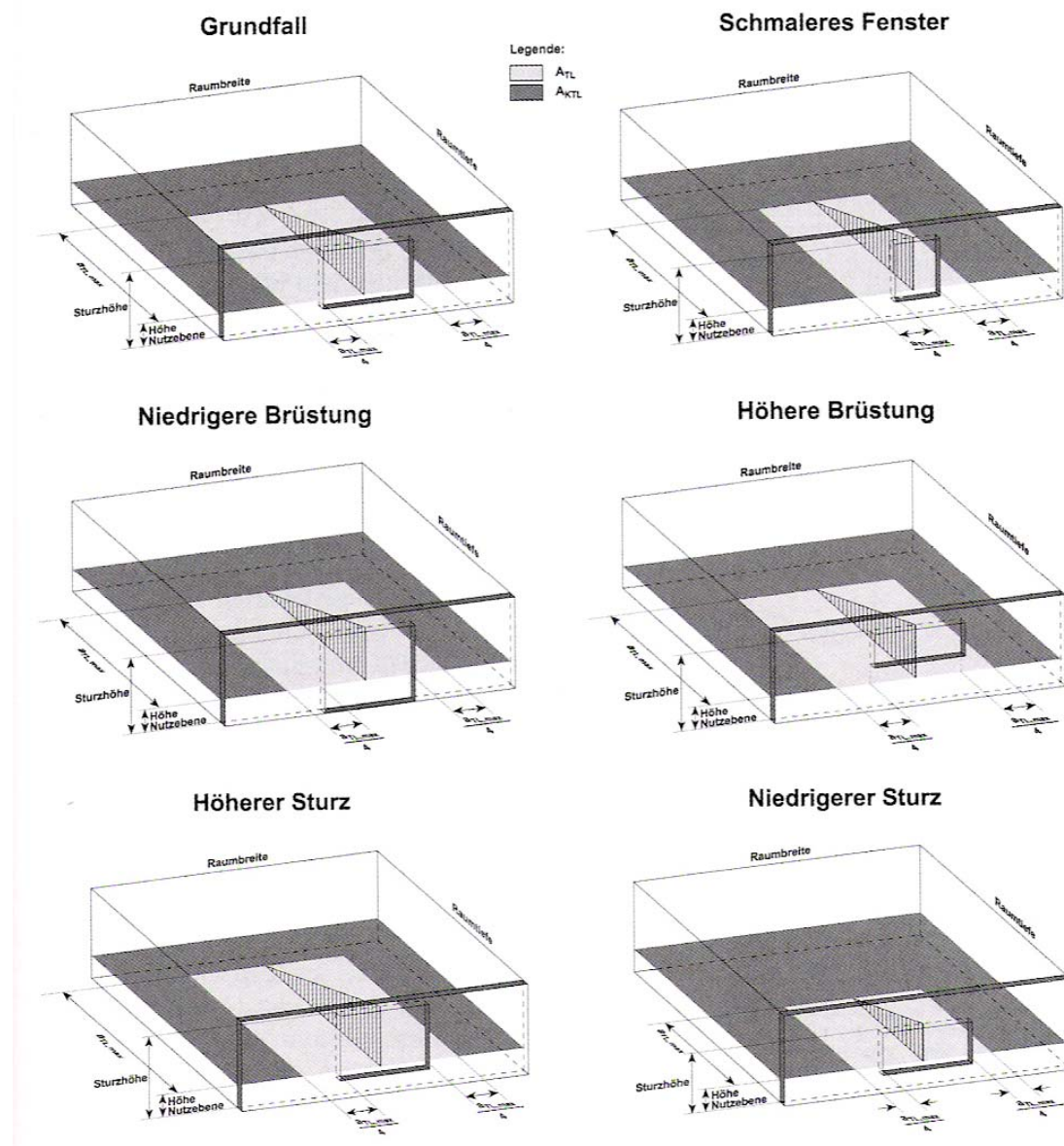


Abb. 3: Einfluss der Fenstergeometrie auf den Tageslichtbereich; Quelle: [Fou07]

Tageslichtquotient der Rohbauöffnung

Dieser Quotient gibt die mittlere innere Beleuchtungsstärke im errechneten Tageslichtbereich, zur unverschatteten Beleuchtungsstärke im Freien, in Prozent an. Laut [Din07] wird die Tageslichtversorgung in Abhängigkeit von D_{RB} wie folgt klassifiziert:

- Gut bei $D_{RB} \geq 6 \%$
- Mittel bei $6 \% > D_{RB} \geq 4 \%$
- Gering bei $4 \% > D_{RB} \geq 2 \%$
- Keine bei $D_{RB} < 2 \%$

Der Tageslichtquotient wird aus drei Indizes errechnet. Nämlich dem Transparenzindex, dem Raumtiefenindex und dem Verbauungsindex.

Der Transparenzindex entspricht dem Verhältnis der Rohbauöffnung zur tageslichtversorgten Fläche.

$$I_{Tr} = \frac{A_{Rb}}{A_{TL}}$$

I_{Tr} der Transparenzindex

A_{Rb} die Fläche der Rohbauöffnung [m²]

A_{TL} die Fläche des tageslichtversorgten Bereichs [m²]

Der Raumtiefenindex beschreibt das Verhältnis der tageslichtabhängigen Raumtiefe zur Differenz der Sturzhöhe zur Höhe der Nutzebene.

$$I_{Rt} = \frac{a_{TL}}{h_{St} - h_{Ne}}$$

I_{Rt} der Raumtiefenindex

Alle Effekte, die den Tageslichteinfall auf die Fassade einschränken, werden mit dem Verbauungsindex berücksichtigt. Beeinträchtigungen durch das eigene Gebäude, wie vertikale oder horizontale Auskragungen, Atrien oder Innenhöfe, genauso wie die Abminderung des Lichteinfalls durch Nachbargebäude oder Glasdoppelfassaden gehen hier in die Berechnungen ein.

$$I_V = I_{V,IV} \cdot I_{V,hA} \cdot I_{V,vA} \cdot I_{V,In,At} \cdot I_{V,GDF}$$

I_V der Verbauungsindex

$I_{V,IV}$ der Anpassungsfaktor für lineare Verbauung

$I_{V,hA}$ der Anpassungsfaktor für horizontale Auskragung

$I_{V,vA}$ der Anpassungsfaktor für vertikale Auskragung

$I_{V,In,At}$ der Anpassungsfaktor für Innenhöfe und Atrien

$I_{V,GDF}$ der Anpassungsfaktor für Glasdoppelfassaden

Der Anpassungsfaktor für lineare Verbauung errechnet sich nach:

$$I_{V,IV} = \cos(1,5 \cdot \gamma_{V,IV}) \quad \text{für} \quad \gamma_{V,IV} < 60^\circ$$

$$I_{V,IV} = 0 \quad \text{für} \quad \gamma_{V,IV} \geq 60^\circ$$

Der Anpassungsfaktor für horizontale Auskragungen ergibt sich aus:

$$I_{V,hA} = \cos(1,33 \cdot \gamma_{V,hA}) \quad \text{für} \quad \gamma_{V,hA} < 67,5^\circ$$

$$I_{V,hA} = 0 \quad \text{für} \quad \gamma_{V,hA} \geq 67,5^\circ$$

Den Anpassungsfaktor für vertikale Auskragungen berechnet man mit:

$$I_{V,vA} = 1 - \frac{\gamma_{V,vA}}{300^\circ}$$

Für Innenhöfe und Atrien gibt es viele verschiedene Formen und Geometrien. In diesem Punkt sind vierseitige Höfe (Atrien) betrachtet worden. Für zwei- bzw. dreiseitige Höfe können extra Berechnungen herangezogen werden.

Die folgende Formel dient der geometrischen Beschreibung des Hofes:

$$w_i = \frac{h_{In,At} \cdot (a_{In,At} + b_{In,At})}{2 \cdot a_{In,At} \cdot b_{In,At}}$$

w_i der Lichtschachtindex zur Bewertung der Innenhof- bzw. Atriengeometrie

In Abb. 4 sind Erläuterungen für die verschiedenen Anpassungsfaktoren dargestellt.

Die nächste Formel gibt den Anpassungsfaktor für Innenhöfe (Atrien) an:

$$I_{V,In,At} = 1 - 0,85 \cdot w_i \quad \text{bei Innenhöfen}$$

$$I_{V,In,At} = \tau_{V,In,At,D65} \cdot k_{V,In,At,1} \cdot k_{V,In,At,2} \cdot k_{V,In,At,3} \cdot (1 - 0,85 \cdot w_i) \quad \text{bei Atrien}$$

$$I_{V,In,At} = 0 \quad \text{für } w_i > 1,18$$

$\tau_{V,In,At,D65}$ der Lichttransmissionsgrad der Atriumverglasung für senkrechten Lichteinfall

$k_{V,In,At,1}$ der Minderungsfaktor für die Versprossung der Atriumfassade

$k_{V,In,At,2}$ der Minderungsfaktor für Verschmutzung der Atriumverglasung

$k_{V,In,At,3}$ der Minderungsfaktor für diffusen Lichteinfall

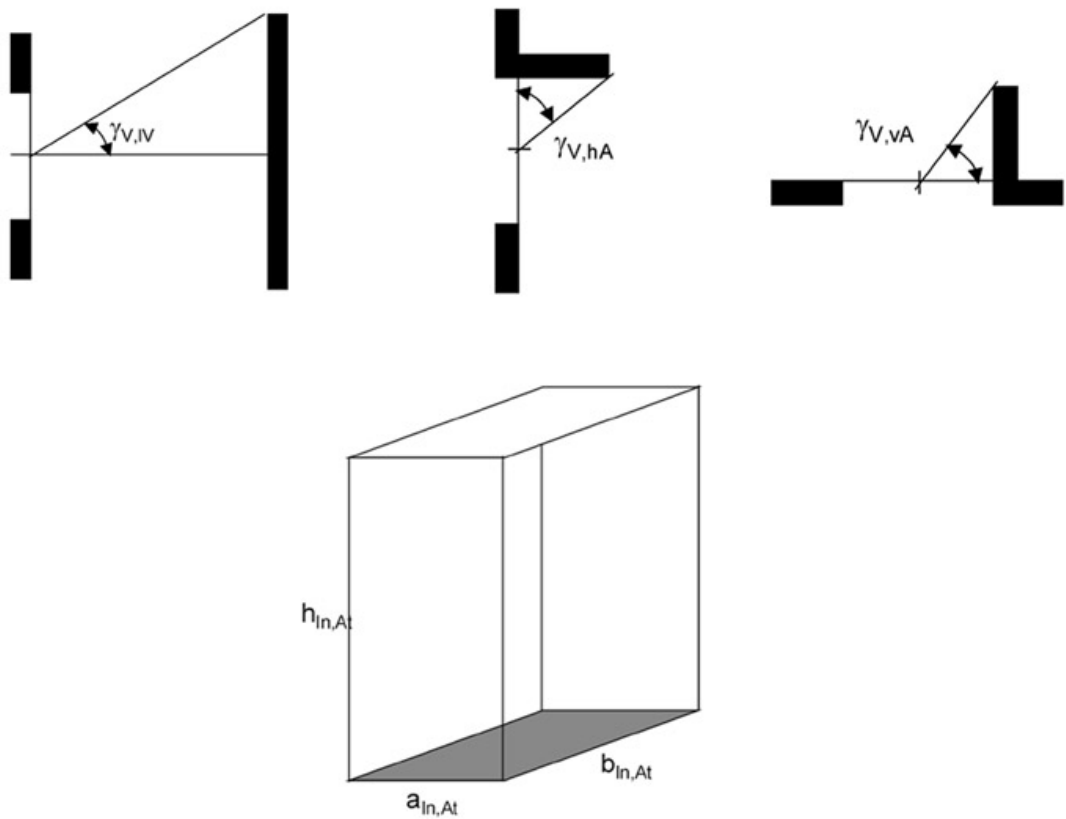


Abb. 4: Schemaschnitte zur Erläuterung der verschiedenen Einflüsse und die geometrischen Größen für den Innenhof; Quelle: [Din07]

Wenn man sich für eine Glasdoppelfassade entscheidet, so geht das auch in den Verbauungsfaktor ein. Es wird annähernd analog zum Atrium errechnet.

Die nächste Formel ergibt den Anpassungsfaktor für Glasdoppelfassaden:

$$I_{V,GDF} = \tau_{V,GDF,D65} \cdot k_{V,GDF,1} \cdot k_{V,GDF,2} \cdot k_{V,GDF,3}$$

$\tau_{V,GDF,D65}$	der Lichttransmissionsgrad der Verglasung für senkrechten Lichteinfall
$k_{V,GDF,1}$	der Minderungsfaktor für die Versprossung der Glasdoppelfassade
$k_{V,GDF,2}$	der Minderungsfaktor für Verschmutzung der Glasdoppelfassade
$k_{V,GDF,3}$	der Minderungsfaktor für nicht senkrechten Lichteinfall

Nach der Berechnung der Indizes (Transparenz, Raumtiefe, Verbauung) kann man näherungsweise den Tageslichtquotienten ermitteln:

$$D_{Rb} = (4,13 + 20 \cdot I_{Tr} - 1,36 \cdot I_{Rt}) \cdot I_V$$

Wenn der Raumtiefenindex verhältnismäßig größer als der Transparenzindex wird, kann es passieren, dass die Formel ein negatives Ergebnis auswirft. In diesen Fällen wird mit einem Tageslichtquotienten von 0 weitergerechnet.

Somit haben wir den Wert errechnet, der aussagekräftig für die Tageslichtversorgung im tageslichtversorgten Bereich ist. Dieser Quotient ist aber erst für die Rohbauöffnung maßgebend. Das heißt die Verglasung, der Rahmenanteil, der Sonnenschutz usw. sind noch nicht enthalten.

Tageslichtquotient für nicht aktivierten Sonnenschutz

Der Tageslichtquotient bei nicht aktiviertem Sonnenschutz errechnet sich über den effektiven Lichttransmissionsgrad. Dieser errechnet sich wieder annähernd gleich wie der Verbauungsindex bei Glasdoppelfassaden:

$$\tau_{eff,SNA} = \tau_{D65,SNA} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

$\tau_{eff,SNA}$	der effektive Lichttransmissionsgrad bei nicht aktiviertem Sonnenschutz
$\tau_{D65,SNA}$	der Lichttransmissionsgrad der Verglasung für senkrechten Lichteinfall
k_1	der Minderungsfaktor für Rahmen und Versprossung
k_2	der Minderungsfaktor für Verschmutzung
k_3	der Minderungsfaktor für nicht senkrechten Lichteinfall

Aufbauend auf den effektiven Lichttransmissionsgrad kann der Tageslichtquotient in Bezug auf das Fenster ermittelt werden:

$$D_{SNA} = \tau_{\text{eff},SNA} \cdot D_{RB}$$

D_{SNA} der Tageslichtquotient für nicht aktivierten Sonnenschutz

Tageslichtquotient für aktivierten Sonnenschutz

Hier wird der effektive Lichttransmissionsgrad aus einer Tabelle der [Din07] entnommen. Dieser Wert muss noch mit dem Minderungsfaktor für Versprossung k_1 multipliziert werden.

$$\tau_{\text{eff},SA} = \tau_{\text{eff},SA,\text{Tab}} \cdot k_1$$

$\tau_{\text{eff},SA}$ der effektive Lichttransmissionsgrad bei aktiviertem Sonnenschutz

k_1 der Minderungsfaktor für Rahmen und Versprossung

$$D_{SA} = \tau_{\text{eff},SA} \cdot D_{RB}$$

D_{SA} der Tageslichtquotient für nicht aktivierten Sonnenschutz

Umrechnung der Gesamtstrahlung

In den stundenbezogenen Klimadaten setzt sich die Strahlung aus drei verschiedenen Komponenten zusammen:

- Direkte Strahlung (abhängig vom Sonnenstand)
- Diffuse Strahlung (in der Atmosphäre gestreute Strahlung)
- Reflektierte Strahlung (durch Reflexion von Gebäuden, Erdoberfläche u.a.)

Durch die Summe dieser drei Parameter wird die Gesamtstrahlung bestimmt. Die Einheit der Gesamtstrahlung ist Watt pro Quadratmeter [W/m^2]. Um diese Freilandstrahlung auf die Einheit Lux [lx] umzurechnen, multipliziert man diese mit einer Konstante:

$$E_{F,\text{Ges}} = 109 \cdot S_{\text{Ges}} \text{ [lx]}$$

$E_{F,Ges}$ die gesamte Beleuchtungsstärke aus der Freilandstrahlung [lx]

S_{Ges} die gesamte Gesamtstrahlung im Freien [W/m²]

Beleuchtungsstärke im tageslichtversorgten Bereich

Die Beleuchtungsstärke (auf der Höhe der Nutzebene) im tageslichtversorgten Bereich ergibt sich, in Abhängigkeit des Sonnenschutzes, zu:

$$E_{TL} = E_{F,Ges} \cdot D_{SNA} \text{ [lx]} \quad \text{bzw.} \quad E_{TL} = E_{F,Ges} \cdot D_{SA} \text{ [lx]}$$

E_{TL} die Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene durch Tageslicht

Aktivierung des Sonnenschutzes

Die Aktivierung des Sonnenschutzes erfolgt über zwei Schwellen. Die erste Schwelle beträgt 50 W/m² für direkte Sonneneinstrahlung. Die zweite Schwelle liegt bei 200 W/m² für die Gesamtstrahlung.

Die Schwellenwerte für die Aktivierung sind aus [Fou07] entnommen.

Der manuelle Sonnenschutz wird so gerechnet, dass er bei Anwesenheit und Erreichen der Schwellenwerte aktiviert wird. Es ist keine Wahrscheinlichkeit berücksichtigt, dass auf die De- bzw. Aktivierung des Sonnenschutzes vergessen wird. Der Unterschied zwischen dem automatischen Sonnenschutz und dem manuellen Sonnenschutz liegt darin, dass der Manuelle nur betätigt wird, wenn Personen anwesend sind. Das heißt grundsätzlich, dass der automatische Sonnenschutz auch am Wochenende einen erhöhten Wärmeeintrag verhindert. Der automatische Sonnenschutz wird mit Luxmessern geregelt.

2.2.7 Nutzenergie für Beleuchtung

Die Nutzenergie für Beleuchtung kann nun mit den vorher bestimmten Faktoren berechnet werden.

Nutzenergie im tageslichtversorgten Bereich

Wenn die Beleuchtungsstärke E_{TL} kleiner ist als der geforderte Wert der Beleuchtungsstärke E_m , so wird für den tageslichtversorgten Bereich die Leistung für eine Stunde wie folgt errechnet:

$$Q = p \cdot A_{TL} \text{ [W]}$$

p die spezifische elektrische Bewertungsleistung [W/(m²·lx)]

A_{TL} die Fläche, die mit Tageslicht versorgt ist [m²]

Bei einer Verwendung eines automatischen Dimmers werden keine Verluste mit eingerechnet. Es wird das Verhältnis des Tageslichts zur erwarteten Beleuchtungsstärke abgezogen und mit der spezifischen elektrischen Bewertungsleistung und der Fläche des Tageslichtbereichs multipliziert:

$$Q = \left(1 - \frac{E_{TL}}{E_m}\right) \cdot p \cdot A_{TL} \text{ [W]}$$

E_{TL} die Beleuchtungsstärke auf der Nutzebene durch Tageslicht

E_m der Wartungswert der Beleuchtungsstärke

Nutzenergie im nicht tageslichtversorgten Bereich

Im nicht tageslichtversorgten Bereich wird die Leistung für eine Stunde wie folgt errechnet:

$$Q = p \cdot A_{KTL} \text{ [W]}$$

p die spezifische elektrische Bewertungsleistung [W/(m²·lx)]

A_{KTL} die Fläche die nicht mit Tageslicht versorgt ist [m²]

Gesamte Nutzenergie für Beleuchtung

Durch die Aufsummierung über die 8760 Stunden im Jahr ergibt sich die Endenergie für Beleuchtung zu:

$$Q_{l,b,n} = \sum_1^{8760} [p \cdot (A_{TL} + A_{KTL})] \text{ [kWh/a]}$$

p	die spezifische elektrische Bewertungsleistung [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{lx})$]
A_{TL}	die Fläche, die mit Tageslicht versorgt ist [m^2]
A_{KTL}	die Fläche, die nicht mit Tageslicht versorgt ist [m^2]

2.3 Nutzungsabbildung

Bei Nichtwohngebäuden haben die Belegungsdichte und die Anzahl der anwesenden Personen einen sehr großen Einfluss auf die Primärenergie. Mit der Anzahl der anwesenden Personen steigt die Primärenergie für:

- Kühlung
- Befeuchtung
- Entfeuchtung
- Beleuchtung
- Geräte
- Lüftung (wenn bedarfsgerecht geregelt)

Aufgrund der höheren inneren Gewinne sinkt die Primärenergie nur für die Heizung. Um den gesamten Primärenergiebedarf genau berechnen zu können, ist es daher sehr wichtig, wie viele Personen wann anwesend sind.

Daher wurde, mittels einer Zufallszahl, stundenweise berechnet, wie viele Personen im Raum anwesend sind. Dafür muss die generelle Anwesenheit bekannt sein. In der vorliegenden Arbeit sind die Personen zu 70% anwesend. Mittels dem, von Microsoft Excel gestützten Programm, Visual-Basic konnte diese Aufgabe gelöst werden.

Über die Belegungsdichte wird die Anzahl der maximal anwesenden Personen n ausgerechnet. Nun wird von 1 bis n mal eine Zufallszahl, welche einen Wert zwischen 0 und 1 aufweist, kreiert und diese mit der prozentuellen Anwesenheit verglichen. Bei 70% Anwesenheit wird das so ausgelegt: Wenn die Zufallszahl kleiner als 0,7 ist, ist diese Person anwesend, und wenn die Zufallszahl größer als 0,7 ist, ist diese Person nicht anwesend. Dieses Verfahren wird n -mal wiederholt und so kennt man die anwesenden Nutzer pro Stunde und Raum. Das ist notwendig, um bestmöglich das Nutzerverhalten zu simulieren und gute Eingangswerte für die Haustechnik zu erhalten.

Um nicht zu einseitige Ergebnisse zu erhalten, wurden jeweils zehn Berechnungen durchgeführt und davon der Mittelwert und die dazugehörige Standardabweichung errechnet. In der folgenden Abbildung kann man die Schwankung der einzelnen Berechnungsdurchgänge gut erkennen.

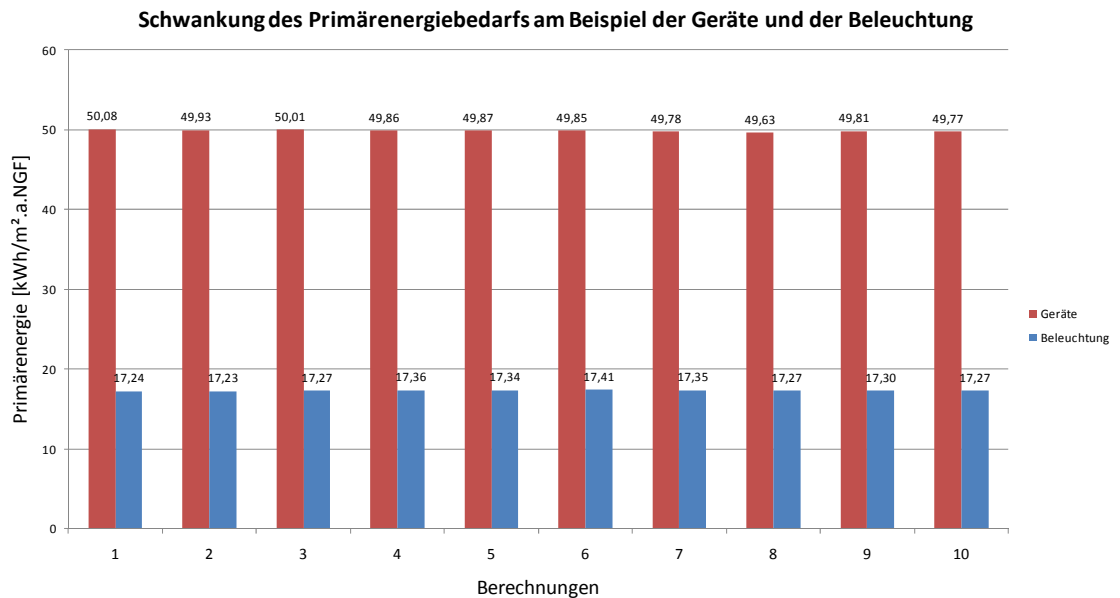


Abb. 5: Schwankung des Primärenergiebedarfs am Beispiel der Geräte und der Beleuchtung bei 10 Berechnungen aufgrund der unterschiedlichen Anwesenheit der Personen.

Die Ausgangswerte waren 70 % Anwesenheit zwischen 7 und 18 Uhr und ein Gerät mit einer Leistung von 150 W. Die Standardabweichung beträgt bei den Geräten 0,127 kWh/m².a.NGF und bei der Beleuchtung 0,057 kWh/m².a.NGF. Der Mittelwert ergibt bei den Geräten 49,859 kWh/m².a.NGF und bei der Beleuchtung 17,304 kWh/m².a.NGF.

Diese Werte wurden mit den folgenden Formeln berechnet:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

σ die Standardabweichung

$\bar{x}$ der Mittelwert der Stichproben

n der Stichprobenumfang

x_i die Merkmalausprägungen am i-ten Element der Stichprobe

2.4 Primärenergiefaktoren

Die Primärenergiefaktoren für die Energiebereitstellung enthalten sämtliche Faktoren der Primärenergieerzeugung mit den Vorketten (einschließlich der Materialvorleistungen und Hilfsenergien) für die Förderung, Aufbereitung, Umwandlung, den Transport und die Verteilung der betrachteten Energieträger. Die Ermittlung der Faktoren erfolgt durch Modellierung der entsprechenden Prozessketten. [Din07]

Die verschiedenen Normungs- und andere Institute sind sich noch nicht einig, wie man diese Faktoren genau berechnet und welche Parameter in die Faktoren einfließen. Für Österreich gibt es leider noch keine Werte aus Normen, darum wurden die Primärenergiefaktoren der CEPHEUS-Projektinformation Nr.22 entnommen. Diese wurden laut [Cep01] auf Grundlage von Ergebnissen aus GEMIS 4.0 ermittelt.

- Gas: 1,15
- Strom: 2,50

Mit diesen Werten wurde die gesamte Primärenergie der vorliegenden Arbeit berechnet.

2.5 Klima

Als Klimaeingangsdaten wurde das Testreferenzjahr „Wien Innere Stadt“ nach EN ISO 15927 Teil 4 [Din05] verwendet. Dieser Datensatz beinhaltet „typische“ stundenbezogene Wetterdaten und ist für das Simulieren von Gebäuden hinsichtlich der Energieberechnungen geeignet. Um sommerliche Überwärmung oder die Heizlast auszurechnen werden wieder andere Klimadatensätze verwendet.

3 Variantenbeschreibung

Es wurden sechs Bauformen zu je 35 Varianten, also insgesamt 210 Varianten berechnet.

3.1 Gebäudegeometrien

Das Chemiehochhaus der Technischen Universität Wien am Getreidemarkt ist das Gebäude, von dem ausgegangen wurde. Hierbei handelt es sich um einen zehnstöckigen Bürokomplex mit sehr großen Raumtiefen und großen Verkehrs- bzw. Lager- und sonstigen Flächen im Mittelbereich. Dieser Bereich wird in den folgenden Beschreibungen Mittelzone genannt. Der untere Bürobereich ist südöstlich orientiert.



Abb. 6: Regelgeschoß Chemiehochhaus TU Wien; Abbildung der verschiedenen Nutzungsflächen

Um die Berechnung zu vereinfachen wurde das Gebäude auf drei Zonen rationalisiert und die Gebäudeaußenkanten geebnet. Außerdem wurde die Orientierung des Komplexes so ausgerichtet, dass die unteren Büros Richtung Süden blicken, es wurde also eine Süd-Nord-Orientierung des Gebäudes angenommen. Die nach Süden ausgerichteten Büros wurden als Gruppenbüros, die nach Norden orientierten als Großraumbüros, behandelt. (siehe Variante 1 Abb. 7)

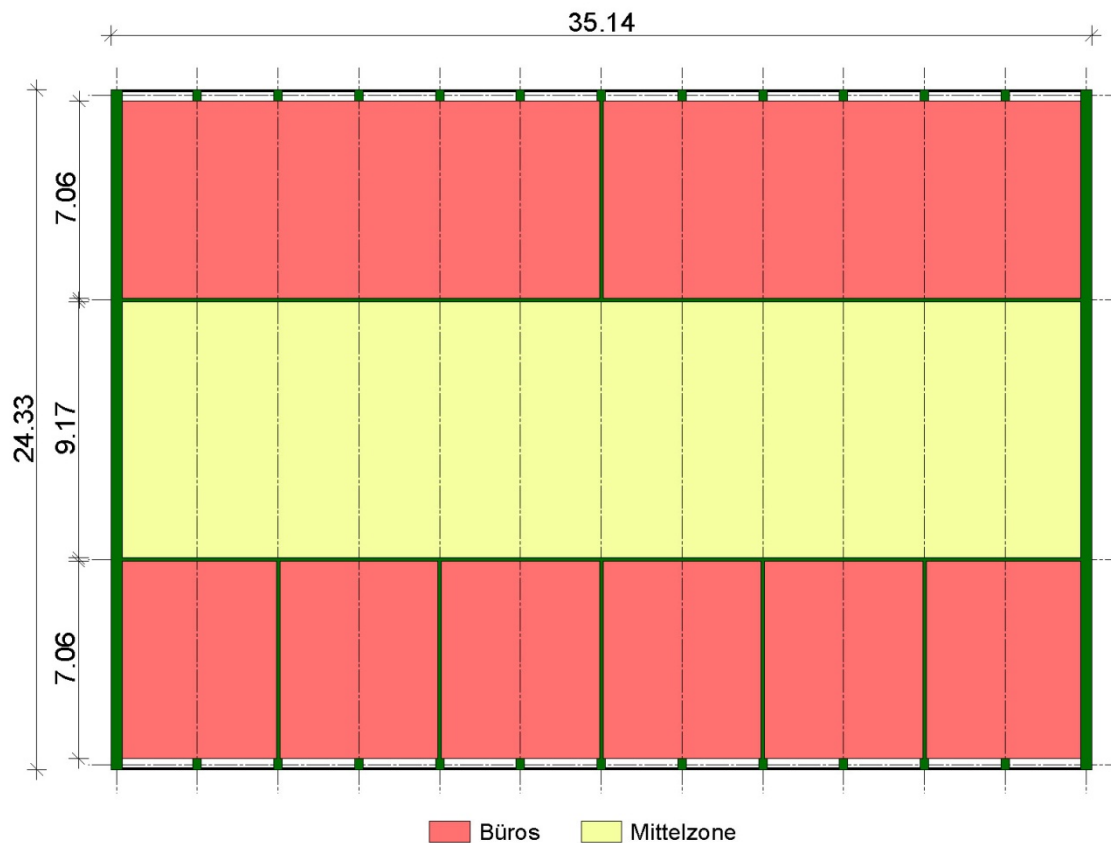


Abb. 7: Variante 1: Vereinfachtes Regelgeschoß Chemiehochhaus TU Wien

Um Aussagen hinsichtlich der idealen Raumtiefe zu treffen, wurden noch fünf weitere Varianten untersucht. Die Bauform 2 besitzt mit acht Metern die größte Büroraumtiefe. Nun wurde von einer Bauform zur Nächsten die Raumtiefe um einen Meter abgemindert. Die letzte und sechste Bauform hat eine Raumtiefe von vier Metern. Daraus ergeben sich insgesamt sechs verschiedenen Bauformen. Die Nettogeschoßfläche der Büroflächen wurde vom Chemiehochhaus übernommen, nur die Mittelzone, sprich Lager, Nassräume, Verkehrsflächen und Aussparungen, wurde verkleinert. Dies war notwendig, weil die Mittelzone im Chemiehochhaus, wegen der

Auslegung für Labors, überdurchschnittlich groß ist. Der Anteil Büro zur Nettogeschoßfläche NGF beträgt beim Chemiehochhaus 60,4 % und bei den anderen Varianten 72,5%. In der folgenden Tabelle sind die wesentlichen Parameter abgebildet:

Tab. 4: Zusammenstellung der Nutzflächen aller Varianten

	Raumtiefe Büro [m]	Raumtiefe Mittelzone [m]	NF Büro [m ²]	NF Mittelzone [m ²]
Variante 1- Chemie:	7,06	9,17	480,00	315,00
Variante 2:	8,00	6,00	480,00	182,00
Variante 3:	7,00	5,75	480,00	182,00
Variante 4:	6,00	4,50	480,00	182,00
Variante 5:	5,00	3,75	480,00	182,00
Variante 6:	4,00	3,00	480,00	182,00

Um die Nutzflächen NF gleich zu lassen und die Raumtiefe zu verringern, war es notwendig, das Gebäude immer länger zu gestalten.

In den Gruppenbüros befinden sich, während der Arbeitszeit, abhängig von der Bauform, maximal zwischen 2 und 5 Personen. In den Großraumbüros halten sich, durch die gleich bleibende Fläche, immer 24 Personen auf. Gesamt ergibt das maximal 48 Personen pro Geschoß. Die 6 verschiedenen Varianten sind als Grundrisse in den Abb. 7 bis Abb.12 dargestellt.

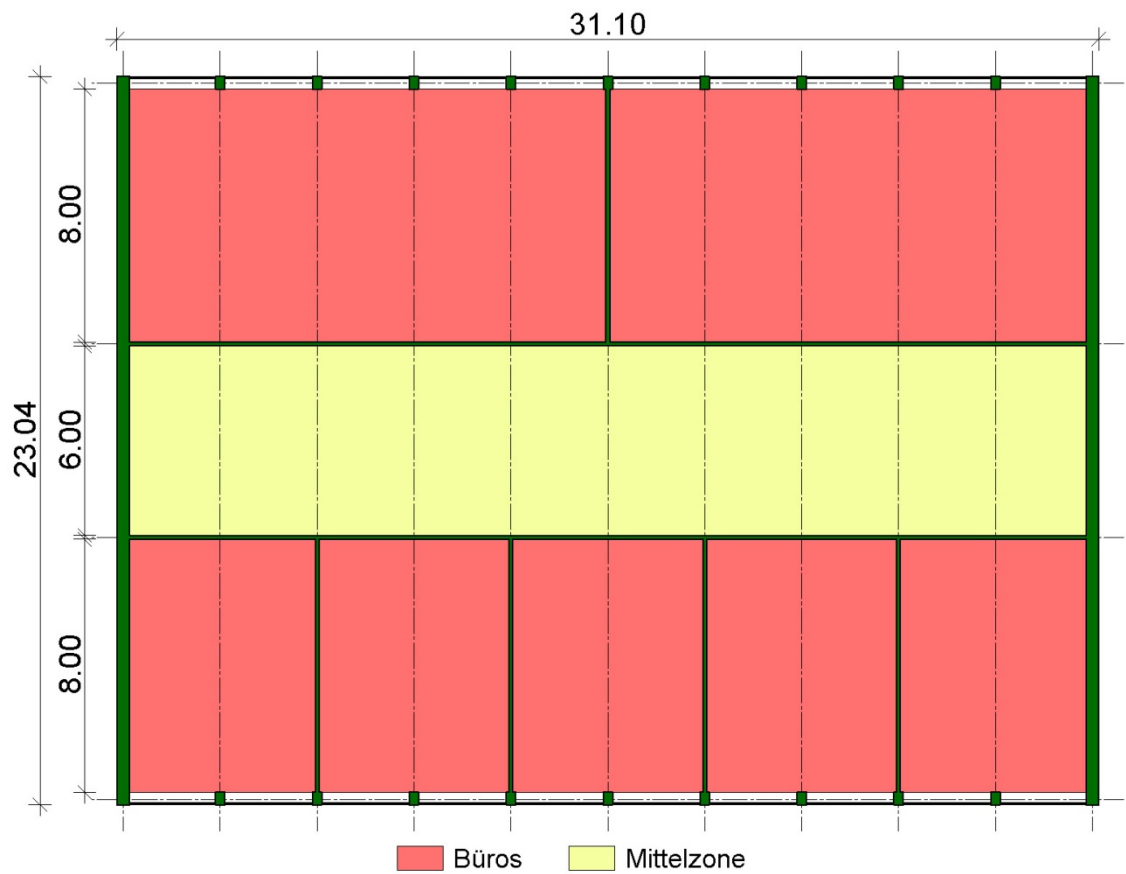


Abb. 8: Variante 2 – 8 6 8

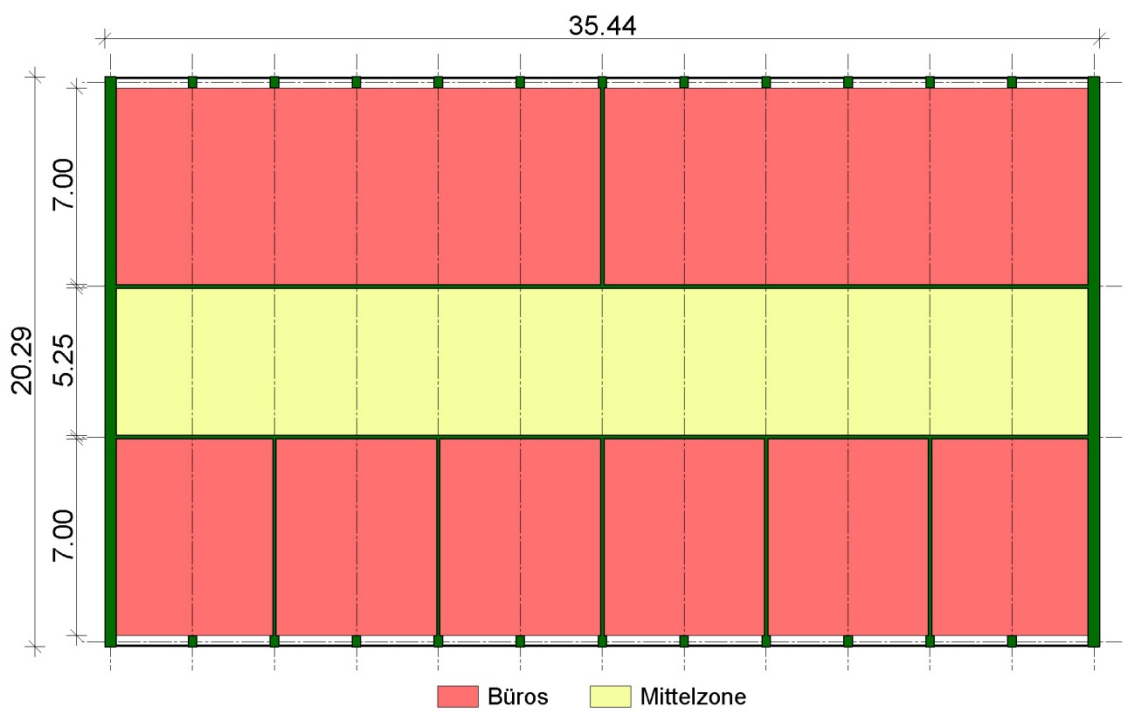


Abb. 9: Variante 3 – 7 5,25 7

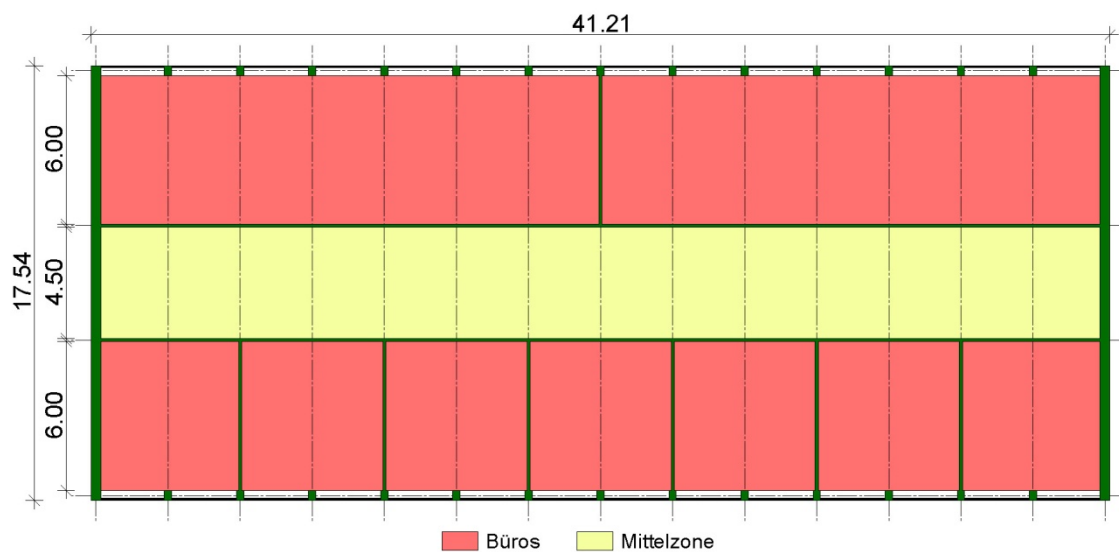


Abb. 10: Variante 4 – 6 4,5 6

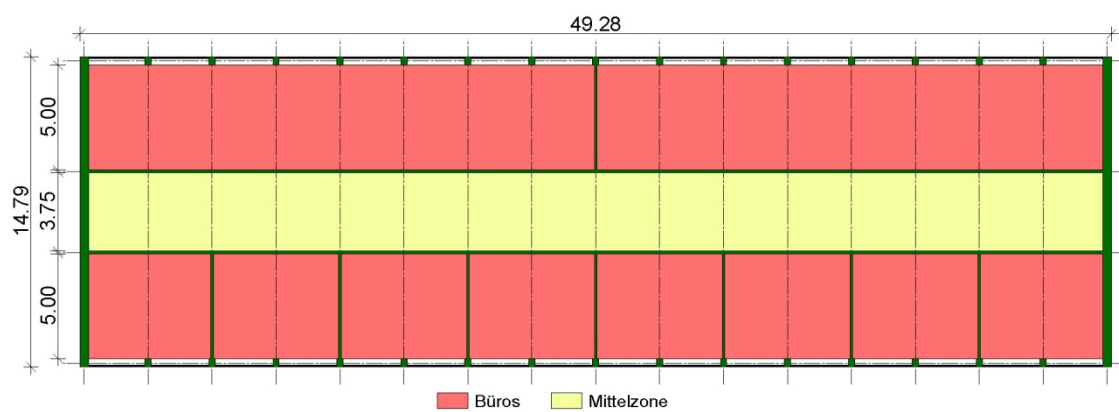


Abb. 11: Variante 5 – 5 3,75 5

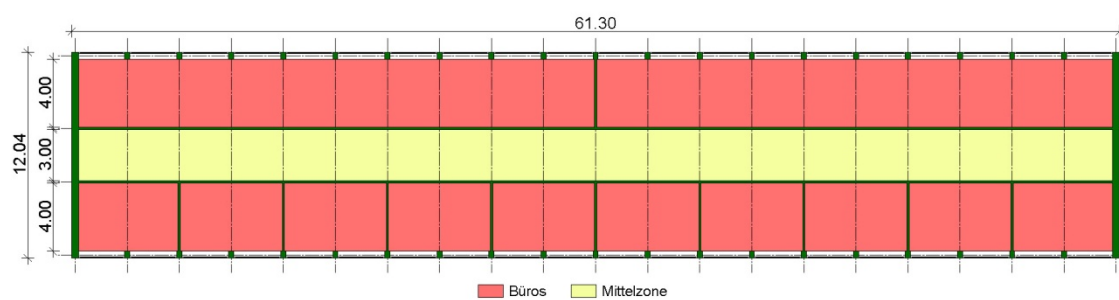


Abb. 12: Variante 6 – 4 3 4

3.2 Weitere Variationen

Für alle Bauformen wurden die gleichen Annahmen getroffen und dieselben Varianten durchgespielt. In den folgenden Punkten werden alle Variationen erklärt und die Eingangsdaten beschrieben. Jede neue Variante baut auf der vorhergehenden auf, das heißt, dass alle Parameter mitgenommen werden. Dies gilt nicht für die Variationen des Sonnenschutzes, der Fassade, der Büroart, der Orientierung und der Belegung. Bei der Variation des Sonnenschutzes, der Fassade, der Orientierung und der Büroart wurde jeweils die beste Variante ausgewählt und mit dieser weitergerechnet. Interessehalber wurde bei der Belegungserhöhung untersucht, welchen Einfluss diese auf den Primärenergiebedarf hat.

3.2.1 Variante 1: Annahmen Bestand

Gebäudedaten:

Außengeometrie:	
Anzahl Geschoße:	10 Geschoße
Geschoßhöhe:	4m
Abmessungen:	abhängig von der Bauform (siehe 3.1)

Orientierung:	Süd-Nord
---------------	----------

Opake Bauteile:	
Flachdach:	$U = 0,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
Außenwand:	$U = 0,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Kühlung:	Keine Kühlung
----------	---------------

Lüftung:	Fensterlüftung
----------	----------------

Sommernachtlüftung:	Keine Sommernachtlüftung
---------------------	--------------------------

Luftdichtheit der Gebäudehülle:	$n_{50} = 4,0 \text{ 1/h}$
---------------------------------	----------------------------

Bauweise: Spezifische Kapazität der Bauweise	$f_{BW} = 20 \text{ Wh/Km}^3$
--	-------------------------------

Raumtemperaturen:	
Heizen mit einem modernen Gasbrennwertkessel auf	$T_i = 22^\circ\text{C}$
Kühlen mit einer Kompressorkältemaschine auf	$T_i = 26^\circ\text{C}$

Beleuchtung Büroräume:	
Wartungswert der Beleuchtungsstärke:	$E_m = 500 \text{ lx}$
Beleuchtungsart:	direkt
Vorschaltgerät:	EVG
Lampenart:	Leuchtstofflampen stabförmig
Kontrollart:	selbstausschaltend; kein automatischer Dimmer
Sehaufgabe:	
Fläche der Sehaufgabe pro Person:	$A_S = 2,0 \text{ m}^2$
Wartungswert der Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich:	$E_u = 333 \text{ lx}$

Beleuchtung Mittelzone:	
Wartungswert der Beleuchtungsstärke:	$E_m = 100 \text{ lx}$
Beleuchtungsart:	direkt
Vorschaltgerät:	EVG
Lampenart:	Leuchtstofflampen stabförmig
Kontrollart:	selbstausschaltend; kein automatischer Dimmer

Raum- und Fenstergeometrie Büroräume:	
Nettoraumhöhe:	$h_R = 3,0 \text{ m}$
Geschoßhöhe:	$h_G = 4,0 \text{ m}$
Höhe Nutzebene:	$h_{Ne} = 0,8 \text{ m}$
Pendelhöhe:	$h_{Pe} = 3,0 \text{ m}$
Höhe Parapett:	$h_{Parapett} = 1,0 \text{ m}$
Wanddicke Außenwand:	$b_{AW} = 0,4 \text{ m}$
Wanddicke Innenwand:	$b_{IW} = 0,12 \text{ m}$

Raumgeometrie Mittelzone:	
Nettoraumhöhe:	$h_R = 3,0 \text{ m}$
Geschoßhöhe:	$h_G = 4,0 \text{ m}$
Höhe Nutzebene:	$h_{Ne} = 0,0 \text{ m}$
Pendelhöhe:	$h_{Pe} = 3,0 \text{ m}$

Verbauung:	Keine Verbauung berücksichtigt
------------	--------------------------------

Fenster:	Wärmeschutzverglasung zweifach
Wärmedurchgangskoeffizient:	$U=1,4 \text{ W/m}^2$
Geamtenergiedurchlassgrad:	$g=0,67$
Lichttransmissionsgrad:	$\tau_e=0,58$
Erhöhung des U-Wertes vom Glas um 30% um Rahmen und Abstandhalter zu berücksichtigen:	$U_{\text{Ges}}=1,82 \text{ W/m}^2$
Rahmenanteil:	$F_F = 0,10$
Minderungsfaktor für Verschattung:	$F_S = 0,90$
Minderungsfaktor für Verschmutzung (Solare Gewinne):	$F_V = 0,98$
Minderungsfaktor für Versprossung:	$k_1 = 0,90$
Minderungsfaktor für Verschmutzung (Beleuchtung):	$k_2 = 0,90$
Minderungsfaktor für diffusen Lichteinfall:	$k_3 = 0,85$

Sonnenschutz:	
Außenjalousie 45°-Stellung dunkelgrau	
Schwelle für die Aktivierung des Sonnenschutzes bei einer Gesamtbestrahlungsstärke:	200 W/m^2
Schwelle für die Aktivierung des Sonnenschutzes bei einer Direktstrahlung auf die Fassade:	50 W/m^2
Steuerung des Sonnenschutzes:	Manuell
Gesamtenergiedurchlassgrad nach [Din07]	$g_{\text{tot}} = 0,06$
Effektiver Lichttransmissionsgrad nach [Din07]	$\tau_{\text{eff,SA}} = 0,036$

Nutzung:	Büro
Belegung: Flächenbedarf der ersten Person:	10 m^2
Flächenbedarf jeder weiteren Person:	10 m^2
Ergibt 48 Personen pro Geschoß.	
Relative Nutzung:	70%
Arbeitszeit:	Montag bis Freitag 7.00 bis 18.00 Uhr

Innere Lasten:	
Innere Lasten pro Person:	70 W/Person
Innere Lasten pro Arbeitsplatz:	$150 \text{ W/Arbeitsplatz}$

3.2.2 Opake Bauteile

Verbesserung des U-Wertes der Gebäudehülle.

Flachdach:	$U = 0,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
Außenwand:	$U = 0,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

3.2.3 Fenster

Tausch der Fenster.

Fenster:	Wärmeschutzverglasung dreifach
Wärmedurchgangskoeffizient:	$U=0,6 \text{ W/m}^2$
Geamtenergiedurchlassgrad:	$g=0,50$
Lichttransmissionsgrad:	$\tau_e=0,39$
Erhöhung des U-Wertes vom Glas um 30% um Rahmen und Abstandhalter zu berücksichtigen:	$U_{\text{Ges}}=0,78 \text{ W/m}^2$

3.2.4 Luftdichtheit

Im Zuge der oben genannten Maßnahmen wird auch die Luftdichtheit verbessert.

Luftdichtheit der Gebäudehülle:	$n_{50} = 0,6 \text{ 1/h}$
---------------------------------	----------------------------

3.2.5 Sommernachtlüftung im Kern

Es werden, wenn die Temperatur Außen kälter ist als Innen, in der Nacht automatisch die Fenster geöffnet, welche einen Volumenstrom vom Erdgeschoß bis zum Dach im Kern ermöglichen.

Sommernachtlüftung im Kern:	$n = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$
-----------------------------	-----------------------------------

3.2.6 Sommernachtlüftung in den Aufenthaltsräumen

Es werden, wenn die Temperatur Außen kälter ist als Innen, in der Nacht automatisch die Fenster geöffnet, welche einen Volumenstrom in den Aufenthaltsräumen ermöglichen. Hier wurde mit einem 1,5-fachen Luftwechsel gerechnet.

Sommernachtlüftung in Büros:	$n = 1,5 \text{ 1/h}$
------------------------------	-----------------------

3.2.7 Lüftungsanlage

Die Lüftungsanlage läuft zu den Betriebszeiten zwischen 7 und 18 Uhr.

Lüftung:	Zeitgesteuerte Lüftung
Mindestaußenluftvolumenstrom pro Person:	30 m ³ /h.Person
Mindestaußenluftvolumenstrom pro Raum (Keine Personen anwesend):	10 m ³ /h.Raum

3.2.8 Wärmerückgewinnung

Installierung einer Wärmerückgewinnung mit einem Wirkungsgrad von 70%.

Wärmerückgewinnung:	$\eta = 70 \%$
---------------------	----------------

3.2.9 Luftkonditionierung im Sommer

Die Luft wird auf 18°C gekühlt und dann in das Gebäude geführt.

Luftkonditionierung Sommer:	18 °C
-----------------------------	-------

3.2.10 Luftkonditionierung im Winter

Die Luft wird auf 20°C erwärmt und dann in das Gebäude geführt.

Luftkonditionierung Winter:	20 °C
-----------------------------	-------

3.2.11 Kühlung in Zone

Alle Aufenthaltsräume werden auf maximal 26°C gekühlt. Diese Aufgabe wird entweder mit Bauteilaktivierung, Fan Coils oder Kühldecken bewerkstelligt. Die Jahresarbeitszahl der Kältemaschine liegt übers Jahr bei 3.

Kühlung in Zone:	auf 26 °C
------------------	-----------

3.2.12 Entfeuchter

Die Luft wird auf 9 g/kg entfeuchtet. Diese Maßnahme ist im Sommer wichtig.

Entfeuchtung:	auf 9 g/kg
---------------	------------

3.2.13 Befeuchter

Die Luft wird auf 6 g/kg befeuchtet. Befeuchtet wird Großteils im Winter.

Befeuchtung:	auf 6 g/kg
--------------	------------

3.2.14 Feuchterückgewinnung

Hier werden hygroskopische Feuchterückgewinner, mit einem Wirkungsgrad von 40%, verwendet.

Feuchterückgewinnung:	$\eta = 40\%$
-----------------------	---------------

3.2.15 Bedarfsgesteuerte Lüftung

Die Lüftung arbeitet mit CO₂-Messern und passt den Luftvolumenstrom an die anwesenden Personen an. Mit dieser Maßnahme kann der Luftvolumenstrom verringert, und die Lüftungsanlage optimiert werden.

Lüftung:	Bedarfsgesteuerte Lüftung
Mindestaußenluftvolumenstrom pro Person:	30 m ³ /h.Person
Mindestaußenluftvolumenstrom pro Raum (Keine Personen anwesend):	10 m ³ /h.Raum

3.2.16 Automatische Dimmer

Die Beleuchtung wird mit automatischen Dimmern geschaltet. Dies bedeutet, dass das Tageslicht ideal ausgenutzt wird. Dimmverluste wurden in diesen Berechnungen nicht berücksichtigt.

Automatische Dimmer

3.2.17 Automatischer Sonnenschutz

Der Sonnenschutz wurde, beim Ausgangsobjekt, nur verwendet, wenn Personen anwesend waren. Die automatischen Luxmesser werden an der Fassade installiert und regeln den Sonnenschutz ab gewissen Schwellenwerten. Diese Maßnahme verhindert einen erhöhten solaren Eintrag am Wochenende.

Sonnenschutz:	
Außenjalousie 45°-Stellung dunkelgrau	
Schwelle für die Aktivierung des Sonnenschutzes bei einer Gesamtbestrahlungsstärke:	200 W/m ²
Schwelle für die Aktivierung des Sonnenschutzes bei einer Direktstrahlung auf die Fassade:	50 W/m ²
Steuerung des Sonnenschutzes:	Automatisch mit Luxmessern

3.2.18 Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich

Die Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich muss laut [Din03] 333 lx betragen. Auf den Gängen wird mit einer Beleuchtungsstärke von 100 lx gerechnet. Daher wird in dieser Variante die Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich auch auf die 100 lx gesenkt.

Beleuchtung Büroräume:	
Sehaufgabe:	
Fläche der Sehaufgabe pro Person:	$A_S = 2,0 \text{ m}^2$
Wartungswert der Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich:	$E_u = 100 \text{ lx}$

3.2.19 Variation des Sonnenschutzes

Der Sonnenschutz hat im Bürobau einen sehr hohen Stellenwert. Erstens soll er vor Blendung schützen und außerdem helfen, dass das Gebäude in einer Hitzeperiode nicht überhitzt. Darum sind die unten angeführten Innenverschattungen nur zur Veranschaulichung berechnet. Die Kunst beim Sonnenschutz ist es, die Fenster zu beschatten, aber trotzdem so viel Licht in das Gebäude zu lassen, dass keine Blendung entsteht, aber nicht unbedingt das Kunstlicht verwendet werden muss.

Außenjalousie 45°-Stellung dunkelgrau

Außenjalousie 45°-Stellung dunkelgrau	
Gesamtenergiedurchlassgrad nach [Din07]	$g_{\text{tot}} = 0,03$
Effektiver Lichttransmissionsgrad nach [Din07]	$\tau_{\text{eff,SA}} = 0,027$

Kein Sonnenschutz

Kein Sonnenschutz	
Gesamtenergiedurchlassgrad nach [Din07]	$g_{\text{tot}} = 0,50$
Effektiver Lichttransmissionsgrad nach [Din07]	$\tau_{\text{eff,SA}} = 0,475$

Außenjalousie geschlossen dunkelgrau

Außenjalousie geschlossen dunkelgrau	
Gesamtenergiedurchlassgrad nach [Din07]	$g_{\text{tot}} = 0,03$
Effektiver Lichttransmissionsgrad nach [Din07]	$\tau_{\text{eff,SA}} = 0,00$

Außenjalousie 45°-Stellung weiß

Außenjalousie 45°-Stellung weiß	
Gesamtenergiedurchlassgrad nach [Din07]	$g_{\text{tot}} = 0,07$
Effektiver Lichttransmissionsgrad nach [Din07]	$\tau_{\text{eff,SA}} = 0,153$

Innenjalousie geschlossen grau

Innenjalousie geschlossen grau	
Gesamtenergiedurchlassgrad nach [Din07]	$g_{\text{tot}} = 0,37$
Effektiver Lichttransmissionsgrad nach [Din07]	$\tau_{\text{eff,SA}} = 0,009$

Innenliegende textile Rollos grau

Innenliegende textile Rollos grau	
Gesamtenergiedurchlassgrad nach [Din07]	$g_{\text{tot}} = 0,40$
Effektiver Lichttransmissionsgrad nach [Din07]	$\tau_{\text{eff,SA}} = 0,189$

3.2.20 Variation der Fassade

Es wurden sechs verschiedene Fassaden untersucht. Das Bestandsgebäude der TU Wien ist ein Skelettbau mit Sturz. Die weiteren Fassadentypen werden in den folgenden Punkten näher erklärt. Die Fensterbreiten liegen, abhängig von der Bauform, zwischen 2,60 und 2,77 m. Noch einmal werden hier grundlegende Gebäudeabmessungen dargestellt:

Gebäudeabmessungen	
Nettoraumhöhe:	$h_R = 3,0 \text{ m}$
Geschoßhöhe:	$h_G = 4,0 \text{ m}$
Höhe Nutzebene:	$h_{Ne} = 0,8 \text{ m}$

Skelettbau mit Sturz

Dies ist die Fassade, mit der auch die bisherigen Varianten gerechnet wurden. Die Konstruktion zwischen den Fenstern beträgt jeweils 30 cm.

Höhe Parapett:	$h_{\text{Parapett}} = 1,0 \text{ m}$
Höhe Sturz:	$h_{\text{Sturz}} = 0,5 \text{ m}$

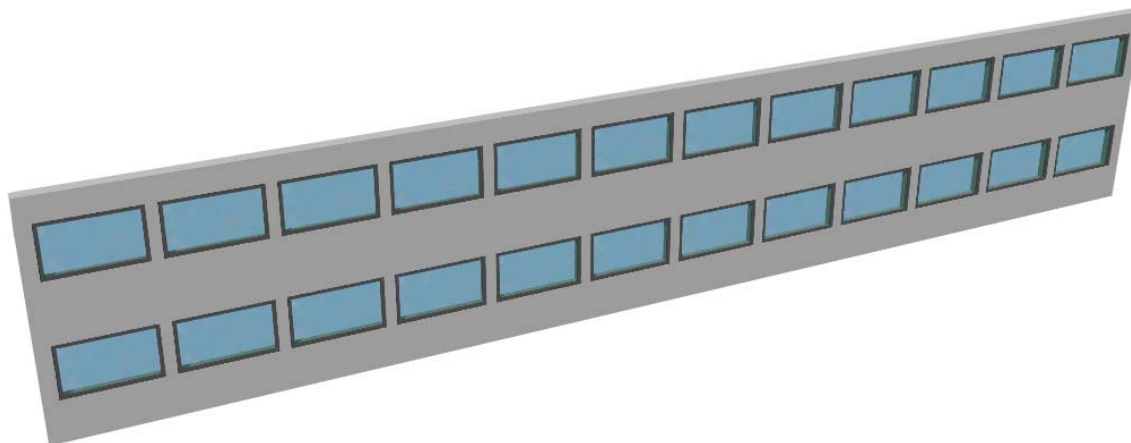


Abb. 13: Skelettbau mit Sturz

Ganzglasfassade

Die Konstruktion zwischen den Fenstern beträgt jeweils 30 cm.

Höhe Parapett:	$h_{\text{Parapett}} = 0,0 \text{ m}$
Höhe Sturz:	$h_{\text{Sturz}} = 0,0 \text{ m}$

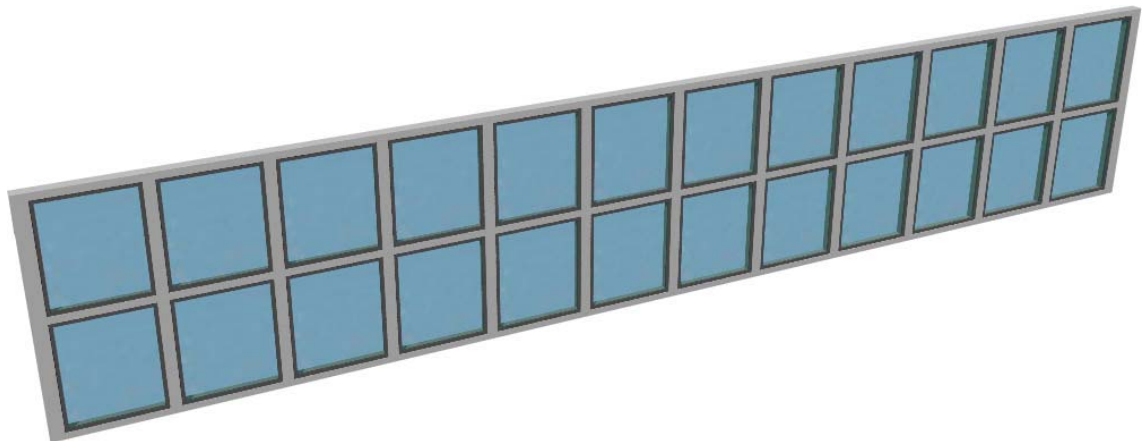


Abb. 14: Ganzglasfassade

Skelettbau ohne Sturz

Die Konstruktion zwischen den Fenstern beträgt jeweils 30 cm.

Höhe Parapett:	$h_{\text{Parapett}} = 1,0 \text{ m}$
Höhe Sturz:	$h_{\text{Sturz}} = 0,0 \text{ m}$

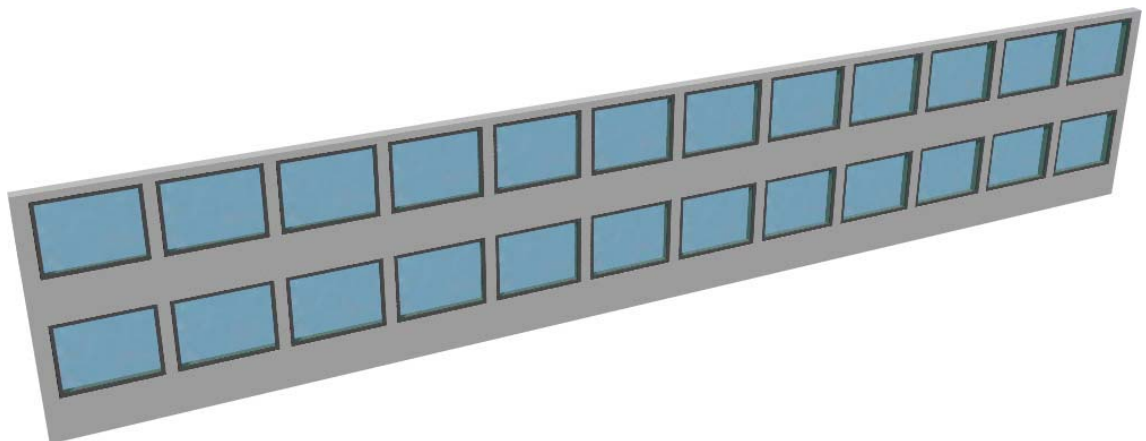


Abb. 15: Skelettbau ohne Sturz

Lochfassade mit Sturz

Die Konstruktion zwischen den Fenstern beträgt, abhängig von der Bauform, zwischen 3,19 und 3,37 m. Die Fensteranzahl wurde gegenüber der vorher genannten Anzahl halbiert.

Höhe Parapett:	$h_{\text{Parapett}} = 1,0 \text{ m}$
Höhe Sturz:	$h_{\text{Sturz}} = 0,5 \text{ m}$

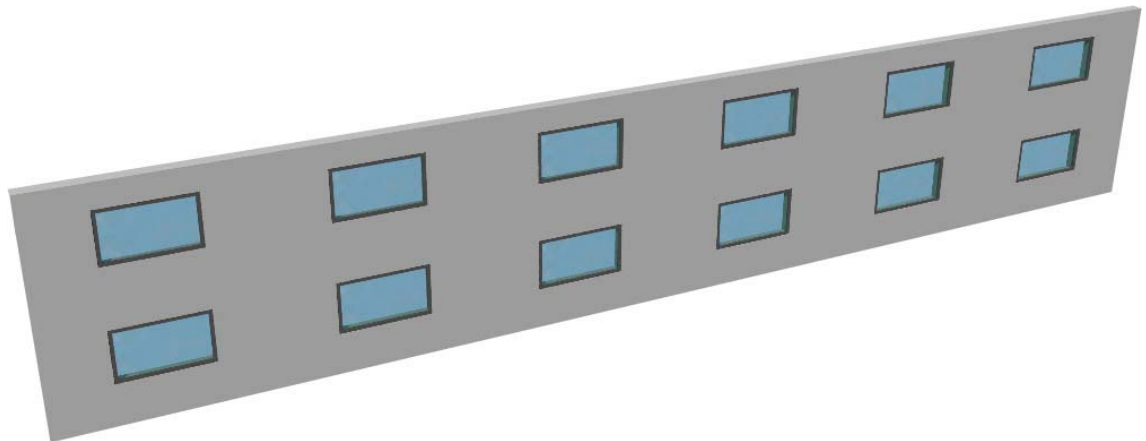


Abb. 16: Lochfassade mit Sturz

Lochfassade ohne Sturz

Die Konstruktion zwischen den Fenstern beträgt, abhängig von der Bauform, zwischen 3,19 und 3,37 m.

Höhe Parapett:	$h_{\text{Parapett}} = 1,0 \text{ m}$
Höhe Sturz:	$h_{\text{Sturz}} = 0,0 \text{ m}$

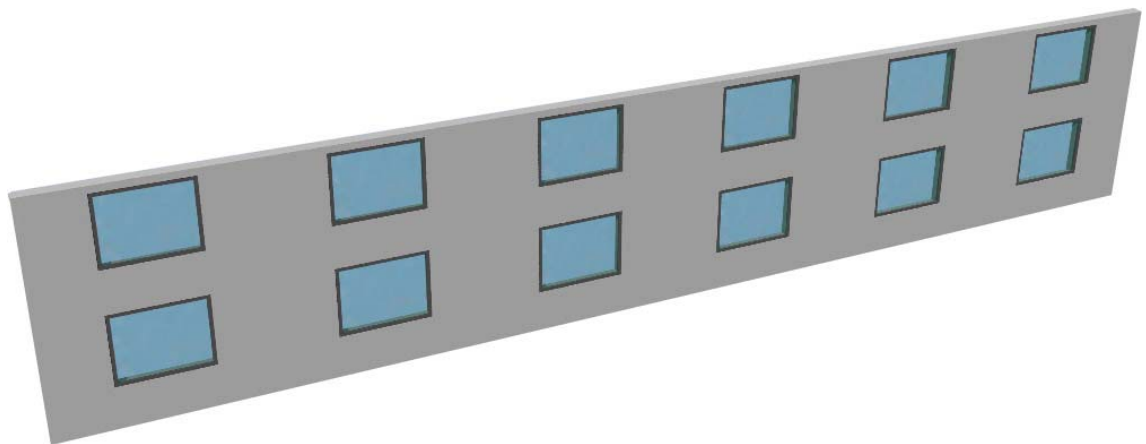


Abb. 17: Lochfassade ohne Sturz

Lochfassade mit Sturz – Beleuchtung

Die Konstruktion zwischen den Fenstern beträgt, abhängig von der Bauform, zwischen 1,99 und 2,18 m. Die Fenstergröße wird genau so groß gewählt, dass die gesamte Breite des Raumes mit Tageslicht versorgt wird (siehe Gleichungen 2.2.6).

Höhe Parapett:	$h_{\text{Parapett}} = 1,0 \text{ m}$
Höhe Sturz:	$h_{\text{Sturz}} = 0,5 \text{ m}$

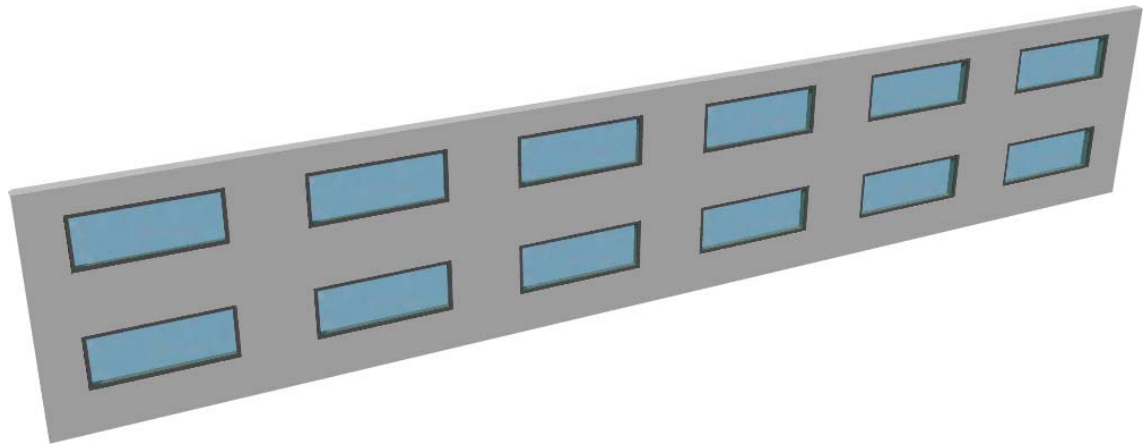


Abb. 18: Lochfassade mit Sturz - Beleuchtung

Lochfassade ohne Sturz – Beleuchtung

Die Konstruktion zwischen den Fenstern beträgt, abhängig von der Bauform, zwischen 2,67 und 2,85 m. Die Fenstergröße wird genau so groß gewählt, dass die gesamte Breite des Raumes mit Tageslicht versorgt wird (siehe Gleichungen 2.2.6).

Höhe Parapett:	$h_{\text{Parapett}} = 1,0 \text{ m}$
Höhe Sturz:	$h_{\text{Sturz}} = 0,0 \text{ m}$

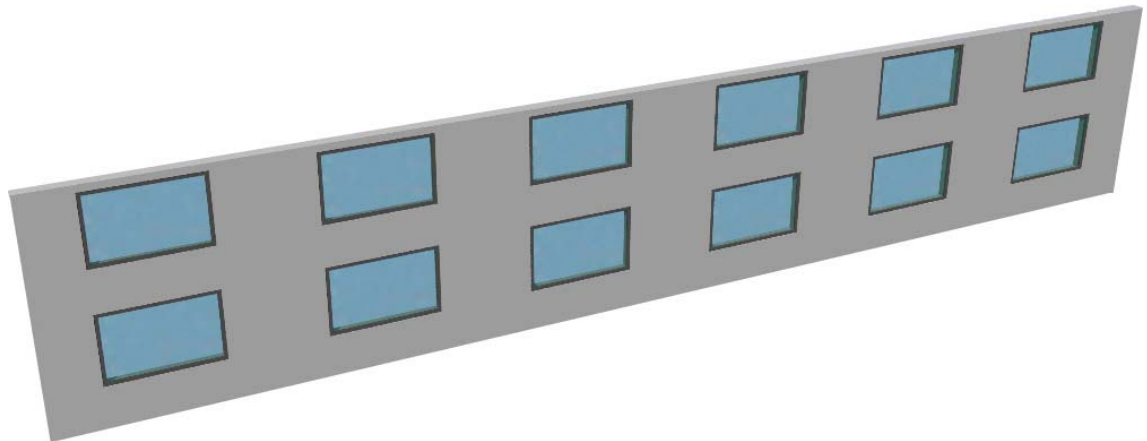


Abb. 19: Lochfassade ohne Sturz - Beleuchtung

3.2.21 Orientierung

Der Komplex wird um 90° gedreht. Die Gruppenbüros liegen jetzt in Richtung Osten, und die Großraumbüros sind westorientiert.

Orientierung:	Ost-West
---------------	----------

3.2.22 Büroart

Es wird untersucht, ob Gruppenbüros oder Großraumbüros einen kleineren Primärenergiebedarf aufweisen.

Gruppenbüros:	Auf beiden Seiten nur Gruppenbüros
Großraumbüros:	Auf beiden Seiten nur Großraumbüros

3.2.23 Belegungsdichte

Die Belegungsdichte des Gebäudes wird auf die Mindestflächenwerte, die nach der Arbeitsstättenverordnung eingehalten werden müssen, erhöht. Die relative Nutzung wird bei dieser Belegung auf 50% herabgesetzt.

Nutzung:	Büro
Belegung: Flächenbedarf der ersten Person:	8 m ²
Flächenbedarf jeder weiteren Person:	5 m ²
Ergibt 96 Personen pro Geschoß.	
Relative Nutzung:	50%

3.2.24 Ohne Kühlung in Zone

Um zu sehen, auf welche Werte man mit weniger Komfort kommen kann, wurde diese Variante untersucht.

Luftkonditionierung Sommer:	Keine
Luftkonditionierung Winter:	Keine
Kühlung in Zone:	Keine
Entfeuchtung:	Keine
Befeuchtung:	Keine
Feuchterückgewinnung:	Keine

3.2.25 Ohne Kühlung in Zone plus Entfeuchtung

Da im Sommer die Luftfeuchtigkeit sehr hoch ist, wurde in dieser Variante eine Entfeuchtung eingebaut, um den Komfort gegenüber der vorherigen Variante zu erhöhen.

Luftkonditionierung Sommer:	Keine
Luftkonditionierung Winter:	Keine
Kühlung in Zone:	Keine
Entfeuchtung:	auf 9 g/kg
Befeuchtung:	Keine
Feuchterückgewinnung:	Keine

4 Ergebnisse

Die gesamten Ergebnisse wurden auf die Nutzgeschoßfläche bezogen, da wie schon zuvor beschrieben, die NGF bei den Bauformen 2 bis 6 gleich bleibt. Die verschiedenen Varianten bauen immer auf der vorherigen Variante auf. Alle Ergebnisse stellen die Primärenergie für Geräte, Beleuchtung, Lüftung, Heizung und Kühlung bzw. den gesamten Primärenergiebedarf dar. Befeuchten und Entfeuchten wurden nicht extra ausgewiesen, da der Einfluss dieser Faktoren nicht so eklatant ist und somit auch die Diagramme übersichtlicher wurden.

Die Erläuterungen der Ergebnisse, welche zu dem Chemiehochhaus (siehe 4.1) gemacht wurden, gelten auch für die anderen Bauformen (siehe 4.2 bis 4.6). Der Unterschied liegt nur in der Höhe des Primärenergiebedarfs und in der Höhe der Auswirkungen. Die verschiedenen Bauformen werden im Kapitel 5 „Vergleich der Ergebnisse“ gegenübergestellt.

Der Primärenergiebedarf beim Chemiehochhaus liegt immer deutlich unter dem der anderen Bauformen. Dies resultiert aus der größeren Nettogeschoßfläche der Mittelzone des Chemiehochhauses. Diese Zone verbraucht weniger Strom, Heizung usw. als die Bürozone, weil die Beleuchtungsstärke kleiner ist und keine Arbeitsgeräte vorhanden sind. Wenn man nun den Primärenergiebedarf auf die gesamte NGF rechnet, kommen kleinere Werte für das Chemiehochhaus heraus.

4.1 Bauform 1: Chemiehochhaus

4.1.1 Vergleich der Varianten 1 bis 8

In den Varianten 1 bis 8 wurde in Einzelschritten der Passivhausstandard berechnet.

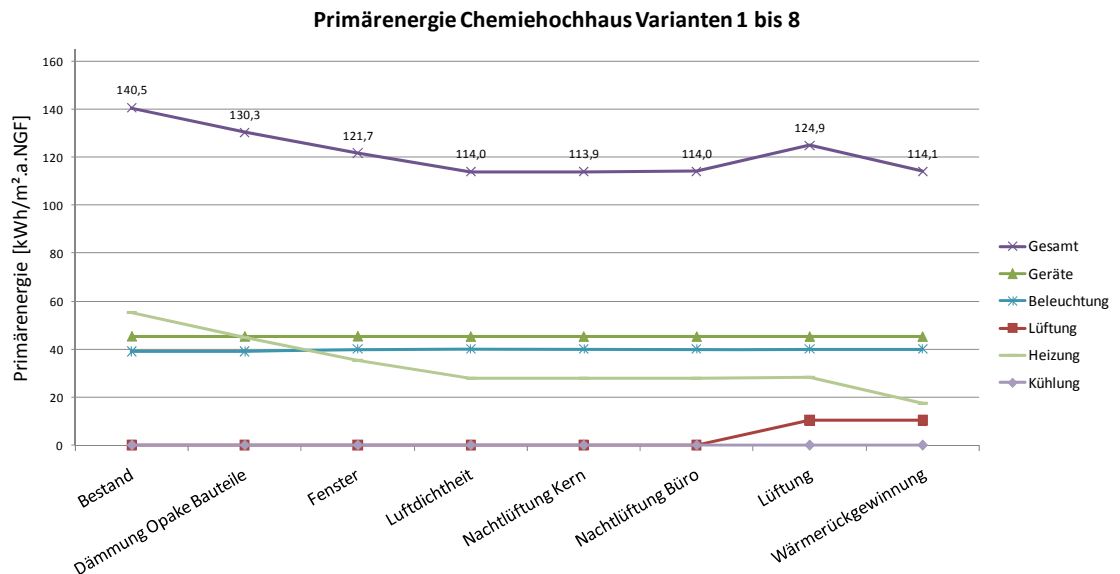


Abb. 20: Primärenergie Chemiehochhaus: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard

Der Ausgangswert liegt bei einem Primärenergiebedarf von 140,5 kWh/m²·a.NGF. In Abb. 20 erkennt man außerdem die Senkung des Primärenergiebedarfs rein durch die Reduktion der Wärmeverluste und somit der Heizenergie. Die Nachtlüftung im Kern bzw. im Büro hat hier keinen Einfluss, da keine Kältemaschine vorhanden ist, und somit nur der Kühlbedarf, aber nicht die Kühlenergie, gesenkt werden kann. Der Kühlbedarf wird in Abb. 21 dargestellt. Der Anstieg der Primärenergie durch die Installation der Lüftung ist auf deren Betrieb zurückzuführen und außerdem steigt der Primärenergiebedarf durch den höheren Luftwechsel und dem daraus resultierenden erhöhten Heizenergiebedarf. Durch Einbau eines Wärmetauschers kommt man aber wieder annähernd auf die vorhergehenden Werte.

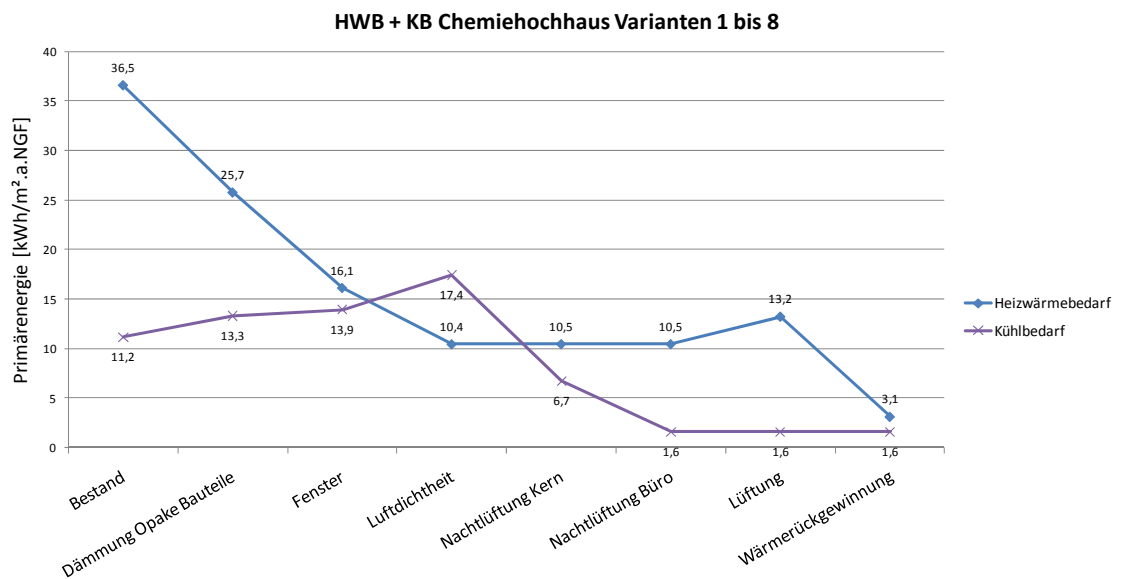


Abb. 21: Heizwärmebedarf und Kühlbedarf Chemiehochhaus: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard

In Abb. 21 steigt der Kühlbedarf mit dem Verbessern des Gebäudes und fällt dann durch die Sommernachtlüftung beträchtlich, während die Kurve des Heizwärmebedarfs der Kurve der Primärenergie in Abb. 20 annähernd folgt. Das heißt, dass zwar primärenergetisch, ohne Kühlung in der Zone, es keinen Einfluss hat, ob man in der Nacht lüftet oder nicht, es sich aber auf den Komfort im Sommer sehr wohl auswirkt, da der Kühlbedarf sinkt.

4.1.2 Vergleich der Varianten 9 bis 14

In den Varianten 9 bis 14 wurde in Einzelschritten die Kühlung in der Zone berechnet.

In Abb. 22 steigt der Primärenergiebedarf bis zum Befeuchten stetig an. Durch den erhöhten Komfort wird auch der Gesamtenergiebedarf vergrößert. Durch den Einsatz von einer Feuchterückgewinnung kann man ca. 7 kWh/m².a.NGF einsparen und liegt bei 154,2 kWh/m².a.NGF, aber durch den Einsatz einer Kältemaschine liegt dieser Wert schon 13,7 kWh/m².a.NGF über dem Primärenergiebedarf vom Bestand.

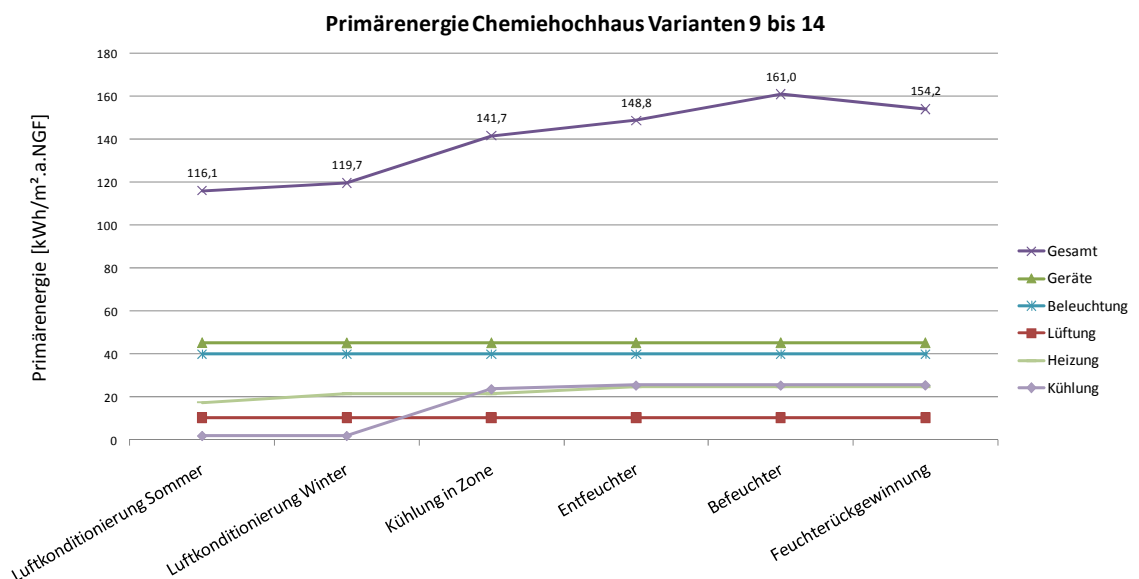


Abb. 22: Primärenergie Chemiehochhaus: Varianten 9 bis 14 – Kühlung in der Zone

4.1.3 Vergleich der Varianten 15 bis 18

In den Varianten 15 bis 18 wurde das Verbesserungspotential folgender Maßnahmen untersucht:

- Bedarfsgerechte Lüftung
- Automatische Dimmer
- Luxmesser zur Regelung des Sonnenschutzes
- Senken der Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich

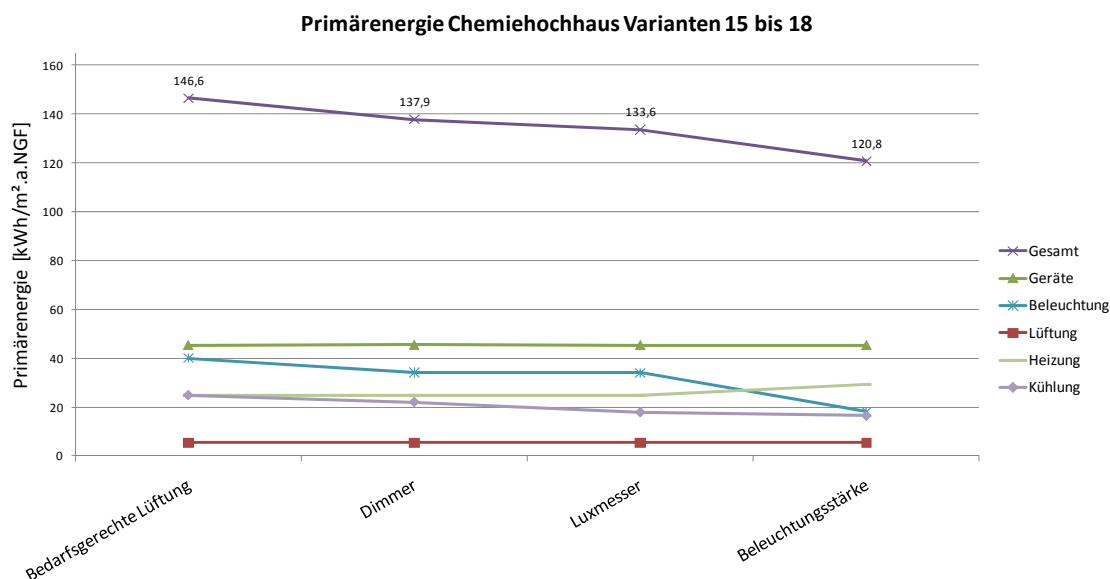


Abb. 23: Primärenergie Chemiehochhaus: Varianten 15 bis 18 – Weitere Maßnahmen

Durch die Optimierung der Lüftungsanlage, die Automatisierung der Beleuchtung und der Installation von Luxmessern zur Steuerung des Sonnenschutzes kann man den Primärenergiebedarf auf 120,8 kWh/m².a.NGF senken. Dies entspricht einer Minderung des Primärenergiebedarfs von 33,4 kWh/m².a.NGF.

4.1.4 Vergleich der Varianten 18 bis 23

In den Varianten 18 bis 23 wurden 6 verschiedene Sonnenschutzsysteme berechnet.

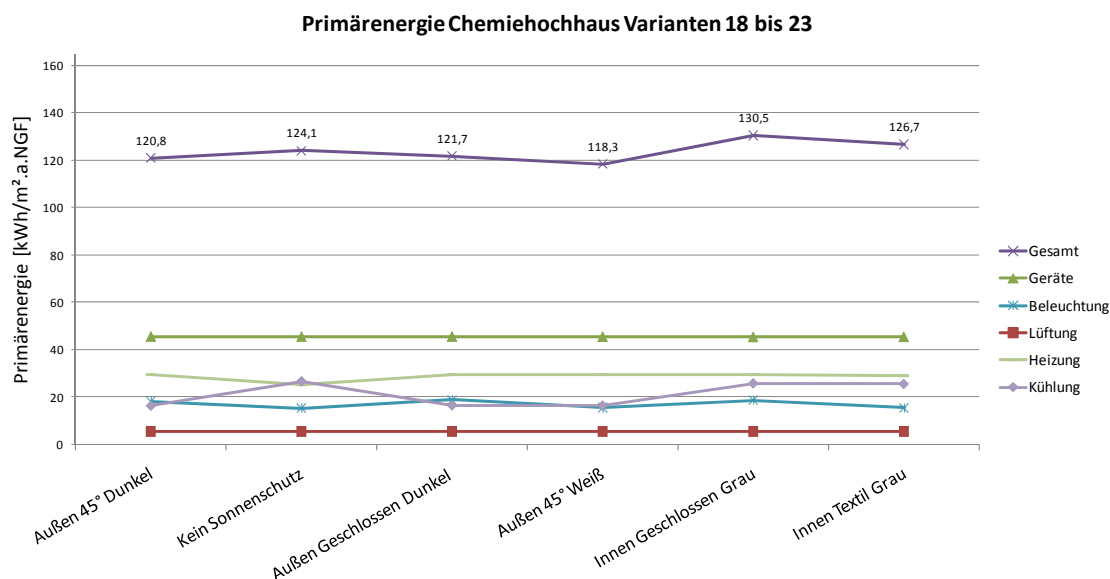


Abb. 24: Primärenergie Chemiehochhaus: Varianten 18 bis 23 – Variation des Sonnenschutzes

Der Vergleich zwischen der geschlossenen, dunkelgrauen Außenjalousie und keinem Sonnenschutz ist am klarsten. Wenn kein Sonnenschutz vorhanden ist, schwindet zwar die Beleuchtungsenergie und der Heizenergiebedarf, gleichzeitig erhöht sich aber der Kühlbedarf eklatant. Der geschlossene Sonnenschutz hat seine Vorteile bei der Kühlung, aber Nachteile bei der Beleuchtung und beim Heizen, da die Strahlung, bei geschlossenem Sonnenschutz, annähernd Null ist. Die beste Balance aus Kühlung, Heizung und Beleuchtung ergibt die weiße Außenjalousie in 45°-Stellung. Diese hält genügend solare Strahlung bei gleichzeitigem Eindringen von Tageslicht ab.

4.1.5 Vergleich der Varianten 23 bis 29

In den Varianten 23 bis 29 wurden 7 verschiedene Fassaden berechnet.

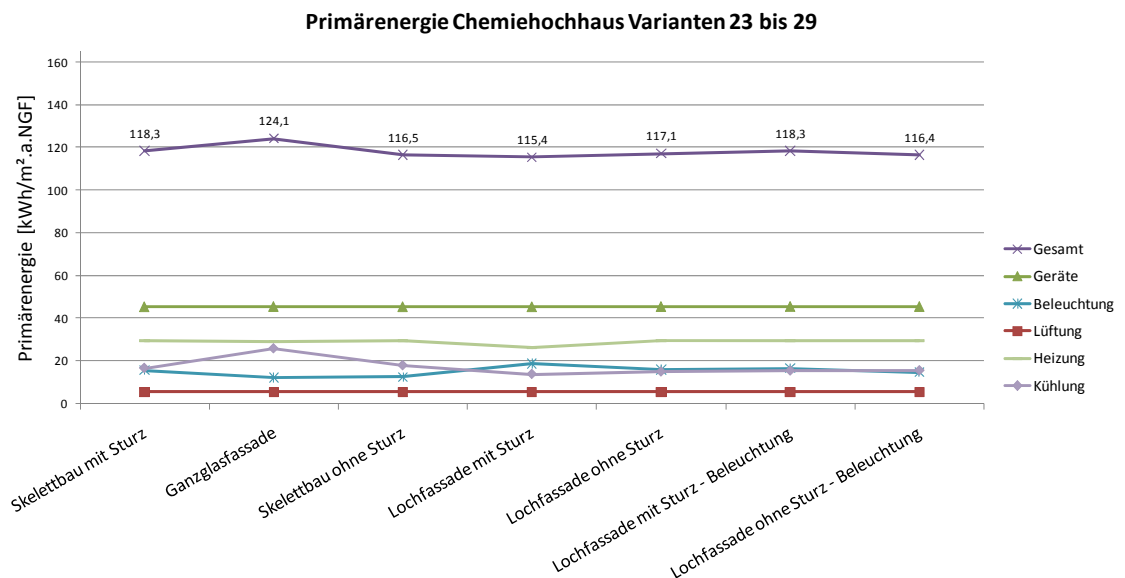


Abb. 25: Primärenergie Chemiehochhaus: Varianten 23 bis 29 – Variation der Fassade

Die Unterschiede werden bei den zwei extremsten Fassadentypen, nämlich Ganzglasfassade und Lochfassade mit Sturz, am ersichtlichsten. Die Beleuchtungsenergie wird bei der Ganzglasfassade auf ein Minimum reduziert, dafür steigt aber der Endenergiebedarf für das Kühlen enorm an. Die Lochfassade mit Sturz gleicht die Erhöhung der Beleuchtungsenergie mit einem Senken des Heizenergie- und des Kühlenergiebedarfs wieder aus. Bei dieser Bauform bleibt die Heizenergie bei allen Fassadenvariationen gleich, außer bei der Lochfassade mit Sturz liegt sie darunter.

Die Lochfassade mit Sturz ist die Fassade, mit der bei all den anderen Bauformen weitergerechnet wurde, auch wenn andere Fassadenvariationen bei anderen Bauformen besser abschnitten. Dies gewährleistet die Vergleichbarkeit der Ergebnisse bei der weiteren Veränderung von Parametern.

4.1.6 Vergleich der Varianten 29 bis 35

In den Varianten 29 bis 35 wurden noch folgende Parameter variiert:

- Orientierung
- Belegung
- Gruppen- oder Großraumbüros
- Ohne Kühlung in der Zone
- Ohne Kühlung in der Zone plus Entfeuchtung

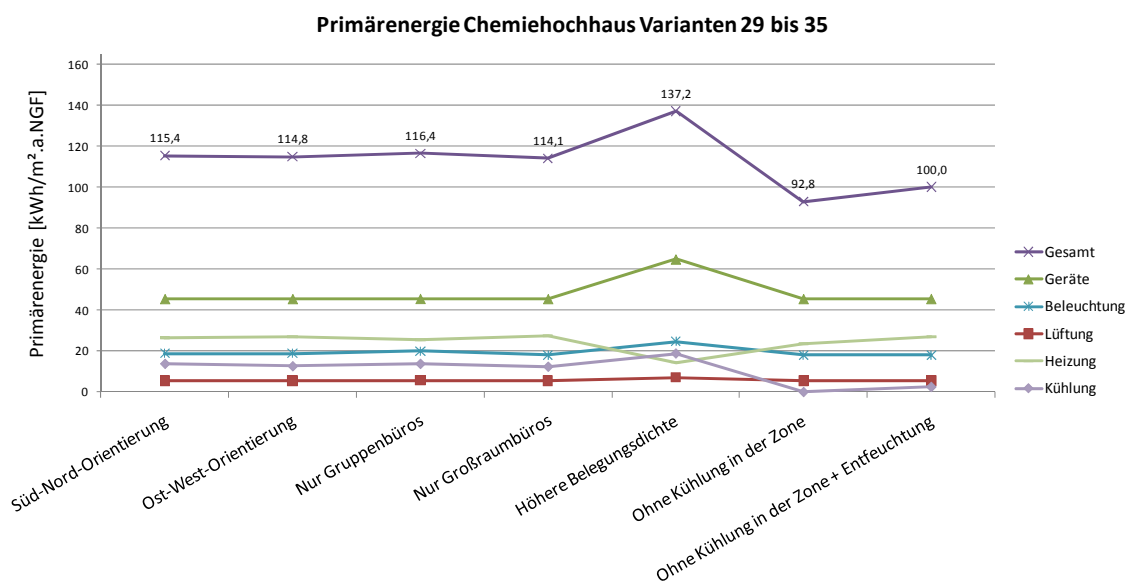


Abb. 26: Primärenergie Chemiehochhaus: Varianten 29 bis 35 – Weitere Parameter

Die Unterscheidung der Orientierung hat auf den Primärenergiebedarf keinen großen Einfluss. Die Süd-Nord-Orientierung besitzt leichte Vorteile hinsichtlich der Beleuchtung. Diese werden aber bei der Ost-West-Orientierung durch bessere Werte in der Kühlenergie ausgeglichen. Bei all den anderen Bauformen brachte die Süd-Nord-

Orientierung bessere Ergebnisse, wobei die Verbesserung zwischen 0,2 und 0,9 kWh/m².a.NGF klein ist.

Die Großraumbüros schneiden um einiges besser als die Gruppenbüros ab. Durch den besseren Raumindex sinkt der Beleuchtungsenergiebedarf um ca. 2 kWh/m².a.NGF. Diese 2 kWh/m².a.NGF wirken sich auch direkt auf die inneren Gewinne aus, darum steigt der Primärenergiebedarf für das Heizen und er sinkt für das Kühlen. Nachdem die Primärenergiefaktoren für Strom auf 2,5 und für Gas auf 1,15 festgelegt wurden, verbraucht das Heizen weniger Primärenergie als das Kühlen.

Der Vergleich der verschiedenen Bauformen bei den Großraum- und Gruppenbüros untereinander kann nicht exakt gemacht werden. Aufgrund der Geometrien ergab sich eine verschiedene Anzahl von anwesenden Personen.

Personen pro Bauform für die Varianten Gruppen- bzw. Großraumbüros:

- Bauform 1 Chemiehochhaus: 50 Personen/Geschoß
- Bauform 2: 48 Personen/Geschoß
- Bauform 3: 42 Personen/Geschoß
- Bauform 4: 48 Personen/Geschoß
- Bauform 5: 50 Personen/Geschoß
- Bauform 6: 48 Personen/Geschoß

Erhöht man die Belegungsdichte, steigt der Primärenergiebedarf markant an, weil mehr Arbeitsgeräte pro Fläche vorhanden sind und auch die inneren Wärmequellen ansteigen. Die Heizenergie sinkt durch diese, die erforderliche Kühlenergie steigt jedoch. Der Bedarf an Beleuchtungsenergie steigt auch, da der Bereich der Sehaufgabe, und somit die Fläche mit höherem Erwartungswert der Beleuchtungsstärke, durch die Erhöhung der Personen anwächst. Wenn man aber, wie es vielleicht zukünftig einmal üblich werden könnte, den Primärenergiebedarf pro Arbeitsplatz berechnet, so liegt dieser eklatant unter den vorhergehenden Werten.

In der nächsten Variante „Ohne Kühlung in der Zone“ gibt es keine Kältemaschine, dadurch minimiert sich der Primärenergiebedarf. Diese Variante müsste noch genauer untersucht werden, und zwar speziell, ob man den Temperaturbereich im Sommer, d. h. unter 26°C bzw. gleitend 6°C unter der Außentemperatur, einhalten kann. Aus diesen Überlegungen resultiert auch die nächste Variante. Um die hohen Werte der Luftfeuchtigkeit im Sommer auszugleichen, wurde in dieser Variante ein Entfeuchter eingerechnet.

4.2 Bauform 2: 8 – 6 – 8

4.2.1 Vergleich der Varianten 1 bis 8

In den Varianten 1 bis 8 wurde in Einzelschritten der Passivhausstandard berechnet.

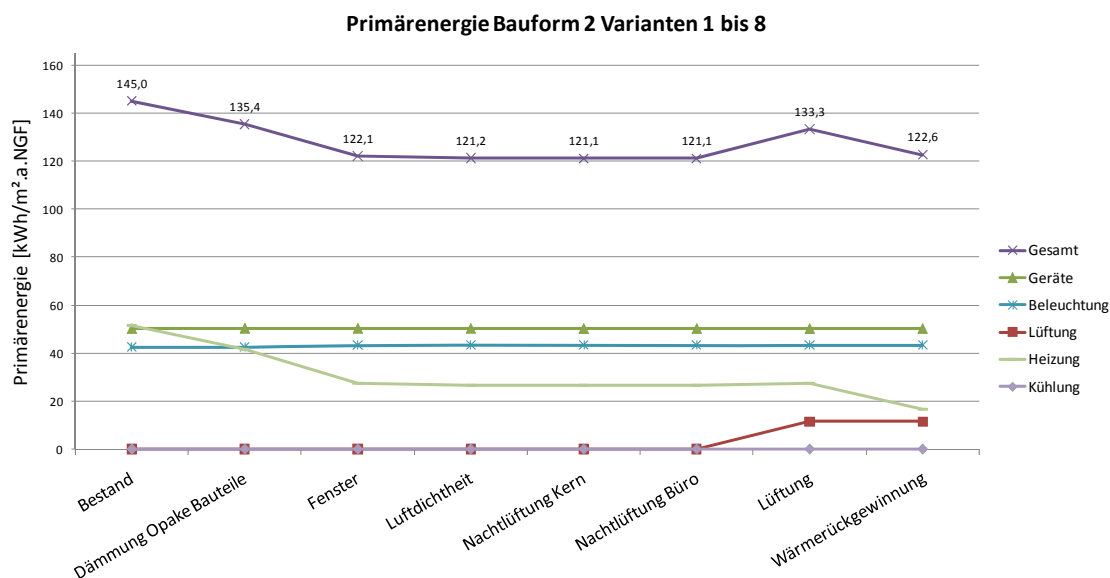


Abb. 27: Primärenergie Bauform 2: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard

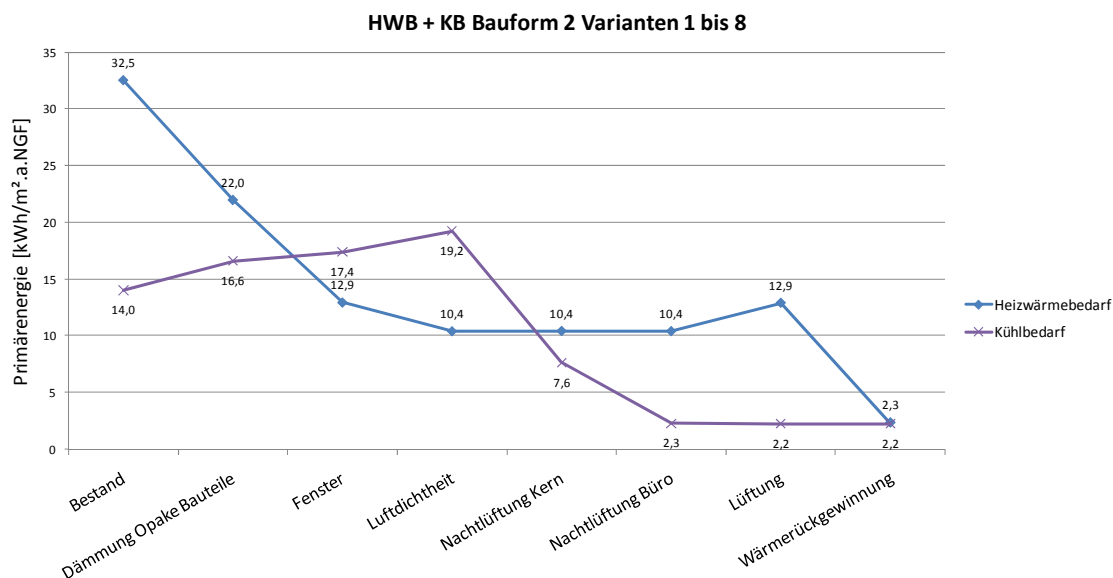


Abb. 28: Heizwärmebedarf und Kühlbedarf Bauform 2: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard

4.2.2 Vergleich der Varianten 9 bis 14

In den Varianten 9 bis 14 wurde in Einzelschritten die Kühlung in der Zone berechnet.

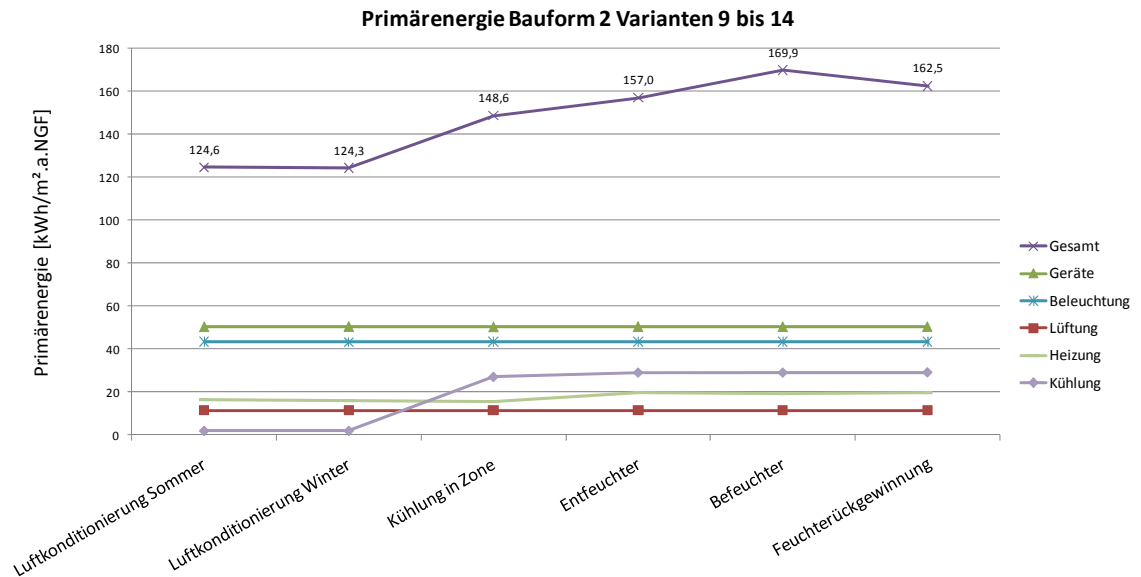


Abb. 29: Primärenergie Bauform 2: Varianten 9 bis 14 – Kühlung in der Zone

4.2.3 Vergleich der Varianten 15 bis 18

In den Varianten 15 bis 18 wurde das Verbesserungspotential folgender Maßnahmen untersucht:

- Bedarfsgerechte Lüftung
- Automatische Dimmer
- Luxmesser zur Regelung des Sonnenschutzes
- Senken der Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich

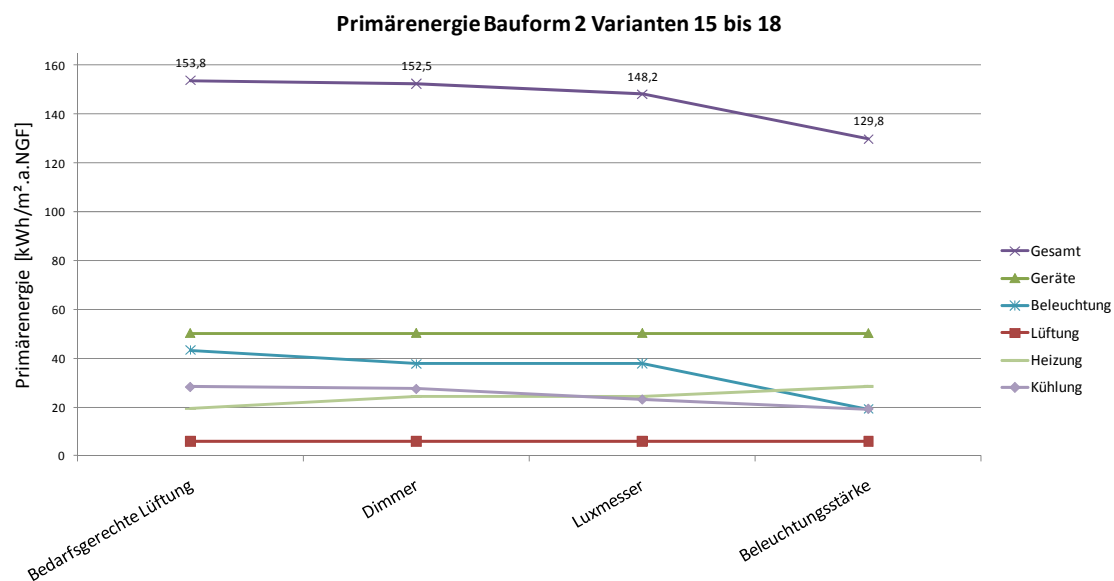


Abb. 30: Primärenergie Bauform 2: Varianten 15 bis 18 – Weitere Maßnahmen

4.2.4 Vergleich der Varianten 18 bis 23

In den Varianten 18 bis 23 wurden 6 verschiedene Sonnenschutzsysteme berechnet.

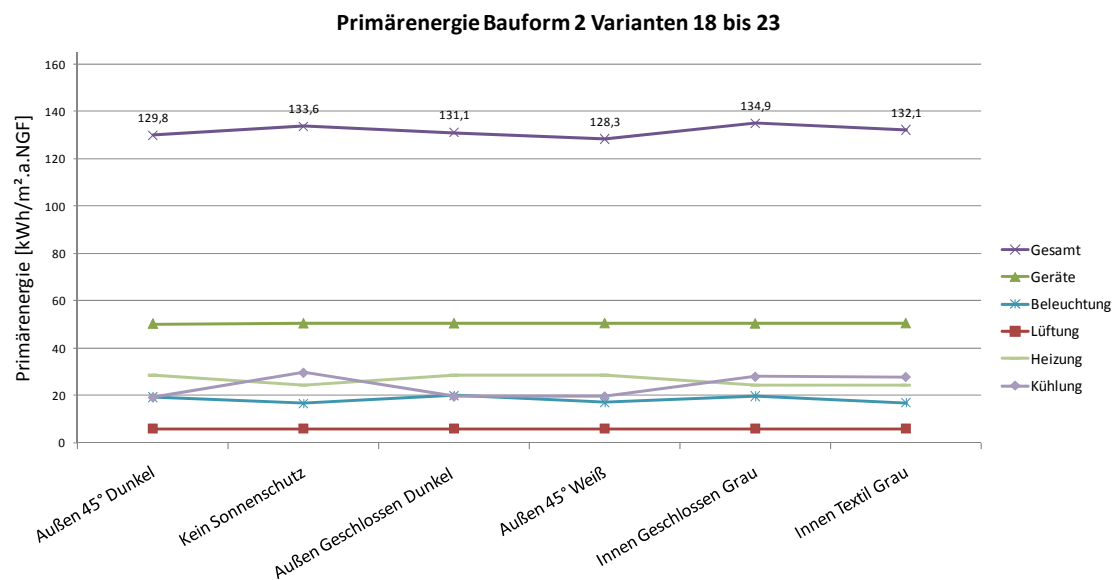


Abb. 31: Primärenergie Bauform 2: Varianten 18 bis 23 – Variation des Sonnenschutzes

4.2.5 Vergleich der Varianten 23 bis 29

In den Varianten 23 bis 29 wurden 7 verschiedene Fassaden berechnet.

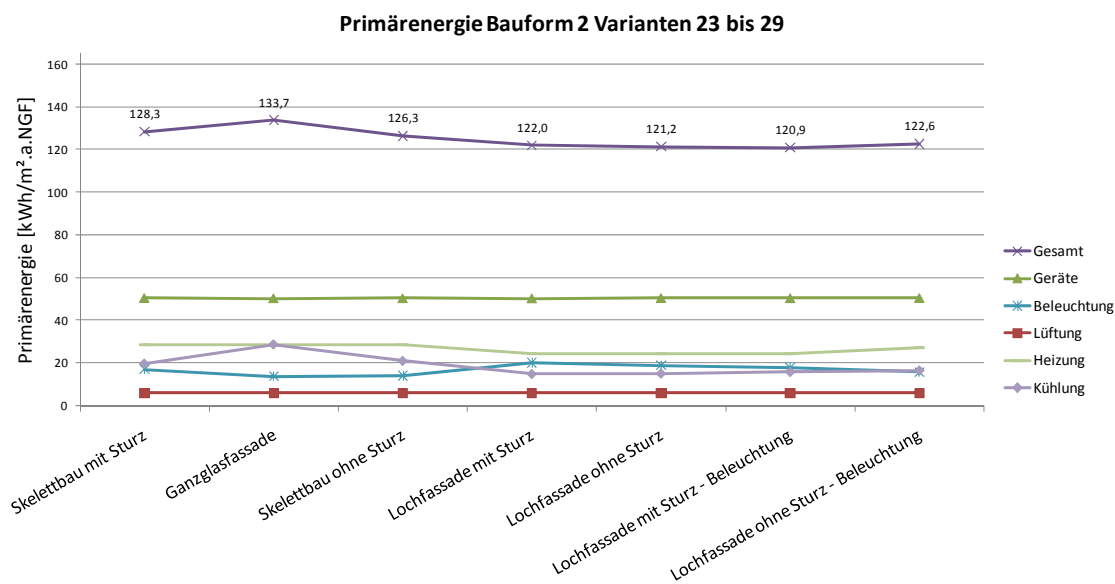


Abb. 32: Primärenergie Bauform 2: Varianten 23 bis 29 – Variation der Fassade

4.2.6 Vergleich der Varianten 29 bis 35

In den Varianten 29 bis 35 wurden noch folgende Parameter variiert:

- Orientierung
- Belegung
- Gruppen- oder Großraumbüros
- Ohne Kühlung in der Zone
- Ohne Kühlung in der Zone plus Entfeuchtung

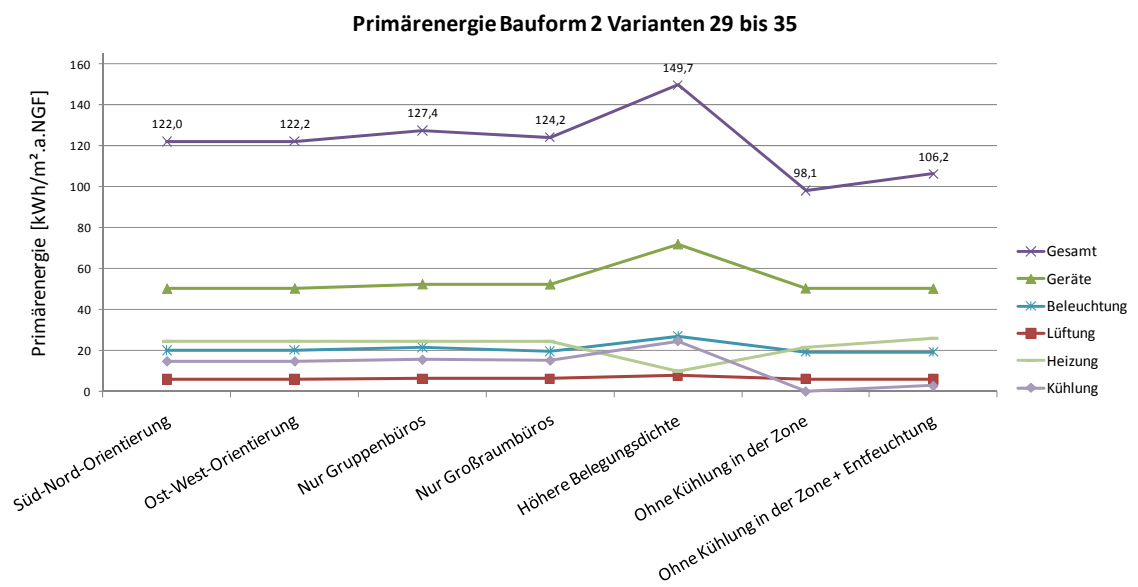


Abb. 33: Primärenergie Bauform 2: Varianten 29 bis 35 – Weitere Parameter

4.3 Bauform 3: 7 – 5,25 – 7

4.3.1 Vergleich der Varianten 1 bis 8

In den Varianten 1 bis 8 wurde in Einzelschritten der Passivhausstandard berechnet.

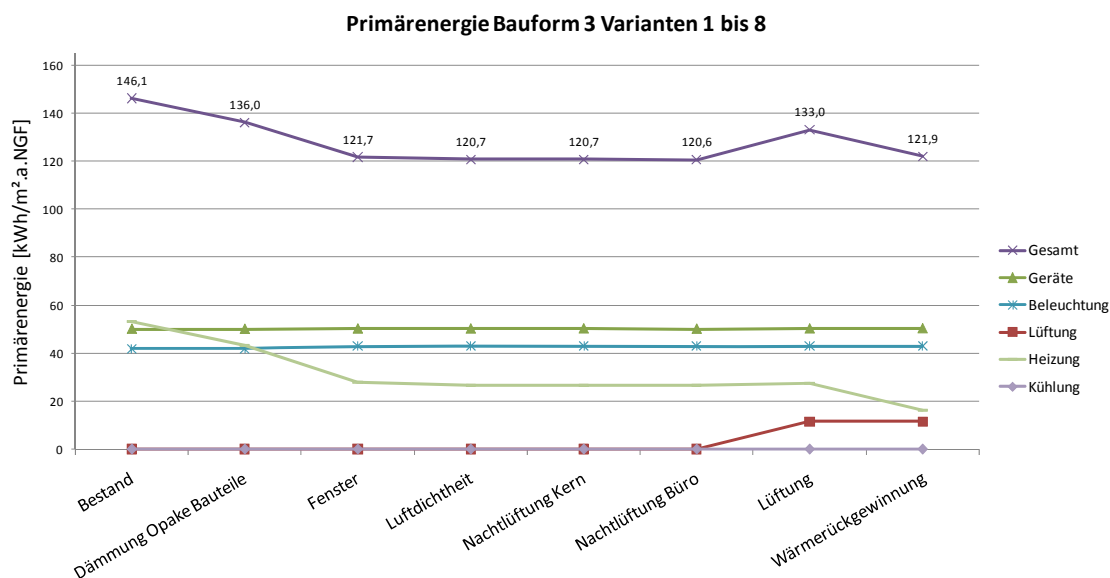


Abb. 34: Primärenergie Bauform 3: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard

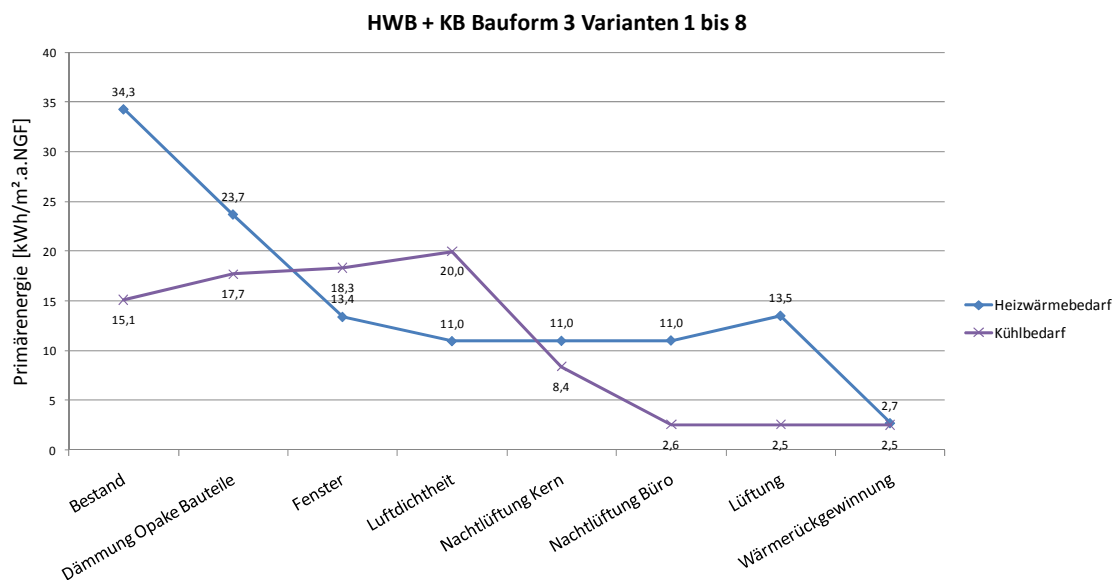


Abb. 35: Heizwärmebedarf und Kühlbedarf Bauform 3: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard

4.3.2 Vergleich der Varianten 9 bis 14

In den Varianten 9 bis 14 wurde in Einzelschritten die Kühlung in der Zone berechnet.

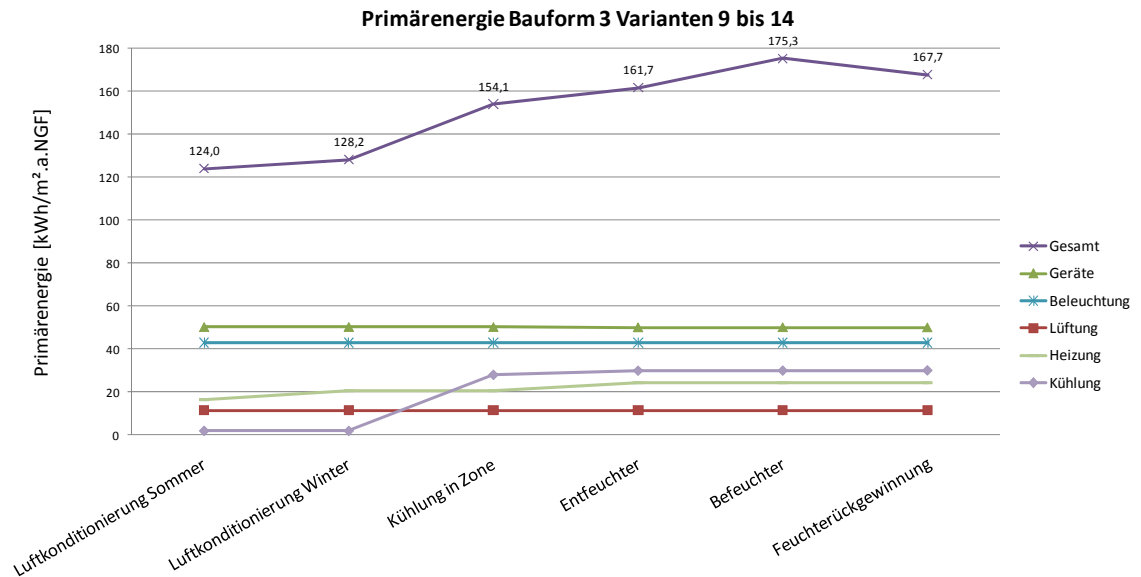


Abb. 36: Primärenergie Bauform 3: Varianten 9 bis 14 – Kühlung in der Zone

4.3.3 Vergleich der Varianten 15 bis 18

In den Varianten 15 bis 18 wurde das Verbesserungspotential folgender Maßnahmen untersucht:

- Bedarfsgerechte Lüftung
- Automatische Dimmer
- Luxmesser zur Regelung des Sonnenschutzes
- Senken der Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich

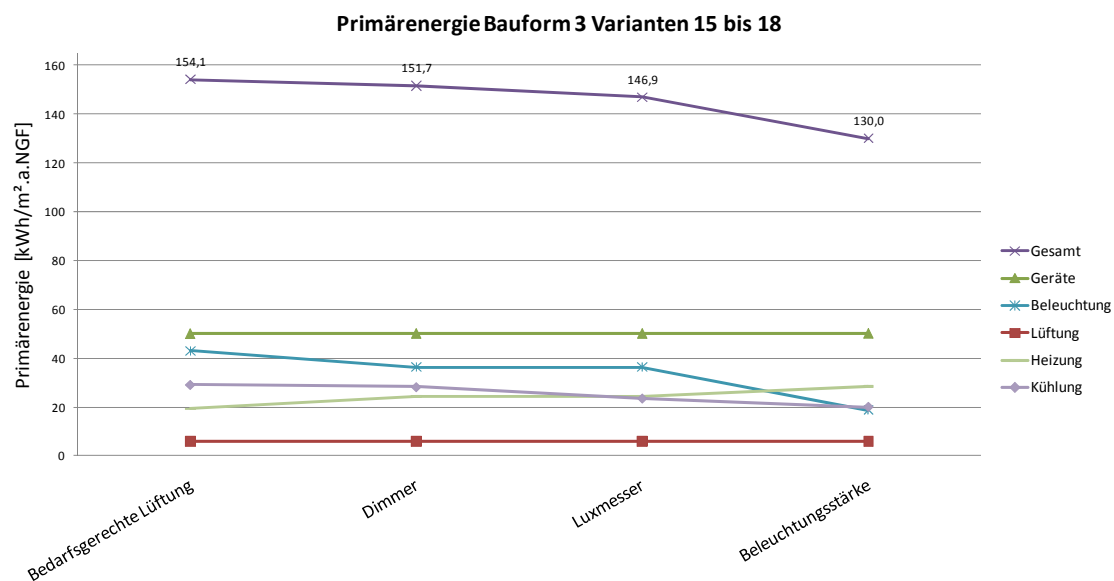


Abb. 37: Primärenergie Bauform 3: Varianten 15 bis 18 – Weitere Maßnahmen

4.3.4 Vergleich der Varianten 18 bis 23

In den Varianten 18 bis 23 wurden 6 verschiedene Sonnenschutzsysteme berechnet.

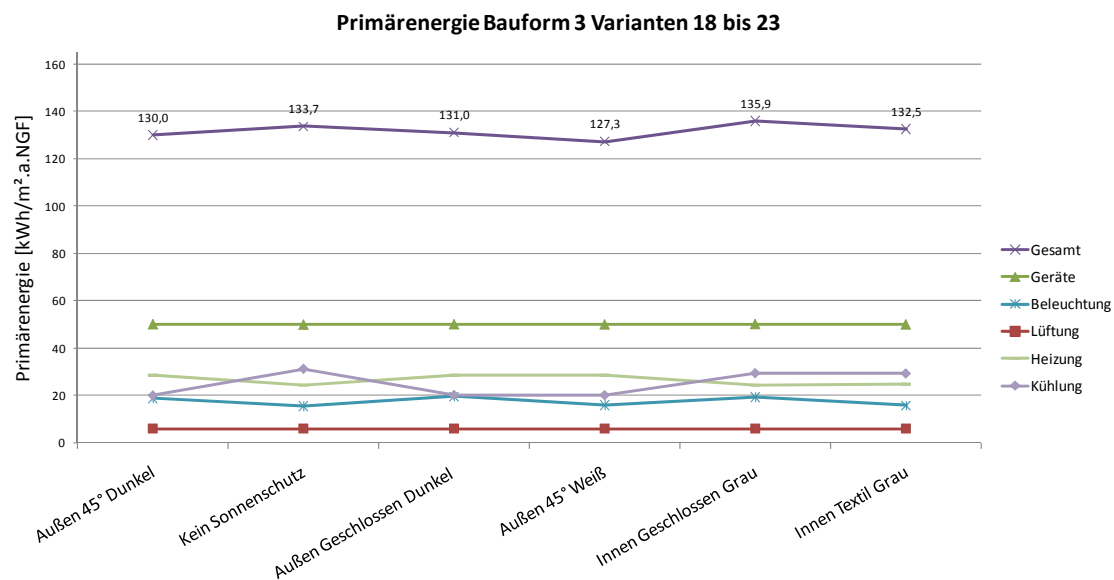


Abb. 38: Primärenergie Bauform 3: Varianten 18 bis 23 – Variation des Sonnenschutzes

4.3.5 Vergleich der Varianten 23 bis 29

In den Varianten 23 bis 29 wurden 7 verschiedene Fassaden berechnet.

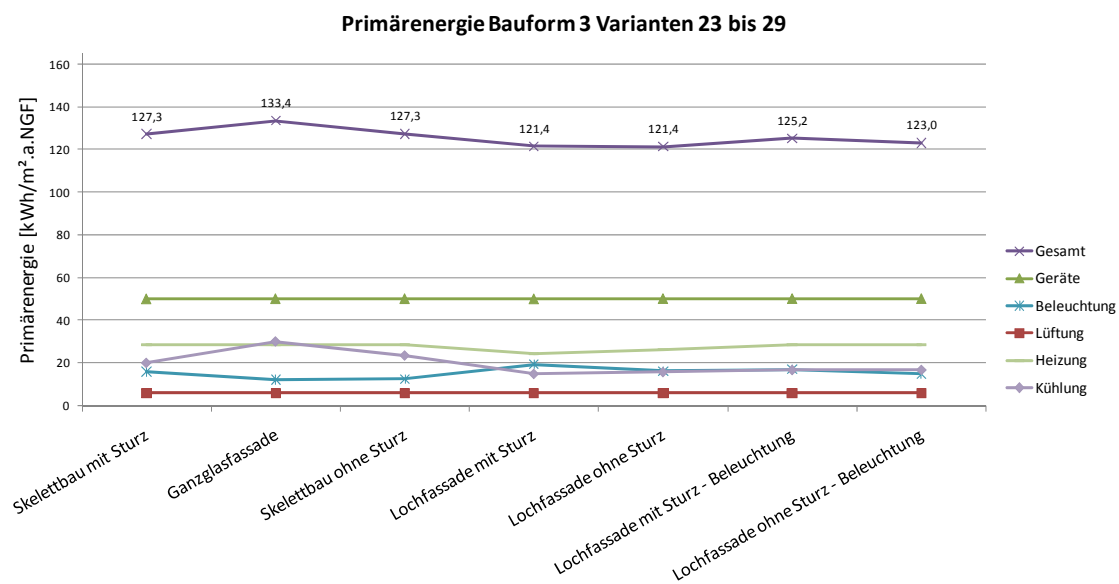


Abb. 39: Primärenergie Bauform 3: Varianten 23 bis 29 – Variation der Fassade

4.3.6 Vergleich der Varianten 29 bis 35

In den Varianten 29 bis 35 wurden noch folgende Parameter variiert:

- Orientierung
- Belegung
- Gruppen- oder Großraumbüros
- Ohne Kühlung in der Zone
- Ohne Kühlung in der Zone plus Entfeuchtung

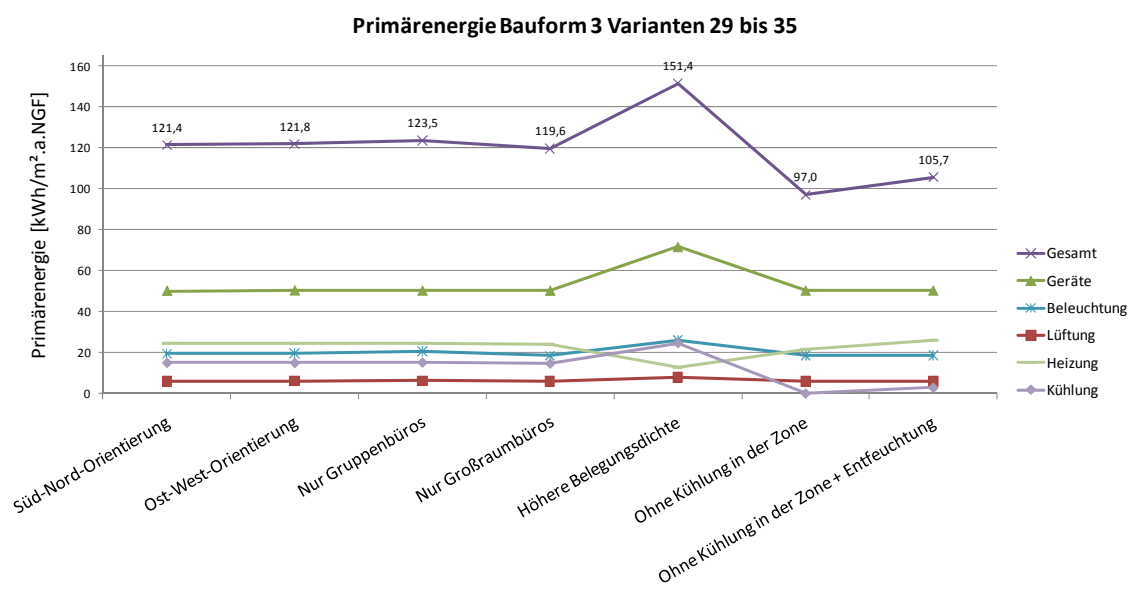


Abb. 40: Primärenergie Bauform 3: Varianten 29 bis 35 – Weitere Parameter

4.4 Bauform 4: 6 – 4,5 – 6

4.4.1 Vergleich der Varianten 1 bis 8

In den Varianten 1 bis 8 wurde in Einzelschritten der Passivhausstandard berechnet.

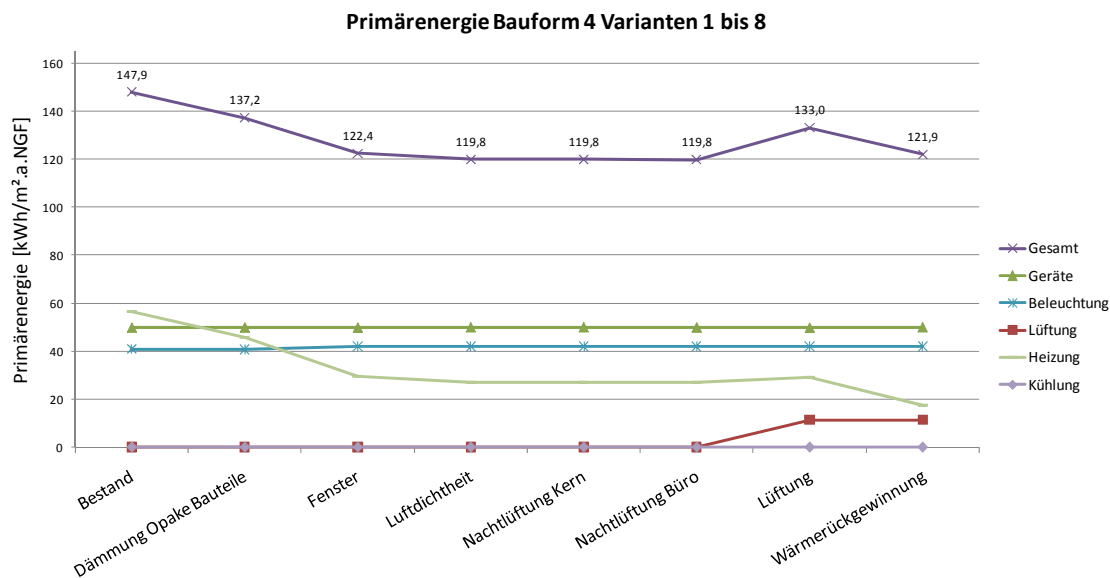


Abb. 41: Primärenergie Bauform 4: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard

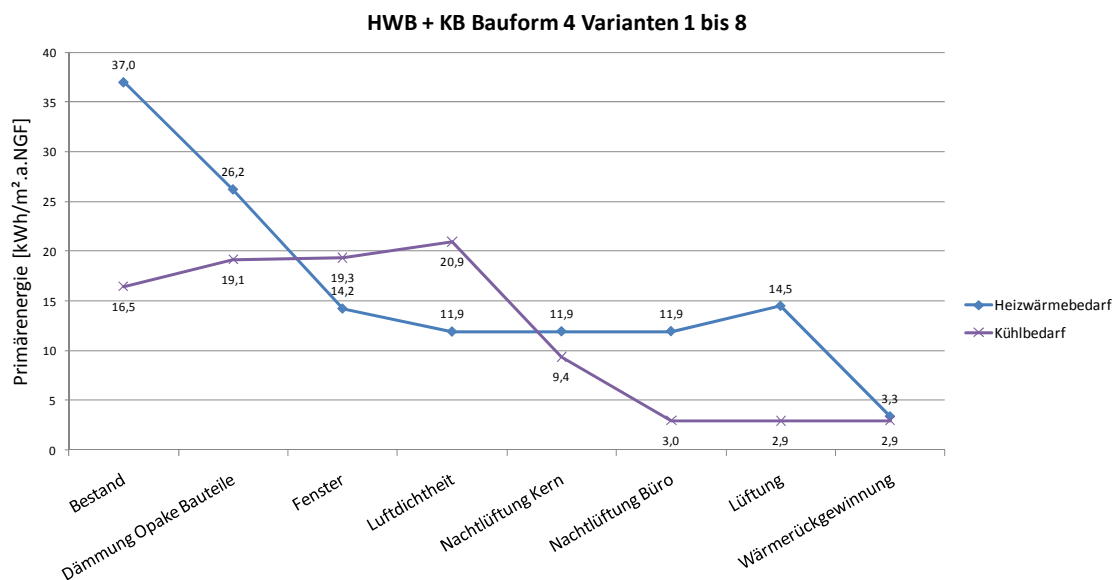


Abb. 42: Heizwärmebedarf und Kühlbedarf Bauform 4: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard

4.4.2 Vergleich der Varianten 9 bis 14

In den Varianten 9 bis 14 wurde in Einzelschritten die Kühlung in der Zone berechnet.

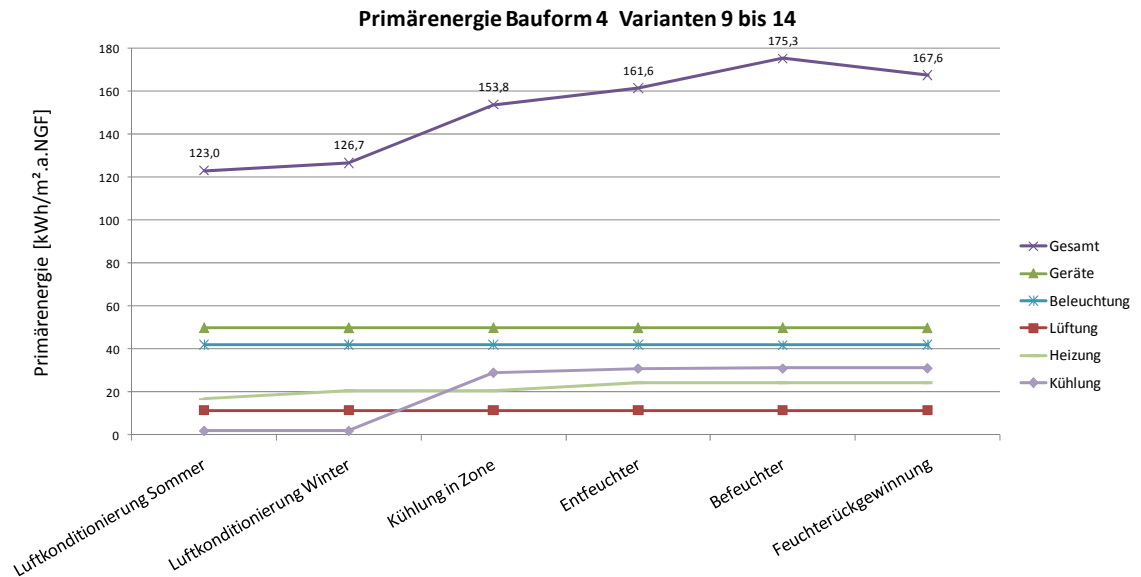


Abb. 43: Primärenergie Bauform 4: Varianten 9 bis 14 – Kühlung in der Zone

4.4.3 Vergleich der Varianten 15 bis 18

In den Varianten 15 bis 18 wurde das Verbesserungspotential folgender Maßnahmen untersucht:

- Bedarfsgerechte Lüftung
- Automatische Dimmer
- Luxmesser zur Regelung des Sonnenschutzes
- Senken der Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich

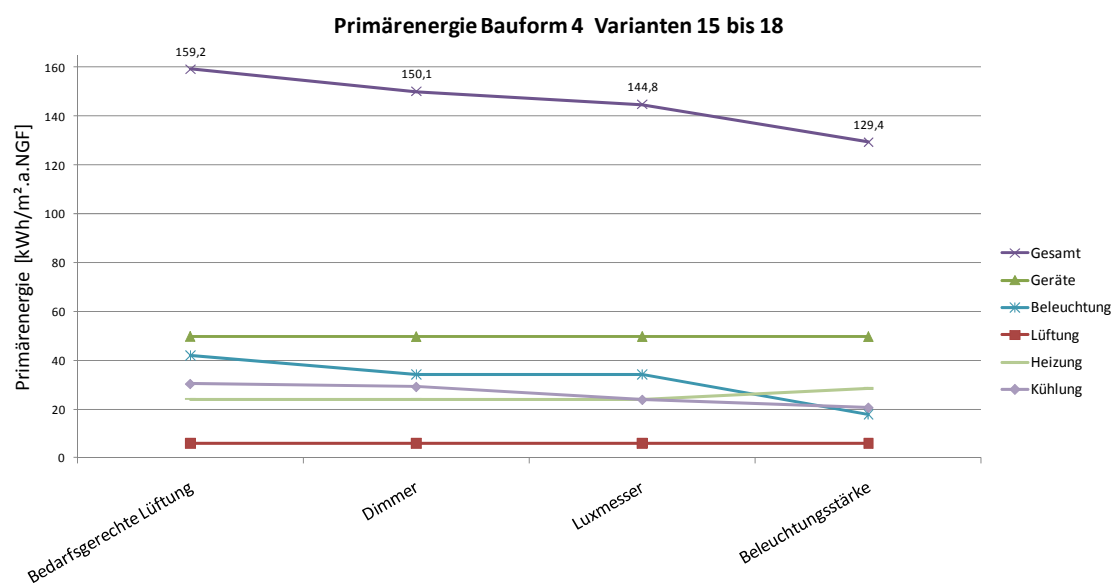


Abb. 44: Primärenergie Bauform 4: Varianten 15 bis 18 – Weitere Maßnahmen

4.4.4 Vergleich der Varianten 18 bis 23

In den Varianten 18 bis 23 wurden 6 verschiedene Sonnenschutzsysteme berechnet.

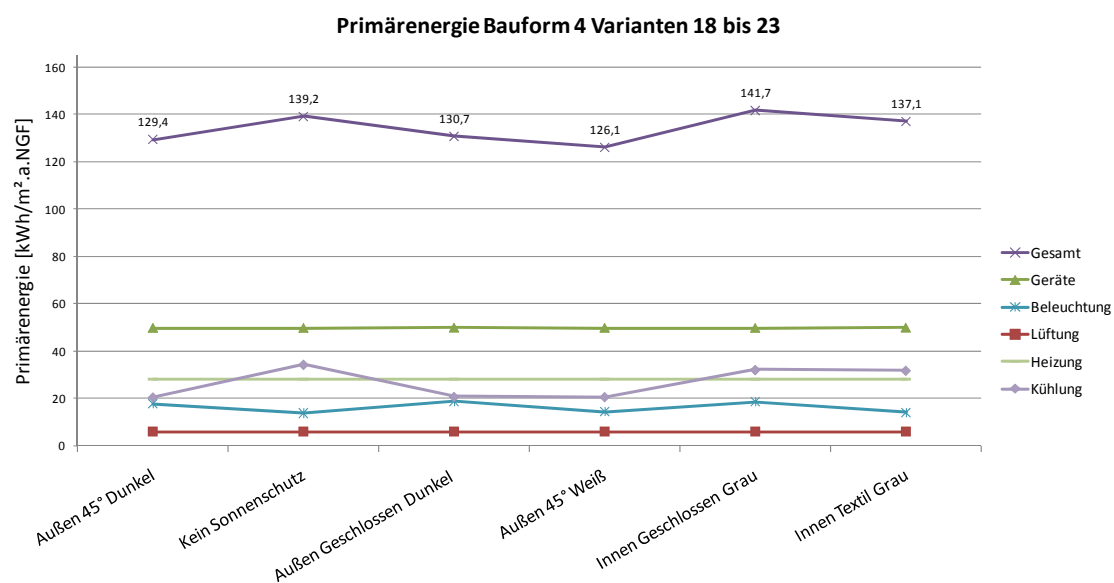


Abb. 45: Primärenergie Bauform 4: Varianten 18 bis 23 – Variation des Sonnenschutzes

4.4.5 Vergleich der Varianten 23 bis 29

In den Varianten 23 bis 29 wurden 7 verschiedene Fassaden berechnet.

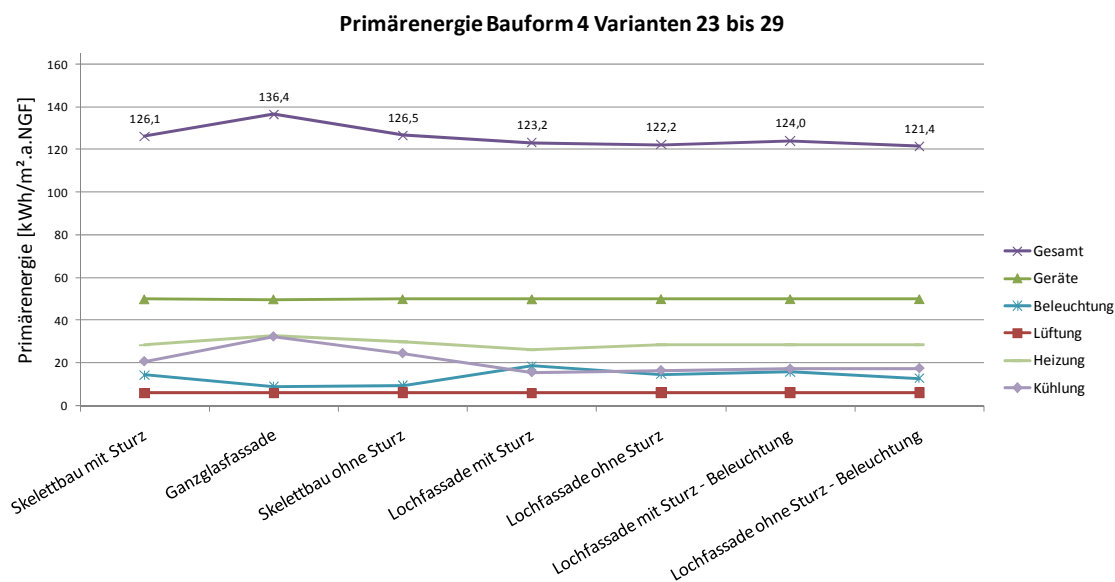


Abb. 46: Primärenergie Bauform 4: Varianten 23 bis 29 – Variation der Fassade

4.4.6 Vergleich der Varianten 29 bis 35

In den Varianten 29 bis 35 wurden noch folgende Parameter variiert:

- Orientierung
- Belegung
- Gruppen- oder Großraumbüros
- Ohne Kühlung in der Zone
- Ohne Kühlung in der Zone plus Entfeuchtung

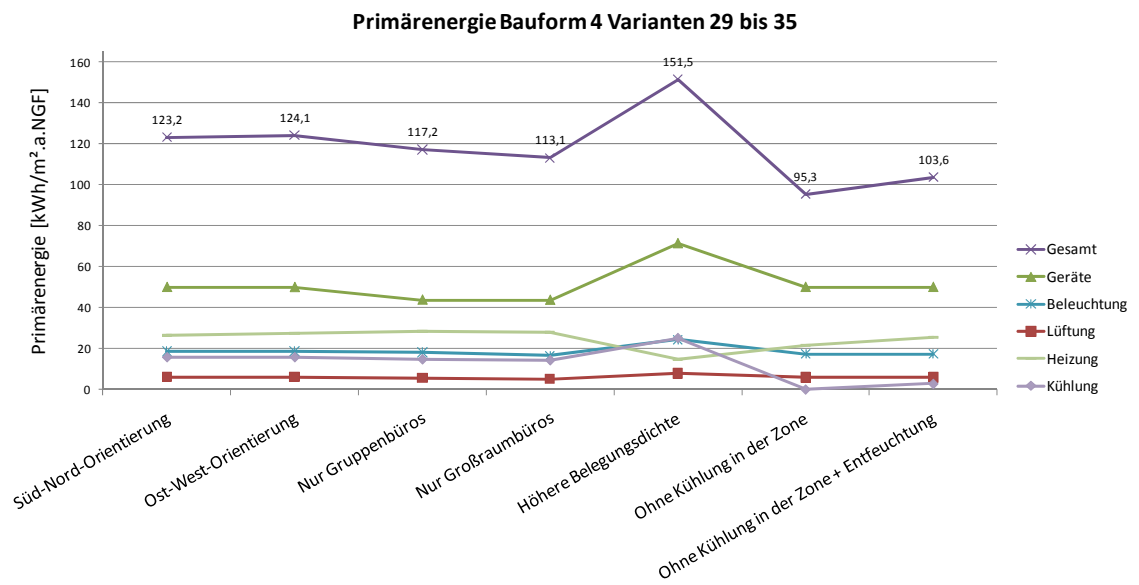


Abb. 47: Primärenergie Bauform 4: Varianten 29 bis 35 – Weitere Parameter

4.5 Bauform 5: 5 – 3,75 – 5

4.5.1 Vergleich der Varianten 1 bis 8

In den Varianten 1 bis 8 wurde in Einzelschritten der Passivhausstandard berechnet.

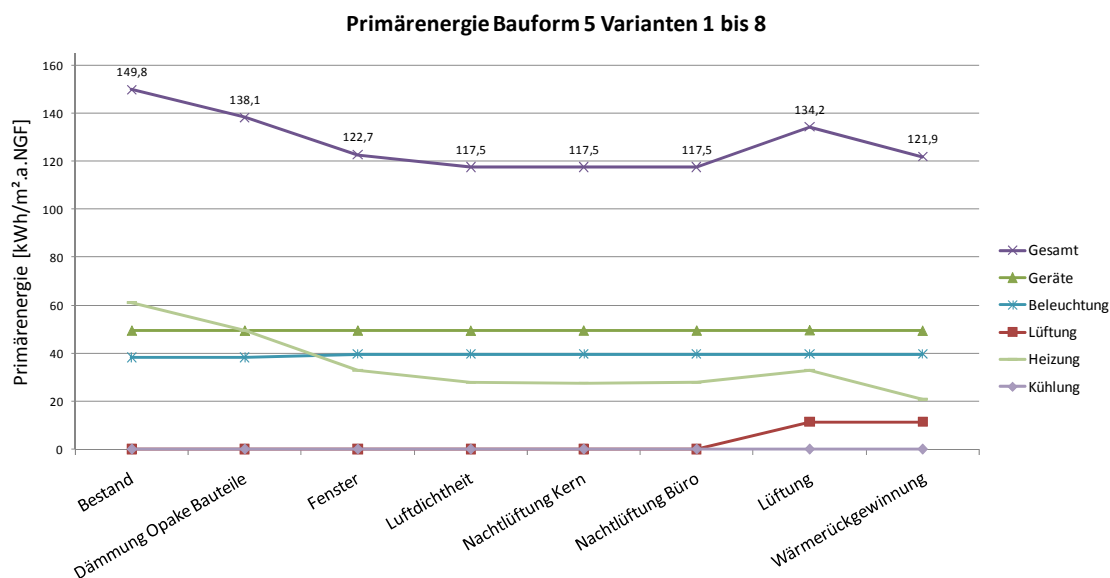


Abb. 48: Primärenergie Bauform 5: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard

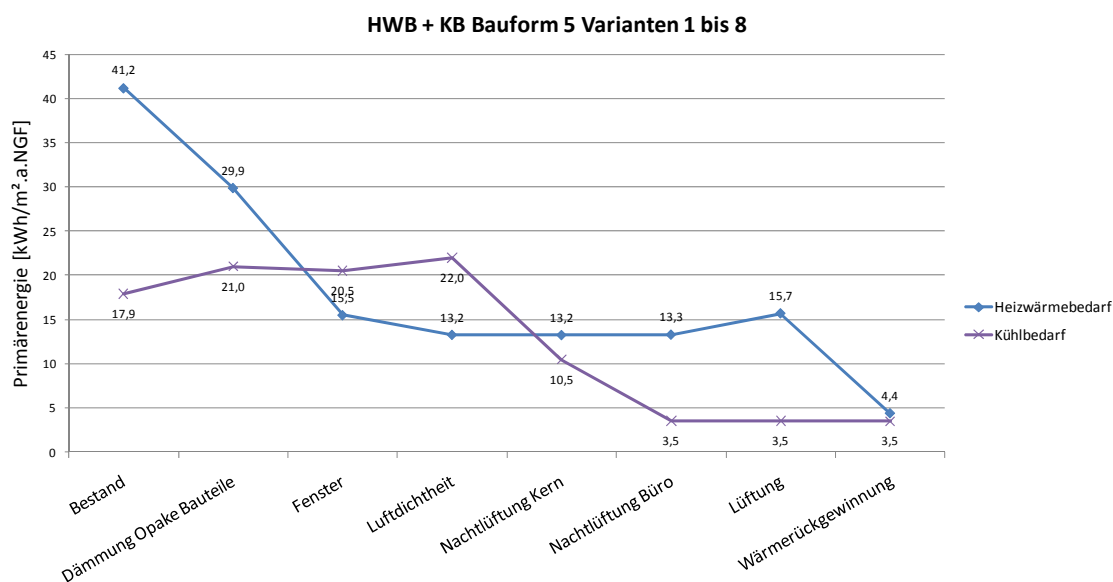


Abb. 49: Heizwärmebedarf und Kühlbedarf Bauform 5: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard

4.5.2 Vergleich der Varianten 9 bis 14

In den Varianten 9 bis 14 wurde in Einzelschritten die Kühlung in der Zone berechnet.

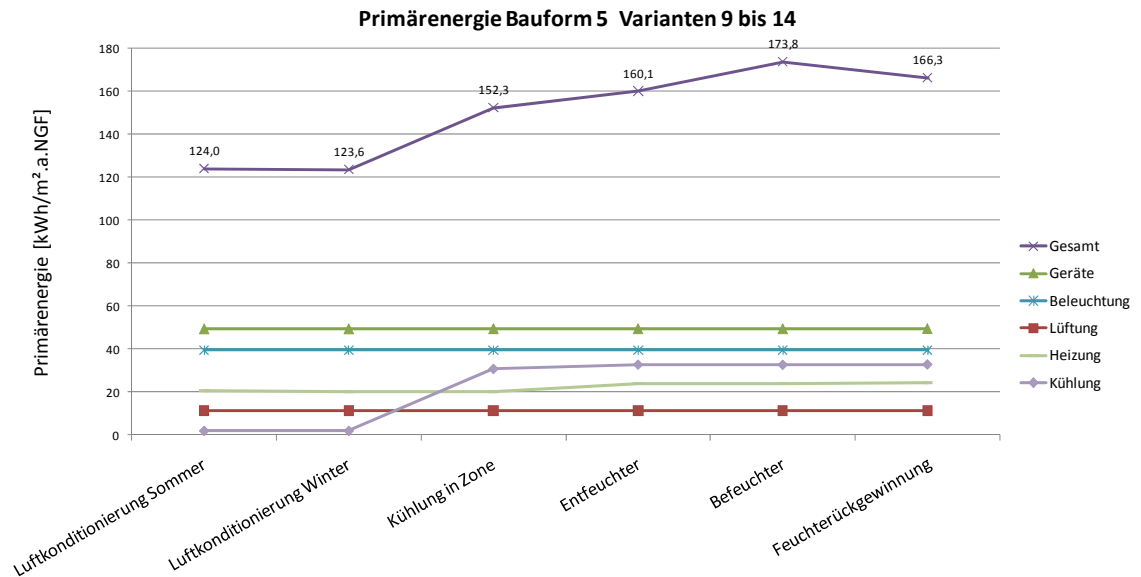


Abb. 50: Primärenergie Bauform 5: Varianten 9 bis 14 – Kühlung in der Zone

4.5.3 Vergleich der Varianten 15 bis 18

In den Varianten 15 bis 18 wurde das Verbesserungspotential folgender Maßnahmen untersucht:

- Bedarfsgerechte Lüftung
- Automatische Dimmer
- Luxmesser zur Regelung des Sonnenschutzes
- Senken der Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich

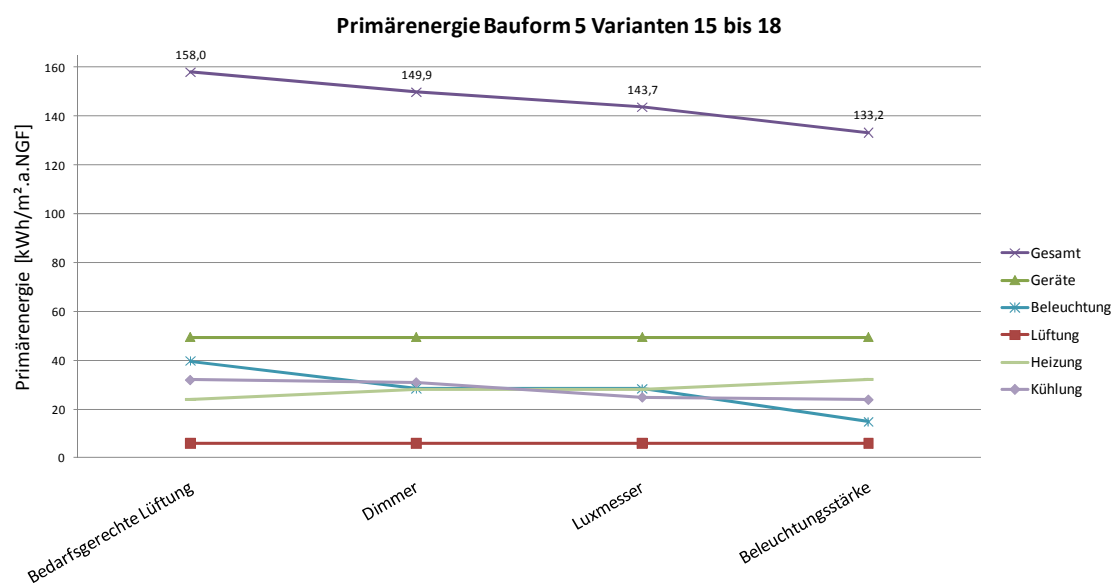


Abb. 51: Primärenergie Bauform 5: Varianten 15 bis 18 – Weitere Maßnahmen

4.5.4 Vergleich der Varianten 18 bis 23

In den Varianten 18 bis 23 wurden 6 verschiedene Sonnenschutzsysteme berechnet.

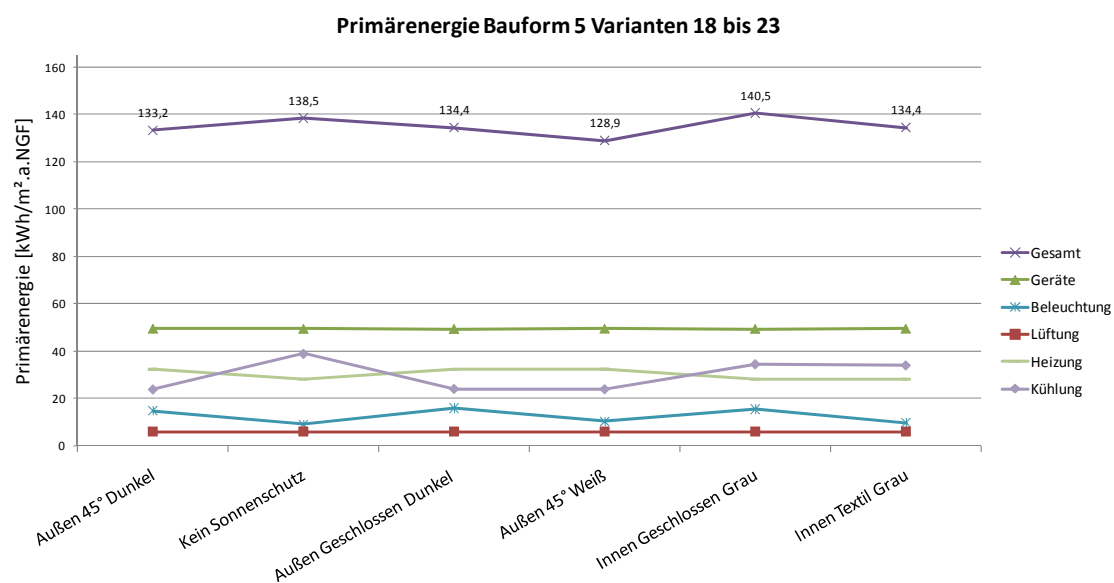


Abb. 52: Primärenergie Bauform 5: Varianten 18 bis 23 – Variation des Sonnenschutzes

4.5.5 Vergleich der Varianten 23 bis 29

In den Varianten 23 bis 29 wurden 7 verschiedene Fassaden berechnet.

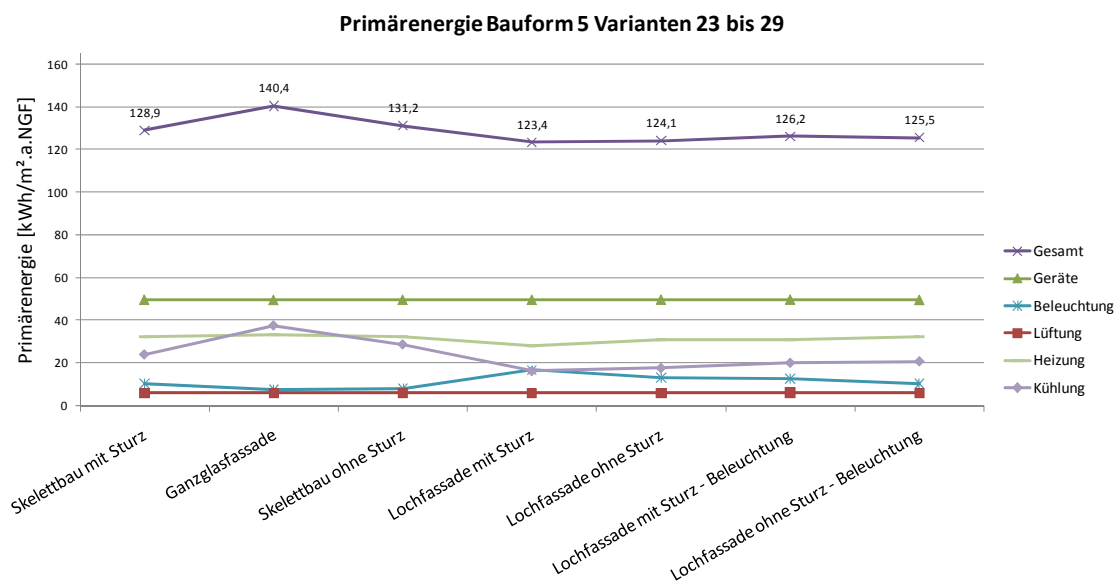


Abb. 53: Primärenergie Bauform 5: Varianten 23 bis 29 – Variation der Fassade

4.5.6 Vergleich der Varianten 29 bis 35

In den Varianten 29 bis 35 wurden noch folgende Parameter variiert:

- Orientierung
- Belegung
- Gruppen- oder Großraumbüros
- Ohne Kühlung in der Zone
- Ohne Kühlung in der Zone plus Entfeuchtung

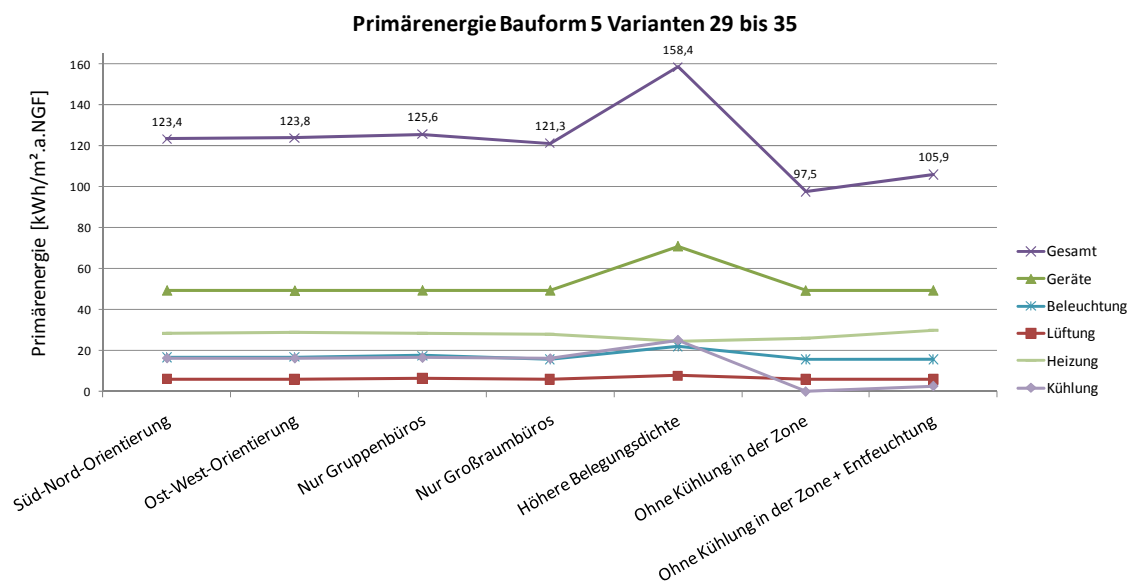


Abb. 54: Primärenergie Bauform 5: Varianten 29 bis 35 – Weitere Parameter

4.6 Bauform 6: 4 – 3 – 4

4.6.1 Vergleich der Varianten 1 bis 8

In den Varianten 1 bis 8 wurde in Einzelschritten der Passivhausstandard berechnet.

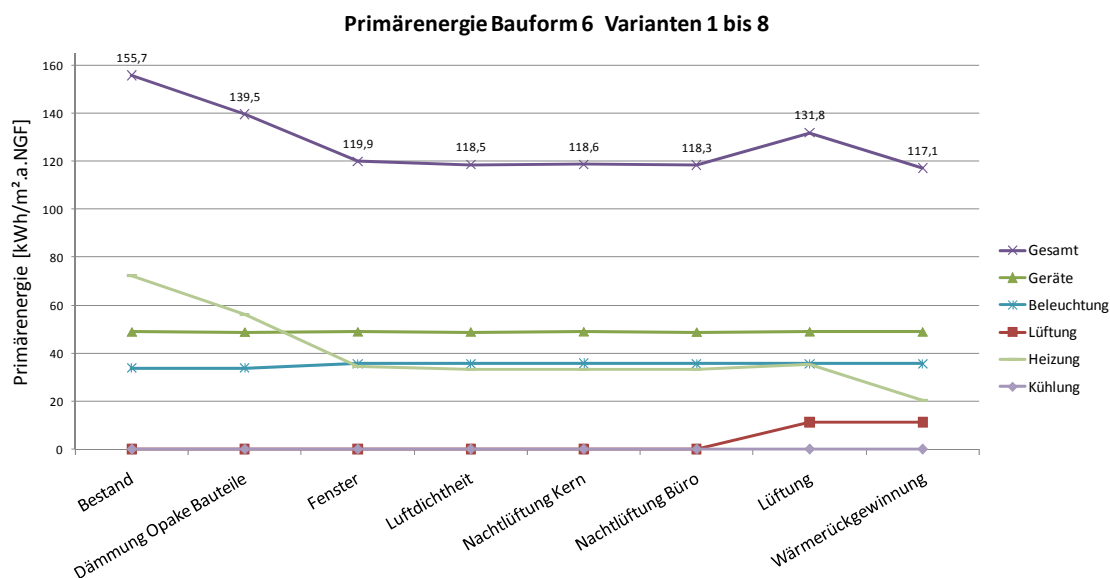


Abb. 55: Primärenergie Bauform 6: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard

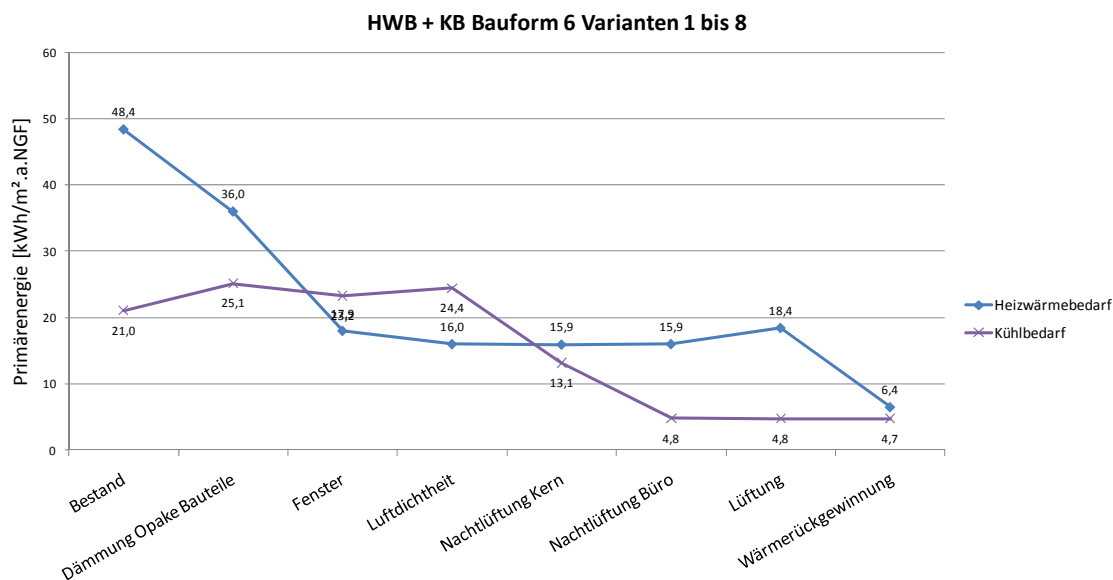


Abb. 56: Heizwärmebedarf und Kühlbedarf Bauform 6: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard

4.6.2 Vergleich der Varianten 9 bis 14

In den Varianten 9 bis 14 wurde in Einzelschritten die Kühlung in der Zone berechnet.

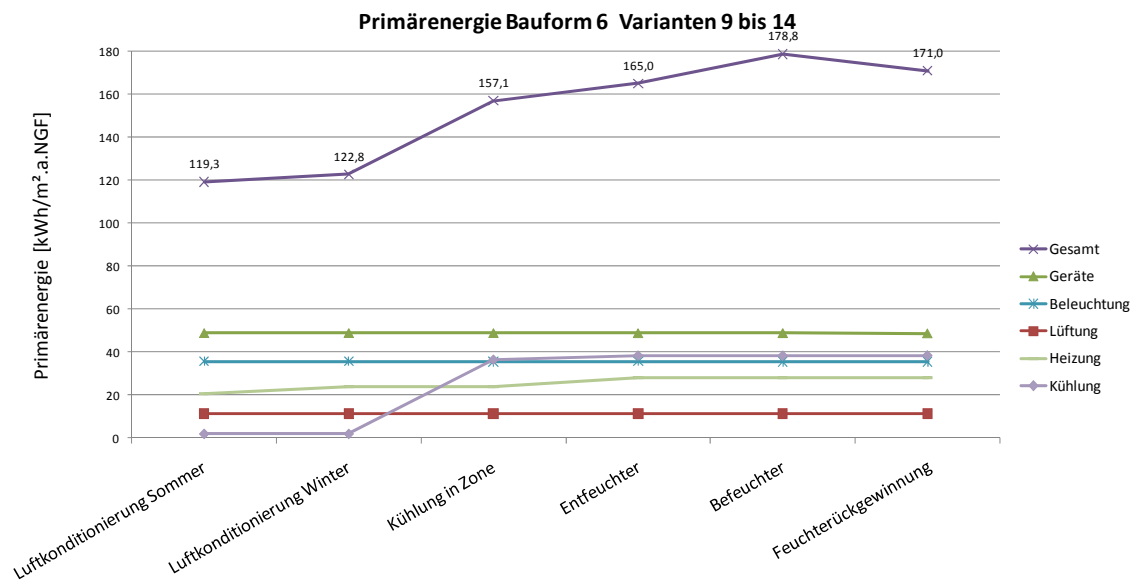


Abb. 57: Primärenergie Bauform 6: Varianten 9 bis 14 – Kühlung in der Zone

4.6.3 Vergleich der Varianten 15 bis 18

In den Varianten 15 bis 18 wurde das Verbesserungspotential folgender Maßnahmen untersucht:

- Bedarfsgerechte Lüftung
- Automatische Dimmer
- Luxmesser zur Regelung des Sonnenschutzes
- Senken der Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich

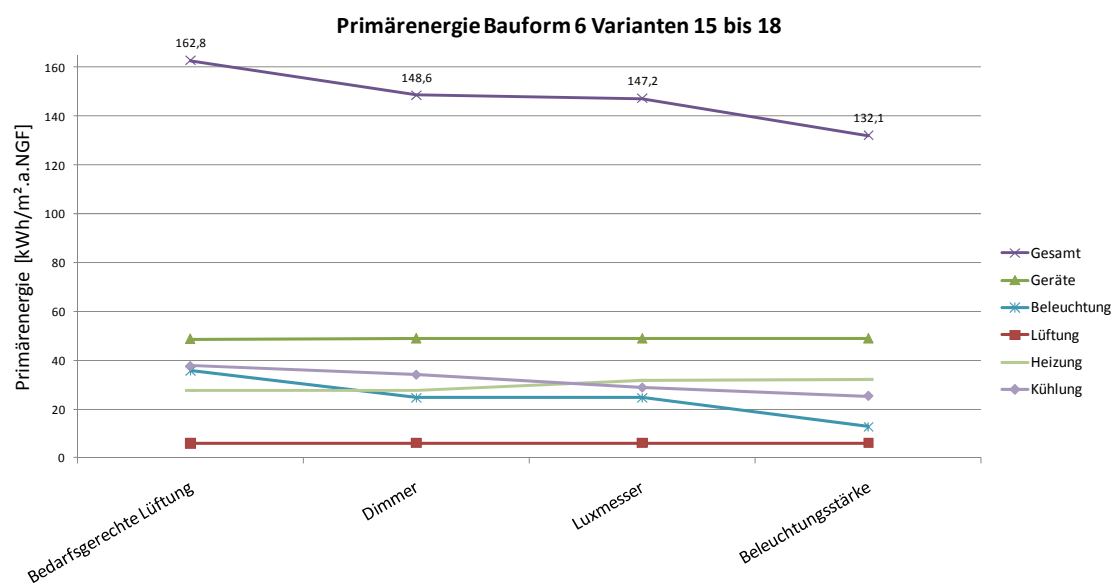


Abb. 58: Primärenergie Bauform 6: Varianten 15 bis 18 – Weitere Maßnahmen

4.6.4 Vergleich der Varianten 18 bis 23

In den Varianten 18 bis 23 wurden 6 verschiedene Sonnenschutzsysteme berechnet.

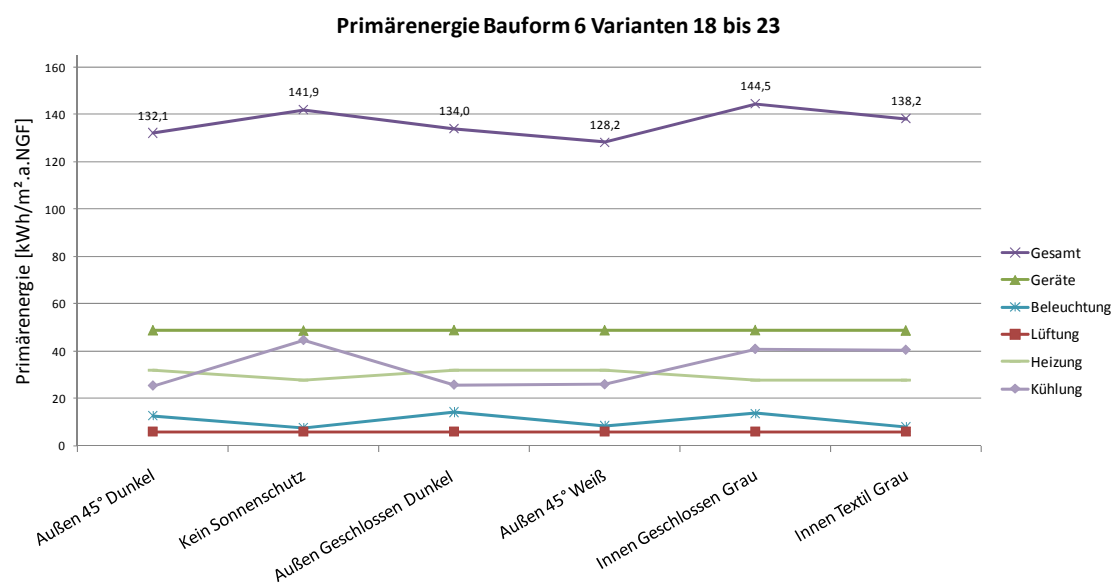


Abb. 59: Primärenergie Bauform 6: Varianten 18 bis 23 – Variation des Sonnenschutzes

4.6.5 Vergleich der Varianten 23 bis 29

In den Varianten 23 bis 29 wurden 7 verschiedene Fassaden berechnet.

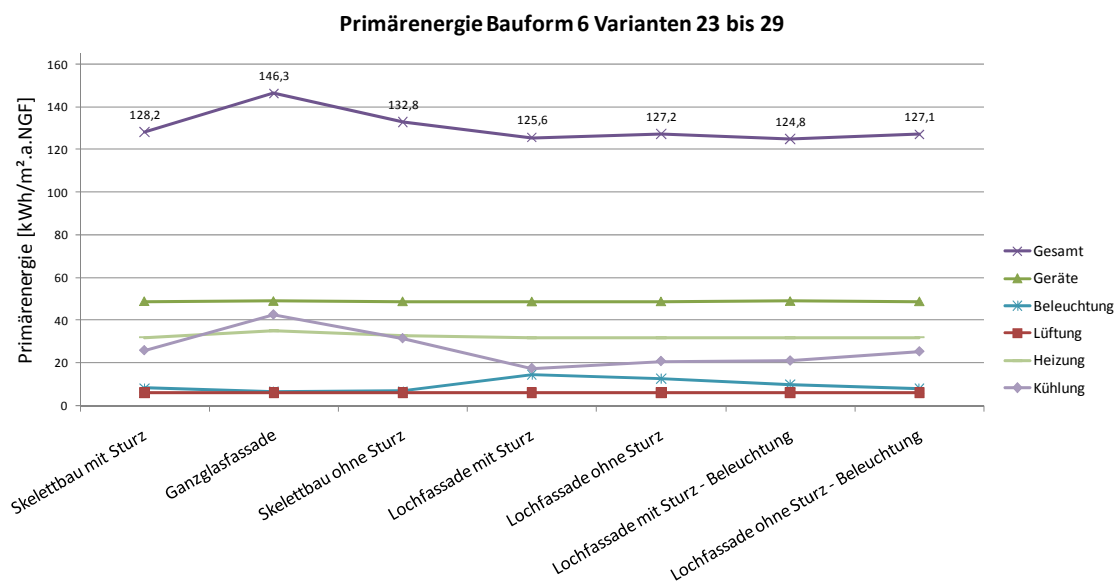


Abb. 60: Primärenergie Bauform 6: Varianten 23 bis 29 – Variation der Fassade

4.6.6 Vergleich der Varianten 29 bis 35

In den Varianten 29 bis 35 wurden noch folgende Parameter variiert:

- Orientierung
- Belegung
- Gruppen- oder Großraumbüros
- Ohne Kühlung in der Zone
- Ohne Kühlung in der Zone plus Entfeuchtung

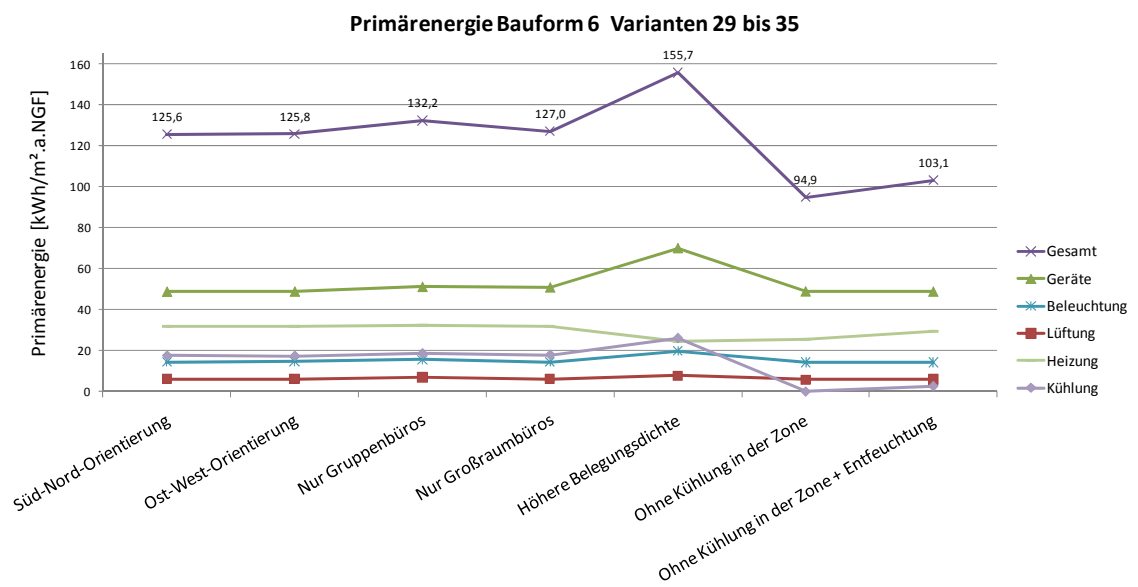


Abb. 61: Primärenergie Bauform 6: Varianten 29 bis 35 – Weitere Parameter

5 Vergleich der Ergebnisse

Im vorigen Kapitel wurden die verschiedenen Maßnahmen pro Bauform verglichen. Die Gegenüberstellung der verschiedenen Bauformen ist der Inhalt des folgenden Kapitels. Es wurden nicht alle Maßnahmen einzeln verglichen, sondern immer einige Parameter zu einem Vergleich zusammengefasst.

Das Chemiehochhaus ist, wie vorher schon erklärt, von diesen Vergleichen auszuschließen, da die Mittelzone größer ist, als bei den anderen Bauformen. Dies kann man an dem Energiebedarf für Geräte erkennen. Es sind in allen Gebäuden gleich viele Personen, und darum muss der Arbeitsmittelenergieaufwand auch gleich sein. Durch die Erhöhung des NGF in der Mittelzone, wo keine Geräte mit einberechnet werden, ergibt sich für die Geräte bei der Bauform 1 ein geringerer Energiebedarf, als bei den anderen Bauformen. In allen anderen Bauformen bleibt dieser Wert konstant.

5.1 Bestand

Der gesamte Primärenergiebedarf in Abb. 62 liegt zwischen 157 kWh/m².a.NGF bei der Bauform 2 und 174 kWh/m².a.NGF bei der Bauform 6. Am besten schneidet im Bestand die kompakteste Bauform, nämlich die Bauform 2 ab. Die Raumtiefen entsprechen im Büro acht Meter und in der Mittelzone sechs Meter. Die kompakte Bauform ermöglicht eine Minimierung der Gebäudehülle und darum auch einen sehr geringen Heizenergiebedarf. Weiters ergibt sich ein Minimum des Beleuchtungsenergiebedarfs bei der letzten Variante. Hier ermöglicht die kleine Raumtiefe einen hervorragenden Tageslichtversorgungsfaktor und daraus resultieren die niedrigen Werte für die Beleuchtung. Trotzdem kann diese Verbesserung die Verluste aus dem Heizen nicht ausgleichen.

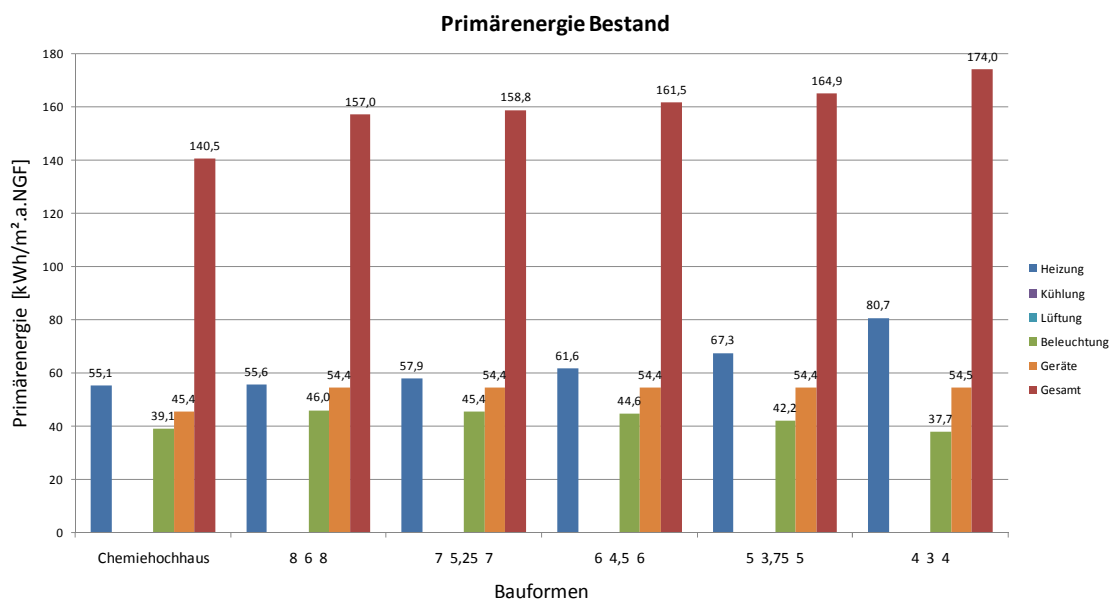


Abb. 62: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Bestand

Für die Kühlung werden keine Werte ausgewiesen, da es ohne Kältemaschine keinen Primärenergiebedarf gibt. Das heißt aber nicht, dass kein Kühlbedarf vorhanden ist.

5.2 Passivhausstandard

Mit der Verbesserung der Gebäudehülle auf Passivhausstandard, Nachtlüftung und der Installation einer Lüftung mit Wärmerückgewinnung ergeben sich die Ergebnisse lt. Abb. 63. Hier stellt sich die Bauform 6 als beste Variante dar, weil die höheren Verluste aus dem Heizen durch die kleinere Beleuchtungsenergie ausgeglichen werden. Durch diese Maßnahme erreicht man einen Primärenergiebedarf von ca. 132 kWh/m².a.NGF und damit eine Verminderung von 27 kWh/m².a.NGF. In diesen Berechnungen wurde der Kühlbedarf nicht berücksichtigt.

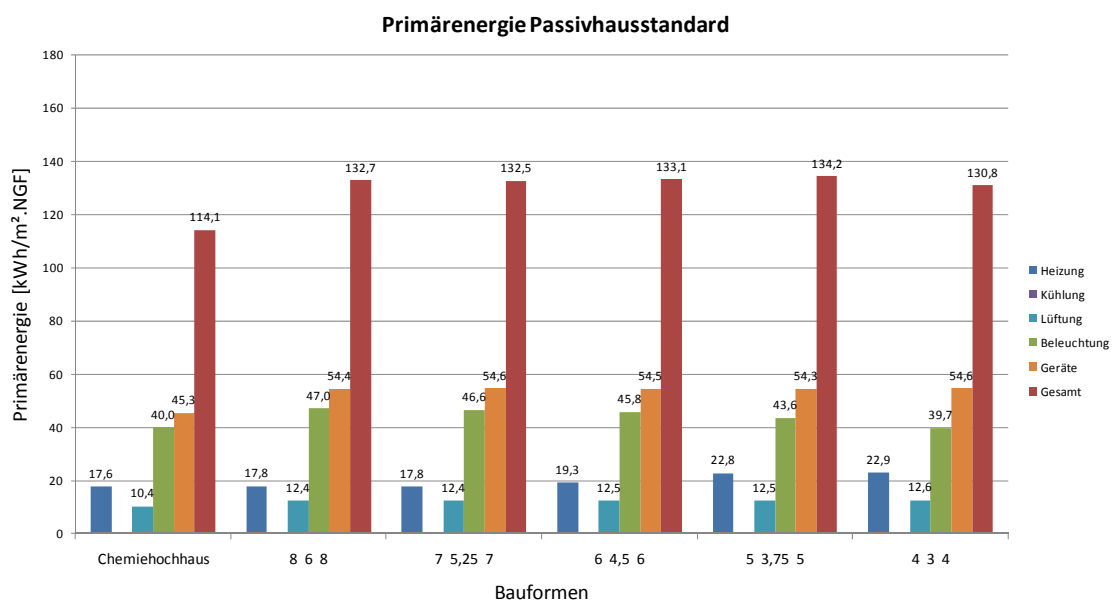


Abb. 63: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Passivhausstandard

Wie schon in Punkt 5.1 gilt: Für die Kühlung werden keine Werte ausgewiesen, da es ohne Kältemaschine keinen Primärenergiebedarf gibt. Das heißt aber nicht, dass kein Kühlbedarf vorhanden ist.

5.3 Kühlung in der Zone

Die Kühlung in der Zone bewirkt einen enormen Anstieg des Gesamtprimärenergiebedarfs. Es werden sogar die Werte der Bestandsgebäude um ca. 20 kWh/m².a.NGF überschritten. Hier kristallisiert sich, wieder aufgrund der Kompaktheit, die zweite Bauform als die Beste heraus. Man sieht, dass der Kühlenergiebedarf stetig, mit der Verschmälerung des Gebäudes, ansteigt. Der Unterschied zwischen der Bauform 2 und Bauform 6 beträgt 15 kWh/m².a.NGF.

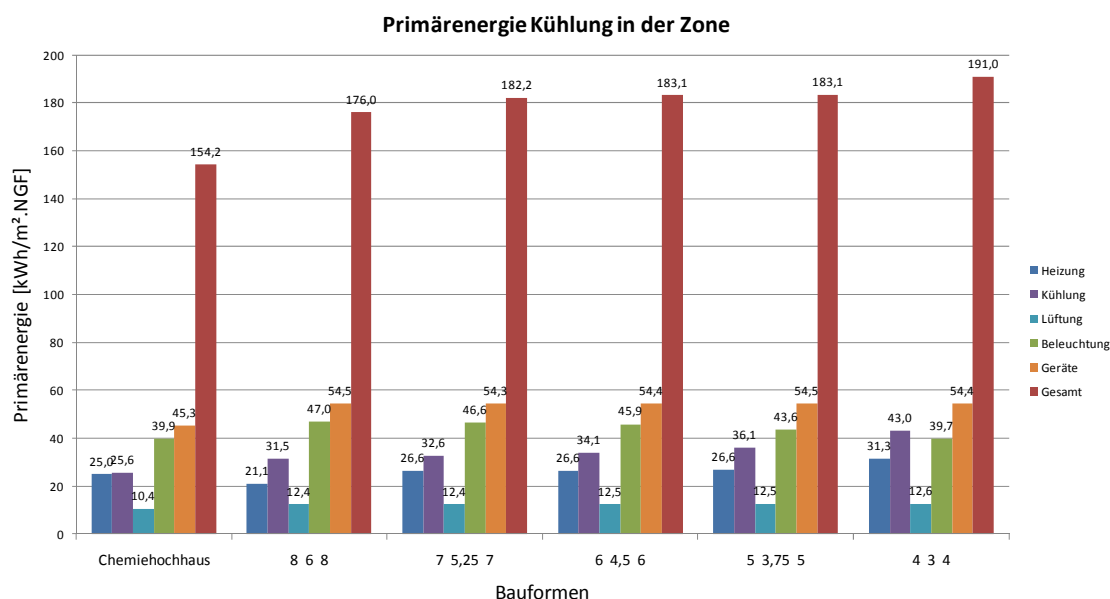


Abb. 64: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Kühlung in der Zone

5.4 Weitere Maßnahmen

Hier wurden folgende Maßnahmen getroffen:

- Bedarfsgerechte Lüftung
- Automatische Dimmer
- Luxmesser zur Regelung des Sonnenschutzes
- Senken der Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich

Das Einsparpotential durch die Optimierung der Beleuchtung, der Regelung des Sonnenschutzes und der Lüftung macht um die 40 kWh/m².a.NGF aus. Das heißt, dass

wir nach diesen Maßnahmen die Werte in Punkt 5.2 „Passivhausstandard“ fast erreichen. Durch die Minimierung des Beleuchtungsenergiebedarfs sinkt auch der Kühlenergiebedarf, da die inneren Gewinne, welche zum Teil durch die Beleuchtung hervorgerufen sind, wegfallen. Im Gegensatz dazu steigt aber aus demselben Grund der Heizenergiebedarf. Die Lüftungsenergie kann durch die bedarfsgerechte Lüftung annähernd halbiert werden.

Beim Vergleich der Bauformen fällt auf, dass die Heizenergie bei den Bauformen 2 bis 4 gleich ist und erst dann ansteigt. Genau diese drei Bauformen kommen auf die geringsten Werte.

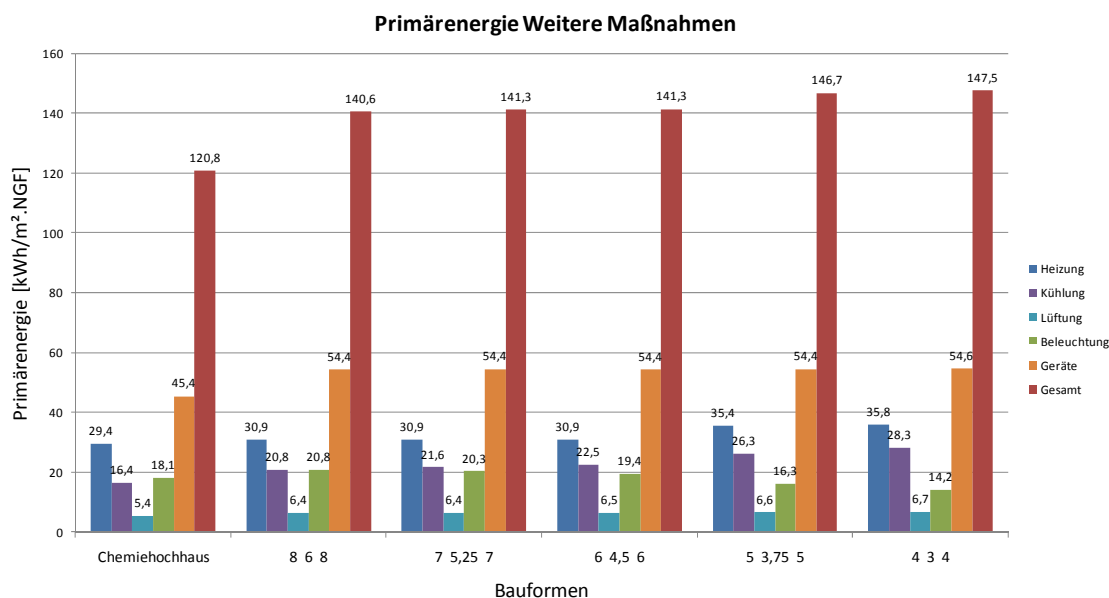


Abb. 65: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Weitere Maßnahmen

5.5 Sonnenschutz

Der ideale Sonnenschutz ermöglicht eine bessere Ausnutzung des Tageslichtes und es kann an Beleuchtungsenergie gespart werden. Hier ist noch anzumerken, dass die Verwendung von tageslichtlenkenden Systemen noch bessere Ergebnisse hervorgebracht hätten. Der Unterschied der Energie für Beleuchtung beträgt, mit der Bestandsvariante verglichen, ca. 28 kWh/m².a.NGF. Somit verfügt die Beleuchtung über ein hohes Einsparpotential.

Die vierte Bauform schneidet unter diesen Voraussetzungen am besten ab. Wie in Abb. 66 erkennbar, wird der Mehrverbrauch aus der Kühlung mit der Beleuchtung wieder ausgeglichen.

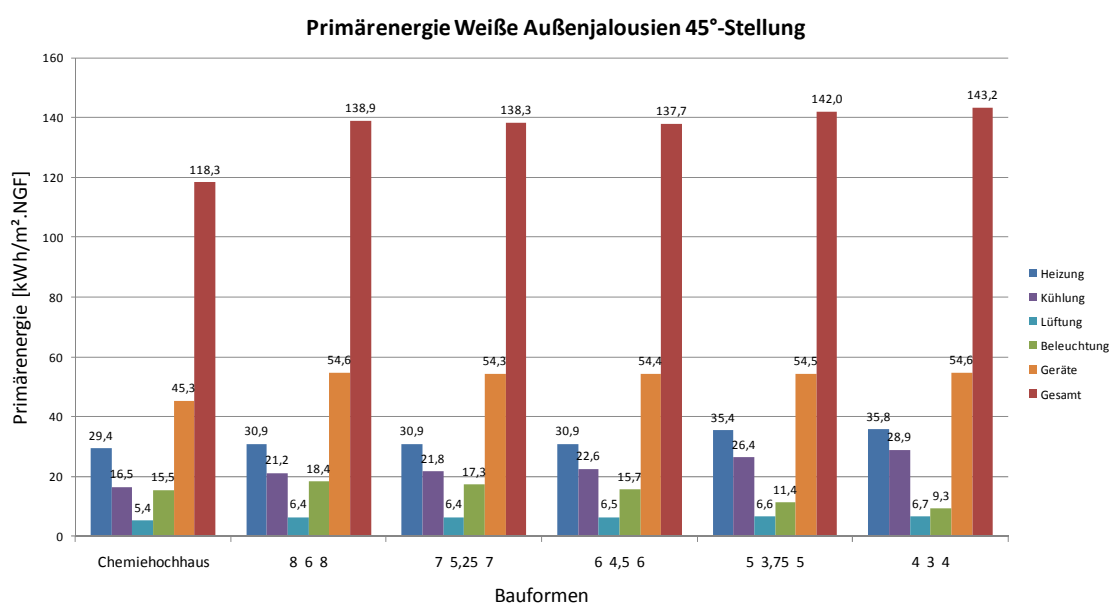


Abb. 66: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Weiße Außenjalousien in 45°-Stellung

5.6 Fassade

Um den Primärenergiebedarf zu minimieren, ist es notwendig, die Fensterfläche auf ein vernünftiges Maß zu verringern. Die Fensterflächen sind, neben den solaren Gewinnen, die Schwachstellen am Gebäude. Wenn man die Fenster vergrößert und, um eine bessere Tageslichtversorgung zu gewährleisten, den Sturz weglässt, ist das Einsparpotential der Beleuchtungsenergie nicht groß genug, um den Anstieg der Heizenergie und der Kühlenergie auszugleichen. Darum werden hier die verschiedenen Bauformen mit der Fassadenvariante „Lochfassade mit Sturz“ verglichen, da diese den besten Primärenergiebedarf erreichte.

Auch bei dieser Gegenüberstellung schneiden die zwei kompakteren Bauformen besser ab als die länger gezogenen Bauformen. Während die erforderliche Beleuchtungsenergie von der zweiten zur sechsten Bauform hin sinkt, steigen Heiz- und Kühlenergiebedarf an.

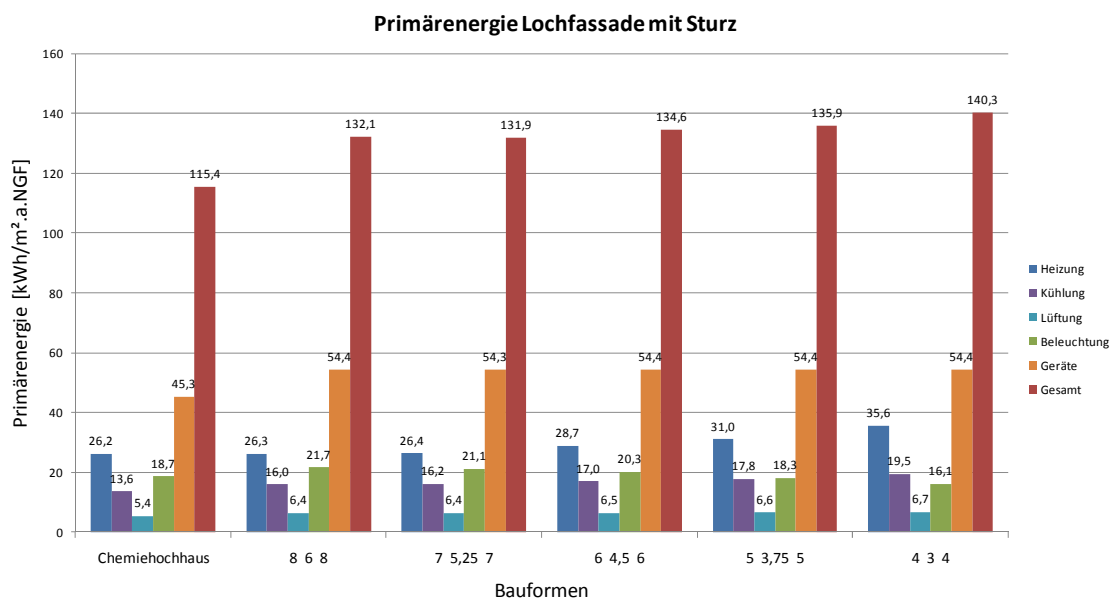


Abb. 67: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Lochfassade mit Sturz

5.7 Belegungsdichte

Bei der Erhöhung der Belegungsdichte wachsen folgende Parameter an:

- Kühlung, wegen der steigenden inneren Gewinne.
- Lüftung, da diese bedarfsgerecht läuft.
- Beleuchtung, weil sich die erforderliche Fläche der Sehaufgabe erhöht.
- Geräte, denn die Anzahl der Arbeitsgeräte wird aufgestockt.

Die erforderliche Heizenergie fällt, aufgrund der Erhöhung der inneren Gewinne, ab.

Insgesamt erhöht sich der Primärenergiebedarf bei doppelter Belegung (96 statt 48 Personen pro Geschoß) um ca. 32 kWh/m².a.NGF.

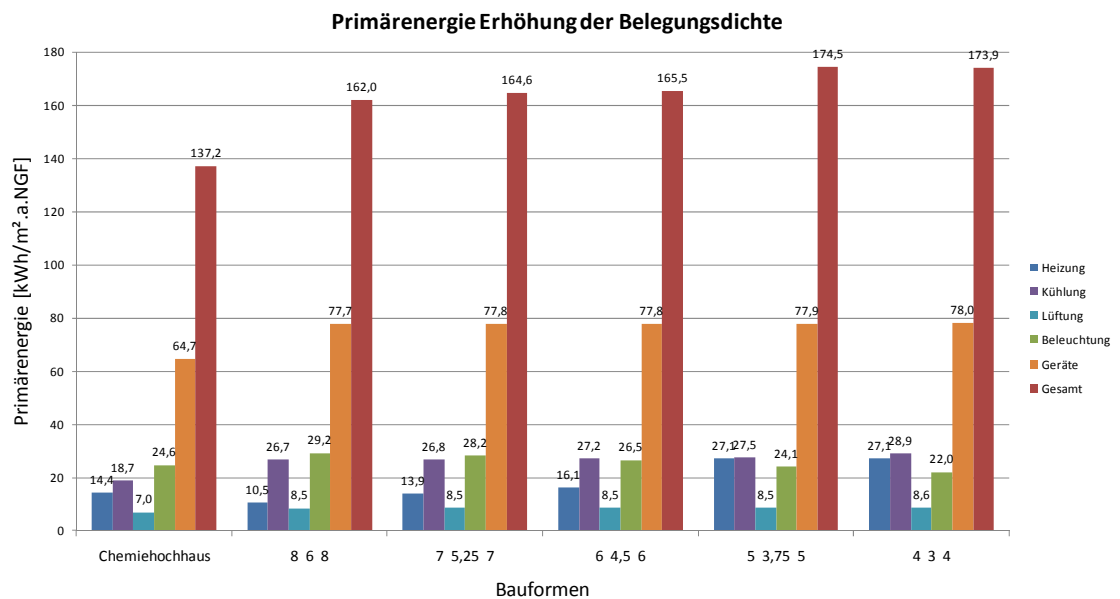


Abb. 68: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Erhöhung der Belegungsdichte

5.8 Ohne Kühlung in der Zone

Um deutlich zu machen, welchen Einfluss die Kühlung in der Zone auf den Primärenergiebedarf hat, wurde diese Variante ohne Kühlung, Luftkonditionierung und Be- bzw. Entfeuchtung berechnet.

Ohne Kühlung in der Zone pendelt sich die erforderliche Primärenergie, bei den Bauformen zwei bis sechs, auf ca. das gleiche Niveau, nämlich auf 106 kWh/m².a.NGF. Das Einsparpotential liegt bei 26 kWh/m².a.NGF. Leider kann der Komfort, nämlich die 26°C im Sommer so nicht eingehalten werden. Hier scheint es auch so, als wenn die sechste Variante besser bzw. gleich gut wie die anderen wäre. Das resultiert aber nur aus der nicht vorhandenen Kühlenergie, denn diese Bauform benötigt, durch die anteilig an der Gebäudehülle größten Fensterflächen, die meiste Kühlenergie.

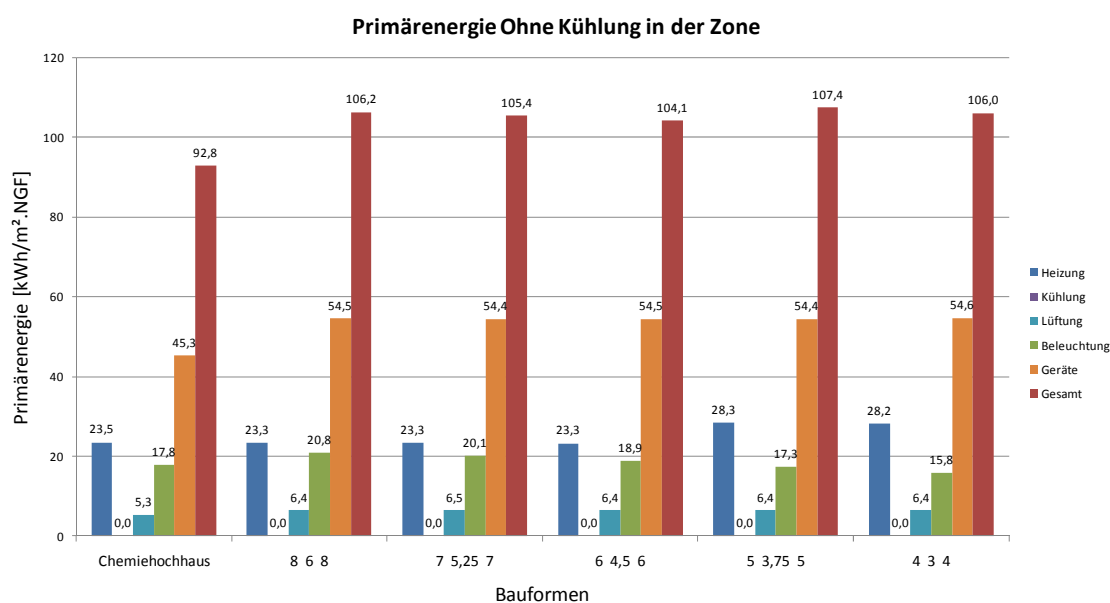


Abb. 69: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Ohne Kühlung in der Zone

5.9 Ohne Kühlung in der Zone mit Entfeuchtung

Untersucht wurde diese Variante aus denselben Gründen wie in Punkt 5.8 beschrieben. Die zusätzliche Entfeuchtung wurde deswegen dazu genommen, um die „Schwüle“ im Sommer zu entschärfen.

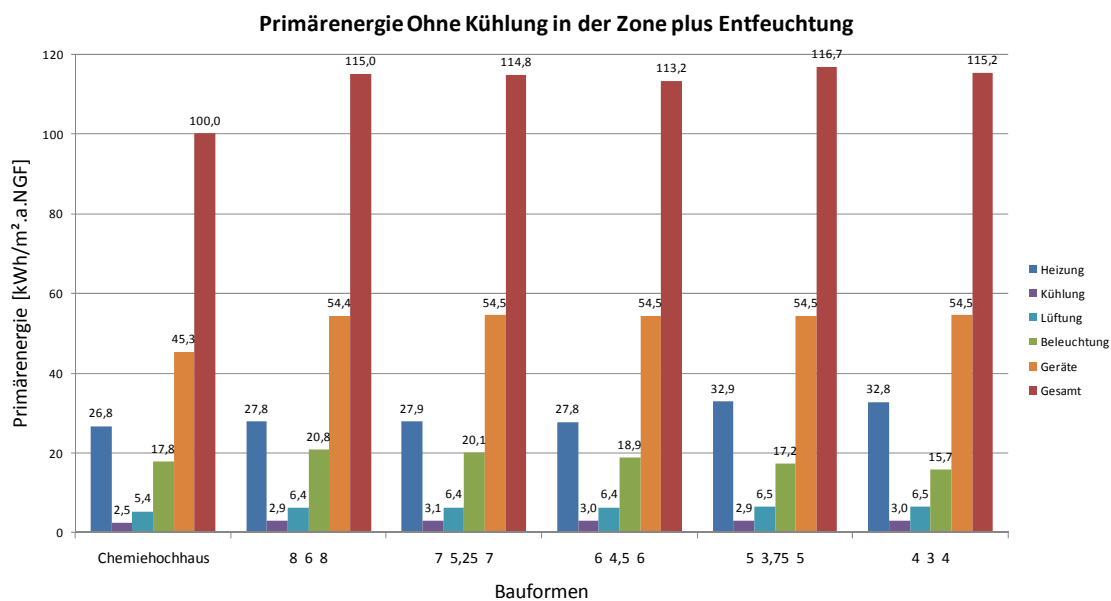


Abb. 70: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Ohne Kühlung in der Zone plus Entfeuchtung

5.10 Personenbezogener Vergleich

In Abb. 71 ist dargestellt, welche Variante das beste Gebäude, auf die Arbeitsplätze bezogen, ist. Sehr schön ist hier zu erkennen, dass bei der personenbezogenen Betrachtung das Chemiehochhaus einen größeren Primärenergiebedarf aufweist als die anderen Bauformen. Diese Tatsache ist aber nicht weiter verwunderlich, da die Mittelzone bei dieser Bauform größer ist und somit auch die Fläche der Gebäudehülle steigt.

In „Optimum“ sind alle Verbesserungen einberechnet, wie in -5.6-. D. h., die Beleuchtung, Lüftung usw. sind optimiert.

Auch hier weisen die beiden kompakteren Bauformen zwei und drei die geringsten Werte für den Primärenergiebedarf auf. Mit der maximalen Belegung des Gebäudes kann man die erforderliche personenbezogene Primärenergie auf ein Minimum reduzieren.

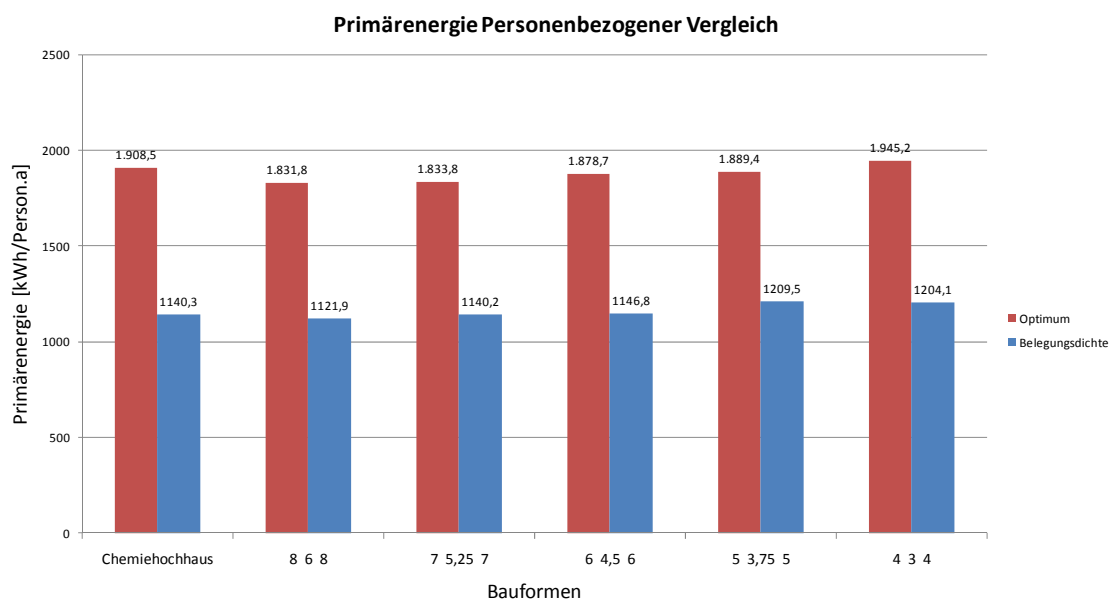


Abb. 71: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Personenbezogener Vergleich

6 Resümee

Der Grundgedanke, dass ein schmales, längeres Gebäude durch die bessere Tageslichtversorgung die kompakteren Bauformen übertreffen könnte, hat sich durch die Berechnungen in dieser Arbeit nicht bestätigt. Sicher kann über die Beleuchtung sehr viel eingespart werden, aber nicht nur durch die Veränderung der Raumtiefen, sondern durch ein Umdenken in der Lichtplanung bzw. überhaupt einer Bestellung eines Lichtplaners, kann der Beleuchtungsenergiebedarf auf fast ein Drittel eines konventionellen Baus gesenkt werden. Die schmale sechste Bauform besitzt gegenüber den kompakten Formen eine um 35,5 % größere Gebäudehülle und durch die geringe Trakttiefe ist der solare Eintrag pro m² auch viel höher als bei den anderen Bauformen. Dies bedeutet einen erheblichen Anstieg des erforderlichen Heiz- und Kühlenergiebedarfs, welcher nicht durch die kleinere Beleuchtungsenergie ausgeglichen werden kann.

In Zukunft sollte auch wieder mehr die Notwendigkeit der Kühlung infrage gestellt werden, da diese zwar den Komfortbereich gewährleisten, aber auch einen sehr hohen Energieeintrag haben. Vielleicht kann man mit noch besserer Planung und Forschung andere, energietechnisch weniger aufwendigere, Kälteerzeuger im Bürobau einsetzen und somit den Primärenergiebedarf auf ein Minimum beschränken.

Der Einfluss der stochastischen Anwesenheit ist minimal. Maßgebend sind die relative Anwesenheit und die Belegungsdichte.

Ein sehr großes Einsparpotential sehe ich auch noch in der Optimierung der Arbeitsgeräte. Fast 50% eines gut gebauten Gebäudes fallen auf den Strombedarf für die Arbeitsgeräte. Auch die Stand-by-Verluste werden jetzt langsam dem Markt angepasst und auf kleinere Werte minimiert, bzw. plant die EU diese Verluste nun zu beschränken.

7 Literatur

- [Ric08] Riccabona, Christof; Bednar, Thomas: Baukonstruktionslehre 4 - Bauphysik, 7. Auflage, Wien: Manz Verlag Schulbuch GmbH, 2008
- [Sof09] Dissertation von Mario Sofic, Erhöhung der Anwendbarkeit vereinfachter Berechnungsverfahren zur Bestimmung des Heizwärme- und Kühlbedarfs von Gebäuden. Wien: Mai 2009
- [Sof06] Diplomarbeit von Mario Sofic, Analyse eines vereinfachten Verfahrens zur Ermittlung des Heizwärme- und Kühlbedarfs für den Energieausweis. Wien: März 2006
- [Din07] DIN V 18599 , Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Deutschland: Februar 2007
- [Oen08] ÖNORM EN ISO 13370, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich - Berechnungsverfahren. Wien: April 2008
- [Oen08a] ÖNORM EN ISO 13789, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Spezifischer Transmissions- und Lüftungswärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren. Wien: April 2008
- [Oen05] ÖNORM EN ISO 13790, Energieeffizienz von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs. Wien: August 2005
- [Oen07] ÖNORM B 8110-6, Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf. Wien: August 2007
- [Loh08] Lohmeyer, Gottfried; Baar, Stefan; Bergmann, Heinz; Ebeling, Karsten; Post, Matthias: Praktische Bauphysik – Eine Einführung mit Berechnungsbeispielen, 6.Auflage. Deutschland: Vieweg+Teubner Verlag, August 2008

-
- [Fou07] Fouad, Nabil; De Boer, Jan: Bauphysik Kalender 2007 – C Bauphysikalische Nachweisverfahren, Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung , 7.Jahrgang. Deutschland: Ernst & Sohn Verlag, 2007
- [Din03] DIN EN 12464-1, Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen. Deutschland: März 2003
- [Cep01] CEPHEUS – cost efficient passive houses as european standards – Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung – Endbericht, #22. Deutschland: Juli 2007
- [Bun09] Bundesgesetzblatt – Arbeitsstättenverordnung – StF: BGBl. II Nr. 368/1998 – Änderung: BGBl. II Nr. 256/2009. Wien: 14.Oktober.2009
- [Din05] DIN EN ISO 15927-4, Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung und Darstellung von Klimadaten – Teil 4: Stündliche Daten zur Abschätzung des Jahresenergiebedarfs für Heiz- und Kühlsysteme. Deutschland: Oktober 2005

8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Parameter des Beleuchtungsenergiebedarfs; Quelle: [Fou07]	22
Abb. 2: Exemplarischer Wartungszyklus einer Beleuchtungsanlage; Quelle: [Fou07]	27
Abb. 3: Einfluss der Fenstergeometrie auf den Tageslichtbereich; Quelle: [Fou07]	32
Abb. 4: Schemaschnitte zur Erläuterung der verschiedenen Einflüsse und die geometrischen Größen für den Innenhof; Quelle: [Din07]	35
Abb. 5: Schwankung des Primärenergiebedarfs am Beispiel der Geräte und der Beleuchtung bei 10 Berechnungen aufgrund der unterschiedlichen Anwesenheit der Personen.	42
Abb. 6: Regelgeschoß Chemiehochhaus TU Wien; Abbildung der verschiedenen Nutzungsflächen	46
Abb. 7: Variante 1: Vereinfachtes Regelgeschoß Chemiehochhaus TU Wien	47
Abb. 8: Variante 2 – 8 6 8	49
Abb. 9: Variante 3 – 7 5,25 7	49
Abb. 10: Variante 4 – 6 4,5 6	50
Abb. 11: Variante 5 – 5 3,75 5	50
Abb. 12: Variante 6 – 4 3 4	50
Abb. 13: Skelettbau mit Sturz	59
Abb. 14: Ganzglasfassade	60
Abb. 15: Skelettbau ohne Sturz	60
Abb. 16: Lochfassade mit Sturz	61
Abb. 17: Lochfassade ohne Sturz	61
Abb. 18: Lochfassade mit Sturz - Beleuchtung	62
Abb. 19: Lochfassade ohne Sturz - Beleuchtung	62

Abb. 20: Primärenergie Chemiehochhaus: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard	66
Abb. 21: Heizwärmebedarf und Kühlbedarf Chemiehochhaus: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard	67
Abb. 22: Primärenergie Chemiehochhaus: Varianten 9 bis 14 – Kühlung in der Zone	68
Abb. 23: Primärenergie Chemiehochhaus: Varianten 15 bis 18 – Weitere Maßnahmen	69
Abb. 24: Primärenergie Chemiehochhaus: Varianten 18 bis 23 – Variation des Sonnenschutzes	69
Abb. 25: Primärenergie Chemiehochhaus: Varianten 23 bis 29 – Variation der Fassade	70
Abb. 26: Primärenergie Chemiehochhaus: Varianten 29 bis 35 – Weitere Parameter	71
Abb. 27: Primärenergie Bauform 2: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard	74
Abb. 28: Heizwärmebedarf und Kühlbedarf Bauform 2: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard	74
Abb. 29: Primärenergie Bauform 2: Varianten 9 bis 14 – Kühlung in der Zone	75
Abb. 30: Primärenergie Bauform 2: Varianten 15 bis 18 – Weitere Maßnahmen	76
Abb. 31: Primärenergie Bauform 2: Varianten 18 bis 23 – Variation des Sonnenschutzes	76
Abb. 32: Primärenergie Bauform 2: Varianten 23 bis 29 – Variation der Fassade	77
Abb. 33: Primärenergie Bauform 2: Varianten 29 bis 35 – Weitere Parameter	78
Abb. 34: Primärenergie Bauform 3: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard	79
Abb. 35: Heizwärmebedarf und Kühlbedarf Bauform 3: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard	79
Abb. 36: Primärenergie Bauform 3: Varianten 9 bis 14 – Kühlung in der Zone	80
Abb. 37: Primärenergie Bauform 3: Varianten 15 bis 18 – Weitere Maßnahmen	81

Abb. 38: Primärenergie Bauform 3: Varianten 18 bis 23 – Variation des Sonnenschutzes	81
Abb. 39: Primärenergie Bauform 3: Varianten 23 bis 29 – Variation der Fassade	82
Abb. 40: Primärenergie Bauform 3: Varianten 29 bis 35 – Weitere Parameter	83
Abb. 41: Primärenergie Bauform 4: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard	84
Abb. 42: Heizwärmebedarf und Kühlbedarf Bauform 4: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard	84
Abb. 43: Primärenergie Bauform 4: Varianten 9 bis 14 – Kühlung in der Zone	85
Abb. 44: Primärenergie Bauform 4: Varianten 15 bis 18 – Weitere Maßnahmen	86
Abb. 45: Primärenergie Bauform 4: Varianten 18 bis 23 – Variation des Sonnenschutzes	86
Abb. 46: Primärenergie Bauform 4: Varianten 23 bis 29 – Variation der Fassade	87
Abb. 47: Primärenergie Bauform 4: Varianten 29 bis 35 – Weitere Parameter	88
Abb. 48: Primärenergie Bauform 5: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard	89
Abb. 49: Heizwärmebedarf und Kühlbedarf Bauform 5: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard	89
Abb. 50: Primärenergie Bauform 5: Varianten 9 bis 14 – Kühlung in der Zone	90
Abb. 51: Primärenergie Bauform 5: Varianten 15 bis 18 – Weitere Maßnahmen	91
Abb. 52: Primärenergie Bauform 5: Varianten 18 bis 23 – Variation des Sonnenschutzes	91
Abb. 53: Primärenergie Bauform 5: Varianten 23 bis 29 – Variation der Fassade	92
Abb. 54: Primärenergie Bauform 5: Varianten 29 bis 35 – Weitere Parameter	93
Abb. 55: Primärenergie Bauform 6: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard	94
Abb. 56: Heizwärmebedarf und Kühlbedarf Bauform 6: Varianten 1 bis 8 – Passivhausstandard	94

Abb. 57: Primärenergie Bauform 6: Varianten 9 bis 14 – Kühlung in der Zone	95
Abb. 58: Primärenergie Bauform 6: Varianten 15 bis 18 – Weitere Maßnahmen	96
Abb. 59: Primärenergie Bauform 6: Varianten 18 bis 23 – Variation des Sonnenschutzes	96
Abb. 60: Primärenergie Bauform 6: Varianten 23 bis 29 – Variation der Fassade	97
Abb. 61: Primärenergie Bauform 6: Varianten 29 bis 35 – Weitere Parameter	98
Abb. 62: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Bestand	100
Abb. 63: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Passivhausstandard	101
Abb. 64: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Kühlung in der Zone	102
Abb. 65: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Weitere Maßnahmen	103
Abb. 66: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Weiße Außenjalousien in 45°- Stellung	104
Abb. 67: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Lochfassade mit Sturz	105
Abb. 68: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Erhöhung der Belegungsdichte	106
Abb. 69: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Ohne Kühlung in der Zone	107
Abb. 70: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Ohne Kühlung in der Zone plus Entfeuchtung	108
Abb. 71: Primärenergie Vergleich der Bauformen – Personenbezogener Vergleich	109

9 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Zusammenhang zwischen E_m und E_U ; Quelle: [Din03]	28
Tab. 2: Anpassungsfaktor für unterschiedliche Lampentypen; Quelle: [Din07]	29
Tab. 3: Anpassungsfaktor k_R zur Berücksichtigung des Einflusses der Raumauslegung; Quelle: [Din07]	30
Tab. 4: Zusammenstellung der Nutzflächen aller Varianten	48