

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle
für Prüfung, Überwachung und
Zertifizierung
Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile
und Bauarten
Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Institutsleitung
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

IBP-Bericht ESB-001/2009 HOKI

Studie zur Energieeffizienz innovativer Gebäude-, Beleuchtungs- und Raumklimakonzepte (EnEff-Studie)

Das Vorhaben wurde gefördert vom Bundesministerium
für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen des
Forschungsschwerpunktes Energieoptimiertes Bauen
Förderkennzeichen: 0327240C

**Auszugsweise Veröffentlichung nur mit
schriftlicher Genehmigung des Fraun-
hofer-Instituts für Bauphysik gestattet.**

Dipl.-Ing. Herbert Sinnesbichler
Dipl.-Ing. Andreas Koller

Holzkirchen, 23. Juni 2009

Institutsleiter



Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Gerd Hauser

Abteilungsleiter



Tekn. Dr.
Dietrich Schmidt

Bearbeiter



Dipl.-Ing.
Herbert Sinnesbichler

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle
für Prüfung, Überwachung und
Zertifizierung
Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile
und Bauarten
Forschung, Entwicklung, Demonstra-
tion und Beratung auf den Gebieten
der Bauphysik

Institutsleitung
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

IBP-Bericht ESB-001/2009 HOKI

Studie zur Energieeffizienz innovativer Ge- bäude-, Beleuchtungs- und Raumklimakon- zepte (EnEff-Studie)

Das Vorhaben wurde gefördert vom Bundesministerium
für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen des
Forschungsschwerpunktes Energieoptimiertes Bauen
Förderkennzeichen: 0327240C

Der Bericht umfasst:
99 Seiten Text
61 Tabellen
64 Abbildungen

**Auszugsweise Veröffentlichung nur mit
schriftlicher Genehmigung des Fraun-
hofer-Instituts für Bauphysik gestattet.**

Dipl.-Ing. Herbert Sinnesbichler
Dipl.-Ing. Andreas Koller

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert (Förderkennzeichen 0327240C).

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

Die beteiligten Industriepartner waren:

- Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V.
- BELIMO Automation AG
- Bundesverband Flachglas e.V.
- Heinz Trox-Stiftung
- Münchner Rückversicherungs AG
- SITECO Beleuchtungstechnik GmbH
- Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e.V.

Wir bedanken uns für die finanzielle und fachliche Unterstützung aller Förderer des Vorhabens.

Inhalt

1	Einleitung	5
2	Aufgabenstellung	6
3	Beschreibung der Typgebäude	6
4	Analyse des sommerlichen Temperaturverhaltens	19
4.1	Software zur dynamischen Gebäudesimulation	19
4.2	Simulationsrandbedingungen	19
4.2.1	Klimadaten	19
4.2.2	Raummodell	20
4.2.3	Nutzungsrandbedingungen	22
4.3	Bewertungsverfahren	24
4.4	Variantenmatrix	26
4.5	Vereinfachter Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2:2003-07 [2]	29
4.6	Ergebnisse der dynamischen Simulationsrechnungen	32
4.6.1	Einfluss unterschiedlicher transparenter Fassadenvarianten	32
4.6.1.1	Grundvarianten Lochfassade	32
4.6.1.2	Grundvarianten Fensterbandfassade	35
4.6.1.3	Grundvarianten Hochverglaste Fassade	37
4.6.2	Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens durch Nachtlüftung	40
4.6.3	Einfluss der Fassadenorientierung auf das sommerliche Wärmeverhalten	42
4.6.4	Einfluss der thermischen Speichermasse auf das sommerliche Wärmeverhalten	43
4.6.5	Sommerliches Wärmeverhalten bei extremen Witterungsverhältnissen	45
5	Ermittlung der Nutz-, End- und Primärenergieanteile	47
5.1	Primärenergetischer Vergleich der beiden Typgebäude	47
5.2	Endenergieanteile am Beispiel des kleinen Typgebäudes	50
5.3	Abhängigkeit des Nutz- und Primärenergiebedarfs von der Fassadenvariante am Beispiel des großen Typgebäudes	51
5.4	Energiebedarf unterschiedlicher Gebäude-/Anlagenvarianten am Beispiel des kleinen Typgebäudes	59
5.4.1	Gebäudehülle	59
5.4.2	Anlagentechnik	64
5.4.2.1	Lüftungstechnik	64
5.4.2.2	Befeuchtung	66
5.4.2.3	Kühlung	68
5.4.2.4	Heizungstechnik	70
5.4.2.5	Heizsystem	71
5.4.3	Haustechnik	74
5.4.3.1	Sonnenschutzsteuerung	74
5.4.3.2	Beleuchtung	76

5.4.4	Kombinierte Maßnahmenpakete	81
5.4.4.1	Maßnahmenkette 1	81
5.4.4.2	Maßnahmenkette 2	84
5.4.4.3	Maßnahmenkette 3	87
5.4.4.4	Maßnahmenkette 4	88
5.4.4.5	Maßnahmenkette 5	90
5.4.4.6	Vergleich Maßnahmenketten großes und kleines Typgebäude	92
6	Zusammenfassung und Ausblick	94
7	Literatur	98

1 Einleitung

Die Herausforderungen für eine langfristige sichere Energieversorgung sowie die Bedeutung des nachhaltigen Schutzes der Erdatmosphäre zur Eingrenzung des Klimawandels sind eine der zentralen Aufgaben des beginnenden 21. Jahrhunderts. Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs sind sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht sinnvoll und zwingend notwendig. Speziell im Gebäudebereich bieten sich hierzu große Potentiale. Im Rahmen der Energieeinsparverordnung sind für sowohl für Neubauten als auch bei Sanierungen von Bestandsobjekten gesetzliche Anforderungen an die Energieeffizienz bindend vorgeschrieben. Häufig werden bei der Entwicklung von Gebäudekonzepten Einzelmaßnahmen zur Senkung des Energiebedarfs betrachtet. Durch diese einseitige Betrachtung kann das gesamte Primärenergieeinsparpotential, welches durch integral aufeinander abgestimmte Anlagen-/ Gebäudekonzepte erreichbar wäre, nicht realisiert werden.

Besonders der Verwaltungsbau mit seinen hohen Anforderungen an Beleuchtung, Raumtemperatur und Luftqualität besitzt im Vergleich zum Wohnungsbau immer noch sehr hohe Energiebedarfskennwerte. Gesamtenergiekonzepte von Gebäuden beinhalten vielfältige Komponenten, die zum Teil energetisch konkurrierend wirken können. Sonnenschutzsysteme können die Solargewinne deutlich reduzieren, gleichzeitig aber auch dazu führen, dass die Stromverbräuche für die Beleuchtung ansteigen. Dies erhöht letztendlich wiederum die Kühllasten. Die einzelnen Komponenten müssen daher im Gesamtkontext betrachtet und bewertet werden. Zur energetischen Bilanzierung dieser komplexen Zusammenhänge wurde die Vornormenreihe DIN V 18599 [4] „Gesamtenergetische Bewertung von Gebäuden“ erarbeitet, deren Bewertungsmethodik seit Novelisierung der Energieeinsparverordnung im Jahr 2007 bindend für Nichtwohngebäude im Rahmen des öffentlich rechtlichen Nachweises anzuwenden ist. Mit Hilfe dieser Normenreihe ist es erstmalig möglich, anstelle aufwendiger dynamischer Simulationsmodelle den Energiebedarf für die Beheizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung inklusive der dazugehörigen Anlagentechnik vereinfacht auf Basis von Monatsmittelwerten zu berechnen.

In einem am Fraunhofer-Institut für Bauphysik Holzkirchen vor kurzem abgeschlossenen Forschungsvorhaben mit dem Titel „Weiterentwicklung und Evaluierung von Technologien und von Bewertungsmethoden zur Steigerung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – EnEff06“ (Förderung durch das BMWi, Projektträger Jülich, Kennzeichen 0327240B) [10] wurde beispielhaft für den Verwaltungsbau diese neue Bewertungsmethodik der DIN V 18599 [4] anhand realer Messungen an beispielhaft ausgestatteten Büroräumen verifiziert. Hauptaspekt der Untersuchungen war hierbei insbesondere die komplexe Wechselwirkung von Fassadentechnologie mit den Systemen für Heizung, Lüftung, Klimatisierung sowie künstlicher Beleuchtung. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden insgesamt 12 verschiedenartig ausgestattete Musterbüroräume an einem Versuchsgebäude am Standort Holzkirchen mit unterschiedlichen Fassadenvarianten und Anlagensystemen ausgestattet. Für jeden einzelnen Raum wurden die jeweils relevanten Energiemengen für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung erfasst und mit den Berechnungsergebnissen gemäß DIN V 18599 [4] verglichen. Rechenalgorithmen bzw. Randbedingungen der DIN V 18599 [4], Kenndaten von Systemen und Anlagenkomponenten konnten so anhand der Messergebnisse verifiziert werden.

Im Rahmen des im Folgenden beschriebenen Forschungsvorhabens „EnEff-Studie“ wurden, aufbauend auf den Erkenntnissen aus diesem EnEff06-Projekt [10], Analysen zur Energieeffizienz innovativer Gebäude-, Beleuchtungs- und Raumklimakonzepte am Beispiel ausgewählter Typgebäude durchgeführt. Hierdurch können die im messtechnischen Versuch analysierten und auf die jeweiligen Versuchsräume bezogenen Szenarien (Fassadenvarianten, Anlagenkonzepte, Sonnenschutz-/Beleuchtungssysteme usw.) auf realitätsnahe ganze Gebäudekonzepte übertragen und so unmittelbar miteinander vergleichbar gemacht werden. Die Ergebnisse hieraus geben Planern, Gebäudeinvestoren, Gebäudebetreibern sowie den entsprechenden Industriefirmen Planungshinweise und Empfehlungen für die Entwicklung von energieeffizienten Gebäude.

2 Aufgabenstellung

Im Rahmen einer umfangreichen Literatursichtung werden zunächst typische Verwaltungsbauten analysiert und zwei Typgebäude für die weitere Betrachtung im Rahmen der geplanten Studie ausgewählt. Hierbei wurde ein Gebäude mit wenig Etagen und ein typisches Hochhaus ausgewählt. Unterschiedliche Ausführungen des Gebäudes (Fassade, Innenbauteile) werden mit geeigneten Anlagenkombinationen für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung in einer Untersuchungsmatrix zusammengestellt, wobei bevorzugt die bereits im EnEff06-Forschungsvorhaben [10] ausgewählten Konzepte berücksichtigt werden.

Die wesentlichen Parameter sind hierbei:

- Transparenter Fassadenanteil,
- Verglasungsart (Sonnenschutz-/Wärmeschutzverglasung),
- Lage und Ausführung des Sonnenschutzes,
- Künstliche Beleuchtungssysteme und deren Regelverhalten
- Thermische Speichermassen im Gebäude,
- Konzepte zur erhöhten Nachtlüftung,
- Lüftungssysteme,
- Unterschiedliche Systeme zur Bereitstellung von Wärme und Kälte,
- Orientierung des Gebäudes.

Mit Hilfe der Rechenverfahren gemäß DIN V 18599 [4] „Energetische Bewertung von Gebäuden“ werden die Nutz-, End- und Primärenergieaufwendungen für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung bei den unterschiedlichen Gebäude-/ Anlagenkombinationen ermittelt. Die Nutzungsrandbedingungen des Gebäudes (Beleuchtung, Kenndaten Sonnenschutz, Interne Wärmelasten, Nutzungszeiten und Klimadaten) werden hierzu aus Teil 10 der DIN V 18599 [4] übernommen.

Neben einer Berechnung der jeweiligen Energieaufwendungen für Heizung, Klimatisierung und Beleuchtung werden zusätzliche Analysen über das zu erwartende raumklimatische Verhalten der Gebäude in Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz durchgeführt. Mit Hilfe dynamischer Simulationsprogramme sind hierzu Berechnungen der sich während der Sommermonate einstellenden Raumtemperaturen durchzuführen. Diese werden in Form von erwarteten Überhitzungsstunden dargestellt.

3 Beschreibung der Typgebäude

Als Grundlage für die energetischen Berechnung werden beispielhaft zwei typische Gebäude aus dem Bereich des Verwaltungsbaus ausgewählt, ein kleines Typgebäude mit zwei Vollgeschossen und ein großes Typgebäude mit 11 Vollgeschossen. Die Geschosshöhe beträgt in beiden Gebäuden 3,23 m. Die Nettogrundfläche liegt bei dem kleinen Typgebäude bei 1.146 m² und beim großen Typgebäude bei 6.784 m². Der wesentliche Unterschied beider Gebäude besteht im AV_e -Verhältnis, dem Quotienten zwischen Hüllfläche und beheiztem Gebäudevolumen. Dieses beträgt im kleinen Typgebäude 0,48 m⁻¹ und beim großen Typgebäude 0,27 m⁻¹. Das große Typgebäude ist somit deutlich kompakter in der Bauform als das kleine Typgebäude. Eine Übersicht über die wesentlichen Gebäudedaten ist in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Allgemeine Gebäudedaten der beiden Typgebäude.

	Kleines Typgebäude	Großes Typgebäude
Geschosshöhe [m]	3,23	3,23
Anzahl der Geschosse [-]	2	11
Nettogrundfläche [m²]	1.146	6.784
Nettovolumen [m³]	3.106	18.540
Bruttovolumen [m³]	4.430	23.845
Gesamte Hüllfläche [m²]	2.105	6.764
A/V [m⁻¹]	0,48	0,27

Die Bild 1 und Bild 2 zeigen beispielhaft Außenansichten der beiden Typgebäude. Die Gebäudegrundrisse sowie die Raumaufteilung sind im Bild 3 (kleines Typgebäude) und im Bild 4 (großes Typgebäude) dargestellt.

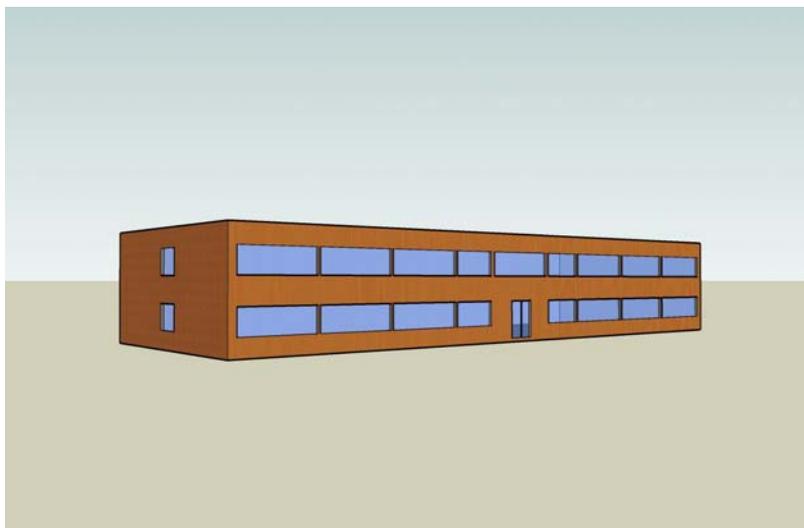


Bild 1: Südostansicht des kleinen Typgebäudes.

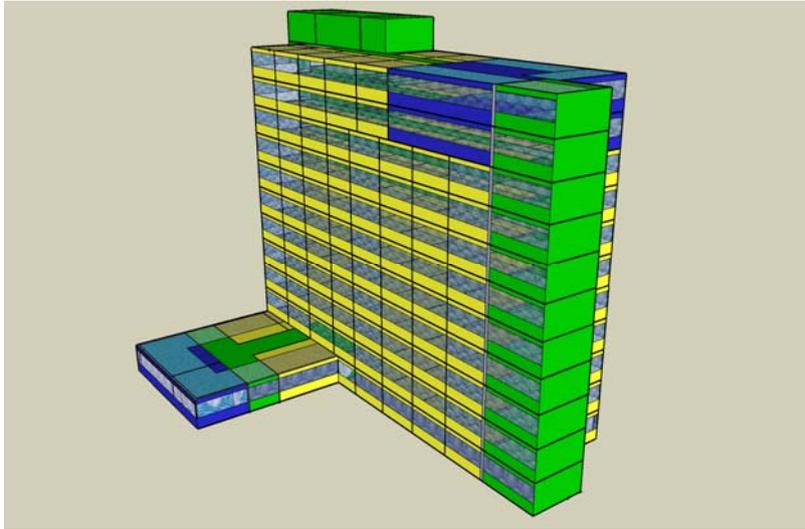
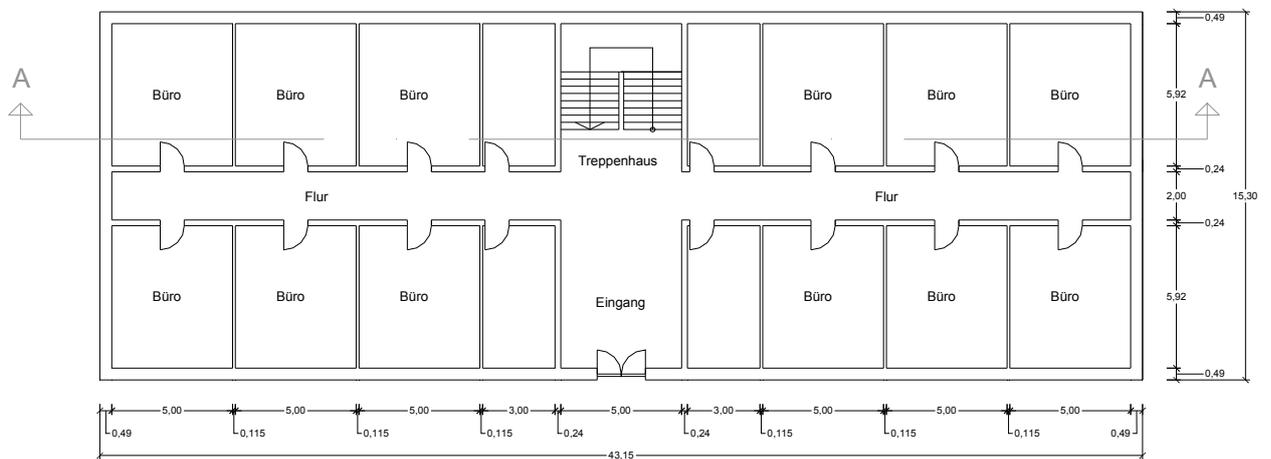


Bild 2: Nordostansicht des großen Typgebäudes.

EG



1. OG

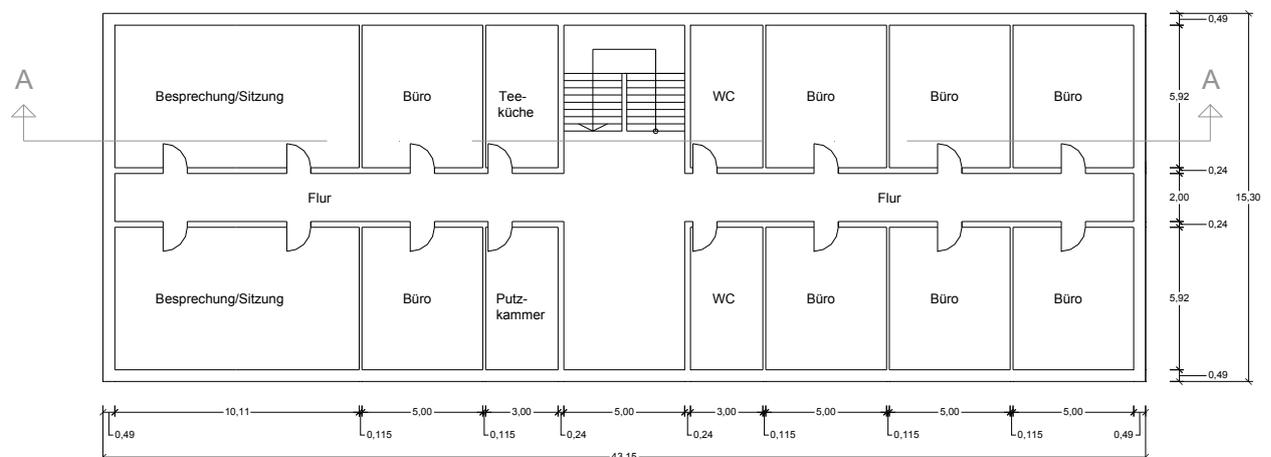


Bild 3: Grundrisse des kleinen Typgebäudes.

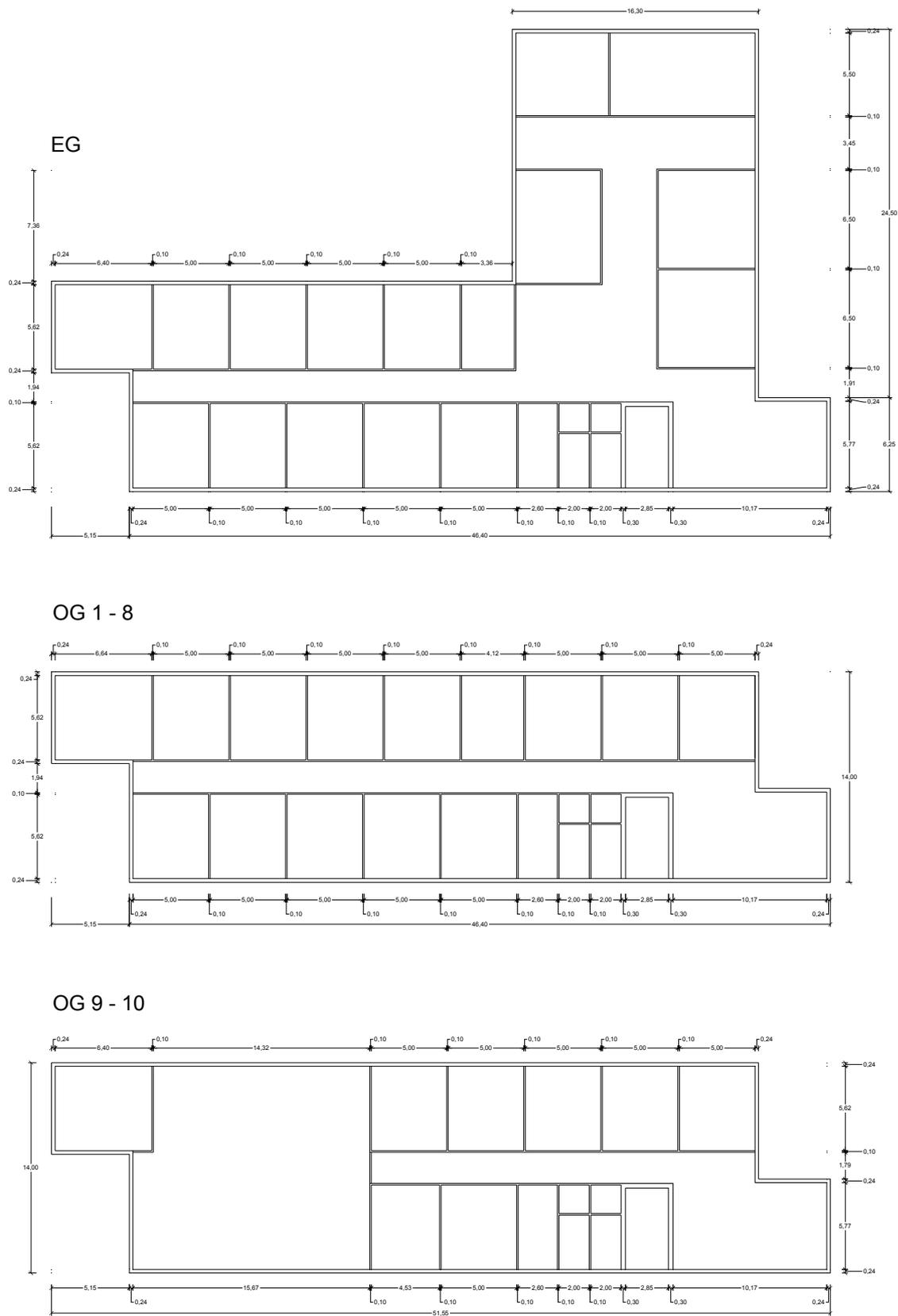


Bild 4: Grundrisse des großen Typgebäudes.

Für die beiden Gebäudetypen werden gemäß DIN V 18599 Teil 10 [4] drei unterschiedliche Nutzungsprofile festgelegt, Gruppenbüro, Sitzung und Verkehrsfläche. Bild 5 und Bild 6 zeigen die jeweilige Verteilung der einzelnen Nutzungsbereiche.

Die Gebäudebereiche Sitzung und Gruppenbüro werden durch statische Heizkörper beheizt. Zur Kühlung befinden sich wasserdurchströmte Kühldecken in den Räumen. Beide Versorgungsbereiche sind mit einer Lüftungsanlage (RLT) mit Heiz- und Kühlfunktion sowie mit einer Befeuchtung ausgestattet. Die Verkehrsflächen werden lediglich über statische Heizkörper beheizt und nicht gekühlt. Eine Luftaufbereitung findet in diesem Fall nicht statt. In Tabelle 2 sind die unterschiedlichen Nutzungsprofile sowie deren anlagentechnische Ausstattung zusammengestellt. Die flächenmäßige Aufteilung der drei Nutzungsprofile ist in Tabelle 3 zusammengestellt. Die Sitzungsfläche beträgt beim kleinen Typgebäude 120 m², die Verkehrsflächen 434 m². Die Fläche der Gruppenbüros liegt bei 592 m². Im Vergleich dazu beträgt die Sitzungsfläche beim großen Typgebäude 567 m², die Verkehrsfläche 2.587 m² und das Gruppenbüro erstreckt sich auf 3.031 m². Die Flächenverteilung wurde so gewählt, dass der prozentuale Anteil zwischen Sitzung Verkehrsflächen und Gruppenbüros in beiden Typgebäuden nahezu identisch ist.

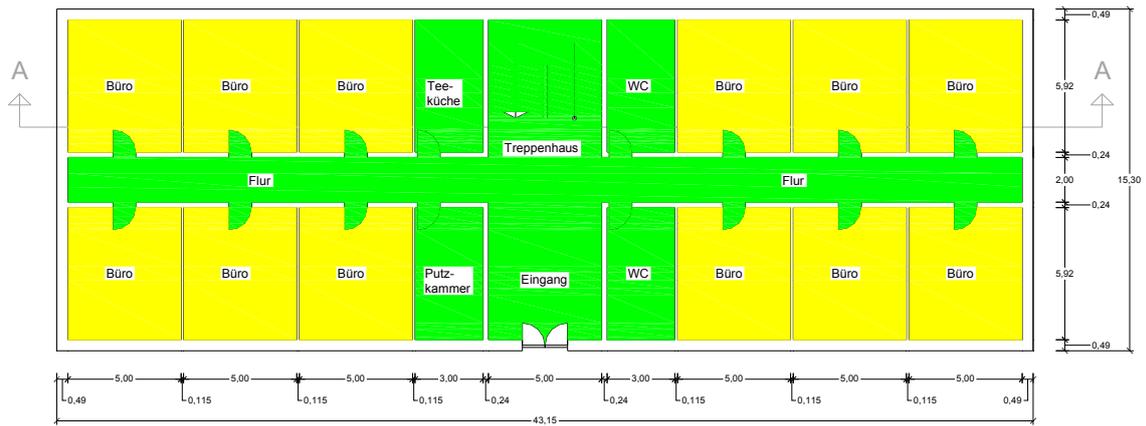
Tabelle 2: Konditionierung der einzelnen Versorgungsbereiche.

Nutzungsprofil		Nettogrundfläche [m ²]	Konditionierung durch RLT-Systeme	Konditionierung durch statische Systeme
Zone 1	Sitzung	567	Lüftungsanlage mit Heiz- und Kühlfunktion + Befeuchtung	Beheizung + Kühlung
Zone 2	Verkehrsflächen	2.587	keine Luftaufbereitung	nur Beheizung
Zone 3	Gruppenbüro	3.631	Lüftungsanlage mit Heiz- und Kühlfunktion + Befeuchtung	Beheizung + Kühlung

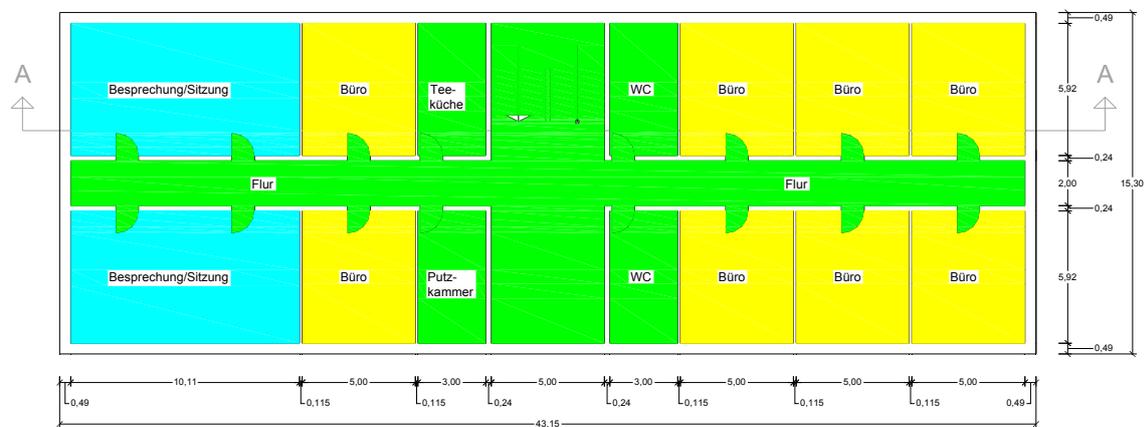
Tabelle 3: Flächenverteilung der einzelnen Versorgungsbereiche.

Nutzungsprofil		Nettogrundfläche [m ²]	
		Kleines Typgebäude	Großes Typgebäude
Zone 1	Sitzung	120	567
Zone 2	Verkehrsflächen	434	2.587
Zone 3	Gruppenbüro	592	3.631

EG



1. OG



Zonierung:

- Gruppenbüro
- Sitzung
- Verkehrsfläche

Bild 5: Zonierung kleines Typgebäude.

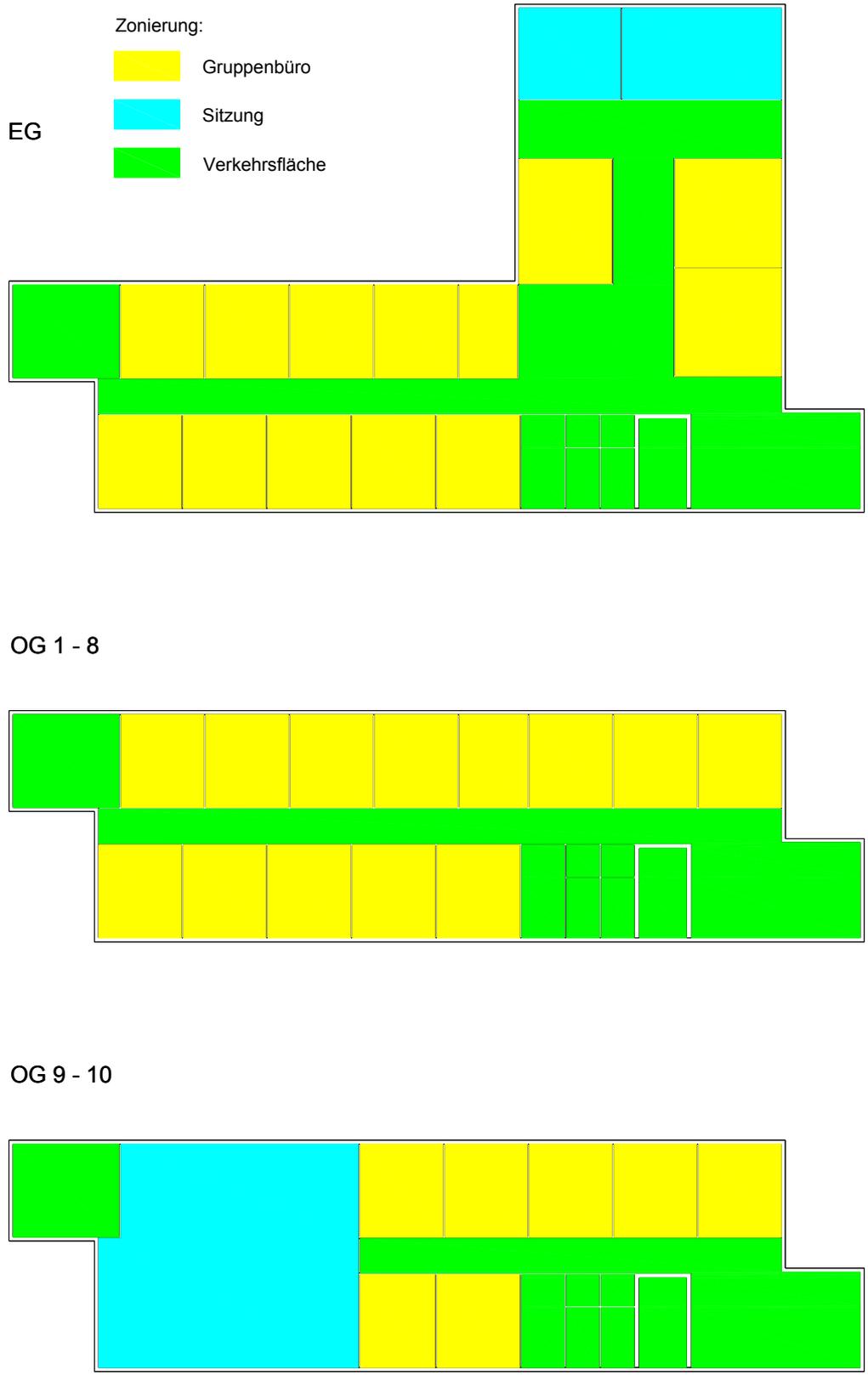


Bild 6: Zonierung großes Typgebäude.

Für beide Typgebäude ist je eine Basisvariante definiert, deren gebäude- und anlagentechnische Ausstattung dem derzeitigen Stand der Technik entspricht. Die Grundlage für die Auswahl der Bauteile und der Anlagensysteme bildet hierbei die in der Energieeinsparverordnung (Stand 24. Juli 2007) [9] definierte Referenztechnologie im Bereich Nichtwohnungsbau. Als Fassadentyp wird für die Basisvariante eine Fensterbandfassade mit ca. 50 % Verglasungsanteil gewählt.

Die Dämmstandards der Gebäudehülle werden hierbei so festgelegt, dass beim großen Typgebäude die Basisvariante möglichst genau den Anforderungen der Energieeinsparverordnung entspricht, der errechnete Primärenergiebedarf also geringfügig unterhalb dem maximalen Grenzwert liegt. Für die Verglasung wird in der Basisvariante eine 2-Scheibenwärmeschutzverglasung mit einem gesamten U-Wert (U_{win}) von $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ gewählt. Der U-Wert der opaken Fassadenbereiche beträgt $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Im Bereich der transparenten Fassadenanteile ist eine Außenjalousie mit manueller Steuerung angenommen. Die Beleuchtung erfolgt gemäß Referenztechnologie mit Hilfe von stabförmigen Leuchtstofflampen mit verlustarmen Vorschaltgeräten als direkte Beleuchtung. Eine Präsenzerfassung (Anwesenheitskennung) findet nicht statt.

Die mechanische Lüftungsanlage ist als Konstantvolumenstromanlage mit einer minimalen Zulufttemperatur von 18°C ausgelegt. Es findet eine Wärmerückgewinnung ohne Stoff- und Feuchteübertragung statt. Der Wärmerückgewinnungsgrad liegt gemäß Referenztechnologie bei 45 %. Die Zuluft wird mit Hilfe eines elektrisch betriebenen Dampfbefeuchters konditioniert. Die Beheizung der einzelnen Zonen erfolgt über Heizkörper mit einem Standardthermostatventil (P-Regler, 2 K). Die Heizkreise sind als Zweirohrnetz ausgeführt. Die Kühlung der Versorgungsbereiche Sitzung und Gruppenbüro erfolgt über eine wasserdurchströmte Kühldecke. Diese ist als indirektes System mit einer Vorlauftemperatur von 16°C und einer Rücklauftemperatur von 18°C ausgelegt. Die Wärmeerzeugung erfolgt durch einen erdgasbetriebenen Niedertemperaturkessel bei einer maximalen Vorlauftemperatur von 70°C . Die Kälte wird mit Hilfe eines elektrisch betriebenen Kompressionskältegerätes mit Scrollverdichter erzeugt. Die Dampfbefeuchtung der Lüftungsanlage erfolgt durch eine elektrische Elektroden- bzw. Widerstandsheizung. In Tabelle 4 sind die wesentlichen Ausstattungsmerkmale der Basisvariante nochmals übersichtlich zusammengestellt.

Tabelle 5 zeigt die für die Studie zugrunde gelegten Wandaufbauten. Die U-Werte der opaken Außenwandbereiche betragen $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Das Flachdach ist mit 20 cm expandiertem Polystyrolschaum mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ W/mK}$ gedämmt. Insgesamt errechnet sich hieraus ein U-Wert für das Dach von $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$. Beide Typgebäude sind nicht unterkellert, die Bodenplatte wurde daher mit 8 cm Schaumglas gedämmt. Unter Berücksichtigung des Bodenaufbaus mit Trittschalldämmung und Zementestrich ergibt sich ein U-Wert von $0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Innentrennwände sind als Leichtbautrennwand, gipskartonbeplankte Mineralwolle-Ständerwände ausgeführt. Alle nicht mit Kühldecke ausgestatteten Räume besitzen eine abgehängte Akustikdecke.

Tabelle 4: Ausstattung Basisvariante.

Fassade (Fensterband)	Verglasung	2-Scheibenwärmeschutzverglasung $U_g = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U_F = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U_{\text{win}} = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ $g_{\perp} = 0,65$; $g_{\text{tot}} = 0,06$ Lichttransmissionsgrad = 0,78
	Sonnenschutz	Außenjalousie 45° grau
	Aktivierung Sonnenschutz	manuell oder zeitgesteuert
	Opake Fassadenbereiche	$U=0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
Beleuchtung	Beleuchtungsart	direkt
	Lampenart	Leuchtstofflampe, stabförmig mit VVG
	Präsenzerfassung	manuell
	Art des Tageslichtabhängigen Kontrollsystems	manuell
	Tageslichtversorgungsfaktor (Systemlösung)	nur Blendschutz (manuell betriebene Behänge)
mech. Belüftung	Windabschirmklasse	mittlere
	Gebäudedichtheit	$n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$
	Art mech. Belüftung	Anlagen zur vollständigen Belüftung
	Regelung Zuluftstrom	konstanter Volumenstrom
	Zulufttemperatur	18°C
	Wärmerückgewinnung	Wärmerückgewinnung ohne Stoff bzw. Feuchte- Übertragung, Rückwärmzahl = 0,45
	Luftbefeuchtung	Dampfbefeuchtung, elektrisch
statische Heizflächen	Art der Wärmeübergabe	Heizkörper (freie Heizflächen)
	Heizkrisanordnung	Außenwand, Glasfläche mit Strahlungsschutz
	Regelung	P-Regler (2K)
	Art des Kreises	Indirektes System, Zweirohrnetz
statische Raumkühlung	Art des Kreises	Kühldecke Indirektes System 16/18°C
Anlagen- technik	Wärmeerzeuger	Niedertemperaturkessel Gebläsebrenner mit Erdgas 70/55°C
	Kälteerzeuger	Kompressionskältemaschine Kolben-/ Scrollverdichter 10 bis 1.500 kW Kältemittel: R134a
	Dampfbefeuchter (RLT)	elektrisch (Elektroden- oder Widerstandsheizung)

Tabelle 5: Bauteilaufbauten der Basisvariante.

Bauteil	Schichtaufbau (von innen nach außen)	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]	U-Wert [W/m ² K]
Opake Fassaden- bereiche	Innenputz	1,5	0,57	0,31
	Ziegel	24	0,5	
	Mineralwolle	10	0,04	
	Außenputz	0,5	0,8	
Flachdach	Akustikdecke	1	0,25	0,18
	Luftschicht	23	-	
	Beton armiert	20	2,5	
	Expandierter Polystyrolschaum	20	0,035	
	Bitumendachbahnen	0,5	0,17	
	Lose Schüttung, abgedeckt: Sand, Kies	5	0,7	
Boden	Zement-Estrich	5	1,4	0,32
	Expandierter Polystyrolschaum	3	0,035	
	Bitumenbahn	0,5	0,23	
	Beton armiert	15	2,3	
	Schaumglas	8	0,04	
Leichtbau- trennwand	Gipskartonplatten	1,2	0,25	0,33
	Mineralwolle	8,0	0,03	
	Gipskartonplatten	1,2	0,25	
Geschoss- decke	Akustikdecke	1,0	0,25	0,66
	Luftschicht	23,0	-	
	Beton armiert	20,0	2,3	
	Expandierter Polystyrolschaum	3,0	0,03	
	Zement-Estrich	5,0	1,4	

Für die energetischen und raumklimatischen Analysen werden insgesamt drei verschiedene Fassadenszenarien analysiert. Fassadentyp eins, Lochfassade, besitzt einen transparenten Anteil von 25 %. Fassadentyp zwei, Fensterbandfassade, der auch der Grundvariante des Basisfalls entspricht, besitzt einen transparenten Fassadenanteil von annähernd 50 %. Der dritte Fassadentyp ist die typische hochverglaste Fassade mit annähernd 100 % transparenten Anteilen. Bild 7 zeigt schematisch die drei unterschiedlichen Fassadentypen.

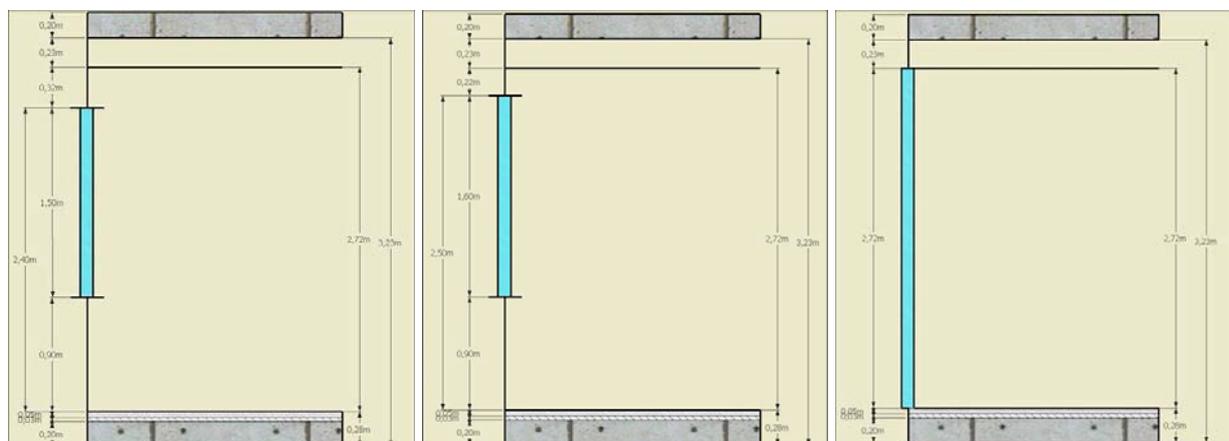


Bild 7: Fassadenkonzepte, Lochfassade (links) Fensterbandfassade (mitte) hochverglaste Fassade (rechts).

In Tabelle 6 sind jeweils die Flächen der transparenten Bereiche, der opaken Fassadenabschnitte sowie die Flächen der stirnseitigen WDVS Fassaden zusammengestellt. Im Bezug zur Nettogrundfläche beträgt der Fensterflächenanteil bei der Lochfassade 14 %, bei der Fensterbandfassade 28 % und bei der hochverglasten Fassade 47 %.

Tabelle 6: Transparente und opake Flächenanteile der drei Fassadenvarianten.

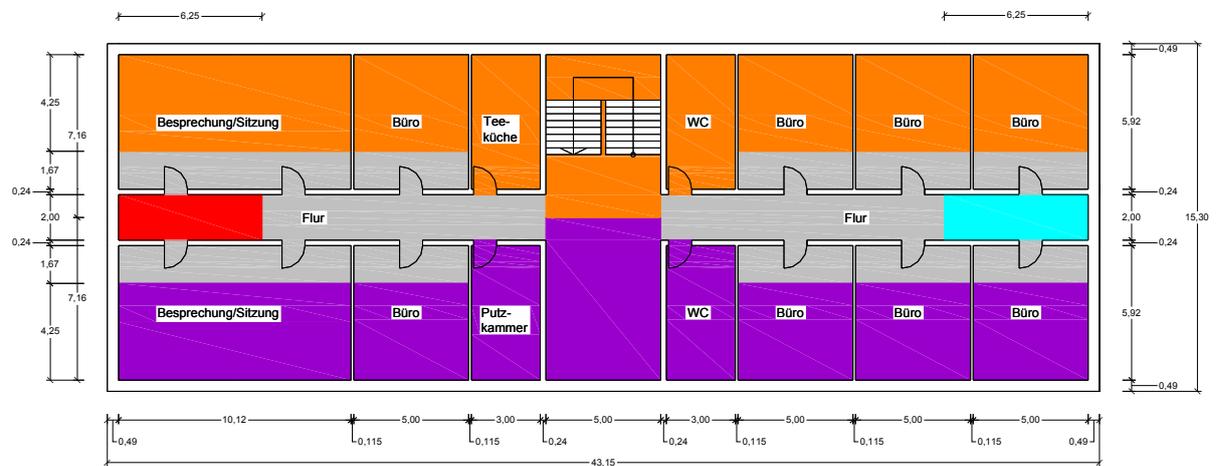
Bauteil	Lochfassade [m ²]	Fensterbandfassade [m ²]	Hochverglaste Fassade [m ²]
transparente Flächen	914	1915	3184
opake Bereiche Fassade	2954	1954	684
WDVS	1079	1079	1079
Fensterflächenanteil in Bezug zu A_{NGF}	14 %	28 %	47 %

Gemäß DIN V 18599 [4] ist das Gebäude in unterschiedliche Tageslichtversorgungsbereiche einzuteilen. Der Anteil des mit Tageslicht versorgten Bereichs hängt hierbei von der Fenstergeometrie der Sturzhöhe und der Art der Raumnutzung ab. Für die in Ost- Westrichtung orientierten Typgebäude ergeben sich hierbei die fünf verschiedenen Tageslichtbereiche (TGL): TGL 1: Nord, TGL 2: West, TGL 3: Süd und TGL 4: Ost sowie kein Tageslicht. Bild 8 und Bild 9 zeigen beispielhaft für die Fensterbandfassade die Verteilung der Tageslichtbereiche für die beiden Typgebäuden.

EG



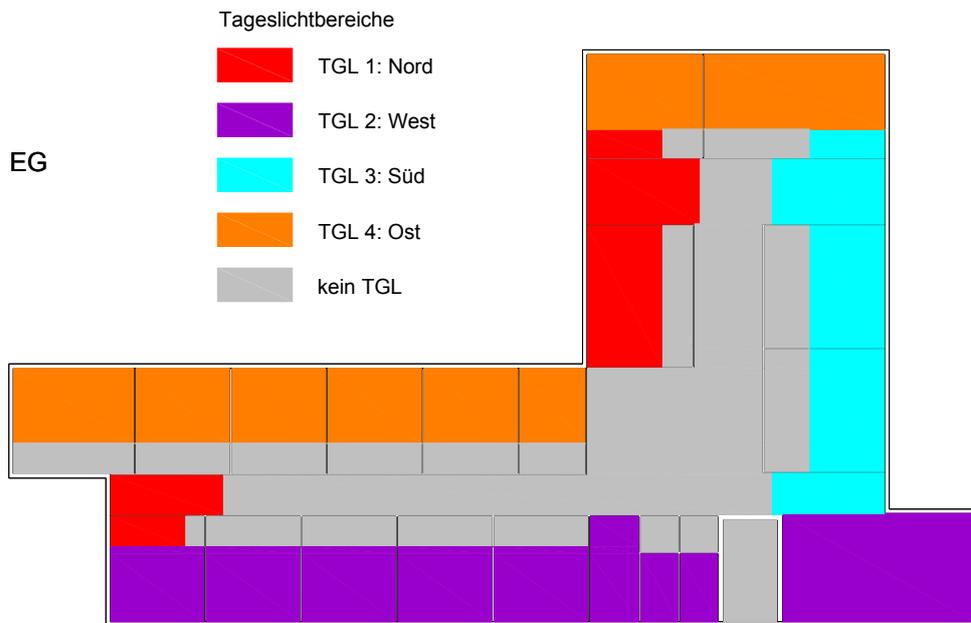
1. OG



Tageslichtbereiche

-  TGL 1: Nord
-  TGL 2: West
-  TGL 3: Süd
-  TGL 4: Ost
-  kein TGL

Bild 8: Tageslichtversorgungsbereiche kleines Typgebäude.



OG 1 - 8



OG 9 - 10

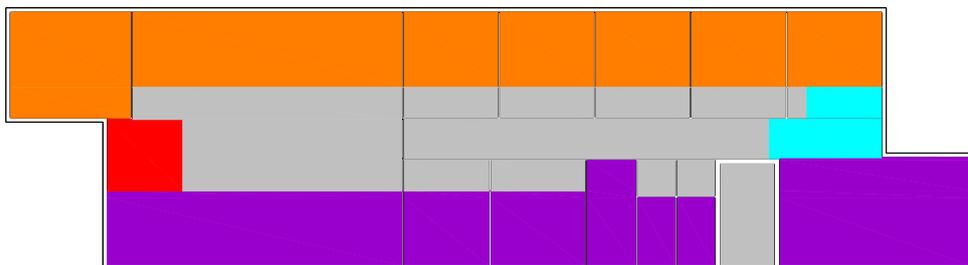


Bild 9: Tageslichtversorgungsbereiche großes Typgebäude.

4 Analyse des sommerlichen Temperaturverhaltens

Neben der energetischen Bewertung der einzelnen Gebäudekonzepte ist insbesondere bei den nicht mechanisch gekühlten Szenarien das sommerliche Temperaturverhalten während heißer strahlungsreicher Klimaperioden ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung der Nutzerakzeptanz von Gebäuden. Hierzu werden dynamische Simulationsrechnungen an einem ausgewählten repräsentativen Büroraum durchgeführt und die sich im Raum einstellenden Temperaturverläufe anhand gängiger, allgemein anerkannter Bewertungskriterien analysiert.

4.1 Software zur dynamischen Gebäudesimulation

Für die instationären Simulationsrechnungen wird das Programm TRNSYS (**T**ransient **S**ystem **S**imulation program) [8] gewählt. TRNSYS ist ein Werkzeug zur Simulation von Anlagen und Gebäuden. Das Programm wurde 1975 an der Universität von Wisconsin zur Simulation von Solaranlagen entwickelt. Zur Programmierung wurde Fortran eingesetzt. Der modulare Aufbau der Anwendung ermöglicht die Lösung einer Vielzahl von Problemen. Ein Hauptanwendungsgebiet ist die thermisch energetische Gebäudesimulation.

4.2 Simulationsrandbedingungen

Die Randbedingungen für die dynamischen Simulationsrechnungen werden im Wesentlichen aus DIN 4108-2:2003-07 [2] sowie anhand der Nutzungsrandbedingungen aus DIN V 18599 Teil 10 [4] abgeleitet.

4.2.1 Klimadaten

Als Klimadatengrundlage für die Simulation dienen die neuen Testreferenzjahre (TRY) des deutschen Wetterdienstes [11]. Ein Testreferenzjahr beinhaltet, basierend auf einer Analyse der Großwetterlagen, den charakteristischen Witterungsverlauf eines repräsentativen Jahres. Die Bundesrepublik Deutschland ist in 15 Regionen unterteilt. Für jede Region sind eigene Datensätze erhältlich, die etwa das Mittel der letzten 30 Jahre widerspiegeln und stundengenaue Werte enthalten. Um Aussagen für extreme Belastungen zu machen, wurden zusätzlich Datensätze mit derselben Struktur für einen sehr kalten Winter (Dezember 1984 bis Februar 1985) und einen extrem warmen Sommer (Juni bis August 1983) entwickelt.

Die Simulationen werden im Rahmen der folgenden Analysen hauptsächlich bei mittleren Witterungsverhältnissen gemäß den TRY-Wetterdaten durchgeführt. Ausgewählte Varianten werden auch hinsichtlich des Verhaltens bei extremen sommerlichen Bedingungen untersucht. Ausgewählt wird TRY-Region 13, schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland. Die Berechnungen nach DIN V 18599 [4] sind auf mittleres Klima in Deutschland mit dem Referenzstandort Würzburg bezogen. Würzburg liegt in TRY-Region 13, somit sind die Klimadaten für die Berechnung nach DIN V 18599 [4] und TRNSYS annähernd vergleichbar. Bild 10 zeigt die Verteilung der einzelnen TRY-Klimaregionen innerhalb von Deutschland. In Tabelle 7 und Tabelle 8 sind für die TRY-Region 13 sowie gemäß DIN V 18599 [4] jeweils die Monatsmittelwerte der Außenlufttemperaturen sowie der Strahlungsintensitäten, beispielhaft für eine Westorientierung dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass die Jahresmittelwerte sehr gut übereinstimmen. Die Außenlufttemperaturen der TRY-Klimaregion 13 sind während der Heizperiode tendenziell kälter als die des Referenzklimas nach DIN V 18599 [4].

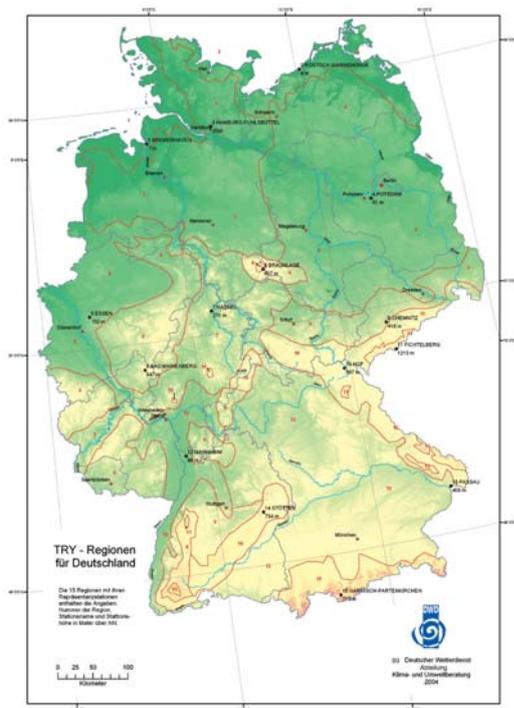


Bild 10: TRY-Regionen für Deutschland (Quelle: Deutscher Wetterdienst, 2004).

Tabelle 7: Außenlufttemperaturen für TRY-Region 13 und Referenzklima Deutschland.

	Mittlere Außenlufttemperaturen [°C]												
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Mittelwert
TRY-Region 13	0,2	-2,0	1,7	8,6	14,5	15,3	17,8	17,3	12,8	9,6	3,6	-1,3	8,3
Referenzklima DIN V 18599	-1,3	0,6	4,1	9,5	12,9	15,7	18,0	18,3	14,4	9,1	4,7	1,3	8,9

Tabelle 8: Strahlungsintensitäten (westorientierte Fassade mit 90° Neigung) für TRY-Region 13 und Referenzklima Deutschland.

	Mittlere Strahlungsintensitäten [W/m ²]												
	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahreswert [kWh/m ²]
TRY-Region 13	28	40	59	99	158	125	145	127	79	68	24	27	717
Referenzklima DIN V 18599	25	37	53	125	131	150	156	115	90	51	28	15	713

4.2.2 Raummodell

Als Grundlage für die Simulationsrechnungen wird ein mittig liegender Raum an der Westseite des großen Typgebäudes ausgewählt, der aufgrund seiner Lage repräsentativ für die Mehrzahl der Büroräume ist und somit eine zuverlässige Aussage zum thermischen Verhalten des gesamten Gebäudes geben kann. In Bild 11 und Bild 12 ist die Lage des Raumes innerhalb des Typgebäudes dargestellt. Die wesentlichen geometrischen Randbedingungen sind in Tabelle 9 zusammengestellt. Die thermische Speichermasse des Raumes schwankt je nach Fassadenausführung zwischen 103 und 115 Wh/Km² und liegt damit im mittleren Bereich.

Tabelle 9: Geometrische Randbedingungen des ausgewählten Beispielraumes.

	Lochfassade	Fensterband	Hochverglaste Fassade	
Raubbreite	5,00			[m]
Raumtiefe	5,92			[m]
Raumhöhe (innen)	2,72			[m]
Geschosshöhe	3,23			[m]
Nettogrundfläche	29,60			[m ²]
Nettovolumen	80,51			[m ³]
Fassadenfläche	16,15			[m ²]
Transparente Fassadenfläche	4,05	8,00	13,60	[m ²]
Thermische Speichermasse	115	111	103	[Wh/Km ²]

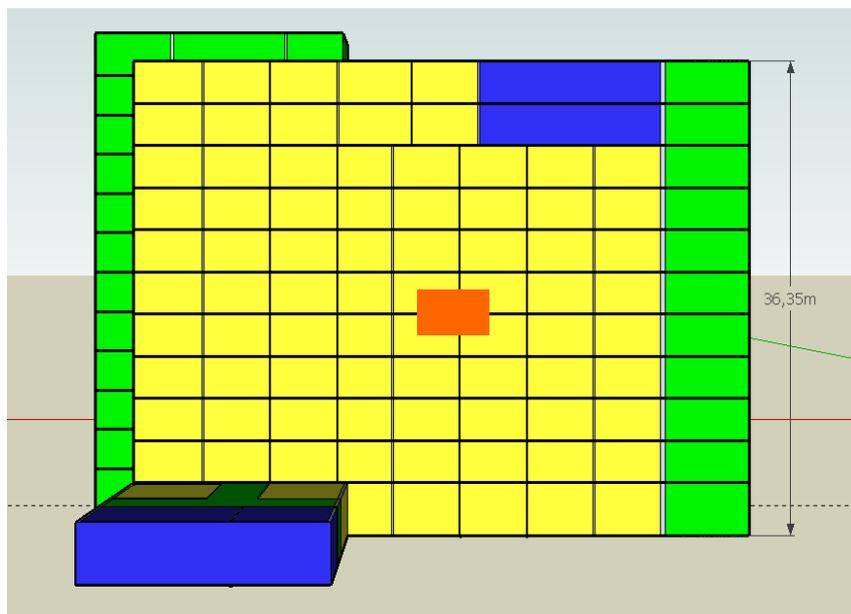


Bild 11: Lage des im Rahmen der Simulationsrechnung verwendeten Beispielraumes an der Westseite des großen Typgebäudes.

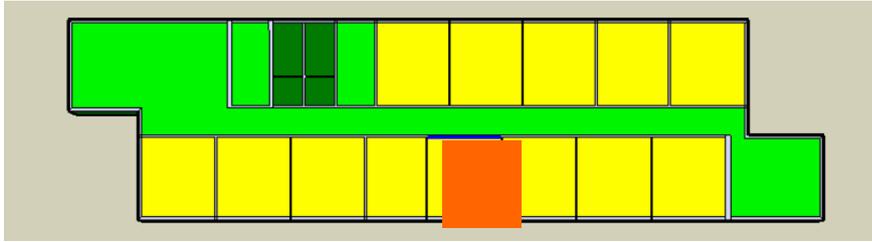


Bild 12: Position des Beispielraumes im Grundriß des großen Typgebäudes.

4.2.3 Nutzungsrandbedingungen

Um die Ergebnisse der instationären Gebäudesimulationen mit den Berechnungen gemäß DIN V 18599 [4] vergleichbar zu machen, werden weitestgehend die Nutzungsrandbedingungen nach DIN V 18599 [4] angewendet. Der Beispielraum wird als Gruppenbüro für 2 Personen genutzt, was einer mittleren Belegungsdichte entspricht. Der Betrieb der Anlagentechnik beginnt zwei Stunden vor Beginn der Nutzungszeit, um die Konditionierung des Raumes bis zum Beginn der Nutzung sicherzustellen. Über ein ganzes Jahr gesehen ergeben sich abzüglich der Wochenenden insgesamt 2871 Nutzungsstunden (entspricht 261 Tagen mit je 11 Stunden).

Die Konditionierung des Raumes wird gemäß den Vorgaben nach DIN V 18599 [4] festgelegt. Die Anlagentechnik ist so ausgelegt, dass die Beheizung bzw. Kühlung des Raumes auf die Raum-Solltemperaturen möglich ist. Die installierte Beleuchtungsleistung ergibt sich gemäß der Berechnung nach DIN V 18599 [4] und wird dementsprechend in Ansatz gebracht. Die Einschaltgrenze der Beleuchtung entspricht dem Wartungswert der Beleuchtungsstärke nach DIN V 18599 [4], die Ausschaltgrenze wurde entsprechend angenommen.

Als interne Wärmequellen treten Personen und Arbeitshilfen (Computer, Drucker etc.) auf. Gemäß Ansatz nach VDI 2078 [18] werden bei Personen 50 % konvektiv und 50 % radiativ, bei Arbeitshilfen 100 % konvektiv frei. Für den Infiltrationsluftwechsel ergibt sich bei einer angesetzten Luftdichtheit des Gebäudes entsprechend dem Neubaustandard ein Wert von ca. $0,1 \text{ h}^{-1}$. Der Luftwechsel zur Betriebszeit beträgt $1,5 \text{ h}^{-1}$, was dem Mindestaußenluftwechsel nach DIN V 18599 [4] entspricht. Um in den Sommermonaten Möglichkeiten zu schaffen, das Gebäude ohne mechanische Kühlung zu betreiben, werden gemäß DIN 4108-2:2003-07 [2] erhöhte Luftwechselraten angesetzt. Der Luftwechsel am Tag während der Nutzungszeit wird ab einer Innentemperatur größer 23°C auf 3 h^{-1} erhöht, sofern gleichzeitig außen niedrigere Temperaturen als im Raum herrschen.

Die Steuerung der Sonnenschutzsysteme erfolgt in Abhängigkeit der Direktstrahlung auf die Fassade. Sobald die Strahlungsintensität 300 W/m^2 überschreitet, wird der Sonnenschutz aktiviert und ab einem Wert unterhalb von 200 W/m^2 wieder geöffnet. Eine Steuerung ausschließlich bei einer Überschreitung einer bestimmten Rauminnentemperatur würde vor allem im Bereich von Nichtwohngebäuden den Aspekt der Blendung nicht ausreichend berücksichtigen. Die Bewertung der Sonnenschutzsysteme erfolgte im Falle von Jalousien entsprechend DIN V 18599 [4] bei 45° Stellung der Lamellen. Durch die teilgeöffneten Lamellen wird davon ausgegangen, dass bei aktiviertem Sonnenschutz immer noch ausreichend Tageslicht in den Raum gelangt, sodass die künstliche Beleuchtung nicht eingeschaltet werden muss. In Tabelle 10 sind die wesentlichen Randbedingungen der dynamischen Simulationsrechnungen zusammengestellt.

Tabelle 10: Randbedingungen für die dynamische Gebäudesimulation.

Nutzungsprofil	Gruppenbüro
Anzahl Personen	2
Orientierung Basisvariante	West
Betriebszeit Anlagentechnik	5:00 Uhr bis 18:00 Uhr [4]
Nutzungszeit	7:00 Uhr bis 18:00 Uhr [4]
Sollraumtemperatur Betriebszeit (Heizfall)	21,0°C [4]
Sollraumtemperatur außerhalb Betriebszeit	17,0°C [4]
Maximale Heizleistung	2.000 W
Interne Wärmequellen	
Personen	70 W pro Person, 6 Vollnutzungsstunden pro Tag [4]
Arbeitshilfen	7 W/m ²
Beleuchtung	16,3 W/m ²
Lüftungsrandbedingungen	
Infiltrationsluftwechselrate	0,1 h ⁻¹ ([4])
Luftwechsel Betriebszeit	1,5 h ⁻¹ ([4])
Erhöhter Luftwechsel Tag	3,0 h ⁻¹ [2]
Erhöhter Luftwechsel Nacht	2,0 h ⁻¹ [2] 0 bis 20,0 h ⁻¹ (Variantenstudie)
Steuerkriterien Sonnenschutz	
Schließen	Gesamtstrahlung an Fassade > 300 W/m ² [3]
Öffnen	Gesamtstrahlung an Fassade < 200 W/m ²
Beleuchtungssteuerung	
Steuerungsart	Tageslichtabhängig geschaltet
Einschaltschwelle	500 lx (Wartungswert gem. [4])
Ausschaltgrenze	750 lx
Kopplung mit Sonnenschutzsteuerung	Keine

4.3 Bewertungsverfahren

Der sommerliche Wärmeschutz ist bereits in der Planungsphase von Gebäuden zu berücksichtigen, um durch bauliche Maßnahmen die Voraussetzungen für ein thermisch behagliches Raumklima zu schaffen. Das standardisierte Verfahren nach DIN 4108-2:2003-07 [2] über den so genannten Sonneneintragskennwert ermöglicht es, die zu erwartenden Verhältnisse größenordnungsmäßig abzuschätzen. Ist der Nachweis erfüllt, kann davon ausgegangen werden, dass keine unzumutbar hohen Raumtemperaturen entstehen. Dabei kann im Rahmen des Nachweises unterschieden werden, ob das Gebäude ohne oder mit erhöhter Nachtlüftung (NL) betrieben wird. Bei erhöhter Nachtlüftung wird auf den zulässigen Sonneneintragskennwert ein Bonus aufgeschlagen, um dem Effekt der nächtlichen Temperaturabsenkung über zusätzliche Lüftung Rechnung zu tragen.

Nach DIN 4108-2:2003-07 [2] kann der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mit einem vereinfachten Verfahren geführt werden. Grundlage dafür ist der Sonneneintragskennwert S . Der Nachweis für die Begrenzung der solaren Einträge ist für kritische Räume an der Außenfassade zu führen. Damit sich in Gebäuden zumutbare Temperaturen einstellen bzw. auf eine Kühlanlage verzichtet werden kann, darf der raumbezogene Sonneneintragskennwert S einen Höchstwert S_{zul} nicht überschreiten.

$$S \leq S_{zul}$$

Der Sonneneintragskennwert S berücksichtigt den Fensterflächenanteil der Fassade, den Gesamtenergiedurchlassgrad sowie das Verhältnis von Fensterfläche zu Grundfläche des Raumes.

$$S = \frac{\sum(A_{w,j} \cdot g_{tot,j})}{A_{\cdot}}$$

Dabei ist:

A_w	die Fensterfläche in m^2 ,
g_{tot}	der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung inklusive Sonnenschutz,
A_{\cdot}	die Nettogrundfläche in m^2 .

Der maximal zulässige Sonneneintragskennwert S_{zul} ist abhängig vom Standort, der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit, der Nachtlüftung, der Fensterorientierung und -neigung sowie den internen Wärmequellen.

Ergänzend zu dem statischen Nachweisverfahren mit Hilfe des maximal zulässigen Sonneneintragskennwertes erlaubt die DIN 4108-2: 2003-07 [2] auch eine Bewertung des sommerlichen Wärmeverhaltens anhand der zu erwartenden Innentemperaturen. Hierzu wird das thermisch/energetische Verhalten eines für das zu betrachtende Gebäude typischen Büroraumes über einen kompletten Jahreszyklus mit Hilfe einer Software zur dynamische Gebäudesimulation berechnet und die Stundenmittelwerte der Operativtemperatur im Raum näher analysiert. Im Rahmen der hier dargestellten Studie wurde hierzu das Softwarepaket TRNSYS [8] verwendet.

Die DIN 4108-2: 2003-07 [2] definiert Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz (Tabelle 11). Es werden Grenzwerte für die Innentemperatur (Operativtemperatur) angegeben, die an nicht mehr als 10 % der Aufenthaltszeit überschritten werden sollen.

Tabelle 11: Grenzwerte der Innentemperaturen nach DIN 4108-2:2003-07 [2].

Sommer Klimaregion	Merkmal der Region	Grenzwert der Innentemperatur [°C]	Höchstwert der mittleren monatlichen Außentemperatur Θ in [°C]
A	sommerkühl	25	$\Theta \leq 16,5$
B	gemäßigt	26	$16,5 < \Theta < 18$
C	sommerheiß	27	$\Theta \geq 18$

Die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz gelten auch für Gebäude mit maschineller Kühlung, soweit dies unter Ausschöpfung aller baulichen Möglichkeiten machbar ist. Damit soll vermieden werden, dass der Einsatz von Kühlanlagen hohe Energieaufwendungen mit sich bringt, weil im Gegenzug konstruktive Gesichtspunkte vernachlässigt wurden. Die Auswertung der Simulationsergebnisse wird auf die Nutzungszeit bezogen (2.871 Nutzungsstunden pro Jahr). Um das sommerliche Temperaturverhalten zu bewerten, werden zwei Bewertungskriterien festgelegt.

Überschreitungshäufigkeit

Die Überschreitungshäufigkeit ist ein Maß für die Überhitzungsstunden. Damit wird die Anzahl der Stunden erfasst, an denen die operative Raumtemperatur einen festgelegten Grenzwert überschreitet. Gemäß dem Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2:2003-07 [2] soll dieser Wert an nicht mehr als 10 % der Aufenthaltszeit überschritten werden. Dieses Verfahren ist auch für die Langzeitbewertung nach DIN EN 15251 Anhang F [15] geeignet. Die gewählte Klimaregion TRY 13 entspricht etwa der gemäßigten Klimaregion nach DIN 4108-2:2003-07 [2]. Der Grenzwert der Operativtemperatur liegt hierfür bei 26°C. Die Überschreitungshäufigkeit ist die Summe aller Stunden während der Nutzungszeit an denen die operative Raumtemperatur über dem Grenzwert von 26°C liegt.

Übertemperaturgradstunden

In Anlehnung an die Langzeitbewertung der allgemeinen thermischen Behaglichkeitsbedingungen nach DIN EN 15251 Anhang F [15] kann das sommerliche Temperaturverhalten durch das Gradstunden-Kriterium bewertet werden.

Die Übertemperaturgradstunden Gh_{26} werden hierbei wie folgt berechnet:

$$Gh_{26} = \sum (\Theta_{op} - 26^{\circ}\text{C}) \quad \text{für } \Theta_{op} \geq 26^{\circ}\text{C}$$

Dabei ist:

Θ_{op} die operative Raumtemperatur während der Nutzungszeit in °C.

Das Gradstunden-Kriterium ermöglicht eine gewichtete Analyse der Temperaturüberschreitung, wodurch im Vergleich zur Überschreitungshäufigkeit das sommerliche Wärmeverhalten aussagekräftiger bewertet werden kann. Während bei der Überschreitungshäufigkeit ein Grenzwert von 10 % der Aufenthaltszeit normativ eingehalten werden soll, existieren zum Gradstunden-Kriterium bislang nur Empfehlungen. In „Planungsinstrument für das sommerliche Wärmeverhalten von Gebäuden“ [17] wird vorgeschlagen, dass für zukünftige Anwendungen ein Grenzwert von 1.000 Kh/a für Wohn- und Büroräume nicht überschritten werden sollte. Die dabei durchgeführten Simulationen waren größtenteils auf Wohngebäude ausgelegt. Bei Wohngebäuden wird von einer Nutzungszeit von 8.760 Stunden pro Jahr ausgegangen. Es erscheint deshalb fraglich, ob bei Bürogebäuden mit einer Nutzungszeit von 2.870 Stunden die gleichen Grenzwerte anzusetzen sind.

4.4 Variantenmatrix

Um den Einfluss von der Art der Verglasung und des Sonnenschutzes in Hinblick auf das sommerliche Wärmeverhalten eines Gebäudes zu bewerten, werden je vier verschiedene Verglasungen (Tabelle 12) mit vier verschiedenen Sonnenschutzsystemen (Tabelle 13) kombiniert. Zwei Wärmeschutzverglasungen (Mehrscheibenisolierverglasung MISV), zwei Sonnenschutzverglasungen (SSV) sowie zwei außen liegende und zwei innen liegende Sonnenschutzsysteme bilden die Basis für die folgenden Simulationen. Die Varianten werden auf Grundlage der nach DIN V 18599 durchgeführten Berechnungen ausgewählt.

Bei den Wärmeschutzverglasungen wird eine Standardverglasung mit einem derzeit üblichen U_g -Wert sowie eine hochwertige 3-Scheibenverglasung mit einem sehr niedrigen U_g -Wert verwendet. Die Sonnenschutzverglasungen unterscheiden sich hinsichtlich des Gesamtenergiedurchlassgrades. Hier wurden ebenfalls eine durchschnittliche sowie eine hochwertige Sonnenschutzverglasung ausgewählt.

Tabelle 12: Übersicht der verwendeten Verglasungen.

Verglasung	Wärmedurchgangskoeffizient U_g [W/m ² K]	Gesamtenergiedurchlassgrad g_{\perp} [-]	direkter Strahlungstransmissionsgrad τ_e [-]	Lichttransmissionsgrad τ_v [-]
MISV (2-fach)	1,2	0,65	0,54	0,78
MISV (3-fach)	0,6	0,50	0,39	0,69
SSV (2-fach)	1,2	0,37	0,34	0,67
SSV (2-fach)	1,2	0,25	0,21	0,40

Tabelle 13: Übersicht der verwendeten Sonnenschutzvorrichtungen.

Sonnenschutz		Solartransmissionsgrad Sonnenschutz $\tau_{e,B}$ bzw. $\tau_{e,B}^{45^\circ}$	Solarreflexionsgrad Sonnenschutz $\rho_{e,B}$ bzw. $\rho_{e,B}^{45^\circ}$
außen liegend	Außenjalousie 45° grau	0,013	0,064
	vertikale Markise weiß	0,220	0,630
innen liegend	Jalousie 45° weiß	0,111	0,555
	Textilrollo grau	0,300	0,370

Da gemäß DIN V 18599 [4] Jalousien bei einer Lamellenstellung von 45° bewertet werden, sind für die jeweiligen Kenndaten des Transmissions- und Reflexionsgrades korrigierte Werte in Ansatz zu bringen, die sich gemäß DIN EN 13363-1:2007-09 [5] wie folgt berechnen:

$$\tau_{e,B}^{45^\circ} = 0,65 \tau_{e,B} + 0,15 \rho_{e,B}$$

$$\rho_{e,B}^{45^\circ} = \rho_{e,B} (0,75 + 0,70 \tau_{e,B})$$

$\tau_{e,B}^{45^\circ}$ Solartransmissionsgrad Sonnenschutz bei 45° Lamellenstellung

$\tau_{e,B}$ Solartransmissionsgrad Sonnenschutz

$\rho_{e,B}^{45^\circ}$ Solarreflexionsgrad Sonnenschutz bei 45° Lamellenstellung

$\rho_{e,B}$ Solarreflexionsgrad Sonnenschutz

Der Solarabsorptionsgrad $\alpha_{e,B}$ einer Sonnenschutzvorrichtung errechnet sich wie folgt:

$$\alpha_{e,B} = 1 - \tau_{e,B} - \rho_{e,B}$$

Anhand dieser Parameter kann der Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} für die Kombinationen aus Verglasung und Sonnenschutz berechnet werden.

Außen liegender Sonnenschutz:

$$g_{tot} = \tau_{e,B} \cdot g_{\perp} + \alpha_{e,B} \frac{G}{G_2} + \tau_{e,B} (1 - g_{\perp}) \frac{G}{G_1}$$

Dabei ist:

$$G_1 = 6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$G_2 = 18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$G = \left(\frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} \right)^{-1}$$

Innen liegender Sonnenschutz:

$$g_{tot} = g_{\perp} \left(1 - g_{\perp} \cdot \rho_{e,B} - \alpha_{e,B} \frac{G}{G_2} \right)$$

Dabei ist:

$$G_2 = 18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$G = \left(\frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_2} \right)^{-1}$$

Mit Hilfe von DIN EN 13363-1:2007-09 [5] errechnen sich für die einzelnen Kombinationen aus Verglasung und Sonnenschutz die in Tabelle 14 zusammengestellten Gesamtenergiedurchlassgrade.

Tabelle 14: Gesamtenergiedurchlassgrad für die einzelnen Kombinationen aus Verglasung und Sonnenschutz.

Verglasung	U_g [W/m ² K]	g-Wert [-]	Sonnenschutz	g_{tot} [-]
MISV (2 fach)	1,2	0,65	Außenjalousie 45° grau	0,06
			vertikale Markise weiß	0,16
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,40
			Textilrollo grau	0,48
MISV (3 fach)	0,6	0,50	Außenjalousie 45° grau	0,03
			vertikale Markise weiß	0,12
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,36
			Textilrollo grau	0,40
SSV (2 fach)	1,2	0,37	Außenjalousie 45° grau	0,05
			vertikale Markise weiß	0,11
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,29
			Textilrollo grau	0,31
SSV (2 fach)	1,2	0,25	Außenjalousie 45° grau	0,05
			vertikale Markise weiß	0,09
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,21
			Textilrollo grau	0,22

Für die folgenden Betrachtungen wird je Verglasungsart ein einheitlicher Wärmedurchgangskoeffizient für den Rahmen (U_F) von 1,4 W/m²K angenommen. Hieraus errechnen sich die in Tabelle 15 zusammengestellten U-Werte für die gesamte Fenster (U_{win}).

Tabelle 15: Kenndaten der verwendeten Verglasungsarten.

Verglasung	U_g [W/m ² K]	U_F [W/m ² K]	U_{win} [W/m ² K]
Mehrscheibenisolierverglasung (MISV 2 fach)	1,2	1,4	1,4
Mehrscheibenisolierverglasung (MISV 3 fach)	0,6	1,4	1,0
Sonnenschutzverglasung (SSV 2 fach)	1,2	1,4	1,4
Sonnenschutzverglasung (SSV 2 fach)	1,2	1,4	1,4

4.5 Vereinfachter Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2:2003-07 [2]

Nach DIN 4108-2:2003-07 [2] kann der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mit einem vereinfachten Verfahren mit Hilfe des Sonneneintragskennwertes geführt werden (vgl. Kapitel 4.3). In Tabelle 16 bis Tabelle 18 ist für die Variantenmatrix aller drei Fassadentypologien, für die im Folgenden auch eine instationäre Simulation erfolgt, dieser vereinfachte Nachweis nach DIN 4108-2:2003-07 [2] geführt. Hierbei zeigt sich, dass bei der Fassadenvariante Lochfassade lediglich die Kombination aus 2-Scheibenwärmeschutzverglasung und innen liegendem Textilrollo die Anforderungen nicht erfüllt (Tabelle 16).

Tabelle 16: Vereinfachter Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2:2003-07 [2] für die Fassadenvariante Lochfassade.

Lochfassade			Sonnenschutz	S	ohne erhöhte Nachtlüftung		mit erhöhter Nachtlüftung	
Verglasung	U_g [W/m ² K]	g-Wert [-]			S _{zul}	Nachweis	S _{zul}	Nachweis
MISV (2 fach)	1,2	0,65	Außenjalousie 45° grau	0,008	0,056	erfüllt	0,076	erfüllt
			vertikale Markise weiß	0,022	0,056	erfüllt	0,076	erfüllt
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,055	0,056	erfüllt	0,076	erfüllt
			Textilrollo grau	0,066	0,056	nicht erfüllt	0,076	erfüllt
MISV (3 fach)	0,6	0,50	Außenjalousie 45° grau	0,004	0,056	erfüllt	0,076	erfüllt
			vertikale Markise weiß	0,016	0,056	erfüllt	0,076	erfüllt
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,049	0,056	erfüllt	0,076	erfüllt
			Textilrollo grau	0,055	0,056	erfüllt	0,076	erfüllt
SSV (2 fach)	1,2	0,37	Außenjalousie 45° grau	0,007	0,086	erfüllt	0,106	erfüllt
			vertikale Markise weiß	0,015	0,086	erfüllt	0,106	erfüllt
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,040	0,086	erfüllt	0,106	erfüllt
			Textilrollo grau	0,042	0,086	erfüllt	0,106	erfüllt
SSV (2 fach)	1,2	0,25	Außenjalousie 45° grau	0,007	0,086	erfüllt	0,106	erfüllt
			vertikale Markise weiß	0,012	0,086	erfüllt	0,106	erfüllt
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,029	0,086	erfüllt	0,106	erfüllt
			Textilrollo grau	0,030	0,086	erfüllt	0,106	erfüllt

Bei den einzelnen Kombinationen der Fensterbandfassade erfüllen alle Varianten aus Wärmeschutzverglasung und innen liegendem Sonnenschutz nicht die Anforderungen (Tabelle 17).

Tabelle 17: Vereinfachter Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2:2003-07 [2] für die Fassadenvariante Fensterbandfassade.

Fensterbandfassade			Sonnenschutz	S	ohne erhöhte Nachtlüftung		mit erhöhter Nachtlüftung	
Verglasung	U _g [W/m ² K]	g-Wert [-]			S _{zul}	Nachweis	S _{zul}	Nachweis
MISV (2 fach)	1,2	0,65	Außenjalousie 45° grau	0,016	0,065	erfüllt	0,85	erfüllt
			vertikale Markise weiß	0,043	0,065	erfüllt	0,85	erfüllt
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,108	0,065	nicht erfüllt	0,085	nicht erfüllt
			Textilrollo grau	0,130	0,065	nicht erfüllt	0,085	nicht erfüllt
MISV (3 fach)	0,6	0,50	Außenjalousie 45° grau	0,008	0,065	erfüllt	0,085	erfüllt
			vertikale Markise weiß	0,032	0,065	erfüllt	0,085	erfüllt
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,097	0,065	nicht erfüllt	0,085	nicht erfüllt
			Textilrollo grau	0,108	0,065	nicht erfüllt	0,085	nicht erfüllt
SSV (2 fach)	1,2	0,37	Außenjalousie 45° grau	0,014	0,095	erfüllt	0,115	erfüllt
			vertikale Markise weiß	0,030	0,095	erfüllt	0,115	erfüllt
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,078	0,095	erfüllt	0,115	erfüllt
			Textilrollo grau	0,084	0,095	erfüllt	0,115	erfüllt
SSV (2 fach)	1,2	0,25	Außenjalousie 45° grau	0,014	0,095	erfüllt	0,115	erfüllt
			vertikale Markise weiß	0,024	0,095	erfüllt	0,115	erfüllt
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,057	0,095	erfüllt	0,115	erfüllt
			Textilrollo grau	0,059	0,095	erfüllt	0,115	erfüllt

Bei der Hochverglaste Fassade kann der vereinfachte Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes lediglich bei den Varianten mit außen liegendem Sonnenschutz sowie bei den Varianten mit der hocheffizienten Sonnenschutzverglasung, in Kombination mit innenliegenden Sonnenschutzsystemen geführt werden (Tabelle 18).

Tabelle 18: Vereinfachter Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2:2003-07 [2] für die Fassadenvariante Hochverglast.

Hochverglaste Fassade			Sonnenschutz	S	ohne erhöhte Nachtlüftung		mit erhöhter Nachtlüftung	
Verglasung	U _g [W/m ² K]	g-Wert [-]			S _{zul}	Nachweis	S _{zul}	Nachweis
MISV (2 fach)	1,2	0,65	Außenjalousie 45° grau	0,028	0,079	erfüllt	0,85	erfüllt
			vertikale Markise weiß	0,074	0,079	erfüllt	0,85	erfüllt
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,184	0,079	nicht erfüllt	0,085	nicht erfüllt
			Textilrollo grau	0,221	0,079	nicht erfüllt	0,085	nicht erfüllt
MISV (3 fach)	0,6	0,50	Außenjalousie 45° grau	0,014	0,079	erfüllt	0,085	erfüllt
			vertikale Markise weiß	0,055	0,079	erfüllt	0,085	erfüllt
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,165	0,079	nicht erfüllt	0,085	nicht erfüllt
			Textilrollo grau	0,184	0,079	nicht erfüllt	0,085	nicht erfüllt
SSV (2 fach)	1,2	0,37	Außenjalousie 45° grau	0,023	0,109	erfüllt	0,115	erfüllt
			vertikale Markise weiß	0,051	0,109	erfüllt	0,115	erfüllt
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,133	0,109	nicht erfüllt	0,115	nicht erfüllt
			Textilrollo grau	0,142	0,109	nicht erfüllt	0,115	nicht erfüllt
SSV (2 fach)	1,2	0,25	Außenjalousie 45° grau	0,023	0,109	erfüllt	0,115	erfüllt
			vertikale Markise weiß	0,041	0,109	erfüllt	0,115	erfüllt
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,096	0,109	erfüllt	0,115	erfüllt
			Textilrollo grau	0,101	0,109	erfüllt	0,115	erfüllt

4.6 Ergebnisse der dynamischen Simulationsrechnungen

Ergänzend zum vereinfachten Nachweis des sommerlichen Wärmeverhaltens aus Kapitel 4.5 wird im Folgenden das thermisch/energetische Verhalten eines exemplarisch ausgewählten Büroraumes über einen kompletten Jahreszyklus mit Hilfe der Software TRNSYS [8] berechnet und die Stundenmittelwerte der Operativtemperatur im Raum näher analysiert.

4.6.1 Einfluss unterschiedlicher transparenter Fassadenvarianten

Zunächst wird das sommerliche Wärmeverhalten des exemplarisch ausgewählten Büroraumes am Beispiel der drei unterschiedlichen Fassadenvarianten Lochfassade, Fensterband und Hochverglaster Fassade analysiert. Grundlage dieser Variantenstudie ist die in Kapitel 4.4 dargestellte Matrix, bestehend aus 4 unterschiedlichen Verglasungen in Kombination mit jeweils zwei außen und innen liegenden Sonnenschutzsystemen. Hierbei wird zwischen manueller und automatischer Steuerung des Sonnenschutzes unterschieden. Bei manueller Steuerung erfolgt im Gegensatz zur automatischen Steuerung eine Bedienung ausschließlich während der Nutzungszeit. Die einzelnen Varianten werden jeweils ohne und mit erhöhter Nachtlüftung betrachtet.

4.6.1.1 Grundvarianten Lochfassade

Bild 13 zeigt die Überschreitungshäufigkeit der Operativtemperatur von 26°C im Raum am Beispiel der Lochfassade bei manueller Steuerung des Sonnenschutzes. Die grauen Säulen beschreiben das Verhalten ohne Nachtlüftung, die dunklen Säulen mit erhöhter Nachtlüftung. Die rote Linie definiert den Grenzwert gemäß DIN 4108-2:2003-07 [2]. Hierbei zeigt sich, dass lediglich die Varianten mit der 2-Scheibenwärmeschutzverglasung in Kombination mit innen liegenden Sonnenschutzsystemen, ohne erhöhter Nachtlüftung, die Anforderungen nicht erfüllen. Eine zusätzliche erhöhte Lüftung während der Nachtstunden kann die Aufheizung der Räume am Tag deutlich reduzieren. In dieser Betriebsweise unterschreiten alle Varianten den zulässigen Grenzwert. Bei automatischer Sonnenschutzsteuerung (Bild 14) verringert sich die sommerliche Aufheizung insbesondere bei den außen liegenden Verschattungssystemen in Kombination mit Wärmeschutzverglasung im Vergleich zur manuellen Steuerung. Dies ist dadurch zu begründen, dass durch die automatische Steuerung eine Bedienung des Sonnenschutzes auch außerhalb der Nutzungszeiten ermöglicht wird und hierdurch einer Aufheizung vor bzw. nach der Nutzung wirkungsvoll vorgebeugt werden kann. In den Bild 15 und im Bild 16 sind die Übertemperaturgradstunden bei manueller und automatischer Sonnenschutzsteuerung ohne und mit erhöhter Nachtlüftung dargestellt. Auch hier zeigt sich der deutliche Einfluss der Nachtlüftung auf die Temperaturüberschreitungen während der Nutzungszeit.

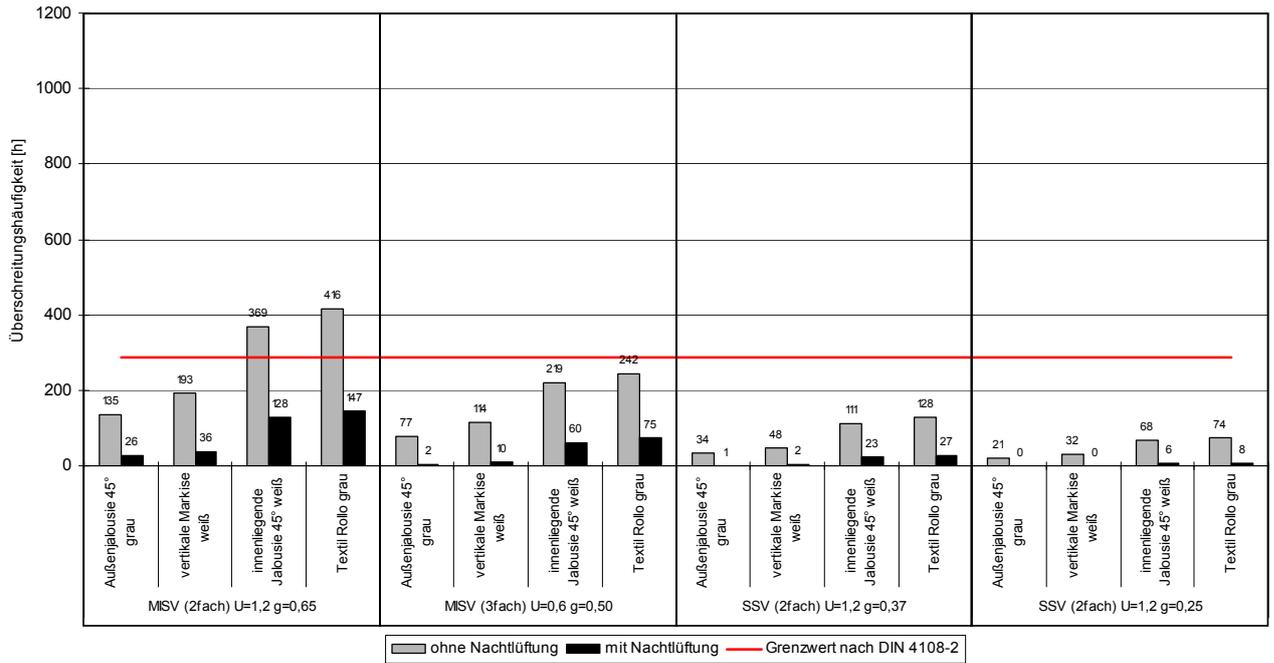


Bild 13: Überschreitungshäufigkeiten Lochfassade, Steuerung Sonnenschutz manuell, ohne und mit Nachtlüftung.

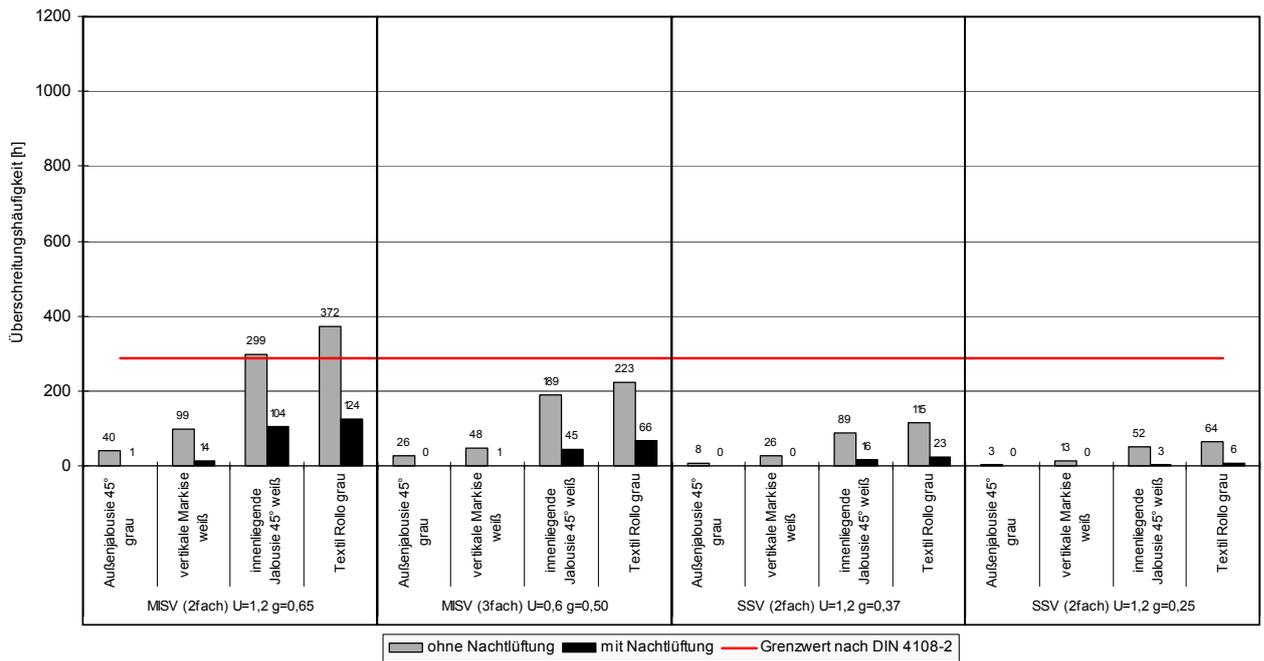


Bild 14: Überschreitungshäufigkeiten Lochfassade, Steuerung Sonnenschutz automatisch, ohne und mit Nachtlüftung.

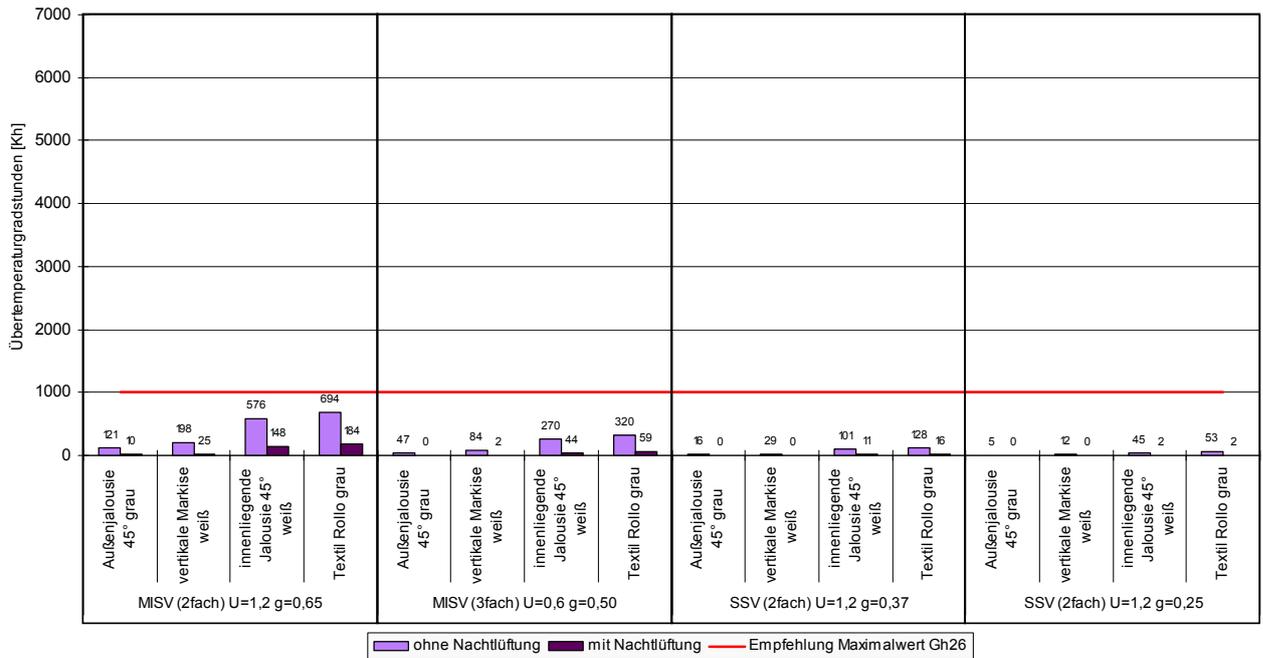


Bild 15: Übertemperaturgradstunden Lochfassade, Steuerung Sonnenschutz manuell, ohne und mit Nachtlüftung.

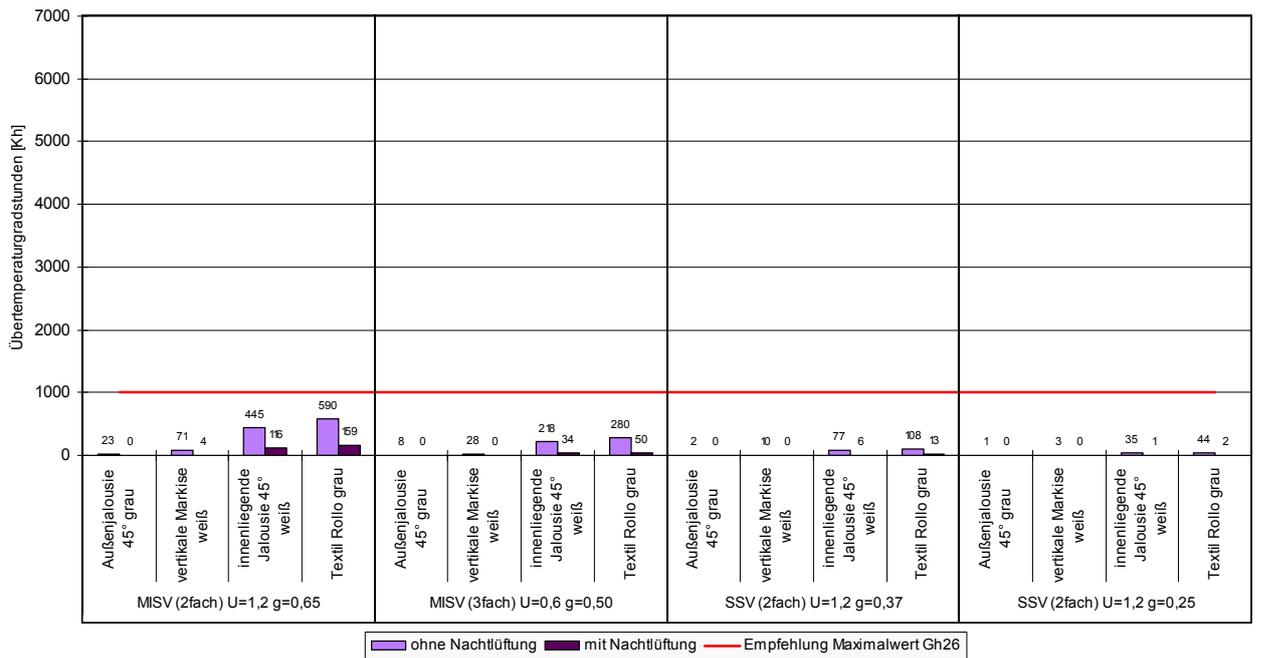


Bild 16: Übertemperaturgradstunden Lochfassade, Steuerung Sonnenschutz automatisch, ohne und mit Nachtlüftung.

4.6.1.2 Grundvarianten Fensterbandfassade

Im folgenden Kapitel wird das sommerliche Wärmeverhalten am Beispiel der Fensterbandfassade dargestellt. Bild 17 zeigt die Überschreitungshäufigkeiten bei manueller Sonnenschutzsteuerung ohne und mit Nachtlüftung. In Bild 18 ist das sommerliche Wärmeverhalten bei automatischer Sonnenschutzsteuerung dargestellt. Aufgrund der höheren transparenten Fassadenanteile ergeben sich bei der Fensterbandfassade deutlich mehr Überheizungszeiten. Das Potential einer automatischen Sonnenschutzsteuerung zeigt sich insbesondere bei den Varianten mit außen liegendem Sonnenschutz in Verbindung mit Wärmeschutzverglasungen. Hierdurch kann annähernd eine Halbierung der Überschreitungsstunden erreicht werden. Einen ebenfalls großen Einfluss hat die erhöhte Nachtlüftung. Im Vergleich zum Szenario ohne Nachtlüftung lässt sich bei den meisten Varianten eine Verringerung der Überschreitungshäufigkeit auf unter 50 Prozent erreichen.

Generell kritisch zeigen sich alle Varianten mit Wärmeschutzverglasung in Kombination mit manueller Sonnenschutzsteuerung. Lediglich bei erhöhter Nachtlüftung lassen sich bei den außen liegenden Sonnenschutzsystemen die Überheizungen unterhalb des zulässigen Grenzwertes reduzieren. Unkritischer im Hinblick auf das sommerliche Wärmeverhalten sind die Varianten mit Sonnenschutzverglasung. Lediglich die Variante mit dem höheren Gesamtenergiedurchlassgrad von 0,37 in Kombination mit dem innen liegenden Textilrollo überschreitet die Anforderungen. Eine zusätzliche erhöhte Nachtlüftung kann die Überschreitungshöhe reduzieren. Die Räume mit Wärmeschutzverglasung und manueller Steuerung bleiben jedoch hinsichtlich deren sommerlichen Wärmeverhaltens kritisch.

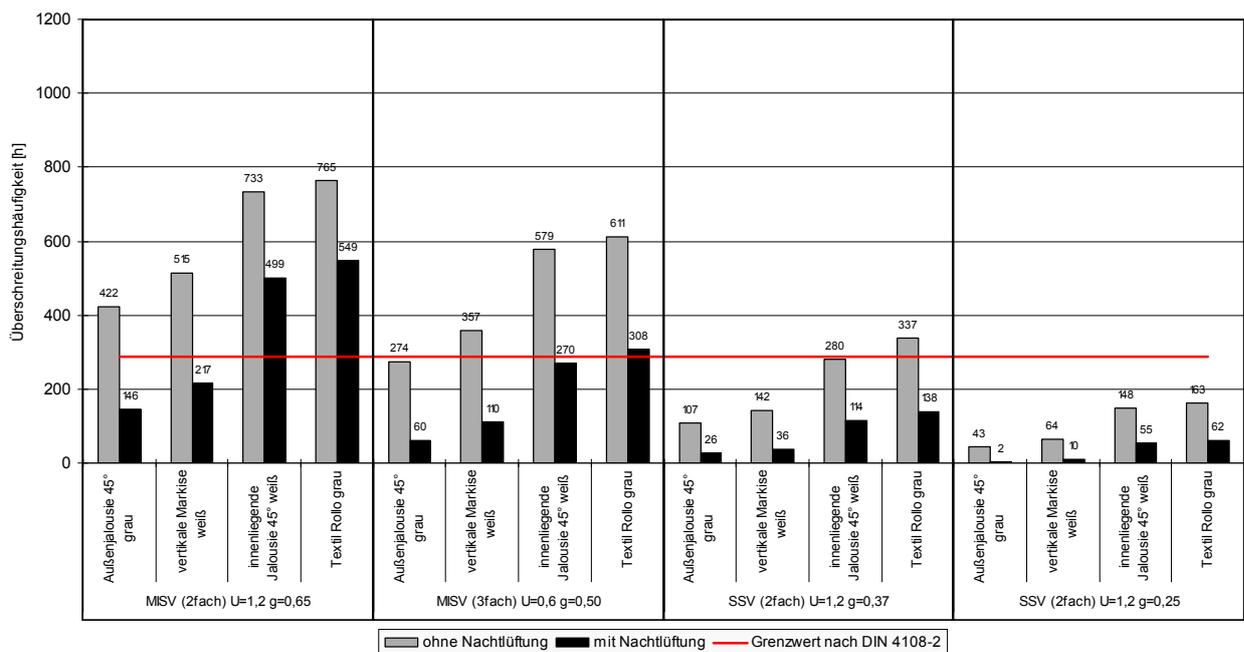


Bild 17: Überschreitungshäufigkeiten Fensterbandfassade, Steuerung Sonnenschutz manuell, ohne und mit Nachtlüftung.

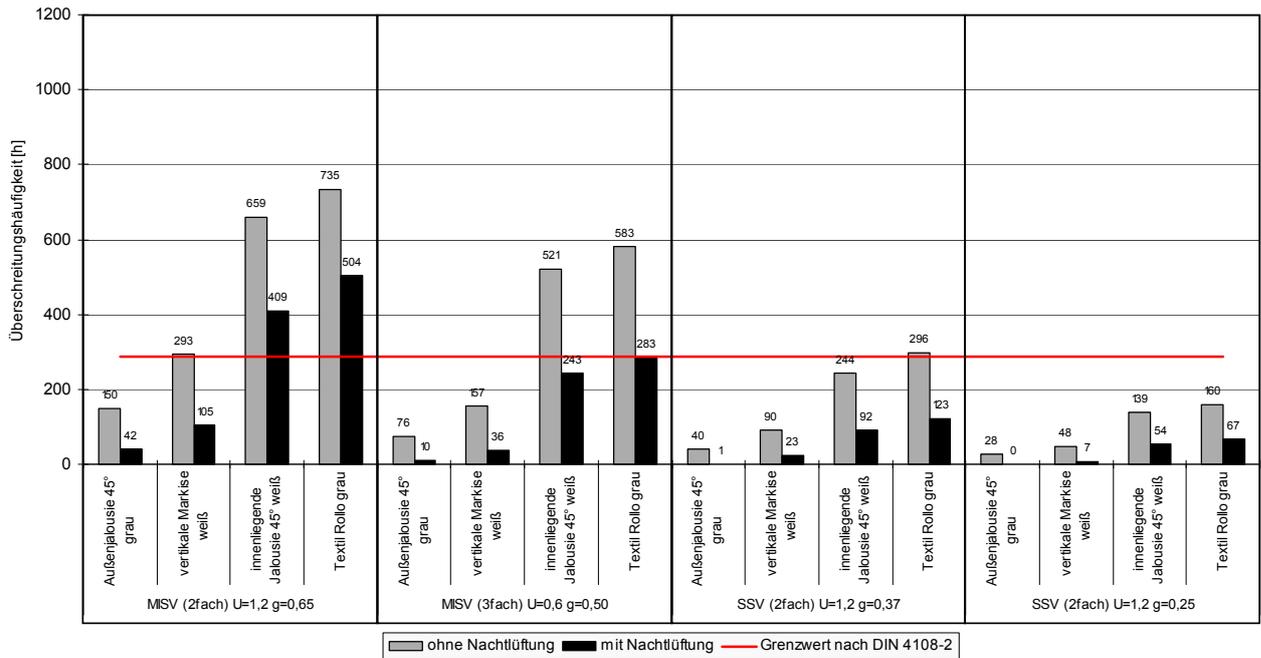


Bild 18: Überschreitungshäufigkeiten Fensterbandfassade, Steuerung Sonnenschutz automatisch, ohne und mit Nachtlüftung.

Ein vergleichbares Bild ergibt sich bei der Analyse der Übertemperaturgradstunden (Bild 19 und Bild 20). Auch hier zeigen insbesondere die Kombinationen aus Wärmeschutzverglasung und innen liegendem Sonnenschutz ein kritisches sommerliches Temperaturwerverhalten.

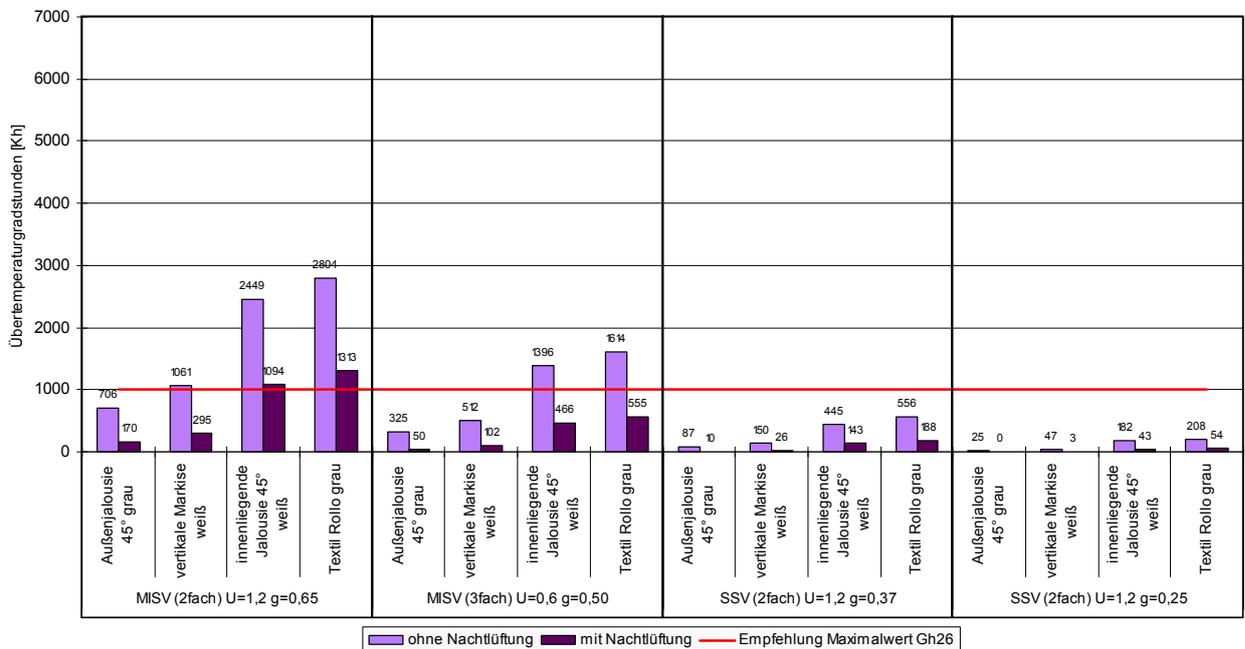


Bild 19: Übertemperaturgradstunden Fensterbandfassade, Steuerung Sonnenschutz manuell, ohne und mit Nachtlüftung.

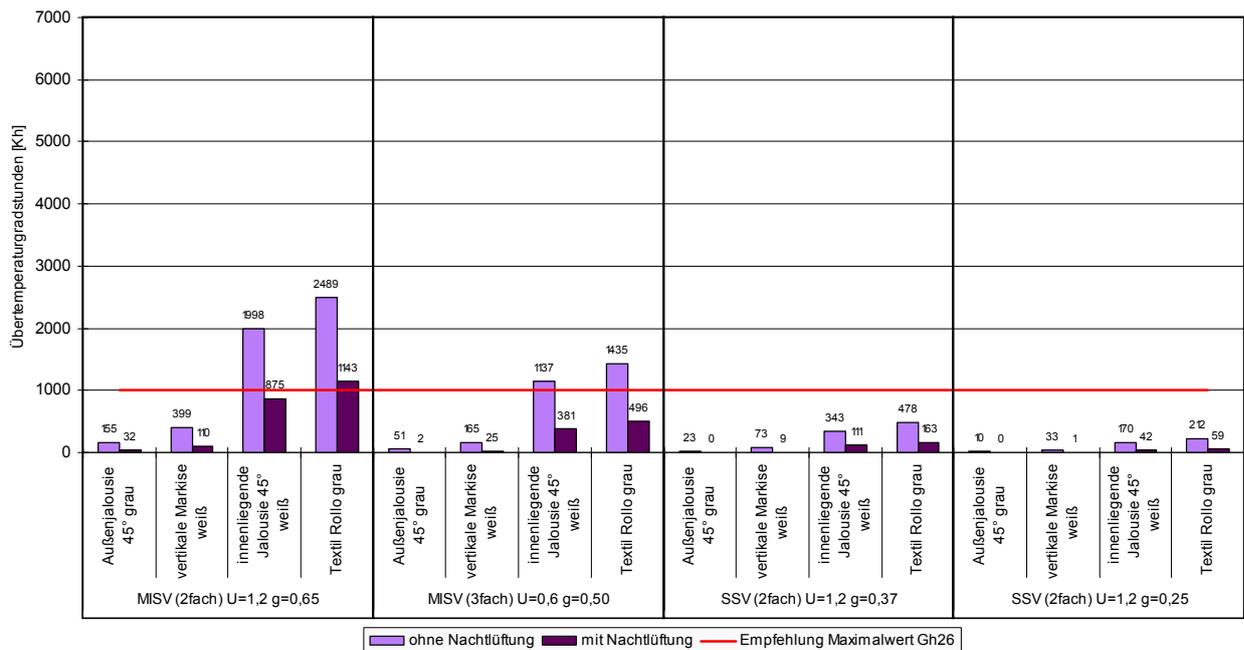


Bild 20: Übertemperaturgradstunden Fensterbandfassade, Steuerung Sonnenschutz automatisch, ohne und mit Nachtlüftung.

4.6.1.3 Grundvarianten Hochverglaste Fassade

Aufgrund der hohen solaren Wärmeeinträge durch die nahezu vollständig verglasten Fassaden ist eine Ausführung mit Wärmeschutzverglasung generell als äußerst kritisch anzusehen. In Bild 21 und Bild 22 sind die Überschreitungshäufigkeiten der Varianten mit Hochverglaster Fassade bei manueller und automatischer Sonnenschutzsteuerung ohne und mit erhöhter Nachtlüftung dargestellt. Lediglich bei Verwendung einer 3-Scheibenverglasung in Kombination mit einem automatisch gesteuerten, hoch effizienten, außen liegenden Sonnenschutz lassen sich die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz annähernd erfüllen. Durch eine zusätzliche erhöhte Nachtlüftung kann die Aufheizung der Räume während der Nutzungszeit nochmals etwas reduziert werden. Ohne zusätzlicher erhöhter Nachtlüftung zeigen auch die Varianten mit Sonnenschutzverglasung und innen liegendem Sonnenschutz ein kritisches sommerliches Aufheizverhalten. Die nicht akzeptable Überhitzung der Räume bei Verwendung von Wärmeschutzverglasung in Kombination mit innen liegenden Sonnenschutzsystemen zeigt sich insbesondere auch bei der Analyse der Übertemperaturgradstunden (Bild 23 und Bild 24). Übertemperaturgradstunden von bis zu 6.009 Kh lassen nicht nur auf häufige, sondern auch auf sehr hohe Überhitzungen schließen.

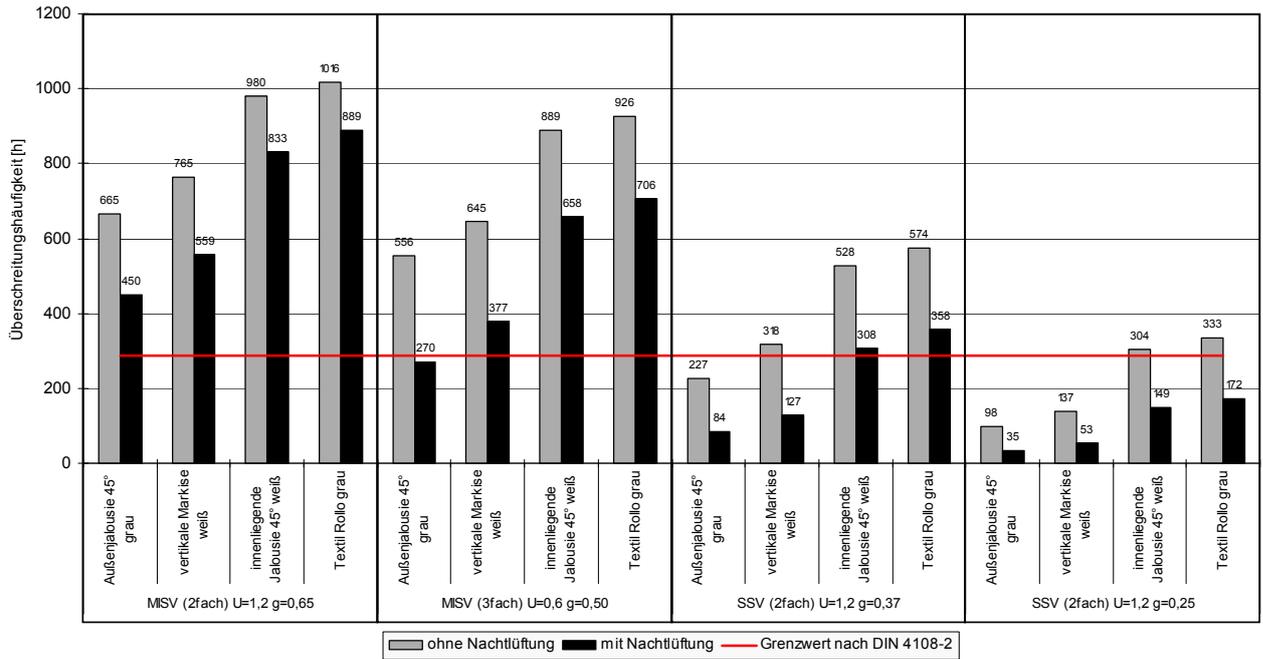


Bild 21: Überschreitungshäufigkeiten Hochverglaste Fassade, Steuerung Sonnenschutz manuell, ohne und mit Nachtlüftung.

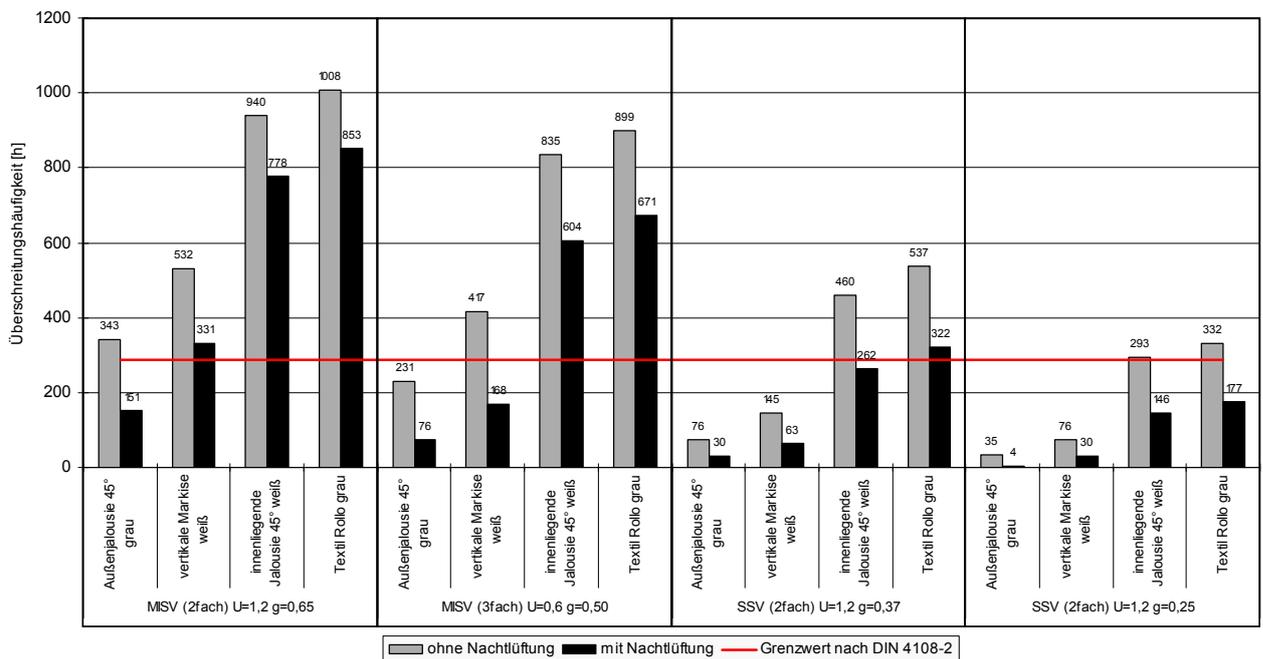


Bild 22: Überschreitungshäufigkeiten Hochverglaste Fassade, Steuerung Sonnenschutz automatisch, ohne und mit Nachtlüftung.

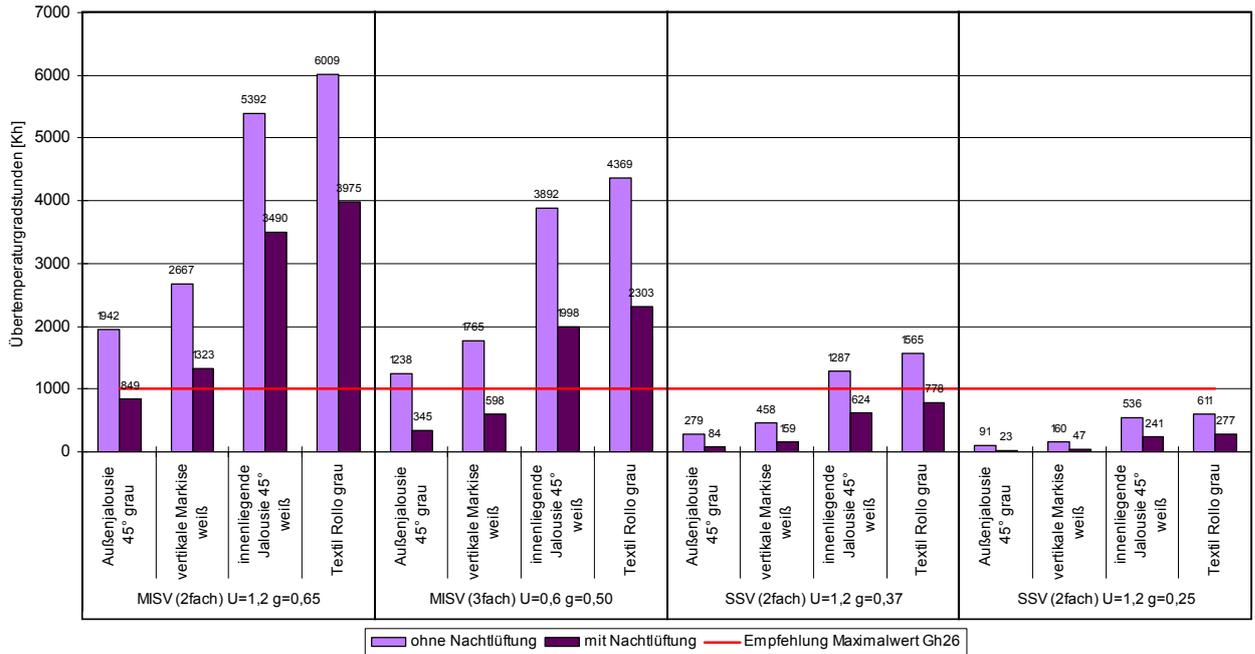


Bild 23: Übertemperaturgradstunden Hochverglaste Fassade, Steuerung Sonnenschutz manuell, ohne und mit Nachtlüftung.

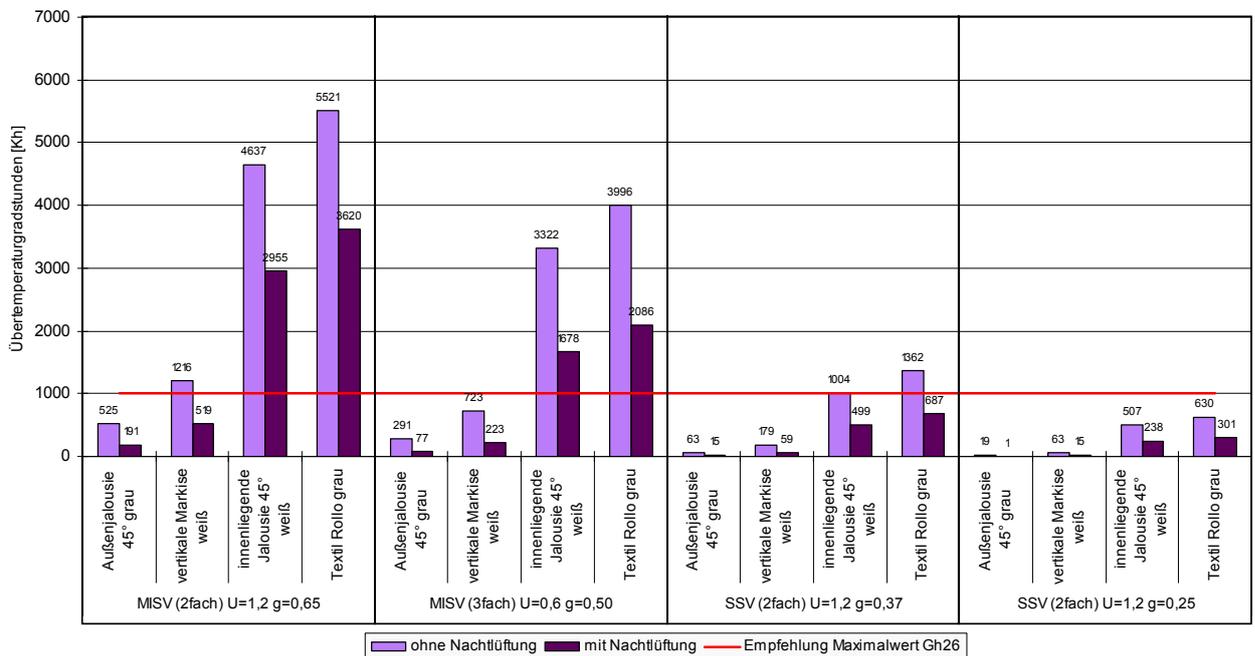


Bild 24: Übertemperaturgradstunden Hochverglaste Fassade, Steuerung Sonnenschutz automatisch, ohne und mit Nachtlüftung.

4.6.2 Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens durch Nachtlüftung

Im folgenden Kapitel wird das Potential einer erhöhten Nachtlüftung hinsichtlich der Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens am Beispiel einzelner Raumvarianten exemplarisch dargestellt. Im ersten Beispiel (Bild 25) wird ein Büroraum mit Lochfassade, 2-Scheibenwärmeschutzverglasung (2-fach MISV, $U_g=1,2$ $g_{\perp}=0,65$) in Kombination mit einer außen liegenden Jalousie bzw. einem innen liegenden Textilrollo jeweils mit manueller Steuerung betrachtet. Der erhöhte Nachtluftwechsel variiert zwischen 0 h^{-1} (kein Nachtluftwechsel) und 20 h^{-1} . Während die Variante mit außen liegendem Sonnenschutz bereits ohne erhöhter Nachtlüftung die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz erreicht, wird beim innen liegenden Textilrollo der Grenzwert gemäß DIN 4108-2:2003-07 [2] erst ab einer erhöhten Nachtlüftung von 2 h^{-1} unterschritten.

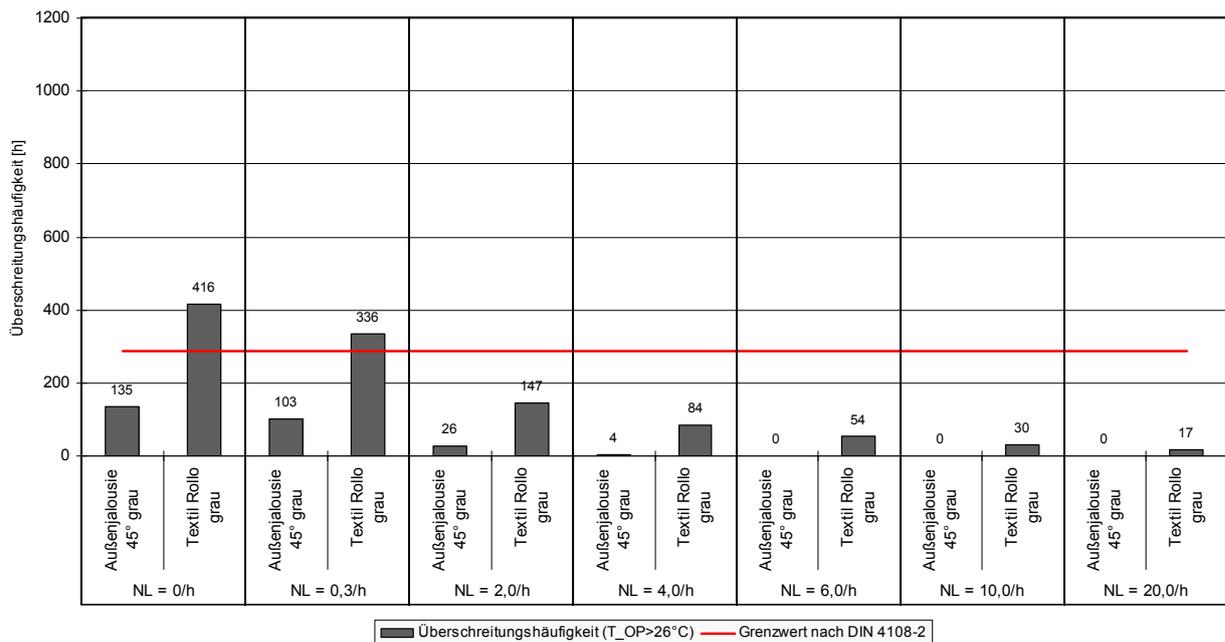


Bild 25: Überschreitungshäufigkeiten Lochfassade.

In Bild 26 wird anstelle der Lochfassade eine Fensterbandfassade ebenfalls mit 2-Scheibenwärmeschutzverglasung (2-fach MISV, $U_g=1,2$ $g_{\perp}=0,65$) in Kombination mit einer außen liegenden Jalousie bzw. einem innen liegenden Textilrollo und manueller Steuerung betrachtet. Hierbei zeigt sich, dass bereits bei dem außen liegenden Sonnenschutz ohne erhöhte Nachtlüftung der Grenzwert für die maximale Überschreitungshäufigkeit überschritten wird. Bei Verwendung eines innen liegenden Sonnenschutzes wird erwartungsgemäß der Grenzwert deutlich überschritten. Während im erstgenannten Fall mit Lochfassade bereits ein erhöhter Nachtluftwechsel von etwa 2 h^{-1} reicht, um während der Nutzungszeit ein annähernd behagliches Raumklima sicherzustellen, ist bei dem innen liegenden Sonnenschutz bei der Fensterbandfassade ein erhöhter Nachtluftwechsel von $6-10 \text{ h}^{-1}$ nötig. Im Fall einer Hochverglasten Fassade (Bild 27) lässt sich lediglich bei der außen liegenden Jalousie und einem erhöhten Nachtluftwechsel von ca. 6 h^{-1} der maximale Grenzwert unterschreiten. Bei dem innen liegenden Sonnenschutz führt auch ein erhöhter Nachtluftwechsel von 20 h^{-1} zu keinem behaglichen Raumklima. Die Analysen zeigen, dass eine nächtliche Auskühlung von Büroräumen mit Hilfe eines erhöhten Nachtluftwechsels durchaus in der Lage ist die Aufheizung während der Nutzungszeit deutlich zu reduzieren. Bei der Konzeption eines Gebäudes ist diesbezüglich jedoch zu beachten, inwieweit erhöhte Nachtluftwechselraten aufgrund sicherheitstechnischer Anforderungen (Einbruch, Witterungsschutz) in der Praxis umgesetzt werden können.

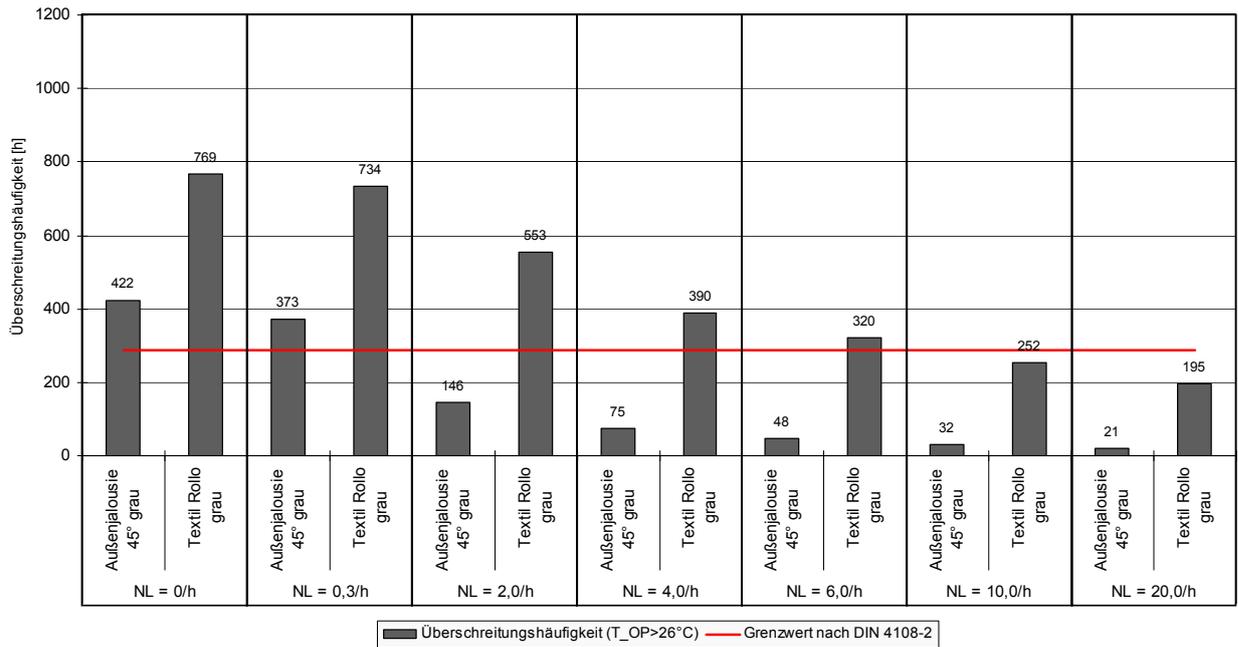


Bild 26: Überschreitungshäufigkeiten Fensterbandfassade.

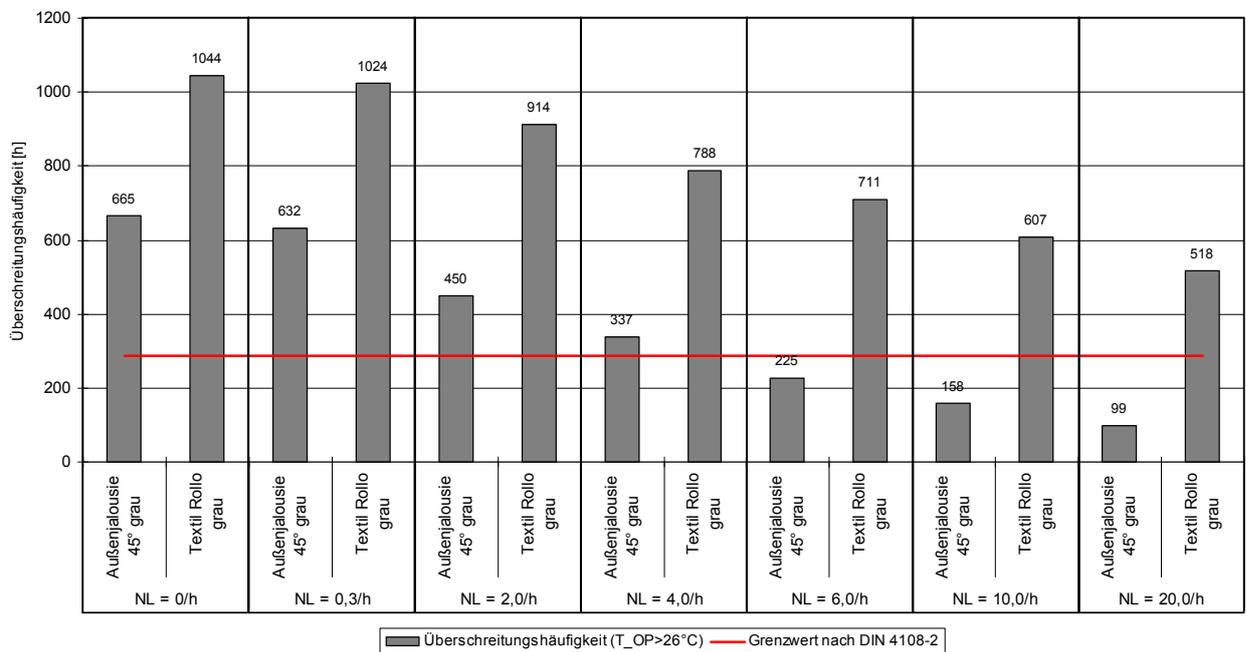


Bild 27: Überschreitungshäufigkeiten Hochverglaste Fassade.

4.6.3 Einfluss der Fassadenorientierung auf das sommerliche Wärmeverhalten

Westorientierte Räume gelten landläufig als besonders kritisch hinsichtlich deren sommerlichen Wärmeverhaltens, da sich die maximale solare Einstrahlung zeitlich mit der höchsten Außenlufttemperatur deckt. Am Beispiel eines Büroraumes mit Fensterbandfassade, 2-Scheibenwärmeschutzverglasung (2-fach MISV $U_g=1,2$ $g_{\perp}=0,65$) in Kombination mit einer außen liegenden Jalousie (Außenjalousie 45° grau) wird der Einfluss der Fassadenorientierung auf die Überschreitungshäufigkeit analysiert. Bild 28 zeigt die Überschreitungshäufigkeit der Operativtemperatur in dem Büroraum für die Fassadenorientierung West, Südwest, Süd und Ost, jeweils bei automatischer (SS automatisch) und manueller (SS manuell) Sonnenschutzsteuerung. Erwartungsgemäß überschreiten die Varianten mit automatischer Sonnenschutzsteuerung den Grenzwert der Operativtemperatur von 26°C deutlich seltener als bei manueller Sonnenschutzsteuerung. Der nach Ost orientierte Raum zeigt im Gegensatz zur eingangs erwähnten These ein annähernd gleiches Überhitzungsverhalten wie der nach West orientierte Raum. Eine nach Süd orientierte Fassade ist hingegen unkritischer hinsichtlich des sommerlichen Wärmeverhalten. Die Variante mit Südwestorientierung liegt hinsichtlich der zu erwartenden Überhitzungszeiten zwischen der Süd und West orientierten Fassade.

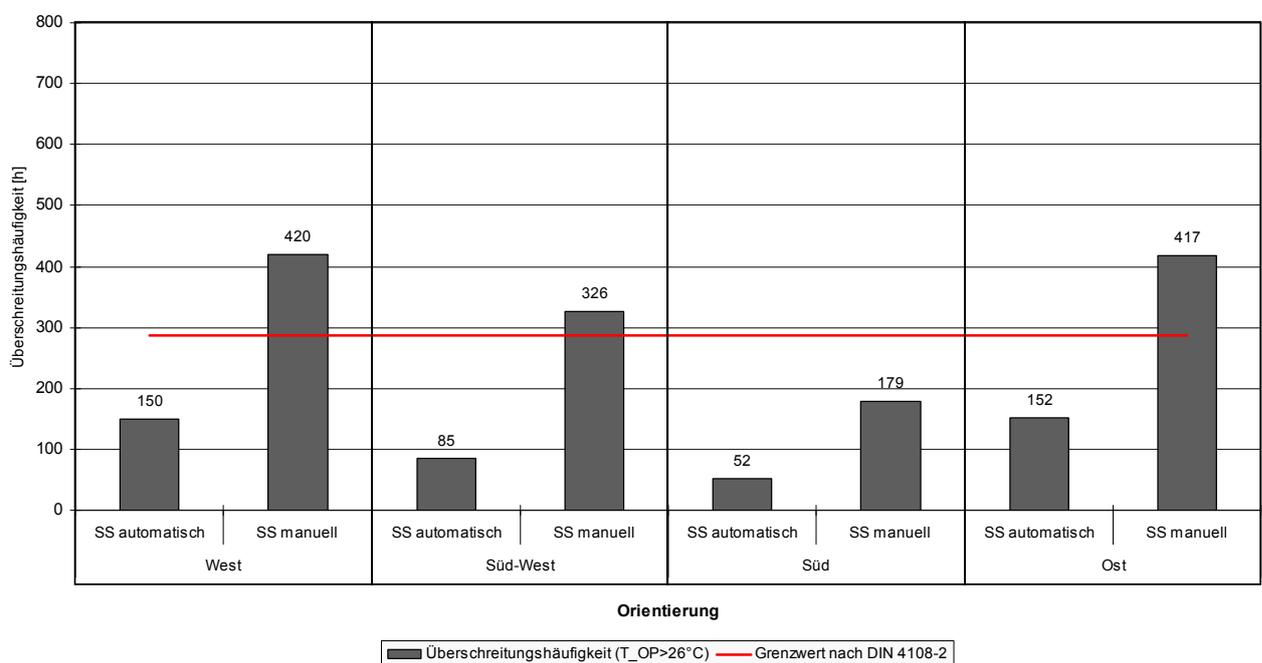


Bild 28: Überschreitungshäufigkeiten Fensterbandfassade mit außen liegendem Sonnenschutz in Abhängigkeit der Orientierung.

Im nächsten Beispiel wird anstelle einer Wärmeschutzverglasung eine Sonnenschutzverglasung mit einem Gesamtenergiedurchlassgrad von 0,37 in Kombination mit einem innen liegenden Textilrollo betrachtet (Bild 29). Hierbei zeigt sich ein geringerer Einfluss der Steuerungsart des Sonnenschutzes in Hinblick auf das sommerliche Temperaturverhalten. Sowohl bei automatischer als auch bei manueller Steuerung wird die maximale Raumtemperatur von 26°C annähernd gleich häufig überschritten. Dies liegt daran, dass die Reduzierung der solaren Wärmequellen im Wesentlichen über den geringen Gesamtenergiedurchlassgrad der Sonnenschutzverglasung erfolgt. Die zusätzliche Verringerung der Solareinträge durch den innen liegenden Sonnenschutz ist demgegenüber zweitrangig. Der Sonnenschutz erfüllt hierbei im Wesentlichen die Funktion des Blendschutzes. Auch bei der Fassadenorientierung unterscheiden sich die Ergebnisse nur unwesentlich. Lediglich der Süd orientierte Büroraum weist etwas geringere Überschreitungshäufigkeiten als der West, Ost und Südwest orientierte Raum auf.

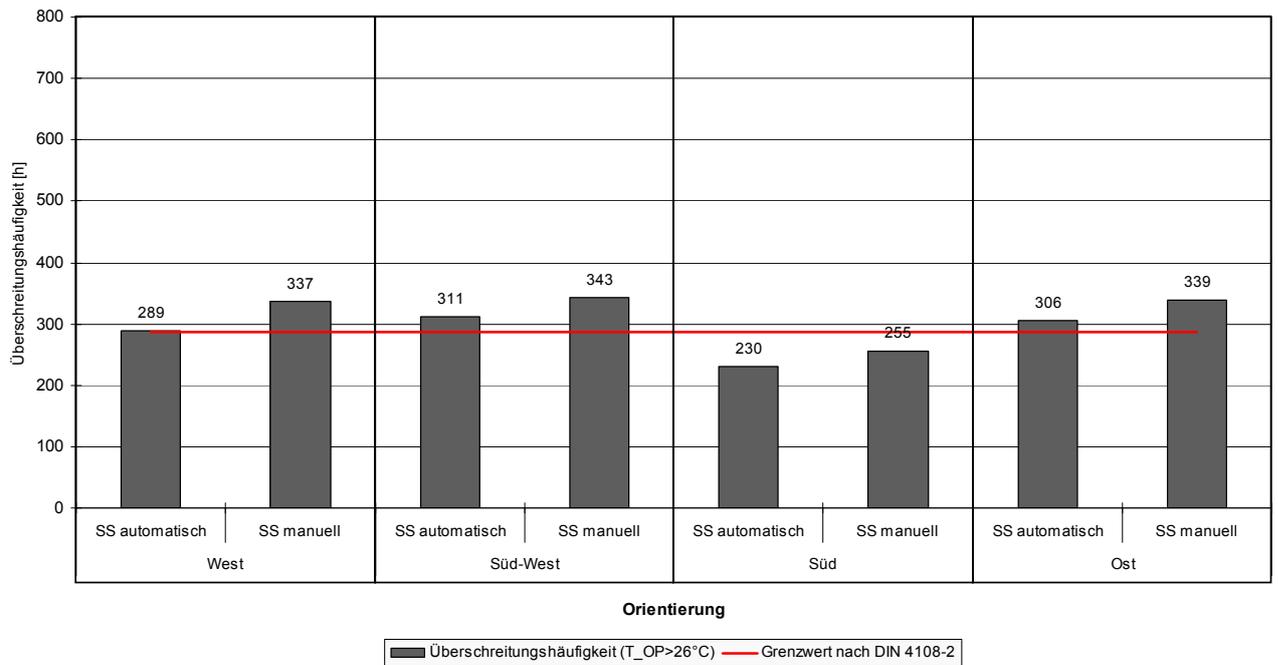


Bild 29: Überschreitungshäufigkeiten Fensterbandfassade mit innen liegendem Sonnenschutz in Abhängigkeit der Gebäudeorientierung.

4.6.4 Einfluss der thermischen Speichermasse auf das sommerliche Wärmeverhalten

Ein weiterer wichtiger Einflussparameter auf das sommerliche Wärmeverhalten eines Gebäudes ist die thermisch wirksame Speichermasse. Für die bisherigen Auswertungen wurde ein Gebäude mittlerer Bauart zugrunde gelegt. Die thermisch wirksame Speichermasse beträgt hierbei in Abhängigkeit des Fassadentyps 115, 111 bzw. 103 Wh/m²K (Lochfassade, Fensterband und Hochverglaste Fassade). Im Folgenden werden zwei weitere Szenarien mit je einer leichteren Bauart (83 Wh/m²K) und einer schweren Bauart (142 Wh/m²K) exemplarisch für einen Raum mit Fensterbandfassade betrachtet. Als Randbedingung für die Berechnungen wird eine 2-Scheibenwärmeschutzverglasung mit einer Außenjalousie bzw. mit einem innen liegenden Textilrollo und manueller Steuerung angenommen. Hierbei wird zwischen Varianten mit einem erhöhten Nachtlüftwechsel (NL) von 2 h⁻¹ bzw. ohne Nachtlüftwechsel unterschieden. Tabelle 19 zeigt die Überschreitungshäufigkeit der Operativtemperatur im Büroraum während der Nutzungszeit für die beiden unterschiedlichen Sonnenschutzsysteme in Abhängigkeit der thermisch wirksamen Speichermasse ohne und mit erhöhter Nachtlüftung. Bei der Variante mit Außenjalousie zeigt sich ohne erhöhte Nachtlüftung ein geringer Einfluss der thermisch wirksamen Speichermasse. Im Vergleich zur leichten Bauart verringern sich die Überhitzungsstunden bei der mittleren Bauart geringfügig von 438 auf 422 h. Bei schwerer Bauart ergibt sich sogar eine leichte Zunahme um 4 h auf 426 h. Die Zunahme der Überhitzungsstunden bei der schweren Bauart ist darauf zurückzuführen, dass sich das Gebäude während länger andauernder Hitzeperioden aufgrund der hohen Speichermasse und keiner Nachtlüftungsmöglichkeit auch nachts nicht mehr ausreichend abkühlen kann. Ein Aufschaukeln der Temperatur im Raum ist die Folge.

Ein deutlicher Einfluss der thermischen Speichermasse auf das sommerliche Wärmeverhalten ist hingegen bei den Varianten mit erhöhter Nachtlüftung erkennbar. Hier sinken die Überhitzungsstunden konsequent von 200 h bei leichter Bauart, auf 146 h bei mittlerer Bauart und 125 h bei schwerer Bauart. Durch die erhöhte Lüftung kann die thermische Speichermasse im Raum während der Nachtstunden entladen werden. Die abgekühlten Bauteile können aufgrund deren hoher thermischer Speichermasse einer übermäßigen Aufheizung der Raumluft am folgenden Tag effektiv entgegenwirken.

Beim innen liegenden Textilrollo ergeben sich in Verbindung mit der Wärmeschutzverglasung sehr hohe solare Wärmeeinträge. Dies führt zu deutlich mehr Überhitzungsstunden als bei der vorhin betrachteten Außenjalousie. Ohne erhöhte Nachtlüftung nimmt die Überschreitungshäufigkeit stetig mit der thermischen Speichermasse zu. Lediglich bei den Varianten mit erhöhter Nachtlüftung ist eine geringe Reduktion von 586 h bei leichter Bauart, 549 h bei mittlerer und 547 h bei schwerer Bauart feststellbar.

Ein Vergleich der Überhitzungsstunden ohne und mit erhöhter Nachtlüftung zeigt, dass besonders bei einer schweren Bauart die Potentiale der Nachtlüftung deutlich höher als bei der leichten Bauart sind. Im betrachteten Fall mit Außenjalousie verringern sich die Überhitzungsstunden durch die Nachtlüftung bei der leichten Bauart um 238 h, bei der schweren Bauart hingegen um 301 h. Beim innen liegenden Textilrollo beträgt der Einfluss der Nachtlüftung 172 h (leichte Bauart) bzw. 239 h (schwere Bauart).

Tabelle 19: Überschreitungshäufigkeit der Raumtemperatur bei unterschiedlichen Bauarten.

Sonnenschutz	Überschreitungshäufigkeit [h]					
	Bauart leicht 83 Wh/m²K		Bauart mittel 111 Wh/m²K		Bauart schwer 142 Wh/m²K	
	ohne NL	mit NL	ohne NL	mit NL	ohne NL	mit NL
Außenjalousie	438	200	422	146	426	125
Innen liegender Textilrollo	758	586	765	549	786	547

Neben der Anzahl der Überschreitungsstunden ist auch die Höhe der Temperaturüberschreitung ein wichtiger Parameter zur Beurteilung der Raumbehaglichkeit. In Tabelle 20 sind daher die Übertemperaturgradstunden für die einzelnen Varianten dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass unabhängig von der Lage des Sonnenschutzes sowie von einer eventuell möglichen erhöhten Nachtlüftung die Übertemperaturgradstunden mit steigender thermischer Speichermasse abnehmen. Die Anzahl der Überschreitungsstunden kann mit zunehmender Bauschwere also durchaus zunehmen. Die Höhe der Temperaturüberschreitung reduziert sich jedoch mit zunehmender thermischer Speichermasse.

Tabelle 20: Übertemperaturgradstunden des Beispielraumes in Abhängigkeit der thermischen Speichermasse.

Sonnenschutz	Übertemperaturgradstunden [Kh]					
	Bauart leicht 83 Wh/m²K		Bauart mittel 111 Wh/m²K		Bauart schwer 142 Wh/m²K	
	ohne NL	mit NL	ohne NL	mit NL	ohne NL	mit NL
Außenjalousie	799	288	706	170	672	120
Innen liegender Textilrollo	3.094	1.869	2.804	1.313	2.762	1.187

4.6.5 Sommerliches Wärmeverhalten bei extremen Witterungsverhältnissen

Aufgrund der erwarteten Klimaänderung ist zukünftig häufiger mit extremen Witterungsverhältnissen zu rechnen. Der Jahrhundertssommer 2003 kann hier sicherlich beispielhaft genannt werden. Welchen Einfluss solche extremen Hitzeperioden auf das sommerliche Wärmeverhalten von Gebäuden haben, soll im Folgenden beispielhaft analysiert werden. Für die dynamischen Simulationsrechnungen wird hierzu auf den TRY Klimadatenatz für extreme Sommer zurückgegriffen (Region 13). Tabelle 21 zeigt eine Gegenüberstellung der Außenlufttemperatur für mittlere und extreme Witterungsbedingungen im Zeitraum Juni bis August. Die maximale Außenlufttemperatur liegt bei den betrachteten extremen Witterungsverhältnissen mit 36,2°C um 3,4 K über dem Maximalwert der mittleren Klimadaten. Die über den Zeitraum Juni bis August gemittelte Außenlufttemperatur ist mit 18,7°C um 1,9 K über dem langjährigen Mittel.

Tabelle 21: Gegenüberstellung der Mittelwerte der Außenlufttemperatur des TRY Klimadatenatzes Region 13 für mittlere und extreme Witterungsbedingungen im Zeitraum Juni bis August.

Maximale Außenlufttemperatur [°C]		Mittlere Außenlufttemperatur [°C]	
Mittlerer Sommer	Extremer Sommer	Mittlerer Sommer	Extremer Sommer
32,8	36,2	16,8	18,7

Am Beispiel von unterschiedlichen Raumvarianten wird im Folgenden die zu erwartende Zunahme der Überhitzungsstunden während extrem heißer Sommerperioden dargestellt. Als Grundlage dienen hierbei Fassadenvarianten, die während mittlerer Klimadatenperioden die Anforderungen gemäß DIN 4108-2:2003-07 [2] hinsichtlich einer maximalen Überschreitungshäufigkeit von kleiner als 10 Prozent der Nutzungszeit erfüllen (< 287 h). Für die Berechnungen wird ein Büroraum mit automatisch gesteuertem Sonnenschutz ohne Nachtlüftung zugrunde gelegt.

Tabelle 22: Überschreitungshäufigkeiten unterschiedlicher Raumvarianten bei mittleren und extremen Witterungsbedingungen.

Fassadentyp	Verglasung	Sonnenschutz	Überschreitungshäufigkeit [h]		
			Mittlerer Sommer	Extremer Sommer	Differenz
Lochfassade	MISV (2-Scheiben) $U_g=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g=0,65$	Außenjalousie 45° , grau	99	284	+185
Lochfassade	MISV (3-Scheiben) $U_g=0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g=0,5$	Innen liegende Jalousie 45°, weiß	189	359	+170
Lochfassade	SSV (2-Scheiben) $U_g=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g=0,37$	Innen liegendes Textil- rollo, grau	115	294	+179
Fensterband	MISV (2-Scheiben) $U_g=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g=0,65$	Außenjalousie 45° , grau	150	356	+206
Fensterband	MISV (3-Scheiben) $U_g=0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g=0,5$	Außen liegende Vertikalmarkise, weiß	157	346	+189
Fensterband	SSV (2-Scheiben) $U_g=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g=0,37$	Innen liegende Jalousie 45°, weiß	244	396	+152
Fensterband	SSV (2-Scheiben) $U_g=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g=0,25$	Innen liegendes Textil- rollo, grau	160	338	+178
Hochverglast	MISV (3-Scheiben) $U_g=0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g=0,5$	Außenjalousie 45° , grau	231	419	+188
Hochverglast	SSV (2-Scheiben) $U_g=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g=0,37$	Außen liegende Vertikalmarkise, weiß	145	333	+188
Hochverglast	SSV (2-Scheiben) $U_g=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g=0,25$	Außen liegende Vertikalmarkise, weiß	76	235	+159

In Tabelle 22 sind die errechneten Überschreitungshäufigkeiten unterschiedlicher Raumvarianten bei mittleren und extremen Witterungsbedingungen zusammengestellt. Hierbei zeigt sich, dass während extremer Sommerperioden eine deutliche Zunahme der Überhitzungstunden zu erwarten ist. Annähernd alle Raumvarianten, die unter mittleren Witterungsbedingungen die Anforderungen an das sommerliche Wärmeverhalten erfüllen, weisen während extremer Sommerperioden deutliche Überschreitungen der maximal zulässigen Temperaturen auf.

5 Ermittlung der Nutz-, End- und Primärenergieanteile

Im Gegensatz zu den dynamischen Simulationsrechnungen zur Analyse des sommerlichen Wärmeverhaltens werden die Energiebedarfsberechnungen mit Hilfe des Monatsbilanzverfahrens der Vornormenreihe DIN V 18599:2007-02 [4] durchgeführt. Diese Vornorm stellt ein Verfahren zur Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden zur Verfügung, wie sie nach Artikel 3 der Richtlinie 2002/91/EG [16] ab dem Jahr 2006 in allen Mitgliedsländern der EU gefordert wird und im Rahmen der Energieeinsparverordnung 2007 (EnEV07) [9] als Berechnungsgrundlage für den öffentlich rechtlichen Nachweis im Bereich Nichtwohngebäude bindend vorgeschrieben ist. Die Berechnungen gemäß DIN V 18599:2007-02 [4] erlauben die Beurteilung aller Energiemengen, die zur bestimmungsgemäßen Heizung, Warmwasserbereitung, raumlufttechnischen Konditionierung, Beleuchtung und Kühlung von Gebäuden notwendig sind. Die nach DIN V 18599:2007-02 [4] durchgeführte Energiebilanz folgt einem integralen Ansatz, d.h. einer gemeinschaftlichen Bewertung des Baukörpers, der Nutzung und der Anlagentechnik. Dabei werden auch gegenseitige Beeinflussungen von Energieströmen berücksichtigt. Zudem können durch eine Aufteilung eines Gebäudes in mehrere Zonen auch unterschiedliche Gebäude-, Anlagen- und Nutzungsprofile erfasst werden. Neben dem Berechnungsverfahren werden auch nutzungs- und betriebsbezogene Randbedingungen für eine neutrale Bewertung zur Ermittlung des Energiebedarfs angegeben (unabhängig von individuellem Nutzerverhalten und lokalen Klimadaten). Die Vornormenreihe ist für eine energetische Bilanzierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden sowie Neu- und Bestandsbauten anwendbar.

Bei der energetischen Bewertung wird zwischen Nutz-, End- und Primärenergie unterschieden. Der Nutzenergiebedarf steht hierbei als Oberbegriff für Nutzwärmebedarf, Nutzkältebedarf, Nutzenergiebedarf für Trinkwarmwasser, Beleuchtung und Befeuchtung. Dieser beschreibt den rechnerisch ermittelten Bedarf, der zur Aufrechterhaltung der festgelegten Raumkonditionen innerhalb einer Gebäudezone benötigt wird. Der Endenergiebedarf ist die berechnete Energiemenge, die der Anlagentechnik (Heizungsanlage, raumlufttechnische Anlage, Warmwasserbereitungsanlage, Beleuchtungsanlage) zur Verfügung gestellt werden muss, um die festgelegte Rauminnentemperatur, die Erwärmung des Warmwassers und die gewünschte Beleuchtungsqualität über das ganze Jahr sicherzustellen. Beim Primärenergiebedarf wird zusätzlich zum Energieinhalt des notwendigen Brennstoffs und der Hilfsenergien für die Anlagentechnik auch die Energiemenge mit einbezogen, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe entstehen. Zur Bewertung der Umweltrelevanz ist der Primärenergiebedarf eines Gebäudes der maßgebliche Parameter.

5.1 Primärenergetischer Vergleich der beiden Typgebäude

Die Auswahl der Anlagentechnik für die Basisvariante der beiden Typgebäude erfolgt gemäß der in der EnEV07 [9] definierten Referenztechnologie (vgl. Kapitel 3). Als Fassadentyp wird eine Fensterbandfassade definiert. Die wärmetechnischen Eigenschaften der Bauteile der Gebäudehülle werden so ausgewählt, dass der Gesamtprimärenergiebedarf der Basisvarianten möglichst genau dem EnEV-Anforderungswert für den Neubau entspricht. Da beide Typgebäude unterschiedliche Flächenanteile der Außenbauteile aufweisen und auch das Verhältnis zwischen Hüllfläche und Gebäudevolumen unterschiedlich ist, ergeben sich gemäß EnEV07 [9] etwas abweichende Anforderungswerte. Bei der Basisvariante des kleinen Typgebäudes beträgt der maximal zulässige Gesamtprimärenergiebedarf $279,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, beim großen Typgebäude $221,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Die Außenbauteile der Basisvarianten werden so festgelegt, dass der Gesamtprimärenergiebedarf des großen Typgebäudes genau dem EnEV-Anforderungswert entspricht. Um einheitliche Randbedingungen zu erhalten, werden die Festlegungen für die Außenbauteile auch auf die Basisvariante des kleinen Typgebäudes übertragen. Hierdurch ergibt sich ein im Vergleich zum EnEV-Anforderungswert etwas niedrigerer Gesamtprimärenergiebedarf der Basisvariante. In Bild 30 ist beispielhaft die Bandtacho-Darstellung gemäß Energieausweis für die Basisvariante des kleinen und in Bild 31 für die Basisvariante des großen Typgebäudes dargestellt.

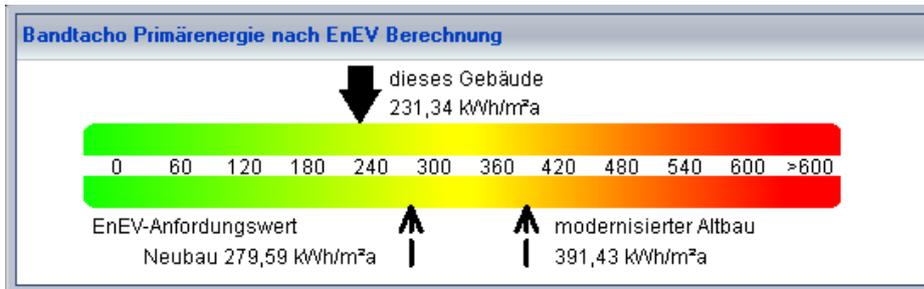


Bild 30: EnEV-Anforderungswert sowie Gesamtprimärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes Basisvariante Fensterband.

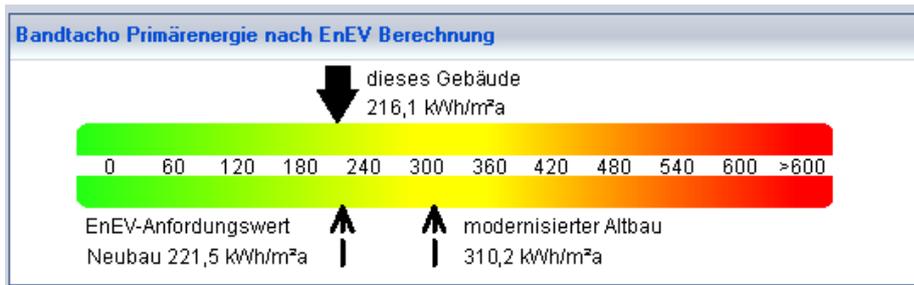


Bild 31: EnEV-Anforderungswert sowie Gesamtprimärenergiebedarf des großen Typgebäudes Basisvariante Fensterband.

Tabelle 23 zeigt die unterschiedlichen Primärenergieanteile für Heizung, Beleuchtung, Kühlung, Befeuchtung, Raumluftechnik und Trinkwarmwasser der beiden Typgebäude für die drei unterschiedlichen Fassadenkonzepte. Hierbei zeigt sich, dass der Gesamtprimärenergiebedarf des großen Typgebäudes aufgrund der kompakteren Bauweise etwas geringer als beim kleinen Typgebäude ist. Im Bereich der Heizung und Kühlung ergibt sich, unabhängig vom Typgebäude, eine stetige Zunahme des Primärenergiebedarfs von der Lochfassade hin zur Hochverglaste Fassade. Im Gegenzug dazu sinkt der Energiebedarf für die Beleuchtung mit zunehmender Transparenz der Fassade. Der Primärenergiebedarf für die Raumluftechnik und für das Trinkwarmwasser ist nahezu unabhängig vom Typgebäude und der Fassadenausführung. Insgesamt steigt der Gesamtprimärenergiebedarf des großen Typgebäudes ausgehend von der Lochfassade zur Fensterbandfassade und Hochverglaste Fassade um jeweils etwa 10 kWh/m²a. Der Gesamtprimärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes unterscheidet sich zwischen Lochfassade und Fensterbandfassade kaum. Lediglich beim Wechsel zur Hochverglaste Fassade steigt der Energiebedarf um 12 kWh/m²a.

Tabelle 23: Primärenergiebedarf der beiden Typgebäude in Anhängigkeit der Fassadenvariante.

Primärenergiebedarf [kWh/m²a]	Lochfassade		Fensterbandfassade		Hochverglaste Fassade	
	kl. Typgeb.	gr. Typgeb.	kl. Typgeb.	gr. Typgeb.	kl. Typgeb.	gr. Typgeb.
Heizung	99,6	76,0	104,2	87,1	114,2	99,0
Beleuchtung	48,8	47,0	41,7	40,9	38,1	37,7
Kühlung	11,7	11,5	14,8	17,2	20,3	23,6
Befeuchtung	37,6	35,1	37,6	35,1	37,6	35,1
Raumluftechnik	25,3	23,2	25,3	23,6	25,3	23,2
Trinkwarmwasser	7,8	12,3	7,8	12,2	7,9	12,3
Summe	230,7	205,2	231,3	216,1	243,4	230,9

Die folgenden Bild 32 und 33 zeigen die Verteilung der Wärmesenken (Verluste) und Wärmequellen (Gewinne) der Basisvarianten der beiden Typgebäude während der Heizperiode. Beim kleinen Typgebäude verteilen sich die gesamten Wärmesenken in Höhe von 115,4 kWh/m² zu 41 % auf die Lüftungswärmeverluste, 36 % Verluste über die Außenwände, 10 % Dach, 7 % über den Boden sowie auf weitere sonstige Wärmeverluste in Höhe von 5 %. Demgegenüber stehen Wärmequellen durch solare Gewinne (56 %) und interne Wärmequellen (44 %) in Höhe von insgesamt 78,6 kWh/m². 67 % dieser Wärmequellen sind zur Deckung der Wärmesenken nutzbar, so dass sich für das kleine Typgebäude ein Nutzenergiebedarf für die Heizung von 62,6 kWh/m² ergibt.

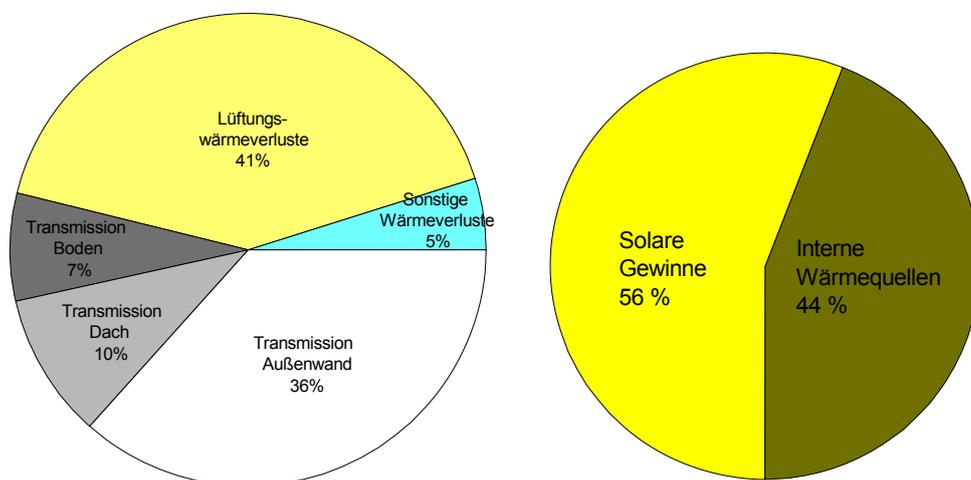


Bild 32: Verteilung der Wärmesenken/Wärmequellen (Heizperiode) am Beispiel des kleinen Typgebäudes.

Bei der Basisvariante des großen Typgebäudes beträgt die Summe der Wärmesenken 99,3 kWh/m². Diese teilen sich auf in 36 % Lüftungswärmeverluste, 54 % Transmissionsverluste über die Außenwand, 3 % Boden, 2 % Dach sowie sonstige Wärmeverluste in Höhe von weiteren 6 %. Von den 75,5 kWh/m² Wärmequellen (63 % solare Gewinne, 37 % interne Wärmequellen) sind 66 % nutzbar, so dass sich ein Nutzenergiebedarf für die Heizung in Höhe von 49,2 kWh/m² errechnet.

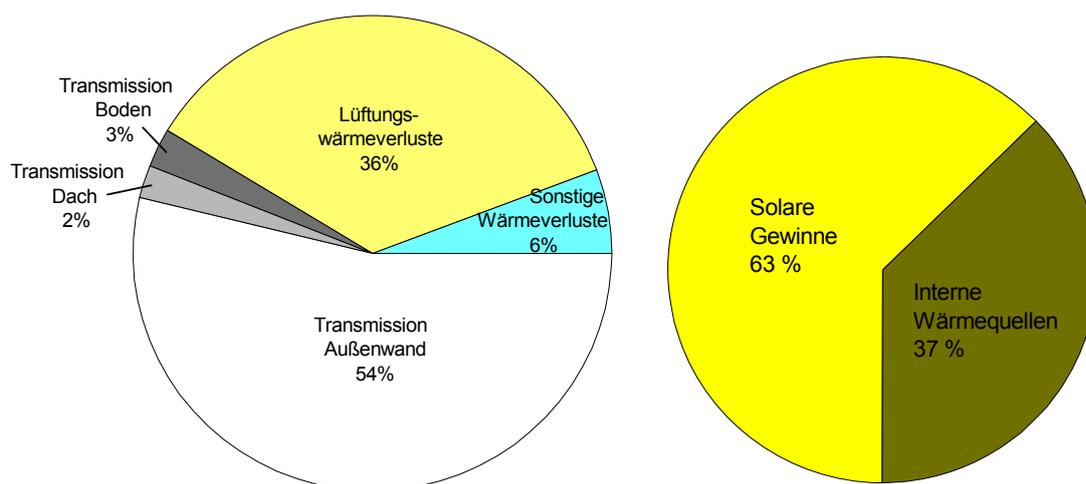


Bild 33: Verteilung der Wärmesenken/Wärmequellen (Heizperiode) am Beispiel des großen Typgebäudes.

5.2 Endenergieanteile am Beispiel des kleinen Typgebäudes

Am Beispiel der Basisvariante des kleinen Typgebäudes wird im Folgenden die Aufteilung der Endenergien, also der berechneten Energiemengen, die der Anlagentechnik zur Versorgung des Gebäudes zur Verfügung gestellt werden müssen, dargestellt. Der Gesamtendenergiebedarf errechnet sich hierbei zu 155,1 kWh/m²a. 71 % davon ist Erdgas, die restlichen 29 % sind elektrischer Strom (Bild 34). Dieser Strombedarf verteilt sich zu 33 % auf die Beleuchtung, 31 % Befeuchtung, 21 % Raumluftechnik, 13 % Kühlung und zu 2 % auf die Heizung (Bild 35). Zur Bewertung der Umweltrelevanz sind die Endenergieanteile je Energieträger mit den jeweiligen Primärenergiefaktoren zu multiplizieren. Diese ergeben sich, auf den nichterneuerbaren Anteil bezogen, gemäß DIN V 18599:2007-02, Teil 1 [4] für Erdgas zu 1,1 und für Strom zu 2,7. Die Primärenergieanteile sind somit für beide Energieträger annähernd gleich hoch zu bewerten. Einsparungen in Bezug auf den Endenergiebedarf Strom führen daher zu einer deutlich höheren Entlastung der Umwelt als vergleichbare Einsparungen des Endenergiebedarfs beim Energieträger Erdgas.

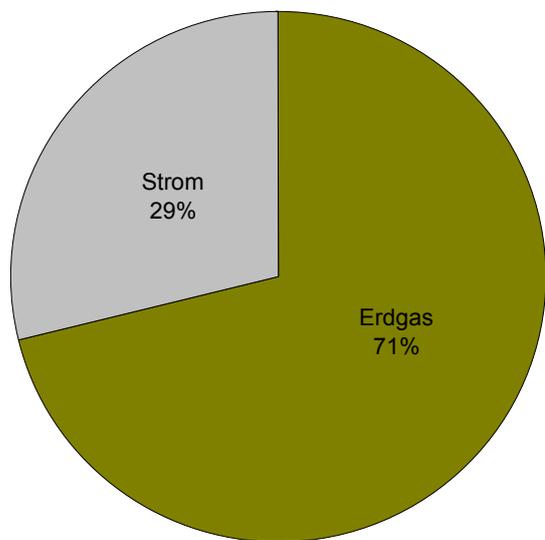


Bild 34: Jahressumme Endenergieanteile Basisvariante Fensterband.

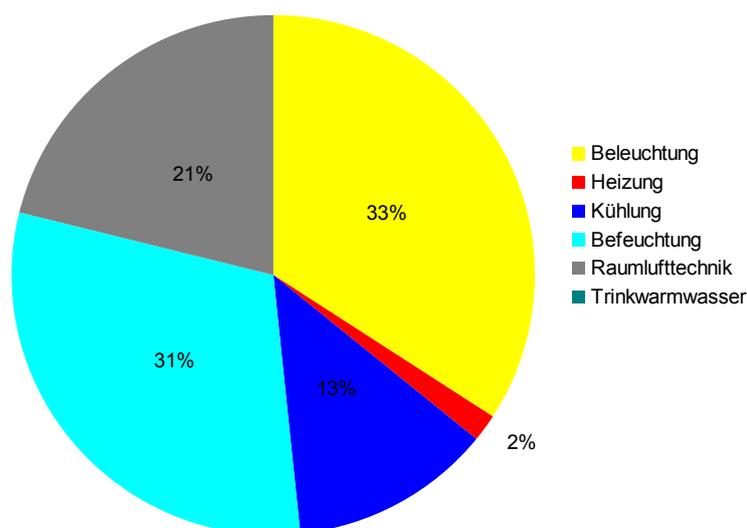


Bild 35: Jahressumme Endenergie nach Energieträger Strom Basisvariante Fensterband.

5.3 Abhängigkeit des Nutz- und Primärenergiebedarfs von der Fassadenvariante am Beispiel des großen Typgebäudes

Am Beispiel des großen Typgebäudes wird im Folgenden der Einfluss unterschiedlicher transparenter Fassadenanteile, Verglasungen sowie unterschiedlicher Sonnenschutzsysteme auf den Energiebedarf für die Heizung, Kühlung und Beleuchtung dargestellt. Die anlagentechnische Ausstattung entspricht hierbei der Referenztechnologie gemäß der definierten Basisvariante. Bei den betrachteten Varianten wird zwischen Lochfassade, Fensterband und Hochverglaster Fassade unterschieden. Die einzelnen Fassadentypen werden mit jeweils 5 verschiedenen Verglasungen und zwei außen bzw. drei innen liegenden Sonnenschutzsystemen kombiniert. Bei den Verglasungen wird zwischen zwei 2-Scheibenwärmeschutzverglasungen, einer 3-Scheibenwärmeschutzverglasung sowie zwei 2-Scheibensonenschutzverglasungen unterschieden. Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Varianten untereinander zu vereinfachen, wurde für alle Verglasungen ein U-Wert für den Rahmen, U_F von $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ ausgewählt. Die U-Werte der Verglasung, U_g schwanken zwischen $0,6$ und $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, die U-Werte des gesamten Fensters bzw. transparenten Fassade, U_{win} liegen zwischen $1,0$ und $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasungen, g_{\perp} schwankt zwischen $0,50$ und $0,72$ bei den Wärmeschutzverglasungen; bei den beiden Sonnenschutzverglasungen liegen die Werte bei $0,25$ bzw. $0,37$. Der Lichttransmissionsgrad τ_{65} liegt zwischen $0,40$ und $0,74$. In Tabelle 24 sind die physikalischen Kenndaten der einzelnen Verglasungen zusammengestellt. Die Lage und Art der verwendeten Sonnenschutzsysteme sind in Tabelle 25 aufgeführt. Deren bauphysikalische Kenndaten wurde aus Tabelle 5 der DIN V 18599:2007-02, Teil 2 [4] entnommen.

Tabelle 24: Physikalische Kenndaten der betrachteten Verglasungen.

Var.	Bezeichnung	U_g [W/m ² K]	U_F [W/m ² K]	U_{win} [W/m ² K]	g_{\perp} [-]	τ_{65} [-]
V1	Mehrscheibenisolierverglasung (MISV 2 fach)	1,7	1,4	1,7	0,72	0,74
V2	Mehrscheibenisolierverglasung (MISV 2 fach)	1,2	1,4	1,4	0,65	0,78
V3	Mehrscheibenisolierverglasung (MISV 3 fach)	0,6	1,4	1,0	0,50	0,69
V4	Sonnenschutzverglasung (SSV 2 fach)	1,2	1,4	1,4	0,37	0,67
V5	Sonnenschutzverglasung (SSV 2 fach)	1,2	1,4	1,4	0,25	0,40

Tabelle 25: Lage und Art der verwendeten Sonnenschutzsysteme.

Lage des Sonnenschutzes	Bezeichnung
Außen liegend	Außenjalousie 45° grau
	Vertikale Markise weiß
Innen liegend	Innen liegende Jalousie 10° weiß
	Innen liegende Jalousie 45° weiß
	Textilrollo grau

Für die einzelnen Kombinationen aus Verglasung und Sonnenschutz errechnen sich gemäß DIN EN 13363-1:2007-09 [5] die in Tabelle 26 zusammengestellten Gesamtenergiedurchlassgrade g_{tot} . Hierbei zeigt sich eine große Bandbreite von 0,03 (3-Scheibenwärmeschutzverglasung in Kombination mit einer außen liegenden Jalousie) bis hin zu 0,51 (2-Scheibenwärmeschutzverglasung und innen liegendem Textilrollo).

Tabelle 26: Gesamtenergiedurchlassgrade Verglasung und Sonnenschutz für die betrachteten Kombinationen.

Verglasung	U_g [W/m ² K]	g_{\perp}	Sonnenschutz	g_{tot} [-]
MISV (2 fach)	1,7	0,72	Außenjalousie 45° grau	0,07
			vertikale Markise weiß	0,18
			innenl. Jalousie 10° weiß	0,35
			innenl. Jalousie 45° weiß	0,41
			Textilrollo grau	0,51
MISV (2 fach)	1,2	0,65	Außenjalousie 45° grau	0,06
			vertikale Markise weiß	0,16
			Innenl. Jalousie 10° weiß	0,35
			Innenl. Jalousie 45° weiß	0,40
			Textilrollo grau	0,48
MISV (3 fach)	0,6	0,50	Außenjalousie 45° grau	0,03
			vertikale Markise weiß	0,12
			Innenl. Jalousie 10° weiß	0,33
			Innenl. Jalousie 45° weiß	0,36
			Textilrollo grau	0,40
SSV (2 fach)	1,2	0,37	Außenjalousie 45° grau	0,05
			vertikale Markise weiß	0,11
			Innenl. Jalousie 10° weiß	0,27
			Innenl. Jalousie 45° weiß	0,29
			Textilrollo grau	0,31
SSV (2 fach)	1,2	0,25	Außenjalousie 45° grau	0,05
			vertikale Markise weiß	0,09
			Innenl. Jalousie 10° weiß	0,20
			Innenl. Jalousie 45° weiß	0,21
			Textilrollo grau	0,22

Bild 36 zeigt zunächst den errechneten Nutzenergiebedarf des großen Typgebäudes für die unterschiedlichen Fassadenausführungen. Die jeweiligen Verglasungen (V1-V5) sind farblich markiert. Der Gesamtenergiedurchlassgrad (Verglasung und Sonnenschutz) g_{tot} ergibt sich aus der Lage und Art des verwendeten Sonnenschutzes, wobei die außen liegenden Systeme jeweils auf der linken und die innen liegenden Systeme auf der rechten Hälfte der jeweiligen Diagramme zu finden sind. Im Vergleich der Varianten zeigt sich aufgrund der höheren U-Werte der transparenten Fassadenanteile im Gegensatz zu den opaken Wandbereichen eine Zunahme des Nutzwärmebedarfs bei steigenden transparenten Fassadenanteilen sowie eine Abnahme des Wärmebedarfs von den außen zu den innen liegenden Sonnenschutzsystemen. Aufgrund der insgesamt höheren solaren Wärmequellen bei den höher verglasten Fassaden ist dieser Effekt hier deutlicher ausgeprägt. Bei allen Fassadenausführungen verursacht die 3-Scheibenwärmeschutzverglasung (grüne Kurve) aufgrund der hohen Dämmwirkung den geringsten Heizbedarf. Bei der hocheffiziente Sonnenschutzverglasung (violette Kurve) ergeben sich aufgrund der geringeren solaren Wärmegevinne ähnlich hohe Wärmebedarfswerte wie bei der einfachen 2-Scheibenwärmeschutzverglasung mit dem höheren U-Wert (blaue Kurve).

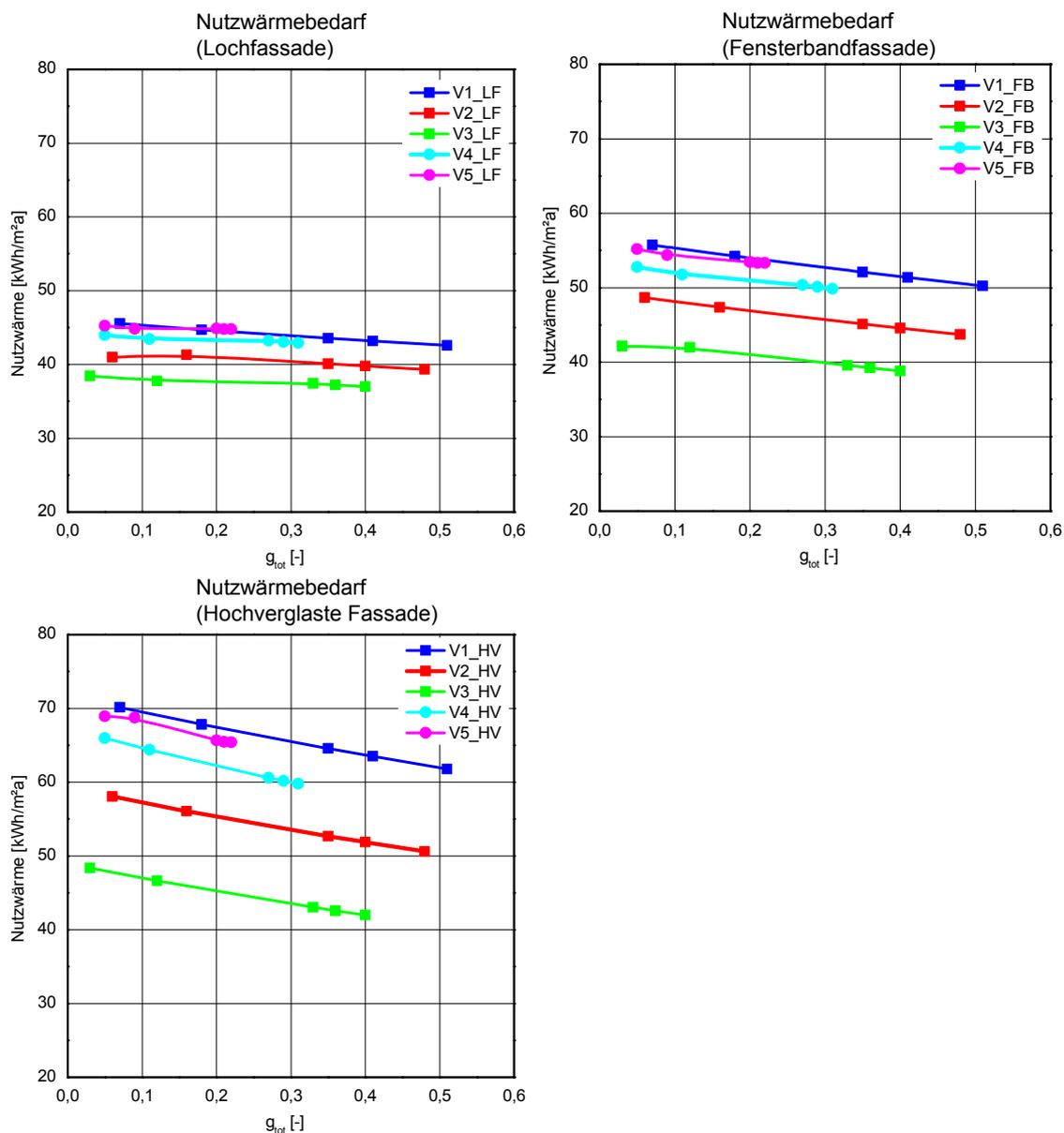


Bild 36: Nutzwärmebedarf Lochfassade (oben links), Fensterbandfassade (oben rechts) und Hochverglaste Fassade (unten) in Abhängigkeit der Fassadenausführung (großes Typgebäude).

Der Nutzkältebedarf ist in Bild 37 dargestellt. Hierbei zeigt sich wieder eine Zunahme des Energiebedarfs mit steigendem transparenten Fassadenanteil. Im Gegensatz zur Heizwärme steigt jedoch der Nutzkältebedarf von den außen zu den innen liegenden Sonnenschutzsystemen. Insgesamt verursachen die 2-Scheibenwärmeschutzverglasungen in Kombination mit innen liegenden Sonnenschutzsystemen den höchsten und die hocheffiziente Sonnenschutzverglasung in Kombination mit der außen liegenden Jalousie den niedrigsten Kühlenergiebedarf.

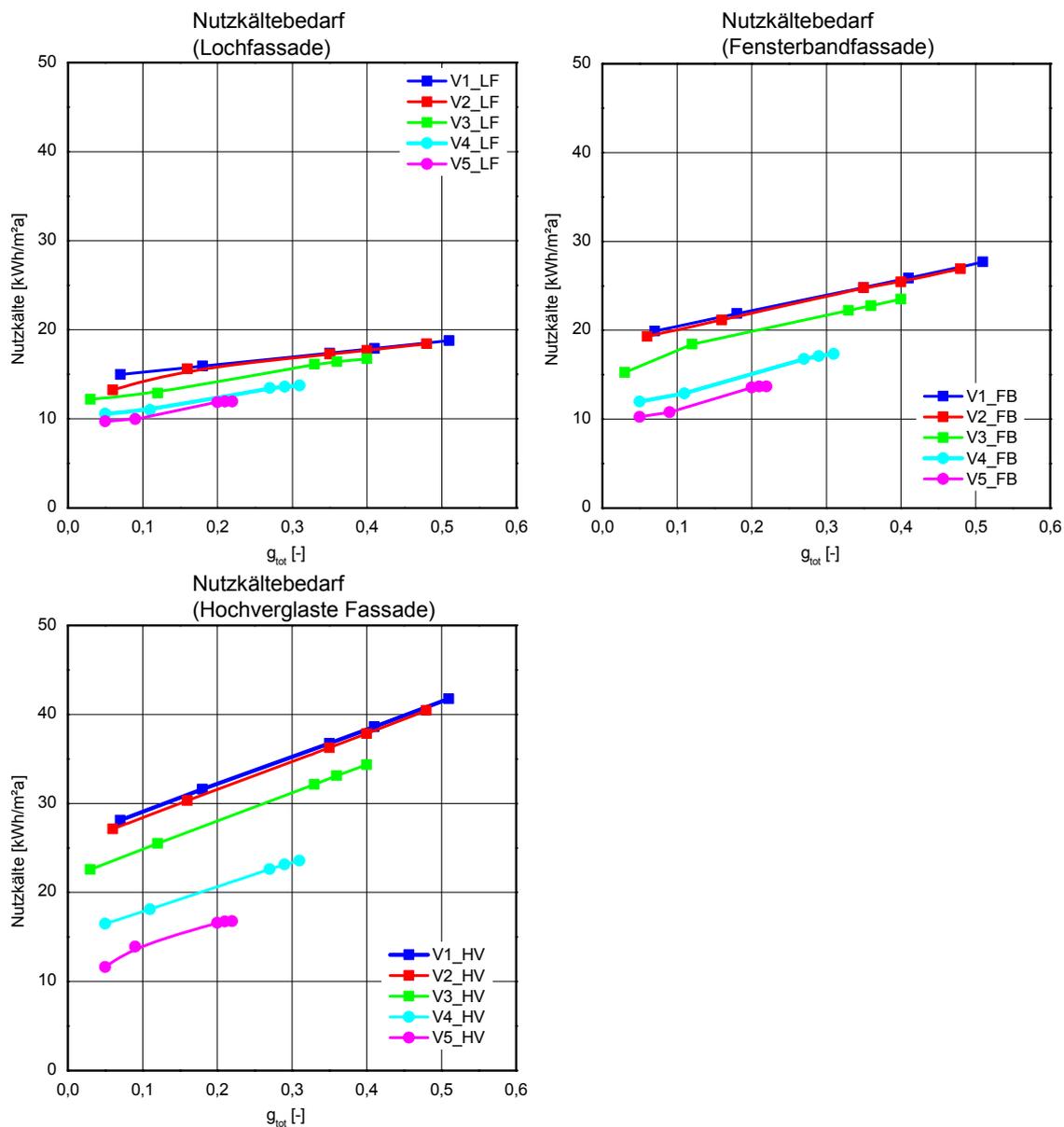


Bild 37: Nutzkältebedarf Lochfassade (oben links), Fensterbandfassade (oben rechts) und Hochverglaste Fassade (unten) in Abhängigkeit der Fassadenausführung (großes Typgebäude).

Der Nutzenergiebedarf für die Beleuchtung hängt bei identischer Leuchtausstattung und Kunstlichtsteuerung von der Größe sowie der Brüstungs- und Sturzhöhe der Fenster- bzw. transparenten Fassadenflächen sowie vom Lichttransmissionsgrad der Verglasung ab. In Bild 38 ist die erwartete Abnahme des Kunstlichtbedarf bei steigenden transparenten Fassadenflächen erkennbar. Die drei Wärmeschutzverglasungen sowie die einfachere Sonnenschutzverglasung (V4) weisen annähernd die gleichen Lichttransmissionsgrade (0,67 bis 0,78) auf. Der Unterschied beim Nutzenergiebedarf ist daher relativ gering. Lediglich die Sonnenschutzverglasung mit dem Lichttransmissionsgrad von 0,4 (Variante V5) führt zu etwas höheren Kunstlichtanteilen.

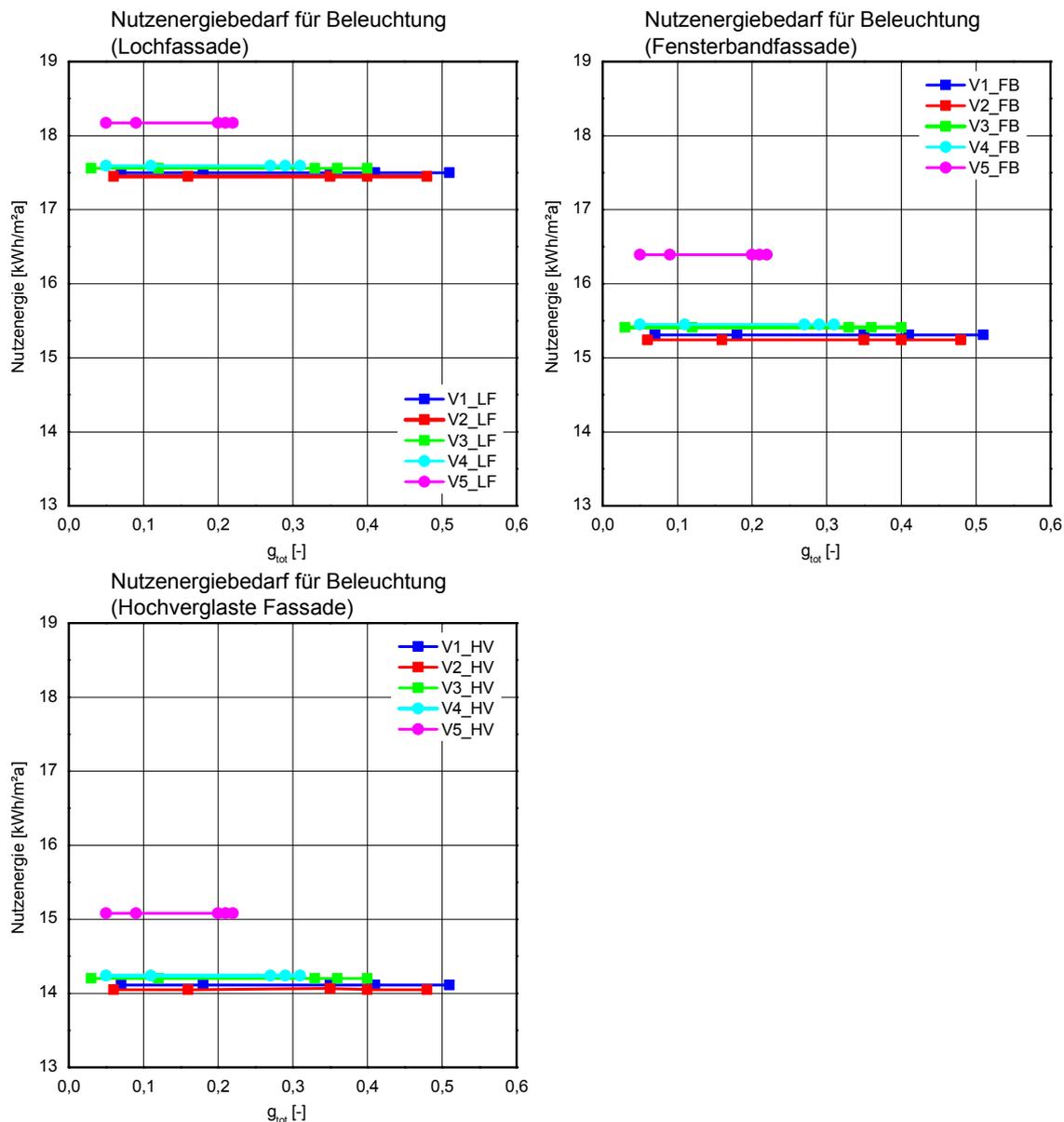


Bild 38: Nutzenergiebedarf Beleuchtung Lochfassade (oben links), Fensterbandfassade (oben rechts) und Hochverglaste Fassade (unten) in Abhängigkeit der Fassadenausführung (großes Typgebäude).

Bewertet man ergänzend zur Nutzenergie die Primärenergie, also die gesamte Erzeugerkette durch die Anlagentechnik sowie die vorgelagerten Prozesse der Energiegewinnung, so ergibt sich im Bereich der Heizung eine Zunahme der Primärenergie im Vergleich zur Nutzenergie. Die Abhängigkeit von der Fassadenvariante sowie von den einzelnen Kombinationen aus Verglasung und Sonnenschutz bleibt analog zur Nutzenergie. Bild 39 zeigt den nicht erneuerbaren Anteil der Primärenergie für die einzelnen Varianten.

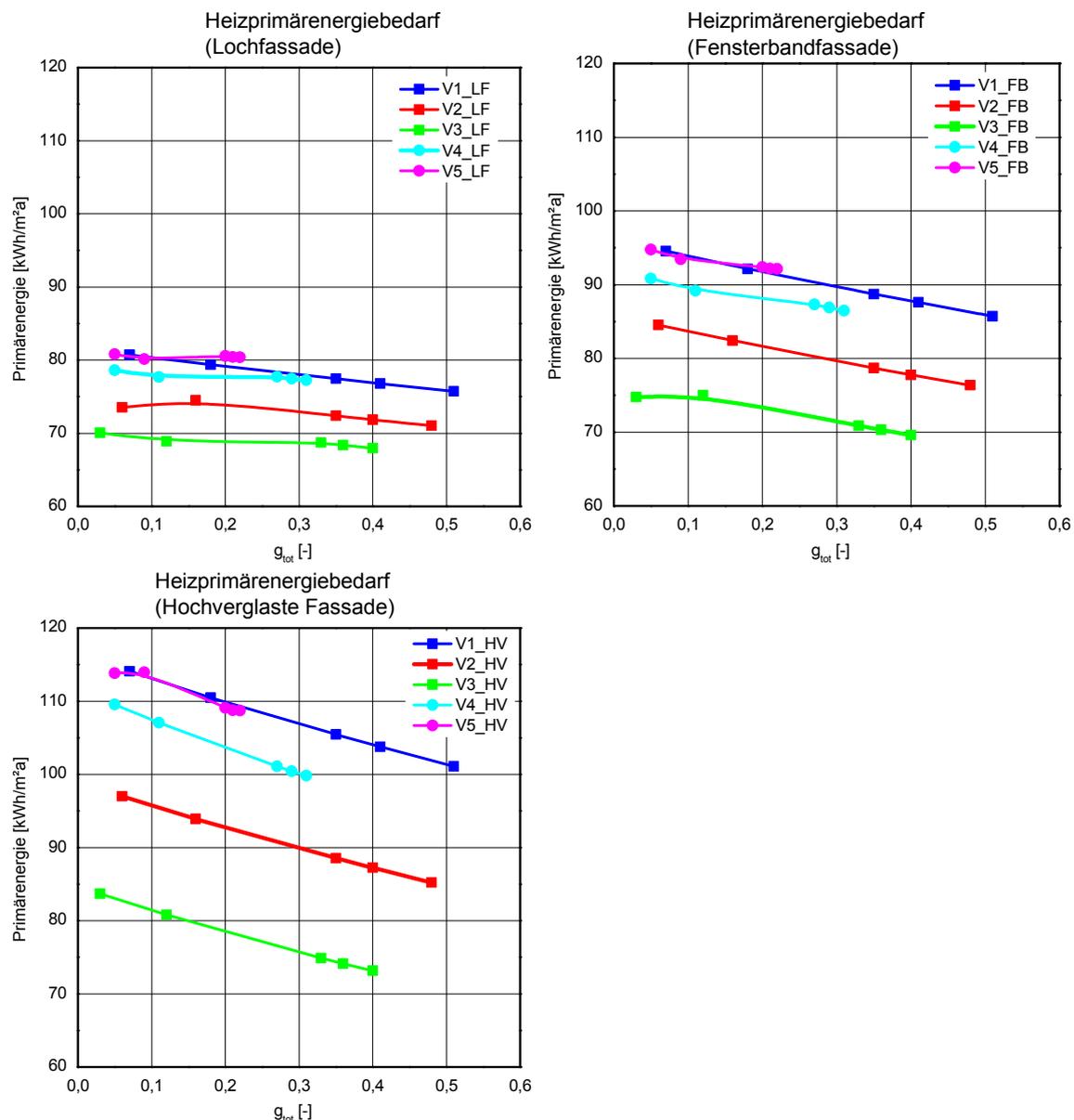


Bild 39: Heizprimärenergiebedarf Lochfassade (oben links), Fensterbandfassade (oben rechts) und Hochverglaste Fassade (unten) in Abhängigkeit der Fassadenausführung (großes Typgebäude).

Der Primärenergiebedarf für die Kühlung liegt in etwa in der gleichen Größenordnung wie der Nutzenergiebedarf (Bild 40). Gemäß Referenztechnologie EnEV07 [9] wird die Kälte mit Hilfe einer elektrisch betriebenen Kompressionskälteanlage erzeugt. Aufgrund dieses Kälteerzeugungsprozesses liegt die Endenergie, also die der Kälteanlage zugeführte elektrische Energie um den Faktor zwei bis drei niedriger als die abgegebene Nutzkälte. Multipliziert mit der Primärenergiefaktor für Strom von 2,7 (nicht erneuerbarer Anteil) errechnet sich im Gesamten ein Verhältnis zwischen Primärenergie und Nutzenergie von etwa eins. Zur Ermittlung der Primärenergie für die Beleuchtung ist der jeweilige Nutzenergiebedarf lediglich mit dem Primärenergiefaktor für Strom zu multiplizieren.

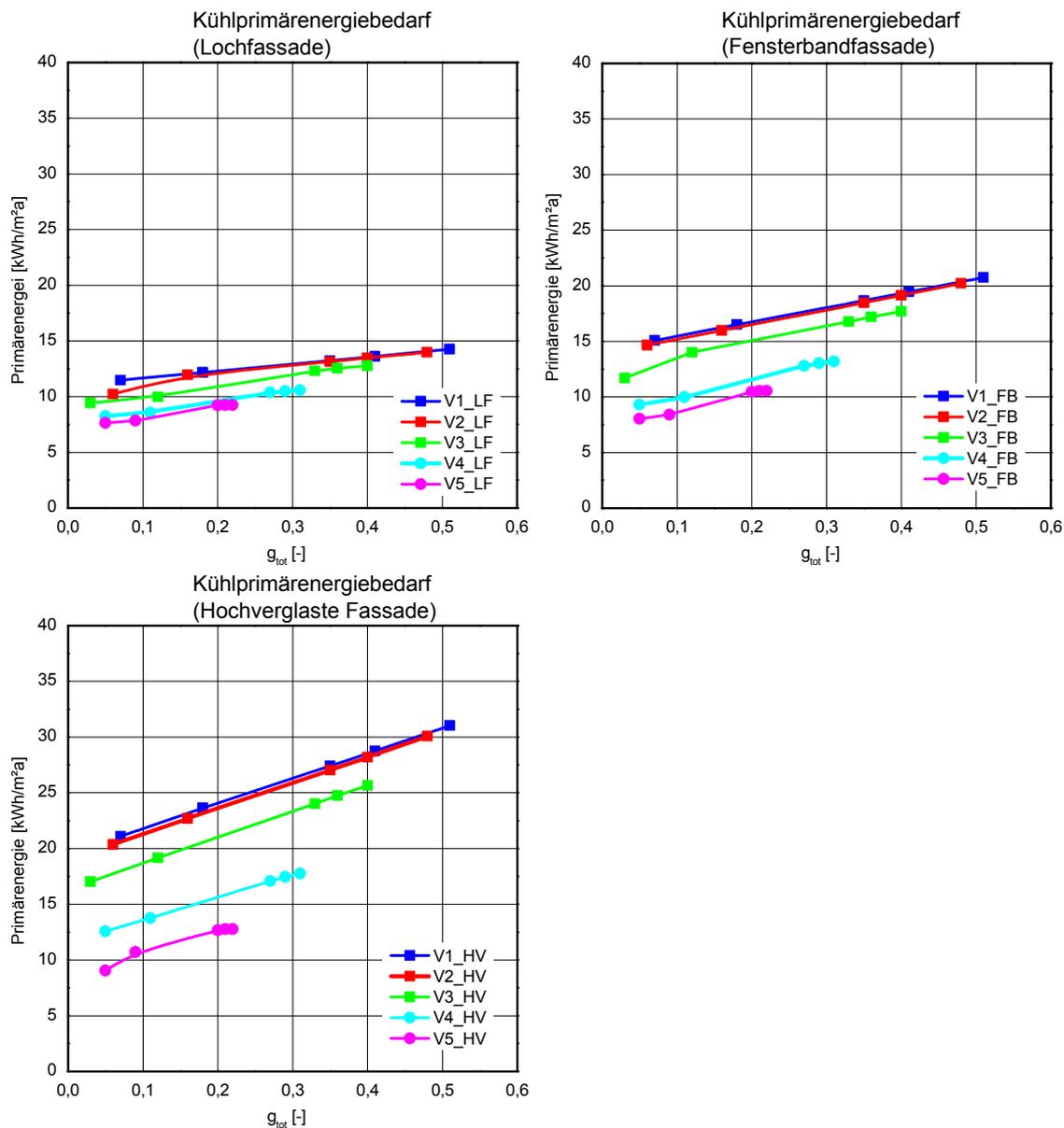


Bild 40: Kühlprimärenergiebedarf Lochfassade (oben links), Fensterbandfassade (oben rechts) und Hochverglaste Fassade (unten) in Abhängigkeit der Fassadenausführung (großes Typgebäude).

Die Primärenergieanteile für die elektrische Befeuchtung (35,1 kWh/m²a), Raumluftechnik (23,2 kWh/m²a) sowie für die Trinkwarmwasserbereitung (12,3 kWh/m²a) sind unabhängig von der gewählten Fassadentechnologie und werden daher bei der Betrachtung des Gesamtprimärenergiebedarfs als konstanter Anteil zu den Primärenergieanteilen für die Heizung, Kühlung und Beleuchtung addiert. Betrachtet man den kumulierten Primärenergiebedarf (Bild 41), so zeigt sich, dass dieser nahezu unabhängig von der Position und Art des Sonnenschutzes ist. Unter Zugrundelegung der hier betrachteten Referenzanlagentechnologie wird die Reduzierung der Heizenergie bei den Varianten mit innen liegenden Sonnenschutzsystemen durch die Erhöhung der Kühlenergie im Sommer nahezu kompensiert. Insgesamt zeigt sich eine Zunahme des Primärenergiebedarfs von der Lochfassade zur Hochverglasten Fassade um ca. 10 Prozent. Die 3-Scheibenwärmeschutzverglasung führt bei allen drei Fassadentypen zum geringsten und die einfache 2-Scheibenwärmeschutzverglasung zum höchsten Primärenergiebedarf. Aufgrund der stärkeren primärenergetischen Gewichtung der Heizenergie führt die Verwendung der Sonnenschutzverglasung mit dem Gesamtenergiedurchlassgrad von 0,25 aufgrund der geringeren solaren Wärmequellen während der Heizperiode zum zweithöchsten Gesamtbedarf.

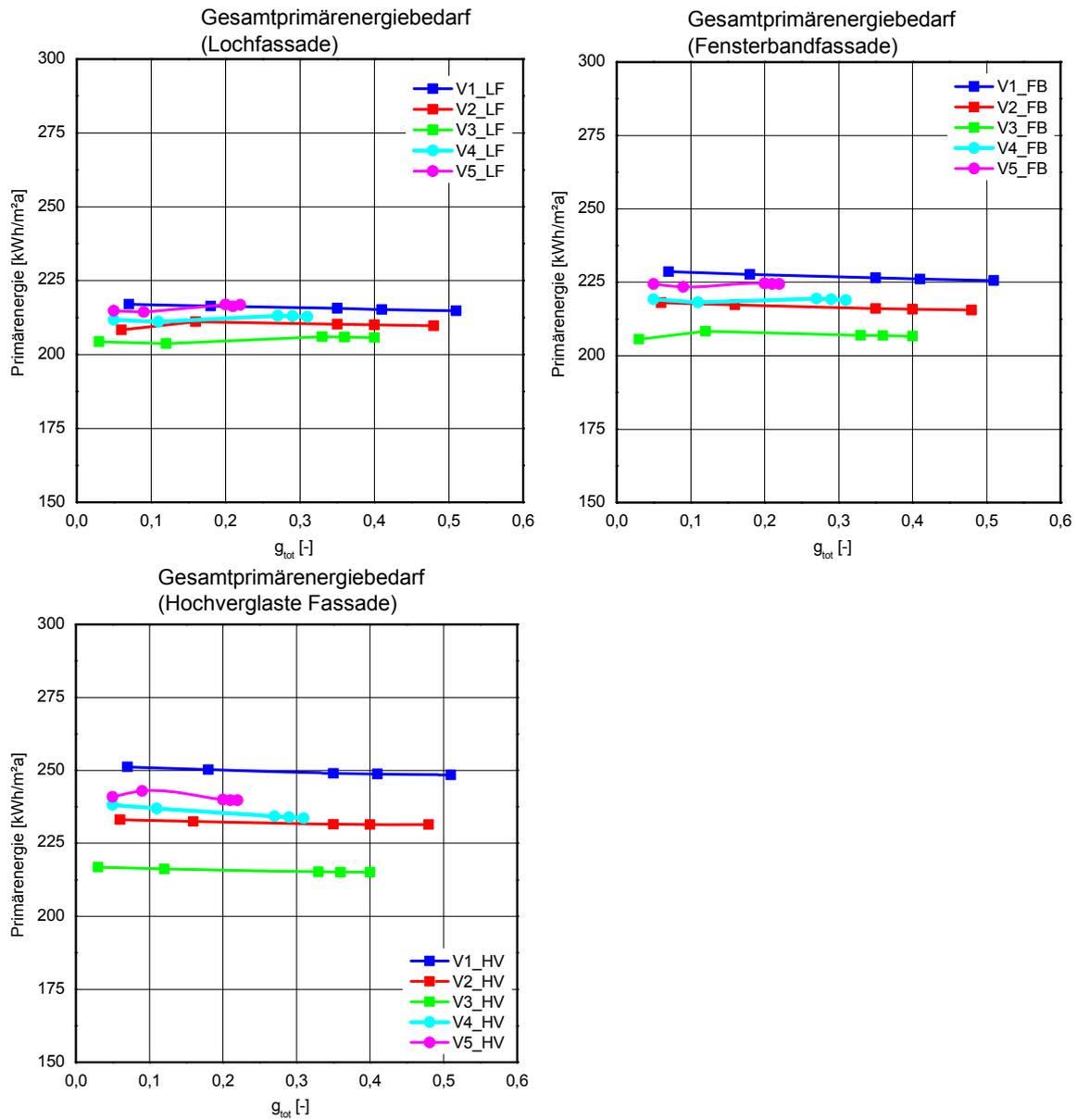


Bild 41: Gesamtprimärenergiebedarf Lochfassade (oben links), Fensterbandfassade (oben rechts) und Hochverglaste Fassade (unten) in Abhängigkeit der Fassadenausführung (großes Typgebäude).

5.4 Energiebedarf unterschiedlicher Gebäude-/Anlagenvarianten am Beispiel des kleinen Typgebäudes

Im Folgenden wird der Einfluss unterschiedlicher Gebäude- und Anlagenvarianten auf den Energiebedarf des kleinen Typgebäudes näher analysiert. Hierbei werden Maßnahmen an der Gebäudehülle, der Anlagentechnik sowie der Beleuchtung und der Sonnenschutzsteuerung bewertet. Als Grundlage für die Berechnungen dient, falls nicht anders vermerkt, eine Fensterbandfassade sowie die anlagentechnische Referenzausstattung der Basisvariante. Bild 42 zeigt eine Zusammenstellung der einzelnen Varianten.

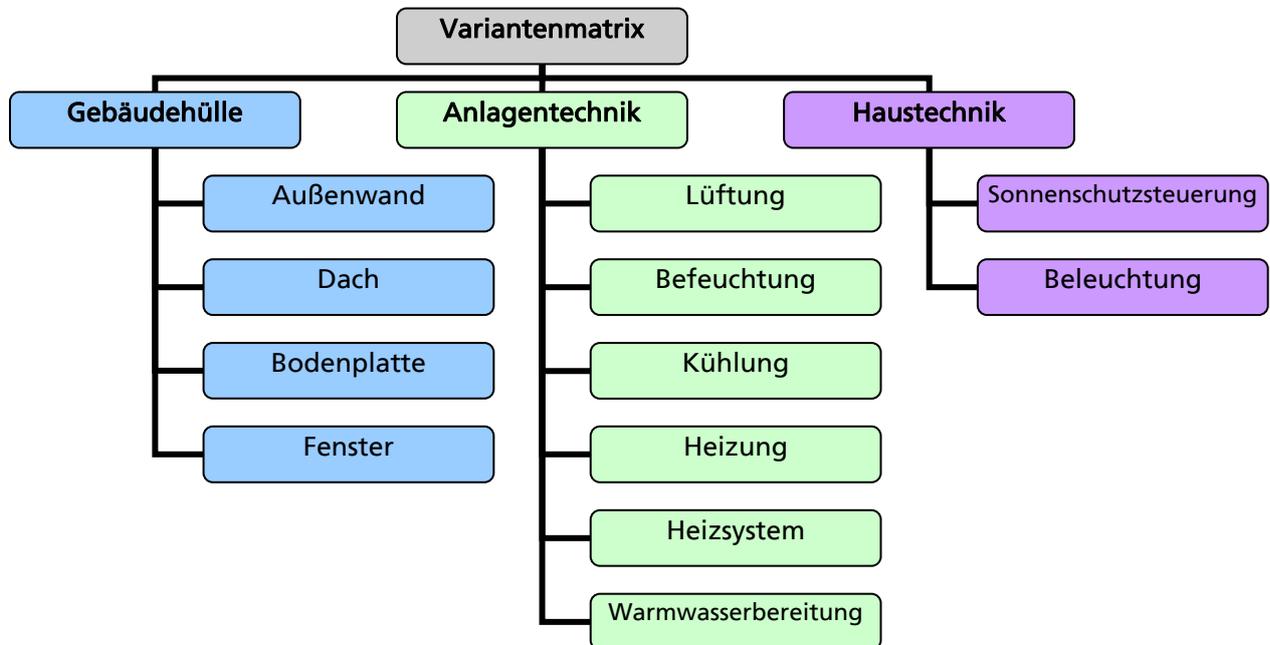


Bild 42: Zusammenstellung Variantenmatrix bestehend aus Maßnahmen an der Gebäudehülle, der Anlagentechnik sowie der haustechnischen Anlagen.

5.4.1 Gebäudehülle

Um den Einfluss unterschiedlicher Dämmstandards der Gebäudehülle auf den Gesamtprimärenergiebedarf darzustellen, werden im Folgenden 4 Szenarien bewertet. Bei der Variante „EnEV-Grenzwert“ werden die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der Außenbauteile entsprechend angepasst, so dass der Höchstwert des Jahres-Primärenergiebedarfs für zu errichtende Nichtwohngebäude nach EnEV07 [9] erreicht wird. Beim Fall „Hülle EnEV-Anforderung“ werden die U-Werte der Hüllflächen den Höchstwerten nach EnEV07 [9] bei erstmaligem Einbau, Ersatz oder Erneuerung von Bauteilen (EnEV07 Anlage 3) angepasst. Die „Basisvariante“ entspricht dem bisher betrachteten Grundfall und bei der Variante „Hülle verbessert“ werden die U-Werte auf Passivhaus-Niveau verbessert. In Tabelle 27 sind diese einzelnen Szenarien nochmals übersichtlich zusammengestellt. Tabelle 28 zeigt die U-Werte der Außenbauteile sowie den spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlust H_T' . Tabelle 29 gibt die erforderlichen Dämmstoffdicken für die Außenwände, das Dach und die Bodenplatte an, um die gewünschten U-Werte der einzelnen Szenarien einzuhalten. Als Berechnungsbasis dient hierbei ein Dämmstoff der Wärmeleitfähigkeitsgruppe WLG 040.

Tabelle 27: Zusammenstellung der vier unterschiedlichen Anforderungsniveaus der Gebäudehülle.

EnEV-Grenzwert	Höchstwert des Jahres-Primärenergiebedarfs für zu errichtende Nichtwohngebäude nach EnEV 07. Wärmedurchgangskoeffizienten entsprechend angepasst
Hülle EnEV- Anforderung	Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen nach EnEV 07 Anlage 3
Basisvariante	Wärmedurchgangskoeffizienten entsprechend Basisvariante
Hülle verbessert	Wärmedurchgangskoeffizienten auf Passivhaus-Niveau

Tabelle 28: U-Werte der einzelnen Bauteile sowie der auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust H'_T .

	U-Werte [W/m²K]			
	EnEV-Grenzwert	Hülle EnEV Anforderung	Basisvariante	Hülle verbessert
Außenwand	0,53	0,45	0,29	0,15
Dach	0,44	0,25	0,18	0,15
Bodenplatte	0,87	0,50	0,32	0,15
Fenster	1,90	1,70	1,40	0,90
H'_T Hülle	0,63	0,51	0,39	0,27

Tabelle 29: Erforderliche Dämmstoffdicken (WLG 040) zum Erreichen der geforderten U-Werte für die Bauteile Außenwand, Dach und Bodenplatte.

	Dämmstoffdicken [cm] WLG 040			
	EnEV-Grenzwert	Hülle EnEV Anforderung	Basisvariante	Hülle verbessert
Außenwand	7	8	14	25
Dach	7	14	20	25
Bodenplatte	3	7	12	25

Bild 41 zeigt den Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes am Beispiel der Fensterbandfassade für die 4 unterschiedlichen Anforderungsniveaus an die Gebäudehülle. Den höchsten Energiebedarf mit 278,8 kWh/m²a weist die Variante „EnEV-Grenzwert“ auf. Die grüne Linie über den gestapelten Säulengrafiken gibt den jeweils maximal zulässigen Primärenergiebedarf gemäß EnEV07 [9] an. Bei der Variante „EnEV-Grenzwert“ wird dieses Maximum genau erreicht. Bei der Variante „Hülle EnEV Anforderung“ wird der maximal zulässige Primärenergiebedarf mit 254,4 kWh/m²a um 9 % unterschritten. Die „Basisvariante“ liegt mit 231,3 kWh/m²a um 17 % und die Variante „Hülle verbessert“ um 25 % (209,7 kWh/m²a) unterhalb des maximal zulässigen Grenzwertes. Als Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} wurde für diese 4 Varianten jeweils ein Wert von 0,05 W/m²K angenommen. Würde man die Wärmebrücken so weit optimieren, dass ein Wärmebrückenzuschlag von annähernd 0 erreicht würde, reduziert sich der Primärenergiebedarf je Variante um weitere 6,6 kWh/m²a.

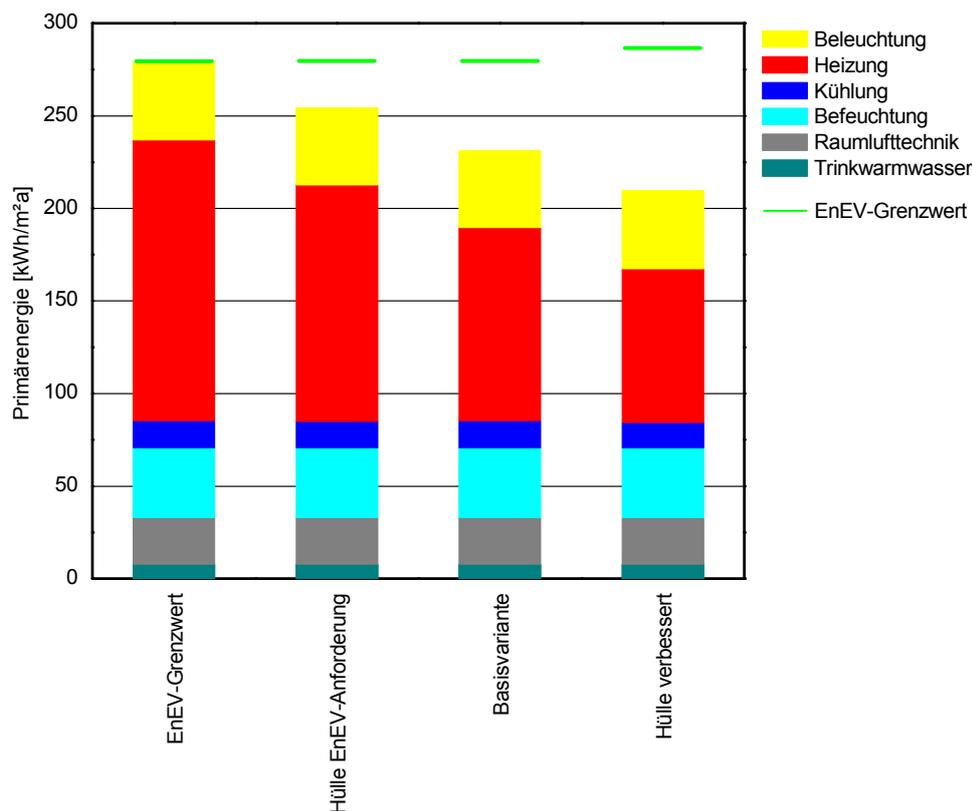


Bild 43: Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes am Beispiel der Fensterbandfassade für 4 unterschiedliche Anforderungsniveaus an die Gebäudehülle.

Bei der nächsten Betrachtung werden lediglich die Verglasungen variiert. Die restlichen Bauteile der Hüllflächen entsprechen der Basisvariante des kleinen Typgebäudes. Insgesamt werden 5 unterschiedliche Verglasungen, jeweils in Kombination mit einer außen liegenden Jalousie bewertet. Neben einer verbesserten 2-Scheiben- und 3-Scheibenwärmeschutzverglasung werden drei unterschiedliche Sonnenschutzverglasungen, eine 2-Scheibensonnenschutzverglasung, eine 3-Scheibensonnenschutzverglasung mit einem g-Wert von 0,37 sowie eine weitere 3-Scheibensonnenschutzverglasung mit einem g-Wert von 0,25 energetisch bewertet. Die Kenndaten der einzelnen Verglasungsvarianten sind in Tabelle 30 zusammengestellt.

Tabelle 30: Kenndaten der Verglasungsvarianten.

Verglasung	U_g [W/m²K]	U_{win} [W/m²K]	g_{\perp} [-]
2-Scheiben-WSV	1,2	1,4	0,65
3-Scheiben-WSV	0,6	0,9	0,50
2-Scheiben-SSV	1,2	1,4	0,25
3-Scheiben-SSV037	0,7	0,95	0,37
3-Scheiben-SSV025	0,6	0,9	0,25

In Bild 44 ist der Einfluss der geänderten Verglasung auf die einzelnen Primärenergieanteile im Vergleich zur Basisvariante, 2-Scheibenwärmeschutzverglasung, am Beispiel der Fensterbandfassade dargestellt. Ein Austausch der Standardverglasung in eine 3-Scheibenwärmeschutzverglasung (Bild 44 oben links) führt zu einer Verringerung des Heizprimärenergiebedarfs in Höhe von etwa

9 kWh/m²a. Der Kühlenergiebedarf verringert sich aufgrund des im Vergleich zur 2-Scheibenwärmeschutzverglasung geringeren g-Wertes ebenfalls geringfügig und der Energiebedarf für die Beleuchtung steigt etwas an. In Summe reduziert sich der Gesamtprimärenergiebedarf bei dieser Variante von 231,3 kWh/m²a (Basisvariante) um 10 kWh/m²a. Die nächste Grafik (Bild 44 oben rechts) zeigt den Einfluss der 2-Scheibensonenschutzverglasung. Durch den geringeren g-Wert von 0,25 kommt es zu einer Zunahme des Heizbedarfes in Höhe von ca. 10 kWh/m²a und einer Zunahme des Kunstlichtbedarfes um weitere 3 kWh/m²a. Dagegen sinkt der Kühlbedarf um etwa 8 kWh/m²a. Im Vergleich zur Basisvariante führt diese Maßnahme zu einer Zunahme des Primärenergiebedarfs um 6,6 kWh/m²a.

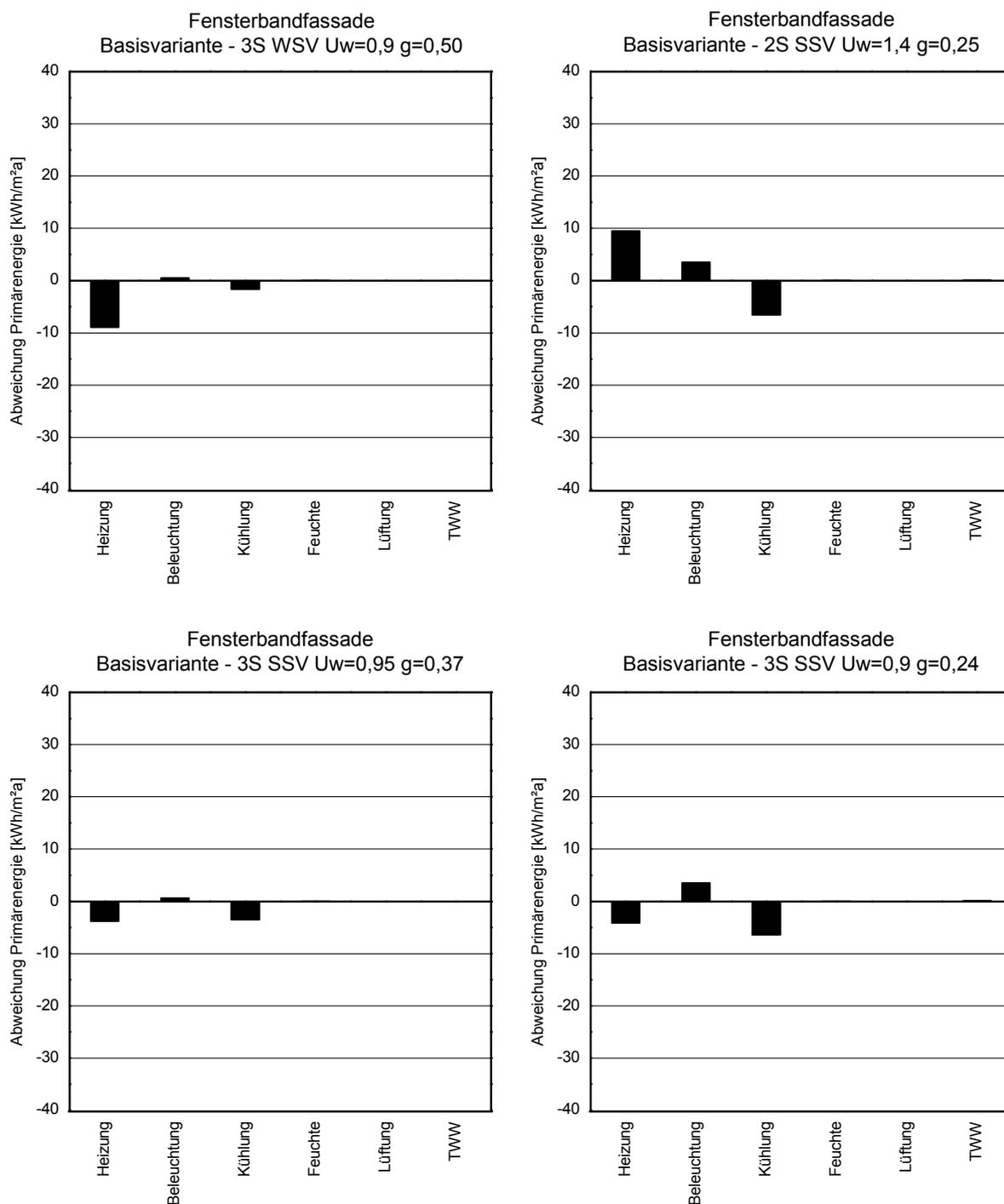


Bild 44: Änderung des Primärenergiebedarfs durch unterschiedliche Verglasungen im Vergleich zur Basisvariante am Beispiel der Fensterbandfassade.

Ein Austausch der Basisverglasung durch eine 3-Scheibensonnenschutzverglasung mit einem g-Wert von 0,37 sowie einem verbesserten U-Wert führt zu einer Reduzierung des Heiz- und Kühlprimärenergiebedarfs um jeweils ca. 3 kWh/m²a sowie zu einer geringfügigen Zunahme des Kunstlichtbedarfs (Bild 44 unten links). Insgesamt reduziert sich der Gesamtprimärenergiebedarf im Vergleich zur Basisvariante um 6,6 kWh/m²a. Bei der letzten Variante, einer 3-Scheibensonnenschutzverglasung mit einem g-Wert von 0,25 (Bild 44 unten rechts), reduziert sich der Heiz- und Kühlenergiebedarf um 4 bzw. 7 kWh/m²a. Der Kunstlichtbedarf erhöht sich um 3 kWh/m²a. Hieraus ergibt sich in Summe bei dieser Variante eine Einsparung von 6,9 kWh/m²a Primärenergie in Bezug auf die Basisvariante.

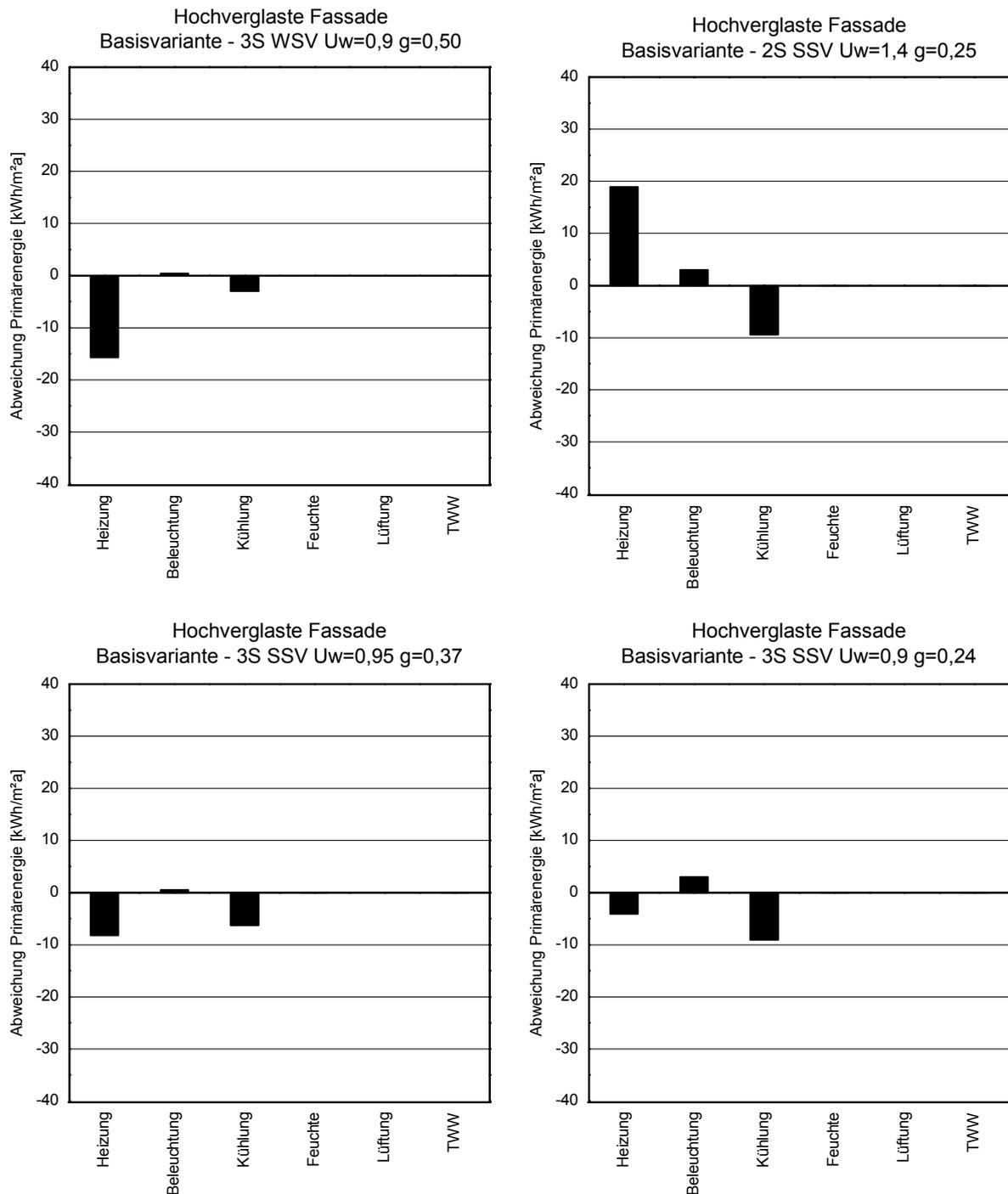


Bild 45: Änderung des Primärenergiebedarfs durch unterschiedliche Verglasungen im Vergleich zur Basisvariante am Beispiel der Hochverglasten Fassade.

Ein ähnliches Verhalten zeigt sich am Beispiel der Hochverglasten Fassade (Bild 45). Der Einfluss der einzelnen Maßnahmen ist hierbei jedoch aufgrund der größeren transparenten Fassadenanteile ausgeprägter erkennbar. Insgesamt ergibt sich bei einem Austausch der Basisverglasung (2-Scheibenwärmeschutzverglasung) in eine 3-Scheibenwärmeschutzverglasung eine Reduzierung des Gesamtprimärenergiebedarfs von 243,4 kWh/m²a (Basisvariante Hochverglast) um 18,3 kWh/m²a. Ein Austausch der Verglasung in eine 2-Scheibensonnenschutzverglasung erhöht den Energiebedarf um 12,5 kWh/m²a. Bei Verwendung der 3-Scheibensonnenschutzverglasung SSV037 reduziert sich der Bedarf um 13,9 kWh/m²a und bei der 3-Scheibenverglasung SSV025 um 10,2 kWh/m²a. In Tabelle 31 sind die einzelnen Gesamtprimärenergiebedarfswerte nochmals übersichtlich zusammengestellt.

Bei der Betrachtung dieser unterschiedlichen Verglasungsvarianten zeigt sich sehr deutlich, dass es zur Beurteilung der gesamten energetischen Einsparpotentiale zwingend nötig ist, den Einfluss der Maßnahmen auf alle Energieanteile zu berücksichtigen. Eine einseitige Betrachtung z.B. nur in Hinblick auf eine Reduzierung des Kühlenergiebedarfs bei Verwendung von Sonnenschutzverglasungen würde die gleichzeitige Zunahme des Heiz- und Kunstlichtbedarfs unberücksichtigt lassen.

Tabelle 31: Gesamtprimärenergiebedarfswerte des kleinen Typgebäudes bei unterschiedlichen Verglasungen für die Fassadenvariante Fensterband und Hochverglaste Fassade.

Verglasung	Gesamtprimärenergiebedarf [kWh/m ² a]	
	Fensterbandfassade	Hochverglaste Fassade
2-Scheiben-WSV	231,3	243,4
3-Scheiben-WSV	221,3	225,1
2-Scheiben-SSV	237,9	255,9
3-Scheiben-SSV037	224,7	229,5
3-Scheiben-SSV025	224,4	233,2

5.4.2 Anlagentechnik

Bei der Konzeption und Planung eines Gebäudes ist zunächst die energetische Optimierung der Hüllflächen sowie die Festlegung der Fassadentechnologie in den Vordergrund zu stellen. Darauf abgestimmt ist danach in Abhängigkeit der Nutzungsanforderungen ein geeignetes Anlagenkonzept auszuwählen. Im folgenden Kapitel wird, aufbauend am Beispiel der Basisvariante Fensterbandfassade des kleinen Typgebäudes, der Einfluss unterschiedlicher Anlagentechniken auf den Gesamtprimärenergiebedarf eines Gebäudes dargestellt. Die für die einzelnen Systeme festzulegenden Randparameter wurden gemäß DIN V 18599:2007-02 [4] ausgewählt. Mit Ausnahme der jeweils variierten Versorgungssysteme entspricht die restliche Anlagentechnik der Ausstattung der Basisvariante (Referenztechnologie EnEV07 [9]).

5.4.2.1 Lüftungstechnik

Für die folgende energetische Bewertung unterschiedlicher Lüftungstechniken werden jeweils eine zentrale Lüftungsanlage mit konstantem Luftvolumenstrom ohne mechanischer Befeuchtung ausgewählt. Die Luftwechselraten entsprechen den Vorgaben an die jeweiligen Nutzungsprofile gemäß DIN V 18599:2007-02 [4]. Hierbei werden Lüftungsanlagen ohne Wärmerückgewinnung, mit 45 % (Basisvariante), 60 % und 80 % Wärmerückgewinnung bewertet sowie eine Variante, bei der zusätzlich die Gebäudedichtheit auf Passivhausniveau ($n_{50}=0,6 \text{ h}^{-1}$) erhöht wird. Die Wärmerückgewinnung dient zur Reduzierung des Energieverbrauchs für die Außenluftherwärmung. Hierbei wird der Energieinhalt der Abluft für die Erwärmung der Zuluft eingesetzt. Der Wirkungsgrad (Rückwärmzahl) der Wärmerückgewinnung gibt den Anteil der wieder verwertbaren Energiemenge an. Hierbei

wird zwischen rekuperativer und regenerativer Wärmerückgewinnung unterschieden. Bei der rekuperativen Wärmerückgewinnung werden die beiden Luftströme in getrennten Kammern aneinander vorbei geführt. Der Energieaustausch findet über die trennenden Flächen statt. Eine Vermischung der Zuluft mit der Abluft ist damit konstruktiv ausgeschlossen. Typische Systemlösungen sind hierbei der Platten-Wärmetauscher (Kreuzstrom, Gegenstrom), der Wärmerohr-Wärmetauscher oder ein Kreislaufverbundsystem (KVS). Im Gegensatz hierzu wird bei der regenerativen über ein Speichermedium (im Allgemeinen ein rotierendes Wärmetauscherrad) die Energie der warmen Abluft gespeichert und dann an die kalte Außenluft wieder abgegeben. Im Vergleich zur rekuperativen Wärmerückgewinnung findet hierbei auch ein Feuchtigkeitsaustausch statt. In der Regel werden regenerative Wärmetauscher als Rotationswärmetauscher ausgeführt [14].

In Tabelle 32 sind die im Folgenden energetisch bewerteten Lüftungsvarianten zusammengestellt.

Tabelle 32: Energetisch bewertete Lüftungsszenarien.

Variantenbezeichnung	Maßnahme
mit RLT WRG 0	Ohne Wärmerückgewinnung
mit RLT WRG 45 (Basisvariante)	Wärmerückgewinnung 45 %
mit RLT WRG 60	Wärmerückgewinnung 60 %
mit RLT WRG 80	Wärmerückgewinnung 80 %
RLT WRG 80 + $n_{50}=0,6$	WRG 80%, erhöhte Gebäudedichtheit $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$

Bild 46 zeigt die einzelnen Primärenergieanteile für Beleuchtung, Heizung, Kühlung, Raumluftechnik (Luftförderung) sowie für das Trinkwarmwasser am Beispiel des kleinen Typgebäudes für die 5 unterschiedlichen Lüftungssysteme. Im Vergleich zur Basisvariante (45 % WRG) führt ein Wegfall der Wärmerückgewinnung zu einem primärenergetischen Mehrverbrauch von 29,4 kWh/m²a. Dies entspricht einer Zunahme um 15 %. Eine Erhöhung der Wärmerückgewinnung auf 60 % reduziert hingegen in Bezug auf die Basisvariante den Primärenergiebedarf um 9,3 kWh/m²a (5 %) und bei einem Wärmerückgewinnungsgrad von 80 % um 16,1 kWh/m²a (8 %). Wird zugleich die Gebäudedichtheit erhöht, reduzieren sich die Infiltrationswärmeverluste so dass sich in diesem Fall in Bezug auf die Basisvariante eine Reduzierung um 22,3 kWh/m²a ergibt. Hierbei bezieht sich die Änderung des Primärenergiebedarfs im Wesentlichen auf den Anteil der Heizenergie. Der Primärenergieanteil für die Raumluftechnik (grauer Balken) bleibt annähernd unverändert. Die jeweiligen Primärenergieeinsparpotentiale durch die unterschiedlichen mechanischen Lüftungssysteme sind in Tabelle 33 nochmals übersichtlich zusammengestellt.

Tabelle 33: Primärenergieeinsparpotentiale durch unterschiedliche mechanische Lüftungssysteme.

Maßnahme	Primärenergie [kWh/m ² a]	Einsparung [%]	Einsparung [kWh/m ² a]
mit RLT WRG 0 %	222,6	- 15	- 29,4
mit RLT WRG 45 %	193,2	Bezugsvariante	
mit RLT WRG 60 %	183,9	5	9,3
mit RLT WRG 80 %	177,1	8	16,1
mit RLT WRG 80 % + verbesserte Gebäudedichtheit	171,0	12	22,3

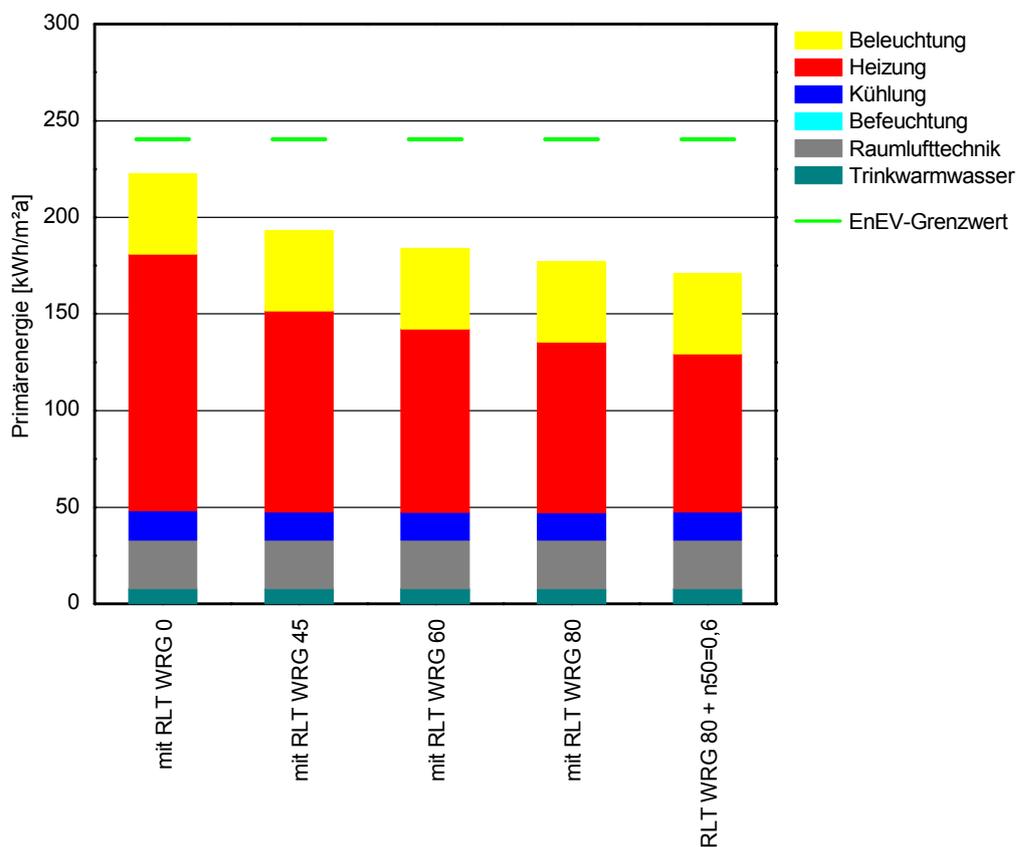


Bild 46: Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes (Fensterbandfassade) bei unterschiedlichen mechanischen Lüftungssystemen.

5.4.2.2 Befeuchtung

Zur Vermeidung von trockener Raumluft insbesondere bei hohen Außenluftwechselraten während der Heizperiode kann es notwendig sein, die raumseitige Zuluft zusätzlich zu befeuchten. Hierbei ist zwischen der Art der Luftbefeuchtung zu unterscheiden sowie festzulegen, inwieweit eine Stoff- und Feuchteübertragung möglich ist. Bei den folgenden energetischen Analysen wird zwischen einem Elektrodendampfbefeuchter und einem gasbefeuchten Dampfbefeuchter unterschieden. Im Basisfall findet keine Stoff- und Feuchteübertragung statt. Darüber hinaus werden auch Fälle mit Stoff- und Feuchteübertragung z.B. über einen Rotationswärmetauscher (vgl. Kapitel 5.4.2.1) bewertet. Die Anforderungen an die Raumlufffeuchte werden gemäß DIN V 18599:2007-02 [4] definiert. Hierbei wird für Aufenthaltsräume ein Toleranzbereich nach DIN EN 13779 [19] festgelegt. Die absolute Feuchte der Luft sollte demnach im Winter 6 g/kg nicht unterschreiten und im Sommer 12 g/kg nicht überschreiten. Dies entspricht einer relativen Luftfeuchtigkeit im Winter von 40 % (22°C Raumluft) bzw. von 60 % während der Sommermonate (26°C). In Tabelle 34 sind die einzelnen Befeuchtungsvarianten zusammengestellt.

Tabelle 34: Zusammenstellung der energetisch bewerteten Befeuchtungsvarianten.

Variantenbezeichnung	Maßnahme
Basisvariante	Befeuchtung elektrisch, ohne Stoff- und Feuchteübertragung
Stoff u. Feuchteübertr.	Befeuchtung elektrisch, mit Stoff- und Feuchteübertragung
S. u. F. + gasbefeuert	Befeuchtung gasbefeuert, mit Stoff- und Feuchteübertragung
ohne Befeuchtung	ohne Befeuchtung

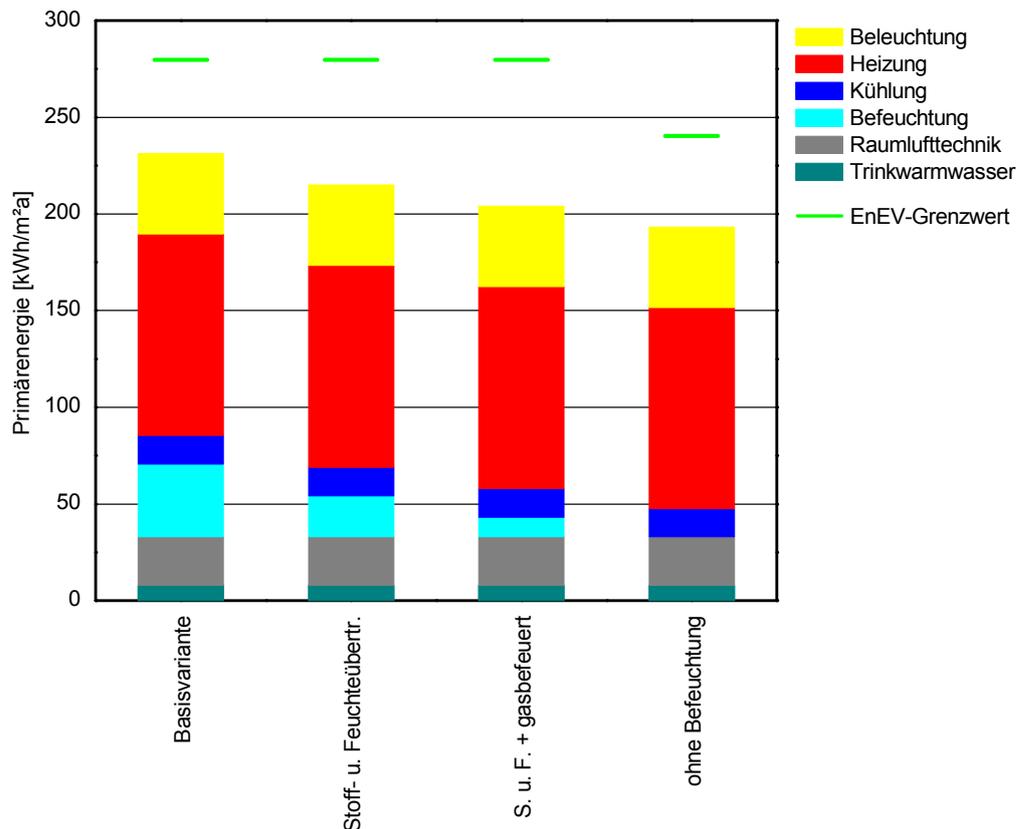


Bild 47: Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes (Fensterbandfassade) bei unterschiedlichen Befeuchtungssystemen.

In Bild 47 ist der Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes (Fensterbandfassade) bei unterschiedlichen Befeuchtungssystemen dargestellt. Hierbei zeigt sich, insbesondere bei der Basisvariante, der hohe primärenergetische Anteil der elektrischen Dampfbefeuchtung. Insgesamt 38 kWh/m²a Primärenergie sind hierbei zur Aufrechterhaltung der gewünschten Raumluftfeuchte nötig. Bei der zweiten Variante findet eine Feuchteübertragung bei der Wärmerückgewinnung statt (Variante „Stoff u. Feuchteübertr.“). Hierdurch reduziert sich der Primärenergieanteil für die Befeuchtung auf 21 kWh/m²a. Eine weitere Verringerung lässt sich erreichen, indem anstelle der elektrischen Dampfbefeuchtung ein gasbefeuerter Dampfbefeuchter verwendet wird. Mit Feuchteübertragung werden bei dieser Varianten („S. u. F. + gasbefeuert“) nur noch 10 kWh/m²a Primärenergie benötigt. Das größte Potential zur Verringerung der Primärenergie besteht zweifellos durch den Verzicht auf eine zusätzliche Befeuchtung. In Bezug auf die Basisvariante reduziert sich der Primärenergiebedarf um 38 kWh/m²a. Allerdings ist hierbei ggf. mit einer Beeinträchtigung der Behaglichkeit zu rechnen. Da sich bei einem Wegfall der Befeuchtung auch der Anforderungswert an den maximal zulässigen Gesamtprimärenergiebedarf gemäß EnEV07 [9] entsprechend reduziert

(grüne Linie in Bild 47), ist diese Maßnahme nicht dazu geeignet den EnEV-Anforderungswert weiter zu unterschreiten. Tabelle 35 zeigt den Primärenergiebedarf der unterschiedlichen Varianten sowie die jeweiligen Einsparpotentiale (relativ und absolut) in Bezug auf die Basisvariante.

Tabelle 35: Zusammenstellung des Primärenergiebedarfs der unterschiedlichen Befeuchtungsvarianten sowie die jeweiligen Einsparpotentiale (relativ und absolut) in Bezug auf die Basisvariante.

Maßnahme	Primärenergie [kWh/m ² a]	Einsparung [%]	Einsparung [kWh/m ² a]
Befeuchtung elektrisch, ohne Stoff- und Feuchteübertragung (Basisvariante)	231,3	-	-
Befeuchtung elektrisch, mit Stoff- und Feuchteübertragung	215,1	7	16,2
Befeuchtung gasbefeuert, mit Stoff- und Feuchteübertragung	204,1	12	27,2
Ohne Befeuchtung	193,2	16	38,1

5.4.2.3 Kühlung

Zur Einhaltung der gewünschten Raumtemperaturen kann es je nach Nutzungsszenario, Fassadenkonzept und internen Wärmelasten während der Sommermonate notwendig sein, ein Gebäude mechanisch zu kühlen. Landläufig gilt der Kühlenergieanteil eines Verwaltungsgebäudes als die entscheidende Größe die den Gesamtenergiebedarf charakterisiert. Im Folgenden werden zwei Fassadenvarianten des kleinen Typgebäudes hinsichtlich des Primärenergiebedarfs für die Kühlung näher analysiert. Beim Gebäude mit Fensterbandfassade (2-Scheibenwärmeschutzverglasung und außen liegender Jalousie) lässt sich im Vergleich zur Basisvariante durch den Wegfall der Kühlung der Primärenergiebedarf um 14,7 kWh/m²a verringern. Dies entspricht 6,3 % des Gesamtbedarfes. Beim Gebäude mit Hochverglaster Fassade beträgt das Reduktionspotential 20,2 kWh/m²a bzw. 8,3 % des gesamten Primärenergiebedarf (Tabelle 36). Hierbei zeigt sich keinesfalls, dass der Kühlenergiebedarf primärenergetisch signifikant zum Gesamtprimärenergiebedarf beiträgt. Auch andere Fassadenlösungen mit insbesondere innen liegenden Sonnenschutzsystemen führen nicht zu einer grundlegend anderen Aussage (vgl. Kapitel 5.3).

Tabelle 36: Zusammenstellung des Primärenergiebedarfs sowie der jeweiligen Einsparpotentiale (relativ und absolut) in Bezug auf die Basisvariante mit und ohne mechanischer Kühlung am Beispiel der Fensterbandfassade sowie der Hochverglasten Fassade.

Maßnahme	Primärenergie [kWh/m ² a]	Einsparung [%]	Einsparung [kWh/m ² a]
Fensterbandfassade mit Kühlung (Basisvariante)	231,3	-	-
Fensterbandfassade ohne Kühlung	216,6	6,3	14,7
Hochverglaste Fassade mit Kühlung (Basisvariante)	243,4	-	-
Hochverglaste Fassade ohne Kühlung	223,2	8,3	20,2

Bild 48 zeigt die Primärenergieanteile des kleinen Typgebäudes mit (Basisvariante) und ohne mechanischer Kühlung am Beispiel der Fensterbandfassade sowie am Beispiel der Hochverglasten Fassade (Bild 49).

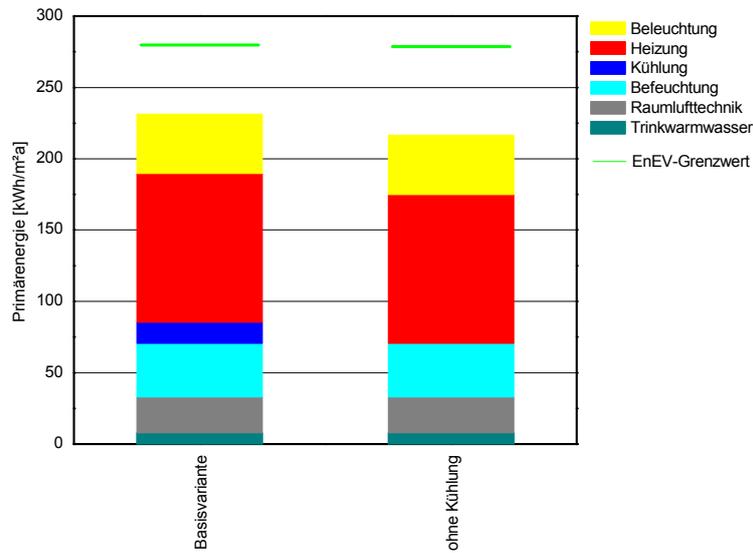


Bild 48: Primärenergieanteile des kleinen Typgebäudes mit (Basisvariante) und ohne mechanischer Kühlung am Beispiel der Fensterbandfassade.

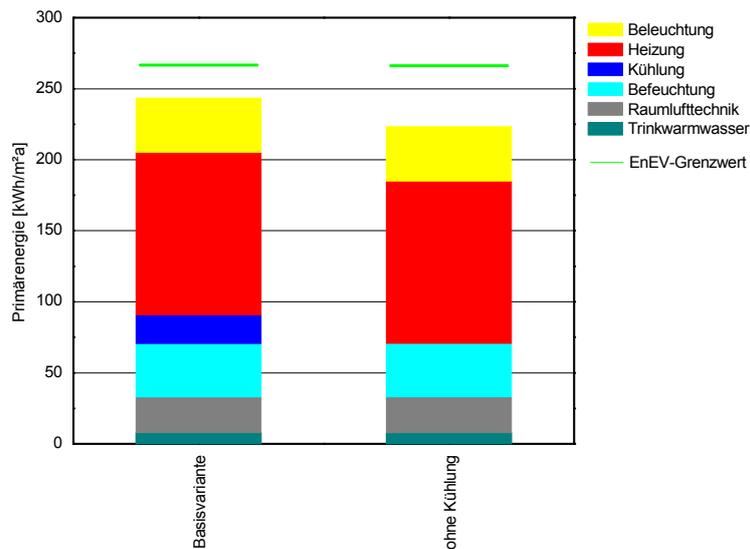


Bild 49: Primärenergieanteile des kleinen Typgebäudes mit (Basisvariante) und ohne mechanischer Kühlung am Beispiel der Hochverglasten Fassade.

5.4.2.4 Heizungstechnik

Welche Einsparpotentiale sich durch eine, in Bezug auf die aktuelle Referenztechnologie (EnEV07 [9]), verbesserte Heizungstechnik primärenergetisch darstellen lassen, soll im Folgenden näher analysiert werden. Für die Basisvariante wird als Wärmeerzeuger ein gasbeheizter Niedertemperaturkessel mit einer Systemtemperatur von 70/55°C definiert. Die Wärmeübergabe in die Räume erfolgt mittels wasserdurchströmter Heizkörper mit einem konventionellen Thermostatventil (Zweipunktregler/ 2K P-Regler). Zur Verringerung des Primärheizenergiebedarfs werden nacheinander der Niedertemperaturkessel gegen einen Gasbrennwertkessel (standard und verbessert) ausgetauscht, die Systemtemperatur schrittweise von 70/55°C auf 35/28°C reduziert und die Regelungscharakteristik der Thermostatventile verbessert. Die einzelnen Optimierungsmaßnahmen sowie deren Auswirkung auf den Gesamtprimärnergiebedarf sind in den Tabelle 37 bis 39 dargestellt. Werden all diese Maßnahmen kombiniert, errechnet sich ein Gesamtprimärnergiebedarf von 210,2 kWh/m²a. Dies entspricht einer Reduzierung von 21,1 kWh/m²a (9,1 %) in Bezug auf die Basisvariante.

Tabelle 37: Primärenergieeinsparpotentiale in Bezug auf die Basisvariante bei unterschiedlichen Wärmeerzeugern.

Maßnahme	Primärenergie [kWh/m ² a]	Einsparung [%]	Einsparung [kWh/m ² a]
Niedertemperaturkessel (Basisvariante)	231,1	-	-
Gasbrennwertkessel	224,9	2,7	6,2
Gasbrennwertkessel verbessert	221,6	4,1	9,5

Tabelle 38: Primärenergieeinsparpotentiale in Bezug auf die Basisvariante bei unterschiedlichen Systemtemperaturen.

Maßnahme	Primärenergie [kWh/m ² a]	Einsparung [%]	Einsparung [kWh/m ² a]
70/55°C (Basisvariante)	231,1	-	-
55/45°C	228,1	1,3	3,0
35/28°C	224,2	3,0	6,9

Tabelle 39: Primärenergieeinsparpotentiale in Bezug auf die Basisvariante bei unterschiedlichen Regelungscharakteristiken der Thermostatventile.

Maßnahme	Primärenergie [kWh/m ² a]	Einsparung [%]	Einsparung [kWh/m ² a]
P-Regler 2K (Basisvariante)	231,1	-	-
P-Regler 1K	230,1	0,4	1,0
PI-Regler optimiert	227,5	1,6	3,6

5.4.2.5 Heizsystem

Wie sich in den vorangegangenen energetischen Analysen zeigt, ist der Heizenergiebedarf auch im Bereich von Verwaltungsgebäuden ein wesentlicher Faktor, der die Höhe des Gesamtenergiebedarfs entscheidend beeinflusst. Der Heizprimärenergiebedarf hängt hierbei im Wesentlichen vom ausgewählten Energieträger bzw. vom Heizsystem ab. In Bild 50 ist zunächst der Endenergiebedarf, also die Energiemenge die der Anlagentechnik zur Verfügung gestellt werden muss, für die Basisvariante des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade in Abhängigkeit unterschiedlicher Heizsysteme dargestellt. Neben einem gasbefeuerten Niedertemperaturkessel (Basisvariante) wird eine Fernwärmeversorgung mit Kraftwärmekopplung (fossil), eine Wasser/Wasser-Wärmepumpe, ein Biomasseheizkessel (Holzpellet), eine solare Kombianlage und eine Anlage mit dezentraler Trinkwarmwasserbereitung (elektrisch beheizte Durchlauferhitzer) energetisch bewertet. Hierbei zeigt sich, dass die Wärmepumpenanlage den geringsten und der Biomassekessel den höchsten Endenergiebedarf aufweist. Die restlichen Heizungsvarianten unterscheiden sich hingegen eher geringfügig von der Basisvariante.

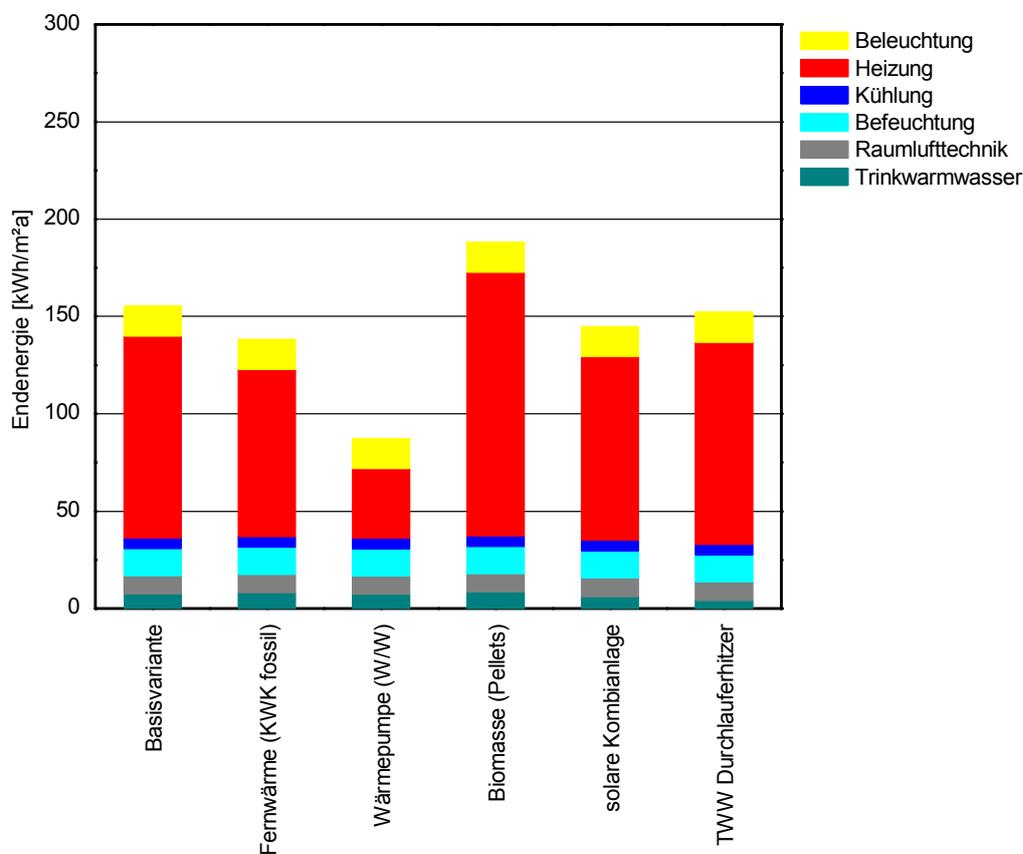


Bild 50: Endenergieanteile der Basisvariante des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade in Abhängigkeit des verwendeten Heizsystems.

In der nächsten Grafik (Bild 51) ist der Endenergiebedarf der einzelnen Varianten nach Energieträgern aufgeschlüsselt dargestellt. Hierbei wird zwischen elektrischem Strom (Strom-Mix Deutschland), Biomasse, Fernwärme, Erdgas und Solarenergie unterschieden. Erwartungsgemäß zeigt sich beim Gebäude mit Wärmepumpenanlage im Vergleich zu den restlichen Varianten ein deutlich höherer elektrischer Strombedarf. Bei den anderen Systemlösungen liegt der Strombedarf in etwa bei einem Drittel des gesamten Endenergiebedarfs. Bei der Holzpelletheizung ist der Anteil an Endenergie Biomasse mit 140,6 kWh/m²a höher als der Endenergieanteil Gas bei der Basisvariante sowie bei den Varianten mit solarer Kombianlage und dezentraler elektrischer Trinkwarmwasserbereitung. Der Endenergieanteil Erdgas beträgt bei diesen Heizsystemen 110,3 kWh/m²a (Basisvariante), 99,2 (solare Kombianlage) sowie 102,8 kWh/m²a bei der dezentralen Trinkwarmwasserbereitung. Der

Endenergieanteil für die Fernwärme liegt etwas darunter bei 93,6 kWh/m²a. Tabelle 40 zeigt die Endenergie aufgeschlüsselt nach Energieträgern der Basisvariante des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade in Abhängigkeit des verwendeten Heizsystems.

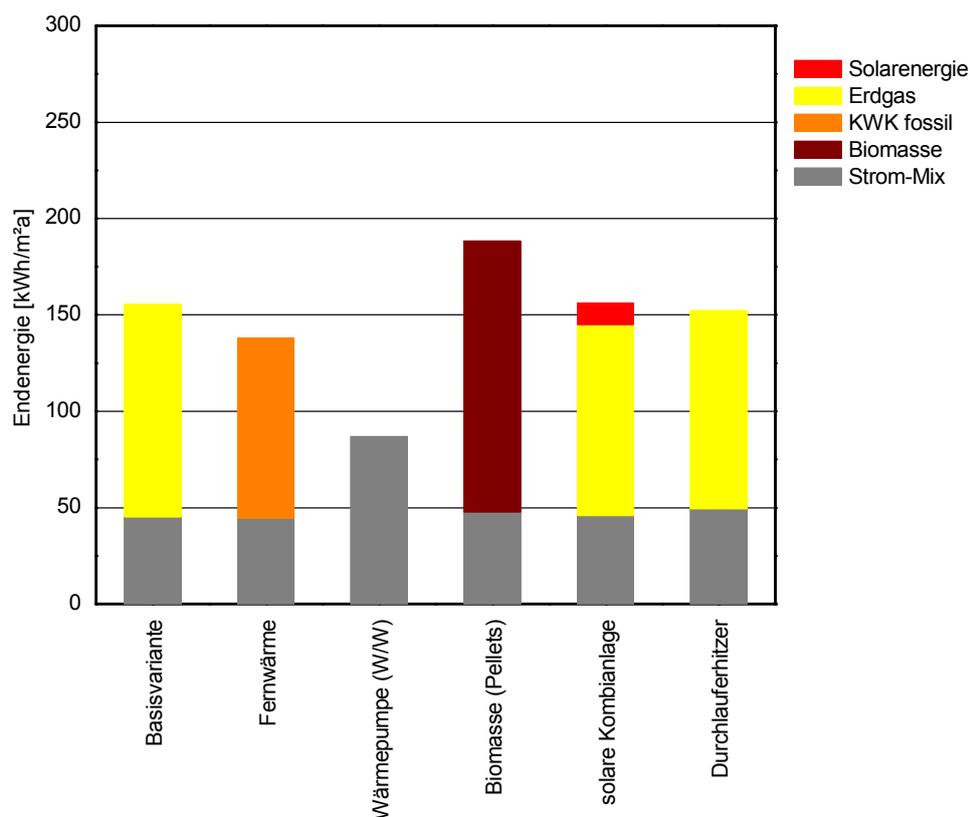


Bild 51: Grafische Darstellung der Endenergie nach Energieträgern des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade in Abhängigkeit des verwendeten Heizsystems.

Tabelle 40: Endenergie nach Energieträger des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade in Abhängigkeit des verwendeten Heizsystems.

Variante	Endenergie [kWh/m ² a]				
	Erdgas	KWK fossil	Biomasse	Strom-Mix	solar
Gas-Niedertemperaturkessel (Basisvariante)	110,3			45,2	
Fernwärme		93,6		44,5	
Wärmepumpe				86,9	
Biomasse (Pellet)			140,6	47,7	
Solare Kombianlage	99,2			45,9	11,1
Gas-NT Kessel + elektrischer Durchlauferhitzer für TWW	102,8			49,4	

In Bild 52 ist der Primärenergiebedarf der unterschiedlichen Systemlösungen, aufgeschlüsselt auf die einzelnen Energieanteile für Beleuchtung, Heizung, Kühlung, Befeuchtung, Raumluftechnik und Trinkwarmwasser dargestellt. Die grüne Markierung gibt jeweils den maximal zulässigen Gesamtprimärenergiebedarf gemäß EnEV07 [9] an. Hierbei zeigt sich ein gänzlich anderes Bild als bei der Betrachtung des Endenergiebedarfs (Tabelle 41). Lag der Endenergiebedarf des Gebäudes mit Wärmepumpenanlage noch deutlich unterhalb des Bedarfs der Vergleichssysteme, so weist diese Systemvariante aufgrund des hohen Stromanteils und dessen primärenergetischen Bewertung (Primärenergiefaktor 2,7 für den nicht erneuerbaren Anteil) den höchsten Gesamtprimärenergiebedarf auf. Der Primärenergiefaktor für Holz liegt im Gegensatz hierzu mit 0,2 (nicht erneuerbarer Anteil) sehr niedrig, so dass sich der Gesamtprimärenergiebedarf dieser Systemlösung deutlich reduziert. Der nicht erneuerbare Primärenergieanteil von Fernwärme aus Kraft-Wärmekopplung (fossil erzeugt) liegt bei 0,7. Der Gesamtprimärenergiebedarf dieser Systemlösung ist daher ebenfalls deutlich niedriger als bei den Vergleichsvarianten. In Bezug auf den maximal zulässigen Gesamtprimärenergiebedarf gemäß EnEV07 [9] unterschreitet die Basisvariante den Grenzwert um 17,3 %. Beim Gebäude mit Fernwärmeversorgung liegt der Gesamtprimärenergiebedarf um 33,4 %, bei der Wärmepumpe um 15,7 %, Biomasse 44,6 %, bei der solaren Kombianlage um 20,5 % sowie bei der Systemvariante mit dezentraler Trinkwarmwassererzeugung um 16,7 % unterhalb des maximal zulässigen Grenzwertes.

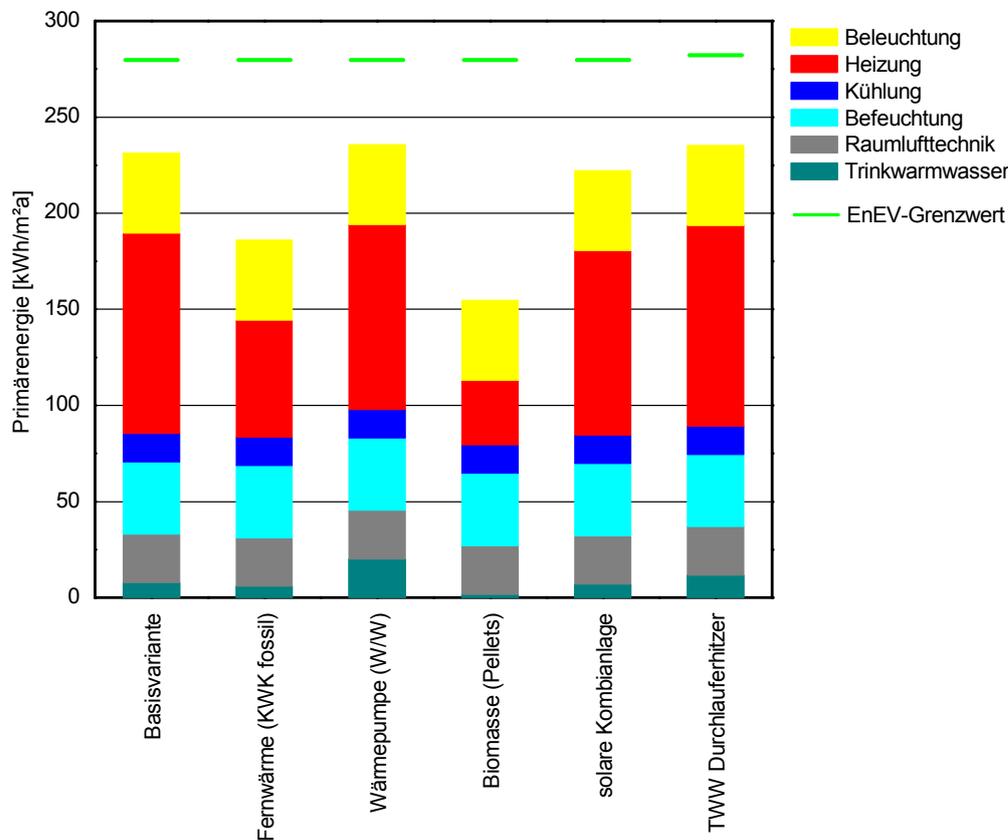


Bild 52: Primärenergieanteile des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade in Abhängigkeit vom verwendeten Heizsystem.

Tabelle 41: End- und Primärenergie des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade in Abhängigkeit vom verwendeten Heizsystem.

Variante	Endenergie [kWh/m ² a]	Primärenergie [kWh/m ² a]
Gas-Niedertemperaturkessel (Basisvariante)	155,4	231,3
Fernwärme	138,3	186,1
Wärmepumpe	87,3	235,7
Biomasse (Pellet)	188,2	154,8
Solare Kombianlage	144,9	222,3
Gas-NT Kessel + elektrischer Durchlauferhitzer für TWW	152,2	235,2

5.4.3 Haustechnik

Am Beispiel der Basisvariante des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade wird im Folgenden der Einfluss unterschiedlicher Steuerungsstrategien der Sonnenschutzsysteme sowie der Einfluss der Kunstlichttechnik auf den Gesamtprimärenergiebedarf analysiert.

5.4.3.1 Sonnenschutzsteuerung

Die Fensterbandfassade der Basisvariante des kleinen Typgebäudes ist mit einer 2-Scheibenwärmeschutzverglasung in Kombination mit einer Außenjalousie, die manuell bedient wird, ausgestattet. Im Folgenden wird der Einfluss auf den Primärenergiebedarf dargestellt, wenn anstelle dieser manuell bedienten Behänge eine automatische Sonnenschutzsteuerung vorgesehen wird. Bei einer automatischen Sonnenschutzsteuerung ist die Aktivierung nicht nur auf die Anwesenheitszeit der Nutzer beschränkt. Die Steuerung der Behänge kann jederzeit in Abhängigkeit von der solaren Einstrahlung angepasst erfolgen. Bild 53 zeigt die Änderung der einzelnen Primärenergieanteile bei automatischer Sonnenschutzsteuerung. Aufgrund der häufiger geschlossenen Behänge ergibt sich eine geringfügige Erhöhung des Heizenergiebedarfs um 6 kWh/m²a. Im Gegensatz dazu reduziert sich der Kühlenergiebedarf um ca. 4 kWh/m²a. Aufgrund der verbesserten Tageslichtnutzung ergibt sich eine geringe Reduzierung des Kunstlichtbedarfs. In Summe betrachtet ergeben sich aufgrund der gegenläufigen Effekte keine signifikanten Auswirkungen auf den Gesamtprimärenergiebedarf des Typgebäudes. Wie bereits in Kapitel 4.6 ausführlich erläutert wird, kann jedoch eine automatische Sonnenschutzsteuerung das sommerliche Wärmeverhalten von nicht mechanisch gekühlten Gebäuden im Vergleich zu manuell bedienten Sonnenschutzsystemen deutlich verbessern.

Wie in Kapitel 5.3 ausführlich dargestellt wird, führen außen liegende Sonnenschutzsysteme im Vergleich zu innen liegenden Systemen, zu einer Senkung des Kühlenergiebedarf und i.d.R. zu einer Erhöhung des Heizenergiebedarfs, da speziell im Verwaltungsbau die Sonnenschutzsysteme zur Vermeidung von Blendung an den Arbeitsplätzen auch im Winter geschlossen werden müssen und so solare Wärmeeinträge nicht ausreichend genutzt werden können. Innen liegende Systeme hingegen nutzen das solare Strahlungsangebot während der Wintermonate bei gleichzeitiger Sicherstellung von Blendfreiheit besser. Kombiniert man nun die Vorteile beider Systeme indem während der Sommermonate bevorzugt die außen liegenden Behänge und während der Heizperiode bevorzugt die innen liegenden Sonnenschutzsysteme genutzt werden, kann der Primärenergiebedarf des Gebäudes reduziert werden. Bild 54 zeigt die Änderung der Primärenergieanteile bei einer kombinierten Systemlösung, bestehend aus außen liegender Jalousie und innen liegendem Textilrollo bei automatischer Sonnenschutzsteuerung im Vergleich zur Basisvariante (außen liegender Sonnenschutz mit manueller Bedienung). Durch den innen liegenden Behang lassen sich am Beispiel der

2-Scheibenwärmeschutzverglasung etwa 5 kWh/m²a Heizprimärenergie einsparen. Der außen liegende Behang reduziert den Kühlbedarf um etwa 4 kWh/m²a und der Kunstlichtbedarf verringert sich aufgrund der besseren Tageslichtausnutzung ebenfalls geringfügig um ca. 1 kWh/m²a. Bei dem hier betrachteten Typgebäude ergibt sich in Summe durch die kombinierte Nutzung von außen und innen liegenden Sonnenschutzsysteme eine Einsparung von 10 kWh/m²a.

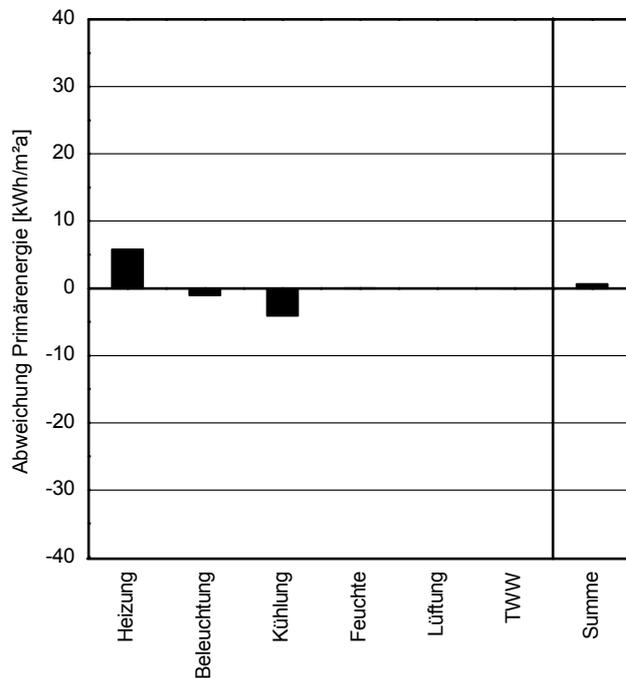


Bild 53: Änderung der Primärenergieanteile bei einem automatisch gesteuerten Sonnenschutzsystem im Vergleich zu manueller Bedienung.

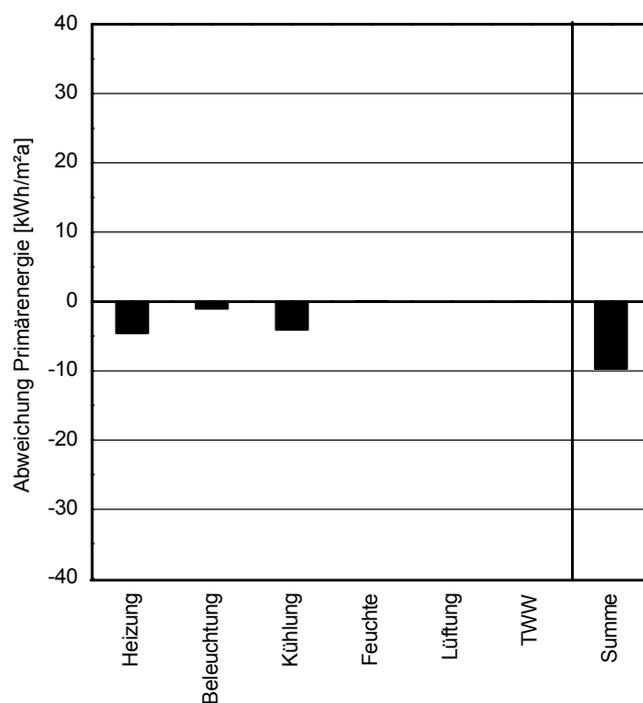


Bild 54: Änderung der Primärenergieanteile bei einer kombinierten Systemlösung bestehend aus außen (Sommerperiode) und innen (Winterperiode) liegenden Sonnenschutzsystemen.

5.4.3.2 Beleuchtung

Verwaltungsgebäude stellen besonders hohe Anforderungen an die beleuchtungstechnische Ausstattung der Räume. Die künstliche Beleuchtung von Räumen erfolgt ausschließlich über elektrischen Strom, der durch seinen hohen Primärenergiefaktor die Energiebilanz eines Gebäudes maßgeblich beeinflusst. Darüber hinaus führen hohe Kunstlichtanteile zu einer Zunahme der internen Wärmelasten, wodurch sich wiederum die Kühllasten des Gebäudes erhöhen. Bei nicht mechanisch gekühlten Gebäuden führen diese hohen internen Wärmelasten zu einer deutlichen Verschlechterung des sommerlichen Wärmeverhaltens. Durch welche Maßnahmen der Energiebedarf für die künstliche Beleuchtung ohne Verschlechterung der Beleuchtungsqualität reduziert werden kann, wird im Folgenden näher dargestellt. Grundlage für die energetischen Berechnungen sind die Anforderungen an die Arbeitsplatzbeleuchtung gemäß DIN V 18599:2007-02 Teil 10 [4]. Hierbei wird für die Arbeitsplätze eine Beleuchtungsstärke von 500 lx gefordert. Da im Bürobereich üblicherweise stabförmige Leuchtstofflampen verwendet werden, dienen diese als Grundlage für die nachfolgenden Berechnungen.

Im Rahmen der DIN V 18599 [4] wird bei Kunstlichtsystemen zwischen drei Beleuchtungsarten unterschieden:

- Bei der direkten Beleuchtungsart wird der überwiegende Anteil des Lichtstroms direkt auf die Nutzebene gelenkt.
- Bei der indirekten Beleuchtung wird das abgeschirmte Licht von Wänden und/oder Decke reflektiert. Ein hoher Reflexionsgrad heller Decken und Wände ist hierbei sinnvoll.
- Die direkt/indirekte Beleuchtungsart stellt eine Mischform dar, bei der ein Teil des Lichtstroms direkt und ein Teil über Decken und Wände auf die Nutzebene gelenkt wird.

Ein weiterer, den Energiebedarf mitbestimmender Faktor, ist die Auswahl des Vorschaltgerätes der Leuchte. Die DIN V 18599:2007-02 [4] unterscheidet hierbei zwischen elektronischen Vorschaltgeräten (EVG), verlustarmen Vorschaltgeräten (VVG) und zwischen Vorschaltgeräten konventioneller Bauart (KVG). Als Referenztechnologie wird gemäß EnEV07 [9] eine direkte Beleuchtungsart und verlustarme Vorschaltgeräte definiert, so dass diese Kombination auch der Basisvariante für die folgenden Berechnungen entspricht.

Bild 55 zeigt die einzelnen Primärenergieanteile am Beispiel des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade in Abhängigkeit von der Beleuchtungsart. Der Gesamtprimärenergiebedarf der Basisvariante mit direkter Beleuchtung und verlustarmem Vorschaltgerät (VVG) beträgt 231,3 kWh/m²a. Der Anteil für die Beleuchtung liegt hierbei bei 41,7 kWh/m²a. Werden bei gleicher Beleuchtungsart anstelle der verlustarmen, elektronische Vorschaltgeräte (EVG) gewählt, reduziert sich die Primärenergie für die Beleuchtung um 5,1 kWh/m²a, die Kühlenergie sinkt um 0,7 kWh/m²a und der Anteil Heizenergie steigt um 1,4 kWh/m²a. In Summe ergibt sich durch diese Maßnahme eine Reduzierung des Gesamtprimärenergiebedarfs von 4,4 kWh/m²a (Tabelle 42). Wird anstelle der direkten Beleuchtungsart eine direkt/indirekte Beleuchtung gewählt, erhöht sich der Kunstlichtanteil um 9,5 kWh/m²a und die Kühlung um 1,1 kWh/m²a. Im Gegenzug dazu verringert sich der Anteil für die Beheizung um 2,5 kWh/m²a. Insgesamt führt diese Änderung der Beleuchtungsart zu einer Erhöhung des Gesamtprimärenergiebedarfs um 8,0 kWh/m²a. Bei der letzten Variante wird eine ausschließlich indirekte Beleuchtungsart gewählt. Hierdurch ergibt sich eine Zunahme des Beleuchtungs- und Kühlenergiebedarfs von 34,7 kWh/m²a bzw. von 4,1 kWh/m²a. Der Heizenergieanteil sinkt um 8,9 kWh/m²a, so dass sich in Summe eine Zunahme des Primärenergiebedarfs in Höhe von 29,9 kWh/m²a errechnet.

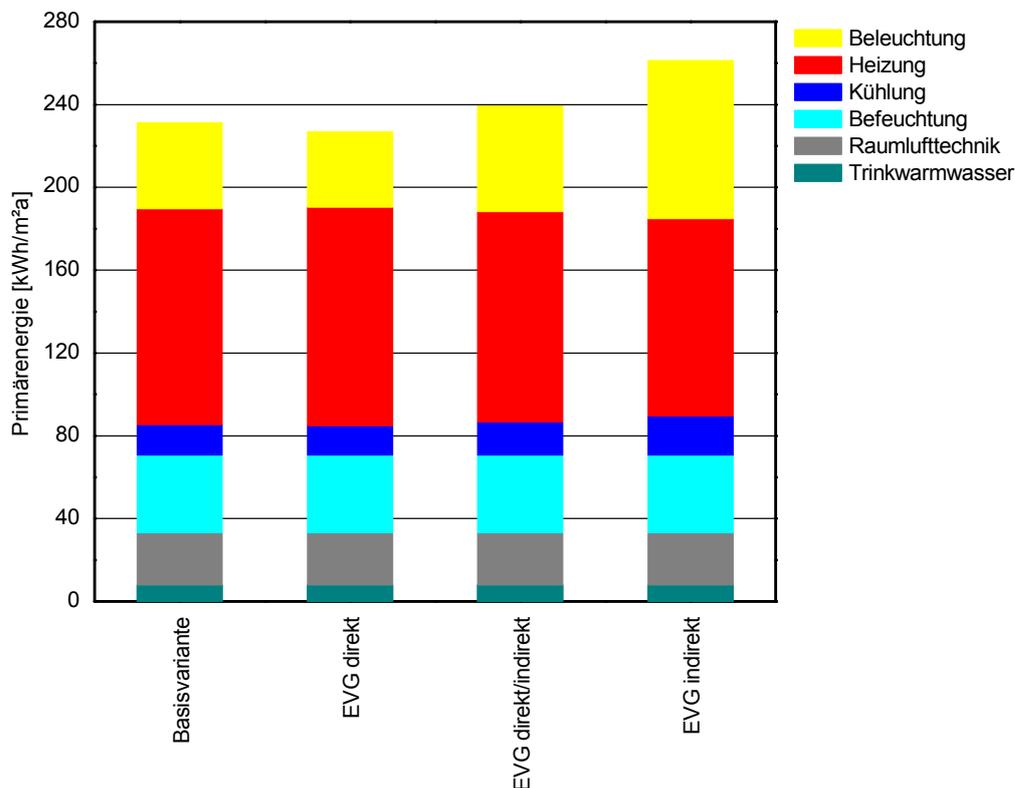


Bild 55: Grafische Darstellung des Primärenergiebedarfs des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade in Abhängigkeit von der Beleuchtungsart sowie den Vorschaltgeräten.

Tabelle 42: Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade in Abhängigkeit von der Beleuchtungsart sowie den Vorschaltgeräten.

Beleuchtungsart	Primär-energie [kWh/m²a]	Differenz Primärenergie zu Basisvariante [kWh/m²a]			
		Heizung	Beleuchtung	Kühlung	Summe
VVG direkt (Basisvariante)	231,3	-	-	-	-
EVG direkt	226,9	1,4	-5,1	-0,7	-4,4
EVG direkt/indirekt	239,4	-2,5	9,5	1,1	8,0
EVG indirekt	261,3	-8,9	34,7	4,1	29,9

Einen weiteren wesentlichen Einfluss auf den Kunstlichtbedarf hat die gewählte Beleuchtungssteuerung. In Tabelle 43 ist der Primärenergiebedarf der Basisvariante des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade in Abhängigkeit von der Beleuchtungssteuerung sowie den Änderungen in Bezug zur Basisvariante dargestellt. Hierbei wird zwischen den Steuerungsarten manuell (Basisvariante), tageslichtabhängig gedimmt (nicht wiedereinschaltend) sowie zwischen tageslichtabhängig gedimmt (nicht wiedereinschaltend) in Kombination mit Tageslichtlenkung unterschieden. Insgesamt zeigt sich, dass durch diese Maßnahmen der Gesamtprimärenergiebedarf von 231,3 kWh/m²a auf 221,2 kWh/m²a reduziert werden kann. Ein weiteres Einsparpotential entsteht durch die Verwendung von Präsenzerkennungssystemen. Ausgehend von der Basisvariante ohne Präsenzerkennung lässt sich der Gesamtprimärenergiebedarf um 8,4 kWh/m²a reduzieren.

Tabelle 43: Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade in Abhängigkeit von der Beleuchtungssteuerung.

Beleuchtungssteuerung	Primär- energie [kWh/m²a]	Differenz Primärenergie zu Basisvariante [kWh/m²a]			
		Heizung	Beleuch- tung	Kühlung	Summe
manuell (Basisvariante)	231,3	-	-	-	-
Tageslichtabhängig gedimmt nicht wiedereinschaltend	224,1	2,0	-8,2	-1,1	-7,3
Tageslichtabhängig gedimmt nicht wiedereinschaltend + Tageslichtlenkung	221,2	2,4	-11,1	-1,5	-10,2

Tabelle 44: Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade in Abhängigkeit von einer Präsenzerkennung.

Beleuchtungssteuerung	Primär- energie [kWh/m²a]	Differenz Primärenergie zu Basisvariante [kWh/m²a]			
		Heizung	Beleuch- tung	Kühlung	Summe
manuell ohne Präsenzerken- nung (Basisvariante)	231,3	-	-	-	-
manuell mit Präsenzerken- nung	222,9	3,1	-10,5	-1,0	-8,4

Im Folgenden werden ausgehend von der Basisvariante die unterschiedlichen Optimierungsmaßnahmen kombiniert und der jeweilige Gesamtprimärenergiebedarf sowie die Differenz zur Basisvariante dargestellt (Tabelle 45). Im Einzelnen werden hierzu zunächst die verlustarmen Vorschaltgeräte in elektronische Vorschaltgeräte ausgetauscht. Anstelle einer konventionelle Leuchte wird eine optimierte Leuchte mit einem Betriebswirkungsgrad von 73 % und einer Systemlichtausbeute von 85,7 lm/W (Basisvariante 60 %, 80 lm/W) angesetzt. Im Anschluss wird eine tageslichtabhängig gedimmte Steuerung (nicht wiedereinschaltend) mit Tageslichtlenkung sowie eine Präsenzerkennung ergänzt. Durch diese Maßnahmen reduziert sich der Gesamtprimärenergiebedarf um 19,4 kWh/m²a auf 211,9 kWh/m²a. In Bezug auf den Primärenergiebedarf für die Beleuchtung errechnet sich eine Abnahme um 23,2 kWh/m²a was 56 % des gesamten Kunstlichtbedarf der Basisvariante von 41,7 kWh/m²a entspricht. Bild 56 zeigt die Abnahme des Gesamtprimärenergiebedarfs beginnend von der Basisvariante des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade bei der schrittweisen Optimierung der Beleuchtungstechnik. In Bild 57 sind jeweils die Veränderungen der Primärenergieanteile in Bezug zur Vorgängervariante der Maßnahmenkette beginnend von oben links nach unten rechts zusammengestellt.

Tabelle 45: Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade bei einer schrittweise optimierten Beleuchtungstechnik.

Maßnahmenkette	Primärenergie	
	Summe [kWh/m ² a]	Differenz zu Basisvariante [kWh/m ² a]
Basisvariante	231,3	-
+ EVG	226,9	-4,4
+ Optimierung Leuchte	224,6	-6,7
+ tageslichtabhängig gedimmt, nicht wiedereinschaltend	218,9	-12,4
+ Tageslichtlenkung	216,5	-14,8
+ Präsenzerfassung	211,9	-19,4

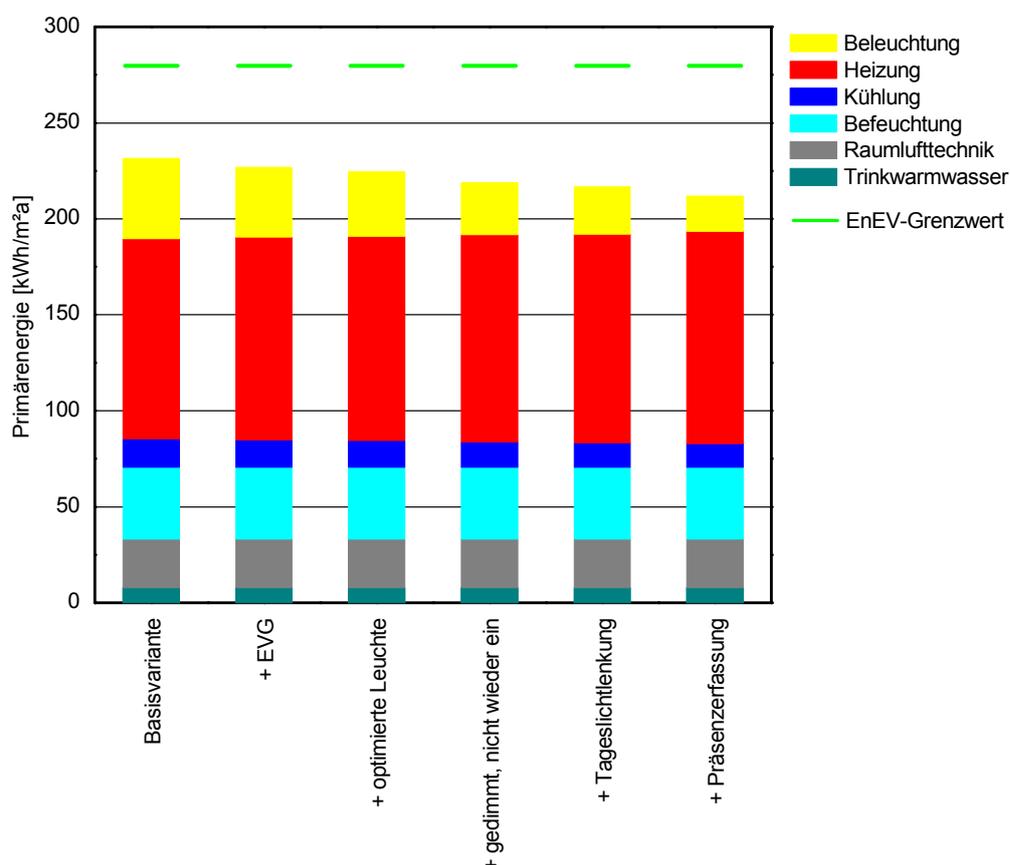


Bild 56: Grafische Darstellung des Primärenergiebedarfs des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade bei einer schrittweise optimierten Beleuchtungstechnik.

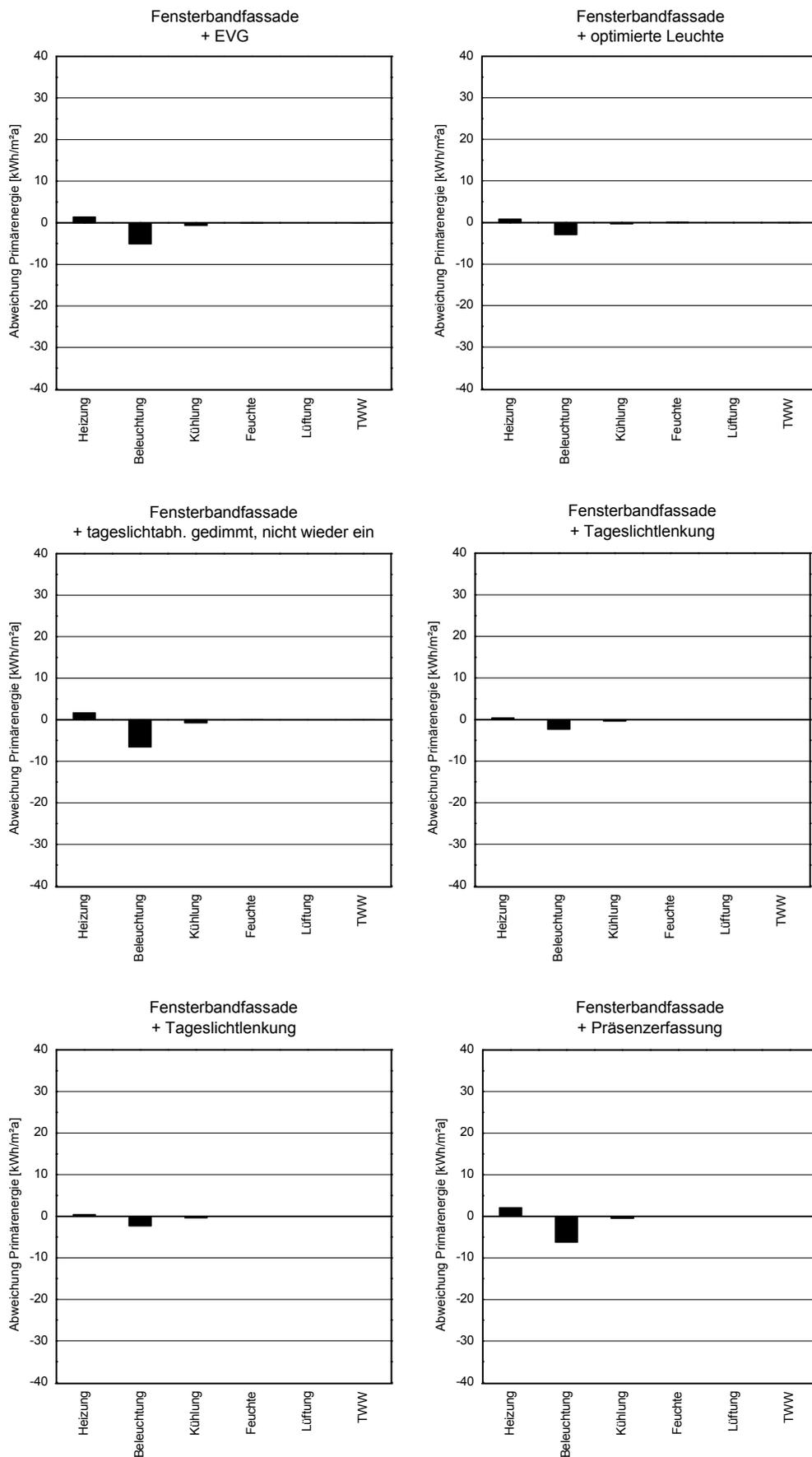


Bild 57: Einfluss der Einzelmaßnahmen der kombinierten Maßnahmenkette auf die Primärenergieanteile jeweils in Bezug zur Vorgängervariante.

5.4.4 Kombinierte Maßnahmenpakete

In den folgenden Betrachtungen werden, in Ergänzung zu den bisher analysierten Einzelaspekten, Kombinationen von unterschiedlichen energetischen Optimierungsstrategien miteinander zu Maßnahmenpaketen verkettet und energetisch bewertet. Die Berechnungen basieren auf Grundlage des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade.

5.4.4.1 Maßnahmenkette 1

Bei der Maßnahmenkette 1 werden nacheinander die Bereiche Sonnenschutz, Beleuchtung, Heizung, Lüftung und Befeuchtung optimiert. Anstelle einer manuell betriebenen Außenjalousie wird eine Kombination aus außen und innen liegendem Sonnenschutz mit automatischer Steuerung verwendet. Statt der in der Basisvariante verwendeten manuell geschalteten Standardleuchte wird eine tageslichtabhängig gedimmte, optimierte Leuchte mit Präsenzerfassung kombiniert. Der Niederdruckkessel wird gegen einen optimierten Brennwertkessel ausgetauscht und die Systemtemperatur von 70/55°C auf 35/28°C reduziert. Anstelle eines einfachen P-Reglers an den Heizkörperthermostatventilen wird ein optimierter PI-Regler verwendet. Der Wärmerückgewinnungsgrad der mechanischen Lüftung wird von 45 % auf 80 % erhöht und anstelle der elektrischen Befeuchtung (ohne Stoff- und Feuchteübertragung) eine gasbefeuerte Befeuchtung mit Stoff- und Feuchteübertragung ergänzt. Tabelle 46 zeigt die jeweiligen Einzelmaßnahmen zur energetischen Optimierung des kleinen Typgebäudes im Rahmen der Maßnahmenkette 1.

Tabelle 46: Zusammenstellung der Optimierungsmaßnahmen im Rahmen der Maßnahmenkette 1.

	Basisvariante	Optimierung
Sonnenschutz	manuelle betriebene Außenjalousie 45° grau	automatisch betriebene Kombination aus Außenjalousie 45° grau und innen liegendem Textilrollo grau
Beleuchtung	VVG direkt, Standardleuchte, Beleuchtungssteuerung manuell, ohne Präsenzerfassung	EVG direkt, optimierte Leuchte, tageslichtabhängig gedimmt nicht wiedereinschaltend, mit Tageslichtlenkung, mit Präsenzerfassung
Heizung	NT-Kessel, Heizkreistemperatur 70/55, P-Regler (2K)	BW-Kessel verbessert, Heizkreistemperatur 35/28, PI-Regler optimiert
Lüftung	mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung 45 %	mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung 80 %
Befeuchtung	Befeuchtung elektrisch, ohne Stoff- und Feuchteübertragung	Befeuchtung gasbefeuert, mit Stoff- und Feuchteübertragung

In Bild 58 ist der kumulierte Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade für die Bereiche Beleuchtung, Heizung, Kühlung, Befeuchtung, Raumlufttechnik und Trinkwassererwärmung dargestellt. Beginnend von der Basisvariante aus wird hierbei nacheinander der Einfluss des verbesserten Sonnenschutzes, ergänzt um eine optimierte Beleuchtung, Heizung, Lüftung und Befeuchtung, auf den Primärenergiebedarf dargestellt. In Tabelle 47 ist der jeweilige Gesamtprimärenergiebedarf sowie die Differenz zur Basisvariante zusammengestellt. Durch die Optimierungsmaßnahmen am Sonnenschutz lassen sich in Bezug zur Basisvariante 9,7 kWh/m²a Primärenergie einsparen. Eine zusätzliche Verbesserung der Beleuchtung bringt eine Einsparung um weitere 18,6 kWh/m²a, die optimierte Heizung um 21,6 kWh/m²a, die Erhöhung des Wärmerückgewinnungsgrades um 12,7 kWh/m²a sowie die Effizienzsteigerung der Befeuchtung um 31,5 kWh/m²a. Insgesamt reduziert sich der Gesamtprimärenergiebedarf von 231,3 kWh/m²a bei der Basisvariante auf 137,2 kWh/m²a für die kumulierten Optimierungsmaßnahmen. Dies entspricht 59 % des Ausgangsbedarfes ohne dass auf Behaglichkeitsansprüche (Kühlung, mechanische Lüftung und Befeuchtung) verzichtet werden muss. In Bezug auf den maximal zulässigen Gesamtprimärenergiebedarf gemäß EnEV07 [9] liegt die Basisvariante um 17,2 % unter dem Grenzwert. Die optimierte Variante unterschreitet den Anforderungswert um 49,8 %.

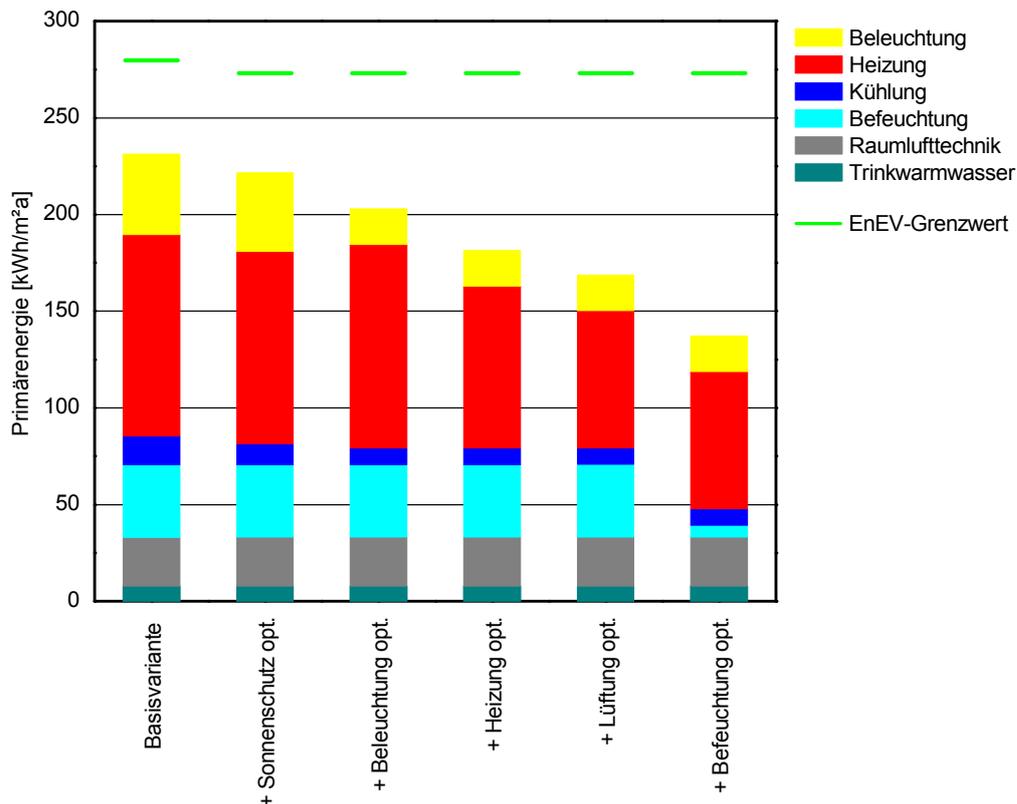


Bild 58: Kumulierter Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes für die Maßnahmenkette 1.

Tabelle 47: Reduzierung des Primärenergiebedarfs des kleinen Typgebäudes aufgrund der Optimierungen im Rahmen der Maßnahmenkette 1.

Maßnahmenkette 1	Primärenergie	
	Summe [kWh/m²a]	Differenz zu Basisvariante [kWh/m²a]
Basisvariante	231,3	-
+ Sonnenschutz optimiert	221,6	-9,7
+ Beleuchtung optimiert	203,0	-28,3
+ Heizung optimiert	181,4	-49,9
+ Lüftung optimiert	168,7	-62,6
+ Befeuchtung optimiert	137,2	-94,1

In Bild 59 sind die Auswirkungen der jeweiligen Optimierungsmaßnahmen auf die einzelnen Energieanteile für die Beleuchtung, Heizung, Kühlung, Befeuchtung, Raumluftechnik und Trinkwärmewassererwärmung im Vergleich zur Basisvariante bzw. zur jeweils vorherigen Variante dargestellt. Hierbei zeigen sich ganz deutlich die teilweise gegenläufigen Effekte bei den einzelnen Energiebilanzanteilen. So führt z.B. die Verbesserung der Beleuchtung (Grafik rechts oben) zu einer Reduzierung des Primärenergiebedarfs für die Beleuchtung und Kühlung. Im Gegenzug erhöht sich jedoch, aufgrund der geringeren Wärmeeinträge aus der Beleuchtung, der Heizprimärenergiebedarf.

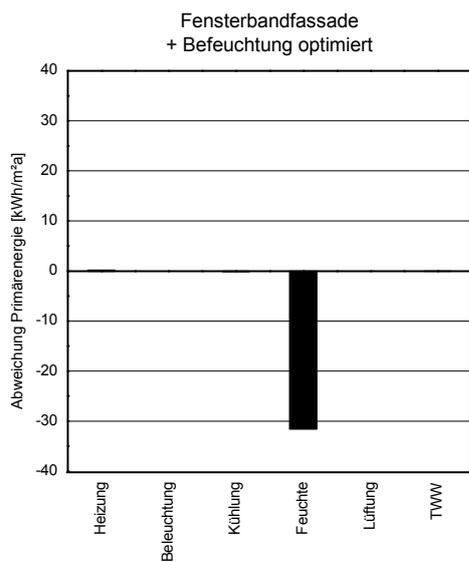
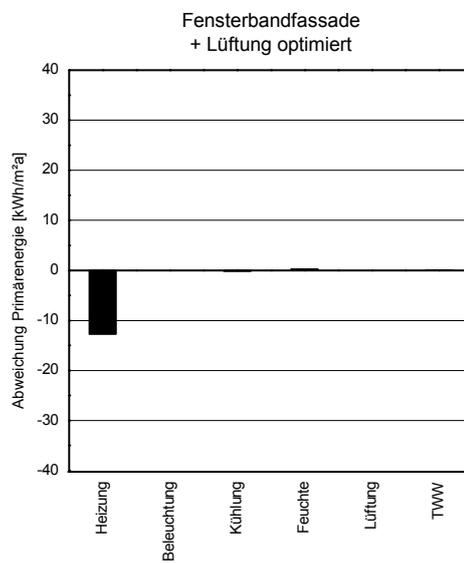
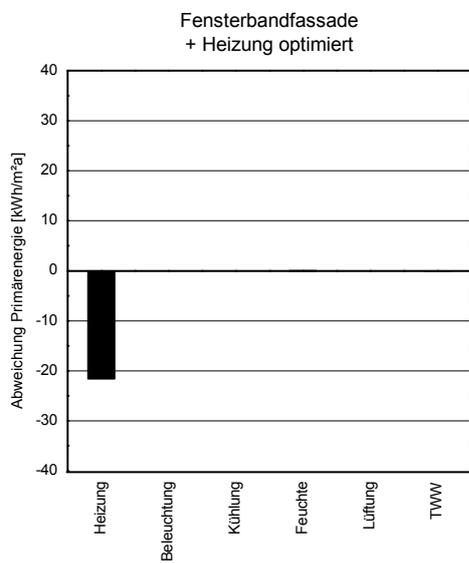
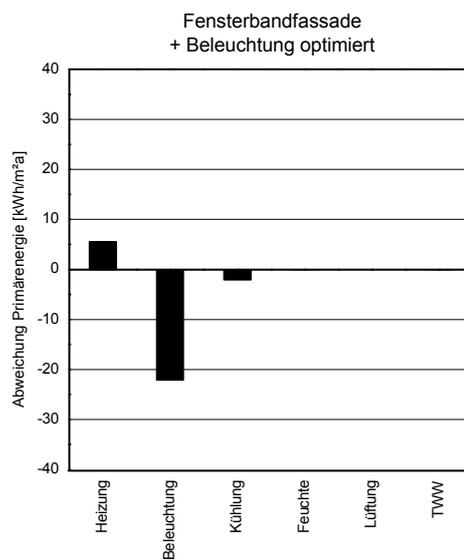
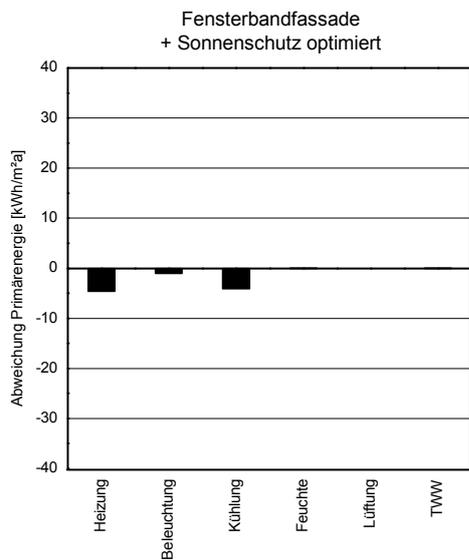


Bild 59: Auswirkung der einzelnen Optimierungsschritte der Maßnahmenkette 1 auf die Primärenergieanteile.

5.4.4.2 Maßnahmenkette 2

Bei der Maßnahmenkette 2 werden, wie zunächst bei der Maßnahmenkette 1, der Sonnenschutz, die Beleuchtung sowie die Heizung optimiert. Im Anschluss wird nacheinander auf eine Befeuchtung, Kühlung und mechanische Lüftung verzichtet. In Tabelle 48 sind die einzelnen Veränderungen im Rahmen der Maßnahmenkette 2 dargestellt.

Tabelle 48: Zusammenstellung der Optimierungsmaßnahmen im Rahmen der Maßnahmenkette 2.

	Basisvariante	Optimierung
Sonnenschutz	manuell betriebene Außenjalousie 45° grau	automatisch betriebene Kombination aus Außenjalousie 45° grau und innen liegendem Textilrollo grau
Beleuchtung	VVG direkt, Standardleuchte, Beleuchtungssteuerung manuell, ohne Präsenzerfassung	EVG direkt, optimierte Leuchte, tageslichtabhängig gedimmt nicht wieder-einschaltend, mit Tageslichtlenkung, mit Präsenzerfassung
Heizung	NT-Kessel, Heizkreistemperatur 70/55, P-Regler (2K)	BW-Kessel verbessert, Heizkreistemperatur 35/28, PI-Regler optimiert
Befeuchtung	Befeuchtung elektrisch, ohne Stoff- und Feuchteübertragung	ohne Befeuchtung
Kühlung	Kompressionskältemaschine, Kühldecke	ohne Kühlung
Lüftung	mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung 45%	keine Lüftungsanlage

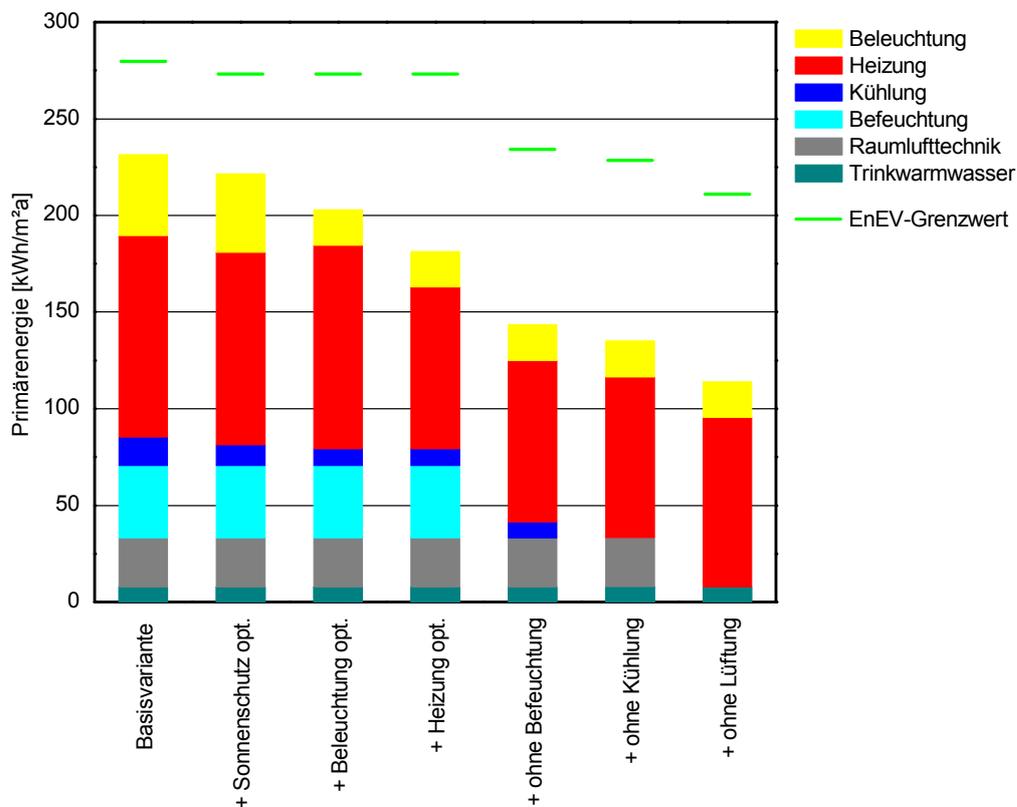


Bild 60: Kumulierter Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes für die Maßnahmenkette 2.

In Bild 60 ist der kumulierte Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade für die Bereiche Beleuchtung, Heizung, Kühlung, Befeuchtung, Raumluftechnik und Trinkwarmwassererwärmung dargestellt. Beginnend von der Basisvariante aus wird hierbei nacheinander der Einfluss des verbesserten Sonnenschutzes, ergänzt um eine optimierte Beleuchtung und Heizung, sowie der Wegfall der Befeuchtung, Kühlung und mechanischen Lüftung, auf den Primärenergiebedarf dargestellt. In Tabelle 49 ist der jeweilige Gesamtprimärenergiebedarf sowie die Differenz zur Basisvariante zusammengestellt. Wie bereits in Maßnahmenkette 1 erläutert, reduziert sich der Gesamtprimärenergiebedarf durch die kombinierten Maßnahmen optimierter Sonnenschutz, optimierte Beleuchtung und Heizung um 49,9 kWh/m²a. Dies entspricht einer Unterschreitung des maximal zulässigen Grenzwertes gemäß EnEV07 um 33,6 %. Durch den Verzicht auf eine Befeuchtung reduziert sich der Gesamtprimärenergiebedarf um weitere 38 kWh/m²a, ohne Kühlung um 8,4 kWh/m²a sowie ohne mechanische Belüftung um weitere 21 kWh/m²a. Wie ebenfalls in Bild 60 erkennbar ist, reduziert sich durch den Wegfall auch der Anforderungswert gemäß EnEV07. Die Variante ohne Befeuchtung unterschreitet daher den maximalen Grenzwert mit 38,8 % nur geringfügig weiter als die Variante mit Befeuchtung. Ohne Befeuchtung und ohne Kühlung wird der Grenzwert um 40,1 % unterschritten sowie bei einem zusätzlichen Verzicht auf mechanische Lüftung um 45,9 %. Insgesamt kann durch die hier gekoppelten Maßnahmen der Gesamtprimärenergiebedarf ausgehend von der Basisvariante von 231,3 kWh/m² auf 114 kWh/m²a reduziert werden. Dies entspricht einer Verringerung auf 49,3 %. Zu berücksichtigen ist hierbei jedoch, dass diese Reduzierung unter Umständen mit erheblichen Komforteinbußen verbunden sein kann. Je nach gewählter Verglasung, Sonnenschutz und Fassadenvariante kann es während der Sommermonate zu erheblichen Überhitzungen kommen (vgl. Kapitel 4.6).

Tabelle 49: Reduzierung des Primärenergiebedarfs des kleinen Typgebäudes aufgrund der Optimierungen im Rahmen der Maßnahmenkette 2.

Maßnahmenkette 2	Primärenergie	
	Summe [kWh/m ² a]	Differenz zu Basisvariante [kWh/m ² a]
Basisvariante	231,3	-
+ Sonnenschutz optimiert	221,6	-9,7
+ Beleuchtung optimiert	203,0	-28,3
+ Heizung optimiert	181,4	-49,9
+ ohne Befeuchtung	143,4	-87,9
+ ohne Kühlung	135,0	-96,3
+ ohne mech. Belüftung	114,0	-117,3

In Bild 61 sind die Auswirkungen der jeweiligen Optimierungsmaßnahmen auf die einzelnen Energieanteile für die Beleuchtung, Heizung, Kühlung, Befeuchtung, Raumluftechnik und Trinkwarmwassererwärmung im Vergleich zur Basisvariante bzw. zur vorherigen Variante dargestellt. Hierbei zeigen sich, wie bereits bei der Maßnahmenkette 1 dargestellt, die teilweise gegenläufigen Effekte bei den einzelnen Energiebilanzanteilen.

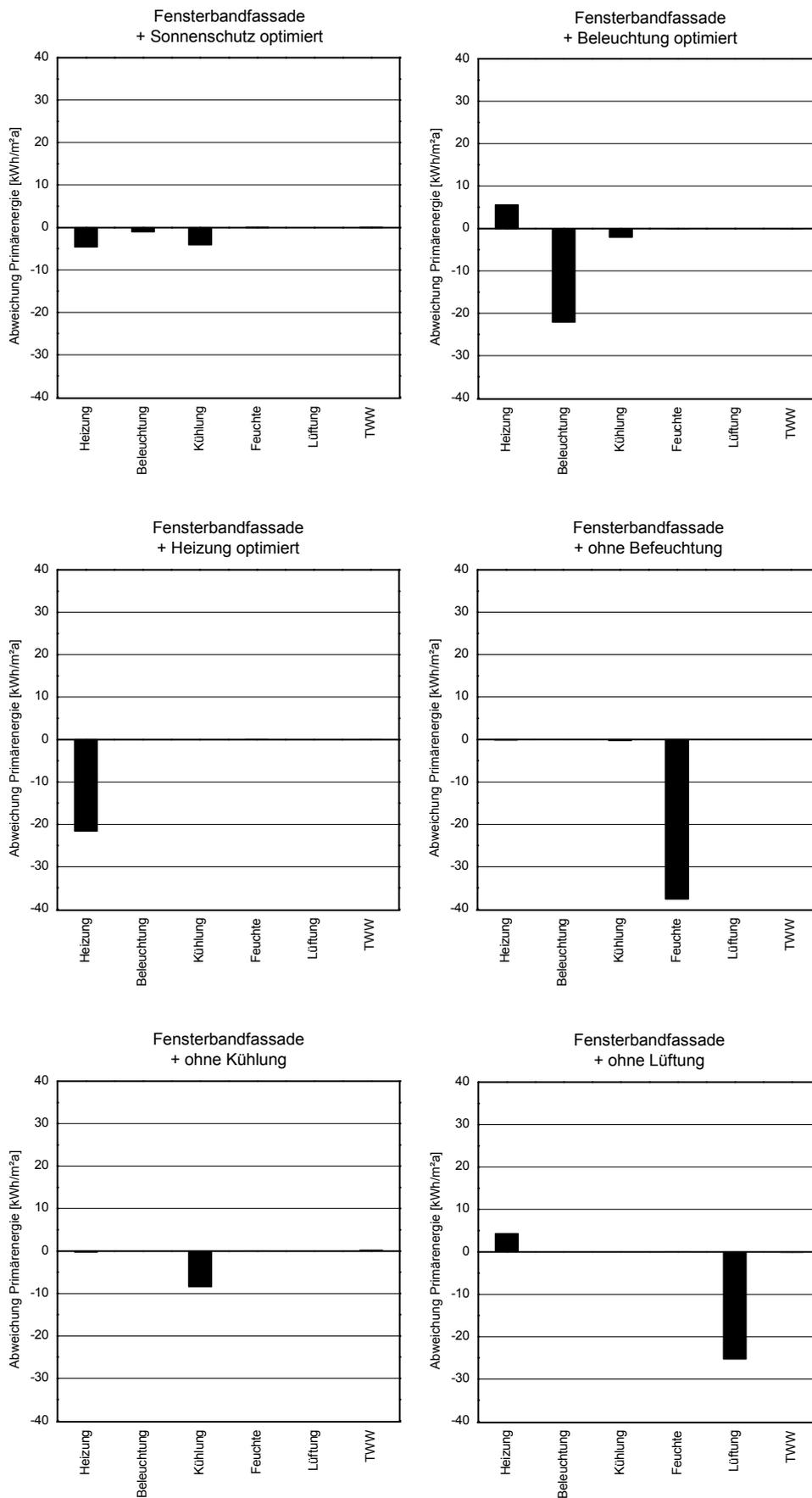


Bild 61: Auswirkung der einzelnen Optimierungsschritte der Maßnahmenkette 2 auf die Primärenergieanteile.

5.4.4.3 Maßnahmenkette 3

Bei der nächsten Maßnahmenkette werden ausschließlich Verbesserungen an der Gebäudehülle betrachtet. Hierbei werden zunächst die U-Werte der Außenwand, des Dachs, Bodens und der Fenster gemäß Tabelle 50 verbessert. Im Anschluss wird die Gebäudedichtheit erhöht und die Wärmebrücken reduziert. Bild 62 zeigt den Einfluss der einzelnen Varianten auf den Gesamtprimärenergiebedarf am Beispiel des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade.

Tabelle 50: Zusammenstellung der Optimierungsmaßnahmen im Rahmen der Maßnahmenkette 3.

	Basisvariante	Optimierung
Gebäudehülle	Außenwand U-Wert 0,29 W/m ² K Dach U-Wert 0,18 W/m ² K Boden U-Wert 0,32 W/m ² K Fenster U _{win} 1,4 W/m ² K	Außenwand U-Wert 0,15 W/m ² K Dach U-Wert 0,15 W/m ² K Boden U-Wert 0,15 W/m ² K Fenster U _{win} 0,9 W/m ² K
Gebäudedichtheit	n ₅₀ = 1,5 h ⁻¹	n ₅₀ = 0,6 h ⁻¹
Wärmebrücken	pauschal 0,05 W/m ² K	Wärmebrücken bereits berücksichtigt

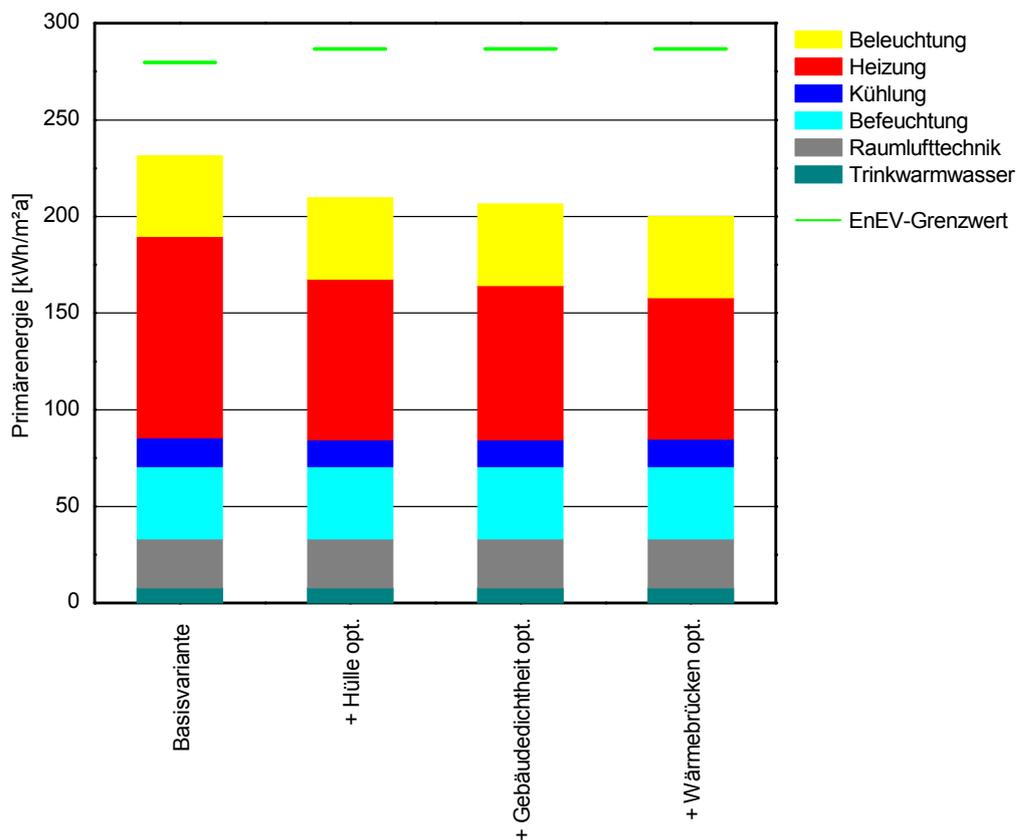


Bild 62: Kumulierter Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes für die Maßnahmenkette 3.

Die wärmetechnische Verbesserung der Gebäudehülle senkt den Gesamtprimärenergiebedarf um 21,6 kWh/m²a. Die Erhöhung der Gebäudedichtheit auf Passivhausniveau bewirkt eine weitere Senkung um 3,2 kWh/m²a. Durch die weitestgehende Vermeidung von Wärmebrücken reduziert sich der Energiebedarf um weitere 6,4 kWh/m²a. In Summe lässt sich durch diese Maßnahmen der Gesamtprimärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade von 231,3 kWh/m²a (Basisvariante) auf 200,1 kWh/m²a senken (Tabelle 51). Dies entspricht einer Verringerung um 13,5 % in Bezug zur Basisvariante. Im Vergleich zum maximal zulässigen Grenzwert gemäß EnEV07 [9] liegt die optimierte Variante um 30,2 % unterhalb dem Anforderungswert.

Tabelle 51: Reduzierung des Primärenergiebedarfs des kleinen Typgebäudes aufgrund der Optimierungen im Rahmen der Maßnahmenkette 3.

Maßnahmenkette 3	Primärenergie	
	Summe [kWh/m ² a]	Differenz zu Basisvariante [kWh/m ² a]
Basisvariante	231,3	-
+ Hülle optimiert	209,7	-21,6
+ Gebäudedichtheit optimiert	206,5	-24,8
+ Wärmebrücken optimiert	200,1	-31,2

5.4.4.4 Maßnahmenkette 4

Im nächsten Beispiel wird die Maßnahmenkette 3 (optimierte Gebäudehülle) mit dem Maßnahmenpaket 1 (optimierte Anlagentechnik) kombiniert. Hierbei werden zunächst die U-Werte der Außenwand, des Dachs, Bodens und der Fenster gemäß Tabelle 50 verbessert sowie die Gebäudedichtheit erhöht und die Wärmebrücken reduziert. Darauf aufbauend werden die Bereiche Sonnenschutz, Beleuchtung, Heizung, Lüftung und Befeuchtung optimiert (Tabelle 46). Tabelle 52 zeigt die einzelnen Maßnahmenpakete in der Zusammenfassung.

Tabelle 52: Zusammenstellung der Optimierungsmaßnahmen im Rahmen der Maßnahmenkette 4.

	Optimierung
Maßnahmenkette 3	Gebäudehülle optimiert Wärmebrücken optimiert Gebäudedichtheit optimiert
Maßnahmenkette 1	Sonnenschutz optimiert Beleuchtung optimiert Heizung optimiert Lüftung optimiert Befeuchtung optimiert

Bild 63 zeigt den Gesamtprimärenergiebedarf der Basisvariante des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade, der Variante mit verbesserter Gebäudehülle (Maßnahmenkette 3) sowie mit zusätzlicher Optimierung der Anlagentechnik (Maßnahmenkette 1).

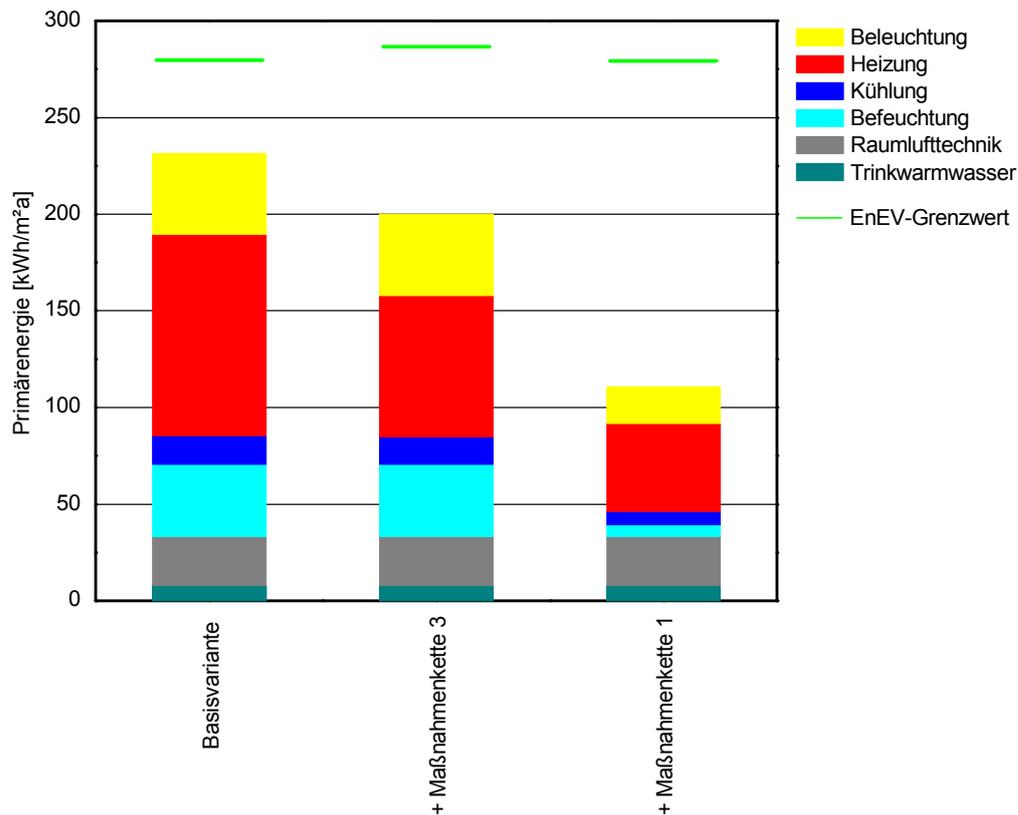


Bild 63: Kumulierter Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes für die Maßnahmenkette 4.

In Tabelle 53 ist der jeweilige Gesamtprimärenergiebedarf der untersuchten Varianten sowie deren Verringerung in Bezug auf die Basisvariante dargestellt. Wie bereits in Kapitel 5.4.4.3 dargestellt, verringert sich der Energiebedarf durch die Verbesserungsmaßnahmen an der Gebäudehülle um 31,2 kWh/m²a. Die zusätzliche Verbesserung der Anlagentechnik reduziert den Gesamtbedarf um weitere 89,4 kWh/m²a. In Bezug zur Basisvariante lässt sich durch die Kombination der beiden Maßnahmenpakete eine Reduzierung des Gesamtprimärenergiebedarfs auf 47,9 % erreichen. Der maximal zulässige Grenzwert nach Energieeinsparverordnung 2007 wird hierbei um 60,4 % unterschritten.

Tabelle 53: Reduzierung des Primärenergiebedarfs des kleinen Typgebäudes aufgrund der Optimierungen im Rahmen der Maßnahmenkette 4.

Maßnahmenkette 4	Primärenergie	
	Summe [kWh/m²a]	Differenz zu Basisvariante [kWh/m²a]
Basisvariante	231,3	-
+ Maßnahmenkette 3	200,1	-31,2
+ Maßnahmenkette 1	110,7	-120,6

5.4.4.5 Maßnahmenkette 5

Bei der letzten betrachteten Maßnahmenkette wird zunächst wieder die Gebäudehülle gemäß Tabelle 50 optimiert. Zusätzlich wird die Anlagentechnik verbessert, wobei auf eine Befeuchtung, Kühlung und mechanische Lüftung verzichtet wird (Maßnahmenkette 2, vgl. Kapitel 5.4.4.2). Als letzte Maßnahme wird der erdgasbetriebene Niedertemperaturkessel durch eine Holzpelletheizungsanlage ersetzt (Tabelle 54). In Bild 64 ist der kumulierte Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade für die einzelnen Maßnahmenpakete dargestellt.

Tabelle 54: Zusammenstellung der Optimierungsmaßnahmen im Rahmen der Maßnahmenkette 5.

	Optimierung
Maßnahmenkette 3	Gebäudehülle optimiert Wärmebrücken optimiert Gebäudedichtheit optimiert
Maßnahmenkette 2	Sonnenschutz optimiert Beleuchtung optimiert Heizung optimiert ohne Befeuchtung ohne Kühlung ohne Lüftung
Wärmeerzeuger	Biomasse (Pellets)

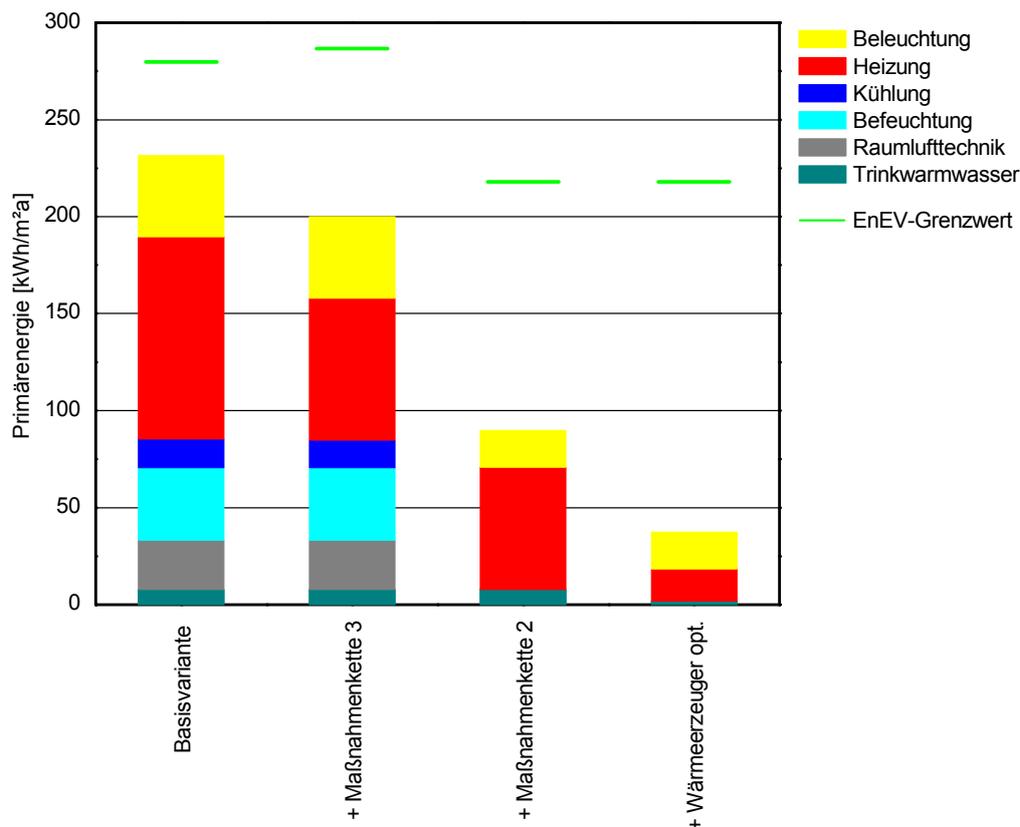


Bild 64: Kumulierter Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes für die Maßnahmenkette 5.

Durch die Verbesserung der Gebäudehülle reduziert sich, wie bereits im vorangegangenen Kapitel dargestellt, der gesamte Primärenergiebedarf um 31,2 kWh/m²a. Eine zusätzliche Optimierung des Sonnenschutzes, der Beleuchtung und der Heizung sowie der Verzicht auf eine Befeuchtung, Kühlung und mechanische Lüftung führt zu einer Verringerung um zusätzliche 110,3 kWh/m²a. Der Einsatz einer Holzpelletheizung schließlich führt zu einer weiteren Reduzierung des Primärenergiebedarfs um 52,4 kWh/m²a. In Tabelle 55 ist der Primärenergiebedarf der einzelnen Maßnahmenpakete sowie die jeweilige Einsparung im Vergleich zur Basisvariante dargestellt. In Bezug zur Basisvariante führen diese Maßnahmen in Summe zu einer Reduzierung auf 16,2 % des ursprünglichen Bedarfs. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass dieses Maßnahmenpaket aufgrund des Verzichts auf Befeuchtung, Kühlung und mechanischer Lüftung unter Umständen zu erheblichen Komforteinbußen führen kann. Je nach gewählter Verglasung, Sonnenschutz und Fassadenvariante kann es während der Sommermonate zu erheblichen Überhitzungen kommen (vgl. Kapitel 4.6).

Tabelle 55: Reduzierung des Primärenergiebedarfs des kleinen Typgebäudes aufgrund der Optimierungen im Rahmen der Maßnahmenkette 5.

Maßnahmenkette 5	Primärenergie	
	Summe [kWh/m ² a]	Differenz zu Basisvariante [kWh/m ² a]
Basisvariante	231,3	-
+ Maßnahmenkette 3	200,1	-31,2
+ Maßnahmenkette 2	89,8	-141,5
+ Wärmeerzeuger	37,4	-193,9

Der Primärenergiebedarf der Basisvariante unterschreitet den maximalen Grenzwert gemäß EnEV07 um 17,2 %. Durch die Verbesserung der Gebäudehülle (Maßnahmenkette 3) wird der zulässige Grenzwert um 30,2 % unterschritten. Das folgende Maßnahmenpaket (Maßnahmenkette 2) unterschreitet den Anforderungswert um 58,8 % und die Summe aller Einzelmaßnahmen führt zu einer Unterschreitung um 82,8 %.

5.4.4.6 Vergleich Maßnahmenketten großes und kleines Typgebäude

Bei der bisher dargestellten energetischen Bewertung der Maßnahmenketten 1 bis 5 wird ausschließlich das kleine Typgebäude mit Fensterbandfassade als Berechnungsgrundlage gewählt. Tabelle 56 zeigt nochmals zusammenfassend den Jahresprimärenergiebedarf der einzelnen Varianten sowie die jeweilige Unterschreitung des maximal zulässigen Grenzwertes gemäß EnEV07. In Tabelle 57 ist der Primärenergiebedarf sowie die Unterschreitung der EnEV07-Anforderung auf der Basis des großen Typgebäudes mit Fensterbandfassade dargestellt. Die einzelnen energetischen Optimierungsmaßnahmen entsprechen den selben Maßnahmenketten wie beim kleinen Typgebäude.

Tabelle 56: Primärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes mit Fensterbandfassade in Abhängigkeit der einzelnen Maßnahmenpaketen.

Maßnahmenkette		Primär-Energiebedarf [kWh/m ² a]	Differenz zu Basisvariante [kWh/m ² a]	Unterschreitung EnEV-Grenzwert [%]
0	Basisvariante	231,3	-	17
1	Sonnenschutz (opt.) + Beleuchtung (opt.) + Heizung (opt.) + Lüftung (opt.) + Befeuchtung (opt.)	137,2	-94,1	50
2	Sonnenschutz (opt.) + Beleuchtung (opt.) + Heizung (opt.) + ohne Befeuchtung, Kühlung, Lüftung	114,0	-117,3	46
3	Gebäudehülle (opt.) + Gebäude-dichtheit (opt.) + Wärmebrücken (opt.)	200,1	-31,2	30
4	3 + 1	110,7	-120,6	60
5	3 + 2 + Wärmeerzeuger (opt.)	37,4	-193,9	83

Im Vergleich zum kleinen Typgebäude liegt der Primärenergiebedarf der Basisvariante des großen Typgebäudes um 15 kWh/m²a niedriger. Dies ist im Wesentlichen auf die kompaktere Bauart des großen Typgebäudes zurückzuführen. Der Energiebedarf der Basisvariante des großen Typgebäudes entspricht hierbei in etwa dem maximal zulässigen Primärenergiebedarf gemäß EnEV07. Zu beachten ist hierbei, dass der maximal zulässige Grenzwert beim großen Typgebäude mit 221,5 kWh/m²a, aufgrund der kompakteren Bauart, um 58,1 kWh/m²a niedriger ist als beim kleinen Typgebäude (279,6 kWh/m²). Insgesamt zeigen die beiden Typgebäude ein ähnliches energetisches Verhalten. Die gewonnenen Aussagen anhand der Analysen am kleinen Typgebäude sind daher sehr gut auch auf das große Typgebäude übertragbar.

Tabelle 57: Primärenergiebedarf des großen Typgebäudes mit Fensterbandfassade in Abhängigkeit der einzelnen Maßnahmenpaketen.

Maßnahmenkette		Primär-Energiebedarf [kWh/m²a]	Differenz zu Basisvariante [kWh/m²a]	Unterschreitung EnEV- Grenzwert [%]
0	Basisvariante	216,1	-	2
1	Sonnenschutz (opt.) + Beleuchtung (opt.) + Heizung (opt.) + Lüftung (opt.) + Befeuchtung (opt.)	124,5	-91,6	41
2	Sonnenschutz (opt.) + Beleuchtung (opt.) + Heizung (opt.) + ohne Befeuchtung, Kühlung, Lüftung	105,8	-110,3	33
3	Gebäudehülle (opt.) + Gebäudedichtheit (opt.) + Wärmebrücken (opt.)	183,6	-32,5	19
4	3 + 1	100,9	-115,2	53
5	3 + 2 + Wärmeerzeuger (opt.)	33,4	-182,7	80

6 Zusammenfassung und Ausblick

Gesamtenergiekonzepte von Gebäuden beinhalten vielfältige Komponenten, die zum Teil energetisch konkurrierend wirken. Sonnenschutzsysteme können die Solareinträge deutlich reduzieren, gleichzeitig aber auch dazu führen, dass die Stromverbräuche für die Beleuchtung ansteigen. Diese erhöhen letztendlich wiederum die Kühllasten. Die einzelnen Komponenten müssen daher im Gesamtkontext betrachtet und bewertet werden. Im Rahmen der hier dargestellten Studie werden am Beispiel von zwei exemplarisch ausgewählten Gebäudetypen aus dem Bereich des Verwaltungsbaus die integralen Wechselwirkungen von Fassadentechnologie, Sonnenschutz, Beleuchtung und anlagentechnischer Ausstattung aufgezeigt und die wesentlichen Potentiale hinsichtlich Energieeffizienz und Behaglichkeitssteigerung dargestellt. Mit Hilfe der Rechenverfahren gemäß DIN V 18599 [4] „Energetische Bewertung von Gebäuden“ werden die Nutz-, End- und Primärenergieaufwendungen für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung bei den unterschiedlichen Gebäude-/Anlagenkombinationen ermittelt. Darüber hinaus werden mit Hilfe von dynamischen Gebäudesimulationen [8] Aussagen in Bezug auf das zu erwartende sommerliche Raumklima abgeleitet.

Verwaltungsgebäude ohne mechanische Kühlung weisen besonders hohe Anforderungen an ein integral abgestimmtes Gebäude-/Anlagenkonzept auf, damit es während der Sommermonate nicht zu einer inakzeptablen Überhitzung der Büroräume kommt. Im Rahmen der hier dargestellten Studie wird aufgezeigt, mit welchen Maßnahmen das sommerliche Wärmeverhalten von Verwaltungsräumen verbessert werden kann. Generell bieten hierzu außen liegende Sonnenschutzsysteme die effektivste Möglichkeit eine starke Aufheizung der angrenzenden Räume zu vermeiden. Innen liegende Sonnenschutzsysteme sind insbesondere in Kombination mit Wärmeschutzverglasung und höheren transparenten Flächenanteilen in Hinblick auf das sommerliche Temperaturverhalten kritisch. Bei Hochverglasten Fassaden kann auch eine Kombination von Sonnenschutzverglasung und innen liegendem Sonnenschutz thermisch kritisch sein. Trotz Einhaltung der Anforderungen nach DIN 4108-2:2003-07 [2] (Vereinfachter Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz) kann es zu deutlichen Überhitzungen kommen. Insbesondere hat hierbei die Steuerung der Sonnenschutzsysteme bzw. das Nutzerverhalten einen wesentlichen Einfluss auf das sommerliche Wärmeverhalten. Besonders bei hohen transparenten Fassadenanteilen sollte ein Betrieb der Sonnenschutzsysteme auch außerhalb der Nutzungszeit mit Hilfe einer automatischen Steuerung erfolgen. Hierdurch kann eine Aufheizung der Räume vor bzw. nach der regulären Arbeitszeit sowie bei Abwesenheit der Nutzer (Dienstreisen, Besprechungen usw.) vermieden werden. Durch eine erhöhte Nachtlüftung kann insbesondere bei hohen wirksamen thermischen Speichermassen das sommerliche Wärmeverhalten deutlich verbessert werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass erhöhte Luftwechselraten während der Nachtstunden auch tatsächlich realisiert werden können. Anforderungen an den Einbruchschutz bzw. Witterungsschutz erschweren häufig die Umsetzung von entsprechenden Konzepten. Eine Erhöhung der wirksamen thermischen Speichermasse kann sich ebenfalls positiv auf das sommerliche Wärmeverhalten auswirken. Dies setzt jedoch voraus, dass sich das Gebäude durch geeignete Maßnahmen (Nachtlüftung, Betonkernaktivierung) auch tatsächlich nachts wieder auskühlen kann. Ansonsten können hohe thermische Speichermassen auch zu einem Aufschaukeln der Raumtemperaturen führen. Osträume zeigen ein vergleichbares sommerliches Wärmeverhalten wie Westräume (jedoch mit zeitlicher Verschiebung der Maximalwerte). Räume an der Südfassade sind in der Regel unkritischer als die an der Ost- und Westseite. Während extremer sommerlicher Witterungsbedingungen kann sich auch bei ansonsten thermisch unkritischen Raumvarianten eine deutliche Überschreitung der zulässigen maximalen Überhitzungsstunden ergeben.

Gebäudekonzepte ohne aktive Kühlung bieten nur bei angepassten Kombinationen von Verglasungen, Sonnenschutzsystemen und transparenten Fassadenflächenanteilen ausreichend Sicherheit für ein behagliches Raumklima während der Sommermonate. Die folgenden Tabellen 58 bis 61 zeigen am Beispiel der im Rahmen der Studie betrachteten Fassadenkonzepte eine grobe Orientierung welche Verglasungen, Sonnenschutzsysteme und transparente Fassadenanteile aus Sicht der Autoren ein kritisches sommerliches Wärmeverhalten aufweisen. Hierbei wird zwischen Varianten mit manueller bzw. automatischer Sonnenschutzsteuerung sowie mit und ohne Nachtlüftung unterschieden.

Tabelle 58: Sommerliches Wärmeverhalten des ausgewählten Beispierraumes mit automatischer Sonnenschutzsteuerung ohne Nachtlüftung.

LF				4108												
FB			4108	4108			4108	4108								
HV			4108	4108			4108	4108			4108	4108				
	Außenjalousie 45° grau	vertikale Markise weiß	innenl. Jalousie 45° weiß	Textilrollo grau	Außenjalousie 45° grau	vertikale Markise weiß	innenl. Jalousie 45° weiß	Textilrollo grau	Außenjalousie 45° grau	vertikale Markise weiß	innenl. Jalousie 45° weiß	Textilrollo grau	Außenjalousie 45° grau	vertikale Markise weiß	innenl. Jalousie 45° weiß	Textilrollo grau
	WSV (2-fach) $U_g = 1,2$ $g_{\perp} = 0,65$				WSV (3-fach) $U_g = 0,6$ $g_{\perp} = 0,50$				SSV (2-fach) $U_g = 1,2$ $g_{\perp} = 0,37$				SSV (2-fach) $U_g = 1,2$ $g_{\perp} = 0,25$			

Tabelle 59: Sommerliches Wärmeverhalten des ausgewählten Beispierraumes mit automatischer Sonnenschutzsteuerung und Nachtlüftung.

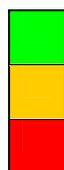
LF																
FB			4108	4108			4108	4108								
HV			4108	4108			4108	4108			4108	4108				
	Außenjalousie 45° grau	vertikale Markise weiß	innenl. Jalousie 45° weiß	Textilrollo grau	Außenjalousie 45° grau	vertikale Markise weiß	innenl. Jalousie 45° weiß	Textilrollo grau	Außenjalousie 45° grau	vertikale Markise weiß	innenl. Jalousie 45° weiß	Textilrollo grau	Außenjalousie 45° grau	vertikale Markise weiß	innenl. Jalousie 45° weiß	Textilrollo grau
	WSV (2-fach) $U_g = 1,2$ $g_{\perp} = 0,65$				WSV (3-fach) $U_g = 0,6$ $g_{\perp} = 0,50$				SSV (2-fach) $U_g = 1,2$ $g_{\perp} = 0,37$				SSV (2-fach) $U_g = 1,2$ $g_{\perp} = 0,25$			

Legende:

LF Lochfassade

FB Fensterbandfassade

HV Hochverglaste Fassade



unkritisch

Grenzbereich

kritisch

~~4108~~

Nachweis DIN 4108-2 nicht erfüllt

Tabelle 60: Sommerliches Wärmeverhalten des ausgewählten Beispielraumes mit manueller Sonnenschutzsteuerung ohne Nachtlüftung.

LF																
FB																
HV																
	Außenjalousie 45° grau	vertikale Markise weiß	innenl. Jalousie 45° weiß	Textilrollo grau	Außenjalousie 45° grau	vertikale Markise weiß	innenl. Jalousie 45° weiß	Textilrollo grau	Außenjalousie 45° grau	vertikale Markise weiß	innenl. Jalousie 45° weiß	Textilrollo grau	Außenjalousie 45° grau	vertikale Markise weiß	innenl. Jalousie 45° weiß	Textilrollo grau
	WSV (2-fach) $U_g = 1,2 \quad g_{\perp} = 0,65$				WSV (3-fach) $U_g = 0,6 \quad g_{\perp} = 0,50$				SSV (2-fach) $U_g = 1,2 \quad g_{\perp} = 0,37$				SSV (2-fach) $U_g = 1,2 \quad g_{\perp} = 0,25$			

Tabelle 61: Sommerliches Wärmeverhalten des ausgewählten Beispielraumes mit manueller Sonnenschutzsteuerung und Nachtlüftung.

LF																
FB																
HV																
	Außenjalousie 45° grau	vertikale Markise weiß	innenl. Jalousie 45° weiß	Textilrollo grau	Außenjalousie 45° grau	vertikale Markise weiß	innenl. Jalousie 45° weiß	Textilrollo grau	Außenjalousie 45° grau	vertikale Markise weiß	innenl. Jalousie 45° weiß	Textilrollo grau	Außenjalousie 45° grau	vertikale Markise weiß	innenl. Jalousie 45° weiß	Textilrollo grau
	WSV (2-fach) $U_g = 1,2 \quad g_{\perp} = 0,65$				WSV (3-fach) $U_g = 0,6 \quad g_{\perp} = 0,50$				SSV (2-fach) $U_g = 1,2 \quad g_{\perp} = 0,37$				SSV (2-fach) $U_g = 1,2 \quad g_{\perp} = 0,25$			

Legende:

LF Lochfassade

FB Fensterbandfassade

HV Hochverglaste Fassade



unkritisch

Grenzbereich

kritisch



Nachweis DIN 4108-2 nicht erfüllt

Der energetische Vergleich beider Typgebäude zeigt, dass bei gleicher baulicher und anlagentechnischer Ausstattung der auf die Nutzfläche bezogene Gesamtprimärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes über dem des großen Typgebäudes liegt. Der Gesamtprimärenergiebedarf ist bei der Lochfassade um 25,5 kWh/m²a, bei der Fensterbandfassade um 15,2 kWh/m²a und bei der Hochverglasten Fassade um 12,5 kWh/m²a höher als beim großen Typgebäude. Insgesamt steigt der Gesamtprimärenergiebedarf mit steigendem A/V-Verhältnis. Eine Zunahme der transparenten Außenflächen führt zu einer Erhöhung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs. Gleichzeitig sinkt jedoch der Energiebedarfs für die Beleuchtung. Insgesamt kommt es zu einer geringfügigen Zunahme des Gesamtprimärenergiebedarfs beginnend von der Lochfassade zur Fensterbandfassade und Hochverglasten Fassade. So liegt der Gesamtprimärenergiebedarf des kleinen Typgebäudes mit Lochfassade bei 230,7 kWh/m²a, mit Fensterbandfassade bei 231,3 kWh/m²a und mit Hochverglaster Fassade bei 243,4 kWh/m²a. Beim großen Typgebäude beträgt der Gesamtprimärenergiebedarf 205,2 kWh/m²a (Lochfassade), 216,1 kWh/m²a (Fensterband) und 230,9 kWh/m²a bei der Hochverglasten Fassade.

Sonnenschutzverglasungen können die Kühllasten deutlich reduzieren. Aufgrund der geringeren solaren Wärmegevinne während der Heizperiode erhöht sich jedoch im Gegenzug der Heizenergiebedarf. Bei den im Rahmen der Studie analysierten Verglasungsvarianten weisen die Gebäudekonzepte mit Dreischeibenwärmeschutzverglasung den geringsten Gesamtprimärenergiebedarf auf. Bei der analysierten Variantenmatrix, bestehend aus unterschiedlichen Verglasungen (Wärmeschutz- und Sonnenschutzverglasungen) sowie unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen (außen und innen liegend) zeigten sich gesamtprimärenergetisch keine signifikanten Unterschiede. Lediglich die Einzelbilanzanteile Heizung, Kühlung und Beleuchtung verschieben sich untereinander. Durch eine kombinierte Anwendung von außen und innen liegenden Sonnenschutzsystemen können die Vorteile beider Varianten ausgenutzt werden. Während außen liegende Sonnenschutzsysteme zu einer Reduzierung der sommerlichen Kühllasten führen, können durch innen liegende Sonnenschutzsysteme während der Heizperiode mehr solare Wärmegevinne zur Verringerung des Heizenergiebedarfes bei gleichzeitiger Sicherstellung von Blendfreiheit genutzt werden.

Bei der Analyse der einzelnen Primärenergieanteile zeigt sich, dass auch im Verwaltungsbau der Anteil zur Beheizung die dominierende Größe darstellt. Ein bedeutender Primärenergieanteil ist darüber hinaus die Beleuchtung. Hier zeigen sich hohe Einsparpotentiale durch eine Präsenzerkennung und eine tageslichtabhängige Steuerung. Bei den Beleuchtungsarten steigt der Energiebedarf von „direkter“ über „direkt/indirekter“ und „indirekter“ Beleuchtung deutlich an. Ein weiterer wesentlicher Primärenergieanteil ist die elektrische Befeuchtung (Referenztechnologie EnEV07 [9]). Durch eine Feuchterückgewinnung (z.B. in Form eines Rotationswärmetauschers) und einem Wechsel von elektrischem zu einem z.B. gasbefeuchten Verdampfer lässt sich dieser Energieanteil deutlich reduzieren. Die Auswahl des Energieträgers für die Wärmeerzeugung hat ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf die Primärenergiebilanz. Insbesondere die Verwendung von biomassebefeuchten Heizkesseln führt, aufgrund der günstigen primärenergetischen Bewertung von nachwachsenden Rohstoffen, zu sehr geringen Bedarfswerten. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Größe Primärenergiebedarf lediglich die Umweltrelevanz der Wärmeerzeugung bewertet. Die Betriebskosten hängen vom Endenergiebedarf ab. Dieser kann in vergleichbarer Größenordnung wie etwa bei gasbefeuchten Systemen sein. Zusammenfassend zeigt sich im Rahmen der hier durchgeführten Studie, dass energieeffiziente Konzepte für Verwaltungsbauten nur durch integral aufeinander abgestimmte und optimierte Maßnahmen an der Gebäudehülle, den Anlagensystemen und deren Steuerungskonzepte realisiert werden können.

7 Literatur

- [1] Erhorn, Hans; Die neue EU-Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“.
- [2] DIN 4108-2:2003-07
Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.
- [3] David, R.; de Boer, J.; Erhorn, H.; Reiß, J.; Rouvel, R.; Schiller, H.; Weiß, N.; Wenning, M.: Heizen, Kühlen, Belüften und Beleuchten, Bilanzierungsgrundlagen zur DIN V 18 599, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart (2006).
- [4] DIN V 18599 Teil 1-10:2007-02
Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.
- [5] DIN EN 13363-1:2007-09
Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen - Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades - Teil 1: Vereinfachtes Verfahren.
- [6] Diplomarbeit Raphaela Zitt,
Studie zur Energieeffizienz innovativer Gebäude-, Beleuchtungs- und Raumkonzepte, 31. März 2008, IBP Holzkirchen.
- [7] Diplomarbeit Andreas Koller,
Studie zur Energieeffizienz innovativer Gebäude-, Beleuchtungs- und Raumklimakonzepte - Analyse des sommerlichen Wärmeverhaltens unterschiedlicher Gebäudekonzepte mit Hilfe dynamischer TRNSYS-Berechnungen, 30. Juni 2008, IBP Holzkirchen.
- [8] TRNSYS Version 16 Documentation, University of Wisconsin, USA (2007).
- [9] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) Vom 24. Juli 2007, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I Nr. 34, ausgegeben zu Bonn am 26. Juli 2007.
- [10] Sinnesbichler, H. et al.: Weiterentwicklung und Evaluierung von Technologien und von Bewertungsmethoden zur Steigerung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EnEff06), IBP-Bericht WTB-02-2007.
- [11] Christoffer, J.; Deutschländer, T.; Webs, M. 2004 Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY, Selbstverlag Deutscher Wetterdienst, Offenbach.
- [12] DIN EN ISO 6946:2003-10, Bauteile, Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient, Berechnungsverfahren.
- [13] DIN EN ISO 13789:1999-10, Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient, Berechnungsverfahren.

- [14] Leitfaden für Energiebedarfsausweis im Nichtwohnungsbau, Dezember 2007, Ausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- [15] DIN EN 15251 :2007-08, Eingangparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden –Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung.
- [16] 2002/91/EG:200212, Richtlinie des Europäischen Parlaments und Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.
- [17] Hauser G., Otto F., Planungsinstrument für das sommerliche Wärmeverhalten von Gebäuden, Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart 1997.
- [18] VDI 2078 : 1996-07, Berechnung der Kühllast klimatisierter Gebäude (VDI Kühllastregeln).
- [19] DIN EN 13779:2007, Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme; Deutsche Fassung.