

Ökologische / ökonomische Bewertung zweier Fassadenkonzepte

- Glasfassade versus Kunststofffassade -

**zur Sanierung eines Verwaltungsgebäudes
der 1960-er Jahre**

**exemplarisch am Verwaltungs- und Betriebsgebäude der
Remscheider Entsorgungsbetriebe, Nordstraße 48, 42853 Remscheid**

Abschlussbericht

**über ein Forschungsprojekt, gefördert unter dem Az 22566
von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

Projektzeitraum: 18.08.2004 bis 31.03.2007

Ökologische / ökonomische Bewertung zweier Fassadenkonzepte

- Glasfassade versus Kunststofffassade -

zur Sanierung eines Verwaltungsgebäudes der 1960-er Jahre

**exemplarisch am Verwaltungs- und Betriebsgebäude der
Remscheider Entsorgungsbetriebe, Nordstraße 48, 42853 Remscheid**

Bewilligungsempfänger:

Remscheider Entsorgungsbetriebe
Nordstraße 48, 42853 Remscheid
www.reb-info.de

Kooperationspartner:

Architektur Contor Müller Schlüter
M. Müller, C. Schlüter, Architekten BDA
Dipl. Ing. R. Fehrman
Hofaue 55, 42103 Wuppertal
www.acms-architekten.de

Bergische Universität Wuppertal
Fachbereich Architektur, btga,
Prof. Dr. Ing. K. Voss,
Dr. Ing. J. Morhenne, Dipl. Ing. P. Engelmann
Pauluskirchstr. 7, 42285 Wuppertal
k.voss@uni-wuppertal.de
www.uni-wuppertal.de

mipsHAUS-Institut gGmbH
Prof. Dr. Ing. Wallbaum (ETH Zürich)
Dipl. Umweltw. C. Kaiser
Hofaue 55, 42103 Wuppertal
holger.wallbaum@ibb.baug.ethz.ch
www.mipshaus.de

Fotos nach der Sanierung:

Tomas Riehle Fotodesigner BFF DFA DWB
Eifelstr. 68, 50677 Köln

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
1. Zusammenfassung	7
2. Einleitung	9
2.1 Struktur des Berichts	9
2.2 Relevanz der Bestandssanierung im Bausektor	10
2.3 Zielsetzung und Anlass des Bauvorhabens	12
2.4 Grundsätzliches zur Energieeffizienz	13
2.5 Grundsätzliches zur Materialeffizienz / Ressourceneffizienz	14
2.5.1 MIPS-Konzept und TMR	14
2.5.2 Kumulierter Energieaufwand (KEA)	16
2.5.3 Global Warming Potential (GWP)	16
2.5.4 Verwendetes Analyseinstrument GaBi	17
2.6 Grundsätzliches zum Kostenmanagement	18
3. Baubeschreibung	19
3.1 Baulicher Zustand des Bestandes	19
3.2 Nutzungen des Bestandes	19
3.3 Umstrukturierung des Bestandes	20
3.4 Grundsätzliche Anforderungen aus dem Nutzerbedarfsprogramm	22
4. Energieeffizienz	23
4.1 Raumklima	26
4.1.1 Simulationen zum Raumklima im Verwaltungsbereich	26
4.1.1.1 Zielsetzung und Problematik	26
4.1.1.2 Parameter des Gebäudekonzeptes	26
4.1.1.3 Parameter der Simulation	26
4.1.1.4 Ergebnisse für die Massivbauetage (1. OG)	27
4.1.1.5 Ergebnisse für die Leichtbauetage (2 OG)	32
4.1.1.6 Festlegungen für die Ausführung	38
4.1.2 Sonderuntersuchungen des Heizenergiebedarfs im Verwaltungsbereich	38
4.1.3 Sonderuntersuchungen zu den Lüfterelementen in der Fassade	39
4.1.3.1 Simulationen zur Abhängigkeit Luftkomfort/ Wärmeverlust	39
4.1.3.2 Messungen zur Lüfteroptimierung (Modifizierung handelsüblicher Lüfter)	41
4.1.3.3 Festlegungen für der Ausführung	42
4.1.4 Dimensionierung der PCM Deckenverkleidung im Leichtbaugeschoss	43
4.1.4.1 Gegenüberstellung der Latentspeicher	43
4.1.4.2 Auswahl des Latentwärmespeichers	44
4.1.5 Simulation zum Raumklima in der Wagenhalle	45
4.1.5.1 Parameterbestimmung in den Wagenhallen (EG und UG)	45
4.1.5.2 Berechnung der Raumkonditionen in den Wagenhallen (EG und UG)	46
4.1.5.3 Festlegungen zur Beheizung der Wagenhallen	49
4.2 Tageslicht / Kunstlicht	50
4.2.1 Festlegungen zur Tageslichtnutzung in der Wagenhalle	50
4.2.2 Festlegungen zur Tageslichtnutzung in der Erschließungszone	52
4.2.3 Simulationen zur Tageslichtnutzung im Verwaltungsbereich	53
4.2.3.1 Simulationen zu Fassadenöffnungen	53
4.2.3.2 Wahl des Sonnenschutzes und der Tageslichtlenkung	56
4.2.4 Simulationen zur Abhängigkeit von Tages- und Kunstlicht	57
4.2.4.1 Grundparameter zur Bürobeleuchtung	57
4.2.4.2 Simulationen zur Bürobeleuchtung	58
4.2.4.3 Auswahl der Bürobeleuchtung	60
4.2.4.4 Berechnungen zur Flurbeleuchtung	60
4.3 Solarsysteme	61
4.3.1 Voraussetzungen und Eingangsdaten	61
4.3.2 Parameter des Messverfahrens	62
4.3.3 Simulationsergebnisse zur Dimensionierung	63

4.3.3.1	Einfluss des Massenstromes	64
4.3.3.2	Einfluss der Speichergröße	64
4.3.3.3	Betrachtung des Gesamtertrages	64
4.3.3.4	Systemverbesserung und Sensitivität	65
4.3.4	Festlegungen zur Ausführung	67
5.	Ressourceneffizienz	68
5.1	Darstellung des Betrachtungsrahmens	68
5.2	Ermittlung der Materialmengen	69
5.3	Umwelteinwirkung des Hinterbaus	71
5.4	Umwelteinwirkung des Wetterschutzes	73
5.4.1	Umwelteinwirkungen von Profilbauglas	73
5.4.1.1	Herstellung und Eigenschaften	73
5.4.1.2	Variante 1 „Wetterschutz aus Profilglas“	74
5.4.2	Umwelteinwirkungen von Kunststoff	75
5.4.2.1	Herstellung und Eigenschaften	75
5.4.2.2	Variante 2 „Wetterschutz aus Polycarbonat-Stegplatten“	76
5.4.2.3	Variante 3 „Wetterschutz aus PMMA- Stegplatten“	77
5.4.2.4	Variante 4 „Wetterschutz aus GFK- Stegplatten“	78
5.4.3	Umwelteinwirkungen des Fassadenzwischenpaneels	80
5.5	Gegenüberstellung der Nutzungs- und Entsorgungsphase	82
5.5.1	Entsorgung des Fassadenhinterbaus	83
5.5.2	Entsorgung des Wetterschutzes	83
5.5.3	Entsorgung der Zwischenpaneele	83
5.6	Gesamtbewertung der Umwelteinwirkungen	83
6.	Kosten	87
7.	Fazit und Ausblick	89
	Literatur	92
	Anlagen	
	Anlage 1 zum Schlussbericht Entwurfskonzept	
	Anlage 2 zum Schlussbericht Auszug Ausführungsplanung	
	Anlage 3 zum Schlussbericht Energieausweis für Nichtwohngebäude	
	Anlage 4 zum Schlussbericht Auszug Fassadenausschreibung	
	Anlage 5 zum Schlussbericht Submission Fassade	
	Anlage 6 zum Schlussbericht Fotodokumentation	
	Anlage 7 zum Schlussbericht Projektdatenblatt	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Materialentnahme pro Jahr in Deutschland (nach Behrensmeier und Bringezu)	10
Abbildung 2: Gegenüberstellung der Materialintensität verschiedener Haustypen	11
Abbildung 3: Luftaufnahme des Betriebsgeländes Nordstrasse 48	13
Abbildung 4: Wirkung der Technosphäre auf die Ökosphäre (Quelle: Wuppertal Institut 1993)	15
Abbildung 5: Beispiel für einen Prozessplan in GaBi	17
Abbildung 6: Ansichten des Bestandsgebäudes Nordstrasse 48 vor der Sanierung.....	19
Abbildung 7: Dokumentation des Bestandsrückbaus und der Bestandsergänzung	21
Abbildung 8: Energieausweis für Nichtwohngebäude	25
Abbildung 9: Fall A, Temperaturen im Ausgangsfall (ohne jede Maßnahme).....	28
Abbildung 10: Fall B, Temperaturen in den Büros, Einfluss der Verschattung (installiert auf der Südseite) ...	29
Abbildung 11: Fall C, Einfluss der Nachtlüftung auf die Temperaturen in den Büros	30
Abbildung 12: Fall D, Einfluss von Sonnenschutzglas auf der Nordseite, Temperaturen im Gebäude (1OG)	31
Abbildung 13: Fall A, Temperaturen im Ausgangsfall (ohne jede Maßnahme) im Leichtbau	33
Abbildung 14: Fall B, Einfluss der Verschattung auf die Temperatur (Leichtbau).....	34
Abbildung 15: Fall C, Einfluss von Verschattung und Nachtlüftung (Leichtbau)	35
Abbildung 16: Fall D, Einfluss von zusätzlichem Sonnenschutzglas (Nordseite) auf die Raumtemperatur	36
Abbildung 17: Fall F, Einfluss von zusätzlicher Masse und PCM-haltigem Putz auf die Raumtemperatur	37
Abbildung 18: Jahresheizwärmebedarf mit verschiedenen Fassadenöffnungen und geöffneten Bürotüren...	40
Abbildung 19: Relative Jahresheizwärmebedarf bezogen auf den Basisfall ohne Öffnungen.....	40
Abbildung 20: Volumenstrom über Differenzdruck Aeromat 150 DD, 3 LF, ohne WS.....	42
Abbildung 21: Wetterbedingungen in einer kritischen Periode	47
Abbildung 22: Raumlufttemperatur im EG in einer kritischen Periode, Darstellung der Varianten 1 u 5.....	48
Abbildung 23: Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Infiltration u. der Luftdichtigkeit der Konstruktion.	48
Abbildung 24: Nord- Ansicht Wagenhalle nach der Sanierung	51
Abbildung 25: Süd- Ansicht Wagenhalle nach der Sanierung.....	51
Abbildung 26: Innenansicht Treppenhaus nach der Sanierung	52
Abbildung 27: West- Ansicht Haupteingang nach der Sanierung	52
Abbildung 28: Variante 1, Visualisierung, bedeckter Himmel mit maximaler Fassadenöffnung.....	53
Abbildung 29: Variante 2, Visualisierung, bedeckter Himmel mit mittlerem geschlossenen Feld.....	54
Abbildung 30: Variante 2, Raumeindruck, bedeckter Himmel mit mittlerem geschlossenen Feld.....	54
Abbildung 31: Variante 3, Öffnung der Mittelzone.....	54
Abbildung 32: Innenraumansicht in der Verwaltung nach der Sanierung	55
Abbildung 33: Innenraumansicht Versammlungsraum nach der Sanierung	55
Abbildung 34: Gegenüberstellung eines konventionellen Sonnenschutzbehangs und RETRO Lux A 80	56
Abbildung 35: Tageslichtreflektion und Durchsicht von RETRO Lux A 80.....	57
Abbildung 36: Anordnung der Bürobeleuchtung	58
Abbildung 37: Gegenüberstellung des Jahresstromverbrauchs V2, V3 und V4 (gemischtes Nutzermodell) ..	59
Abbildung 38: Vergleich der Jahresstromverbräuche unterschiedlicher Nutzermodelle.....	59
Abbildung 39: Innenansicht Flur / mittlere Servicezone	60
Abbildung 40: Warmwassererwärmungsanlage mit Solarkollektoren ohne Umschaltung der Zirkulation	62
Abbildung 41: Abhängigkeit des Kollektorsertrages bei einer Kollektorgröße von 20 m ²	63
Abbildung 42: Abhängigkeit des Kollektorsertrages bei einer Kollektorgröße von 30 m ²	64
Abbildung 43: Nutzbare Energie vom Kollektor und Restwärmebedarf in Abhängigkeit der Kollektorfläche ..	65
Abbildung 44: Modifiziertes Anlagenschema mit Aufschaltung der Zirkulation auf den KW-Zulauf.....	65
Abbildung 45: Nutzbare Energie vom Kollektor und Restwärmebedarf in Abhängigkeit der Kollektorfläche ..	66
Abbildung 46: Solare Deckungsrate in Abhängigkeit zur Kollektorfläche und entnommenen Wassermenge.	66
Abbildung 47: Spezifischer Kollektorsertrag (den Speichern zugeführte Energie)	67
Abbildung 48: Wandaufbau und Fassadengliederung exemplarisch am Außenwandelement Typ W	68
Abbildung 49: Eingaben in GaBi für den Fassadenhinterbau mit Glaswolleämmung.....	70
Abbildung 50: Dämmstoffvergleich für das VuB-Gebäude Nordstraße 48.....	71
Abbildung 51: Umweltindikatoren nach Bestandteilen des Fassadenhinterbaus (absolut).....	72
Abbildung 52: Variante 1 Profilbauglassassade. Umweltwirkung nach Bestandteilen pro m ² Wetterschutz..	74
Abbildung 53: Klassifikation von Kunststoffen (nach Kaltenbach 2003)	75
Abbildung 54: Variante 2 PC-Fassade. Umweltwirkung nach Bestandteilen pro m ² Wetterschutz	77

Abbildung 55: Variante 3 PMMA-Fassade. Umweltwirkung nach Bestandteilen pro m ² Wetterschutz	78
Abbildung 56: GFK-Fassade (UP- Harz). Umweltwirkung nach Bestandteilen.....	79
Abbildung 57: GFK-Fassade(Epoxidharz). Umweltwirkung nach Bestandteilen	80
Abbildung 58: Wetterschutzvarianten im Vergleich (pro m ²).....	81
Abbildung 59: Vergleich zu Ressourceneffizienzpotenzialen innovativer und konventioneller Fassaden	86
Abbildung 60: Auswertungsaufstellung der Ausschreibungsergebnisse.....	87
Abbildung 61: Mehrkosten der Glasbauteile bzgl. der Kunststoffbauteile in der Fassade	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: GWP 100 der Treibhausgase	16
Tabelle 2: Überschreitung von Grenztemperaturen im 1.OG bei verschiedenen Ausstattungen	27
Tabelle 3: Var.- Übersicht im Leichtbau mit Stundenanzahl von Grenzwerttemp.- Überschreitung	32
Tabelle 4: Heizenergiebedarf in Abhängigkeit der Infiltration	38
Tabelle 5: Messergebnisse Aeromat 150 DD, 3 LF, ohne WS	41
Tabelle 6: Kurzübersicht über die untersuchten Varianten	46
Tabelle 7: Einfluss der Infiltration, Nutzung der Büroabluft und der Beheizung.....	47
Tabelle 8: Einfluss der Erdreichtemperaturen	49
Tabelle 9: Materialbedarf für den Wetterschutz aus Profilbauglas (REB gesamt)	74
Tabelle 10: Materialbedarf für den Wetterschutz aus PC-Stegplatten (REB gesamt)	76
Tabelle 11: Materialbedarf für den Wetterschutz aus PMMA-Stegplatten (REB gesamt)	78
Tabelle 12: Materialbedarf für den Wetterschutz aus GFK-Stegplatten (REB gesamt)	79
Tabelle 13: Naturaufwändungen für die Fassaden-Zwischenpaneele aus Aluminium	80
Tabelle 14: Naturaufwändungen für die Fassaden-Zwischenpaneele aus Harzkompositplatten	81
Tabelle 15: Heizungs-Varianten im Vergleich (nach BWG 2004; Wuppertal Institut 2005)	82
Tabelle 16: Umweltwirkung in der Nutzungsphase – mit einer Erdgas-Brennwert-Heizung.....	82
Tabelle 17: Ressourcenaufwändungen für Var. 1- 4 (absolut für eine Nutzungsdauer von 20 Jahren)	84
Tabelle 18: Ressourcenaufwändungen Wetterschutz der Var. 1- 4 (absolut / Nutzungsdauer von 20 J.)	85

1. Zusammenfassung

Das Verwaltungs- und Betriebsgebäude Nordstraße 48 in Remscheid wurde zu Beginn der 60er-Jahre als dreigeschossiger Stahlbeton- Skelett- Bau mit elementierter Betonfassade erstellt und nachträglich in Leichtbauweise um ein viertes Geschoss erweitert. Es wies erhebliche strukturelle, konstruktive und bauphysikalische Defizite auf:

- Fassade in bautechnisch sehr schlechtem Zustand
- Dachflächen undicht und sanierungsbedürftig
- Bauzeitbedingt schlechter Dämmstandard, insbesondere Probleme in den Anschlussbereichen (Wärmebrücken und Luftdichtheit)
- Technische Gebäudeausrüstung insgesamt am Ende der technischen Lebenserwartung angelangt
- Unzureichender Brandschutz
- Als öffentliches Gebäude nicht behindertengerecht
- Kein Aufzug
- Hauptzugang des Gebäudes sehr schlecht auffindbar
- Haupttreppenhaus in Teilen nicht mit 2 m Kopfhöhe umgesetzt

Bis zur Sanierung wurde das Gebäude durch Ämter und Eigenbetriebe der Stadt Remscheid genutzt. Durch die Schaffung neuer zentralisierter Verwaltungsstrukturen zur Kostenoptimierung innerhalb der Stadtverwaltung wurden viele der vorhandenen Nutzungen mit Ausnahme der Remscheider Entsorgungsbetriebe an andere Standorte verlegt. Gleichzeitig wurden bis dahin ausgelagerte Unterbetriebe der Remscheider Entsorgungsbetriebe am Standort Nordstraße 48 zentralisiert.

Nach der Sanierung beinhaltet das Verwaltungs- und Betriebsgebäude ca. 2.600 m² Bürofläche und Sozialräume (Duschen, Umkleiden etc.) sowie ca. 2.000 m² große Wagenhallen für den betriebsinternen Fuhrpark. Die Bauwerkskosten betragen für diese Sanierungsmaßnahme EUR 3,78 Mio. bzw. EUR 717,- pro m²Brutto Geschoßfläche (BGF) (Kostengruppen 300, 400, Bruttobetrag).

Ähnlich zu vielen Gebäudesanierungen in der Praxis beschränkt sich die Sanierung nicht nur auf die Mängelbeseitigung und energetische Verbesserung. Die Sanierung steht in Konkurrenz zu einem Neubau. Es wurden wesentliche Verbesserungen in der Nutzungsqualität und dem Erscheinungsbild sowie eine signifikante Senkung des Energieverbrauchs und der Betriebskosten mit möglichst reduziertem Ressourcenaufwand realisiert.

Im Rahmen eines mit Fördermitteln der DBU unterstützten integralen Planungsprozesses wurden durch das Fachgebiet Bauphysik und technische Gebäudeausrüstung der Bergischen Universität Wuppertal Simulationen und Sonderuntersuchungen zu den Themenbereichen Licht, Raumklima, Energie und Solaranlagen durchgeführt. Zum Einsatz kamen die Simulationsprogramme TRNSYS, TRNFLOW, Radiance und DaySim.

Das mipsHAUS-Institut erstellte eine ökologische Bewertung der alternativ durchgeführten Ausführungsplanung zu Glas- und Kunststofffassadenvariante. Hierzu wurden ausgewählte Leitindikatoren, die den Ressourcenverbrauch als TMR (total material requirement), den kumulierten Energieverbrauch (KEA VDI-Richtlinie 4600) sowie das GWP 100 (global warming potential) ausweisen, ermittelt.

Zu den Glas- und Kunststofffassadenvarianten erfolgte eine parallele Ausschreibung durch das beauftragte Architekturbüro, Architektur Contor Müller Schlüter.

Die Ergebnisse der Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Energieeffizienz Der im Vorfeld der Sanierung ermittelte Primärenergiebezug für das Bestandsgebäude lag in der Größenordnung von 440 kWh/m²a. Dieser gemessene Wert wurde über eine Berechnung des Bestandsgebäudes gemäß DIN V 18599 grundsätzlich bestätigt. (427 kWh/m²a).

Nach der Realisierung des Bauvorhabens wurde im ausgestellten Energieausweis für Nichtwohngebäude ein zukünftiger Primärenergiebedarf von 96,8 kWh/m²a und damit in Bezug auf den Ausgangswert als Einsparung ein Faktor 4 ausgewiesen.

Ressourceneffizienz Die Fassade wurde aufgrund des notwendigen vollständigen Austausches der Gebäudehülle und den damit einhergehenden energetischen Abhängigkeiten zum maßgebenden Bauteil der Umbaumaßnahme.

Gemäß der Berechnungen nach dem mips-Ansatz konnte nachgewiesen werden, dass die ausgewählte Leichtbauweise mit vorgehängter PC- Kunststoff- Mehrstegplatte im Vergleich zu einer Bauweise mit vorgehängten Gussglasprofilen zu Ressourceneinsparungen mit dem Faktor 2 führen. Im Vergleich zu einer konventionellen Sanierung mit WDVS liegen diese bei dem Faktor 5, bzgl. einer vorgehängten Naturstein- bzw. Aluminiumfassade bei dem Faktor 25.

Baukosten Einleitend wurden ein Neubau inkl. des Abrisses des Bestandsgebäudes und die realisierte Umbauvariante gegenübergestellt. In der Machbarkeitsstudie wurde aufgezeigt, dass ein Neubau mit gleichem Ausführungsstandard ca. 40 % teurer gewesen wäre.

Die Fassade wurde in der Umbaumaßnahme alternativ in zwei Ausführungsvarianten geplant und ausgeschrieben. Vor einem identischen Hinterbau als vorelementierte Holztafelkonstruktion wurden jeweils gebäudehoch U- Profilbaugläser bzw. Polycarbonat-Mehrstegplatten geplant.

Die Ausschreibung wurde gemäß VOB / A durchgeführt. Von allen Bietern, die sich am Ausschreibungsverfahren beteiligt haben, wurde die Ausführungsvariante mit Polycarbonat- Mehrstegplatten preisgünstiger angeboten. Die Differenz bezogen auf den Bauteil Fassadenverkleidung ohne Hinterbau lag zwischen 14,1 und 37,5 %. Es ergibt sich eine mittlere Einsparung in Höhe von 23%.

Zusammenfassend kann nach Realisierung der Bestandssanierung folgendes festgestellt werden:

Das Verwaltungs- und Betriebsgebäude Nordstraße 48 in Remscheid konnte durch integrale Planungsprozesse mit umfassenden Sanierungsansätzen hinsichtlich Nutzungsqualität, Gestaltung und Energiebilanz kostengünstig auf Neubaustandard gebracht werden. Durch die Nutzung des vorhandenen Rohbaus und den Einsatz neuer Baumaterialien, wie hier Kunststoffmehrstegplatten, wird eine hohe Ressourceneffizienz bzgl. der Erstellung, Nutzung und Entsorgung eines Gebäudes erreicht.

Die in diesem Bericht aufgezeigten Planungsgrundsätze können, unter Berücksichtigung der jeweiligen projektspezifischen Parameter, auf den zahlreich in Deutschland verfügbaren Gebäudebestand aus den 60er-Jahren übertragen werden. Die aufgezeigten Planungsergebnisse stellen in diesem Sinn einen Beitrag zur zwingend benötigten Erstellung eines Maßnahmenkatalogs für energie- und ressourcensparendes Bauen im Bestand dar, wie er z. B. gegenwärtig in einem mehrjährigen Forschungsprojekt in der Schweiz erstellt wird.

Darüber hinaus wird in einem nach geschalteten Monitoring, welches im Rahmen einer Bundesförderung über BMWi/EnSan gefördert wird, das Gebäude im Betrieb gemessen und fein justiert.

2. Einleitung

2.1 Struktur des Berichts

Der vorliegende Bericht beginnt einleitend mit einem kurzen Einblick zur Relevanz des Bausektors hinsichtlich der Herausforderungen und Chancen der Bestandsnutzung. Es werden die Zusammenhänge zwischen Zielsetzung und Anlass des Bauvorhabens und der umzusetzenden Energie- und Materialeffizienz erläutert.

Nachfolgend werden in Kapitel 3 in der Baubeschreibung der Zustand des Gebäudes, dessen Nutzung und Umstrukturierung sowie die Anforderungen aus dem Nutzerbedarfsprogramm erläutert. Diesbezügliche Planunterlagen sind in der Anlage beigefügt.

Die Untersuchungen zum Projektthema werden erläutert in Kapitel 4 „Energieeffizienz“ (Aufwendung für die Nutzung des Gebäudes) und Kapitel 5 „Ressourceneffizienz“ (Umwelteinwirkungen aus der Umbaumaßnahme). Neben den Hauptbetrachtungen zum Thema Glasfassade versus Kunststofffassade wird bewusst die Vernetzung in den Gesamtplanungsprozess mit aufgeführt. Hierbei werden die über die Grundleistungen der Architekten und Fachingenieure hinausgehenden, das Projektthema tangierenden Berechnungen und Simulationen erläutert. Auf diese Weise sollen die vielschichtigen Entscheidungsebenen des Bauherrn und seines Planungsteams aufgezeigt werden, die in der Realisation dieses Bauvorhaben von Bedeutung gewesen sind.

Im nachfolgenden Kapitel 6 wird der über eine parallele Ausschreibung nach VOB/A erstellte Kostenvergleich der beiden alternativ geplanten Fassadenausführungen dokumentiert und erläutert.

Die themenbezogene Einteilung in die Kapitel dient der besseren Übersicht und Ausweisung der Zusammenhänge. Die Aufteilung stellt keine zeitliche Abfolge der Untersuchungen dar, die Themenfelder wurden parallel bearbeitet.

Abschließend wird in Kapitel 7 ein Fazit mit Ausblick auf die weitere Anwendung der Ergebnisse aus diesem Bericht gezogen.

2.2 Relevanz der Bestandssanierung im Bausektor

Mit ungefähr einem Drittel aller direkten und indirekten Stoffströme trägt der Bausektor nach wie vor in nahezu allen Europäischen Ländern einen großen Teil zum jeweiligen nationalen Ressourcenverbrauch bei.

Diese hohen Aufwendungen an Material und Energie lassen ein entsprechend großes Einsparpotenzial vermuten. Wenngleich der Bau eines Gebäudes schon aufgrund seines hohen Eigengewichtes einen hohen Materialeinsatz erfordert, lässt sich dieser über Bau-, Nutzungs- bzw. Erneuerungs- und Entsorgungsphasen durch vorausschauende Planung und flexiblen Einbau wesentlich optimieren.

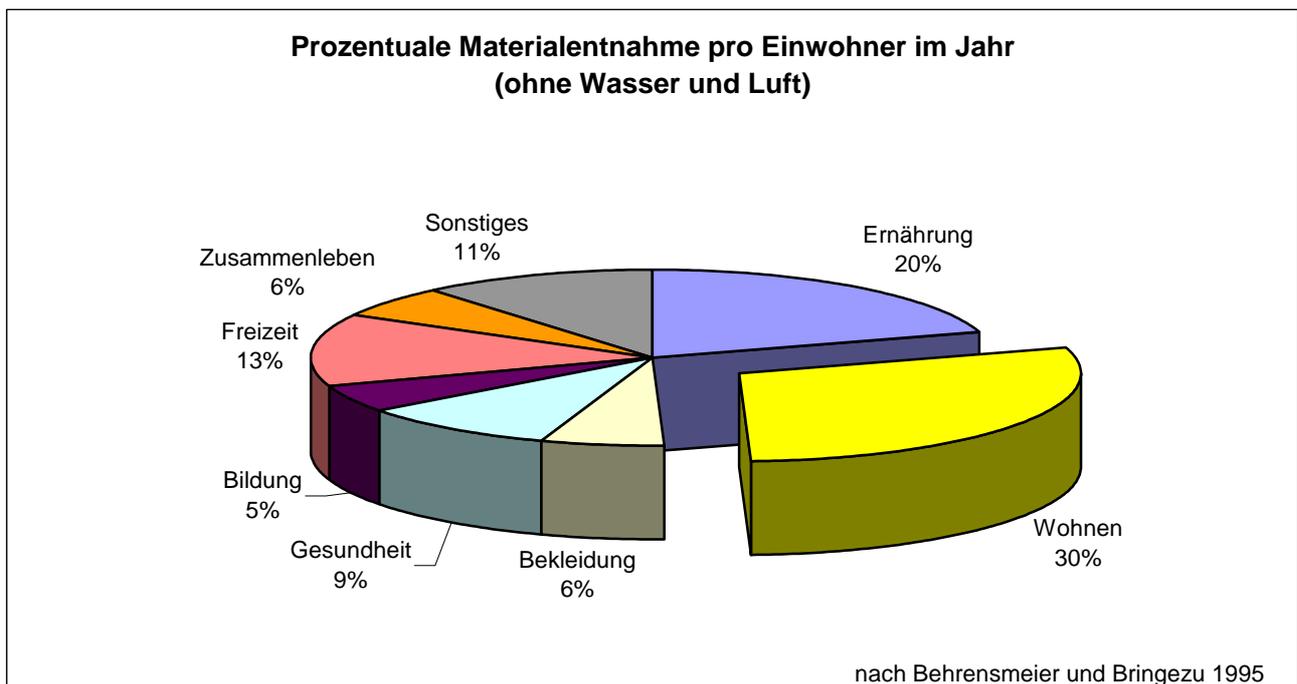


Abbildung 1: Materialentnahme pro Jahr in Deutschland (nach Behrensmeier und Bringezu)

Der drastische Anstieg der Energiepreise zu Beginn der 70er Jahre brachte ein Umdenken im Hinblick auf den Umgang mit dem Heizenergiebedarf von Gebäuden und läutete damit indirekt auch erste Ressourceneffizienz- Bemühungen ein.

Im Bereich der Energieeffizienz¹ konnten seither über die Implementierung der Energieeinsparverordnung EnEV auch wegen der erfreulichen Erfolge von freiwilligen Maßnahmen, wie z.B. der Einführung des Passivhausstandards oder des MINERGIE bzw. MINERGIE-P-Labels in der Schweiz, gute Fortschritte erzielt werden.

Die zweite Säule der Ressourceneffizienz, nämlich die Materialeffizienz, war neben der Energieeffizienz bis vor einigen Jahren ein Stiefkind von Politik, Gesellschaft und Wirtschaft. Erst mit dem wirtschaftlichen Aufschwung der sogenannten BRIC-Staaten (Brasilien, Russland, Indien und China) und den damit in einigen Bereichen sehr offensichtlich zu Tage getretenen Materialversorgungsengpässen rückte die Materialeffizienz in das Bewusstsein der Öffentlichkeit. In den erst Ende der 90er Jahre eingeleiteten

¹ nur Verbrauchsenergie bzgl. der Nutzung, keine Herstellungsenergie für das Gebäude

diesbezüglichen Analysen wurde langsam die weit reichende Bedeutung eines ganzheitlichen Ressourcenmanagements deutlich.

Untersuchungen des Wuppertal Institutes für Klima, Umwelt, Energie GmbH (www.wupperinst.org) und des mipsHAUS-Institutes (www.mipshaus.de) haben die Abhängigkeiten und Verhältnisse der Material- und Energieströme für die Entwicklung der Ressourcenproduktivität aufgezeigt. In jüngsten Studien des mipsHAUS-Institutes konnte nachgewiesen werden, dass die Mengen von Material und Energie für die Erstellung und Instandhaltung eines Gebäudes die Aufwendungen für die Beheizung des Gebäudes um das Mehrfache übersteigen.

Die diesbezüglichen Untersuchungen haben ebenfalls aufgezeigt, dass die erstellten Energiespar- und Passivhäuser nicht unbedingt auch lebenszyklusweit weniger ressourcenintensiv sind.²

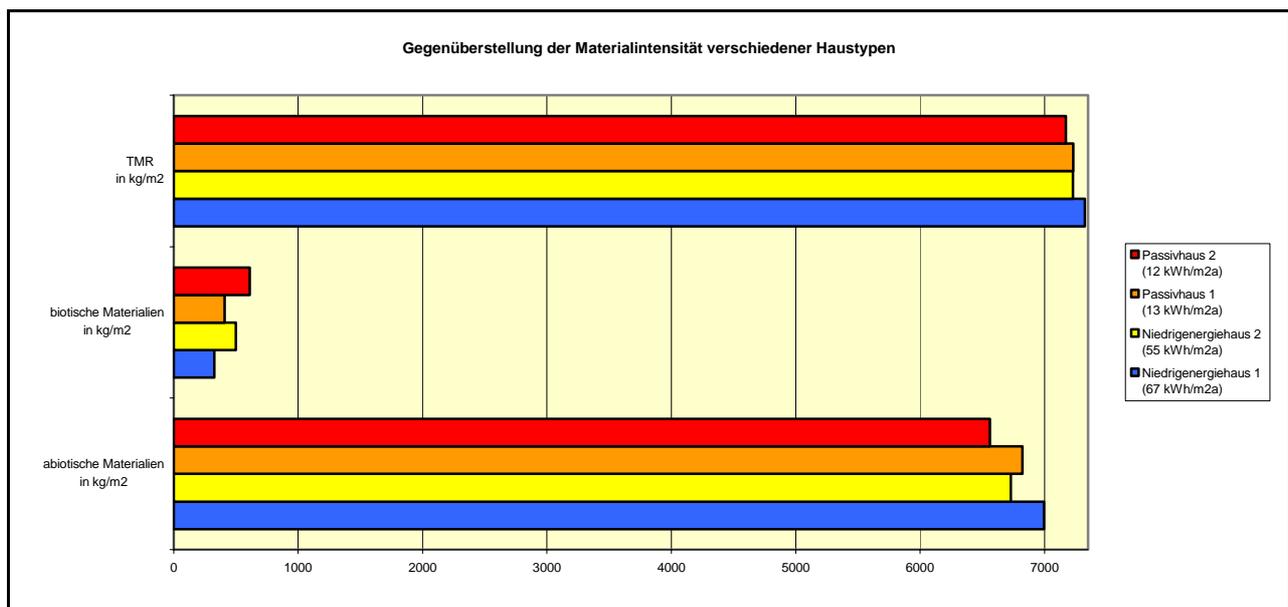


Abbildung 2: Gegenüberstellung der Materialintensität verschiedener Haustypen³

Eine parallele Analyse der Energie⁴- und Materialeffizienz und der Abgleich der zu treffenden Maßnahmen aus den beiden Säulen der Ressourceneffizienz ist daher unumgänglich, jedoch nach wie vor nicht gängige Praxis.

Darüber hinaus kommt der Sanierung von Gebäuden eine besondere Bedeutung zu.

„Gebäude sind langlebig. So sind zwei Drittel der im Jahr 2030 bewohnten Häuser heute gebaut, jedes Jahr kommen nur 1% Neubauten dazu.“ (Fachinformationszentrum Karlsruhe 2002, S.1) Betrachtet man den Materialbestand von ca. 27.221 Mio. t im Bausektor und vergleicht dann den direkten und indirekten Materialinput von 1.287 Mio t beim durchschnittlichen Hausbau mit dem hiermit realisierten neuen Materialbestand von nur 790 Mio t⁵ wird offensichtlich, dass der Erhalt und die Wiederverwendung dieses Materialbestandes eines der größten realisierbaren Ressourceneffizienzpotenziale darstellen.

Zur Nutzung dieser möglichen Ressourceneinsparpotenziale ist es erforderlich, die Weiterentwicklung ökologischer Standards durch Modellprojekte mit Vorbildcharakter als sog. „Best-Practices“ zu unterstützen und öffentlichkeitswirksam darzustellen sowie eine Basis ökologischer Grundinformationen bereitzustellen.

² Nach Wallbaum und Herzog 2000, vgl. Spies-Wallbaum 2002; Wuppertal Institut 2003; Wuppertal Institut 2000

³ nach Wuppertal Institut 2000

⁴ Herstellungs- und Nutzungsenergie

⁵ vgl. Schmidt-Bleek et al. 1999

Mit der vorliegenden Arbeit, der Begleitung der Sanierung des Verwaltungs- und Betriebsgebäudes der Remscheider Entsorgungsbetriebe in der Nordstrasse 48 in Remscheid wird dieser Ansatz weiterverfolgt und zugleich den Leitlinien⁶ der Remscheider Entsorgungsbetriebe Rechnung getragen.

2.3 Zielsetzung und Anlass des Bauvorhabens

Die Studie unterstützt exemplarisch die Planung und Realisierung eines innovativen Sanierungskonzepts für den 4-geschossigen Altbau der Entsorgungsbetriebe der Stadt Remscheid. Das Gebäude ist zu Beginn der 60-er Jahre als Stahlbeton- Skelett- Bau mit elementierter Betonfassade erstellt. Es weist hinsichtlich seiner Struktur und Ausstattung erhebliche Defizite auf, die zu einem unwirtschaftlichen Betrieb, Fehlbelegungen und im Jahr 2005 möglicherweise zu Leerständen geführt hätten.

Die aufgezeigten Defizite stellen den „typischen“ Handlungsbedarf dar, der sich für die Betreiber und demzufolge für die Architekten und Ingenieure in zunehmendem Maße im Umgang mit dem Bestand ergibt.

Durch Umstrukturierung des Gebäudes, Zentralisierung der Unterbetriebe an diesem Standort und die Sanierung und Modernisierung des Gebäudekomplexes soll der wirtschaftliche Betrieb wieder hergestellt werden. Als städtisches Ver- und Entsorgungsunternehmen sieht sich der Betreiber verpflichtet, die Grundsätze des innovativen Unternehmens auch in dem umgebauten Gebäude des Hauptstandortes zu präsentieren.

Neben der Neuorganisation der Grundrisse stellt die Erneuerung der Fassade einen wesentlichen Bestandteil der Sanierungsmaßnahme dar. Von den untersuchten Materialien sind Holz- und Metallfassaden wegen des nicht gewünschten Erscheinungsbildes, aus brandschutztechnischen Gründen (Sonderbau nicht geringer Höhe) und bzgl. der Metallfassade wegen der ressourcenintensiven Erstellung über den Vorentwurf nicht weiter berücksichtigt worden.

Der Entwurf der Fassaden sollte mit Glas oder Kunststoff- Materialien aufgrund des gewünschten, sich öffnenden Images und wegen der durch die Architekten aufgezeigten möglichen Potenziale bzgl. der Energieverbräuche weiter verfolgt werden.

Lichtdurchlässige Kunststoffprodukte haben in der Architektur in den letzten Jahren einen festen Platz bekommen. Wo geringes Gewicht, eine hohe Belastbarkeit oder niedrige Kosten gefordert sind, scheinen sie oft Vorteile gegenüber konventionellen Konstruktionen aus Glas zu bieten. Herrschte bis vor einigen Jahren noch das zum Teil berechtigte Vorurteil, dass viele Kunststoffe unter UV-Strahlung vergilben und als minderwertiges, kurzlebiges Billigprodukt einzustufen sind, so werden sie heute als Ausdruck einer zeitgemäßen Architektur eingesetzt und haben sich hinsichtlich des UV- Schutzes maßgebend verbessert.

Es gilt nun zu untersuchen, in wie weit diese Entwicklung nur eine Modeerscheinung darstellt oder aufgrund der verbesserten Qualität und Vielfalt der Ausgangsstoffe und ihrer Modifikatoren eine nachhaltige Alternative zu Glasprodukten entstanden ist.

Diese Gegenüberstellung von Fassadenvarianten mit Kunststoff und Glas und die Dokumentation des Entscheidungsprozesses soll in der die Sanierung begleitenden Studie erfolgen. Es sollen dabei auch die Dämm- und Belichtungsfunktion, die passive und aktive Solarenergienutzung, gestalterische und ökonomische Konsequenzen und die „ökologischen Rucksäcke“ bei der Gewinnung der Rohstoffe und bei der Verarbeitung zu den Bauteilen untersucht werden.

Mit dem so gewählten Verfahren sollen verallgemeinerbare Bewertungskriterien an einer zu realisierenden Baumaßnahme unter praxisgerechten Bedingungen ermittelt werden. Die von einem öffentlichen Bauherrn initiierte Studie konkretisiert damit konsequent den seitens des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnwesen herausgegebenen Leitfaden Nachhaltiges Bauen.

⁶ „Gesundheit, Hygiene, Schutz der Gewässer und der Umwelt – das sind die Leitlinien unseres Handelns.“ <http://www.reb-info.de/wirueberuns.html> (Suche am 07.06.2005)



Abbildung 3: Luftaufnahme des Betriebsgeländes Nordstrasse 48

2.4 Grundsätzliches zur Energieeffizienz

Das Klima innerhalb eines Gebäudes soll den Nutzern unabhängig vom Außenklima einen Aufenthalt in behaglichem Umfeld ermöglichen. Das Behaglichkeitsempfinden wird dabei von mehreren Faktoren, insbesondere auch mit ihrer gegenseitigen Abhängigkeit, beeinflusst. Dabei ist die Raumtemperatur nach wie vor ein zentrales Kriterium für die Bewertung der Behaglichkeit. Die Raumlufthygiene erlangt jedoch wegen der luftdichten Gebäudehüllen des Neubaustandards zunehmend an Bedeutung.

In zahlreichen Normen (DIN 1946, 4108-2), Verordnungen (Energieeinsparverordnung) und Richtlinien (Arbeitsstättenrichtlinien) werden Grenzwerte festgelegt. Nutzflächen in Gebäuden, die nicht auf 20°C erwärmt werden können oder die sich im Sommer häufig und für längere Zeiträume über 26°C erwärmen, entsprechen nicht den Regeln der Technik. Die für das Behaglichkeitsempfinden maßgeblichen physikalischen Kenngrößen wie Raumlufttemperatur, Raumluftfeuchte, Temperatur der raumumschließenden Oberflächen, Luftbewegung in Körpernähe, Raumausleuchtung und Tageslichtnutzung werden in, der die Sanierungsmaßnahme begleitenden Studie über Simulationen untersucht und bewertet.

Ziel des Sanierungskonzeptes ist es, die baulichen und anlagentechnischen Maßnahmen so zu wählen, dass bei verbesserter Behaglichkeit gleichzeitig der Energieeinsatz für die Konditionierung des Gebäudes reduziert wird.

Ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist es dabei zunächst durch bauliche Maßnahmen den erforderlichen Energieeinsatz zur Schaffung behaglicher Raumzustände zu minimieren. Der darüber hinaus noch notwendige Energieeinsatz sollte mit möglichst effizienter Technik und unter Einbeziehung regenerativer Energiequellen gedeckt werden. Zur Erreichung der oben aufgeführten Ziele werden folgende Schritte durchgeführt:

- Kritische Hinterfragung der Anforderung der Nutzer
- Berücksichtigung der örtlichen Klimarandbedingungen
- Reduzierung des Nutzenergiebedarfs durch bauliche Maßnahmen
- Optimierung des Endenergiebedarfs durch effiziente Anlagentechnik
- Optimierung des Primärenergiebedarfs durch Auswahl geeigneter Energieträger

2.5 Grundsätzliches zur Materialeffizienz / Ressourceneffizienz

Die Betrachtung der Material- und Energieverbräuche für die Erstellung und den Umbau von Gebäuden hat im öffentlichen Bewusstsein noch keinen Platz eingenommen. Dies fällt auch deshalb schwer, da die Auswirkungen für den Nutzer nicht unmittelbar erfahrbar sind. Während er den Einfluss des Verbrauchs von Nutzungsenergie über die empfundene Behaglichkeit und die Höhe der Rechnungen des Energieversorgers unmittelbar erfahren kann sind die Herstellungsprozesse von Baustoffen und Gebäuden nicht ablesbar. Aus diesem Grund werden die Grundsätze zur Ressourceneffizienz einleitend ausführlicher erläutert.

Für die vorliegende planungsbegleitende Betrachtung unterschiedlicher Fassadenausführungen wurden folgende Umweltindikatoren ausgewählt:

- Total Material Requirement (TMR)
- Kumulierter Energieaufwand (KEA)
- Global Warming Potential (GWP 100 Jahre)

2.5.1 MIPS-Konzept und TMR

Unter den zahlreichen Versuchen die Umweltverträglichkeit von Produkten und Gütern entlang des gesamten Produktlebenszyklusses näherungsweise zu bestimmen (z.B. Ökobilanzierung) haben sich viele Verfahren als zu aufwändig und für die schnelle, die Planung eines Bauvorhabens begleitende Anwendung als nicht geeignet herausgestellt. Langfristig sollte die praxisorientierte Bewertung hinsichtlich des Materialbedarfs ähnlich automatisiert funktionieren wie die des Energiebedarfs, d. h., dass beispielsweise die Energieeinsparverordnung als Ressourceneinsparverordnung weiter entwickelt werden könnte.

Ein Schritt in diese Richtung wird seitens des mipsHAUS-Institut unternommen, welches sich methodisch auf das von Prof. F. Schmidt-Bleek am Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie entwickelte MIPS-Konzept stützt. Diese international anerkannte Bewertungsmethode wird im mipsHAUS- Institut praxisorientiert für den Bausektor weiterentwickelt.

MIPS steht für „Materialinput pro Serviceeinheit“ und ist ein Maß, welches den lebenszyklusweiten Ressourcenverbrauch ablesbar macht. Hier werden auf einfachere Weise als bei einer herkömmlichen Ökobilanz nach DIN/ISO 14040 konsequent alle „Verbräuche“ von der Rohstoffgewinnung bis zum Rückbau eines Gebäudes näherungsweise auf der Inputseite erfasst. Dabei unterliegt MIPS der vereinfachenden Annahme, dass alle Inputs irgendwann in der einen oder anderen Form zu Outputs werden, d.h. eine Optimierung/Minimierung der Inputs zieht automatisch eine Reduktion der Outputs nach sich. Für die mit den Inputs verbundenen Umweltwirkungen gilt dabei generell, je weniger Material in die Technosphäre gelangt, sei es auch nur für eine sehr kurze Zeit, desto weniger werden natürliche Stoffflüsse und Kreisläufe beeinflusst, d.h. desto weniger Stoffe werden in die Natur abgegeben und belasten die Umwelt.

Der gemessene Materialinput wird erfasst nach 5 Aufwand- Kategorien:

- abiotische Rohstoffe
- biotische Rohstoffe
- Wasser
- Luft
- Boden

Bei der Auswertung der Ergebnisse ist es häufig sinnvoll und zulässig, die Ergebnisse der Kategorien „abiotische Rohstoffe“, „biotische Rohstoffe“ und den Wert für Erosion aus der Kategorie „Boden“ gleichwertig zusammenzufassen.⁷

Die Summe dieser Kategorien ergibt den Leitindikator für Ressourcenintensitätsbetrachtungen nach dem MIPS-Konzept „**Total Material Requirement (TMR)**“ oder zu deutsch „Globaler Materialaufwand (GMA)“.

Betrachtet man die Vorteile des MIPS-Konzeptes, so werden auch seine Grenzen deutlich. Dem Vorteil, dass allgemein richtungssichere Aussagen getroffen werden können, steht gegenüber, dass bei der Betrachtung einiger Details MIPS, als unspezifischer Indikator, naturgemäß keine Aussagen liefern kann. Eine Betrachtung des toxikologischen Potenzials ist in einer mips-Analyse nicht enthalten und sollte immer begleitend durchgeführt werden. Die meisten dieser Fragestellungen werden jedoch im Rahmen des Umwelt- oder Chemikalienrechts ohnehin betrachtet. MIPS zielt nicht darauf und ist auch nicht geeignet, die bestehende Gefahrstoffpolitik umfänglich zu ersetzen; allerdings ermöglicht MIPS eine aussagekräftige und richtungssichere Beurteilung der Umweltwirkung von Produkten und Dienstleistungen.⁸

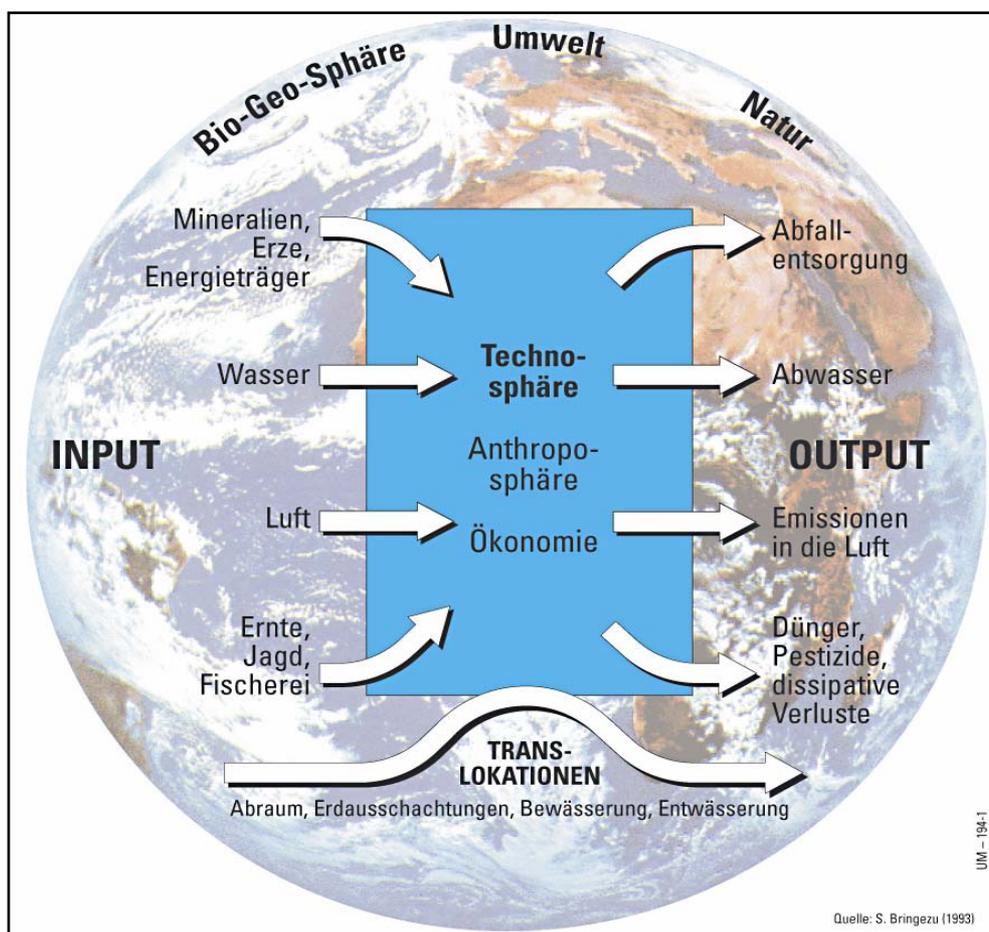


Abbildung 4: Wirkung der Technosphäre auf die Ökosphäre (Quelle: Wuppertal Institut 1993)

Der aus MIPS-Indikatoren gewonnene Indikator TMR wird in der vorliegenden Untersuchung neben GWP100 und KEA erhoben, er ist unter den bisher vorgeschlagenen Indikatoren der umfassendste und wurde als alleinstehender Indikator (bzw. als alleinstehendes Indikatorenset) entwickelt.

⁷ Vgl. Ritthoff et al. 2002

⁸ Vgl. hierzu auch Wuppertal Institut 2003

2.5.2 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

Der kumulierte Energieaufwand (KEA) umfasst gemäß VDI 4600 die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands, der im Zusammenhang mit der Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines ökonomischen Gutes, in diesem Fall der Erneuerung der Gebäudefassade, entsteht oder ihm ursächlich zugewiesen wird.

Der kumulierte Energieaufwand für die Herstellungsphase ergibt sich aus der Summe des Primärenergieaufwandes (in MJ) für die Gewinnung und Herstellung der Fertigungs-, Hilfs- und Betriebsstoffe sowie Betriebsmittel.

Der kumulierte Energieaufwand für die Nutzungsphase ergibt sich aus der Summe der primärenergetisch bewerteten Energieaufwendungen für den Betrieb oder die Nutzung des Gebäudes. Neben dem Betriebsenergieverbrauch beinhaltet der KEA der Nutzungsphase auch den Energieaufwand für die Herstellung und Entsorgung von Ersatzteilen, von Hilfs- und Betriebsstoffen sowie Betriebsmitteln, die für den Gebäudebetrieb und die Wartung erforderlich sind. Der Jahresheizwärmebedarf wird auf Basis der Bauphysik, der Gebäudegeometrie und der klimatischen Verhältnisse am Standort bestimmt. Unter Berücksichtigung des Versorgungssystems (Heizung, Warmwasser, Lüftung) und des Nutzerverhaltens wird der verbleibende Heizenergiebedarf bestimmt. In der Planungsphase einer Sanierungsmaßnahme müssen an dieser Stelle Prognosewerte zu Grunde gelegt werden. In der Praxis können Energieaufwendungen in der Nutzungsphase nutzerbedingt in positiver oder negativer Weise von den Prognosewerten abweichen, wenn Hinweise zur Gebäudebelüftung sowie zur Nutzung und Wartung der Gebäudetechnik missachtet werden. Vor Beginn der Sanierung wurde deshalb das bisherige Nutzerverhalten festgestellt und bei den Planungen berücksichtigt. Für den vorliegenden ökologischen Vergleich verschiedener Fassadenvarianten sind im Hinblick auf Handlungsempfehlungen für die betrachteten Ausführungsvarianten in der Nutzungsphase insbesondere der prognostizierte Jahresheizenergiebedarf, eventuelle Pflegeaufwendungen und ggf. Instandsetzungsaufwendungen zu berücksichtigen.

Der kumulierte Energieaufwand für die Entsorgung ergibt sich aus der Summe der primärenergetisch bewerteten Energieaufwendungen, die sich bei der Fassadenentsorgung, d.h. dem Ausschleusen aus dem Nutzungskreislauf, ergeben. Mögliche Entsorgungswege sind die Deponierung, energetische Verwertung, das Recycling oder Downcycling. Im Rahmen der vorliegenden Fassadenbewertung waren an dieser Stelle keine Prognosewerte möglich.

2.5.3 Global Warming Potential (GWP)

Das Global Warming Potential (GWP) ist ein Indikator für die Klimawirksamkeit, d.h. ein Maß für die Störung des Gleichgewichts zwischen einstrahlender Solarenergie und an den Weltraum abgegebener langwelliger Strahlung bezogen auf einen bestimmten Zeitraum (hier 100 Jahre). Gase, die in der Atmosphäre verhindern, dass langwellige Infrarotstrahlung auf direktem Weg von der Erdoberfläche ins Weltall gelangt, werden als Treibhausgase bezeichnet. Um Treibhausgase trotz unterschiedlicher Wirksamkeit und Verweildauer untereinander vergleichen und in ihrer Gesamtwirkung beurteilen zu können, werden sie in CO₂-Äquivalente umgerechnet.

Tabelle 1: GWP 100 der Treibhausgase⁹

Treibhausgas	CO ₂ -Äquivalent
CO ₂	1
CH ₄	21
HFKW	140 bis 11.700/ Mittelwert: 2,53
FKW	6.500 bis 9.200/ Mittelwert: 7.614
N ₂ O	310
SF ₆	23.900

⁹ Vgl. <http://www.rweschottsolar.com/de/cs/416/website.aspx>, (Suche am 04.11.2005)

2.5.4 Verwendetes Analyseinstrument GaBi

Zur Durchführung der Materialintensitätsanalysen in diesem Projekt wurde die Ökobilanzierungssoftware GaBi 4.0 (Ganzheitliche Bilanzierung) des IKP Universität Stuttgart und der PE Product Engineering GmbH verwendet.¹⁰ Das Softwareprogramm GaBi 4.0 ist als ein spezifisches Datenbanksystem zur Erstellung von Lebenszyklusbilanzen konzipiert und unterstützt Anwender beim Verwalten großer Datenmengen.

Die In- und Outputs der einzelnen Prozessschritte (Baustoffgewinnung, Gebäudeerstellung, Nutzung, Entsorgung) werden innerhalb der Prozesselemente von GaBi quantitativ erfasst. Die einzelnen Prozesselemente für den Sanierungszyklus werden in einer graphischen Darstellung zu Prozessplänen modelliert, auf deren Grundlage ökologische Bilanzen und Analysen erstellt und anhand unterschiedlicher Kriterien ausgewertet werden.

Die umfassenden Daten des mipsHAUS-Instituts wurden in GaBi 4.0 integriert und, soweit erforderlich und möglich, durch zum System gehörende Sachbilanz-Daten ergänzt.

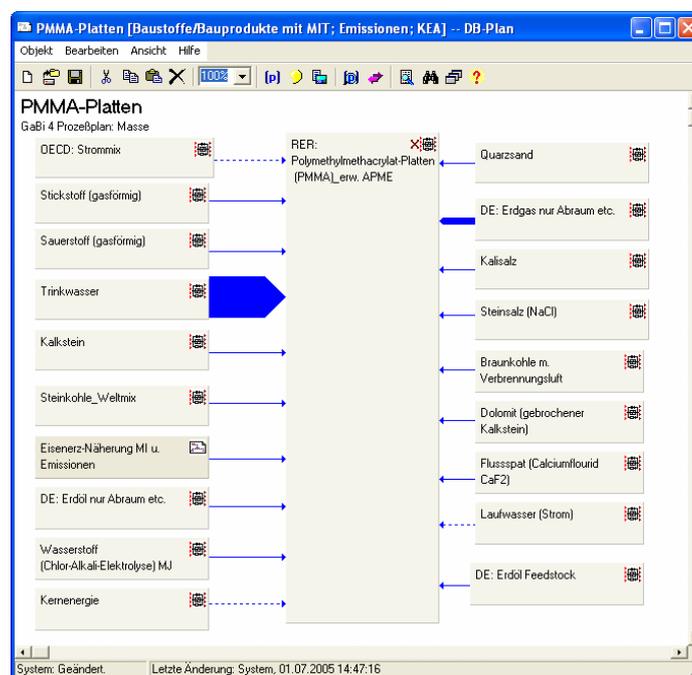


Abbildung 5: Beispiel für einen Prozessplan in GaBi

Zur Erreichung der oben genannten Ziele wurden folgende Schritte durchgeführt:

- Ermittlung der in den verschiedenen Ausbauvarianten zu verwendenden Materialien und Materialmengen (Datenerhebung),
- Identifikation von ressourcenintensiven Bauelementen und Baustoffen sowie Abschätzung und Recherche zusätzlicher Grundlagen
- Abschätzung des Naturaufwandes für die Fassadenkonstruktionen anhand ausgewählter Leitindikatoren unter Berücksichtigung des Erstellungsaufwands, der Lebensdauer und der möglichen Entsorgungswege (quantitative Schätzung von Ressourcengewinnung bis zur Erstellung, qualitative Betrachtung von Nutzungsaufwänden und Entsorgungsphase).

¹⁰ Ursprünglich war im Rahmen des vorliegenden Projektes eine Verwendung der durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Software LEGOE/LEGEP geplant. Nach einer ersten Testphase wurde jedoch wegen der zum Zeitpunkt der Untersuchung bestehenden großen Schwierigkeiten bzgl. der Erstellung von neuen Bauteilen hierauf verzichtet.

Die unterschiedlichen ökologischen Parameter und Indikatoren (TMR, GWP und KEA), die wie o. a. Unterschiedliches abbilden, werden im Bericht in Überschriften und Abbildungen vereinfachend unter dem Arbeits- Begriff „Umweltwirkungen“ zusammengefasst, wobei angemerkt werden muss, dass sich die Verfasser der Ungenauigkeit der Begriffsbestimmung bewusst sind, da KEA und TMR keine Umweltwirkungen im eigentlichen Sinn darstellen.

2.6 Grundsätzliches zum Kostenmanagement

Neben den vorstehend beschriebenen Bewertungen sind die Investitions- und Unterhaltskosten die maßgebenden Faktoren bezüglich der Realisierbarkeit von Baumaßnahmen. Insbesondere bzgl. Renovierungs- und Modernisierungsmaßnahmen sind allgemein verfügbare Baukosten- Datenbanken für die Entscheidungsfindung gerade in den ersten Leistungsphasen der Planung eines Gebäudes notwendig.

So haben beispielsweise die Architektenkammern aller Bundesländer 1996 das Baukosteninformationszentrum, BKI genannt, gegründet. Hier werden Erfahrungswerte aus realisierten Bauvorhaben in Objektdatenbanken auf der Basis von qualifizierten Abrechnungen von realisierten Baumaßnahmen eingepflegt. Diese objektspezifischen Kostenkennwerte für die Kostengruppen nach DIN 276 dienen einer differenzierteren und damit qualifizierten Kostenermittlung in zukünftigen Planungen.

Gerade im Bereich der Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen, aber auch bei der innovativen Verwendung neuer Baustoffe ist eine kontinuierliche Einpflegung neuer Daten in diese Dateien notwendig. Die in diesem Bauvorhaben dokumentierten Ergebnisse werden in diesem Sinn allgemein zugänglich gemacht.

Für die in der vorgenannten Untersuchung ausgewählten alternativen Fassadensysteme mit Gussglas bzw. Kunststoffmehrstegplatten erfolgte eine Parallelausschreibung. Hierbei wurde Wert darauf gelegt, dass die Konstruktionen hinsichtlich Ihrer Qualitäten und bauphysikalischen Eigenschaften gleichwertig sind.

Die Ausschreibung wurde, da es sich um einen öffentlichen Bauherrn handelt, gemäß VOB/A durchgeführt. Die Submissionsergebnisse stellen somit aufgrund der in einem solchen Verfahren nicht zulässigen Verhandlung der Preise einen realistischen und endgültigen Preisspiegel dar. Es wurde dabei angestrebt, möglichst aus allen Bundesländern und dem umliegenden Ausland Angebote einzuholen, um so ggf. regionale Abweichungen feststellen zu können.

Zur Erreichung der o.g. Ziele wurden folgende Schritte durchgeführt:

- Verbindliche Definition der Qualitäten für beide Ausführungsvarianten
- Formulierung identischer Vertragsbedingungen für beide Ausführungsarten
- Abfrage der Einheitspreise getrennt nach Konstruktionsgruppen zur Feststellung der ökonomisch maßgebenden Fassadenbauteile
- Zulassung von Alternativangeboten zwecks Ermöglichung betriebsbedingter bzw. regionalbedingter Kostenoptimierungsfaktoren
- Aufstellung von differenzierten Preisspiegeln

3. *Baubeschreibung*

3.1 *Baulicher Zustand des Bestandes*

Das Verwaltungs- und Betriebsgebäude Nordstraße 48 in Remscheid wurde zu Beginn der 60er Jahre als dreigeschossiger Stahlbeton- Skelett- Bau erstellt. Es diente ursprünglich als Betriebsgebäude für den städtischen Fuhrpark (Müllabfuhr, Straßenreinigung, Werkstätten). In einem nachträglich in Leichtbauweise aufgesetzten 4. Geschoss waren Büroräume für das städtische Hochbauamt sowie Büro- und Sozialräume für eine Straßenmeisterei untergebracht. Es wies hinsichtlich seiner Struktur und Ausstattung 2004 erhebliche bautechnische Defizite auf:

- Fassade in bautechnisch sehr schlechtem Zustand
- Dachfläche undicht und sanierungsbedürftig
- Bauzeitbedingter schlechter Dämmstandard, insbesondere Probleme in Anschlussbereichen (Wärmebrücken und Luftdichtigkeit)
- Technische Gebäudeausrüstung insgesamt am Ende der technischen Lebenserwartung angelangt
- Unzureichender Brandschutz
- Als öffentliches Gebäude nicht behindertengerecht, z. B. kein Aufzug
- Zugang des Gebäudes sehr schlecht auffindbar
- Haupttreppenhaus in Teilen nicht mit 2 m Kopfhöhe gesetzt

Diese Defizite entsprachen somit in keiner Weise den Anforderungen an ein modernes Büro- und Betriebsgebäude und führten zu einem unwirtschaftlichen Betrieb.



Abbildung 6: Ansichten des Bestandsgebäudes Nordstrasse 48 vor der Sanierung

3.2 *Nutzungen des Bestandes*

Die im Gebäude untergebrachten Nutzungen waren seit den 60er Jahren unverändert geblieben. Das Raumprogramm wurde somit nicht den organisatorischen Veränderungen und Neuausrichtungen innerhalb der Stadtverwaltung Remscheid angepasst.

Größter Nutzer und gleichzeitig Eigentümer des Gebäudes waren die Remscheider Entsorgungsbetriebe (REB) mit dem Arbeitsbereich Abfallwirtschaft, die als organisatorisch eigenständiger Betrieb der Stadt Remscheid u. a. die Aufgaben des städtischen Fuhrparks übernommen hatten. Das Bestandsgebäude wurde in den beiden unteren Etagen (durch die Hangsituation sind beide Etagen anfahrbar) als Wagenhalle und Lagerbereich genutzt. Die beiden oberen Geschosse wurden als Büro- und als Sozialräume von Teilen des städtischen Gebäudemanagement sowie einer städtischen Straßenmeisterei genutzt. Die Bürobereiche waren als konventionelle Einzelbüros mit innen liegendem, nicht natürlich belichtetem Erschließungsflur gegliedert. Im restlichen Bereich des Gebäudes befanden sich neben einem Versammlungsraum die Wasch- und Duschbereiche.

Neben dem Standort an der Nordstraße war ein weiterer zentraler Betriebsbereich der REB in einem zweiten Betriebsgebäude untergebracht. Zur Optimierung der Arbeitsabläufe und zur Kostenoptimierung wollten die REB ihre gesamten Betriebsbereiche an einem Standort zentralisieren. Hierzu bot sich der Standort Nordstraße an, da der zweite Betriebsstandort nur angemietet war und das Mietverhältnis kurzfristig gelöst werden konnte.

Weiterhin gab es Überlegungen innerhalb der Stadtverwaltung, die städtischen Nutzerämter aufgrund der schlechten Gebäudesubstanz an andere Standorte zu verlagern, und hierbei die Organisationseinheiten in einem optimierten Raumprogramm zentral zusammenzufassen. Eine solche Verlagerung hätte in der Nordstraße einen Leerstand von ca. 1000 m² im Verwaltungsbereich und 700 m² in den Wagenhallen zur Folge gehabt. Hierdurch ergab sich für die REB ein zusätzlicher Handlungsdruck.

3.3 Umstrukturierung des Bestandes

Durch Umstrukturierung des Gebäudes, Zentralisierung der Unterbetriebe der Remscheider Entsorgungsbetriebe an diesem Standort sowie durch die Sanierung und Modernisierung des Gebäudekomplexes sollte der wirtschaftliche Betrieb wieder ermöglicht werden. Als städtisches Ver- und Entsorgungsunternehmen mit modernen Grundsätzen hatte der Betreiber den Wunsch, die Grundsätze des innovativen Unternehmens auch in dem umgebauten Gebäude des Standortes zu präsentieren. Nach der Sanierung beinhaltet das Gebäude Büro- und Sozialräume mit großen Wasch- und Duschbereichen für das Personal der Entsorgungsbetriebe (ca. 2.600 m²) sowie den Platz für deren Fuhrpark (ca. 2.000 m² Wagenhallen).

Durch wirtschaftlichere Ausnutzung der verfügbaren Flächen und Nutzung von Synergieeffekten aus der Zusammenlegung der Unterbetriebe konnte der bisherige Flächenbedarf um ca. 15% reduziert werden und ein Neubau von Verwaltungsbereichen komplett vermieden werden. An der südlichen Böschungskante des Betriebshofes, bzgl. derer ohnehin ein Sanierungsbedarf bestand, konnte durch Anbau einer eingeschossigen Wagenhalle, die gleichzeitig die Stützwandfunktion des Geländes übernahm, das geforderte Raumprogramm erfüllt werden.

Im Rahmen der Grundlagenermittlung zur Baumaßnahme konnte nachgewiesen werden, dass trotz der erheblichen baulichen Mängel eine Sanierung gegenüber einem Abriss und Neubau ökonomisch und ökologisch von Vorteil ist. Die Gründe hierfür liegen im hohen Wert bzw. den hohen Entsorgungskosten der Tragstruktur (Stahl- Beton- Skelett). Somit fiel die Entscheidung für eine grundlegende Sanierung. Diese Entscheidung ist grundsätzlich auf ähnliche Baumaßnahmen übertragbar.

Als spezifisch für dieses Gebäude war darüber hinaus die besondere Gründungssituation im ehemaligen Deponiegelände zu betrachten. Daraus resultiert, dass der Kostenvorteil der Sanierungsmaßnahme bzgl. des Abrisses und Neubaus mit knapp 40% höher liegt als die übliche Differenz von durchschnittlich eher ca. 20%.

In den Wagenhallen im Unter- und Erdgeschoss mussten nur geringfügige Umstrukturierungen vorgenommen werden. Im übrigen Gebäude waren durch umfangreiche Umbau- und Sanierungsmaßnahmen die nachstehend aufgeführten Qualitäten zu realisieren:

- Eindeutiger Haupteingang / Adresse des Gebäudes
- Öffentlicher Bereich mit Publikumsverkehr
- Natürlich belichtete horizontale und vertikale Erschließung
- Aktivierung des Daches als „fünfte“ Fassade mit Belichtung und Belüftungsöffnungen
- Behindertengerechtes Gebäude
- Ausbildung von Organisationseinheiten mit gemeinsamen Aufenthaltsbereichen
- Erweiterung des Mittelflures zur Erschließungszone mit eingestellten Serviceeinheiten
- Technische Ausstattung des Gebäudes auf Neubaustandard
- Raumklima gemäß den aktuellen Gesetzen und Verordnungen
- Primärenergiebedarf auf dem gesetzlichen Neubaustandard
- Ressourcenschonender Umbau

Maßgebend für die Umorganisation des Gebäudes ist die Aktivierung des zum Pfortner hin orientierten Westgiebels. Hier wird in der ehemaligen PKW-Halle im Erdgeschoss ein Foyerbereich ausgebildet, über den der seitlich angestellte Treppenturm mit Aufzug und das eingerichtete Kundenzentrum erschlossen werden. Im 1. und 2. Obergeschoss wird über die mittige Erschließungsstrasse und die Belichtung über die Westfassade bzw. über das Dach ein neues Rückgrat des Gebäudes erstellt. In diesem werden über die eingestellten farbigen Servicekuben unterschiedliche Aufenthaltsbereiche strukturiert, um die die einzelnen Teamgruppen organisiert sind.

Die Strukturanpassung erfolgte unter Beibehaltung der Bestandstragstruktur. Neue Bauteile, wie z. B. der Treppenturm, wurden additiv an das Gebäude angestellt, für die neuen Fassadenöffnungen in den Büros wurden nur nicht tragende Gebäudeteile zurückgebaut.



Abbildung 7: Dokumentation des Bestandsrückbaus und der Bestandsergänzung

3.4 Grundsätzliche Anforderungen aus dem Nutzerbedarfsprogramm

Die Remscheider Entsorgungsbetriebe werden unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten eigenständig geführt und als technisches, innovatives Unternehmen in der Öffentlichkeit präsentiert. Als städtisches Ver- und Entsorgungsunternehmen sieht sich der Betreiber verpflichtet, die Grundsätze des Unternehmens auch in dem umgebauten Gebäude des Standortes zu präsentieren.

Aus dieser Verpflichtung heraus wurde den Architekten und Ingenieuren die Aufgabe gestellt, neue Techniken und Materialien aufeinander abgestimmt unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten einzusetzen. Im Vordergrund stehen nicht nur die Investitionskosten, sondern auch die Betriebskosten.

Die Machbarkeit wurde mit Umbau- und Belegungsplänen untersucht und parallel das Anforderungsprofil und Nutzerbedarfsprogramm des Bauherrn in Zusammenarbeit mit den Architekten und Ingenieuren erstellt. Dieser hier zusammenfassend aufgeführte Abstimmungsprozess wird über die in der Anlage beiliegenden bebilderten Dokumentationen vertiefend erläutert.

Image / Außendarstellung

Die klassischen Tätigkeiten wie Müllentsorgung, Straßen- und Kanalreinigung sowie Streu- und Sonderdienste erfolgen heutzutage mit sehr hochwertigem Gerät. Auflagen bzgl. Sicherheit und Umweltschutz haben auch diesen Bereich technisiert. Dieser „neue“ technische und „saubere Umgang“ auf den oben genannten Arbeitsfeldern wird durch den Betreiber seit Jahren in der Öffentlichkeit imageprägend präsentiert und soll nun auch in der Darstellung des Standortes ablesbar werden. Begriffe wie Transparenz, Offenheit, technische Perfektion, Innovation, Einfachheit und Modernität wurden seitens des Bauherrn in der Firmenvorstellung benutzt und durch die Architekten in architektonische Leitbilder umgesetzt.

Image / Materialität

In einem 2. Arbeitsschritt wurden Materialien mit ihrem Image und ihren Eigenschaften durch die Architekten vorgestellt und die Anwendbarkeit für den Standort mit dem Bauherrn diskutiert. Nach der ersten Auswahl von Metall, Glas und Kunststoff wurden schließlich Glas und Kunststoff ausgewählt. Mit diesen Materialien kann auf die sehr unterschiedlichen Funktionsbereiche und die damit verbundenen sehr differenzierten Anforderungen eingegangen werden. Über eine durchlaufend transparente bzw. transluzente Fassade kann ein einheitliches Erscheinungsbild des gesamten Gebäudes erreicht und die nachstehend aufgelisteten, seitens des Bauherrn gewünschten, Innovationen realisiert werden.¹¹

Innovation Solarfassade

Ein wichtiges Anliegen des Bauherrn ist es, solare Energien zu nutzen. Dies macht insbesondere hinsichtlich des erheblichen täglichen Warmwasserbedarfs Sinn. Hier soll untersucht werden, inwiefern über separate Kollektorflächen auf dem Dach oder in die Fassade integrierte Kollektoren die solaren Gewinne effektiv genutzt werden können. Abhängigkeiten zu aktiven und passiven Systemen in der Fassade wurden im Vorentwurf hierzu seitens der Architekten erläutert.

Innovation Tageslichtnutzung

Aufgrund der Gebäudebreite des Bestandes, die im Hallenbereich notwendig ist und im Verwaltungsbereich zu einer innenliegenden Besprechungs- und Nebenraumzone führt, wurde untersucht, wie mit den oben angeführten Materialien eine Optimierung der Tageslichtnutzung möglich ist¹². Die Weiterleitung des Tageslichts über Reflektoren, TWD und Mehrstegplatten wurde in unterschiedlichen Szenarien erläutert. Insbesondere in den Hallen- und Empfangsbereichen kann hier eine maßgebende Reduzierung der künstlichen Belichtung und Verbesserung der Arbeitsplatzqualität bei geeignetem Fassadenaufbau erzielt werden.

¹¹ Um Vorbehalte auszuräumen, musste die Qualitäten des Baustoffes Kunststoff im Fassadenbau dem Bauherrn über Fachliteratur und Besichtigungen von Reverenzobjekten eingehend erläutert werden.

¹² Grundsätzlich ist eine Tageslichtlenkung nur mit Glas und Kunststofffassaden möglich, deshalb wurde eine Metallverkleidung in der weiteren Entwurfsplanung nicht weiter verfolgt.

Innovation Nachtauskühlung / Latentwärmespeicher

Zu einem innovativen Energiekonzept gehört auch die Vermeidung einer Klimatisierung des Gebäudes, selbstverständlich bei Einhaltung der Arbeitsstättenverordnung und Richtlinien. Es soll auch insbesondere das Zusammenwirken der Fassaden, der Gebäudelüftung, der Wärmeeinträge und der Nachtauskühlung durch Low- Tec- Lüftung und Berücksichtigung von ausreichenden Speichermassen untersucht werden. Hier ist auf Grund der Ausbildung des 2. Obergeschosses in Leichtbauweise eine passive Kühlung ggf. über die Verwendung von Latentwärmespeichern zu ermöglichen.

Fassadentechnik / Vorfertigung

Ziel der Planung ist es, die oben aufgelisteten Qualitäten in ein elementiertes Fassadensystem zu integrieren. Möglichst großformatige Tafeln mit Abmessungen von ca. 5 x 8 m sollen vor den Rohbau gestellt werden. Über eine solche vorgefertigte Fassade in Tafelbauweise kann der Bauablauf maßgebend verkürzt werden. So können die Baukosten reduziert und Ausführungsfehler vor Ort vermieden werden. Zusätzliche Effekte durch Illumination der transluzenten Fassade sind seitens des Bauherrn gewünscht.

4. Energieeffizienz

Je nach Form des Baukörpers (Kompaktheit) und je nach Ausbildung der Hülle (Baustoffe, Orientierung und Größe der Glasflächen) und der konstruktiven Struktur des Gebäudes (Massivbau, Leichtbau) ergeben sich in Abhängigkeit zum Außenklima unterschiedlich stark schwankende Innenraumtemperaturen. Sofern sie nicht den definierten Komfortstandard erreichen, treten in unterschiedlich großem Umfang Störungen im Behaglichkeitsempfinden der Nutzer auf. Diese Störungen müssen dann durch Anlagentechnik beseitigt werden, wenn eine bauliche Optimierung nicht mehr möglich ist.

Für die Sanierung und Modernisierung des Verwaltungs- und Betriebsgebäudes Nordstraße 48 stand in der energetischen Sanierung die Verbesserung des baulichen Standards bei max. möglicher Minimierung der Anlagentechnik im Vordergrund. Die Verbesserung der Wärmedämmung, die Erneuerung der Fenster, die Beseitigung von Wärmebrücken, die Reduzierung des Wärmeeintrags durch Sonnenschutzmaßnahmen, die Aktivierung der vorhandenen und die Nachrüstung von Speichermasse in Form von Latentspeichern wurden als mögliche bauliche Maßnahmen aufeinander abgestimmt. Das natürliche Lüftungsverhalten des Gebäudes wurde durch witterungs- und einbruchgeschützte Fassadenlüfter verbessert und durch den Einbau einer mechanischen Unterstützung (Abluftanlage) präzise gesteuert. Über die nächtliche Erhöhung der Volumenströme erfolgt die Nachtauskühlung.

Der Tageslichtanteil bei der Beleuchtung wird durch Vergrößerung der Fensterflächen in Kombination mit Maßnahmen zur Tageslichtoptimierung erhöht. Insbesondere bei Nichtwohngebäuden sollte ein möglichst gleichmäßiger und weit in den Raum reichender Tageslichtanteil angestrebt werden. Es wurde hierbei berücksichtigt, dass große Fensterflächen im Sommer die thermische Last erhöhen und die dann erforderlichen Sonnenschutzvorrichtungen die Tageslichtausbeute verringern können.

Mittels der die gesetzlich geforderten energetischen Nachweise ergänzenden zusätzlichen Berechnungen und Simulationen wurden die oben aufgeführten Abhängigkeiten fokussiert betrachtet. Diese Untersuchungen werden nachstehend erläutert. Die diesbezüglich aufgezeigten Betrachtungsweisen sind grundsätzlich, wenn auch selbstverständlich nicht 1:1 übertragbar, auf vergleichbare Sanierungsmaßnahmen anwendbar.

Zusammenfassend wurden folgende Maßnahmen zur Minderung des Energieverbrauchs realisiert:

Wärmeschutz

- Vollständig neue, industriell vorgefertigte Holzleichtbaufassade mit Dämmstärken von 160 bis 240 mm mit Kunststoff-Mehrfachstegplatten als Außenhaut
- Luftdichte und wärmebrückenarme Bauweise

- Wärme- bzw. Sonnenschutzverglasungen mit $U=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ mit wärmegeprägten Abstandshaltern
- Zusätzliche Dämmung des Daches und des Bodens zur Wagenhalle
- Durch den konsequenten baulichen Wärmeschutz liegt der berechnete Transmissionswärmeverlustwert HT' mehr als 40% unter dem für einen Neubau nach EnEV zulässigen Wert

Lüftung

- Optimierte Lufthygiene durch Betrieb einer Ventilator-unterstützten Lüftung als Abluftanlage (1-facher Luftwechsel). Die Zuluft strömt dezentral über akustisch bedämpfte Außenluftdurchlasselemente mit automatisch verstellbaren Querschnittsöffnungen in der Fassade nach
- Frostfreihaltung der gesamten Wagenhallen¹³ durch Einblasen der Abluft aus dem Bürotrakt, somit entfallen hier die gesamte Heizungsinstallation sowie der Energieverbrauch infolge von Heizbetrieb, Zirkulation und Fehlbedienung
- Lüftung mit Wärmerückgewinnung über ein Kreislaufverbundsystem für den gesamten Sozialtrakt

Wärmeversorgung

- Solar unterstützte Trinkwasserwärmung (Duschbetrieb mit ca. 1.000 l/d Warmwasserbedarf) durch eine 30 m² große Flachkollektoranlage auf dem Dach des Gebäudes. Eine zunächst angedachte fassadenintegrierte Systemlösung wurde im Rahmen der Planung verworfen, da diese wirtschaftlich nicht vertretbar war
- Nacherwärmung und Raumheizung über einen Gas-Brennwertkessel

Beleuchtung

- Optimierte Tageslichtnutzung über spezielle stufenlos im Drehwinkel angepasste Lamellenjalousien¹⁴, der Behang ist im unteren Bereich vollständig geschlossen und öffnet stufenlos bis in den oberen Bereich, so dass in der Lichtlenkstellung keine extremen Leuchtdichteunterschiede auftreten (System Retrolux)
- Leuchtenintegrierte, tageslichtabhängige Kunstlichtregelung und Präsenzerkennung in den Büroräumen

Sommerliches Raumklima

- Nachtlüftung über automatisch vergrößerte Öffnungsquerschnitte der Nachströmelemente in der Fassade und Erhöhung des Volumenstroms der Abluftanlage (2-facher Luftwechsel)
- PCM Deckenverkleidung im Leichtbauobergeschoss zur Erhöhung der Wärmekapazität und Dämpfung der sommerlichen Temperaturamplituden (BASF Micronal)
- Außen liegender Sonnenschutzbehang (Südseite), Sonnenschutzverglasung auf den Fassaden ohne beweglichen Sonnenschutz (Nordseite)

Gebäudeleittechnik

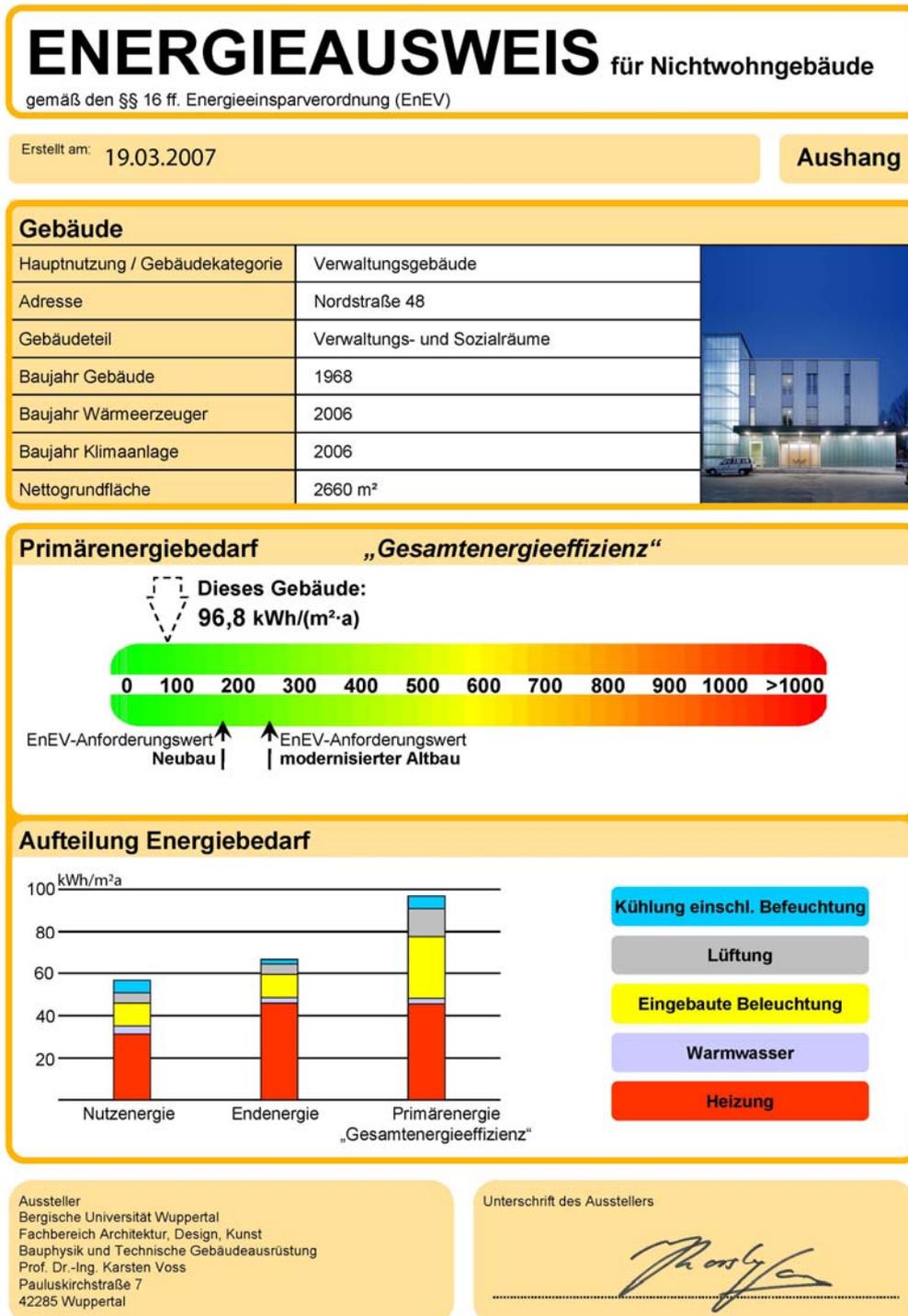
- Zentrale Gebäudeleittechnik als Teil des Gebäudemanagements der Stadt Remscheid mit Einbindung sämtlicher TGA Automatisierungsfunktionen auf der Basis von LON

¹³ Die Forderung nach Frostfreihaltung ist nicht durch Komfortansprüchen begründet, sondern ist wegen der dort gelagerten technischen Geräte des Fuhrparks notwendig.

¹⁴ Auf der Südseite

Mit diesen Maßnahmen konnte bei vergleichsweise geringen Investitionskosten der Primärenergieaufwand für das umgebaute Gebäude auf zukünftig 96,8 kWh/(m²a) reduziert werden.

Im nachstehend aufgeführten Energieausweis kann ausgewiesen werden, dass der Bedarf damit bzgl. des Bestandsgebäudes bei ca. 25 % und ungefähr bei der Hälfte des Anforderungswertes der EnEV 2007 im Nichtwohnungsbau für Neubau nach DIN V 18599 liegt.



4.1 Raumklima

Maßgebend für die Energieeffizienz eines Verwaltungsgebäudes ist weniger der Heizwärmebedarf, sondern viel mehr der Verbrauch für Lüftung, Kühlung und Beleuchtung. Insbesondere im Bereich der Lüftung und Kühlung, im Zusammenspiel mit dem sommerlichen Wärmeschutz und den Speichermassen, wurde für dieses Gebäude ein vernetztes Low- Tec- System abgestimmt.

Das Bestandsgebäude ist dabei wegen der vorgegebenen eher ungünstigen Grundvoraussetzungen mit einer Nord / Südausrichtung und des komplett in Leichtbauweise erstellten 2. Obergeschosses mit erhöhter Aufmerksamkeit bzgl. des geforderten Raumklimas zu betrachten.

Maßgebend für das Raumklima in den Wagenhallen ist die von den Nutzern geforderte Temperaturuntergrenze von 5°C, da für einzelne Fahrzeuge eine Frostfreiheit notwendig ist.

Die erstellten dynamischen Simulationen ermöglichen es den Einfluss von sich zeitlich ändernden Parametern wie Sonneneinstrahlung, Wind, Außentemperatur, Betriebsweise von Heizung und Lüftung, den Nutzer und eingeschaltete Geräte zu erfassen und machen die Bewertung von Maßnahmen zur Verbesserung des Komforts möglich, d.h. Abhilfe bei Überschreitung von definierten Grenzwerten, wie z. B. der Innentemperatur, zu schaffen.

4.1.1 Simulationen zum Raumklima im Verwaltungsbereich

4.1.1.1 Zielsetzung und Problematik

Untersucht wird exemplarisch die Achse C-D im Verwaltungstrakt, bestehend aus einem Südbüro und einem Nordbüro, verbunden mit einem Flur und innen liegenden Nebenräumen. Die Berechnungen werden sowohl für das 1. OG, welches massiv gebaut ist, als auch für das 2 OG, das in Leichtbaukonstruktion erstellt ist, durchgeführt.

Ziel der Untersuchungen ist es, eine Gebäudenutzung ohne energieintensive Techniken zu ermöglichen, d.h. Vermeidung von Kühllasten und Reduktion der Heizenergie. Schwerpunkt bildet der erstgenannte Aspekt, da ein erhöhter Wärmeschutz bereits Bestandteil der Konzeption ist.

4.1.1.2 Parameter des Gebäudekonzeptes

Aufgrund des bestehenden Baukörpers sind die Möglichkeiten durch bauliche Maßnahmen Einfluss auf das energetische Verhalten des Gebäudes zu nehmen eingeschränkt und auch im Bereich der möglichen technischen Ausstattung sind Beschränkungen vorhanden. Basierend auf diesen Beschränkungen wird das folgende Konzept erarbeitet:

- Beheizung mit Heizflächen im Fassadenbereich
- Mechanische Abluftanlage mit Zuluftelementen in der Fassade
- Verstärkte Nachtlüftung mit der mechanischen Abluftanlage, falls erforderlich

Diese Komponenten werden im Rahmen der Simulation abgebildet und untersucht, ebenso Strategien zur Verringerung des Wärmeeintrages in das Gebäude sowie Möglichkeiten zur Verbesserung der nächtlichen Auskühlung.

4.1.1.3 Parameter der Simulation

Die TRNSYS-Simulation berücksichtigt im Verwaltungsbereich in jeder Etage je drei thermische Zonen (Nord-, Südbüro und Flur bzw. Nebenräume). Neben der Grundlüftung während des Tages mit 80 m³/h je Büro wird ein interner Luftaustausch zwischen den Zonen durch offenstehende Türen berücksichtigt (1,2-h Luftwechsel). Nachtlüftung wird auf Basis der Simulation in Voruntersuchungen auf 160 m³/h je Büro festgesetzt. Die Nachtlüftung ist temperaturgeregelt (T>23/22 °C ein, T>21/19°C aus, Winter/Sommer).

Ferner wird berücksichtigt, dass erfahrungsgemäß die Nutzer morgens nach Betreten des Gebäudes eine Stoßlüftung mittels der Fenster durchführen (15 min, 4-h). Infiltration wird winddruckabhängig berücksichtigt, angenommen wird ein n50 –Wert von 1,0-h.

4.1.1.4 Ergebnisse für die Massivbauetage (1. OG)

Im Rahmen der Untersuchungen werden zunächst Aspekte untersucht, die Auswirkungen auf die Fassade und den Gebäudebetrieb haben. Dies sind:

- Einfluss der Verschattung und Verglasung
- Einfluss der Nachtlüftung
- Einfluss der internen Wärmefreisetzung

Diese Punkte werden zunächst für das 1 OG (Massivbereich) untersucht.

Die interne Wärmefreisetzung wird vorab nach Durchführung von ersten Simulationsrechnungen durch den Bauherrn begrenzt:

- alle Arbeitsplätze werden mit TFT-Bildschirmen ausgestattet und die PC's werden nachts ausgeschaltet, d.h. die interne Wärmefreisetzung beträgt 96W in der Nutzungszeit (8h Nutzung pro Tag).

Die folgende Tabelle zeigt die erreichten Ergebnisse und die untersuchten Fälle, sie beinhalten bereits die verringerten internen Wärmegewinne. Ausgewertet wird die Anzahl von Stunden, während derer festgelegte Temperaturgrenzen überschritten werden. Die angegebenen Prozentangaben beziehen sich auf die Nutzungszeit des Gebäudes von 2349 h per annum.

Tabelle 2: Überschreitung von Grenztemperaturen im 1.OG bei verschiedenen Ausstattungen¹⁵

Massivbereich

Fall A: WschGlas, keine Verschattung, keine Nachtlüftung

Fall B: WschGlas, Verschattung Südseite, keine Nachtlüftung

Fall C: WschGlas, Verschattung Südseite, Nachtlüftung

Fall D: SSV Nordseite, WschGlas Süd, Verschattung Südseite, Nachtlüftung

Ergebnisse der Temperaturhäufigkeit		Fall A		Fall B		Fall C		Fall D	
		h		h		h		h	
Temperaturhäufigkeit Südbüro	>26°C	687	29%	433	18%	2	0%	0	0%
	>28°C	489	21%	119	5%	0	0%	0	0%
	>30°C	208	9%	2	0%	0	0%	0	0%
	>34°C	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Temperaturhäufigkeit Nordbüro	>26°C	409	17%	341	15%	0	0%	0	0%
	>28°C	82	3%	41	2%	0	0%	0	0%
	>30°C	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
	>34°C	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%

Den Ergebnissen liegen die folgenden Randbedingungen zu Grunde:

- Wärmeschutzverglasung (WschGlas) mit g-Wert 0,58
- Sonnenschutzglas (SSV) mit einem g-Wert von 0,38
- Verschattung außenliegend mit einem Verschattungsfaktor von 0,5¹⁶
- Nachtlüftung temperaturgeregelt ($T_i > T_a$, u. mit 160 m³/h je Büro)

¹⁵ WschGlas (Wärmeschutzverglasung), SSV (Sonnenschutzverglasung)

¹⁶ Dieser recht moderate Verschattungsfaktor berücksichtigt das Verhalten der Nutzer, die die Verschattung nicht immer optimal bedienen und einstellen. Es ist jedoch notwendig, dass ein System mit besserem Verschattungsfaktor eingebaut wird (besser 0,3)

Deutlich wird, dass im massiv gebauten 1.OG bereits Verschattung und Nachtlüftung zu einem zufrieden stellenden Ergebnis führen und eine Überwärmung vermieden werden kann. Die folgenden Grafiken zeigen im Detail, bei welchen Außenbedingungen (T_a) Überwärmungen in den jeweiligen Fällen auftreten. Eingezeichnet sind zusätzlich die Komfortgrenzen nach DIN 1946 (Grenztemperatur 25°C , ansteigend ab $T_a=25^\circ\text{C}$). Die Fälle bauen aufeinander auf (kumulierte Effekte). Dargestellt ist die operative Raumlufttemperatur¹⁷.

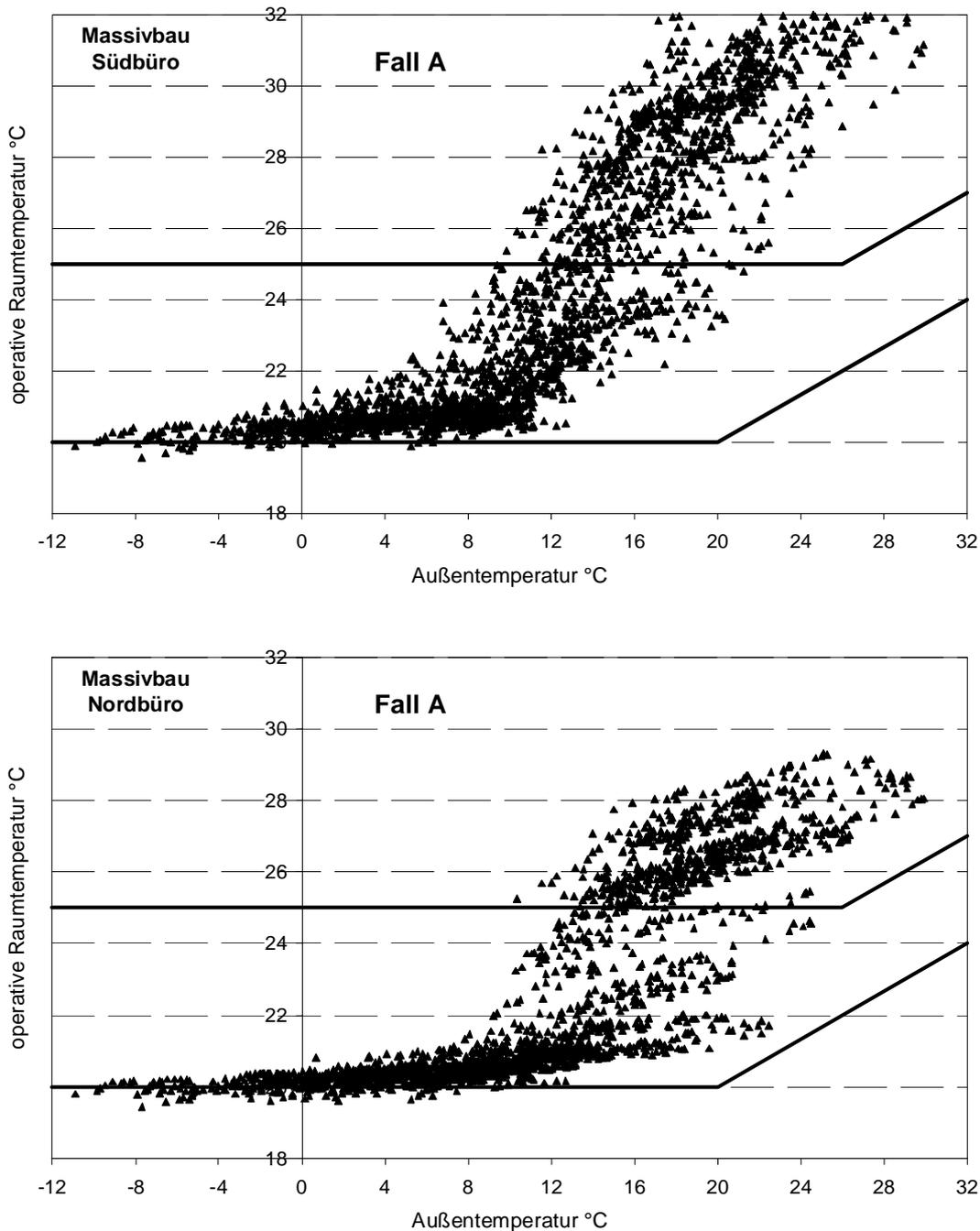


Abbildung 9: Fall A, Temperaturen im Ausgangsfall (ohne jede Maßnahme)

¹⁷ Die operative Raumlufttemperatur entspricht der empfundenen Temperatur. Die Oberflächentemperatur der Umfassungsflächen wird dabei berücksichtigt.

Der Ausgangsfall zeigt, dass Überwärmungen strahlungsbedingt und durch interne Wärmefreisetzung bereits bei moderaten Außentemperaturen auftreten.

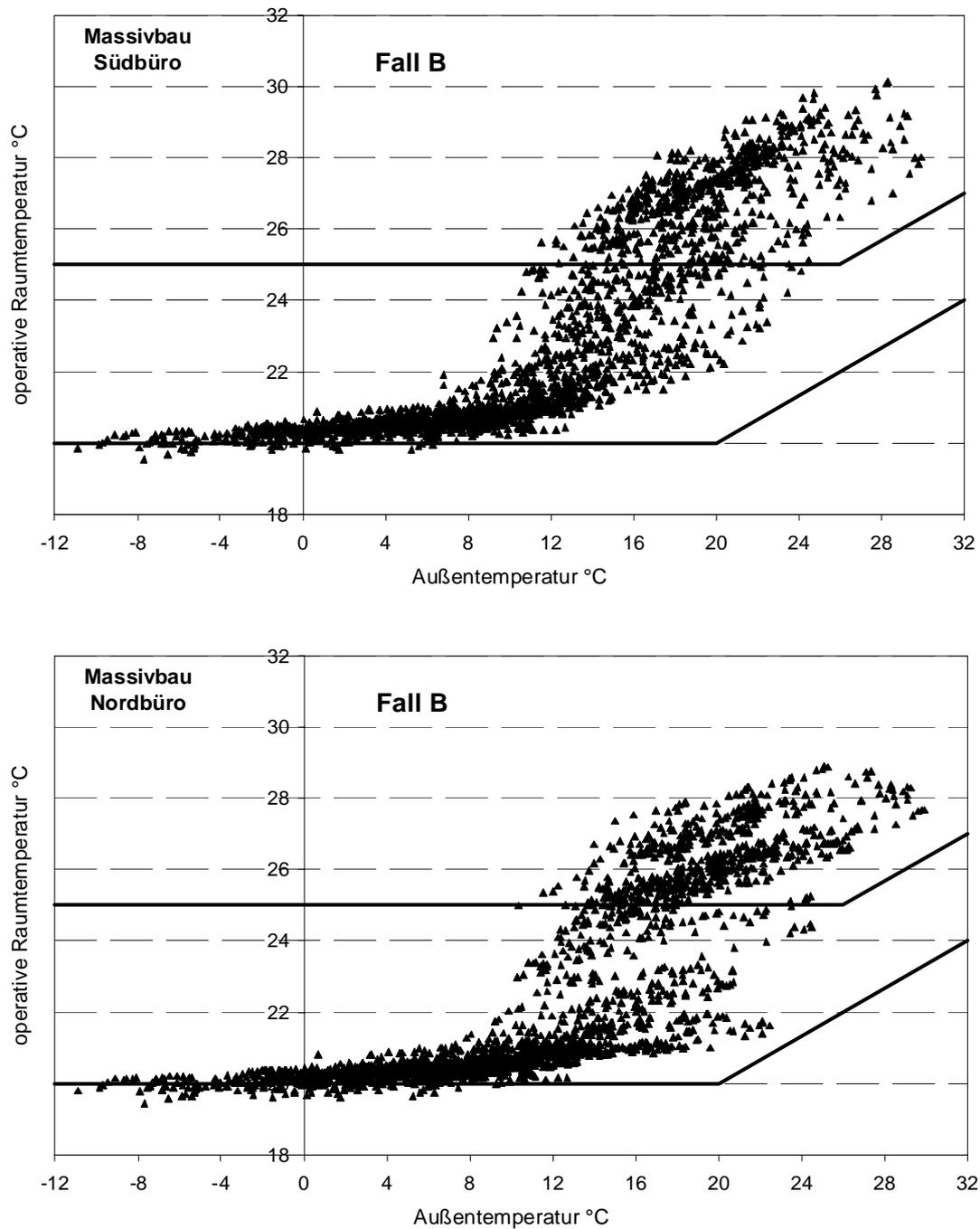


Abbildung 10: Fall B, Temperaturen in den Büros, Einfluss der Verschattung (installiert auf der Südseite)

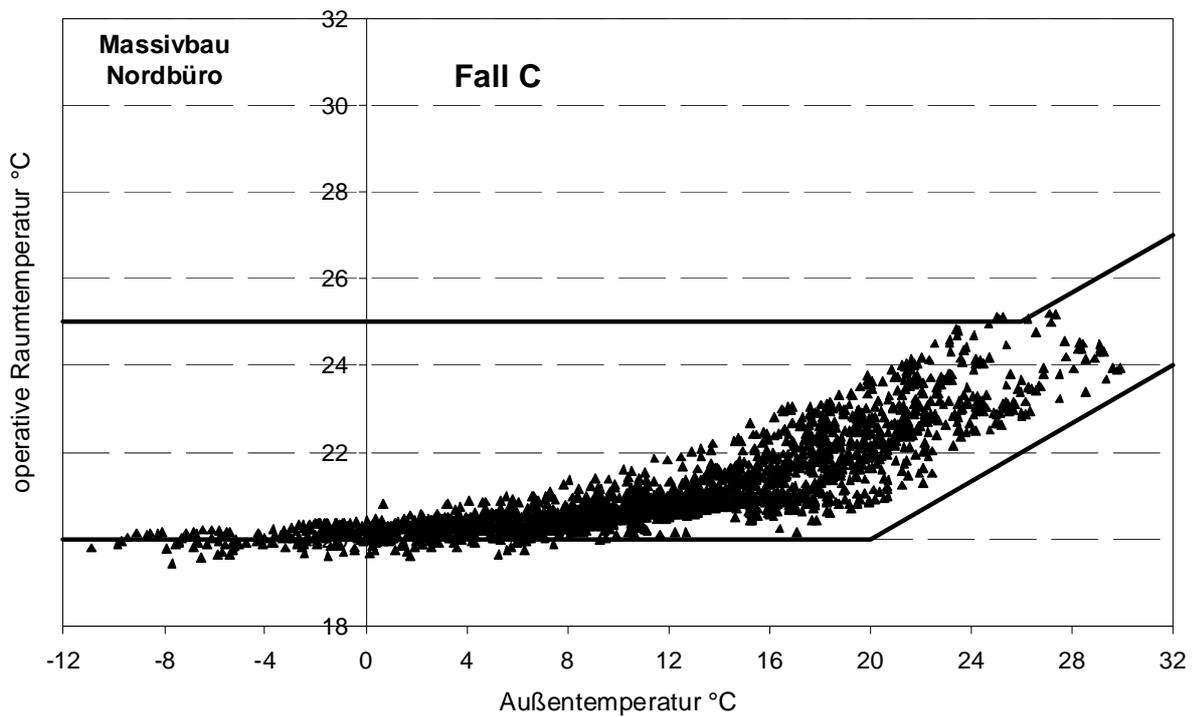
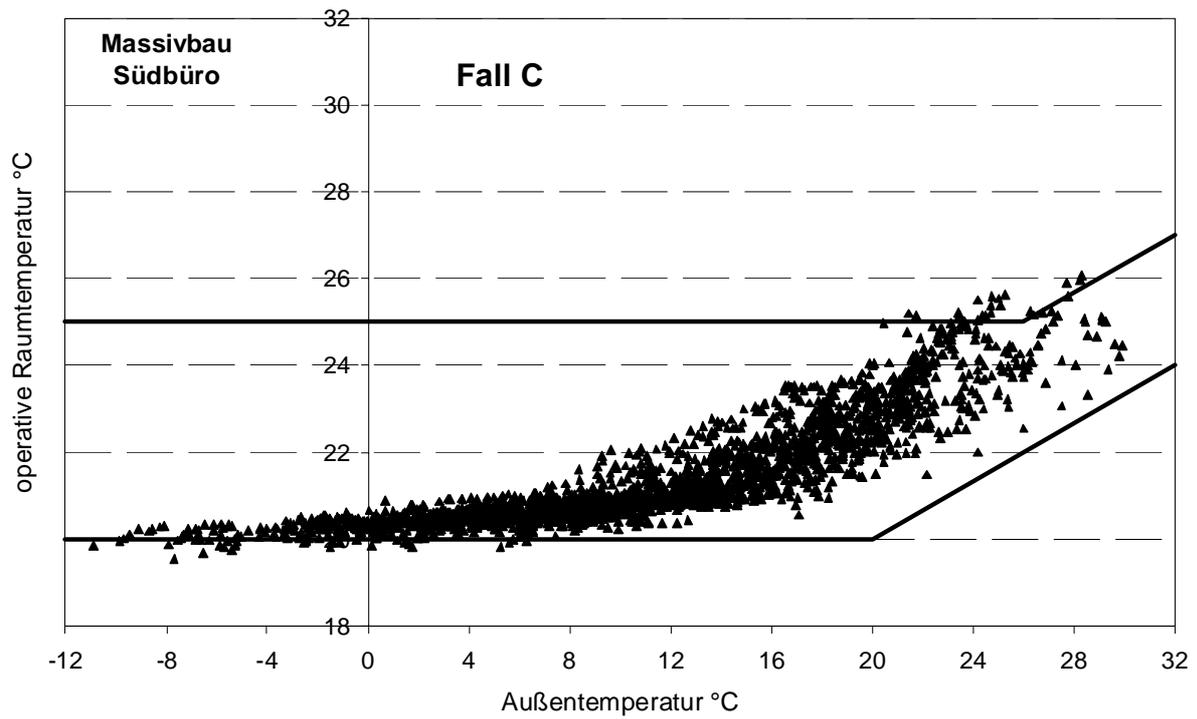


Abbildung 11: Fall C, Einfluss der Nachtlüftung auf die Temperaturen in den Büros

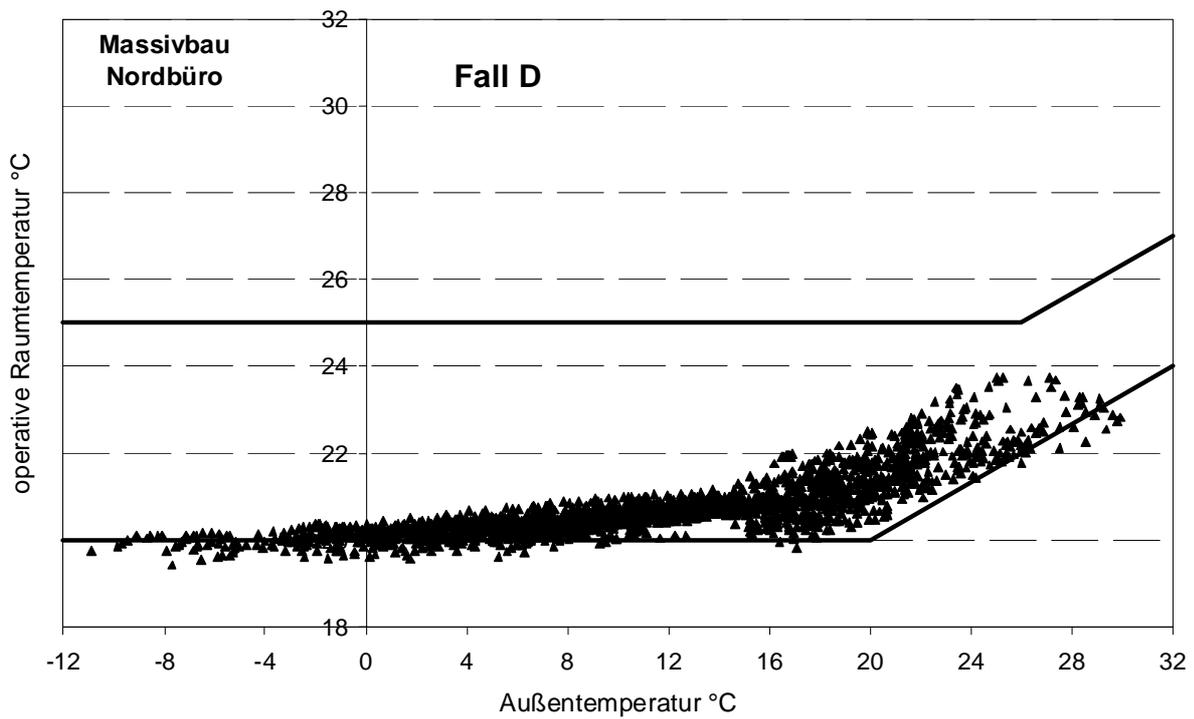
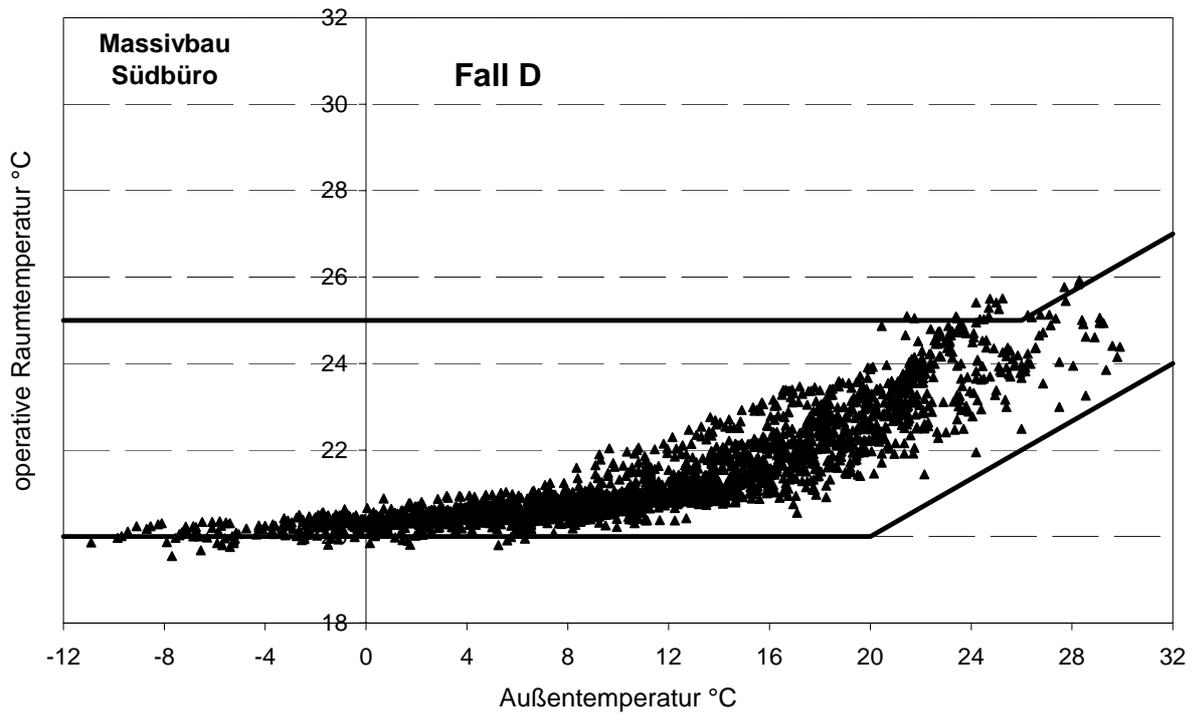


Abbildung 12: Fall D, Einfluss von Sonnenschutzglas auf der Nordseite, Temperaturen im Gebäude (10G)

Das Sonnenschutzglas ist zur Einhaltung der 26°C Grenze nicht erforderlich, verbessert den Komfort aber merklich (Absenkung der Temperatur auf der Nordseite um ca. 1K in den Spitzen).

4.1.1.5 Ergebnisse für die Leichtbauetage (2 OG)

In der Untersuchung für das 2.OG (Leichtbau) werden zunächst die gleichen Varianten wie im Massivbereich des 1.OG's simuliert. Abweichungen ergeben sich in den Konstruktionen und in der Berücksichtigung der Dachfläche, die in diesem Bereich Kontakt zur Umgebung hat. Ferner wird ein Oberlicht im Flur mit einer Nordorientierung berücksichtigt.

Die folgende Übersicht zeigt die Ergebnisse und die bei den Varianten berücksichtigten Maßnahmen.

Tabelle 3: Var.- Übersicht im Leichtbau mit Stundenanzahl von Grenzwerttemp.- Überschreitung¹⁸

Leichtbau

Fall A: WschGlas, keine Verschattung, keine Nachtlüftung

Fall B: WschGlas, Verschattung Südseite , keine Nachtlüftung

Fall C: WschGlas, Verschattung Südseite , Nachtlüftung

Fall D: SSV Nordseite, WschGlas Süd, Verschattung Südseite , Nachtlüftung

Fall E: SSV Nordseite, WschGlas Süd, Verschattung Südseite , Nachtlüftung, IW doppelt GK

Fall F: SSV Nordseite, WschGlas Süd, Verschattung Südseite , Nachtlüftung, IW doppelt GK,

PCM in der Decke, Estrich

Ergebnisse der Temperaturhäufigkeit		Fall A		Fall B		Fall C		Fall D		Fall E		Fall F	
		h		h		h		h		h		h	
Temperaturhäufigkeit Südbüro	>26°C	797	34%	608	26%	163	7%	85	4%	74	3%	22	1%
	>28°C	652	28%	432	18%	51	2%	11	0%	6	0%	0	0%
	>30°C	497	21%	239	10%	7	0%	0	0%	0	0%	0	0%
	>34°C	168	7%	133	6%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
							0%						
Temperaturhäufigkeit Nordbüro	>26°C	582	25%	557	24%	131	6%	14	1%	11	0%	0	0%
	>28°C	444	19%	411	17%	31	1%	0	0%	0	0%	0	0%
	>30°C	234	10%	202	9%	3	0%	0	0%	0	0%	0	0%
	>34°C	10	0%	4	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%

Deutlich ist der Unterschied zum Massivbaubereich. Durch die fehlende interne Masse steigen die Temperaturen sehr viel schneller an und erreichen auch höhere Werte. Die Nachtlüftung ist bei weitem nicht so effektiv. Aus diesem Grunde ist in diesem Bereich der Einbau von Masse bzw. von Elementen, die Wärme speichern können, empfehlenswert, um die Temperatur zu begrenzen. Zusätzliches Gewicht kann jedoch aus statischen Gründen im Bestand nicht mehr aufgenommen werden. Im Fall F werden deshalb sogenannte PCM Materialien berücksichtigt. PCM (phase change materials) sind in diesem Fall Kügelchen mit einem schmelzenden Medium, die in den Putz integriert werden (System Maxit). Bei angenommenen 1,5 cm Putz an der Decke können von diesem Material 15 kg/m² eingebracht werden. Der Schmelzpunkt des Materials liegt bei 24-27°C, der Kristallisationspunkt bei 24°C. Das Material kann 100J/kg beim Schmelzvorgang aufnehmen und erhöht damit die Wärmekapazität des Putzes erheblich. Die Flächen zum Aufbringen dieses Materials sind in den Büros jedoch begrenzt, so dass zusätzlich ein Estrich von 3 cm eingebracht wird, der ebenfalls Wärme aufnehmen kann. Dieser sollte, um thermisch wirksam zu sein, nur mit einem dünnen verklebten Belag abgedeckt werden (dünn Parkett, Linoleum etc.) Auch das Sonnenschutzglas auf der Nordseite sollte berücksichtigt werden.

Die folgenden Grafiken zeigen wiederum die Temperatur im Raum in Abhängigkeit der Außentemperatur für die verschiedenen Fälle. Es ist im Vergleich mit den Grafiken des Massivbereichs eine Skala mit höherer Temperatur zu berücksichtigen.

¹⁸ WschGlas (Wärmeschutzverglasung), SSV (Sonnenschutzverglasung), IW (Innenwand), GK (Gipskarton), PCM (phase change materials)

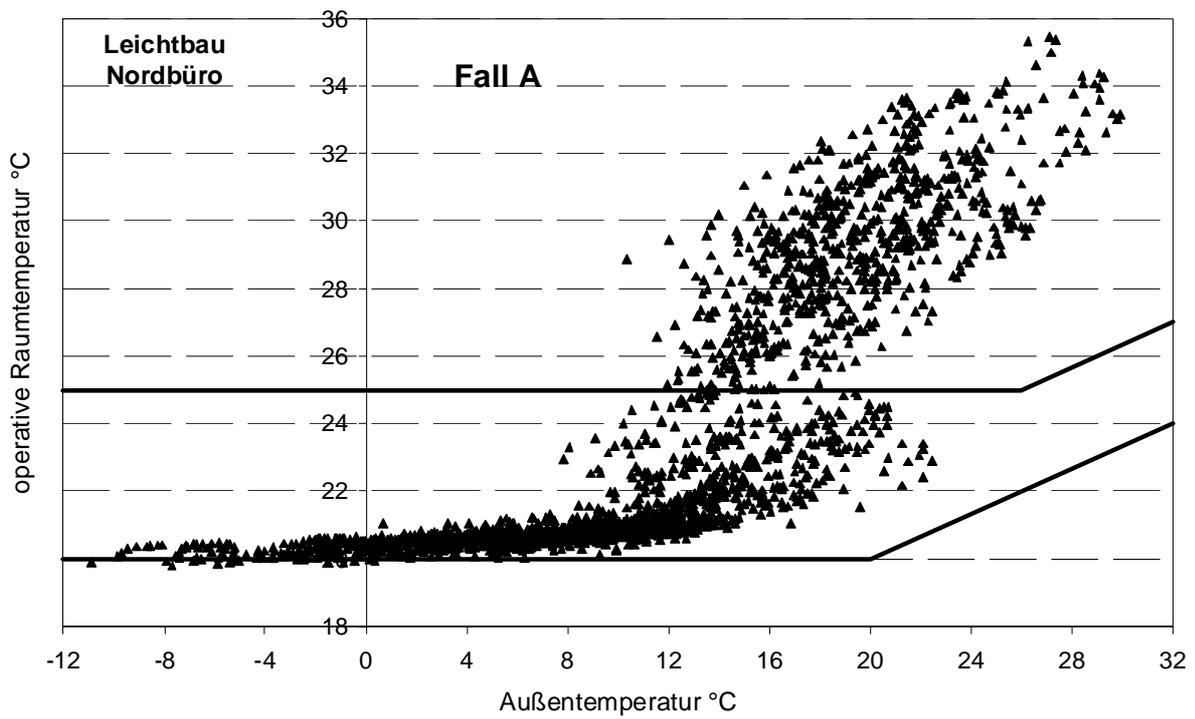
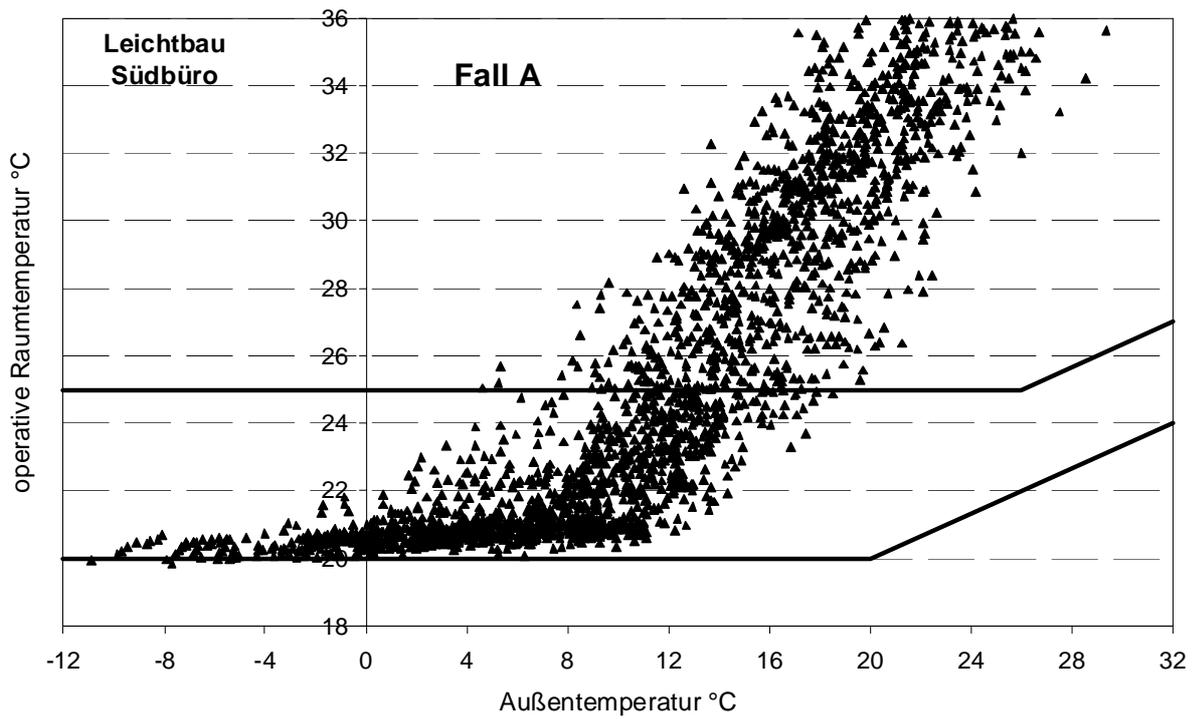


Abbildung 13: Fall A, Temperaturen im Ausgangsfall (ohne jede Maßnahme) im Leichtbau

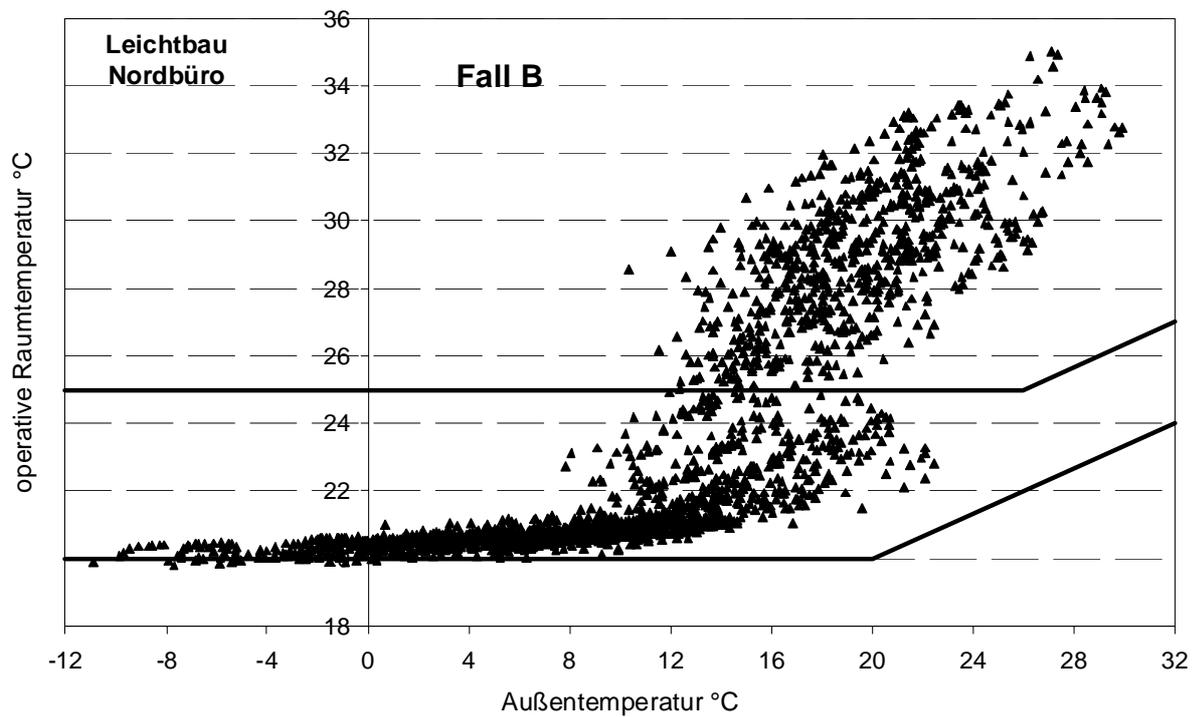
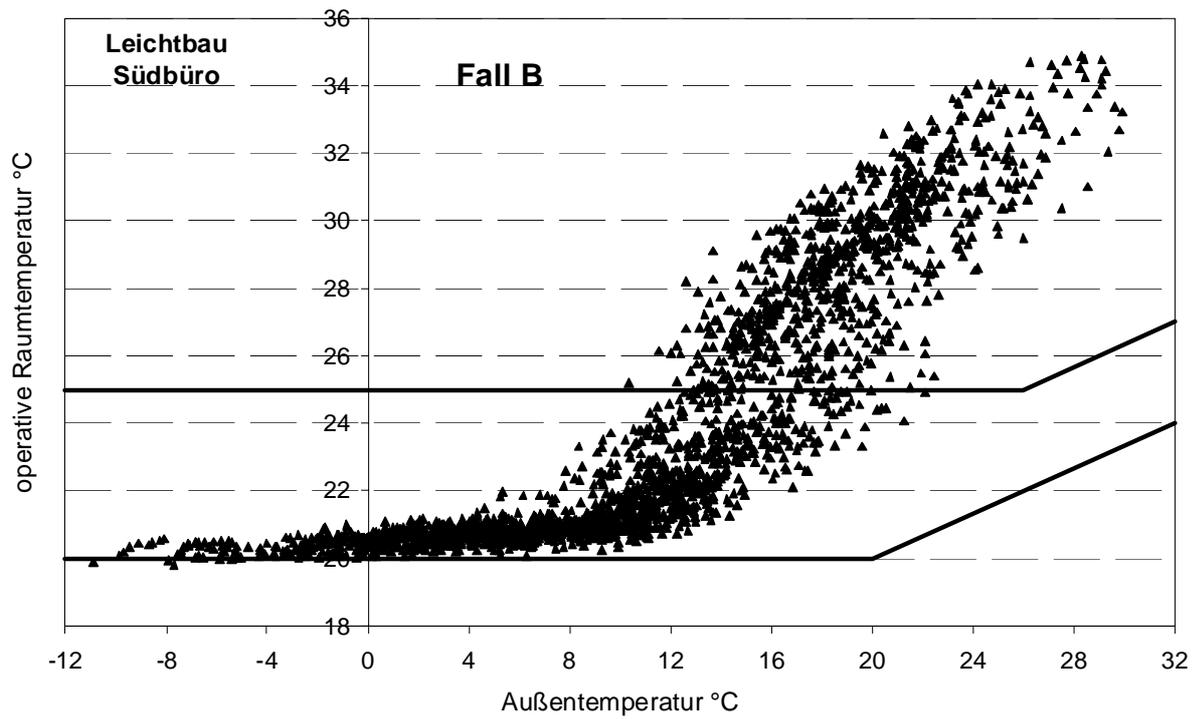


Abbildung 14: Fall B, Einfluss der Verschattung auf die Temperatur (Leichtbau)

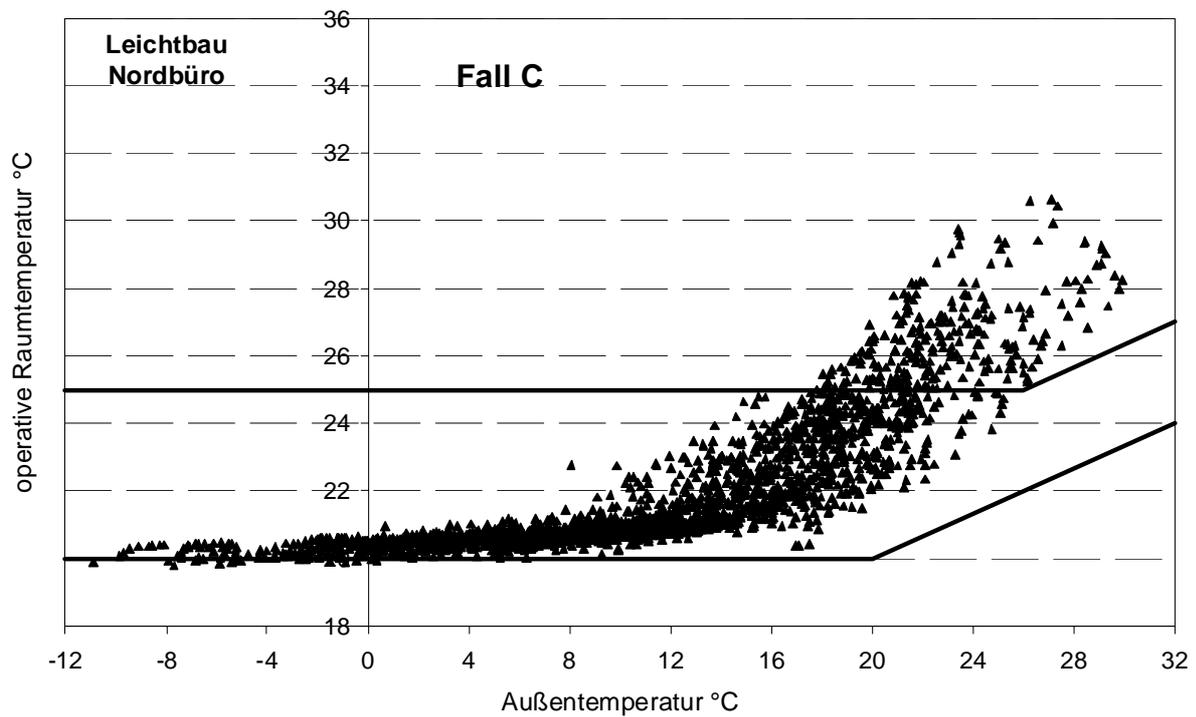
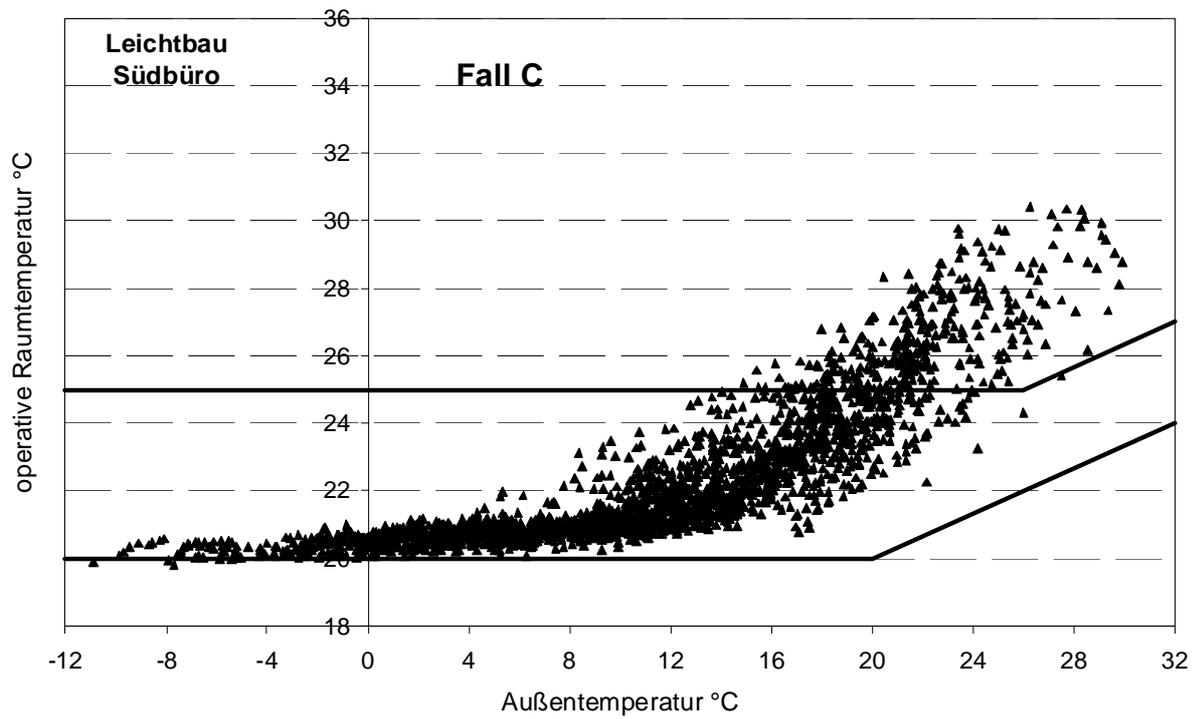


Abbildung 15: Fall C, Einfluss von Verschattung und Nachtlüftung (Leichtbau)

Die Temperaturüberschreitung der 26°C-Grenze tritt trotz der getroffenen Maßnahmen noch häufig auf, im Massivbau (1.OG) war hier schon ein zufrieden stellendes Raumklima feststellbar.

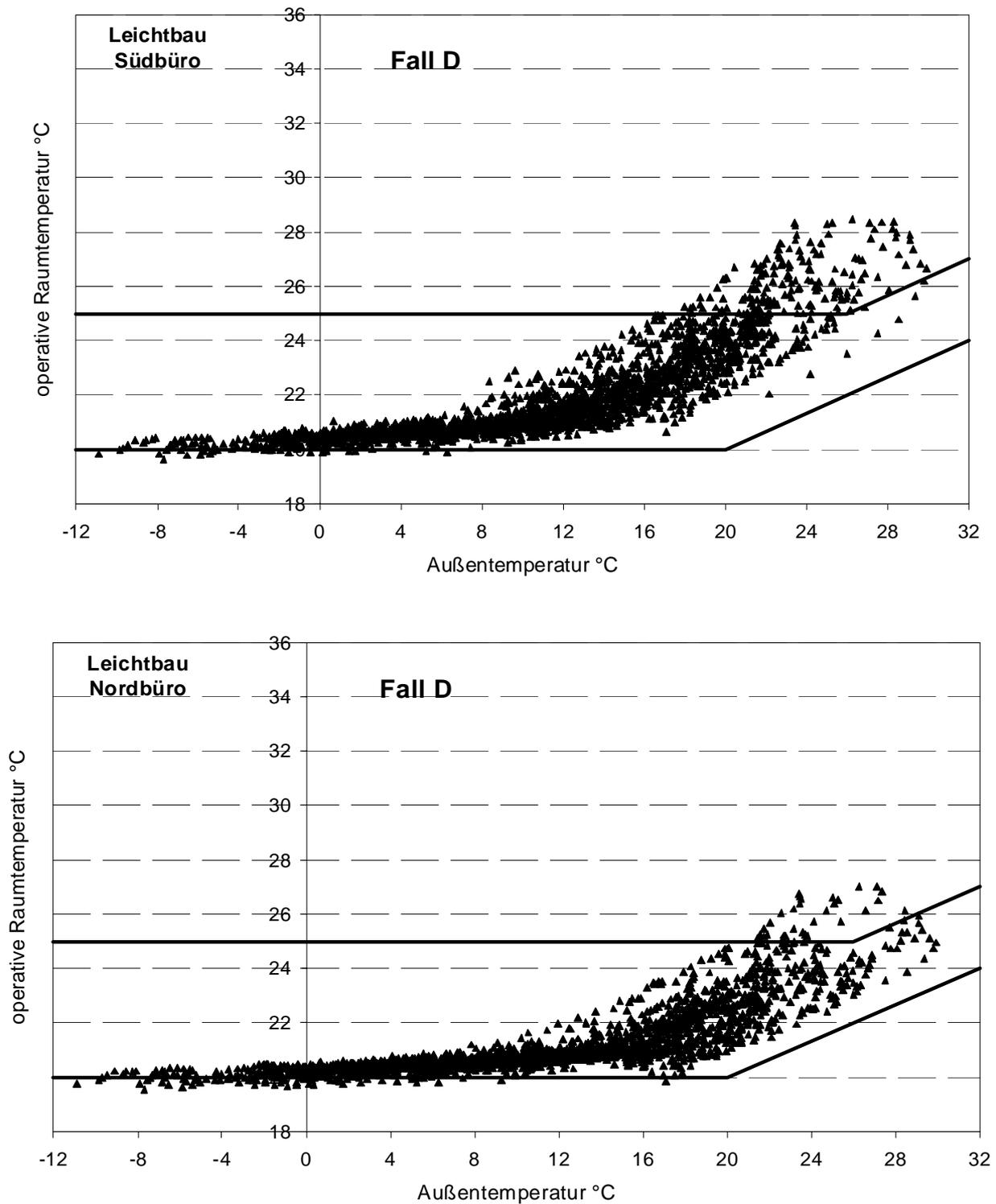


Abbildung 16: Fall D, Einfluss von zusätzlichem Sonnenschutzglas (Nordseite) auf die Raumtemperatur

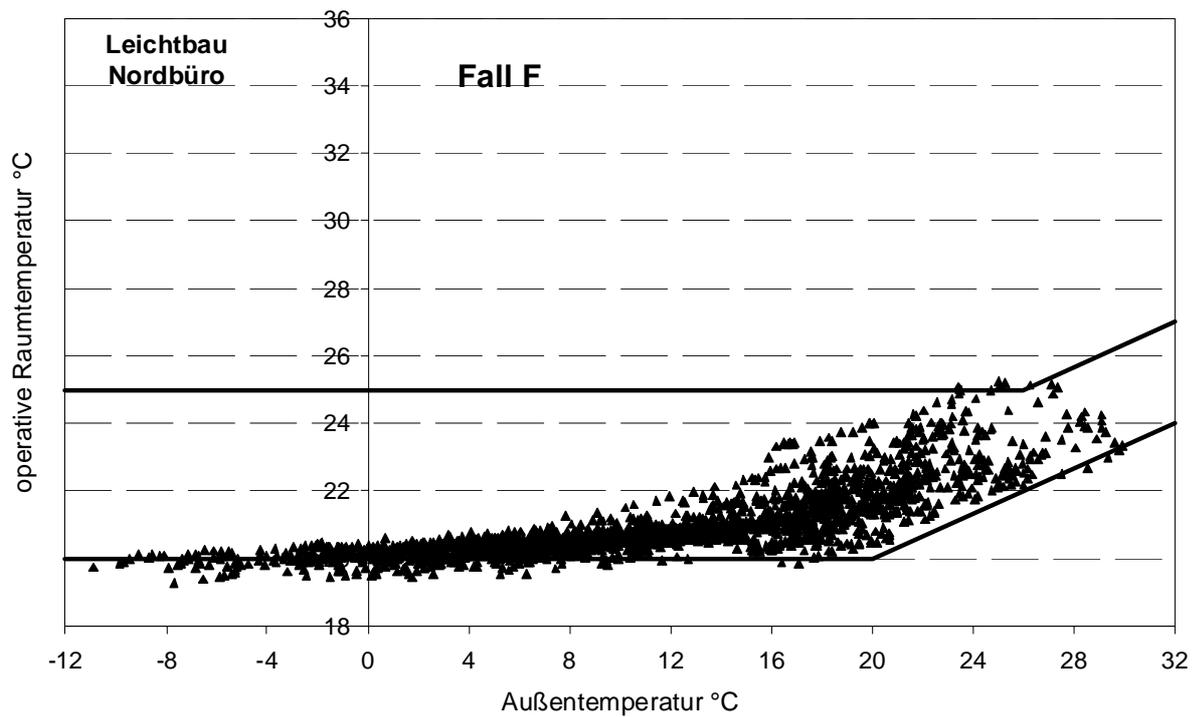
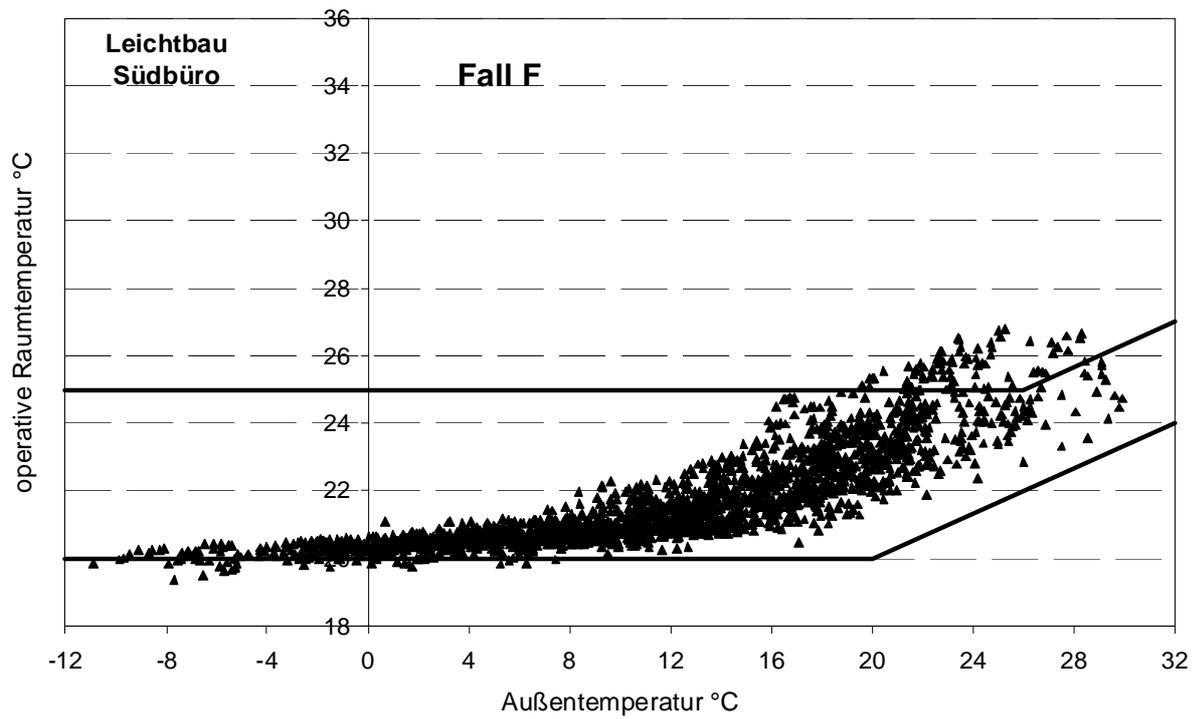


Abbildung 17: Fall F, Einfluss von zusätzlicher Masse und PCM-haltigem Putz auf die Raumtemperatur

Die Temperaturüberschreitung der 26°C-Grenze tritt mit diesen Maßnahmen nur in sehr wenigen Stunden auf.

4.1.1.6 Festlegungen für die Ausführung

Im Verwaltungsbereich des Gebäudes wird mit einer außen liegenden Verschattung, Nachtlüftung und einer energiesparenden Ausstattung im Massivbereich des 1.OG's ein komfortabler Sommerbetrieb des Gebäudes ermöglicht. Überschreitungen der 26 °C-Grenze können fast vollständig vermieden werden. Auf eine Verschattung auf der Nordseite kann verzichtet werden.

Im Geschoss mit Leichtkonstruktion (2.OG) sind jedoch weitere Maßnahmen erforderlich, die Verglasung auf der Nordseite sollte in diesem Bereich ein Sonnenschutzglas sein, Zwischenwände sollten zur Erhöhung der Masse doppelt mit GK-Platten verkleidet werden; das Einbringen eines Estrichs von 3 cm und eines PCM-haltigen Putzes¹⁹ im Deckenbereich ermöglichen die Herstellung ähnlicher Verhältnisse wie im 1.OG.

Die weiterführenden Sonderuntersuchungen zur Dimensionierung der Fassadenlüfter und zur Festlegung der notwendigen Latentwärmespeicher werden in den nächsten Kapiteln beschrieben.

4.1.2 Sonderuntersuchungen des Heizenergiebedarfs im Verwaltungsbereich

Das Gesamtpaket der Sanierung zielt unter anderem auf eine deutliche Senkung des Heizwärmebedarfs. Hierzu tragen Dämmmaßnahmen an der gesamten Gebäudehülle ebenso bei, wie Verbesserungen der Luftdichtheit der Baukonstruktion und eine passive Solarenergienutzung. Die Sanierungs- und insbesondere die Fassadenvarianten werden daraufhin überprüft. Planungsziel ist ein voraussichtlicher Jahresheizwärmebedarf in der Größenordnung von 40kWh/m²a²⁰. Geheizt wird das Gebäude mit Erdgas.

Der Wärmebedarf wurde ebenfalls mit TRNSYS berechnet. Zu berücksichtigen ist, dass eine theoretische Heizung berücksichtigt wird, die dem Gebäude immer nur den benötigten Bedarf zur Verfügung stellt.

Infiltrationsverluste wirken sich deutlich auf den Heizwärmebedarf aus. Im Ausgangsfall mit einer realistischen Leckrate von n50=1-h, mit winddruckabhängiger Berechnung des realen Leckluftwechsels liegt der mittlere Wärmebedarf (Nord + Südbüro) in der Größenordnung von knapp 60 kWh/m²a. Dies entspricht dem Ergebnis bei einer mittleren Infiltration von etwa 0,1-h.

Zur Abschätzung des Einflusses einer erhöhten Infiltration wurde diese einer Variation unterzogen. Den Einfluss höherer Infiltration zeigt die nachfolgende Tabelle.

Fall D Massivbau		Heizenergiebedarf kWh/m ²
	Infiltration	
Nordbüro	Winddruckabhängig	67,55
	Konstant 0.1 1/h	66,08
	Konstant 0.2 1/h	73,77
	Konstant 0.3 1/h	81,40
Südbüro	Winddruckabhängig	48,77
	Konstant 0.1 1/h	47,40
	Konstant 0.2 1/h	54,47
	Konstant 0.3 1/h	61,57

Tabelle 4: Heizenergiebedarf in Abhängigkeit der Infiltration

Höhere Infiltrationen können sich durch reduzierte innere Strömungswiderstände, z.B. durch offene Bürotüren und windbedingte Druckdifferenzen am Gebäude, insbesondere nachts bei abgeschalteter

¹⁹ in der weiterführenden Planung wurde der PCM-haltige Putz durch PCM-haltige GK-Platten ersetzt

²⁰ Für den Verwaltungsbereich unter Berücksichtigung der Nutzung der erwärmten Abluft aus der Lüftungsanlage zur Beheizung der Fahrzeughallen.

Abluftanlage, ergeben. Basierend auf diesen Untersuchungen wurden insbesondere nochmals die Lüfterelemente in den Fassaden und entsprechende Verschlussvarianten untersucht, siehe Punkt 4.1.3.1.

4.1.3 Sonderuntersuchungen zu den Lüfterelementen in der Fassade

Durch den Umbau des Bestandsgebäudes wird nach dem heutigen Stand der Bautechnik eine luftdichte Gebäudehülle ($n_{50} < 1 \text{ h}^{-1}$) erstellt. Die gemäß den definierten Planungsparametern festgelegten, in die Fassaden integrierten Lüftungselemente stellen diesbezüglich eine definierte und teilweise in der Wirkung einstellbare Undichtheit her. Diese definierten Lufteinlässe sind, wie in der vorstehend aufgeführten Simulation aufgezeigt, erforderlich, um in Verbindung mit der Abluftanlage ganzjährig eine hohe Lufthygiene im Tagbetrieb (1-facher Luftwechsel) sicherzustellen und die nächtliche Entwärmung des Baukörpers im Sommer bei erhöhtem Luftwechsel (2-fach) zu gewährleisten. Ohne diese Öffnungen und die Abluftanlage wäre der Luftwechsel im Tagbetrieb ohne manuelle Fensteröffnung zu gering und der sommerliche Komfort nicht gewährleistet. Eine undefinierte winterliche Luftnachströmung (Leckrate) würde langfristig Schäden an der Baukonstruktion bewirken. Eine reine Fensterlüftung führt zu erhöhtem Wärmeverlust aufgrund eines unkontrollierten, höheren Luftwechsels.

In detaillierten Untersuchungen wird parallel zur Ausführungsplanung die Dimensionierung, Anordnung und Steuerung der Lüfterelemente bestimmt. Hierbei wird grundsätzlich deren Lage im Fensterbereich direkt neben bzw. hinter den Heizflächen zur Vermeidung von Unbehaglichkeit durch Zugluft festgelegt. Ebenfalls vorgegeben wurde, dass das Lüfterelement möglichst als passives Einbauteil, also ohne Ventilator und ohne Zulufterheizung, auszuführen ist. Die Notwendigkeit eines zentral gesteuerten Verschlusses des Lüfters und die Abhängigkeiten zu den auftretenden Wärmeverlusten durch diese kontrollierte Fassadenöffnung werden nachstehend gesondert untersucht.

Die marktüblichen Fassaden- Lüfterelemente sind größtenteils nicht bzgl. dieser Vorgaben ausgelegt. Einfachere Lüfter weisen oft nicht die notwendigen Wärmedämmeigenschaften, Dichtigkeiten und Möglichkeiten bzgl. variabler Volumenströme auf. Aktive Systeme mit integrierten Luftkonditionierern entsprechen wegen der hohen Investitions- und Unterhaltskosten und der erhöhten Energieaufwendungen zum Betrieb dieser Bauteile nicht den Vorgaben der Planung.

In Zusammenarbeit mit dem Hersteller wurde ein handelsübliches Lüfterelement entsprechend den Planungsvorgaben untersucht und weiterentwickelt.

4.1.3.1 Simulationen zur Abhängigkeit Luftkomfort/ Wärmeverlust

Planungsstand ist die Ausführung der Fassaden mit zwei Zuluftelementen je Raum, von denen mindestens eines elektromotorisch verschließbar sein soll. (zunächst handelsübliche Ausführung)

Im Unterschied zum Wohnungsbau ist die Abluftanlage während der Heizperiode nachts und am Wochenende nicht in Betrieb. Temperatur- und Druckunterschiede an der Gebäudehülle können zur passiven Durchströmung der Lüftungselemente und damit verbunden zu Wärmeverlusten führen, falls die Öffnungen unverschlossen bleiben. Bei der passiven Durchströmung kann es zeitweise zur Tauwasserbildung kommen (Abströmseite).

Für die Untersuchung wurde ein Simulationsmodell (TRNSYS) der beiden Büroräume der Achse C - D im 1.OG um ein Druckknotennetzwerk erweitert (TRN-Flow). Dabei werden die Druckwiderstände der Klappen in den Fassaden sowie die der inneren Verbindungsöffnungen innerhalb des Gebäudes (Türen und Türspalte) bei Windanströmung berücksichtigt, um einen Luftwechsel zu bestimmen. Der Luftwechsel entsteht bei Windanströmung (Hauptwindrichtungen sind West, Nordwest) infolge der Druckbeiwerte des Gebäudekörpers. Für die Lüftungsklappen wurden grobe Daten des Produktes „Siegenia Aeromat 150“ zu Grunde gelegt.

Die nachfolgenden Abbildungen fassen die Ergebnisse in absoluten Zahlen des spezifischen jährlichen Heizwärmebedarfs und der relativen Änderung des Bedarfs bezogen auf den Ausgangsfall eines Gebäudes ohne Klappen zusammen. Dabei ist zu beachten, dass die sehr niedrigen absoluten Zahlen aufgrund der Lage der untersuchten Büros zustande kommen (Mittelbüros, Transmissionsverluste ausschließlich über die Fassaden) und Regelungs- wie Verteilverluste nicht berücksichtigen. Der ausgewiesene Wärmebedarf beschreibt Mittelwerte für Nord- und Südbüros. Der Unterschied liegt im Ausgangsfall bei etwa 20%.

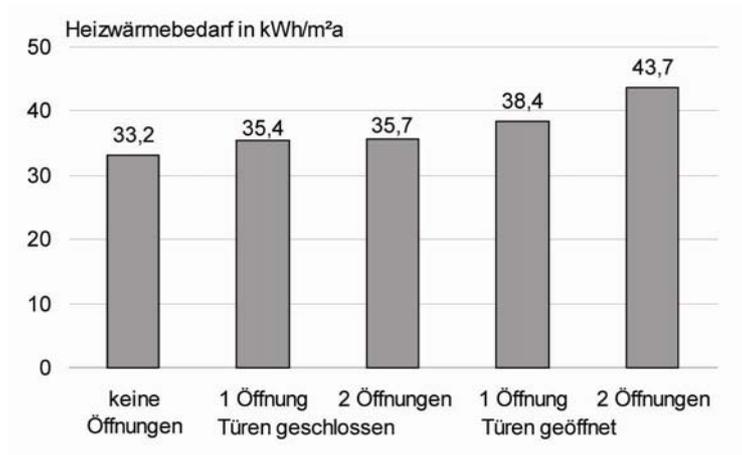


Abbildung 18: Jahresheizwärmebedarf mit verschiedenen Fassadenöffnungen und geöffneten Bürotüren

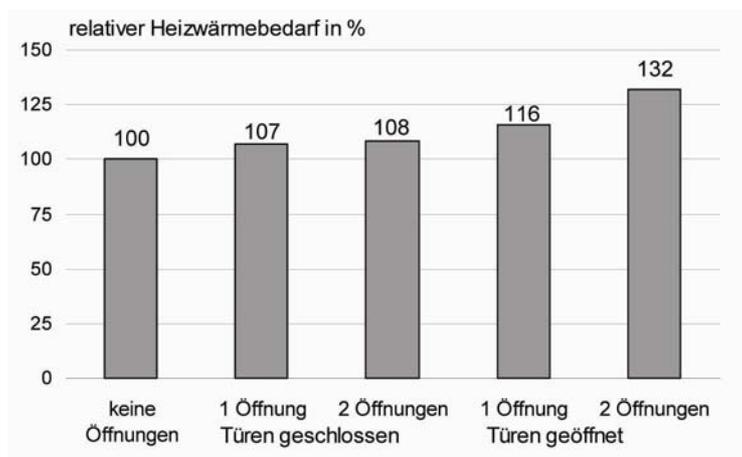


Abbildung 19: Relative Jahresheizwärmebedarf bezogen auf den Basisfall ohne Öffnungen

Die Ergebnisse beruhen allein auf der Analyse eines Gebäudesegments (Achse C-D) im 1.OG. Sie zeigen, dass bei diszipliniertem Nutzerverhalten (Türen schließen) durchaus eine kostensparende Ausführung mit nur einer elektrisch verschließbaren und einer Klappe mit Handbetrieb möglich ist. Voraussetzung dazu ist eine geschossweise Unterbrechung des Lüftungskanalnetzes z.B. durch Ansteuerung der Brandschutzklappen durch die GLT bei Nichtbetrieb der Lüftung.

Angesichts der bisher unsicheren Eingangsdaten (noch keine Kennlinie der Lüftungsöffnungen), möglicher Unsicherheiten im Nutzerverhalten und der lüftungstechnischen Verbindungen durch das Kanalnetz innerhalb eines Geschosses bleiben jedoch große Unsicherheiten. Der hohe Einfluss auf den Heizwärmebedarf bei freiem inneren Strömungsweg gefährdet unter Umständen den gesamtenergetischen Erfolg des Demonstrationsprojektes. Daher wird zunächst festgelegt, dass alle Öffnungen motorisch verschließbar ausgeführt werden.

4.1.3.2 Messungen zur Lüfteroptimierung (Modifizierung handelsüblicher Lüfter)

Alternativ wurde zur Reduktion der Kosten geprüft, ob bei einem Vertikaleinbau und damit längeren Elementen die geforderten Volumenströme bereits mit einem Element je Raum geliefert werden können. Dazu wäre allerdings eine dreistufige Schaltung erforderlich (geschlossen, niedriger Volumenstrom, hoher Volumenstrom). Vorteil einer solchen Variante wäre auch der bessere Lichteinfall im Gebäude durch Wegfall der opaken Lüftungselemente oberhalb der Fenster.

Auf dieser Basis wurde ein Serienlüfter den Parametern des Bauvorhabens entsprechend umgebaut und bzgl. des empfohlenen gedrehten, d. h. vertikalen Einbaus gemessen. Alternativ wurden die Auswirkungen der Luftführung von der Fassadenöffnung zum Lüfter bzgl. der Abhängigkeiten auf den daraus resultierenden reduzierten Luftdurchfluss gewertet.

- Lüfter: Aeromat 150
- Typ: DD
- Lüfterlänge LL: 1.500 mm
- Anzahl Luftführungen (LF): 3 Stk.
- Wetterschutz (WS): ohne (wurde in der Ausführung in die Fensterlaibung integriert)
-

Damit wurden folgende Werte erreicht:

Variante / Einstellungen	Δp [Pa]	V [m ³ /h]	Lp [dB(A)]	Schalldämmung
AE150 D, 3 LF,	6	93		Rw1,9 = 39 dB
LL= 1500 mm	8	107,5		Dnw = 46 dB
ohne WS	10	120,5		
	15	148		
	20	170		
	30	210,5		
AE150 D, 3 LF,	6	80		
LL= 1500 mm	8	92		
mit 3 WS	10	104		
mit 3 90°-BUK-Bögen	15	127		
(Abschätzung der Differenz	20	146		
von 14%)	30	181		

Tabelle 5: Messergebnisse Aeromat 150 DD, 3 LF, ohne WS

Die Daten für die Variante mit montierten Bögen und Wetterschutzgittern wird aus Messungen mit kleineren Lüfterlängen abgeschätzt, da die Prüfstandsöffnung kleiner als die Lüfterlänge LL=1500 mm ist. Anhand dieser Untersuchung konnte der Einfluss auf den Volumenstrom verschiedener Bögen ausgewertet werden:

- Bei der Variante nur mit Flexrohrbogen muss im Mittel ca. 7% und bei der Variante mit Flexrohrbogen und Standard-Wetterschutz müssen im Mittel ca. 10 % vom Volumenstrom abgezogen werden.
- Bzgl. R&G, 90°PVC-Bogen NW 125; Lindab, Typ BUK 90° NW 125; Flexrohr 90° gebogen NW 125, ergibt sich, wenn man den Flexrohrbogen als strömungsgünstigste Variante als Basis nimmt, muss man beim PVC-Bogen im Mittel ca. 6% vom Volumenstrom abziehen. Bei der Variante mit BUK-Bögen müssen im Mittel ca. 4 % abgezogen werden.

Somit müssen von der vorgenannten Messung im Mittel ca. 14 % vom Volumenstrom abgezogen werden, um die Variante mit BUK-Bogen und Wetterschutz abzuschätzen. In Abhängigkeit zu den Ergebnissen der einleitend erläuterten Simulation wird die zwischen Innen- und Außenraum zur Sicherstellung des geforderten Volumenstroms notwendige Druckdifferenz festgelegt.

Die geforderten Volumenströme von 80 bzw. 160 m³/h werden somit bei einer Druckdifferenz von ca. 6 bzw. ca. 24 Pa erreicht.

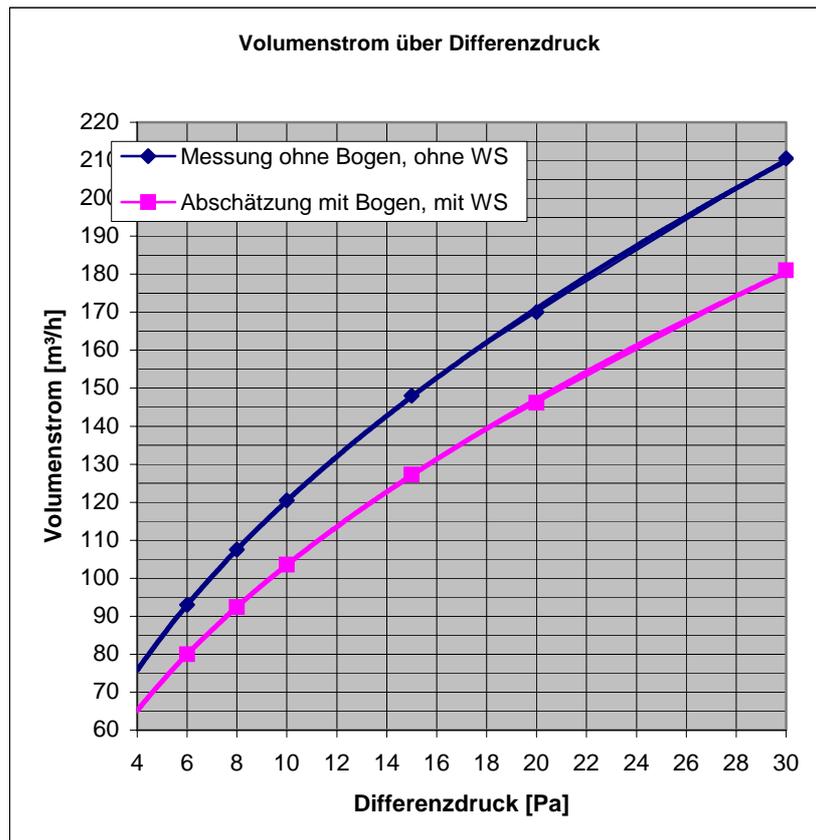


Abbildung 20: Volumenstrom über Differenzdruck Aeromat 150 DD, 3 LF, ohne WS

4.1.3.3 Festlegungen für der Ausführung

Basierend auf den o. a. Simulationen und Messungen wird ein Fassadenlüfter je Büro vertikal in die vorgefertigte Fassadentafel eingebaut. Die Kunststoffbögen der Ansaugöffnungen und die Wetterschutzgitter wurden ebenfalls in die Laibung des Tafelbaus integriert. Die diesbezüglich, detaillierte Leistungsbeschreibung und Konstruktionszeichnungen sind den Anlagen 2 und 4 zu entnehmen.

4.1.4 Dimensionierung der PCM Deckenverkleidung im Leichtbaugeschoss

Wie in den o. a. Simulationen aufgezeigt, existieren in dem Leichtbau- und Massivbaugeschoss des Verwaltungsgebäudes sehr unterschiedliche Voraussetzungen für das Raumklima. Während im 1. OG über die im Bestand existierenden Speichermassen mittels der Nachtlüftung die tagsüber gespeicherte Wärme abtransportiert werden kann, ist im 2. OG (Leichtbau) das Nachrüsten von zusätzlicher Speichermasse notwendig. Durch Einbringung von 2- 4 cm dicken Latentspeicherplatten aus PCM, die bei 23 – 26°C Lufttemperatur vom festen in den flüssigen Aggregatzustand übergehen, kann eine Speichermasse vergleichbar einer konventionellen Betondecke erreicht werden.

4.1.4.1 Gegenüberstellung der Latentspeicher

Die Latentspeicher werden grundsätzlich bzgl. der aktiven und passiven Materialien unterschieden, die bauphysikalischen Eigenschaften und die überschlägigen Investitionskosten für die Nachrüstung des 2. OG werden nachstehend zusammengefasst:

PCM- Passiv- Putzvariante, z. B. Maxit PCM Putz

Im Falle eines Deckenputzes kann von einer Aufbauhöhe von 3 cm ausgegangen werden. Der Materialbedarf liegt dabei bei ca. 30 kg/m² und damit bei 210 m² bei 6,3 t. Prinzipiell ist es günstiger, Material auf möglichst großen Fläche zu verteilen, als das Material in dicken Schichten aufzubringen.

Die Kosten des PCM Putzes liegen derzeit bei 1.900 €/t für das Material gegenüber etwa 200 €/t ohne die PCM Zugabe (Bruttokosten). Damit liegen zur Zeit der Planung die Materialkosten bei einer Anwendung für 210 m² Fläche bei ca. 12.000 € (6,3 * 1.900 €). Gegenzurechnen ist der Materialpreis einer anderweitigen Deckenverkleidung, sofern von gleichen Arbeitskosten ausgegangen werden kann. Von einem Sponsorenpreis ist nicht auszugehen, da schon Demonstrationsprojekte realisiert wurden.

Der Schmelzbereich liegt bei 24° bis 27°C, der Kristallisationspunkt bei 24°C. Damit liegt er hinreichend hoch, damit ein nächtliches Verfestigen sichergestellt werden kann.

Das Material hat die B1 Zulassung. Wärmekapazität ca. 100 J/kg. Bei 4-5 kg/m² reines PCM ergibt sich eine Wärmekapazität von 400- 500 J/m².

PCM- Passiv- Abhangvariante, z. B. Kalziumchlorid in abgehängter Decke (Dörken)

Im Falle des Dörken-Produkts wird das PCM in Metallbeuteln auf eine abgehängte Decke aufgelegt. Der Deckenaufbau hat bedingt durch die Montageart eine Mindesthöhe von ca. 20 cm.

Die Wärmekapazität liegt bei 160 J/kg und damit deutlich höher als beim PCM-Putz. Gleichzeitig kann pro m² mehr Material untergebracht werden, nämlich 8-12 kg/m².

Im Unterschied zum PCM-Putz liegt der Kristallisationspunkt mit 22°C um 2 K niedriger. Daher ist damit zu rechnen, dass es Tage bzw. Perioden geben wird, an denen das Material durch Nachtlüftung allein nicht rückkristallisiert werden kann. Diese Tage sind im Klima Remscheids verglichen mit sommerwarmen Standorten selten. Andererseits bedeutet der niedrige Kristallisationspunkt, dass eine besonders wirksame Nachtlüftung erfolgen muss (3- bis 4-facher Luftwechsel, gute Umströmung der PCM- Pakete oberhalb der Decke).

Die Materialkosten der gesamten Decke – hier als geschlossene Metalldecke mit PCM angesetzt - belaufen sich zur Zeit der Planung auf ca. 60 €/m² und damit bei 210 m² bei 12.600 € zzgl. Montage. Die Kosten sind vergleichbar mit dem PCM Putz. Von einem Sponsorenpreis ist nicht auszugehen, da schon Demonstrationsprojekte realisiert wurden.

PCM- Aktiv- Abhangvariante, kein handelsüblicher Anbieter

Bei einer aktiven Variante entfällt die Nachtlüftung zu Gunsten einer wasserdurchströmten Decke (Kapillarrohr in Putz, Metalldecke mit oberseitigem Rohrsystem). Durch den besseren Wärmeübergang kann das Material sicher rückkristallisiert werden.

Als Wärmequelle kommt die Außenluft in Verbindung mit einem Rückkühlwerk auf dem Dach in Frage. Bei niedriger Außenluftfeuchte kann zusätzlich Verdunstungswärme genutzt werden. Alternativ kommt eine (oder mehrere) Erdsonde in Betracht. Eine Nachrüstung mit einer Kältemaschine ist im Falle der nicht ausreichenden Leistung möglich.

Das System kann in Verbindung mit der solarthermischen Anlage als Niedertemperaturheizfläche genutzt werden. Dabei ist das Speicherverhalten anders als bei einer Fußbodenheizung, da Wärme zunächst ohne Temperaturänderung aufgenommen wird. Dies ist regelungstechnisch zu beachten.

Die Kosten liegen laut Abschätzung des an der Planung beteiligten Planungsbüros mit 47.000 € zzgl. PCM Material vergleichsweise hoch. Dabei ist jedoch schon die hydraulische Anbindung an die Heizung eingeschlossen. Die fassadenseitigen Heizkörper können nicht entfallen. Die Einrichtungen zur Nachtlüftung sind nicht erforderlich, allerdings sollte die Dauerlüftung am Tage erhalten bleiben.

4.1.4.2 Auswahl des Latentwärmespeichers

Die aktive Variante ist grundsätzlich leistungsfähiger und kann darüber hinaus mit einer aktiven Kälteerzeugung nachgerüstet werden. Für alle Hersteller wäre der Einsatz einer solchen Kopplung an PCM Materialien und wasserdurchströmten Decken als Pilotprojekt zunächst einmal zu entwickeln. Diese Variante ist jedoch mit wesentlich höheren Investitionskosten verbunden und würde zu einer „2 Klassen Gesellschaft“ im Gebäude führen. (passive Nachtauskühlung im 1. OG, aktive Kühlung 2. OG)

Aus diesem Grund wird die Ausführung einer passiven Variante weiter verfolgt, mit der über geringere Investitionskosten ein vergleichbares Verhalten im 1. und 2. OG hergestellt werden kann.

Bzgl. der Passivkomponenten wurde im Nachgang zur oben beschriebenen Gegenüberstellung aufgezeigt, dass PCM-haltige Gipskartonplatten (Trockenputz) pro Volumen mehr PCM enthalten als die auf dem Markt verfügbaren Putze. Das Aufbringen eines 3 cm dicken Deckenputzes auf die unterschiedlichen Bestandsuntergründe wäre darüber hinaus mit erheblichen Ausführungsschwierigkeiten verbunden. Eine Verkleidung der Bestandskonstruktion mit PCM-haltigen Gipskartonplatten stellte z. Zt. der Planung für die Nachrüstung eines Bestandsgebäudes mit Latentspeichern die günstigste Ausführungsvariante dar.

Zu diesem Zeitpunkt gab es erst eine sehr eingeschränkte handelsüblich verfügbare Produktpalette. BASF mit dem Rohstoffsortiment Micronal war zu diesem Zeitpunkt der einzige Hersteller, der formaldehyd- freie mikroverkapselte Latentwärmespeicher für die Bauindustrie in größeren Mengen zur Verfügung stellte.

Hier werden zwei Produkte mit unterschiedlichen Schmelzpunkten angeboten. Micronal DS 5007 bzw. 5008 mit einer Schmelztemperatur von 23°C, Micronal DS 5000 bzw. 5001 mit einer Schmelztemperatur von 26°C. Die geeigneten Schmelzpunkte sind jeweils auf die Besonderheiten des Gebäudes abzustimmen. Aus den oben aufgeführten Simulationen ist für dieses Bauvorhaben ein notwendiger Schmelzpunkt mit dem Schmelzpunkt bei 26° C zu verwenden.

Die Einbaumöglichkeiten und Verarbeitung des Materials entsprechen einer konventionellen Leichtbauausführung.

4.1.5 Simulation zum Raumklima in der Wagenhalle

Bzgl. des Raumklimas in den Wagenhallen sind andere Parameter genauer zu untersuchen. Hier wird ergänzend zur notwendigen Belüftung der Wagenhallen die Möglichkeit bewertet, bei Sicherstellung der Frostfreiheit eine Beheizung dieser Bereiche vermeiden zu können.

4.1.5.1 Parameterbestimmung in den Wagenhallen (EG und UG)

Berechnungsverfahren:

- dyn. Simulation mit TRNSYS in ¼ h zeitlicher Auflösung
- Berechnungsumfang 5 Zonen (UG,EG, Büro Süd, Büro Nord, Büro Flur)
- Wetterdaten nach Meteonorm generiert für den Standort

Wesentliche Einflussgrößen auf die Temperatur in den Wagenhallen haben:

- Wärmeverluste durch Lüftung bei Nutzung der Fahrzeuge
- Wärmeverluste durch Infiltration (unkontrolliertes Lüften) hervorgerufen durch nicht luftdichte Rolltore (Bestand)
- Wärmespeicherung in der vorhandenen massiven Konstruktion

Randbedingungen:

- Wandaufbauten gem. Tabelle im Anhang
- Nutzungszeit Büros 8-18 Uhr
- Lüftung der Büros 7-18 Uhr
- Fahrzeugnutzung:
 - 6.45-7.15 Uhr
 - 15.15-16.15
 - 2 Zwischenzeiten pro Tag à 15 min
- Beleuchtung geschaltet wie Fahrzeugnutzung mit
 - 15 min Vor- u. Nachlauf 0,5 W/m²

Interne Gewinne:

- durch Fahrzeuge nicht berücksichtigt²¹

Lüftung:

- mech. Abluft gem. Auslegung:
 - 7.440 m³/h im UG
 - 4.500 m³/h im EG
 - mit Nachlaufsteuerung 1 Luftwechsel

²¹ Es wird davon ausgegangen, dass die Abwärme der Motoren etc. durch die auf Außentemperatur abgekühlten Aufbauten der Fahrzeuge kompensiert wird

- Abluftnutzung aus Büros mit 4700 m³/h in der Nutzungszeit eingeblasen in UG (Variante)

Infiltration durch Wind:

- berechnet aus Windgeschwindigkeit
und vorgegebenem n₅₀ Wert nach Gl. $n=c*\Delta P^{2/3}$,
c bestimmt aus n₅₀ Wert, ΔP bestimmt aus Windgeschwindigkeit (Staudruck)
- Abminderung der Infiltration nach EN 832 für einen freien Gebäudestandort
- Bei Toröffnung wird die Infiltration um 4 1/h Luftwechsel erhöht

Heizung (Variante):

- 21 kW (gem. des beauftragten Ing.- Büros)

Erdreichtemperatur:

- konst. 6 °C zur minimalen Abschätzung. Variante mit 10°C

4.1.5.2 Berechnung der Raumkonditionen in den Wagenhallen (EG und UG)

Die ausgewiesenen Temperaturunterschreitungen beziehen sich auf die Heizperiode.

Der Ausgangsfall und alle weitere Varianten (soweit nicht anders angegeben) beziehen sich auf eine angenommene Erdreichtemperatur von 6 °C²².

Zur Erhöhung der Innentemperatur wird die Nutzung der Abluft der Büros als eine Variante untersucht.

Die Abluft der Büros wird entsprechend einer möglichen technischen Umsetzung, wenn sie als genutzt angenommen wird, nur in das UG eingeblasen. Die Laufzeit der Bürolüftung wird dem Garagenbetrieb angepasst (1 h verlängerte Laufzeit).

Als weitere Abwärmequellen werden in einer Variante genutzt: Abwärme der Trockenschränke der Arbeitsanzüge, Abwärme der Serverraumkühlung. Diese werden, soweit in den einzelnen Varianten berücksichtigt, entsprechend ihrer Nutzung als Wärmequelle integriert.

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die untersuchten Varianten. (n₅₀ ist Maß für die Luftdichtigkeit)

Tabelle 6: Kurzübersicht über die untersuchten Varianten

	n ₅₀ EG/UG	Zuluft Büroabluf	Heizung	Abwärme
	1/h	m ³ /h	kW	
Ausgangsfall	4/5,2	0	0	
Variante 1 (Büroabluf)	4/5,2	4700	0	
Variante 2 (erh.Luftdichtig.)	2/2,6	0	0	
Variante 3 (erh.Luftd.+Abluf)	2/2,6	4700	0	
Variante 4 (A.fall+Heizung)	4/5,2	0	21	
Variante 5 (Var.1 +Heizung)	4/5,2	4700	21	
Variante 6 (Var1 + Abwärme)	4/5,2	4700	0	Server Trockner

²² Übliche Randbedingungen zur Festlegung der Erdreichtemperatur sind unzutreffend, da die Hallen nicht beheizt sind, die Temperatur wurde konservativ abgeschätzt

Die folgende Tabelle zeigt die Dauer der Unterschreitung der Temperaturgrenze von 5°C und 0°C (Lufttemperatur) in Abhängigkeit der angenommenen Luftdichtigkeit der Hallen. Als zusätzliche Parameter werden das Einblasen der Abluft der Büros in das UG, die Nutzung von Abwärme und eine Beheizung berücksichtigt.

Tabelle 7: Einfluss der Infiltration, Nutzung der Büroabluft und der Beheizung

Ergebnisse der Temperaturhäufigkeit		Ausgangspunkt	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5	Variante 6
		h	h	h	h	h	h	h
Temperaturunterschreitung Untergeschoss	< 5°C	1048	464	197	96	823	266	361
	< 0 °C	16	2	4	1	9	2	2
Temperaturunterschreitung Erdgeschoss	< 5°C	1008	780	105	99	815	574	403
	< 0 °C	25	20	2	2	12	11	10
Heizenergie						kWh	kWh	
					EG	5314	4545	
					UG	7963	4166	
					Gesamt	13277	8711	

Deutlich wird, dass durch das Einblasen der Abluft der Büros (V 1) und durch Nutzung der Abwärme vom Server und der Trockner (V 6) die Temperaturunterschreitungen massiv verringert werden können und Frost nur in sehr wenigen Stunden auftritt. Bei gleichzeitiger Verbesserung der Luftdichtigkeit der Fassade (V3) wird die Unterschreitung nochmals erheblich reduziert. Darüber hinaus zeigen die Simulationen auch, dass es selbst im Falle einer Beheizung (V4 + 5) die absolute Frostfreiheit nicht geben kann, da der Luftaustausch bei der Bewegung der Fahrzeuge über die geöffneten Tore so groß werden kann, dass die Heizung bei extremen Temperaturen kurzzeitig zu wenig Leistung besitzt (Auslegung der Heizung nach Haustechniker gem. Anforderung)

Die folgende Graphik zeigt die Ursache: im Wetterdatensatz ist eine Periode mit sehr niedrigen Außentemperaturen und starken Wind, der die extremen Wärmeverluste verursacht.

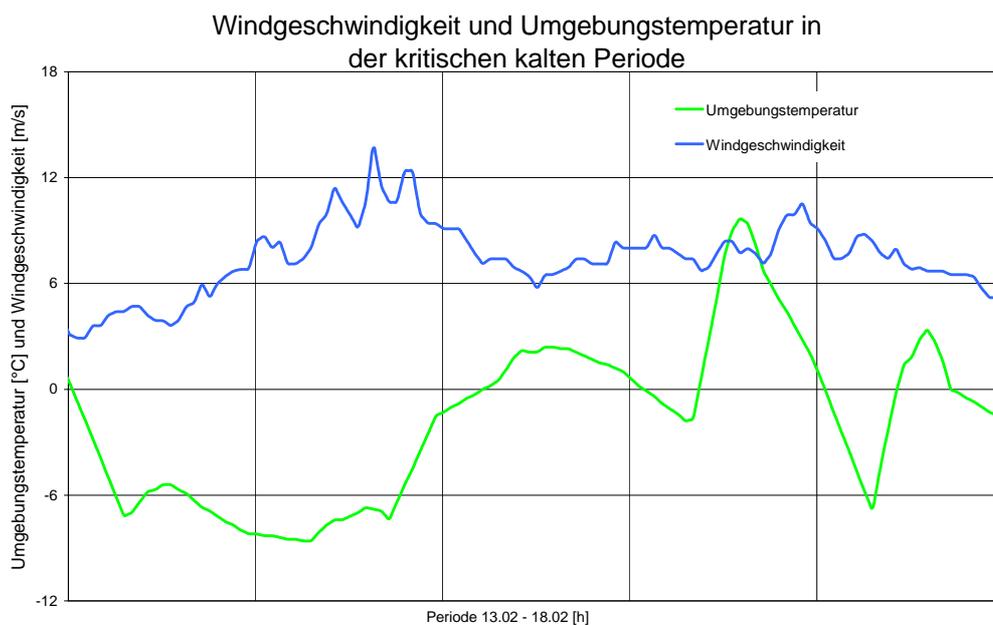


Abbildung 21: Wetterbedingungen in einer kritischen Periode

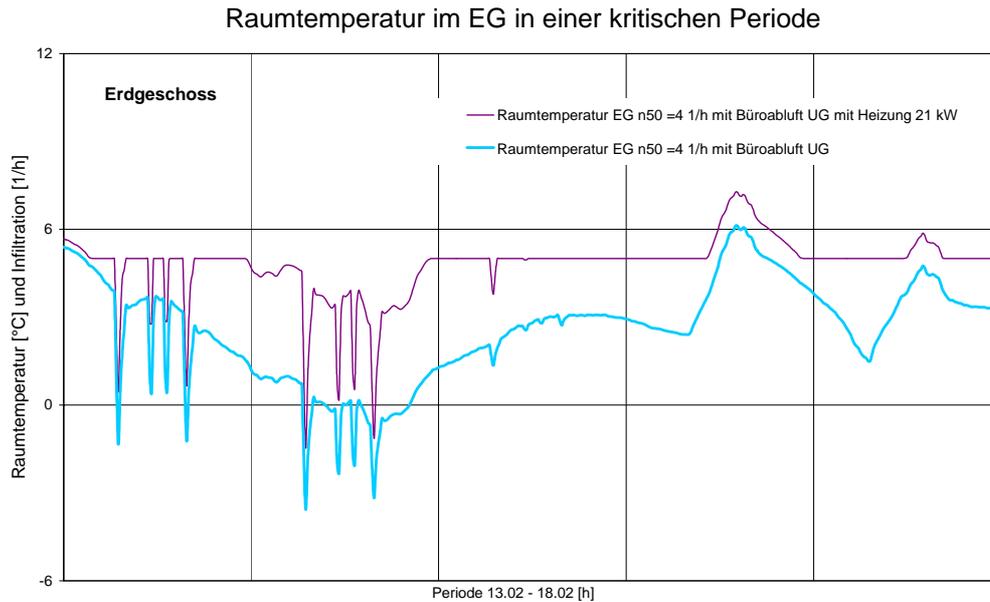


Abbildung 22: Raumlufttemperatur im EG in einer kritischen Periode, Darstellung der Varianten 1 u 5

Der Einfluss der Luftdichtigkeit ist erheblich im Bereich der 5°C Grenze; auf eine luftdichte Konstruktion ist deshalb Wert zu legen. Bei den Toren sind jedoch hinsichtlich dieses Aspektes, wenn sie erhalten bleiben, Grenzen gesetzt. Das Einblasen der Abluft der Büros in das UG wirkt sich in erster Linie auch in diesem Bereich aus. Im EG ergeben sich positive Effekte aus einer erhöhten Temperatur der Trenndecke.

Das Unterschreiten der Temperaturgrenze von 0°C wird bei luftdichteren Konstruktionen jedoch in erster Linie durch das Öffnen der Tore mit einem erhöhten Luftwechsel während dieser Zeit verursacht und kann durch das Einblasen der Abluft der Büros nicht vollständig vermieden werden.

Die folgende Abbildung zeigt zur Verdeutlichung den Temperaturverlauf in der kritischen Periode.

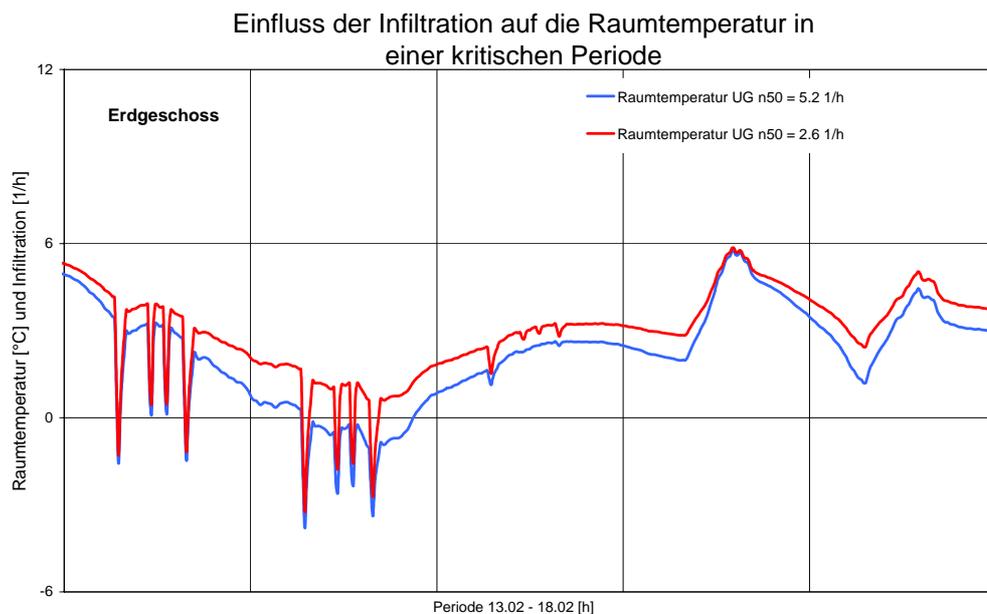


Abbildung 23: Temperaturverlauf in Abhängigkeit von der Infiltration u. der Luftdichtigkeit der Konstruktion

Der Einfluss der Erdreichtemperatur ist zur Abschätzung eines möglichen Fehlers erfolgt, sie zeigt, dass auch bei optimistischeren Annahmen eine Unterschreitung der Grenzwerte nicht ausgeschlossen werden kann.

Ausgangsfall: T-Erdreich in 70 cm Wand/Bodenabstand 6 °C
 Variante Erdreich: T-Erdreich in 70 cm Wand/Bodenabstand 10 °C
 alle anderen Parameter identisch

Ergebnisse der Temperaturhäufigkeit		Ausgangsfall	Variante Erdreich
		h	h
Temperaturunterschreitung Untergeschoss	< 5°C	1048	349
	< 0 °C	16	6
Temperaturunterschreitung Erdgeschoss	< 5°C	1008	611
	< 0 °C	25	17

Tabelle 8: Einfluss der Erdreichtemperaturen

4.1.5.3 Festlegungen zur Beheizung der Wagenhallen

Durch eine Abwärmenutzung und das Einblasen der Abluft der Büros ist es möglich die Dauer einer Unterschreitung der Grenztemperaturen in den Fahrzeughallen um bis zu 65 % zu reduzieren. Die Wärmeverluste des Gebäudes können so durch diese effektive Wärmerückgewinnung erheblich reduziert werden.

Die Luftdichtigkeit der Hallen hat wesentlichen Einfluss auf die sich einstellende Temperatur, die Konstruktionen und auch die Ausführung sollte deshalb hinsichtlich dieses Aspektes einen hohen Stellenwert erhalten.

Ein Frostrisiko kann mit den vorgeschlagenen Maßnahmen jedoch nicht 100%ig ausgeschlossen werden, Frost tritt aber nur kurzzeitig auf und ist an die Öffnungszeiten der Tore gekoppelt. Zur Einhaltung der 5°C Grenze muss jedoch, wenn dies gewünscht ist, in jedem Fall eine zusätzliche Beheizung vorgesehen werden.

Auf Basis dieser Untersuchungen wird festgelegt, dass bei Sanierung der Toranlagen mit verbesserter Schließregelung und Fassadendichtigkeit auf die zusätzliche Beheizung verzichtet wird. (V3 aus Tab. 7) Die aufgezeigten Grenzwertsituationen sind grundsätzlich ausreichend. In diesem Punkt wurde das Nutzerbedarfsprogramm entsprechend angepasst. Wenige Spezialfahrzeuge werden gesondert untergebracht.

4.2 Tageslicht / Kunstlicht

Die Eigenschaften der Fassadenbauteile in Kunststoff oder Glas entscheiden in der Verbindung mit der Positionierung und Größe dieser transparenten bzw. transluzenten Flächen maßgebend über die Tageslichtnutzung im Gebäude. Insbesondere in dem sehr breiten Bestandsgebäude der Nordstr. 48 ist darüber hinaus die Transparenz der Raumteiler innerhalb der Nutzungsebenen von entscheidender Bedeutung.

Ausgehend von diesen unterschiedlichen Gebäudezonen werden eine maximierte Tageslichtnutzung und der möglichst minimierte Energieverbrauch für die Zuschaltung des gem. Arbeitsstättenverordnung notwendigen Kunstlichtes in Abhängigkeit vom Beleuchtungskonzept, Regelungseinflüssen und Nutzungsprofil ermittelt.

Hierbei sind grundsätzlich drei Nutzungsbereiche zu unterscheiden:

- Fahrzeughallen
- Verkehrsflächen
- Verwaltungsbereich

4.2.1 Festlegungen zur Tageslichtnutzung in der Wagenhalle

Das erste Untergeschoss und das Erdgeschoss sind als durchgehende Fahrzeughallen jeweils mit einer Gebäudetiefe von über 20 Meter ausgebildet. Diese sind jeweils von einer Seite aus befahrbar. Der Fuhrpark der Entsorgungsbetriebe wird hier in abhängiger Parkweise hintereinander aufgestellt.

Über die Neugestaltung der Fassaden soll das Tageslicht von den verfügbaren Außenwänden aus möglichst weit in die Hallenbereiche diffus einstrahlen können. Es ist zu berücksichtigen, dass jeweils eine Seite vollständig „fest verglast“, die Zufahrtsseite jeweils komplett zu öffnen ausgeführt werden muss. Darüber hinaus ist der Mindestwärmeschutz mit der im o. g. Sinn festgelegten Frostfreiheit zu berücksichtigen.

In der Gegenüberstellung der beiden alternativ aufgeführten Fassadensysteme ist die Ausführung mit Kunststoff- Mehrstegplatten hinsichtlich der Anforderungen aus dem Nutzerbedarfsprogramm für diesen Nutzungsbereich als die günstigere Variante zu bewerten. Im Einzelnen sind folgende Vorteile der Kunststofffassade aufzuzeigen:

- Geringes Gewicht und somit reduzierte Unterkonstruktion
- Einbau in konventionelle Sektionaltore im Öffnungsbereich
- Gute Dämmeigenschaften mit einem U-Wert von ca. 1,20 W/m²K, ähnliche Werte sind bei einer Anwendung von U-Profilbauglasscheiben nur über die Ausfachung mit transparenter Wärmedämmung (TWD) zu erzielen, im Bereich der Sektionaltore ist eine solche Konstruktion nicht möglich.
- Ausführung ohne zusätzliche Dämmung auch im Verwaltungsbereich Erdgeschoss, somit Realisierbarkeit des seitens des Bauherrn gewünschten, durchgehenden Erscheinungsbildes
- Integration in die Pfosten- Riegel- Konstruktion (Lüftungselement / Fluchtweg)
- Kostengünstigere Ausführung
- Ressourcengünstigere Ausführung
- Diffuse Tageslichtnutzung, minimierter Kunstlichtbedarf (hier ist Glas nur mit TWD gleichwertig)
- Größere Gestaltungsvielfalt aufgrund färbbarer Platten und / oder farbige Hinterlegung der Elemente



Abbildung 24: Nord- Ansicht Wagenhalle nach der Sanierung



Abbildung 25: Süd- Ansicht Wagenhalle nach der Sanierung

4.2.2 Festlegungen zur Tageslichtnutzung in der Erschließungszone

Bzgl. des Foyers und des Treppenhauses gilt grundsätzlich das bzgl. der Wagenhallen Vorgetragene. Ergänzend sei hier angemerkt, dass mit den Kunststoff- Mehrstegplatten die gesamte Gebäudehöhe (ca. 15m) mit einem durchlaufenden Element verkleidet werden kann.



Abbildung 26: Innenansicht Treppenhaus nach der Sanierung



Abbildung 27: West- Ansicht Haupteingang nach der Sanierung

4.2.3 Simulationen zur Tageslichtnutzung im Verwaltungsbereich

Bzgl. dieses Nutzungsbereiches sind wesentlich differenziertere Untersuchungen notwendig. Hinsichtlich sommerlichem Wärmeschutz, Blendfreiheit am Arbeitsplatz (Computerarbeitsplätze), Abstimmung auf die Bürobeleuchtung und Ausbildung der Flurwände zwecks Kunstlichtreduzierungen im Mittelzonenbereich wurden die nachstehenden Berechnungen und Simulationen durchgeführt:

4.2.3.1 Simulationen zu Fassadenöffnungen

Mit ca. 16 m ist die Gebäudebreite des Bestandsgebäudes Nordstraße 48 für ein Verwaltungsgebäude unüblich groß. Hieraus ergibt sich bzgl. der Tageslichtbelichtung ein ca. 5 m breiter problematischer Erschließungs- und Kombiraumbereich.

Die Fassade wird zunächst bzgl. der Abstimmung der Tageslichtnutzung in den Büros und des sommerlichen Wärmeschutzes untersucht. Als maximale Fassadenöffnung ergibt sich die bestehende Wandöffnung zwischen den tragenden Wandscheiben zzgl. der nicht tragenden Brüstungen, welche rückgebaut werden.

Hierzu werden die nachstehend aufgezeigten Varianten über eine Tageslichtsimulation auf der Nord- und Südseite des Verwaltungsgebäudes bewertet. Grundsätzlich ist in Variante 1, bei der durchgehend verglasten Fassade, ein deutlich besserer Tageslichtquotient (TQ) feststellbar, der insbesondere in der Gebäudetiefe, in 4 Metern Entfernung von der Fassade, von 0,5 auf 0,8 % steigt. Diese Variante ist jedoch gem. den durchgeführten Simulationen insbesondere wegen der sommerlichen Überwärmung nicht ratsam.

Aufgrund der vorgegebenen Nutzung mit den senkrecht zur Fassade aufgestellten Arbeitsplätzen ergibt sich für Variante 2 am Arbeitsbereiche ein Tageslichtquotient von ca. 3%, d. h. bei bedecktem Himmel eine Beleuchtungsstärke von ungefähr 300 Lux. Dies ist abgestimmt auf die u. a. tageslichtbezogene Zuschaltung der Beleuchtung als ausreichend zu bewerten.



Abbildung 28: Variante 1, Visualisierung, bedeckter Himmel mit maximaler Fassadenöffnung

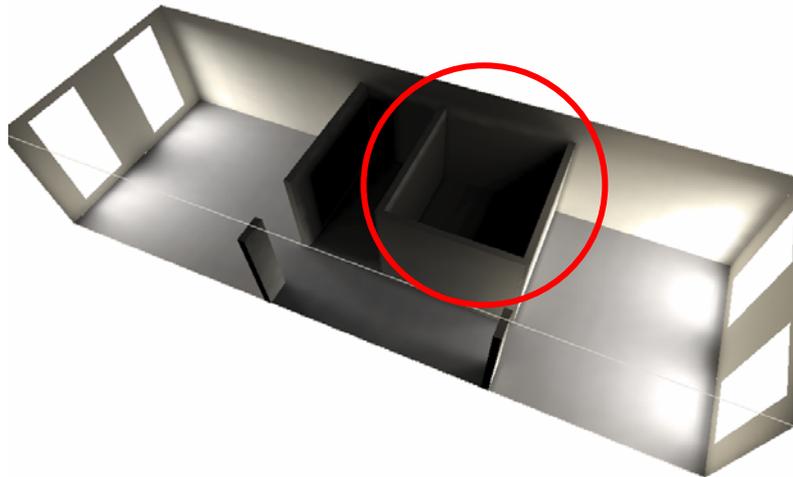


Abbildung 29: Variante 2, Visualisierung, bedeckter Himmel mit mittlerem geschlossenem Feld

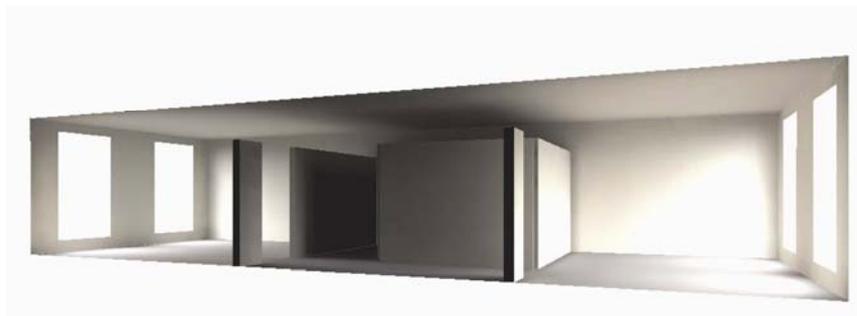


Abbildung 30: Variante 2, Raumeindruck, bedeckter Himmel mit mittlerem geschlossenem Feld

Bzgl. der Belichtung der mittleren Erschließungs- und Kombizone wurde über das vereinfachte Simulationsmodell aufgezeigt, dass auch bei vergleichsweise niedrigem TQ mittels transparenter Innenwände bzw. Innenwandbereiche auch dazu beigetragen werden kann, den visuellen Eindruck der Verkehrsflächen und der gefangenen Räume zu verbessern, wenn die Nutzer ein prinzipiell niedriges Beleuchtungsniveau auf den Verkehrsflächen in Verbindung mit Präsenzmeldern in den gefangenen Räumen akzeptieren. Nachfolgend wurde vereinfachend im Modell die Wand zum gefangenen Raum entfernt. Die Aufhellung ist deutlich erkennbar.

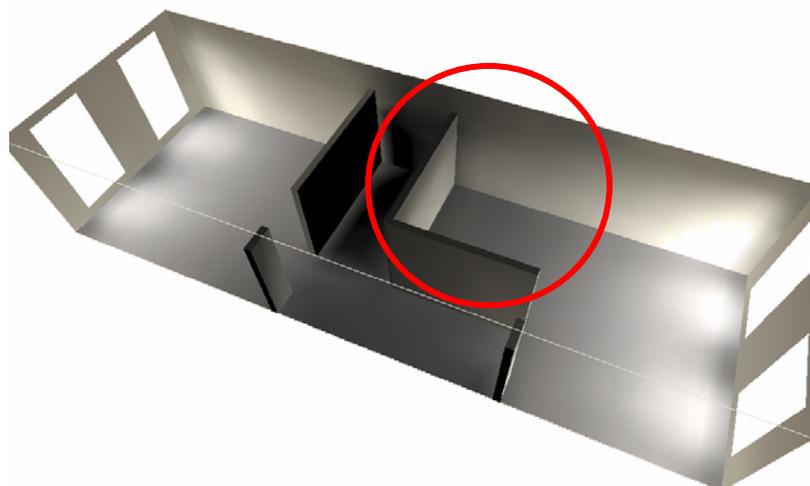


Abbildung 31: Variante 3, Öffnung der Mittelzone



Abbildung 32: Innenraumansicht in der Verwaltung nach der Sanierung

Im Bereich des 2. Obergeschosses konnte über die Öffnung des Daches und die so ermöglichte Belichtung der Flurzone mit Nordlicht die natürliche Belichtung der Innenzone sichergestellt werden, gleiches gilt für die Ausbildung des hinteren Bereiches im Versammlungsraum.



Abbildung 33: Innenraumansicht Versammlungsraum nach der Sanierung

4.2.3.2 Wahl des Sonnenschutzes und der Tageslichtlenkung

Aufgrund der durchgeführten Simulationen ist auf der Südseite des Gebäudes in den Verwaltungsbereichen ein Sonnenschutz notwendig. Dieser wird gleichzeitig auch als Blendschutz verwendet.

Bei der Wahl des Sonnenschutzes ist grundsätzlich darauf zu achten, dass die Reduzierung des Wärmeeintrags in die Büros und die Sicherstellung der Blendfreiheit am Arbeitsplatz auch bei teilgeöffnetem Behang mit möglicher Durchsicht nach außen möglich ist. Dies entspricht den Nutzeranforderungen, die in diesbezüglichen Untersuchungen des Fraunhofer- Instituts ermittelt wurden und vermeidet eine sonst notwendige Zuschaltung von Kunstlicht für die Ausleuchtung des Arbeitsplatzes bei heruntergefahrenem Sonnenschutz.

Über konventionelle Sonnenschutzbehänge kann dies nur äußerst eingeschränkt sichergestellt werden. Sonderbehänge ermöglichen über Teilöffnung der Behänge, meistens im Oberlichtbereich, eine Tageslichtlenkung in die Räume über die Reflektion des Sonnenlichtes an die Deckenflächen. Bzgl. der zusätzlich möglichen Durchsicht vom Arbeitsplatz bei Beibehaltung des geforderten F_c - Wertes²³ werden nur sehr wenige handelsübliche Behänge angeboten. Ein System mit gekanteten Lamellen kam in diesem Bauvorhaben zur Ausführung.

Verwendet wurde der Behang RETRO Lux A 80 der Fa. RETRO Solar als Außenbehang. Die Funktionsweise ist in den unten aufgezeigten Abbildungen dargestellt. Die Lamelle ist gekantet und auf der Außenseite spiegelnd und der Innenseite mattiert beschichtet. Es wird über eine im Verlauf des Behanges nach oben gerichtete immer waagerechtere Aufhängung der einzelnen Lamellen ein F_c - Wert $\leq 0,17$ bei sichergestellter Durchsicht bis nahezu 60% ermöglicht. Dies führt zu einer besonderen Behaglichkeit am Arbeitsplatz und reduziert den Energieverbrauch im Kunstlichtbereich maßgebend. Der Behang ist tageslichtabhängig zentral gesteuert und individuell seitens des Benutzers in jedem Büro übersteuerbar.

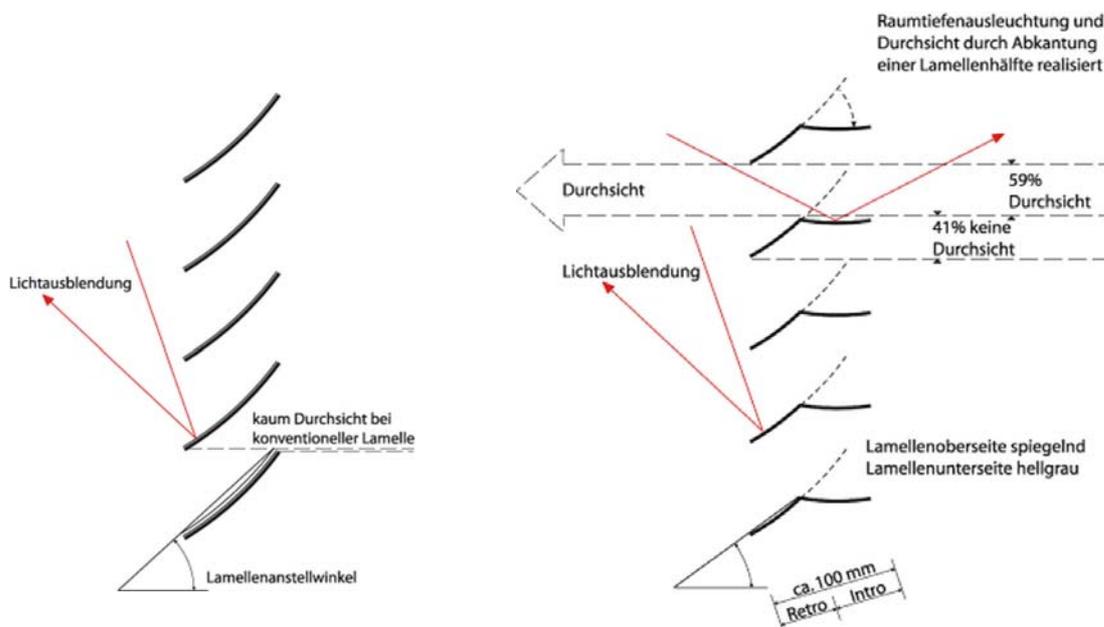


Abbildung 34: Gegenüberstellung eines konventionellen Sonnenschutzbehangs und RETRO Lux A 80

²³ Abminderungsfaktor

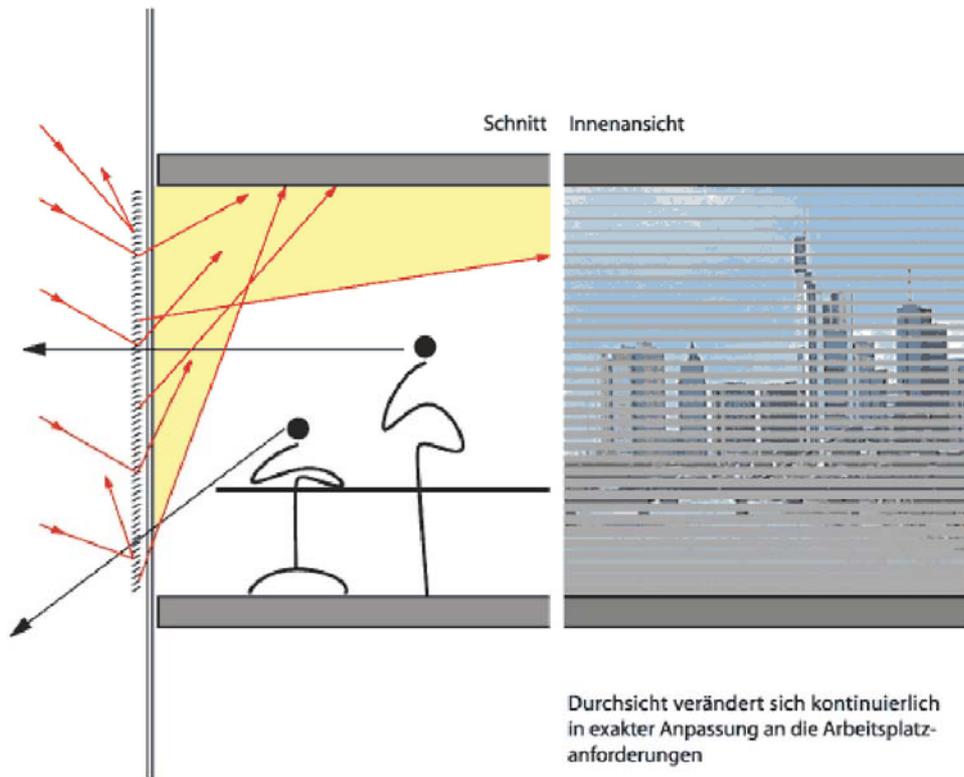


Abbildung 35: Tageslichtreflektion und Durchsicht von RETRO Lux A 80

4.2.4 Simulationen zur Abhängigkeit von Tages- und Kunstlicht

4.2.4.1 Grundparameter zur Bürobeleuchtung

Basierend auf den Festlegungen zur Fassade und zur Tageslichtlenkung wurden verschiedene Varianten der Bürobeleuchtung untersucht.

In einem ersten Planungsschritt wurde zunächst grundsätzlich festgelegt:

- Insbesondere wegen der geringen Geschosshöhe des Bestandes werden über Deckenleuchten mit direkter und indirekter Leuchtverteilung die Deckenflächen aufgehell.
- Auf den Arbeitsplatz bezogene Stehleuchtensysteme werden wegen der durch den Bestand vorgegebenen Raumdimensionierung und wegen der wesentlich höheren Investitionskosten in der vertiefenden Planung nicht weiter untersucht.
- Die Anordnung der Leuchten wird wegen der vorgegebenen Arbeitsplatzaufstellung bei variierenden Bürobreiten zur Vereinheitlichung der Ausführung und des Erscheinungsbildes senkrecht zur Fassade festgelegt.



Abbildung 36: Anordnung der Bürobeleuchtung

4.2.4.2 Simulationen zur Bürobeleuchtung

Im zweiten Planungsschritt wurden dann 3 ausgewählte Varianten mit dem Simulationsprogramm „Daysim“ gegenübergestellt und der für dieses Bürogebäude notwendige Jahresstromverbrauch verglichen. Das Programm „Daysim“ dient zur dynamischen Ganzjahressimulation des Stromverbrauchs für die elektrische Beleuchtung. Es können unterschiedliche Automatisierungsstrategien für das Kunstlicht und die Verschattung gewählt werden. Die Nennbeleuchtungsstärke und das Nutzungsprofil des Arbeitsplatzes werden mit einer von Feldstudien abgeleiteten Einschaltwahrscheinlichkeit für das Kunstlicht kombiniert.

Für die Berechnung des Jahresstromverbrauchs werden folgende Parameter festgelegt:

Die Arbeitsplätze sind tageslichtorientiert, d. h. als Arbeitsbereich wird ein Bereich von 2 m Tiefe von der Fassade aus gewertet. Es gibt einen Lichtschalter nahe der Tür. Die Arbeitszeit dauert wochentags von 8 bis 17 Uhr. Mittagspause und kurze Pausen werden berücksichtigt, Urlaubs- und Fehlzeiten nicht.

Die Berechnungen wurden für drei Systemvarianten durchgeführt.

- **„Manuell an / aus“**, fällt die Beleuchtungsstärke unter 500 Lux, schaltet der Nutzer die elektrische Beleuchtung ein.
- **„Dimmung“**, Leuchtenintegrierte Sensoren sorgen bei unzureichendem Tageslicht für eine Zuschaltung von Kunstlicht um im Arbeitsbereich die Soll-Beleuchtungsstärke von 500 Lux zu erreichen. Der Nutzer schaltet an und aus.
- **„Dimmung + Präsenz“**, Leuchtenintegrierte Sensoren sorgen bei unzureichendem Tageslicht für eine Zuschaltung von Kunstlicht, um im Arbeitsbereich die Soll-Beleuchtungsstärke von 500 Lux zu erreichen. Zusätzlich dazu schaltet ein Präsenzsensoren die elektrische Beleuchtung ab. Der Nutzer schaltet an, der Präsenzsensoren ab.

Es werden folgende ausgewählte Varianten gegenübergestellt:

- V(2) SR- Pendelleuchten 2-längig 35- 49 W, Lichtverteilung direkt / indirekt zur Arbeitsplatz- und Raumausleuchtung mit zusätzlicher direkter Arbeitsplatzaufhellung, Fabrikat Zumtobel Claris II o. gl.
- V(3) SR- Pendelleuchten 2-längig 54 + 2x 24 W, Lichtverteilung direkt / indirekt zur Arbeitsplatz- und Raumausleuchtung mit zusätzlicher direkter Arbeitsplatzaufhellung, Fabrikat Zumtobel Minimum Light o. gl.
- V(4) Mikroraster- Pendelleuchte 2-längig 80 W, Lichtverteilung direkt / indirekt zur Arbeitsplatz- und Raumausleuchtung, Fabrikat Zumtobel Aero o. gl.

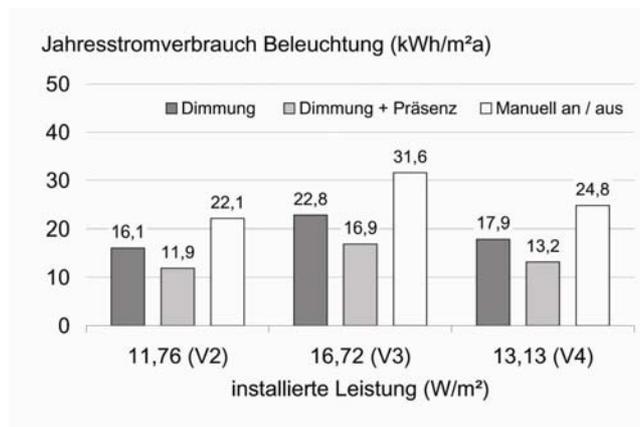


Abbildung 37: Gegenüberstellung des Jahresstromverbrauchs V2, V3 und V4 (gemischtes Nutzermodell)

Der Vergleich der Systemvarianten ergab, dass in allen Fällen die Beleuchtungssteuerung über „Dimmen + Präsenz“ als energieeffizienteste Variante zu bewerten ist. Dies wurde auch in der Untersuchung von unterschiedlichen Nutzermodellen, wie in der nachstehenden Abbildung aufgezeigt, bestätigt.

Hier werden folgende Nutzer unterschieden:

- „**Aktiver Nutzer**“, Jalousie: morgendliche Betätigung und tagsüber zur Vermeidung von Blendung Beleuchtung: „Ein“ / „Aus“ gemäß Tageslichtangebot
- „**Passiver Nutzer**“, Jalousie: immer halbgeschlossen Beleuchtung: tagsüber „ein“
- „**Gemischtes Nutzermodell**“, Mischung aus aktivem und passivem Nutzerverhalten

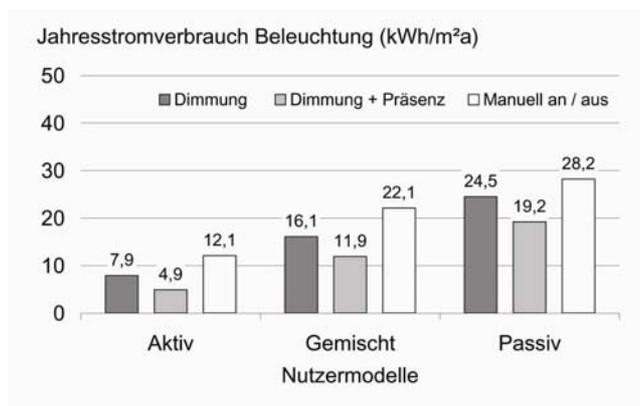


Abbildung 38: Vergleich der Jahresstromverbräuche unterschiedlicher Nutzermodelle²⁴

²⁴ Darstellung für V2, vergleichbare Auswirkungen wurden für die übrigen Darstellungen ausgewiesen

Die hier exemplarisch für das Nordbüro aufgezeigten Abhängigkeiten wurden in den Südbüros in ähnlicher Weise nachgewiesen. Durchschnittlich liegt die Einsparung bzgl. des Jahresstromverbrauchs Beleuchtung für die Verwaltungsebenen bei einem gemischten Nutzermodell bzgl. der Basisfalls „Manuell an / aus“, für die Variante „Dimmung“ bei ca. 28 %, für die Variante „Dimmung + Präsenz“ bei ca. 47 %.

4.2.4.3 Auswahl der Bürobeleuchtung

Grundsätzlich zeigt der Variantenvergleich, dass die Variante V2 den Raum in allen untersuchten Fällen mit der geringsten installierten Leistung ausleuchtet und somit zum niedrigsten Stromverbrauch führt.

In den Simulationen wurde jedoch ebenfalls aufgezeigt, dass in den innen liegenden Zonen mit der Variante V4 eine bessere Raumausleuchtung erzeugt wird. Gleichzeitig wurde seitens des Bauherrn die filigrane Ausführung der Mikroraster- Pendelleuchte und die Auswirkung auf die Büroraumgestaltung positiv bewertet. Diese Attribute waren ausschlaggebend für die Wahl der Leuchte, da der Stromverbrauch der Variante V4 nicht wesentlich über dem, der Variante V2 liegt und bei Betrachtung der längeren Lebensdauer der Leuchtmittel langfristig kostengünstiger ist.

Wegen der gleichmäßigeren Ausleuchtung in der Raumtiefe und des besser bewerteten optischen Erscheinungsbildes wurde die Variante V4 mit einer installierten Leistung von 13,13 kWh/m²a mit der Systemvariante „Dimmung + Präsenz zur Ausführung freigegeben.

4.2.4.4 Berechnungen zur Flurbeleuchtung

Die Flurwände werden in der o. a. Weise mittels der Lage der Türen und der transparenten Wandanteile mit senkrecht zur Fassade gelegten Tageslichtschneisen durchzogen. Im 2.OG erfolgt eine zusätzliche natürliche Belichtung über die Dachaufbauten.

Das über diese Öffnungen in den Flurhüllflächen einfallende diffuse Tageslicht und ggf. das zugeschaltete Kunstlicht aus den Büros sowie der erzeugte Sichtkontakt zu den Arbeitsplätzen ermöglichen eine reduzierte Ausleuchtung der Flurflächen. Eine vorgegebene Beleuchtungsstärke nach EN 12464 von nur 100 Lux führen zur vorgegebenen Behaglichkeit bei reduziertem Stromverbrauch.

Maßgebend für die Behaglichkeit in diesen Bereichen ist dabei die Ausleuchtung der Wand- und Deckenflächen. Mit Deckeneinbauleuchten würden die Decken- und oberen Wandflächen wesentlich abgedunkelter und würden so die empfundene Raumhöhe und Gesamtausleuchtung subjektiv reduzieren.

In diesem Bauvorhaben ist ein durchlaufendes Einbau- Lichtband der Fa. REGENT auf einer Flurseite im Übergang zur Decke in die Wand eingebaut.



Abbildung 39: Innenansicht Flur / mittlere Servicezone

4.3 Solarsysteme

4.3.1 Voraussetzungen und Eingangsdaten

Nach detaillierter Betrachtung der Energieverbräuche des Gebäudes und der Systemauslegung der Heizung wird eine solare Heizungsunterstützung als nicht effizient angesehen und deshalb nicht weiter verfolgt. Ursache ist die Auslegung der Heizung mit einer Systemtemperatur von 70/60°C, die zur Wärmedeckung der Büros mit dem zur Verfügung stehenden Platz für Heizflächen notwendig ist. Eine Solarenergienutzung in der Heizung scheidet damit aus, da die Rücklauftemperatur der Heizung von den Kollektoren in der Heizperiode zu selten überschritten werden kann.

Mit Ausnahme der Warmwasserbereitung stehen keine weiteren Energiesenken im Gebäude zur Verfügung, die die folgenden Anforderungen erfüllen:

- kontinuierlicher Bedarf
- Energiebedarf auch im Sommer
- Räumliche Nähe zu möglichen Standorten des Kollektors bzw. der Heizzentrale

Durch die Nutzung der Solarenergie allein für die Warmwasserbereitung ist eine Installation von Kollektoren in der Fassade wirtschaftlich nicht vertretbar, da sich bei der notwendigen Abweichung vom idealen Neigungswinkel der Kollektoren größere Kollektorflächen ergeben und auch eine Installation in der Fassade in der Regel höhere Kosten hervorruft. Zusätzlich sind thermische Probleme insbesondere bei der Kunststofffassade zu erwarten.

Wegen des erhöhten Wasserverbrauchs und der Nutzungsprofile in diesem Bauvorhaben ist die solare Warmwasserbereitung jedoch nicht mit Anlagen zur Warmwasserbereitung im Wohnungsbau vergleichbar.

- Hohe Entnahme jedoch in einem sehr kleinen Zeitraum
- Konstanter gemessener Bedarf über einen längeren Zeitraum
- Keine Wochenendnutzung
- Großanlage gem. DVGW-Richtlinie W551

Gem. den Anforderungen der DVGW Richtlinie W551 4/2004 für Großanlagen ist Folgendes zu beachten:

Das gesamte Netz ist auf einer Temperatur von $\geq 60^\circ\text{C}$ zu betreiben. Eine Zirkulation muss installiert werden und darf max. 5 K Temperatur verlieren. Die Zirkulation darf max. 8 von 24 h ausgeschaltet sein. Vorwärmstufen sind einmal täglich auf mindestens 60°C aufzuheizen, wenn sie mehr als 3 l Wasserinhalt besitzen. Dies umgesetzt auf eine solare Warmwasserbereitung im Gebäude der REB bedeutet:

- Für den hohen Warmwasserverbrauch ist eine Speicherung unumgänglich, da die Kesselleistung für die Erwärmung im Durchlaufprinzip nicht ausreichend ist
- Zentrale Durchlauferhitzer erfordern nach DVGW die gleichen Komponenten und Betriebsweise wie Speicher (Zirkulation)

Der solare Wärmespeicher ist zur Erzielung angemessener solarer Gewinne als Vorwärmestufe mit weniger als 3 l Inhalt auszuführen, d.h. Ausführung als Pufferspeicher mit Wärmetauscher.

4.3.2 Parameter des Messverfahrens

Die Anlage wurde mit TRNSYS simuliert. Die folgende Abbildung zeigt das ermittelte System, das basierend auf den erläuterten Vorbemerkungen konzipiert wurde:

- Warmwasserspeicher entsprechend der Anforderungen des Warmwassersystems ausgelegt, beheizt nur durch den Kessel
- Zirkulationsanlage angeschlossen an den Brauchwasserspeicher mit der Möglichkeit der Umschaltung auf den Kaltwasserzulauf des Pufferspeichers
- Solarbeheizter Pufferspeicher ausgeführt als Schichtspeicher
- Beheizung des Pufferspeichers nur über die Solaranlage
- Trennung des Solarkreislaufes mit einem Plattenwärmetauscher vom Pufferspeicher
- Einspeisung der Solarenergie über ein Schichtladersystem od. temperaturabhängig in verschiedene Ebenen des Speichers
- Ausstattung des Pufferspeichers mit einem Wärmetauscher für die Kaltwasservorwärmung
- Anschluss des Kaltwasserzulaufs an den Wärmetauscher im Pufferspeicher
- Brauchwassermischer nahe den Entnahmestelle (Wasserinhalt hinter dem Brauchwassermischer < 3 l).

Die Berechnung erfolgt mit einem Zeitschritt von 7,5 min zur Erhöhung der Genauigkeit der Simulation.

Als Kollektor wurde ein guter Flachkollektor in der Simulation berücksichtigt (Viessmann VitoSol 100). Vakuumröhren wurden wegen der ausreichend zur Verfügung stehenden Installationsfläche nicht berücksichtigt, sie besitzen trotz ihrer höheren Solargewinne eine geringere Wirtschaftlichkeit. Flachkollektoren anderer Hersteller sind in der Regel dem verwendeten Kollektor ähnlich und weisen nur geringe Abweichungen im Ertrag auf, die Daten der Kennlinie sind jedoch zu beachten und zu vergleichen. Die Ausrichtung der Kollektoren folgt der Gebäudeausrichtung mit einer Neigung von 40°.

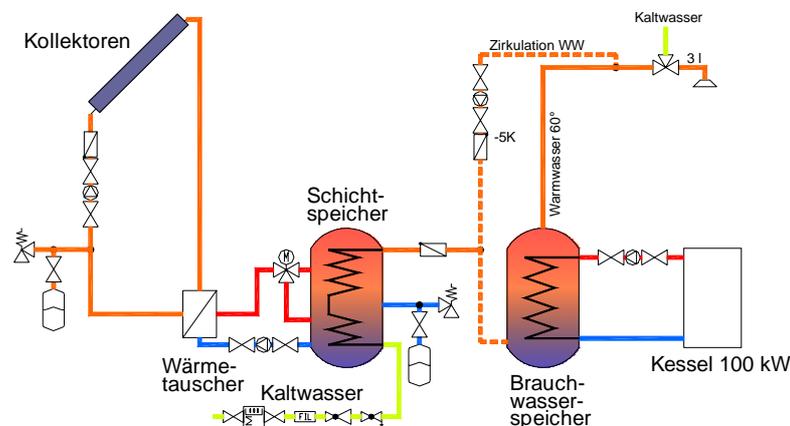


Abbildung 40: Warmwassererwärmungsanlage mit Solarkollektoren ohne Umschaltung der Zirkulation

Die Anlage wurde mit den dargestellten Komponenten in TRNSYS für die Simulation abgebildet und einer Parameterstudie unterzogen. Die Bereiche der Parameter wurden aufgrund von Erfahrungswerten eingeschränkt:

- Kollektorfläche 20-40 m²
- Pufferspeichervolumen 30-70l/m²Kollektorfläche
- spezifischer Volumenstrom im Kollektorkreis 10-50 l/m²h

Das Entnahmeprofil wurde aufgrund der übermittelten Verbräuche²⁵, den Aussagen zur künftigen Nutzerzahl²⁶ und dem Nutzungszeiten²⁷ wie folgt aufgestellt:

11-11.15 Uhr 50 l, 13-13.15 Uhr 50 l, 14.30-15 Uhr 180l, 15 –17.00 Uhr 990l

Eine zusätzliche Entnahme wurde sonntags zur thermischen Desinfektion der Auslaufleitungen berücksichtigt (200 Liter). Diese Maßnahme dient der Vermeidung von Bakterienwachstum im Bereich der Entnahmeleitungen, d.h. hinter den Brauchwassermischern. Sie ist erforderlich, da nicht immer alle Entnahmestelle benutzt werden und es zu stehendem Wasser in den Leitungen kommen könnte. Die Entnahmeprofile wurden zusätzlich einer Sensitivität unterzogen, d.h. mit Ab- und Zuschlägen für einen Mehr- oder Minderverbrauch berechnet.

4.3.3 Simulationsergebnisse zur Dimensionierung

Die folgende Abbildung zeigt den Einfluss der Speicherung und des Volumenstroms im Kollektorkreis.

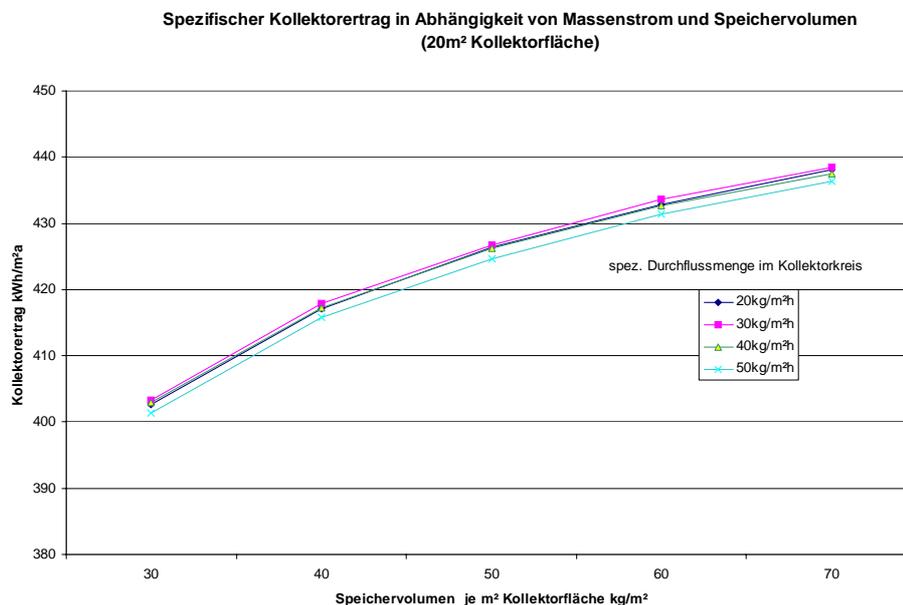


Abbildung 41: Abhängigkeit des Kollektorsertrages bei einer Kollektorgröße von 20 m²

²⁵ Gemessene Verbräuche 5 m³/Woche, d.h. 1000 l/Tag (aufgezeichnete Periode Dezember-Januar), Schwankungen Ende Jan-Feb.

²⁶ bisherige Nutzer 96 künftig +8, es wird jedoch aufgrund der Verbesserung der Sanitäreinrichtungen von einem erhöhten Verbrauch der bisherigen Nutzer ausgegangen

²⁷ Hauptnutzungszeit ist 15-17 Uhr, vereinzelte Nutzung während des Tages

4.3.3.1 Einfluss des Massenstromes

Der Massenstrom im Kollektorkreis beeinflusst die solaren Gewinne nur geringfügig, ein Betrieb mit ca. 30 l/m²h wird empfohlen. Hintergrund: ein kleiner Massenstrom im Kollektorkreis führt zu höheren Austrittstemperaturen und damit zu einer größeren Einschaltdauer; der Wirkungsgrad wird aber negativ beeinflusst. Das Optimum ist jedoch auch vom Kollektor abhängig, Kollektoren mit sehr flachen Kennlinien bzw. mit sehr gutem Wirkungsgrad bei hohen Temperaturen können mit geringem Massenströmen betrieben werden. Es besteht ein zusätzlicher geringer Einfluss durch die Größe des Kollektorfeldes und des Speichers; Anlagen mit größeren Speichern und Kollektorflächen können mit kleinerem Massenstrom betrieben werden. Die von den Herstellern geforderten Mindestmassenströme sind jedoch zu beachten.

4.3.3.2 Einfluss der Speichergröße

Der Einfluss der Speichergröße ist im Bereich der kurzzeitigen Speicherung gering; eine Verdoppelung des Volumens führt zu einer Erhöhung der Solargewinne im Bereich von 7,5 % (bei 20 m² Kollektorfläche). Die Kollektorfläche hat noch einen zusätzlichen Einfluss, bei größer dimensionierten Anlagen wird der Einfluss geringer (5% bei 30 m² Kollektorfläche. Die folgende Abbildung zeigt das Ergebnis).

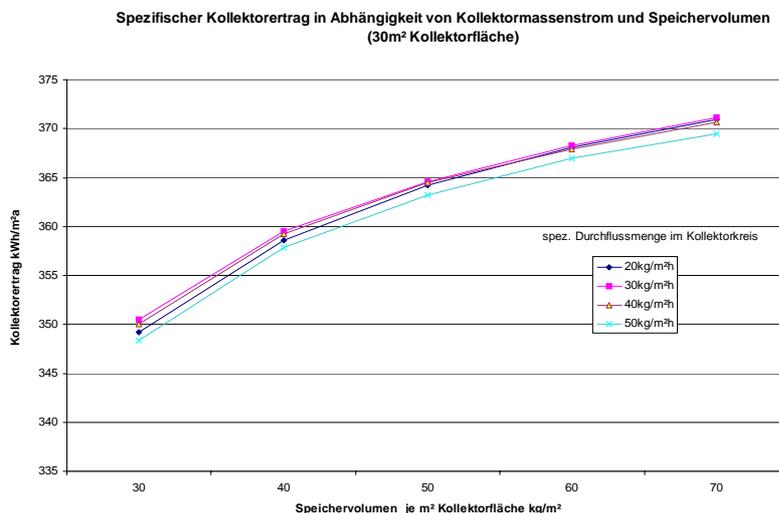


Abbildung 42: Abhängigkeit des Kollelerertrages bei einer Kollektorgröße von 30 m²

Aus der Entwicklung der solaren Gewinne bei steigendem Speichervolumen wird ersichtlich, dass mit steigendem Volumen der Anstieg der Gewinne geringer wird, so ergibt sich bei einer Erhöhung des Volumens von 50 auf 70 l/m² (dies entspricht bei 30 m² Kollektorfläche 1500 bzw. 2100 l) nur noch eine Erhöhung der solaren Gewinne von weniger als 2 %. Diese entsprechen ca. 200 kWh/a, und sollten in Relation zu den Mehrkosten gesetzt werden (Steigerung der Speichergröße von 1500 auf 2100 l).

4.3.3.3 Betrachtung des Gesamtertrages

Die folgende Graphik zeigt den Ertrag des Kollektorsystems, d.h. die Reduktion des zusätzlichen Wärmebedarfes, der durch die Heizung erfolgen muss. Speicher- und Zirkulationsverluste sind berücksichtigt. Die Darstellung erfolgte für eine Speichergröße von 50 l/m² und 30 m² Kollektorfläche.

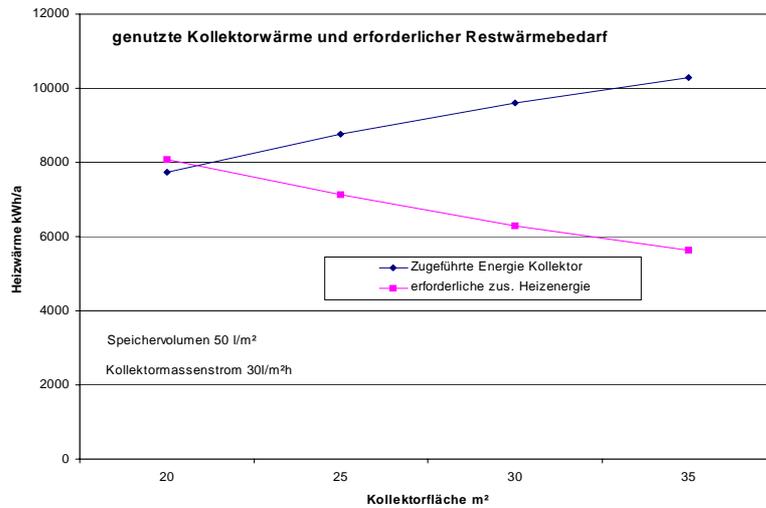


Abbildung 43: Nutzbare Energie vom Kollektor und Restwärmebedarf in Abhängigkeit der Kollektorfläche

4.3.3.4 Systemverbesserung und Sensitivität

Bei Betrachtung des Energiebedarfes der Warmwasserbereitung ist augenfällig, dass ein beträchtlicher Anteil der notwendigen Energie durch Wärmeverluste im System entsteht; insbesondere die Zirkulation erfordert einen erheblichen Wärmebedarf. Aufgrund des weit verzweigten Netzes entstehen Verluste in Höhe von 24% bezogen auf die Gesamtenergie für die Warmwasserbereitung. Es ist daher sinnvoll, diesen Energiebedarf, soweit möglich, ebenfalls durch die Solaranlage abzudecken.

Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Temperatur der Zirkulation minimal 55°C beträgt und deshalb von der Solaranlage nur erreicht wird, wenn der Pufferspeicher bereits erwärmt ist. Aus diesem Grunde wurde eine Systemmodifikation untersucht, bei der die Zirkulation auf den Kaltwasserzulauf des Pufferspeichers geschaltet wird. Dadurch kann sich der Zirkulationsstrom im Pufferspeicher erwärmen und Energie in den Brauchwasserspeicher transportieren. Die Temperatur im Trinkwasserspeicher ist jedoch nach Herstellerangaben der Brauchwassermischer auf 70°C begrenzt.

Die folgende Abbildung zeigt das Schema der modifizierten Anlage.

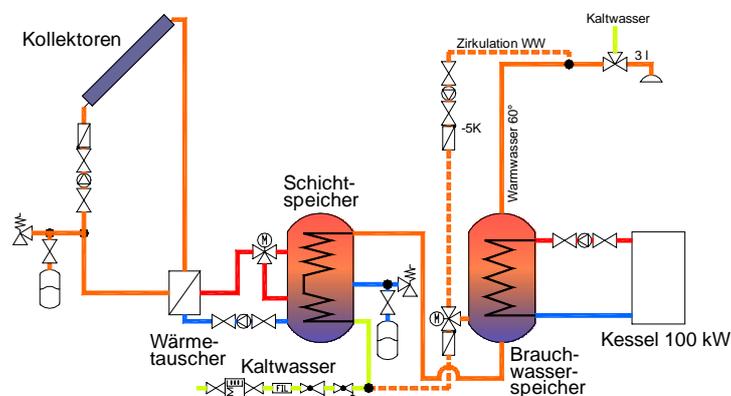


Abbildung 44: Modifiziertes Anlagenschema mit Aufschaltung der Zirkulation auf den KW-Zulauf

Durch diese Umschaltung wird bei einer Temperatur des Pufferspeichers über der Temperatur der Zirkulation Wärme vom Pufferspeicher in den Trinkwasserspeicher ‚verschoben‘ und so der Wärmeverlust durch die Solaranlage teilweise kompensiert. Durch die Temperaturbegrenzung des Trinkwasserspeichers ist dieser Effekt jedoch eingeschränkt und die Einsparungen betragen für die 30 m² Anlage ca. 450 kWh/a. Die zusätzlichen Kosten sind jedoch überschaubar (1 Umschaltventil mit Ansteuerung). Die folgenden Ergebnisse sind deshalb alle mit dieser Variante berechnet worden.

Den Gesamtertrag zeigt die folgende Graphik. Aufgetragen sind hier die effektiven Einsparungen durch den Kollektor, d.h. die Wärme, die zu einer Reduktion des Fremdenergiebedarfes führt, d.h. alle durch Speicherung und Wärmeverluste ‚verlorenen‘ Energiemengen sind berücksichtigt.

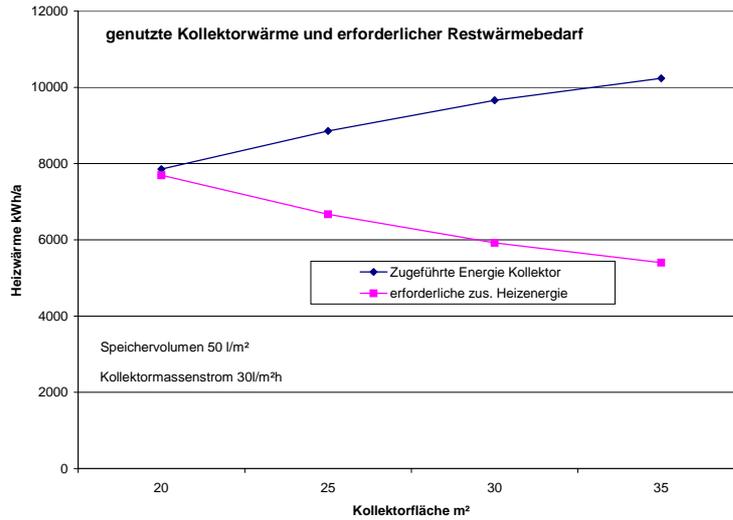


Abbildung 45: Nutzbare Energie vom Kollektor und Restwärmebedarf in Abhängigkeit der Kollektorfläche

Werden Energiebedarf und die vom Kollektor gelieferte Wärme in Relation gesetzt, so ergibt sich die so genannte solare Deckungsrate. Die folgende Graphik zeigt die Abhängigkeit. Als zusätzlicher Parameter wurde der Wasserbedarf variiert.

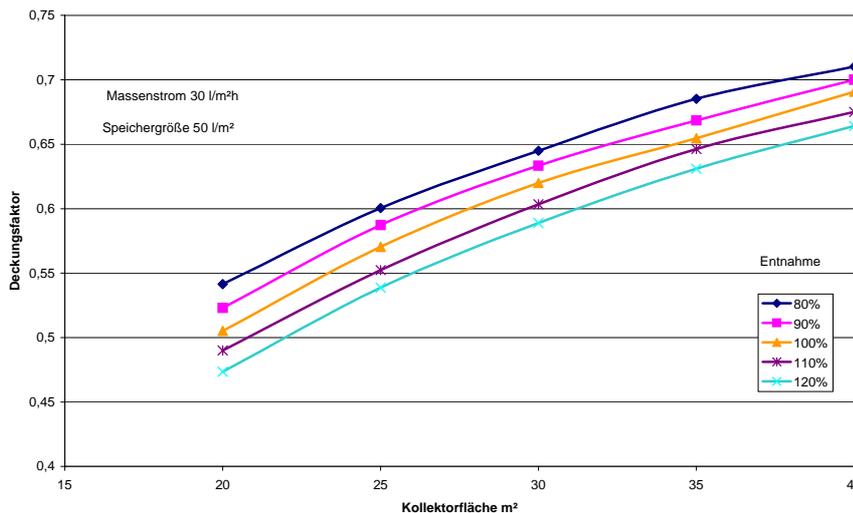


Abbildung 46: Solare Deckungsrate in Abhängigkeit zur Kollektorfläche und entnommenen Wassermenge²⁸

²⁸ Standardprofil entspricht 100%

Eine wichtige Größe zur Beurteilung der Anlage ist der spezifische Anlagenertrag, d.h. die Wärme, die von einem m^2 Kollektor geliefert wird. Der spezifische Kollektorsertrag sinkt mit steigender Kollektorfeldgröße, die folgende Graphik zeigt die Abhängigkeit dieses Wertes von der Kollektorfläche.

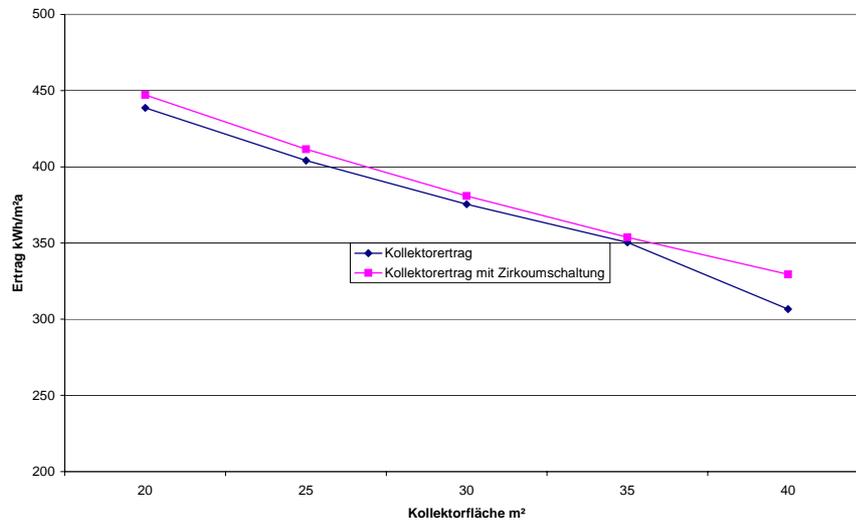


Abbildung 47: Spezifischer Kollektorsertrag (den Speichern zugeführte Energie)

Aus Abbildung 44 wird deutlich, dass es ohne Umschaltung der Zirkulation zu einem Abknicken der Erträge ab 35 m^2 Kollektorfläche kommt. Ursache ist ein erhöhter Stillstand der Anlage durch Abschalten nach Erreichen der Maxima-Temperatur.

4.3.4 Festlegungen zur Ausführung

Ein hoher Kollektorsertrag und eine hohe solare Deckungsrate sind aufgrund der gegenläufigen Tendenzen beider Größen nicht möglich, ein Kompromiss ist deshalb erforderlich:

Es wird für die Anlage mit den genannten Randbedingungen eine Kollektorfläche von 30 m^2 für die weitere Ausführungsplanung festgelegt; diese ermöglicht einen fast stillstandslosen Betrieb und eine akzeptable solare Deckungsrate von 62 %. Sollten die gemessenen Wasserverbräuche zurückgehen, so wird eine kleinere Fläche empfohlen.

5. Ressourceneffizienz

Die Bestandsfassade des Gebäudes wird komplett rückgebaut. Die neue, vorgefertigte, zweigeschossige Fassade wird als dämmende Hülle komplett vor den freigelegten Rohbau des Bestandes (tragende Konstruktion in Form der Stützen, Stürze bzw. Ringbalken und Geschossdecken) gestellt. In den nachstehenden Untersuchungen wird der Fassadenaufbau in drei Bestandteile gegliedert. Nach deren Einzelbetrachtung wird die gesamte Fassadenkonstruktion auch in Abhängigkeit zu konventionellen Bestandssanierungen bewertet.

Der tragende Teil besteht aus vorgefertigten Holztafelbau- Elementen, die in den nachstehenden Untersuchungen als „**Hinterbau**“ bezeichnet werden. Die Fenster werden in die Tafелеlemente werkseitig eingesetzt und sind in der Betrachtung der Umweltwirkungspotenziale des Hinterbaus enthalten. Dieser Teil der Fassade ist in allen Konstruktionsvarianten identisch.

Die vorgehängte Fassadenverkleidung wird alternativ in Glas- und Kunststoffausführung untersucht. Die verfügbaren Kunststoffprodukte weisen sehr unterschiedliche Eigenschaften auf und sind daher differenzierter zu betrachten. In den Untersuchungen zum nachstehend als „**Wetterschutz**“ bezeichneten Teil der Fassade werden drei verschiedene Ausführungen in Kunststoff der Glasfassade gegenüber gestellt.

Die Verkleidung der Brüstungselemente vor den Geschossdecken wird in den Untersuchungen zur Ressourceneffizienz als „**Fassadenzwischenpaneel**“ bezeichnet.

Die Fassadenschnitte sind dem Bericht in der Anlage 2 beigelegt.

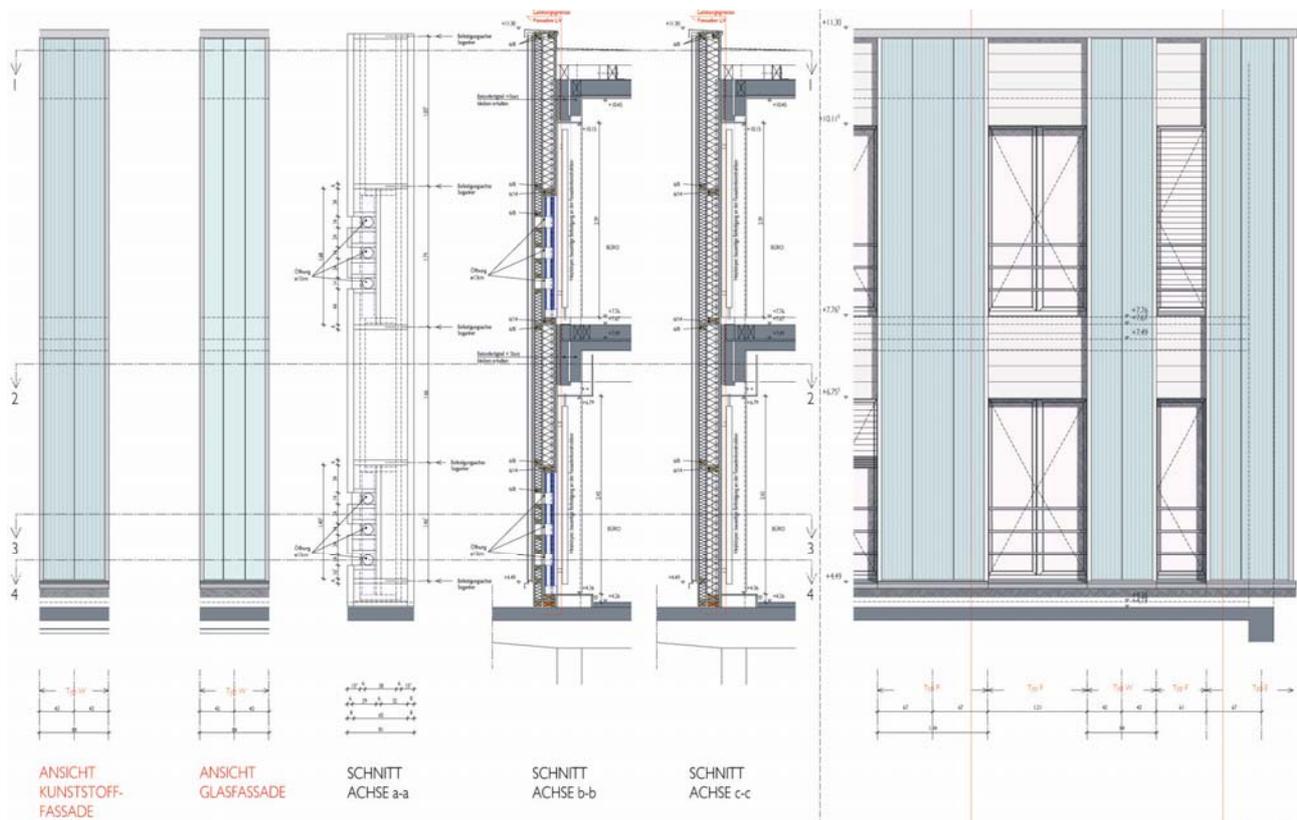


Abbildung 48: Wandaufbau und Fassadengliederung exemplarisch am Außenwandelement Typ W

5.1 Darstellung des Betrachtungsrahmens

Auf der Basis der oben ausgeführten Planungsgrundsätze wurden für die Sanierung des Verwaltungs- und Betriebsgebäudes Nordstraße 48 in Remscheid folgende Fassadenvarianten hinsichtlich Ihrer Materialintensität nach dem eingangs erläuterten MIPS- Konzept bewertet:

- Ausführung mit Profilbauglas
- Ausführung mit PC-Stegplatten
- Ausführung mit PMMA-Stegplatten
- Ausführung mit GFK-Stegplatten

Aufgrund von Herstellerbefragungen zur tatsächlichen Lebensdauer von Profilbauglas und Fassadenstegplatten aus den angegebenen Kunststoffen konnte für alle Ausführungsvarianten ein einheitlicher Erneuerungszyklus von 20 Jahren angenommen werden. Die tatsächliche Lebensdauer jeder der aufgeführten Fassadenvarianten dürfte um ein vielfaches höher liegen, doch kann im Fall von Bürogebäuden von einer wirtschaftlichen Nutzungsdauer von ca. 20 Jahren ausgegangen werden.²⁹

Untersucht wurden vor allem Unterschiede der Varianten hinsichtlich der Erstellung, Nutzung und Entsorgung der Gebäudefassade innerhalb dieses Erneuerungszyklus.

Neben der regelmäßigen Reinigung der in allen Varianten glatten Fassadenflächen sind innerhalb eines Zeitraums von 20-30 Jahren aus Sicht der Hersteller keine Wartungsaufwändungen, d.h. in diesem Fall grundsätzlich keine Instandsetzungen, zu erwarten. Eine Ausnahme stellt hierbei die Wartung der Versiegelung der Gussglaselemente (dauerelastische Fugen), die jährlich zu kontrollieren und spätestens alle 3-5 Jahre zu erneuern sind, dar.

Als Datenquellen für die Betrachtung der Fassadenerneuerung lagen folgende Unterlagen vor:

- Ausführungsplanung der Architekten
- Produktbeschreibungen für Profilbaugläser und Fassadenstegplatten verschiedener Hersteller
- Ausschreibung von Fassadenvarianten in Kunststoff und Glas
- mipsHAUS-Datenbank³⁰
- Ökoprofile verschiedener Kunststoffe (PE-Europe)
- GaBi 4.0 lean-Datenbank (PE-Europe; IKP Stuttgart)
- Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (Gemis) Version 4.1 (Öko-Institut)
- MIT-Faktoren des Wuppertal Instituts

5.2 Ermittlung der Materialmengen

Planungsbegleitend wurde anhand der ersten Entwurfgrundrisse und Schnitte zunächst eine vorläufige Mengenermittlung seitens des mipsHAUS-Institutes durchgeführt, mittels derer die gesteckten Planungsziele

²⁹ Erfahrungen der am Projekt beteiligten Architekten führten zu dem Schluss, dass Unternehmen meist ihre Gebäudefassade ihrem Image anpassen und sich ca. alle 20 Jahre ein „neues Gesicht“ geben.

³⁰ An einigen Stellen waren im Projektrahmen Erweiterungen der mipsHAUS-Datenbank nötig. Hier wurde auch auf kumulierte Ergebnisse aus verschiedenen Ökobilanz-Studien anderer Forschungsinstitute zurückgegriffen. Abweichende Betrachtungsrahmen und Allokationsregeln (z.B. Gutschriften) innerhalb dieser Studien waren im Einzelfall nicht immer vollständig festzustellen und konnten nicht berücksichtigt werden. Die Intransparenz verwendeter Ökobilanzierungsdaten ist ein bekanntes Phänomen, welches perspektivisch behoben werden sollte. Zu diesem Zweck wurde für Deutschland u. a. das Netzwerk Lebenszyklusdaten gegründet (vgl. <http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de/>). Trotz dieser im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht zu vermeidenden Unschärfe, lassen Erfahrungen aus anderen Projekten die Aussage zu, dass diese Abweichungen in der Gesamttaggregation nicht zu einer signifikanten Änderung der Endergebnisse geführt haben.

überprüft wurden. Die im vorliegenden Bericht dargestellten Ergebnisse wurden schließlich auf Grundlage der Pläne im Rahmen der Fassadenausschreibung aktualisiert und finalisiert.

Nach der Bestimmung der zu verwendenden Materialsorten wurde im nächsten Schritt über Volumen und Dichte die Menge der verschiedenen benötigten Materialien in kg pro Fassadenmodul (in unterschiedlichen Größen) errechnet.

Bezüglich der geplanten Fassade der Remscheider Entsorgungsbetriebe (REB) sind im 1.OG und 2.OG die Teilbereiche „Hinterbau“ aus vorgefertigten Fassadenelementen in Holzbauweise (Wärmeschutz) und ein vorgestellter Wetterschutz zu unterscheiden.

Während die geplanten Varianten für den „Hinterbau“ sich hinsichtlich der verwendeten Materialien lediglich durch die Wahl des Dämmstoffes unterscheiden, könnte der Wetterschutz wahlweise aus Profilbauglas oder Kunststoff-Stegplatten errichtet werden.

Zunächst geplante Aluminium-Zwischenpaneele sollten für alle Ausführungsvarianten gleich bleiben. In den ersten Ergebnissen der ökologischen Analyse dominierten diese jedoch aufgrund des hohen Energiebedarfs bei der Herstellung von Aluminium die Schätzung des Naturverbrauchs in so hohem Maße, dass die zuständigen Architekten die bestehende Fassadenplanung dahin modifizierten, dass die geplante Aluminiumverkleidung durch andere Fassadenbekleidungen ersetzt wurde.

Die Baustoffmengen aus der Materialmengenanalyse wurden für die Fassadenerneuerung summiert und getrennt nach Wetterschutz (Außenfassade) und Fassadenhinterbau (inklusive Fenstern) als GaBi-Prozesse angelegt.

The screenshot shows the GaBi software interface for a process named 'HB mit Glaswolleddämmung [Fassadenhinterbau] -- DB-Prozess'. The 'Inputs' table lists various materials and their quantities, while the 'Outputs' table shows the resulting facade back construction.

Inputs	Grösse	Menge	Einheit	Wertstoff	Standard	Herkunft
Fluss						
Aluminium [Metalle]	Masse	588,42	kg	X	0 %	(keine Angabe)
D/VD-Platte [Bauteile aus nachwachsenden Rohstoffen]	Masse	8521,4	kg	X	0 %	(keine Angabe)
Fichtenholz [geschnitten; getrocknet] [Werkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen]	Masse	13749	kg	X	0 %	(keine Angabe)
Gipsfaserplatte [Bauteile]	Masse	2761,2	kg	X	0 %	(keine Angabe)
Glaswolle [Trennwandplatte W/LG 040 14kg/m3] [Mineralische Werkstoffe]	Masse	35354	kg	X	0 %	(keine Angabe)
Harzkompositplatte [Flüsse]	Masse	2444,3	kg	X	0 %	(keine Angabe)
Isolierglas [Mineralische Werkstoffe]	Masse	7066,4	kg	X	0 %	(keine Angabe)
OSB-Platte [Bauteile aus nachwachsenden Rohstoffen]	Masse	6100,9	kg	X	0 %	(keine Angabe)
PE-Folie [Kunststoffbauteile]	Masse	100	kg	X	0 %	(keine Angabe)
Steinwolle [Dämmplatte W/LG 040; 160 kg/m3] [Mineralische Werkstoffe]	Masse	510,01	kg	X	0 %	(keine Angabe)

Outputs	Grösse	Menge	Einheit	Wertstoff	Standard	Herkunft
Fluss						
REB-Fassade (Hinterbau in kg) [Bauwerkselemente]	Masse	77196	kg	X	0 %	(keine Angabe)

Abbildung 49: Eingaben in GaBi für den Fassadenhinterbau mit Glaswolleddämmung

5.3 Umwelteinwirkung des Hinterbaus

Der Aufbau des Hinterbaus unterscheidet sich in den Fassadenvarianten lediglich bzgl. des zu verwendenden Dämmmaterials. Während in allen Varianten eine gleich bleibende Menge hydrophobierter Mineralwolle (Steinwolle) zwischen Bestand und Fassadenhinterbau (Toleranzschicht zur Aufnahme der Unebenheiten des Bestandes) verwendet wird, wurden hinsichtlich der übrigen Dämmung folgende Varianten untersucht:

- Polystyrolämmung
- Glaswollämmung
- Steinwollämmung
- Zellulosedämmung

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Dichten der zur Verfügung stehenden Dämmmaterialien reicht ein einfacher Blick auf standardisierte Listen in kg/kg pro Dämmstoff für eine ökologische Planungsempfehlung nicht aus, die Gegenüberstellung ist mit der Bezugsgröße „Quadratmeter gedämmte Wand mit einem konstanten Wärmedurchgangskoeffizienten“ aufzustellen.

Der Fassadenhinterbau wird durch den Wetterschutz vor Feuchtigkeit und Verrottung geschützt. Seine Lebensdauer könnte nach Erfahrungen der am vorliegenden Projekt beteiligten Architekten theoretisch über die des Wetterschutzes hinausreichen. D.h., dass in der vorliegenden Studie und den dazugehörigen Berechnungen keine Wartungs- und Instandsetzungsaufwändungen für den Fassadenhinterbau mit berücksichtigt werden müssen und die nachfolgende Darstellung sich nur auf die einmalige Erstellung der Dämmstoffvarianten bezieht.³¹

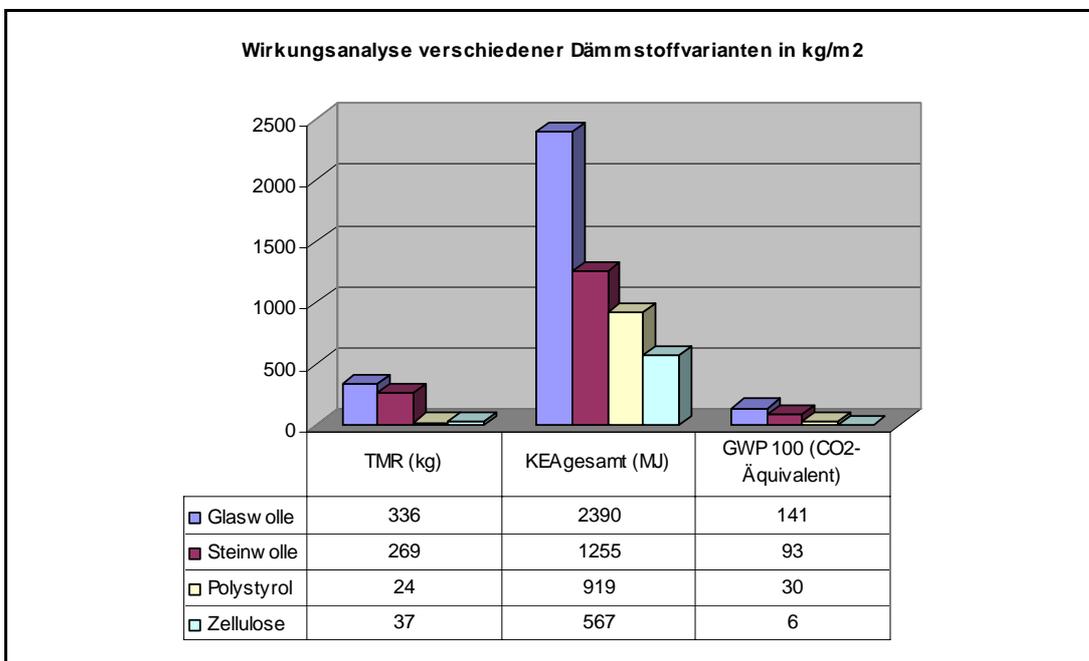


Abbildung 50 Dämmstoffvergleich für das VuB-Gebäude Nordstraße 48

³¹ Für die spezifischen Ressourcen-Aufwändungen der Dämmstoffentsorgung konnten im Rahmen der vorliegenden Studie keine Lebenszyklusdaten ermittelt werden. Auch sind Angaben hinsichtlich der für einzelne Dämmstoffe in Frage kommenden Entsorgungswege unterschiedlich. Eine weitergehende Betrachtung zum Thema Dämmstoffe wird an dieser Stelle nicht vorgenommen, da sie nicht Gegenstand des Auftrages war.

Die Gegenüberstellung des Dämmstoffvergleichs in den Kategorien TMR, KEA gesamt und GWP 100 zeigt niedrigere Ressourcenverbräuche und Emissionen für Polystyrol und Zelluloseflocken gegenüber Mineralwolle. Während der TMR für die Herstellung von Polystyrol leicht niedriger ausfällt als für die Produktion von Zelluloseflocken, schneidet Zellulose im Hinblick auf die Verwendung von Primärenergieträgern und unter dem Aspekt der Emissionen besser ab als Polystyrol. Beide Dämmstoffe sind thermisch verwertbar, während Zelluloseflocken theoretisch sogar recycelt werden können.

Anzustreben wäre somit die Verwendung der ressourceneffizientesten Variante, die Dämmung mit Zelluloseflocken, welche in diesem Gebäude aus brandschutztechnischen Gründen nur in Teilbereichen eingesetzt werden konnte. An dieser Stelle ist die Industrie gefragt, entsprechende, für Deutschland zugelassene Verwendungsnachweise vorzulegen, die eine uneingeschränkte Verwendung dieses Materials auch im Verwaltungsbau (Sonderbau) ermöglichen. (zumindest B1- Qualität)

Der Aufbau des Fassadenhinterbaus wurde im Rahmen der Projektplanung unter technischen und ökonomischen Gesichtspunkten bis auf die Wahl des hauptsächlich zu verwendenden Dämmstoffs vorausgewählt und ist für alle betrachteten Varianten des Fassadenhinterbaus gleich.

Zur Ermittlung der Umweltindikatoren für den Gesamtaufwand wird an dieser Stelle zunächst der Fassadenhinterbau bewertet, der mit den Angaben aus der Bewertung der alternativ bemessenen Wetterschutz- Varianten später addiert wird.

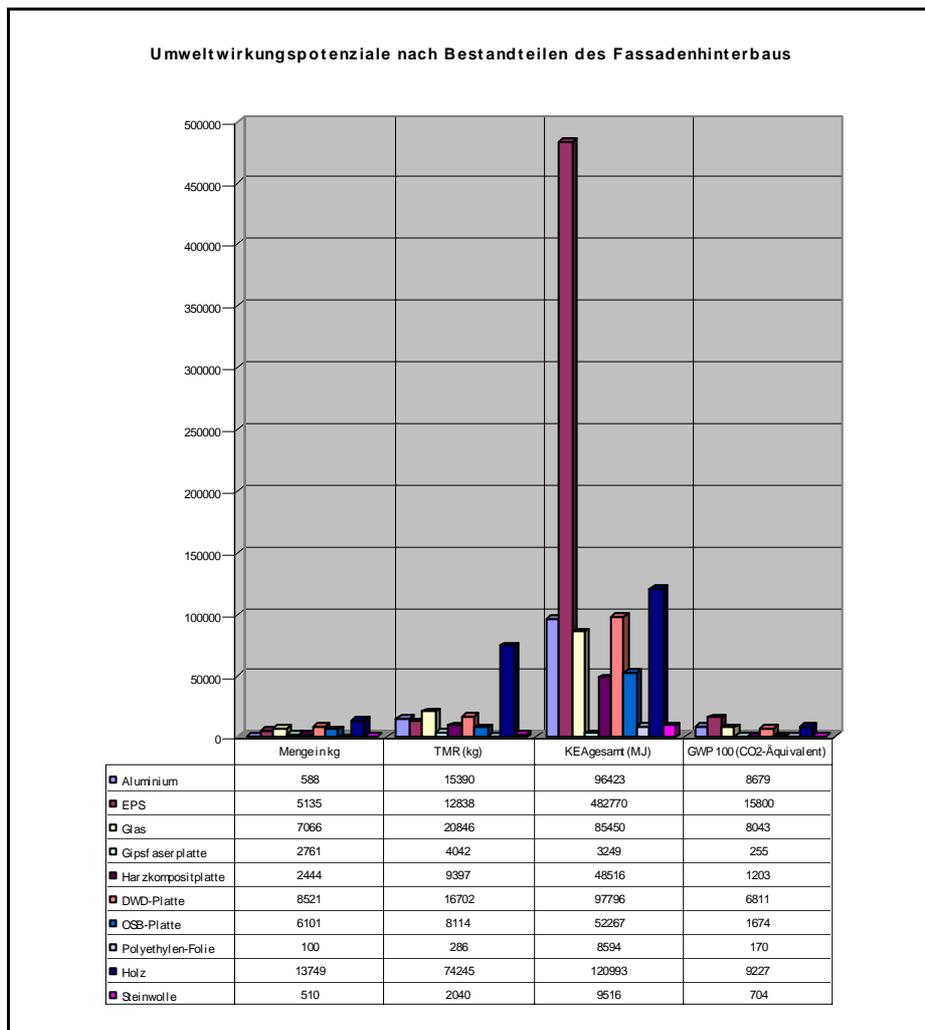


Abbildung 51: Umweltindikatoren nach Bestandteilen des Fassadenhinterbaus (absolut)

Abbildung 52 zeigt die Umweltwirkungspotenziale im Verhältnis zur eingesetzten Werkstoffmenge für den Fassadenhinterbau. Neben dem hohen Einsatz an Primärenergieträgern für die Bereitstellung des Dämmstoffes fallen besonders die Ressourcenaufwendungen für die Holzrahmenkonstruktion ins Gewicht.

Die Holzrahmenkonstruktion enthält in allen betrachteten Varianten einen Anteil an Steinwolle-Dämmstoff, der im Vergleich zu anderen Dämmstoffen den höchsten Beitrag an CO₂-Äquivalenten aufweist. Diese Dämmung ist brandschutztechnisch im Anschluss Bestand / Fassadenelement notwendig, jedoch auf das notwendige Maß reduziert.

Im Vergleich zu Tragkonstruktionen in Massivbauweise oder zu einer kalt gewalzten Stahl- Leichtbaukonstruktion sind die aufgelisteten Umweltwirkungspotenziale als günstig einzuordnen. Weitere geringfügige Einsparpotenziale sind generell nur im Bereich der Dämmung und der Holzkonstruktion möglich.

Im hier vorliegenden Anwendungsfall ist die Verwendung von Zellulosedämmung, wie bereits oben angeführt brandschutztechnisch nicht möglich, eine weitere Reduzierung der Holz-Tragkonstruktion ist aufgrund der unterschiedlichen Lastfälle und der benötigten Steifigkeit bzgl. des Transportes der vorelementierten Bauteile ebenfalls nicht möglich.

5.4 Umwelteinwirkung des Wetterschutzes

Für den Wetterschutz sollen die nachstehend aufgelisteten Varianten verglichen werden:

- Profilbauglas
- PC- Stegplatten
- PMMA- Stegplatten
- GFK- Stegplatten

Mit Ausnahme der GFK-Variante können alle aufgeführten Wetterschutzvarianten nach ihrer Nutzungsphase von ca. 20 Jahren recycelt werden. Die betrachteten GFK-Stegplatten unterliegen laut Hersteller den Bestimmungen für Siedlungsabfall und können nach Ablauf der Nutzungsphase thermisch verwertet werden.

5.4.1 Umwelteinwirkungen von Profilbauglas

5.4.1.1 Herstellung und Eigenschaften

Für Glasfassaden kann auch Profilbauglas aus Gussglas und Walzglas eingesetzt werden. Bei diesen Verfahren können bestimmte Mengen an Recyclingglas eingesetzt werden. Allerdings reichte das recherchierte Datenmaterial für eine umfassende, lebenszyklusweite Berücksichtigung dieser Fassadenglas-Varianten nicht aus. Eine Befragung von Glasherstellern mit Expertenwissen im Bereich der Ökobilanzierung ergab, dass die Ressourcenaufwendungen auch bei der Guss- und Walzglas-Herstellung denen des Floatglas nahe kommen.³²

³² Entscheidende Faktoren in der Glasherstellung sind der Energieverbrauch der Schmelze, der Fremdscherbenanteil und das gewählte Schmelzverfahren (z.B. Oxy-Fuel-Melting). Selbst unter Berücksichtigung dieser Faktoren bleiben die ganzheitlichen Ressourcenaufwendungen für Fassadengläser aus Floatglas, Guss- und Walzglas vergleichbar.

5.4.1.2 Variante 1 „Wetterschutz aus Profilglas“

Für die Erstellung eines Wetterschutzes aus Profilbauglas wird neben dem Fassadenglas ein Aluminiumrahmen zur Befestigung benötigt. Ein PVC-Einlegeprofil trennt Glas und Aluminium. Zur Abdichtung werden geringe Mengen Silikon oder PU-Schaum verwendet.

Tabelle 9: Materialbedarf für den Wetterschutz aus Profilbauglas (REB gesamt)

Material	Menge in kg
Aluminium	1.263
Flachglas	17.366
Silikon/PU-Weichschaum	0,4
PVC-Einlegeprofil	840
Summe Wetterschutz REB	19.469

Wie in Abbildung 52 erkennbar, trägt das Profilbauglas in der Fassadenvariante nicht allein zur Umweltwirkung bei. Der hohe Gewichtsanteil an, in seiner Herstellung energieintensivem Aluminium wird auch anhand der ausgewählten Umweltindikatoren TMR; KEA und GWP deutlich sichtbar.

Für die Herstellung der Aluminiumprofile wurde gemäß dem Durchschnitt für Deutschland³³ ein Anteil von 70% primärem und 30% sekundärem Aluminium angenommen.

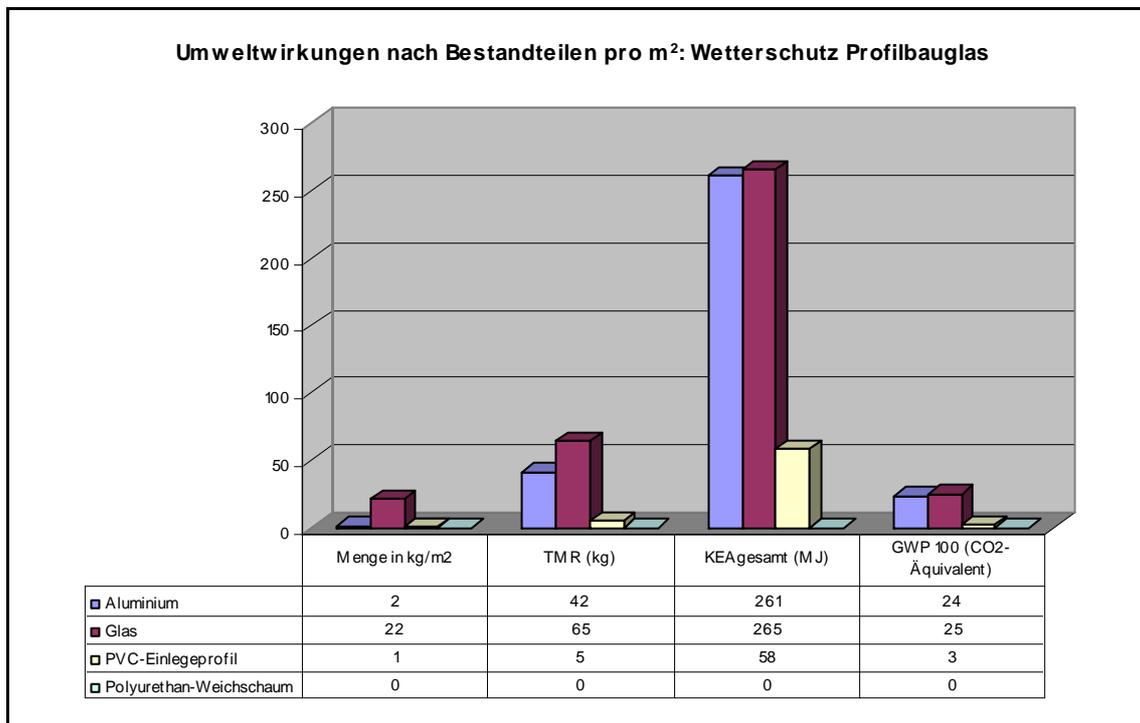


Abbildung 52: Variante 1 Profilbauglasfassade. Umweltwirkung nach Bestandteilen pro m² Wetterschutz

³³ Vgl. Wuppertal Institut (2004): Material intensity of materials, fuels, transport services. In: http://www.wupperinst.org/Projekte/mipsonline/download/MIT_v2.pdf

5.4.2 Umwelteinwirkungen von Kunststoff

5.4.2.1 Herstellung und Eigenschaften

Um die nachfolgende Auswahl verschiedener Kunststoff-Stegplattenvarianten nachzuvollziehen, erscheint eine knappe Einführung in den Kunststoffbegriff an dieser Stelle sinnvoll.

„Kunststoffe“ ist ein Oberbegriff für organische Werkstoffe, die als kettenförmige Makromoleküle aufgebaut sind. Sie werden durch Umwandlung von Naturprodukten oder durch Synthese aus Primärstoffen, wie Erdöl, Erdgas oder Kohle gewonnen und bestehen aus den Elementen der organischen Chemie (C, H, O, N, S), wobei sich die Bezeichnung „organisch“ auf die Ähnlichkeit der Eigenschaften zu denen organischer Stoffe, wie z.B. Horn, Holz oder Harz bezieht.³⁴

Ein Großteil der synthetischen Kunststoffe wird aus Erdöl gewonnen. Hierfür werden ca. 8% der gesamten Erdölproduktion aufgewendet. Nach den unterschiedlichen Siedebereichen wird das Rohöl durch Destillation in die Bestandteile Gas, Rohbenzin, Diesel, Heizöle und Gasöl getrennt. Diese Bestandteile setzen sich alle aus Kohlenwasserstoffen je unterschiedlicher Gestalt und Größe zusammen. Für die Kunststoffherzeugung wird das Rohbenzin, auch Naphta genannt, im „Crackprozess“ (Kaltenbach 2003) in Ethylen, Propylen, Butylen, Benzol und weitere Kohlenwasserstoff-Verbindungen gespalten und umgebaut, welche Ausgangsstoffe für die Kunststoffproduktion bilden.

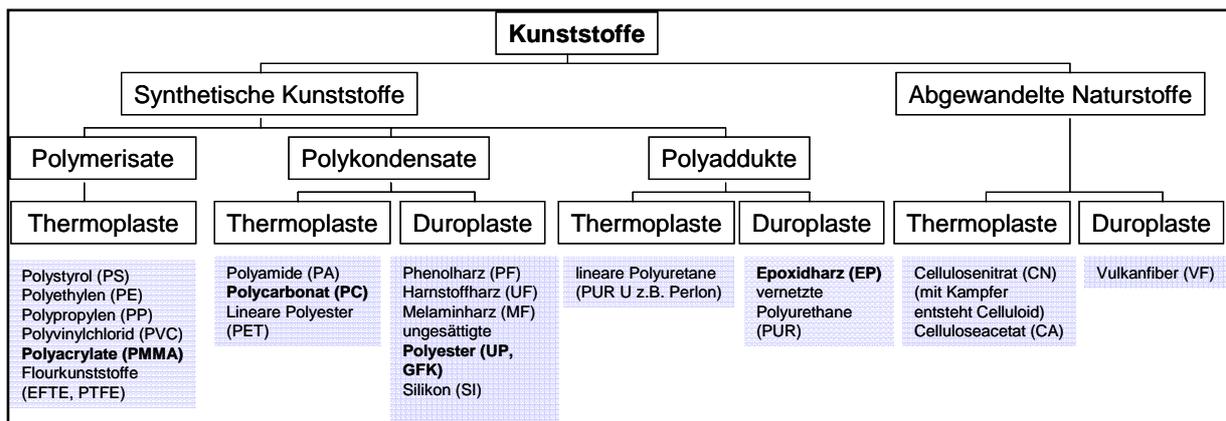


Abbildung 53: Klassifikation von Kunststoffen (nach Kaltenbach 2003)

Synthetisch erzeugte Kunststoffe können durch die Verfahren Polymerisation³⁵, Polyaddition³⁶ oder Polykondensation³⁷ gewonnen werden. Dabei werden jeweils aus den niedermolekularen Verbindungen der Ausgangsrohstoffe Makromoleküle aufgebaut. Um die hierbei gewonnene Formmasse einfach lagern, transportieren und dosieren zu können, werden die Polymere zunächst durch ein Vielloch-Sieb gepresst und

³⁴ Vgl. Kaltenbach 2003, S. 40 ff.

³⁵ Polymerisation ist eine seit 1930 bekannte Kettenreaktion, die unter Einfluss von Katalysatoren, Härtern und Beschleunigern lediglich angestoßen wird. Aus Kleinen Grundmolekülen mit je einer Doppelbindung wird dabei der Zusammenbau einer langen Molekülkette bewirkt, ohne dass Reaktionsnebenprodukte entstehen.

„Ethylen wird polymerisiert zu Polyethylen (PE), Vinylchlorid zu Polyvinylchlorid (PVC), Styrol zu Polystyrol (PS) und Propylen zu Polypropylen (PP). (...)“ (Kaltenbach 2003, S. 41)

³⁶ Bei der Polyaddition werden multifunktionelle Amine bzw. Alkohole, Carbonsäuren usw. an hoch reaktive Molekülgruppen angelagert. Auch hier entstehen keine Reaktionsnebenprodukte. (vgl. Kaltenbach 2003, S.41)

³⁷ Bei Polykondensation werden Härtungskatalysatoren (Säuren oder Basen) eingesetzt. Hierbei können, wie z.B. bei der Herstellung von Phenoplasten, niedrigmolekulare Reaktionsnebenprodukte wie Wasser und Ammoniak abgespalten werden. (vgl. Kaltenbach 2003, S.41)

die entstandenen Stränge im Wasser abgekühlt. Anschließend entstehen im Granulator wenige Millimeter lange Pellets – das Kunststoffgranulat. Das Basisverfahren zur Verarbeitung des Kunststoffgranulats zu Halbzeugen ist neben Kalandrieren und Gießen die Extrusion. Dabei wird das Kunststoffgranulat zunächst in einer Schneckenpresse unter heizen und Reibung aufgeschmolzen und gleichmäßig durch eine Düse gepresst.³⁸ Die Form der Düse bestimmt die Form des so entstehenden Halbzeugs. Dieses kann in weiteren Umformprozessen zu Kunststoff-Endprodukten geformt werden. (vgl. Kaltenbach 2003)

5.4.2.2 Variante 2 „Wetterschutz aus Polycarbonat-Stegplatten“

Eine mögliche Ausführung einer Kunststofffassade besteht in der Verwendung von Stegplatten aus Polycarbonat. Polycarbonat wird aus Kohle, Kalk, Wasser bzw. aus Phenolen, Aceton und Kohlensäure gewonnen. PC ist ein mittels Polykondensation erzeugtes Thermoplast, d.h. es ist form- schweiss- und schmelzbar. Die maximale Gebrauchstemperatur des Kunststoffs liegt bei 80°C-120°C. PC-Stegplatten sind abhängig von den Brandklassen B1 und B2 (DIN 4102) erhältlich. Sobald die Zündquelle entfernt ist, wirkt PC selbstlöschend. PC ist recyclebar, witterungsbeständig und erfüllt die Anforderungen an Ballwurfsicherheit. Durch Koextrudieren einer UV-Schutzschicht können PC-Stegplatten für Außenfassaden wirksam gegen Vergilben geschützt werden. Nach der Nutzungszeit als Fassade können die Stegplatten als Grundstoff für die Recyclingindustrie weiterverwendet werden.

Für die Abschätzung der Umweltindikatoren für die PC-Stegplatten-Variante wurden Basisdaten (Input-Output-Analyse-Daten) zur Erzeugung von PC-Granulat aus der GaBi-Datenbank verwendet. Diese stammen originär aus APME-Ökopprofilen³⁹ und bieten eine gute Datenqualität.

Für die Erstellung eines Wetterschutzes aus Polycarbonat wird neben den PC-Stegplatten ein Aluminiumrahmen mit Steckdichtungen aus EPDM bzw. PP zur Befestigung benötigt.

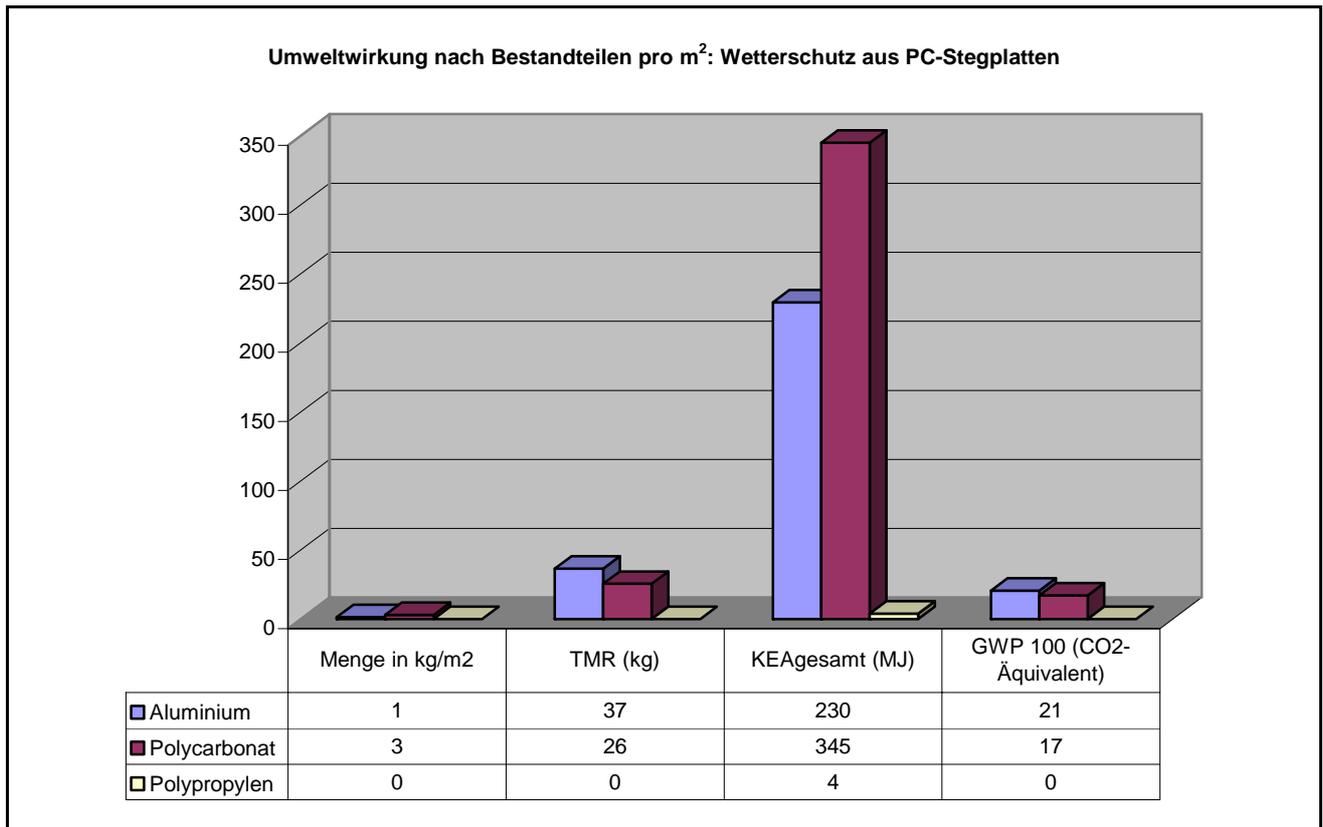
Tabelle 10: Materialbedarf für den Wetterschutz aus PC-Stegplatten (REB gesamt)

Material	Menge in kg
Aluminium	1.109
PC-Stegplatten	2.481
PP/EPDM Steckdichtungen	44
Summe Wetterschutz REB	3.634

Aufgrund des im Vergleich geringeren Gewichts der PC-Stegplatten wird weniger Aluminium für die Aluminium-Halterung aufgewendet als beim Beispiel der Glasfassade. Wie aus Abbildung 54 ersichtlich, stellt die Aluminiumverankerung der Polycarbonatfassade neben den Ressourcenaufwendungen für die Fassadenstegplatten jedoch weiterhin einen wichtigen Faktor dar.

³⁸ Vgl. http://www.adlexikon.de/Extrusion_Fertigungstechnik.shtml

³⁹ APME, die „Association of Plastics Manufacturers (PlasticsEurope)“ ist eine der führenden europäischen Handelsorganisationen. Seit 1993 veröffentlicht APME aufgrund von Angaben seiner Mitgliedsfirmen Ökopprofile mit verlässlichen Basisdaten zur Kunststoffherzeugung und stellt so einen Grundbaustein für Ökobilanzierung zur Verfügung.

Abbildung 54: Variante 2 PC-Fassade. Umweltwirkung nach Bestandteilen pro m² Wetterschutz

5.4.2.3 Variante 3 „Wetterschutz aus PMMA- Stegplatten“

Eine weitere Ausführungsmöglichkeit einer Kunststofffassade besteht in der Verwendung von Stegplatten aus dem Polymerisat Polymethylmethacrylat (PMMA). Polymethylmethacrylat wird aus Erdöl, Kohle und Erdgas bzw. aus Acetylen und Blausäure gewonnen. Ebenso wie PC den Thermoplasten zugehörig, ist auch PMMA form-, schweiss- und schmelzbar. Die Gebrauchstemperatur liegt bei 70°C bis 80°C. Der Kunststoff ist auch ohne eine zusätzliche Behandlung UV-beständig, allerdings besteht bei hohen Temperaturen oder unsachgemäßer Behandlung die Gefahr der Rissbildung. Die Stegplatten sind mit Brandschutzklasse B1 und B2 erhältlich und erfüllen die Anforderungen an Ballwurfsicherheit.

Zur Abschätzung der Umweltindikatoren für die PMMA-Stegplatten-Variante wurden Basisdaten (Input-Output-Analyse-Daten) zur Erzeugung von PMMA-Platten (Halbzeuge) aus der GaBi-Datenbank verwendet. Diese stammen, wie auch die Angaben zur Herstellung von PC aus APME-Ökopprofilen.

PMMA kann durch Extrusion oder Guss zu Halbzeugen verarbeitet werden. Die APME-Basisdaten zur Herstellung von PMMA-Platten enthalten einen Durchschnitt⁴⁰ aus beiden Produktionsprozessen.

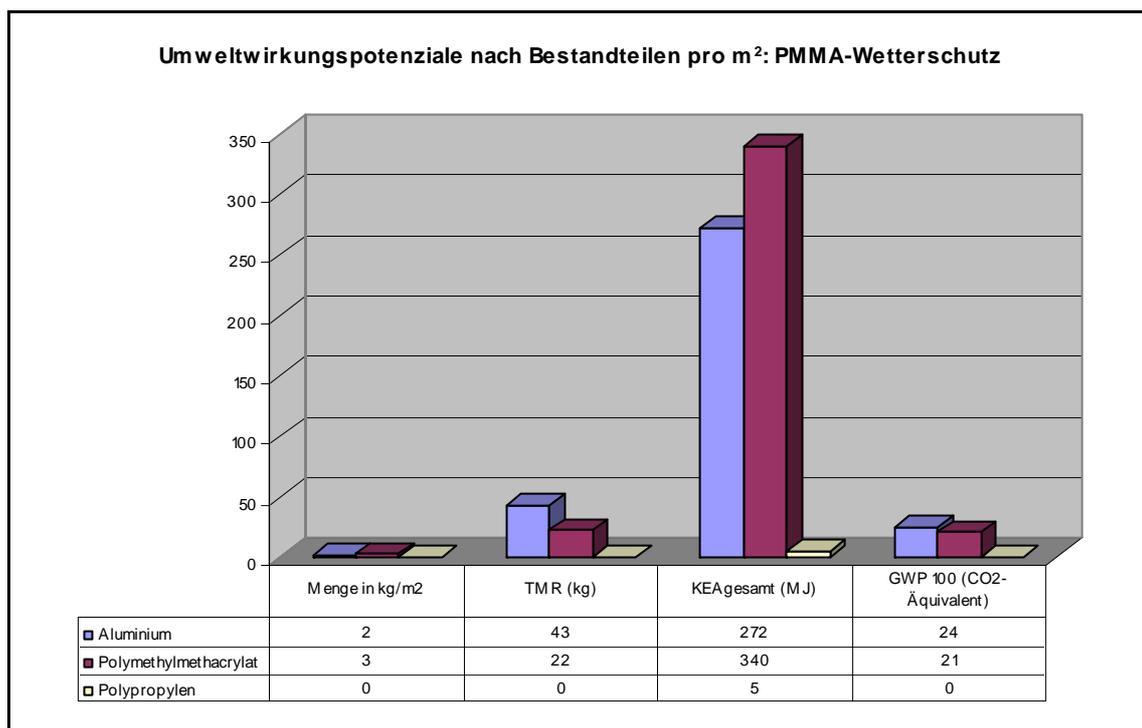
Auch für die Erstellung eines Wetterschutzes aus PMMA wird neben den Kunststoff-Stegplatten ein Aluminiumrahmen mit Steckdichtungen aus EPDM bzw. PP zur Befestigung benötigt.

⁴⁰Die Gabi 4.0 Datenbank enthält keine näheren Angaben zu den APME-Platten-Prozessen. Einen Durchschnitt beider Verfahren zu hinterlegen entspricht jedoch dem Vorgehen der APME-Eco-Profiles (vgl. APME o.a.: Polymethyl Methacrylate Sheet. Production Information. S.1 in: www.apme.org; Suche am 23.05.05)

Tabelle 11: Materialbedarf für den Wetterschutz aus PMMA-Stegplatten (REB gesamt)

Material	Menge in kg
Aluminium	1.314
PMMA-Stegplatten	2.310
PP/EPDM Steckdichtungen	53
Summe Wetterschutz REB	3.677

Die Dichte von PC und PMMA ist gleich, so dass der Materialbedarf in beiden Fällen ebenfalls gleich bleibt.

Abbildung 55: Variante 3 PMMA-Fassade. Umweltwirkung nach Bestandteilen pro m² Wetterschutz

Wie in Abbildung 55 erkennbar sind TMR und KEA von PMMA leicht höher bei Polycarbonat. Durch den höheren Anteil an Aluminium bei dieser Fassadenvariante ist die PC-Variante in der Gesamtsicht vorzuziehen (vgl. Abbildung 58).

5.4.2.4 Variante 4 „Wetterschutz aus GFK- Stegplatten“

Glasfaserverstärkter Kunststoff, also Fieberglas aus Glasfasern und einem Bindemittel aus ungesättigten Polyesterharzen, Polyamid oder Epoxidharz wird als Fassadenmaterial eingesetzt, wenn eine absolute Klarsicht nicht erforderlich ist und zudem eine erhöhte Bruchgefahr besteht. Halbzeuge entstehen durch das Einbetten mehrerer Lagen Glasfasermatten in Harz, die gepresst und unter Wärmeentwicklung ausgehärtet werden (Laminieren). Die Höhe des Glasanteils entscheidet dabei über die Bruchfestigkeit des Endprodukts. Fassadenstegplatten aus GFK sind ballwurfsicher und entsprechen der Brandschutzklasse B2. Dem Vergilben der Platten wird durch Zugabe von farbigen Pigmenten oder farblosen Acryl-Bestandteilen

vorgebeugt. Polyesterharze gehören zu den Duroplasten und sind nicht recyclebar. Häufig ist die Verbrennung unter Wärmerückgewinnung die umweltverträglichste Form der Entsorgung.⁴¹

Bei Fieberglas für GFK-Fassadenstegplatten werden die enthaltenen Glasfasern i.d.R. mit einem Bindemittel aus ungesättigten Polyesterharzen gebunden. Umfassende LCA-Daten zum Produktionsprozess von GFK lagen nicht vor. Für die vorliegende Betrachtung wurde die Umweltwirkung deshalb über die Bestandteile Glasfasern und Bindemittel in den Varianten UP-Harz und Epoxidharz abgeschätzt.

Tabelle 12: Materialbedarf für den Wetterschutz aus GFK-Stegplatten (REB gesamt)

Material	Menge in kg
Aluminium	1.314
GFK-Stegplatten	5.054
PP/EPDM Steckdichtungen	53
Summe Wetterschutz REB	6.421

Gemäß Herstellerangaben wird zur Produktion von Fassadenstegplatten in der Regel ein Glasfaseranteil von ca. 30% eingesetzt.

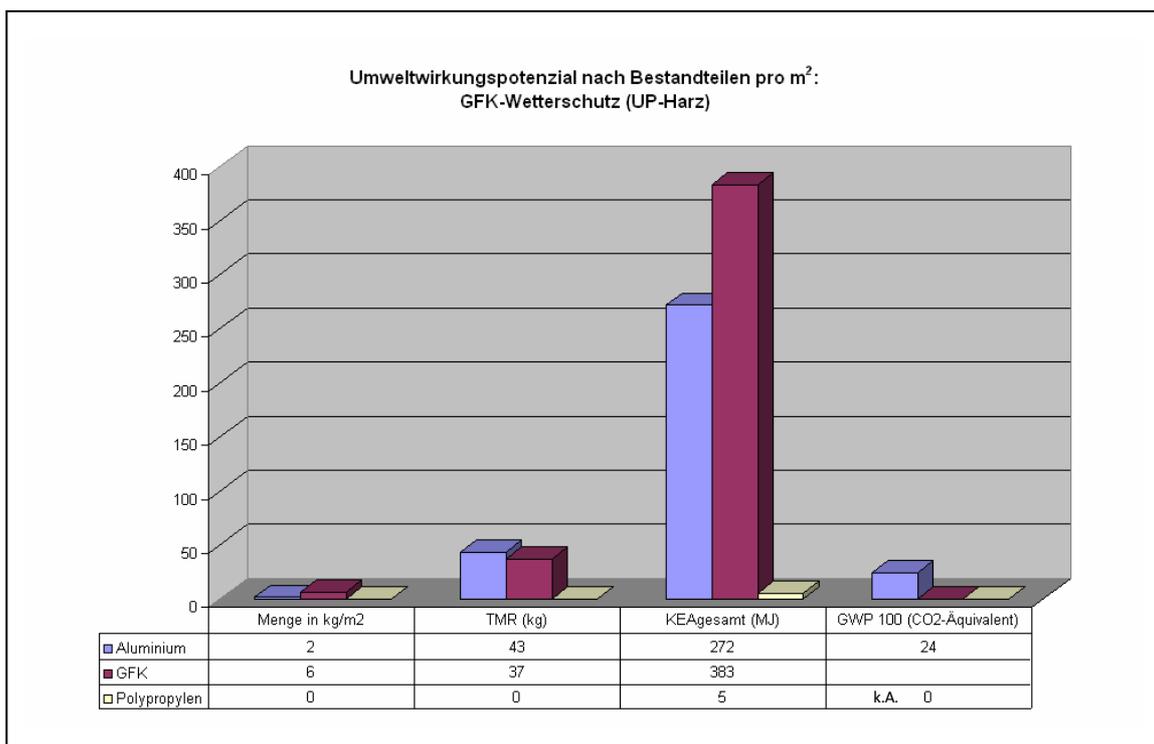


Abbildung 56: GFK-Fassade (UP- Harz). Umweltwirkung nach Bestandteilen⁴²

⁴¹ Vgl. Kaltenbach 2003, S.45

⁴² CO₂-Äquivalente für die Produktion von UP-Harzen lagen nicht vor. Für den GWP₁₀₀ der GFK-Variante mit UP-Harzen können deshalb keine Angaben geschätzt werden.

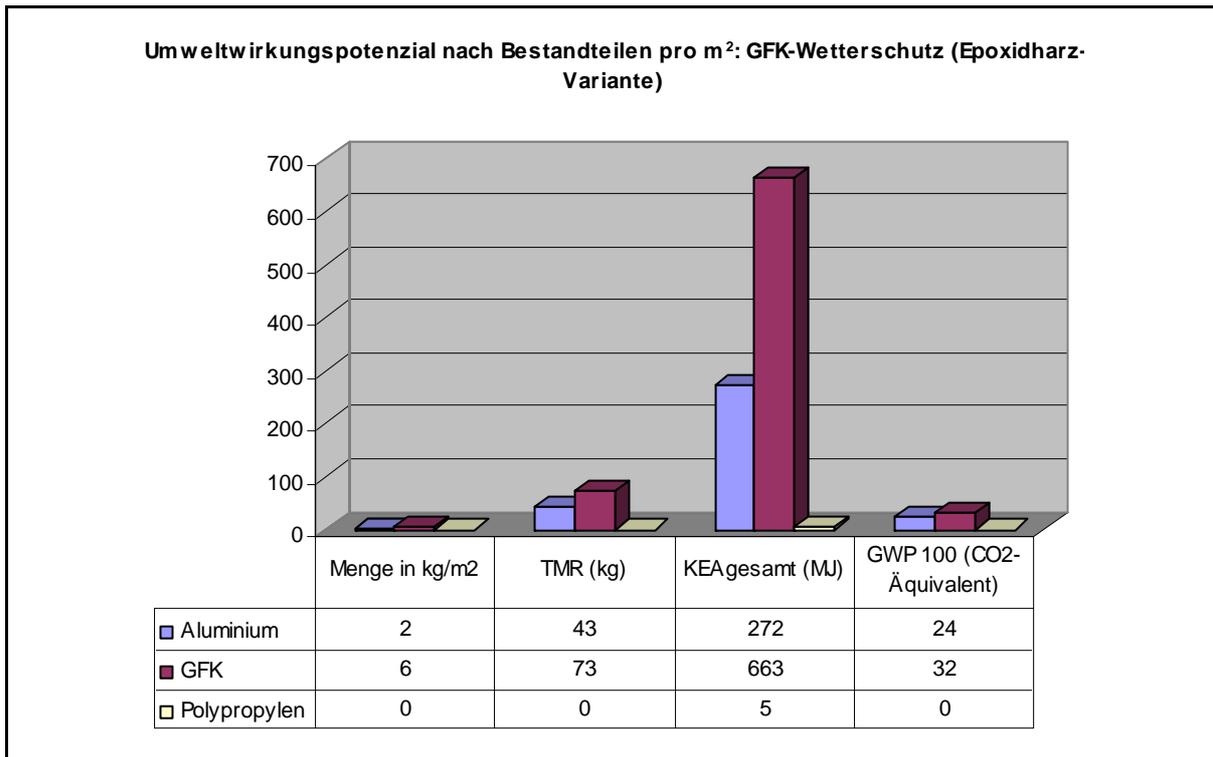


Abbildung 57: GFK-Fassade(Epoxidharz). Umweltwirkung nach Bestandteilen

Die GFK- Varianten weisen unterschiedliche Umweltwirkungen aus, sind jedoch beide gegenüber den Varianten PC und PMMA deutlich schlechter zu bewerten.

5.4.3 Umwelteinwirkungen des Fassadenzwischenpaneels

Der Wetterschutz der Fassadenzwischenpaneele wurde zunächst für alle Fassadenvarianten durchgängig aus Aluminium geplant. Für die Zwischenpaneele der gesamten Fassadenkonstruktion sollten ursprünglich ca. 3766 kg Aluminium verwendet werden.

Tabelle 13: Naturaufwändungen für die Fassaden-Zwischenpaneele aus Aluminium

	TMR kg	KEA gesamt MJ	GWP 100 kg CO ₂ -Äquivalent
Aluminium pro 1 kg	26	164	15
Aluminium pro m ² (5,4 kg)	141	885	80
Zwischenpaneele gesamt (Wetterschutz) 3.766 kg	98.488	61.7051	55.542

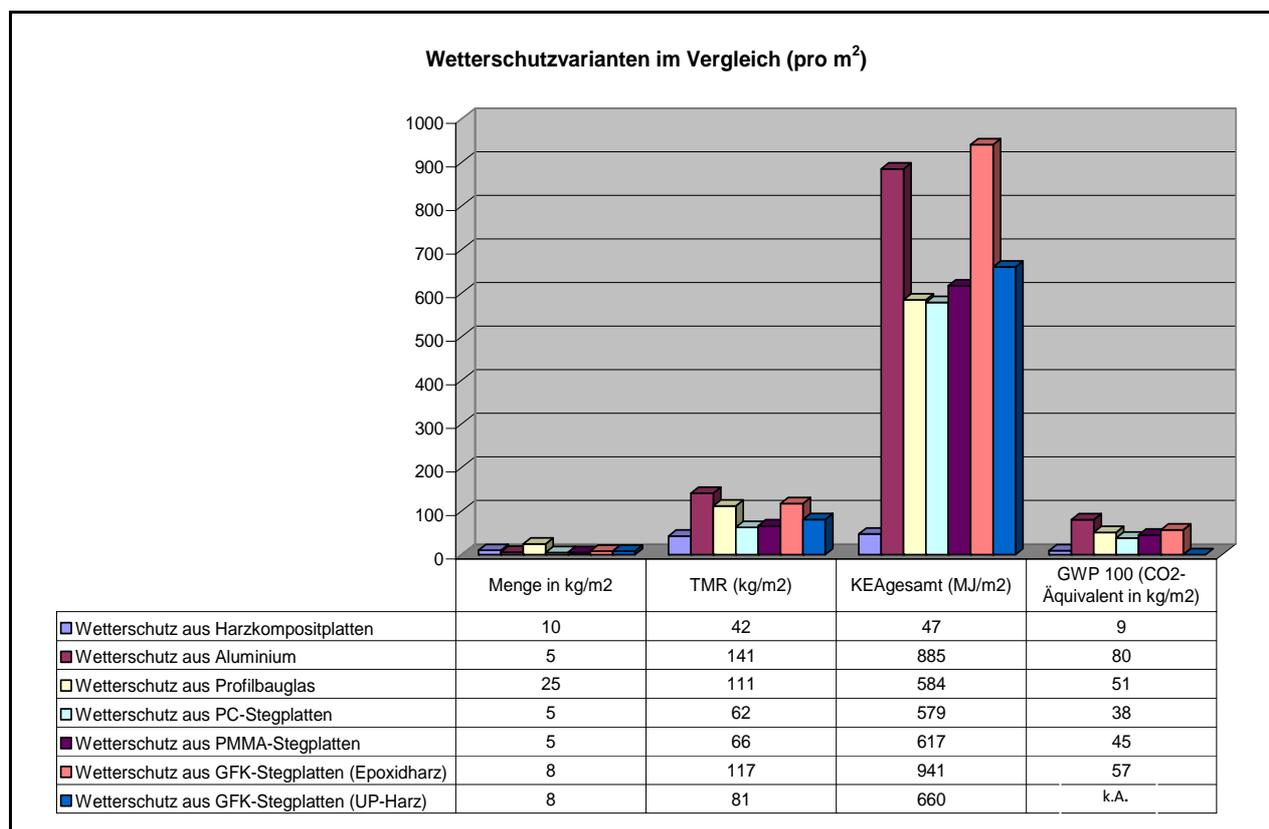
Die Naturaufwändungen für die Bereitstellung der Aluminium-Zwischenpaneele sind durch den hohen Energieaufwand bei der Erzeugung von Aluminium derart hoch, dass die Fassadenplanung aus den ersten Vorbemessungen resultierend angepasst und weitgehend auf Zwischenpaneele aus Aluminium verzichtet wurde. Im Bereich der Fenster wurde die Aluminium-Verblendung durch robuste Harzkompositplatten ersetzt.

Wie bereits im Fall der GFK-Stegplatten wurde der Ressourcenaufwand für die Erzeugung der Harzkompositplatten über Fasern (Holzspäne) und Bindemittel (Phenolharz und Formaldehyd) anteilig geschätzt.

Tabelle 14: Naturaufwändungen für die Fassaden-Zwischenpaneele aus Harzkompositplatten

	TMR kg	KEAgesamt MJ	GWP 100 kg CO ₂ -äquivalent
Harzkompositplatten (pro 1 kg)	4	5	1
Harzkompositplatten pro m ² (ca. 10 kg)	42	47	9
Zwischenpaneele gesamt ⁴³ (Wetterschutz) 4407 kg	19207	21335	4097

Wie der Vergleich pro m² Verblendungsflache zeigt, konnten durch die Substitution der Aluminiumpaneele beträchtliche Ressourceneinsparungen erzielt werden.

Abbildung 58: Wetterschutzvarianten im Vergleich (pro m²)

⁴³ Ohne Harzkomposit-Plattenanteil für Fensterlaibungen: Der Harzkomposit-Plattenanteil für Fensterlaibungen dient der Abdichtung an den Seiten. Er wurde dem Fassadenhinterbau zugerechnet.

5.5 Gegenüberstellung der Nutzungs- und Entsorgungsphase

Für die angenommene Fassaden- Nutzungsphase von ca. 20 Jahren konnten der Heizenergiebedarf und die Aufwändungen für eine regelmäßige Fassadenreinigung als gleich angenommen werden. Die Häufigkeit der Fassadenreinigung liegt im Ermessen des Betreibers und variiert nach Erfahrungen der beteiligten Architekten stark. Durchschnittswerte zum Wasser- und Reinigungsmittelverbrauch bei einer regelmäßigen Fassadenreinigung lagen zudem nicht vor.

Die meisten der betrachteten Fassadenvarianten benötigen laut Hersteller innerhalb einer angenommenen Lebensdauer von 20 Jahren keine Instandsetzungen. Die einzige Ausnahme bildet die Fassadenvariante aus Gussglas, deren Wartung eine jährliche Kontrolle der dauerelastischen Fugen zur Versiegelung der Gussglaselemente erfordert. Die Fugenfüllung ist spätestens im 3- 5- Jahres-Turnus auszutauschen. Betrachtet man jedoch den Materialaufwand für ein dreimaliges Austauschen der dauerelastischen Fugen (nach 5 Jahren, nach 10 Jahren, nach 15 Jahren), so erfordern diese Wartungen einen zusätzlichen Silikon oder PU-Einsatz von insgesamt 1,11 kg und sind mit Blick auf die Ressourcenaufwändungen pro m² Gesamtfassade und Jahr zu vernachlässigen.

Für die Abschätzung des Ressourcenaufwandes während der Nutzungsphase wurde deshalb lediglich der Heizenergiebedarf berücksichtigt. Dieser wurde von den zuständigen Fach.- Ingenieuren für alle Fassadenvarianten gleichermaßen mit 40 kWh/m²*a Gebäudenutzfläche prognostiziert⁴⁴. Bezogen auf den Verwaltungsbereich, sowie den Sozialbereich mit insgesamt 2.447 m² Fläche bedeutet das einen Gesamtbedarf von ca. 1.957.600 kWh bzw. 171.887 kg Erdgas in 20 Jahren.

Im Rahmen der Abschätzung der ökologischen Wirkungsindikatoren für die Nutzungsphase wurde die Erdgas- Brennwert- Heizung (nach BGW 2004) zugrunde gelegt. Erdgas ist hinsichtlich des kumulierten Energieaufwandes und des Global Warming Potentials eine aus ökologischer Sicht besonders vorteilhafte Heizvariante.

Tabelle 15: Heizungs-Varianten im Vergleich (nach BWG 2004; Wuppertal Institut 2005)

Umweltindikator	Erdgas-Brennwertheizung	Erdgas-NT-Heizung	Heizöl-NT-Heizung	Elektro-Heizung
TMR in kg/kWh	0,1	0,1	0,1	4,7
KEA in kWh PE/ kWh Nutzwärme	1,2	1,4	1,4	3
GWP 100 in kg CO ₂ -Äquivalent/kWh	0,3	0,3	0,4	951,5

Der Lebenszyklus von Erdgas wurde über Angaben des Wuppertal Instituts und des Bundesverbands der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) berücksichtigt.

Tabelle 16: Umweltwirkung in der Nutzungsphase – mit einer Erdgas-Brennwert-Heizung

Erdgas-Brennwert Heizung	Erdgas (kg)	TMR (kg)	KEAgesamt (MJ)	GWP 100 (CO ₂ -Äquivalent)
Heizenergie in der Nutzungsphase (gesamt für 20 Jahre)	171.887	211.421	8.245.411	497.430
Heizenergie pro m ² für 20 Jahre	70	86	3370	203
Heizenergie gesamt pro Jahr	8.594	10.571	412.271	24.872
Heizenergie pro m ² *Jahr	4	4	168	10

⁴⁴ Für den Verwaltungsbereich unter Berücksichtigung der Nutzung der erwärmten Abluft aus der Lüftungsanlage zur Beheizung der Fahrzeughallen.

Neben der Nutzungsphase ist im Rahmen einer lebenszyklusweiten Ressourceneffizienzbetrachtung auch die Entsorgungsphase zu berücksichtigen.

Dies kann im vorliegenden Fall nur qualitativ erfolgen, da Entsorgungswege einiger der verwendeten Baumaterialien zum gegenwärtigen Zeitpunkt weder feststehen, noch ausreichendes Datenmaterial für eine Betrachtung verschiedener Entsorgungswege zur Verfügung steht.

Ein Vorteil aller betrachteten Fassadenvarianten gegenüber herkömmlichen Wärmedämmverbundsystemen liegt in der theoretisch weitgehend sortenreinen Trennbarkeit der einzelnen Bestandteile. Häufig ist die Wahl des Entsorgungsweges nach Ablauf der Nutzungsphase eines Gebäudes oder Bauteils eine Kostenfrage, zunehmend aber auch eine Frage der geltenden Entsorgungsvorschriften.⁴⁵

Gemäß §4 Abs. 1 des Deutschen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes sind Abfälle in erster Linie zu vermeiden.⁴⁶ Zudem ist ein stoffliches Recycling einer thermischen Verwertung vorzuziehen.

5.5.1 Entsorgung des Fassadenhinterbaus

Durch die gewählte Holzrahmenkonstruktion sind auch hier die einzelnen Bestandteile sortenrein trennbar, so dass eine Wiederverwendung oder ein Recycling der einzelnen Bestandteile theoretisch möglich ist (vgl. auch Entsorgung von Dämmstoffen).

5.5.2 Entsorgung des Wetterschutzes

Grundsätzlich sind die Fassadenvarianten Profilbauglas, PC-Stegplatten und PMMA-Stegplatten recycelbar. Die GFK-Stegplatten der vierten Fassadenvariante können als Faserverbundstoffe nicht stofflich recycelt, jedoch zumindest thermisch verwertet werden.

5.5.3 Entsorgung der Zwischenpaneele

Im Fall der Harzkompositplatten sind verschiedene Entsorgungswege von einer Wiederverwendung über ein stoffliches Recycling bis hin zu einer thermischen Verwertung denkbar. Laut Hersteller besteht ein Rücknahme-System, wenngleich eine Veröffentlichung des Herstellers andeutet, dass es sich bei dem bislang wiederverwendeten Material lediglich um Industrie-Restströme handelt.⁴⁷

5.6 Gesamtbewertung der Umwelteinwirkungen

Nachdem die spezifischen Ressourcenaufwendungen für die Bereitstellung der einzelnen Fassadenbestandteile und die Nutzungsphase getrennt dargestellt wurden, sind in der Tabelle 17 nun alle Ressourcenaufwendungen exemplarisch anhand der Dämmvariante Polystyrol im Hinterbau für eine Nutzungsdauer von 20 Jahren zusammengefasst.

In dieser Auflistung wird zunächst eine Übersicht der Auswirkung der Materialwahl auf das Gesamtbauteil vermittelt, bevor in einer reduzierten Gegenüberstellung detailliert der Kunststoff- und Glasanteil betrachtet wird.

⁴⁵ Verschiedene Baustoffe können materialabhängig nach dem europäischen Abfallartenkatalog als Siedlungsabfälle, aber auch als überwachungspflichtige Abfälle eingestuft werden. Nach Auskunft des Umweltbundesamtes können Entsorgungswege im Einzelfall gegenwärtig auf Landesebene unterschiedlich geregelt werden.

⁴⁶ Vgl. www.jura.uni-sb.de/BGBl/TEIL1/1994/19942707.1.HTML#GL6, (Suche am 04.11.05)

⁴⁷ Vgl. Trespa o.a.

Tabelle 17: Ressourcenaufwendungen für Var. 1- 4 (absolut für eine Nutzungsdauer von 20 Jahren)

Variante 1: Profilbauglas	Menge in kg	TMR (kg)	KEAgesamt (MJ)	GWP 100 (CO ² -Äquivalent)
Erstellungsphase:				
Wetterschutz	19.468	88.203	462.884	40.385
Hinterbau (Polystyrol-Variante)	5.135	12.838	482.770	15.800
Zwischenpaneele	4.407	19.207	21.335	4.097
Nutzungsphase:				
Erdgas-Bedarf	171.887	211.421	8.245.411	497.430
Summe	200.897	331.669	9.212.400	557.712
Variante 2: Polycarbonat, ausgeführte Variante				
Ausgeführte Variante				
Erstellungsphase:				
Wetterschutz	3.634	49.420	458.279	30.082
Hinterbau (Polystyrol-Variante)	5.135	12.838	482.770	15.800
Zwischenpaneele	4.407	19.207	21.335	4.097
Nutzungsphase:				
Erdgas-Bedarf	171.887	211.421	8.245.411	497.430
Summe	185.063	292.886	9.207.795	547.409
Variante 3: Polymethylmethacrylat				
Erstellungsphase:				
Wetterschutz	3.677	52.194	488.540	35.752
Hinterbau (Polystyrol-Variante)	5.135	12.838	482.770	15.800
Zwischenpaneele	4.407	19.207	21.335	4.097
Nutzungsphase:				
Erdgas-Bedarf	171.887	211.421	8.245.411	497.430
Summe	185.106	295.660	9.238.056	553.079
Variante 4a: Glasfaserverstärkter Kunststoff (UP-Harz-Variante)				
Erstellungsphase				
Wetterschutz	6.421	63.860	522.854	k.A.
Hinterbau (Polystyrol-Variante)	5.135	12.838	482.770	15.800
Zwischenpaneele	4.407	19.207	21.335	4.097
Nutzungsphase				
Erdgas-Bedarf	171.887	211.421	8.245.411	497.430
Summe	187.850	307.326	9.272.370	k.A.
Variante 4b: Glasfaserverstärkter Kunststoff (Epoxidharz-Variante)				
Erstellungsphase				
Wetterschutz	6.421	92.550	745.100	44773
Hinterbau (Polystyrol-Variante)	5.135	12.838	482.770	15800
Zwischenpaneele	4.407	19.207	21.335	4097
Nutzungsphase				
Erdgas-Bedarf	171.887	211.421	8.245.411	497.430
Summe	187.850	336.016	9.494.616	562.100

Betrachtet man die Ressourcenaufwendungen für die Fassadenvarianten aus Kunststoff, absolut für eine Nutzungsdauer von 20 Jahren so sind die Varianten 2 und 3 als nahezu gleichwertig zu bezeichnen. Eine Ausführung mit Profilglas ist mit plus 13% TMR und 2% GWP 100 schlechter zu bewerten.

Die in Tabelle 17 aufgezeigte Gesamtübersicht kann bzgl. des Vergleiches der Wetterschutzvarianten, also bzgl. der Gegenüberstellung der Glas- und Kunststofffassaden vereinfacht werden, da die Aufwendungen für den Hinterbau und die Nutzungsphase in allen Varianten bewusst gleich gewählt sind. So ist die ökologische Bewertung Glasfassade versus Kunststofffassade möglich.

Tabelle 18: Ressourcenaufwendungen Wetterschutz der Var. 1- 4 (absolut / Nutzungsdauer von 20 J.)

	Menge in kg	TMR (kg)	KEAgesamt (MJ)	GWP 100 (CO ² -Äquivalent)
Variante 1: Profilbauglas		178 %	101%	134%
Wetterschutz	19.468	88.203	462.884	40.385
Variante 2: Polycarbonat		100%	100%	100%
Wetterschutz	3.634	49.420	458.279	30.082
Variante 3: Polymethylmethacrylat		106 %	107%	119%
Wetterschutz	3.677	52.194	488.540	35.752
Variante 4a: Glasfaserverstärkter Kunststoff (UP-Harz-Variante)		129 %	114%	
Wetterschutz	6.421	63.860	522.854	k.A.
Variante 4b: Glasfaserverstärkter Kunststoff (Epoxidharz-Variante)		187 %	163%	149%
Wetterschutz	6.421	92.550	745.100	44.773

Abschließend kann festgestellt werden, dass eine differenzierte Betrachtung der möglichen Kunststoff-Fassadenvarianten notwendig ist, da, wie in Tabelle 18 aufgezeigt, große Unterschiede bzgl. der Umwelteinwirkungen bestehen.

Die unter Variante 2 aufgelistete PC- Kunststoff- Mehrstegplatte ist eines der zurzeit gängigsten, handelsüblichen Kunststoff- Fassadenbauteile (z. B. Lichtbauelemente Typ PC 1440 und 1540 der Fa. Rodeca GmbH), das die gestellten Anforderungen erfüllt. Die entsprechenden Eigenschaften werden in den vorangestellten Kapiteln erläutert. Bzgl. der beiden gängigen Ausführungen Variante1 U- Profilglas (Gussglasbahnen) und Variante2 PC- Mehrstegplatten (Lichtbauelemente) kann folgende Bewertung aus Tabelle 18 abgeleitet werden.

Die Einsparungen in den Umwelteinwirkungen der Kunststofffassade im Verwaltungsbereich im 1. und 2.OG liegen bzgl. der Glasfassade bei Faktor 2. Bei Betrachtung der Sonderbereiche in diesem Gebäude, wie Foyer, Treppenhaus und Wagenhalle, in denen die guten Dämmeigenschaften der PC- Mehrstegplatte ohne zusätzlichen Hinterbau und das geringere Gewicht mit reduzierter Unterkonstruktion genutzt werden können, sind die Vorteile der Kunststofffassade noch größer. Die zusätzlichen Einsparungen richten sich jeweils nach der Fassadenabmessung, mit zunehmender Größe (insbesondere Höhe) des Bauteils steigt hier der Faktor der Ressourceneinsparung bis Faktor 10.

Wie sind darüber hinaus die untersuchten Varianten im Bezug auf konventionelle Bürofassaden-Sanierungen zu werten?

Bei durchschnittlichen, konventionellen Sanierungen kommt häufig ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS) zur Ausführung, wobei die Unterkonstruktion oft über die Ausmauerung der Tragkonstruktion hergestellt wird. Diese Verbundsysteme haben in der Entsorgungsphase meist einen entscheidenden Nachteil: Die einzelnen Materialfraktionen können nicht sortenrein getrennt werden, so dass eine Wiederverwendung oder ein Recycling unmöglich wird.

Bei der Sanierung von repräsentativen Fassaden wird häufig die Verkleidung von massiven Unterkonstruktionen mit Metall- und Granitplatten ausgeführt, welche ein hohes Eigengewicht und große Anteile indirekter Materialströme aufweist.

In der nachstehenden Abbildung sind diese Konstruktionsarten gegenübergestellt, wobei hier vereinfachend nur der Fassadenaufbau ab Hinterbau bzw. Rohbau aufgeführt wird. Optimierungen im Gebäudeabschluss (Hinterbau) können je nach Bauvorhaben regulierenden Einfluss haben, die Einordnung der Fassadenverkleidungen wird jedoch nicht grundsätzlich verschoben.

Resümierend bleibt festzustellen, dass die gewählte Fassadenverkleidung mit PC- Mehrstegplatten im Vergleich zu Gussglasprofilen zu Ressourceneinsparungen mit dem Faktor 2, im Vergleich zu einer konventionellen Sanierung mit WDVS mit dem Faktor 5 und bzgl. der gehobenen Sanierung mit Metall – oder Granitfassaden mit dem Faktor 25 führt.

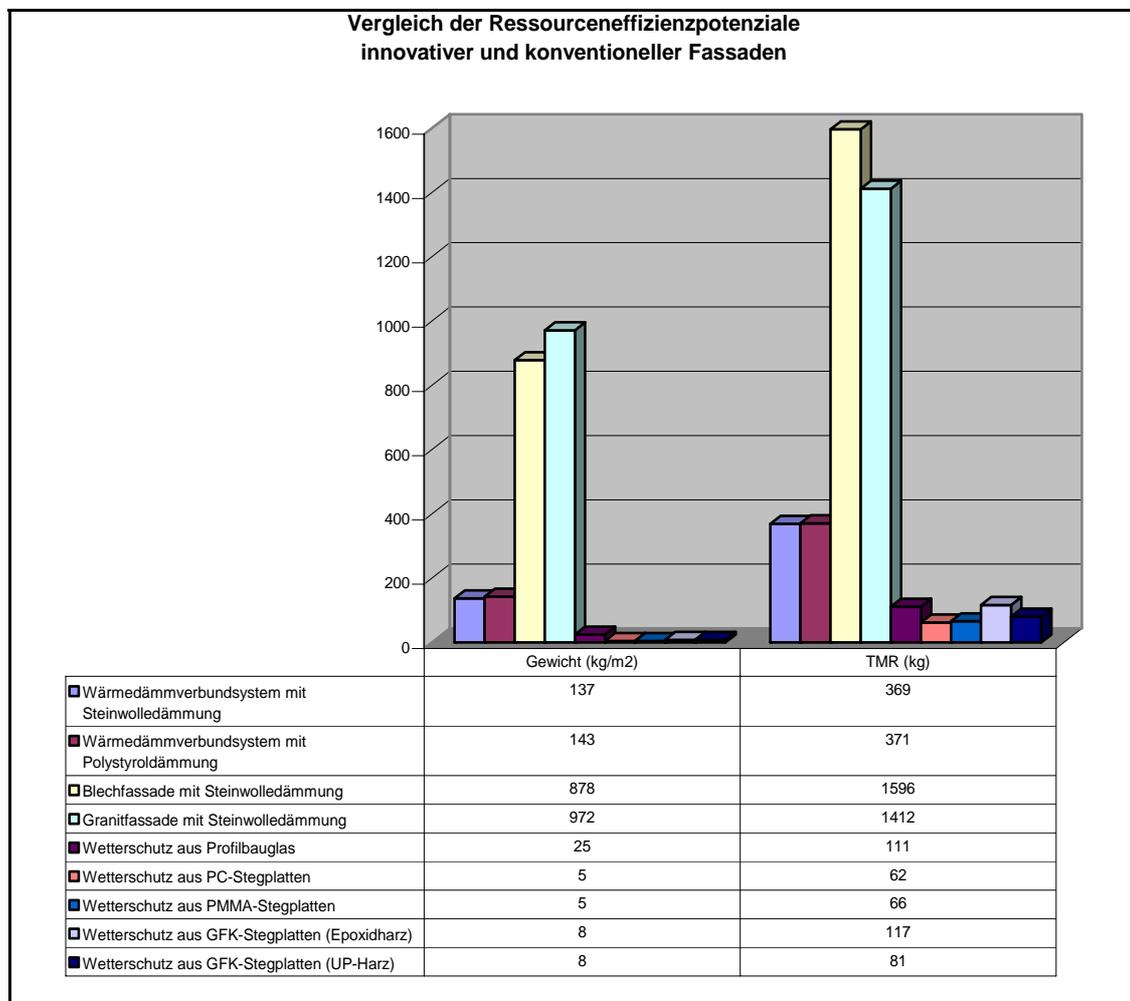


Abbildung 59: Vergleich zu Ressourceneffizienzpotenzialen innovativer und konventioneller Fassaden⁴⁸

⁴⁸ Die Abbildung stellt den Wetterschutz der verschiedenen Fassadenvarianten für die gesamte Lebensdauer von 20 Jahren verschiedenen konventionellen Fassaden gegenüber (Bezugsgröße m²). Der Fassadenhinterbau bleibt hierbei unberücksichtigt, da aufgrund der verschiedenen Dimensionierung des Hinterbaus eine passgerechte Zuordnung pro m² Wetterschutz nicht ohne weiteres möglich ist.

6. Kosten

Für die in den vorgenannten Untersuchungen ausgewählten alternativen Fassadensysteme mit Gussglas (Variante 1) bzw. Kunststoffmehrstegplatte (Variante 2) erfolgte eine Parallelausschreibung. Hierbei wurde Wert darauf gelegt, dass die Konstruktionen hinsichtlich Ihrer Qualitäten und bauphysikalischen Eigenschaften gleichwertig sind. Die geringfügig günstigeren Wärmedämmqualitäten der Kunststoff-Mehrstegplatte im Bereich der geschlossenen Fassadenbereiche können in der vergleichenden Gegenüberstellung vernachlässigt werden.

In beiden Ausführungsvarianten ist der Hinterbau identisch als Holztafelkonstruktion erstellt. Vor diesen werden alternativ die U-Profilbaugläser, bzw. Polycarbonat- Mehrstegplatten gebäudehoch vorgehängt.

Das alternativ ausgeschriebene Leistungsverzeichnis ist diesem Bericht als Anlage beigelegt. Hier wird dem Bieter ein Konstruktionssystem in vorgefertigter Ausführung aufgezeigt, der Grad der Elementierung dabei freigestellt.

Die Ausschreibung wurde, da es sich um einen öffentlichen Bauherrn handelt, gemäß VOB/A durchgeführt. Die Submissionsergebnisse stellen somit aufgrund der in einem solchen Verfahren nicht zulässigen Verhandlung der Preise einen realistischen und endgültigen Preisspiegel dar.

An dem öffentlichen Ausschreibungsverfahren beteiligten sich vier namhafte Fassadenbauunternehmen, die bzgl. der Vorfertigung und Montage der ausgeschriebenen elementierten Fassaden gute Sachkenntnis nachweisen konnten.

Ergänzend muss angezeigt werden, dass die angebotene Konstruktion zur Zeit der Ausschreibung noch eine Sonderausführung darstellte. Die hier aufgezeigte Wertung ist durch weitere Submissionsergebnisse nochmals zu überprüfen.

Ökonomische Bewertung



Preisspiegel Polycarbonat-Stegplatten

Bieter	Angebotssumme ohne Ust.		Umsatzsteuer	16%	Angebotssumme einschl. Ust.		Diff. %	Diff.-Betrag zum günstigsten Bieter	
Bieter 1	779.329,27	EUR	124.692,68	EUR	904.021,95	EUR		...	
Bieter 2	848.010,00	EUR	135.681,60	EUR	983.691,60	EUR	8,8	79.669,65	EUR
Bieter 3	996.608,05	EUR	159.457,29	EUR	1.156.065,34	EUR	27,9	252.043,38	EUR
Bieter 4	1.127.379,00	EUR	180.380,64	EUR	1.307.759,64	EUR	44,7	403.737,69	EUR

Preisspiegel U-Profilbauglas

Bieter	Angebotssumme ohne Ust.		Umsatzsteuer	16%	Angebotssumme einschl. Ust.		Diff. %	Diff.-Betrag zum günstigsten Bieter	
Bieter 1	815.108,28	EUR	130.417,32	EUR	945.525,60	EUR		...	
Bieter 2	873.254,00	EUR	139.720,64	EUR	1.012.974,64	EUR	7,1	67.449,04	EUR
Bieter 3	1.014.732,60	EUR	162.357,22	EUR	1.177.089,82	EUR	24,5	231.564,21	EUR
Bieter 4	1.212.525,00	EUR	194.004,00	EUR	1.406.529,00	EUR	48,8	461.003,40	EUR

Abbildung 60: Auswertungsaufstellung der Ausschreibungsergebnisse

In der Abbildung 60 sind die Angebote für den Gesamtaufbau der Fassaden mit Hinterbau aufgelistet. Die hier festzustellende Schwankungsbreite der Angebote- bei eindeutig in der Leistungsbeschreibung in Einzelpositionen definierter Ausführung- ist als normal zu werten. Festzustellen ist, dass die Abweichungen der Bieter untereinander in beiden Ausführungsvarianten annähernd gleich sind.

Zwecks Vergleiches der Kunststoff- und Glasanteile wurden die diesbezüglichen Positionen aus dem Gesamtangebot herausgezogen (ohne Hinterbau). Die Mehrkosten der Angebote, die bzgl. der Glasbauteile im Vergleich mit den Kunststoffbauteilen festgestellt wurden, sind in der nachstehenden Tabelle für jeden Bieter aufsummiert ausgewiesen:

Bieter	Mehrpreis ohne Ust.		Umsatzsteuer	16%	Mehrpreis einschl. Ust.		Mehrpr. %	Zusatzbemerkung:
Bieter 1	31.829,01	EUR	5.092,64	EUR	36.921,65	EUR	24,4	Betrachtet man ausschließlich die Angebote für die Positionen der Außenhülle (ohne die Positionen für Musterfassaden) so ergeben sich für die Variante U-Profilbauglas statt Polycarbonat-Steppplatten die Mehrpreise wie in der folgenden Tabelle. Die Prozentangabe zeigt dann die tatsächliche Abweichung für die Angebote der beiden Varianten für die Außenhülle.
Bieter 2	24.204,00	EUR	3.872,64	EUR	28.076,64	EUR	16,0	
Bieter 3	27.089,56	EUR	4.334,33	EUR	31.423,89	EUR	14,1	
Bieter 4	75.248,99	EUR	12.039,84	EUR	87.288,83	EUR	37,5	

Abbildung 61: Mehrkosten der Glasbauteile bzgl. der Kunststoffbauteile in der Fassade

Nach Auswertung der Ausschreibungsergebnisse kann festgestellt werden, dass alle Bietern die Ausführungsvariante mit Polycarbonat- Mehrstegplatten wesentlich günstiger angeboten haben.

Es ergeben sich Einsparungen für die Positionen der Kunststofffassade in einer Größenordnung zwischen 14,1% und 37,5 % bzw. eine mittlere Einsparung in Höhe von ca. 23%.

Bei Gebäuden mit größeren Höhenabmessungen und für die Bereiche, in denen die Fassadenverkleidung ohne Hinterbau (Holztafelkonstruktion) ausgeführt ist, stellt sich ein weiterer Kostenvorteil ein. Hier ermöglichen die besseren Wärmedämmeigenschaften der Polycarbonat- Mehrstegplatten eine Ausführung als Raumabschluss ohne zusätzliche Dämmmaßnahmen. Eine mögliche Verlegung von bis zu 22 m langen Elementen führt wegen der in diesen Fällen maßgebend reduzierten Unterkonstruktion ebenfalls zu Kostenvorteilen. In diesen Sonderbereichen der Baumaßnahme Nordstr. 48 liegt der Kostenvorteil der Kunststofffassade über 50 %.

7. **Fazit und Ausblick**

Einleitend wurde in diesem Bericht die Bedeutung des Bausektors bzgl. eines nachhaltigen Ressourcenmanagement aufgezeigt, der mit ungefähr einem Drittel aller direkten und indirekten Stoffströme in nahezu allen Europäischen Ländern einen großen Teil zum jeweiligen nationalen Ressourcenverbrauch beiträgt.

Bei der Betrachtung der Ressourceneffizienz muss die Energie- und die Materialeffizienz berücksichtigt werden und selbstverständlich jeweils eine kostengünstige Umsetzung aufgezeigt werden.

Diesem Grundsatz folgend kommt insbesondere der Bestandssanierung und Modernisierung eine besondere Bedeutung zu, da jährlich nur ca. 1% Neubauten dazu kommen und zurzeit in Deutschland ein großes Potenzial von leer stehendem bzw. unzureichend genutztem Gebäudebestand verfügbar ist.

Zur Nutzung dieser möglichen Ressourceneinsparpotenziale ist es erforderlich die Weiterentwicklung ökologischer Standards durch Modellprojekte mit Vorbildcharakter als sog. „Best-Practices“ zu unterstützen und öffentlichkeitswirksam darzustellen. Aus diesem Bericht kann dazu folgendes Fazit gezogen werden:

Planung

Ähnlich zu vielen Gebäudesanierungen in der Praxis beschränkt sich die Sanierung nicht nur auf die Mängelbeseitigung und energetische Verbesserung. Die Sanierung steht in Konkurrenz zu einem Neubau. Es wurden wesentliche Verbesserungen in der Nutzungsqualität und dem Erscheinungsbild sowie eine signifikante Senkung des Energieverbrauchs und der Betriebskosten mit möglichst reduziertem Ressourcenaufwand realisiert.

Die parallel zur allgemeinen Entwurfs- und Ausführungsplanung durchgeführten Simulationen bzgl. der Bestandsoptimierung haben eine wesentlich differenziertere Bewertung von Planungsbausteinen und damit einhergehende Planungssicherheit ermöglicht. Viele Sanierungsmaßnahmen konnten dabei mit reduziertem Umfang bei Sicherstellung des vorgegebenen Nutzerkomforts ausgeführt werden. Dies führte zur Reduzierung von Investitions- und Facilitykosten und ebenfalls zu Ressourceneinsparungen.

In diesem Bauvorhaben wurden gängige Simulations- und Messwerkzeuge bzgl. der Energieeffizienz verwendet, die in jedem Bauvorhaben Kosten reduzierend eingesetzt werden können und sollten.

Im Bereich der Bewertung der Umwelteinwirkungen nimmt dieses Bauvorhaben noch eine Sonderstellung ein.

Besonders hervorzuheben ist für dieses Bauvorhaben, dass der Bauherr, der gleichzeitig auch Nutzer dieses Gebäudes ist, intensiv in den Planungsprozess eingebunden gewesen ist. So konnten das Nutzerbedarfsprogramm und die Planungsprozesse ständig abgeglichen werden. Maßgebend ist dabei die Aufgeschlossenheit des Bauherrn gegenüber weit reichenden Betrachtungsweisen. So wurde ein längerer Planungszeitraum für zusätzliche Untersuchungen eingeräumt. Bezüglich der bauherrnseits zunächst herrschenden Skepsis gegenüber Kunststofffassaden erfolgten mehrere Besichtigungen von Referenzobjekten an denen die Eigenschaften und Gestaltungsmöglichkeiten des „neuen“ Baustoffes durch die Architekten erläutert wurden. Gleichzeitig wurde seitens des Bauherrn ausdrücklich unterstützt, dass ggf. zusätzliche Sanierungsbausteine erst nach einer Einregulierungszeit des Gebäudes in Anpassung an die im Gebrauch festgestellte tatsächliche Notwendigkeit realisiert werden. Selbstverständlich müssen die Schnittstellen für diese Maßnahmen entsprechend vorgerüstet sein.

Energieeffizienz

Zur Erstellung eines möglichst energieeffizienten Gebäudes wurde eine Vielzahl von kleinen Maßnahmen getroffen, die teilweise auch losgelöst vom eigentlichen Forschungsschwerpunkt in der Summe zur Optimierung der Energieeinsparung geführt haben.

Der im Vorfeld der Sanierung ermittelte Primärenergiebezug für das Bestandsgebäude lag in der Größenordnung von 440 kWh/m²a. Dieser gemessene Wert wurde über eine Berechnung des Bestandsgebäudes gemäß DIN V 18599 grundsätzlich bestätigt. (427 kWh/m²a).

Nach der Realisierung des Bauvorhabens wurde ein zukünftiger Primärenergiebedarf von 96,8 kWh/m²a und damit in Bezug auf den Ausgangswert als Einsparung ein Faktor 4 ausgewiesen.

Der Bedarf des sanierten Bestandsgebäudes liegt damit bei ungefähr der Hälfte des Anforderungswertes der EnEV 2007 im Nichtwohnungsbau für Neubau nach DIN V 18599. Der mögliche Zuschlag von 40% für Umbaumaßnahmen wurde nicht in Anspruch genommen.

Bezug nehmend auf die o. a. Ausführungen zur Planung kann festgestellt werden, dass die viel diskutierten Anforderungswerte der EnEV 2007 im Nichtwohnungsbau auch kostengünstig in der Bestandssanierung umgesetzt werden können.

Ressourceneffizienz

Die Fassade wurde aufgrund des notwendigen vollständigen Austausches der Gebäudehülle und den damit einhergehenden energetischen Abhängigkeiten zum maßgebenden Bauteil der Umbaumaßnahme, somit wurde ein besonderer Fokus auf dieses Bauteil gelegt.

Die Auswirkung des „neuen“ Baustoffes Kunststoff und diesbezüglich entwickelte Bauteile wurden dabei besonders bzgl. einer vergleichbaren Ausführung in Glas untersucht.

Lichtdurchlässige Kunststoffprodukte haben in der Architektur in den letzten Jahren einen festen Platz bekommen. Wo geringes Gewicht, eine hohe Belastbarkeit oder niedrige Kosten gefordert sind, können sie Vorteile gegenüber konventionellen Konstruktionen aus Glas bieten. Hierbei ist jedoch eine differenzierte Betrachtung der Kunststoffe aufgrund sehr unterschiedlicher Materialeigenschaften notwendig.

Gemäß der Berechnungen nach dem mips-Ansatz konnte nachgewiesen werden, dass die ausgewählte Leichtbauweise mit vorgehängten Polycarbonat-Mehrstegplatten im Vergleich zu einer Bauweise mit vorgehängten U- Profilbaugläsern zu Ressourceneinsparungen mit dem Faktor 2 führen.

Abhängig vom Hinterbau können im Vergleich zu einer konventionellen Sanierung mit WDVS Ressourceneinsparungen mit dem Faktor 5, bzgl. einer vorgehängten Naturstein- bzw. Metallfassade mit dem Faktor 25 erreicht werden.

Bzgl. des Fassadenbaus mit Kunststoffelementen handelsüblicher Systemhersteller muss nach Realisierung dieser Baumaßnahme ergänzend festgestellt werden, dass für die Anwendung im Verwaltungsbau und in der vorgefertigten Bauweise sicherlich noch ein Bedarf an Systemerweiterungen und damit einhergehend ein weiteres Optimierungspotenzial besteht. Auch hinsichtlich der Einweisung der ausführenden Gewerke ist die technische Beratung durch die Hersteller in den neuen Anwendungsbereichen anzupassen.

Baukosten

Die Fassade wurde alternativ in zwei Ausführungsvarianten geplant und ausgeschrieben. Vor einem identischen Hinterbau als vorelementierte Holztafelkonstruktion wurden jeweils gebäudehoch U- Profilbaugläser, bzw. Polycarbonat-Mehrstegplatten geplant.

Die Ausschreibung wurde gemäß VOB / A durchgeführt. Von allen Bietern, die sich am Ausschreibungsverfahren beteiligt haben, wurde die Ausführungsvariante mit Polycarbonat- Mehrstegplatten preisgünstiger angeboten. Dies resultiert aus dem geringeren Gewicht des Materials, den damit einhergehenden größeren Maximalabmessungen der Elemente und den somit geringeren Aufwänden in der Unterkonstruktion. Die vergleichsweise guten Dämmeigenschaften wirken sich ebenfalls Kosten reduzierend aus.

Der in der Submission ausgewiesene Kostenvorteil der Polycarbonat- Mehrstegplatten gegenüber den Gussglasprofilen lag zwischen 14,1 und 37,5 %. Es ergibt sich eine mittlere Einsparung in Höhe von 23%.

Die Bauwerkskosten für die gesamte Sanierungsmaßnahme des Verwaltungs- und Betriebsgebäudes der Nordstr. 48 betragen EUR 3,78 Mio.. Hieraus resultieren Indexkosten von EUR 717,- pro m²Brutto Geschossfläche (BGF) (Kostengruppen 300, 400, Bruttobeträge). Die Durchschnittswerte nach BKI für den Neubau von Bürogebäuden mit mittlerem Standard liegen bei EUR 1.310,- pro m²BGF.

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass das Verwaltungs- und Betriebsgebäude Nordstr. 48 in Remscheid durch integrale Planungsprozesse mit umfassenden Sanierungsansätzen hinsichtlich Nutzungsqualität, Gestaltung und Energiebilanz kostengünstig auf Neubaustandard gebracht werden konnte. Durch die Nutzung des vorhandenen Rohbaus und den Einsatz neuer Baumaterialien, wie hier Kunststoffmehrstegplatten, wird eine hohe Ressourceneffizienz bzgl. der Erstellung, Nutzung und Entsorgung eines Gebäudes erreicht.

Die in diesem Bericht aufgezeigten Planungsgrundsätze können, unter Berücksichtigung der jeweiligen projektspezifischen Parameter, auf den zahlreich in Deutschland verfügbaren Gebäudebestand aus den 60er-Jahren übertragen werden. Die aufgezeigten Planungsergebnisse stellen in diesem Sinn einen Beitrag zur dringend benötigten Erstellung eines Maßnahmenkatalogs für energie- und ressourcensparendes Bauen im Bestand dar. Bzgl. der Übertragbarkeit auf andere Baumaßnahmen kann besonders herausgestellt werden:

- Detaillierte Planung unter Zuhilfenahme von gängigen Simulationswerkzeugen zwecks Minimierung der zu treffenden Umbaumaßnahmen
- Nachrüstung von Speichermasse über PCM- Materialien zur Herstellung einer ausreichenden Speicherkapazität des Gebäudes auch in der Leichtbauweise
- Nachrüstung von Bestandsgebäuden mit einer installationsarmen Abluftanlage und in der Fassade integrierten passiven Lüfterelementen
- Erstellung einer komplett um den Bestand herum geführten hoch wärme gedämmten, neuen Gebäudehülle
- Verwendung von Kunststofffassaden besonders an Bestandsgebäuden, die nur geringe Lasten aufnehmen können und / oder in denen an (Teil-)Nutzungsgebiete reduzierte Raumklimaanforderungen gestellt werden und / oder in denen eine möglichst effektive, diffuse Tageslichtnutzung gefordert wird

Die Untersuchungen zur Ressourceneffizienz stellen einen besonderen Planungsbeitrag dar, der zurzeit im Bausektor nur vereinzelt und auf freiwilliger Basis zur Anwendung kommt. Hier sind die Verbände und der Gesetzgeber gefordert, entsprechende Maßnahmen einzuleiten, die ein ganzheitliches Ressourcenmanagement im Sinne der hier aufgezeigten Untersuchungen ermöglichen. Die Erweiterung der Energie-Einsparverordnung zur Ressourcen- Einsparverordnung ist eine mögliche Maßnahme.

Literatur

Abfallwirtschaftsbetrieb des Landkreises Rastatt 02/2005:
<http://www.awb-landkreis-rastatt.de/pdf/mineralwolle.pdf>

APME o.a.: Polymethyl Methacrylate Sheet. Production Information. S.1 in:
www.apme.org; Suche am 23.05.05

BMVBW (Hrsg.) (2001): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. 2. Aufl. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen: Berlin.

Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) (2004): Erdgas – Der umweltschonende fossile Energieträger. In: www.bgw.de/pdf/0.1_resource_2004_10_5_14.pdf

Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.) (2002): BINE Informationsdienst. Altbau – Fit für die Zukunft. basisEnergie 11.

Fachverband Wärmedämmverbundsysteme (Hrsg.) (o.a.): Ökobilanz. WDVSysteme Fachverband Wärmedämmverbundsysteme e.V.

IKP; PE Europe (Hrsg.) (2003): GaBi 4. Software und Datenbank zur ganzheitlichen Bilanzierung. Universität Stuttgart Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP)/PE Europe GmbH Life Cycle Engineering: Leinfelden-Echterdingen

IKP; PE Europe (Hrsg.) (2003): GaBi 4 Get ready for tomorrow. Handbuch GaBi 4. Universität Stuttgart Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde (IKP)/PE Europe GmbH Life Cycle Engineering: Leinfelden-Echterdingen

Kaltenbach, F. (Hrsg.) (2003): „Transluzente Materialien“. Glas- Kunststoff – Metall. Detail Praxis in Kooperation mit dem Birkhäuser Verlag.

Ritthoff, M.; Rohn, H.; Liedtke, C.: MIPS berechnen. Ressourcenproduktivität von Produkten und Dienstleistungen. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg.), Wuppertal Spezial 27

Sanco (2004): Das Glasbuch. Quelle:
<http://www.glasmarkt.com/sanco/inhalt/inhaltsverzeichnis.htm>

Schmidt-Bleek, F (1996): Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS- Das Maß für ökol. Wirtschaften. Birkhäuser, 1993; DTV München, 1996

Schmidt-Bleek, F./Bringezu, S./Hinterberger, F./Liedtke, C./Spangenberg, J./Stiller, H./Welfens, M.J. (1998): MAIA Einführung in die Material-Intensitäts-Analyse nach dem MIPS-Konzept. Birkhäuser: Berlin, Basel, Boston, 1998

Spies-Wallbaum, H. (2002): Denk- und Kommunikationsansätze zur Bewertung des nachhaltigen Bauens und Wohnens. Ein Beitrag zur Erfassung des gegenwärtigen Standes der Diskussion und zur Anwendbarkeit auf ein konkretes Beispiel. Dissertation. Fachbereich Architektur. Universität Hannover.

Thermofloc (Hrsg.)(o.a.): Gegenüberstellung von Dämmstoffen in:
http://www.thermofloc.at/popup_daemmstoff_vergleich.htm; Suche am 11.07.05

Trespa (o.a.): Nachhaltiges Bauen mit Trespa. Umwelt...á la carte. Die besten Eigenschaften einer Platte.
Trespa Deutschland GmbH

Umweltbundesamt (Hrsg.)(2005): Jahresbericht 2004.
Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt: Dessau

Wallbaum, H.; Herzog, K. (2000): Das Ziel verfehlt? Ein Vergleich von Niedrigenergiehäusern (NEH) und Passivhäusern (PH) nach dem MIPS-Konzept unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte. In: EB Energie Effizientes Bauen. 2/2000, 1. Jahrgang, 4-9

Wuppertal Institut (Hrsg.) (2003): Ressourcenoptimierung der Landesvertretung NRW in Berlin. Endbericht.
Autoren: Wallbaum, H.; Herzog, K; Ritthoff, M.; Dr. Liedtke, C.

Lehmann, H. (2000): Stoffströme beim Modernisieren. Einsparpotenzial, Konstruktionsvergleiche, Rechenbeispiele. Eine Studie im Auftrag der Industriegewerkschaft Bauen – Agrar – Umwelt und Greenpeace Deutschland.

Effizienzpfad Energie. SIA (2006).
Dokumentation D 0216.

Voss, K., Löhnert, G., Herkel, S., Wagner, A., Wambsganß, M. TÜV-Verlag Group (Köln 2005):
Bürogebäude mit Zukunft. Konzepte, Analysen, Erfahrungen

Daniels K. Birkhäuser-Verlag zweite erweiterte Auflage (Febr. 1999):
Technologie des ökologischen Bauens. Grundlagen und Maßnahmen, Beispiele und Ideen

Richarz C, Schulz C., Zeitler, F. Edition Detail / Detail Praxis (2006):
Energetische Sanierung. Grundlagen, Details, Beispiele

Kaltenbach F. (Hrsg.) Edition Detail / Detail Praxis (2003):
Transluzente Materialien. Glas, Kunststoff, Metall

Brandi Licht U. Edition Detail / Detail Praxis (2005):
Tageslicht Kunstlicht. Grundlagen, Ausführung, Beispiele

Schittich C. (Hrsg.) Birkhäuser Edition Detail / im Detail (2003):
Solares Bauen. Strategien, Visionen, Konzepte

Anlagen

Anlage 1 zum Schlussbericht Entwurfskonzept

Anlage 2 zum Schlussbericht Auszug Ausführungsplanung

Anlage 3 zum Schlussbericht Energieausweis für Nichtwohngebäude

Anlage 4 zum Schlussbericht Auszug Fassadenausschreibung

Anlage 5 zum Schlussbericht Submission Fassade

Anlage 6 zum Schlussbericht Fotodokumentation

Anlage 7 zum Schlussbericht Projektdatenblatt