

ENDBERICHT

Krems, Dezember 2010

LICHTVERHÄLTNISSE

TAGESLICHT IN WOHNGBÄUDEN NACH THERMISCHEN SANIERUNGEN



Im Auftrag der Stadt Wien, Magistratsabteilung 50, Wiener Wohnbauforschung

Lichtverhältnisse Tageslicht in Wohnungen nach thermischen Sanierungen

Krems Dezember 2010

Wissenschaftliche Untersuchungen zu sanierungsbedingten quantitativen Veränderungen von diffusen und direkten Tageslichteinträgen, passiv solaren Gewinnen und Kunstlichtnutzung in Wohnräumen bezogen auf den Gebäudezustand vor der thermischen Sanierung.

Befragung zur allgemeinen qualitativen Wahrnehmung von Lichtsituationen in Innenräumen.

Finanzierung: Magistrat Wien, Abteilung Wohnbauforschung

Autoren der Projektkapitel: Kapitel I: Arch. DI Gregor Radinger
Eva Jacoby, MSc
Arch. DI Dr.techn. Renate Hammer, MAS

Kapitel II: Arch. DI Gregor Radinger
Arch. DI Dr.techn. Renate Hammer, MAS

Kapitel III: Arch. DI Gregor Radinger
Eva Jacoby, MSc
Arch. DI Dr.techn. Renate Hammer, MAS

Kapitel IV: Arch. DI Gregor Radinger
DI Dr.techn. Peter Holzer

Kapitel V: Arch. DI Gregor Radinger

Evaluation: DI Dr.techn. Peter Holzer
Arch. DI Dr.techn. Renate Hammer, MAS

Projektlaufzeit: 02.2010 – 12.2010

Donau-Universität Krems
Department für Bauen und Umwelt
Dr.-Karl-Dorrek-Straße 30
3500 Krems an der Donau

Tel. 02732 / 893 2651
Fax. 02732 / 893 4650
Mail. Gregor.radinger@donau-uni.ac.at
silvia.hofbauer@donau-uni.ac.at

Vorwort

Im Zuge der thermischen Sanierungen von Bestandswohnbauten wird primär auf die Dämmung der Gebäudehülle zur Minimierung der thermischen Verluste abgezielt.

Dabei bleiben mehrheitlich tageslichtrelevante Parameter wie die Geometrien von Leibungen, Fenstergrößen- und -positionierung oder auch Raumstrukturen- und orientierungen unberücksichtigt. Die Folge ist eine Reduktion der Tageslichtquantität und -qualität in den Wohnungen.

Angesichts der immer wichtiger werdenden Auseinandersetzung mit dem Baubestand und der großen Anzahl von getätigten und anstehenden Wohnbausanierungen (alleine der Wohnfonds Wien konnte seit seiner Gründung im Jahr 1984 Sanierungsmaßnahmen an 5170 Häusern abschließen¹), erlangt auch die Untersuchung von Lichtsituationen in Innenräumen zunehmende Bedeutung. Daher ist eine eingehende Analyse der Auswirkungen von thermischen Fassadensanierungen auf die tatsächliche Quantität und Qualität des direkten und diffusen Tageslichteintrages in Innenräume Ziel der vorliegenden Arbeit.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die großzügige Förderung dieser Studien durch die **Magistratsabteilung 50**, Wiener Wohnbauforschung und ihrem Leiter **Dr. Wolfgang Förster**, dessen Unterstützung sowohl für die inhaltliche Disposition als auch für die Durchführung von Gebäudeuntersuchungen von wesentlicher Bedeutung für die Entwicklung der Arbeit gewesen ist.

Im Sinne einer realitätsnahen und praxistauglichen Analyse war es notwendig, reale Wohnobjekte geometrisch und lichtplanerisch zu vermessen. Durch die Hilfe und Unterstützung der Geschäftsführerin des **Wiener Wohnfonds**, **DI Michaela Trojan**, war es möglich, die dafür notwendigen Kontakte zu in der Gebäudesanierung operativ tätigen Firmen herzustellen.

Durch die Zusammenarbeit mit der **Baugesellschaft Wien Süd** und deren Projektverantwortlichen **DI Gerald Batelka** war es möglich, Zugang zu Wiener Wohnungen zum Zweck der Raumanalyse zu erlangen und wesentliche praxisbezogene Informationen zur Gebäudesanierung zu erhalten. Diese wichtige Hilfestellung und die Bereitschaft der **Mieterinnen** und **Mieter**, für die notwendigen Vermessungen Zugang in ihr Zuhause zu gewähren, sei herzlich bedankt.

Nicht zuletzt sei an dieser Stelle spezieller Dank an den Bauleiter der ausführenden Baufirma (G + G Bau) des Sanierungsprojektes Bukalgasse, **Heribert Sereinig**, für Informationen zur Projektumsetzung, **Ronald Ulrich** (Wien Süd) sowie **Iris Graf**, **Silvia Hofbauer** und **Mag. Petra Winkelmüller** (Department für Bauen und Umwelt) für ihre organisatorische und administrative Unterstützung ausgesprochen.

¹ Vgl. <http://www.wohnfonds.wien.at/>

Arbeitsprogramm

Die vorliegende Arbeit ist in fünf Kapitel gegliedert, deren Inhalte wie folgt beschrieben werden:

Kapitel I – Grundlagen

Im ersten Teil der Arbeit werden Grundlagen zu folgende Themen behandelt:

- + Physikalisches Phänomen Tageslicht, Tageslichtverteilung in Innenräumen
- + Physiologische und psychologische Lichtwahrnehmung
- + Tageslicht in nationalen und internationalen Normen und Regelwerken
- + Allgemeine Praktiken der thermischen Gebäudesanierung

Kapitel II – Qualitative Lichtwahrnehmung

Der zweite Teil widmet sich der Affinität der NutzerInnen zu diffusem und direktem Licht im Innenraum. Eine Umfrage gibt Auskunft über die Akzeptanz unterschiedlicher Lichtverhältnisse in Wohnsituationen.

Kapitel III – Diffuslicht

Der dritte Teil befasst sich mit sanierungsbedingten, quantitativen Veränderungen von Diffuslichteinträgen in Wohnräumen. Folgende Untersuchungen werden durchgeführt:

- + Messung, Berechnung und Bewertung von Tageslichtquotienten vor und nach Sanierungsmaßnahmen
- + Aufzeigen von Möglichkeiten zur Optimierung von Tageslichteinträgen nach der Sanierung

Kapitel IV – Direktlicht, passiv solare Gewinne und Tageslichtautonomie

Im vierten Teil wird die Einflussnahme von Fassadensanierungen auf quantitative Direktlicht- und Strahlungseinträge sowie den Einsatz von künstlicher Beleuchtung verdeutlicht. Folgende Untersuchungen werden durchgeführt:

- + Berechnung und Darstellung von Veränderungen des direkten Lichteintrages vor und nach der Sanierung in Abhängigkeit der Wohnungsorientierung
- + Ermittlung der sanierungsbedingten Unterschiede von nutzbaren passiv solaren Wärmegevinen
- + Berechnung der durch die Gebäudesanierung hervorgerufenen Unterschiede von Kunstlicheinschaltzeiten zur Aufrechterhaltung einer erforderlichen Mindestbeleuchtungsstärke
- + Zusammenschau der Berechnungsergebnisse
- + Praktische Fragestellungen im Zuge der Umsetzung von tageslichtoptimierten Sanierungsmaßnahmen.

Kapitel V – Résumé

INHALT

KAPITEL I – Grundlagen	7
KAPITEL II – Qualitative Lichtwahrnehmung	35
KAPITEL III – Diffuslicht	45
KAPITEL IV – Direktlicht, passiv solare Gewinne und Tageslichtautonomie	69
KAPITEL V – Résumé	135

Kapitel I Grundlagen



INHALT

1. BEGRIFFSDEFINITION UND DIAGRAMMERLÄUTERUNG.....	9
1.1 LICHTPLANERISCHE KENNWERTE	9
1.2 LICHTTECHNISCHE GRUNDGRÖßEN	10
1.3 SONNENBAHNDIAGRAMM	12
1.4 NORMHIMMEL.....	14
1.5 ENERGIEKENNZAHLEN	15
2. TAGESICHT	16
2.1 DEFINITION TAGESLICHT	16
2.2 EINFLUSSFAKTOREN FÜR DAS TAGESLICHTANGEBOT IM INNENRAUM	17
2.3 PHYSIOLOGISCHE UND PSYCHOLOGISCHE ASPEKTE	20
3. TAGESLICHT IN NATIONALEN UND INTERNATIONALEN NORMEN UND REGELWERKEN	23
3.1.1 <i>Bau- und Bautechnikverordnungen (Österreich)</i>	23
3.2 NORMANFORDERUNGEN	24
3.3 BEWERTUNGSKRITERIEN UND RICHTLINIEN IM EU-RAUM	24
3.3.1 <i>Schweden</i>	25
3.3.2 <i>Dänemark</i>	25
3.3.3 <i>Niederlande</i>	25
3.3.4 <i>Großbritannien</i>	25
3.3.5 <i>Frankreich</i>	26
3.3.6 <i>Schweiz</i>	26
4. BEFRAGUNGSERGEBNISSE ZU PRAKTIKEN DER THERMISCHEN GEBÄUDESANIERUNG.	27
4.1 SANIERUNGSMABNAHMEN	27
4.2 DÄMMMATERIALIEN	28
4.3 FENSTER	29
4.4 VERWENDETE GLASARTEN	29
4.5 SELEKTIVE GLASBESCHICHTUNGEN.....	30
4.6 GLAS/RAHMEN - VERHÄLTNIS	30
4.7 VERÄNDERUNGEN DER FENSTERPOSITION	30
4.8 VERÄNDERUNGEN VON FENSTERGRÖßEN	31
4.9 SONNENSCHUTZ IN DER SANIERUNG	31
4.10 WESENTLICHE SANIERUNGSMABNAHMEN AUS SICHT VON PLANERINNEN UND AUSFÜHRENDEN	32
5. VERZEICHNISSE.....	33
5.1 LITERATUR UND QUELLENVERZEICHNIS	33
5.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	34
5.3 TABELLENVERZEICHNIS.....	34

1. Begriffsdefinition und Diagrammerläuterung

Zum besseren Verständnis und zur einfacheren Interpretation der Mess- und Berechnungsergebnisse werden wesentliche lichtplanerische und lichttechnische Begriffe sowie Diagrammdarstellungen in aller Kürze erklärt und illustriert.

1.1 Lichtplanerische Kennwerte

Zur Berechnung und quantitativen Bewertung des Lichteintrages in Wohnungen werden u.a. Begriffe verwendet, die bis dato in keiner Norm und in keinem gesetzlichen Regelwerk verankert sind. Insbesondere die Begriffe „Raumdurchlichtung“ und „Flächenbesonnung“ wurden am Department für Bauen und Umwelt definiert und werden zur Quantifizierung von Lichteinträgen herangezogen.

Besonnung

Die Besonnung eines Raumes ergibt sich aus der durchschnittlichen Besonnungsdauer aller Punkte einer horizontalen Messfläche während eines bestimmten Bemessungszeitraumes.

Ein Punkt gilt als besonnt, wenn er im Lauf dieses Zeitraumes von direktem Sonnenlicht getroffen wird

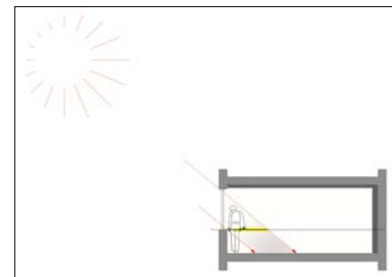


Abbildung 1: Besonnung

Durchlichteter Raum

Als durchlichteter Raum wird jenes Raumvolumen bezeichnet, das im Lauf eines bestimmten Zeitraumes von direktem Sonnenlicht getroffen wird.

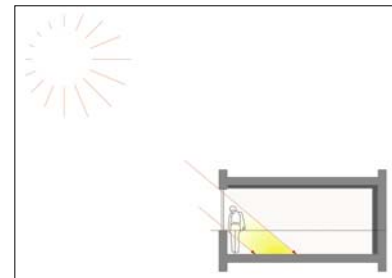


Abbildung 2: Durchlichtung

Tageslichtautonomie

Prozentueller Anteil einer Bemessungszeit, bei der Tageslicht zur Raumbeleuchtung ausreicht, ohne künstliches Licht zuzuschalten

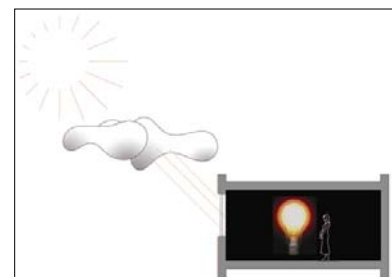


Abbildung 3: Tageslichtautonomie

Tageslichtquotient TQ

Der Tageslichtquotient beschreibt das Verhältnis der inneren Beleuchtungsstärke E_i auf einem Punkt einer Ebene zur gleichzeitig vorhandenen äußeren horizontalen Beleuchtungsstärke E_e , bei gleichmäßig bedecktem Himmel.¹

$$TQ[\%] = E_i / E_e \times 100$$

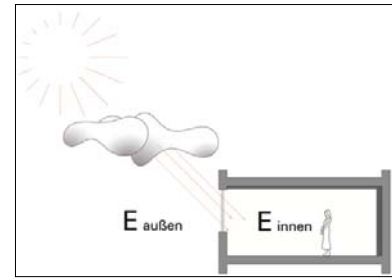
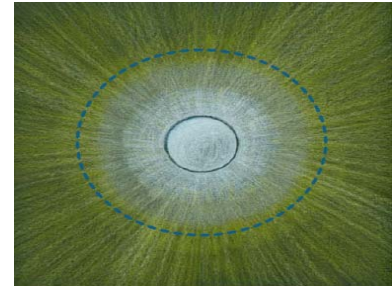


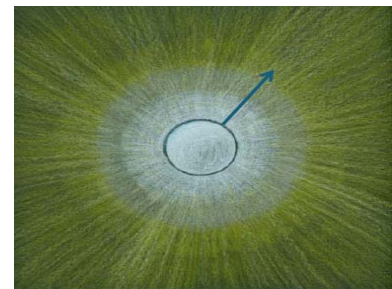
Abbildung 4: Tageslichtquotient

1.2 Lichttechnische Grundgrößen**Lichtstrom Φ**

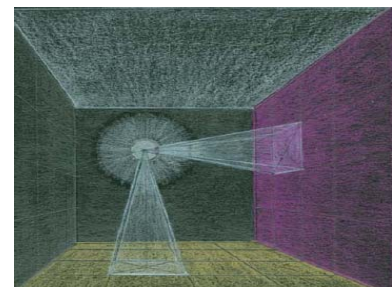
Der Lichtstrom bezeichnet die gesamte, von einer Lichtquelle abgegebene Strahlungsleistung. Die Leistungsabgabe einer Lichtquelle erfolgt in lumen [lm].²

Abbildung 5: Lichtstrom
Grafik: Renate Hammer**Lichtstärke I**

Die Lichtstärke I bezeichnet den Lichtstrom, der von einer Lichtquelle in einer Ausbreitungsrichtung abgegeben wird. Die Angabe erfolgt in Candela [cd].

Abbildung 6: Lichtstärke
Grafik: Renate Hammer**Beleuchtungsstärke E.**

Die Beleuchtungsstärke bezeichnet den Lichtstrom Φ , der auf eine Fläche auftrifft. Die Einheit der Beleuchtungsstärke ist Lux [lx].

Abbildung 7: Beleuchtungsstärke
Grafik: Renate Hammer

¹ Vgl. DIN 5034 Teil 1, 3.12

² Vgl. Renate Hammer, Peter Holzer TLA1, 2010

Leuchtdichte L

Die Leuchtdichte L bezeichnet die Lichtstärke, die auf eine Fläche auftrifft. Die Leuchtdichte wird in Candela / m² angegeben [cd/m²]. Da der Mensch über das Auge überwiegend gerichtetes Licht wahrnimmt, entspricht die Angabe der Leuchtdichte der menschlichen Wahrnehmung von Helligkeit.

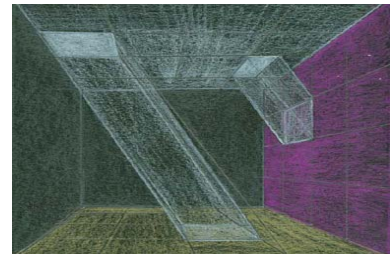


Abbildung 8: Leuchtdichte
Grafik: Renate Hammer

Reflexionsgrad ρ

Der Reflexionsgrad gibt an, wieviel Prozent des auf eine Fläche auftreffenden Lichtstroms Φ von dieser Fläche zurückgeworfen werden.

$$\rho = L \times \pi / E$$

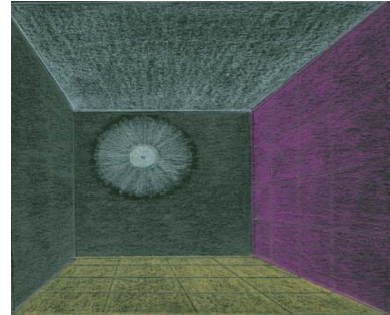


Abbildung 9: Oberflächenreflexion
Grafik: Renate Hammer

1.3 Sonnenbahndiagramm

Mit Hilfe polarer Sonnenbahndiagramme können die jährlichen Sonnenpositionen am Himmel bezogen auf einen Erdstandort (bsp. Wien, Nord $48^{\circ}13'12''$) bestimmt werden. Zum besseren Verständnis der im Teil IV vorgenommenen Direktlichtanalysen wird die Funktionsweise von Sonnenbahndiagrammen erläutert

Horizont, Himmelsrichtung, Azimut

Das Sonnenbahndiagramm ist durch den Horizont abgegrenzt, auf dem die 4 Haupthimmelsrichtungen N S O W mit ihrer Auslenkung von der Nordrichtung (= Azimut) aufgetragen sind.

Nord	Azimut 0°
Ost	Azimut 90°
Süd	Azimut 180°
West	Azimut 270°

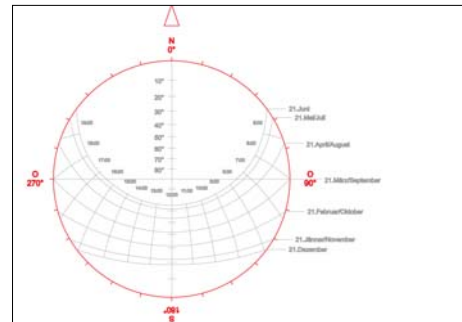


Abbildung 10: Sonnenbahndiagramm
Horizont und Azimut

Tagesverläufe

Die tagesbezogenen Sonnenbahnen werden anhand von Kurvendarstellungen gezeigt. Rot gekennzeichnet sind die Sonnenverläufe am 21. Juni (Sommerbeginn), 21. März (Frühlingsbeginn) und 21. Dezember (Winterbeginn).

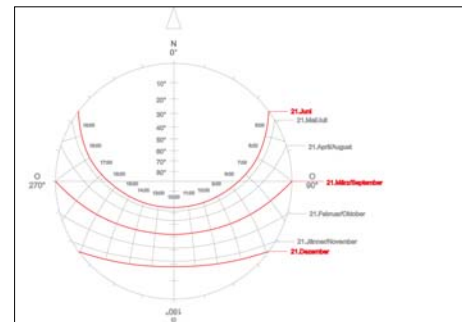


Abbildung 11: Sonnenbahndiagramm
Tagesverläufe

Uhrzeiten

Neben den Tagesverläufen sind auch die den Sonnenpositionen zuzuordnenden Uhrzeiten im Sonnenbahndiagramm eingetragen.

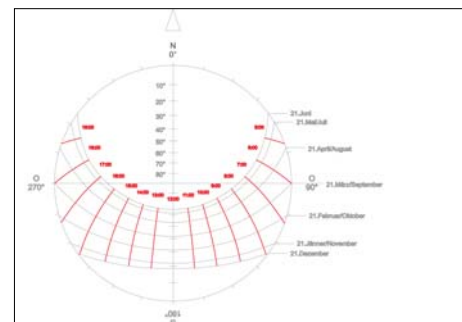
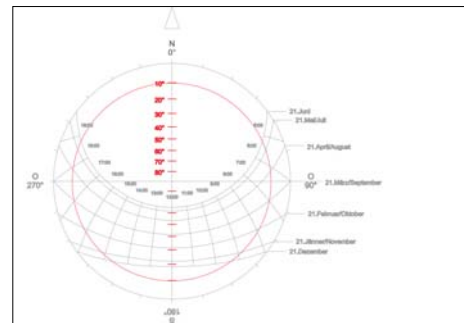


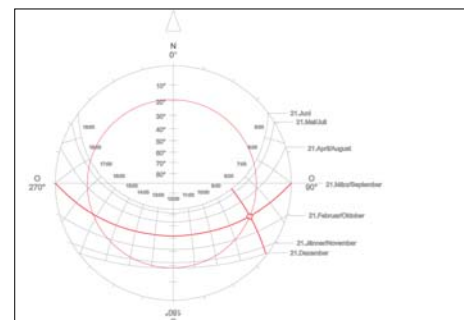
Abbildung 12: Sonnenbahndiagramm
Uhrzeiten

Sonnenhöhe

Die konzentrischen Kreise des Diagramminnenfeldes markieren die Sonnenhöhe, also den Einfallswinkel direkter Sonneneinstrahlung auf die Erdoberfläche. Die Sonnenhöhe wird in Grad angegeben.

Abbildung 13 Sonnenbahndiagramm
Sonnenhöhe**Beispiel für Sonnenposition**

Tag	21. März
Zeit	8.00
Azimut	112°
Sonnenhöhe	19,41°

Abbildung 14 Sonnenbahndiagramm
Beispiel Sonnenposition**Räumliche Darstellung von Sonnenverläufen**

21. Dezember, 21. März und 21. Juni.

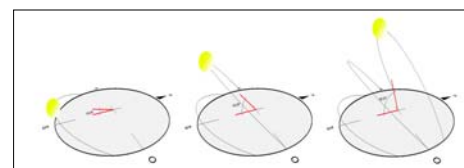


Abbildung 15: Sonnenverlauf 3d Darstellung

Orientierungsdarstellungen

Die Darstellungen von Gebäudeorientierungen im Rahmen der Direktlichtberechnungen (Teil IV) werden - von dieser Systematik abgeleitet - durch Sonnenbahndiagramme angegeben. Dabei wird ersichtlich gemacht, an welchen Zeiten mit Direktlichteintrag gerechnet werden kann.

N O S W (v.l.o.n.r.u.)

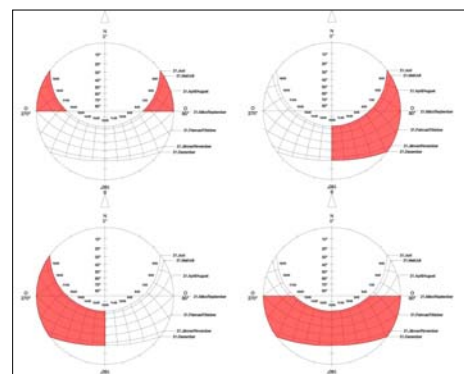


Abbildung 16: Orientierungsdarstellungen

1.4 Normhimmel³

Bedeckter Himmel (CIE overcast sky)

Die Leuchtdichtenverteilung L ändert sich mit der Höhe. Sie ist am Zenit 3 mal so hoch wie am Horizont.

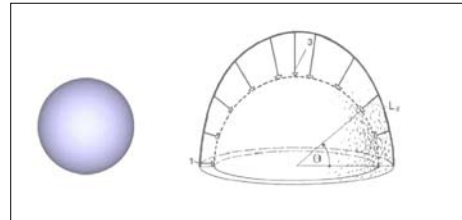


Abbildung 17: Bedeckter Himmel
(Quelle: Bica, 2010, Skript S.98)

Heiterer Himmel (CIE clear sky)

Die Himmelsleuchtdichte L variiert mit der Höhe und dem Azimut.

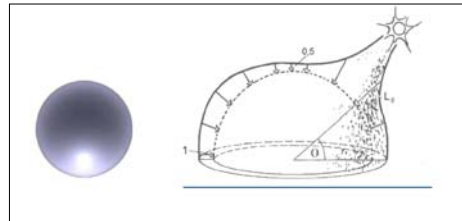


Abbildung 18: Heiterer Himmel
(Quelle: Bica, 2010, Skript S.98)

Einheitlich bedeckter Himmel (CIE uniform, foggy sky)

Die Leuchtdichtenverteilung L ist isotrop, also von der Richtung unabhängig.

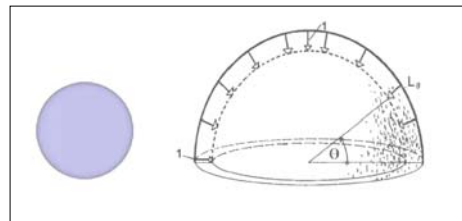


Abbildung 19: Einheitlich bedeckter Himmel
(Quelle: Bica, 2010, Skript S.98)

³ Vgl. Skriptum Tageslicht Architektur, Dr. Benedikt Bica, CIE Modelltypen

1.5 Energiekennzahlen⁴

Heizwärmebedarf HWB

Der Heizwärmebedarf ist die rechnerisch ermittelte Wärmemenge, die im langjährigen Mittel während einer Heizsaison den Räumen eines Gebäudes zugeführt werden muss, um die Einhaltung einer vorgegebenen Raumtemperatur sicherzustellen.

$$HWB = Q_t + Q_v - \eta (Q_i + Q_s)$$

Angabe Kilowattstunden / m² Jahr [kWh/m²a]

Q_t Transmissionswärmeverluste

Q_v Lüftungswärmeverluste

Q_i Interne Wärmegewinne

Q_s solare Wärmegewinne

η Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne

Solare Wärmegewinne

Die solaren Gewinne erfolgen infolge Strahlungstransmission durch transparente Bauteile.

Angabe Kilowattstunden / m² Jahr [kWh/m²a]

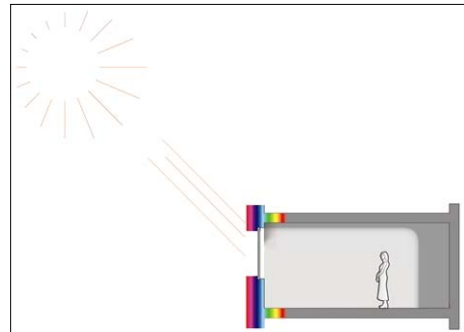


Abbildung 20: Heizwärmebedarf und solare Gewinne

⁴ Begriffsdefinition der Energiekennzahlen gemäß OIB Leitfaden, März 1999

2. Tageslicht

2.1 Definition Tageslicht

Als Tageslicht wird die Summe jener Anteile des sichtbaren Sonnenspektrums bezeichnet, die nach dem Durchgang durch die Atmosphäre auf der Erdoberfläche auftrifft. Beim Durchgang der Strahlung durch die Atmosphäre kommt es durch Absorption und Streuung zur Extinktion (Abschwächung) der Strahlungsleistung. Die Absorber sind Aerosole, Ozon und Wasserdampfbande in den atmosphärischen Schichten. Ein weiterer Anteil des Sonnenlichts wird an Luftmolekülen, Dunstpartikeln, Staub und Schwebestoffen gestreut, es erfolgt eine teilweise Rückstreuung (Reflexion) die als diffuse Himmelsstrahlung auftrifft.⁵

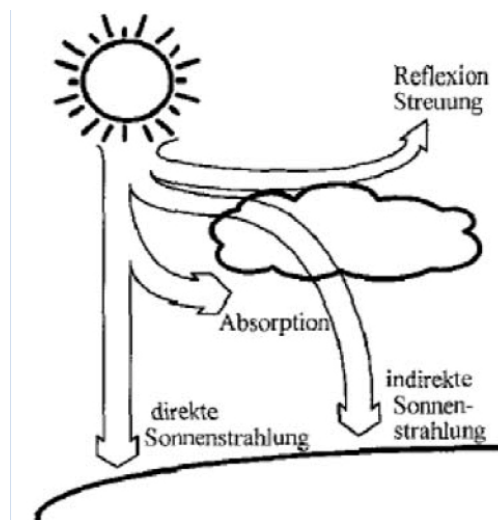


Abbildung 21: Wechselwirkung Licht und Atmosphäre⁶

Die auf die Erdoberfläche treffende Strahlung, deren Summe Globalstrahlung genannt wird, setzt sich somit aus der ungehindert die Atmosphäre passierenden direkten Sonnenstrahlung und der diffusen Himmelsstrahlung zusammen.⁷ Analog dazu sind unter Tageslicht die sichtbaren Anteile der Globalstrahlung zu verstehen, wobei hier auch die Begriffe Sonnenlicht (direkt, räumlich gerichtet) und Himmelslicht (diffus, isotrop) verwendet werden.

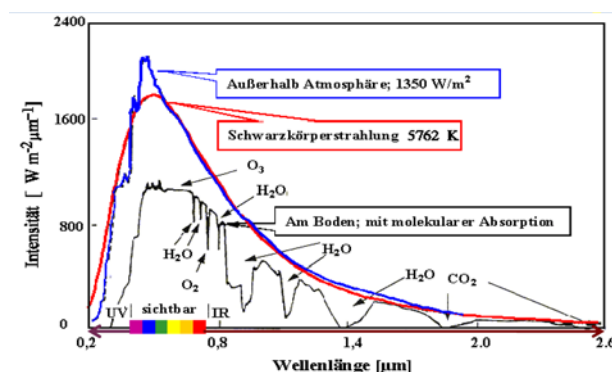


Abbildung 22: Spektrales Strahlungsangebot⁸

⁵ Dr. Benedikt Bica, Skriptum TLA 1, Teil 4, Wechselwirkung von Licht mit Atmosphäre und Erde, 2010

⁶ Quelle: Heering W. Lemmer U., Lichttechnisches Institut Karlsruhe

⁷ Dr. Benedikt Bica, Skriptum TLA 1, Teil 4, Wechselwirkung von Licht mit Atmosphäre und Erde, 2010

⁸ Quelle: www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/mw2_ge/kap_6/illustr/t6_4_1.html, 20.9.2008

Das Verhältnis der Strahlungsanteile ist abhängig von den lokalen Wettergegebenheiten (Bewölkung, Nebel etc) und atmosphärischen Bedingungen sowie der geografischen Lage, insbesondere der Höhe über dem Meeresspiegel. Die jährlich erreichten Werte in Österreich liegen zwischen 1.100 im Flachland und 1400 kWh/m² in alpinen Lagen, wobei es sich hier um Werte aus Referenzperioden vor 1997 handelt. Durch den Klimawandel und durch den Rückgang des global dimming hat auch die Globalstrahlung zugenommen, beispielsweise ist die durchschnittliche Jahressumme im Wiener Raum um fast 29% höher, wie Messdaten aus dem Referenzzeitraum 1997 - 2006 belegen.⁹

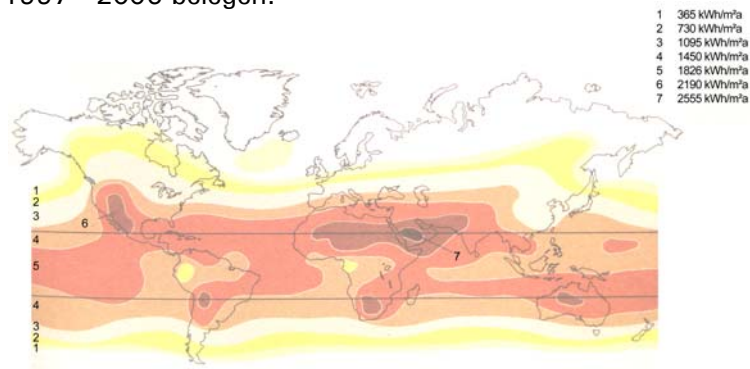


Abbildung 23: Sonneneinstrahlung auf eine horizontale Ebene im Jahresdurchschnitt, weltweit¹⁰

Tageslicht bietet ein dynamisches Lichtangebot, weil Intensität und spektraler Zusammenhang von Faktoren wie Tages- und Jahreszeit, Sonnenstand und Einstrahlwinkel und die unterschiedlichen Himmelszustände (klar, bedeckt,...) bestimmt wird. Im Jahresmittel betragen die "hellen Tagstunden" etwa 4.300 Stunden.

In Mitteleuropa ist die Sonne an ca. 55% der Tagesstunden durch Wolken verdeckt.¹¹ Die Anzahl der direkten Sonnenstunden schwankt, sie lag im Durchschnitt für die letzten zwei Jahre im Raum Wien bei 2.035 Stunden. Die Strahlungsleistung verringert sich bei diffuser Himmelstrahlung um bis zu 50 W/m². Entsprechend verhalten sich die Helligkeiten des Tageslichtes.¹²

Für die Tageslichtplanung wird in der Regel ein gleichmäßig bedeckter Himmel herangezogen, da dieser "dunklere" Himmelszustand lichttechnisch kritischer ist und sich durch die rotationssymmetrische Leuchtdichteverteilung rekonstruierbare Beleuchtungsverhältnisse im Innenraum ergeben.

2.2 Einflussfaktoren für das Tageslichtangebot im Innenraum

Die im Raum verfügbare Menge an Tageslicht wird durch bauliche, umgebungs- und nutzerbedingte Faktoren beeinflusst, deren Konstellation den Lichteintrag und den innerräumlichen Lichtverlauf bestimmen.

Die baulichen Parameter für den Lichteintrag werden durch Raumproportionen, Fenstergeometrien- und Beschaffenheit sowie Lage und Position von Öffnungen in der Gebäudehülle vorgegeben. Der ökonomischen Raumnutzung zufolge werden Wohnräume überwiegend durch Seitenöffnungen in Außenwänden belichtet. Naturgemäß ist der Tageslichteinfall bei einseitig belichteten Räumen in Fensternähe am stärksten und nimmt mit zunehmender Raumtiefe ab.

⁹ Vgl. Kromp-Kolb, 2009, S 70ff

¹⁰ Quelle: Roberts S. Guariento N., 2009, S. 41

¹¹ Ulrike Barandi, 2005, S.19,

¹² Vgl. Neufert, 2002, 37. Auflage S. 167

Niedrige Raumhöhen reduzieren die Eindringtiefe des Lichtes im Innenraum aufgrund geometrischer Zusammenhänge. Entscheidend für eine bessere Belichtung in der Raumtiefe sind, neben adäquaten Raumproportionen, möglichst hoch reichende Fenster, sowie angemessene Tiefen von Außenleibungen.¹³

Das Verhältnis des Rahmenanteils zur Verglasungsfläche ist ebenso maßgeblich, wie Anzahl, Größe und Ausrichtung der Fenster, weiters die Glasqualität, die die Lichttransmission bestimmt. Die Verläufe von Tageslichtquotienten bei unterschiedlichen Befensterung wird in den folgenden Illustrationen verdeutlicht.

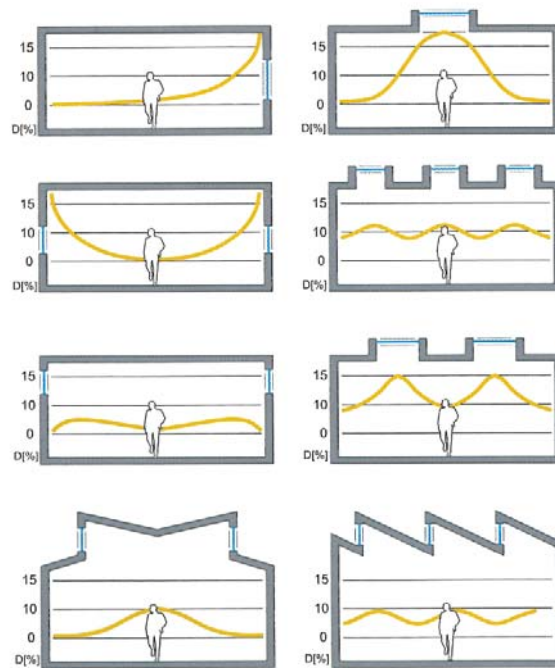


Abbildung 24: Tageslichtquotientenverlauf bei unterschiedlichen Raumgeometrien und Befensterungen¹⁴

Die nachfolgenden Darstellungen demonstrieren zudem den Einfluss der Fensterhöhe und der Veränderung der Leibungstiefe auf den Lichteinfall.

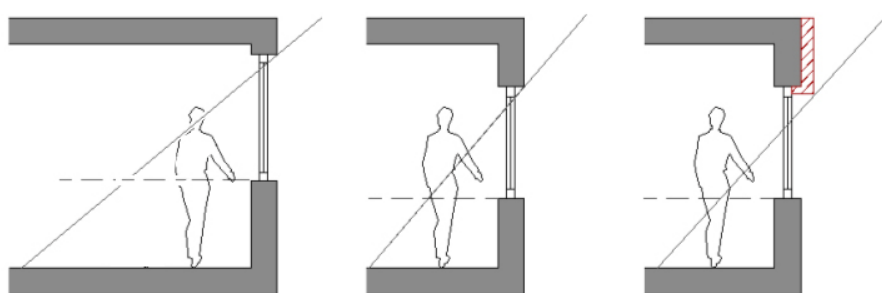


Abbildung 25: Lichteinfall - Veränderungen bedingt durch Fensterposition und Leibung

¹³ Bei einseitig belichteten Räumen sollte die Raumtiefe die zweifache Höhe Fußboden bis Oberkante Fenster nicht überschreiten. Vgl. Baker et.al, 2002, S. 43

¹⁴ Quelle: Ranft, 2007, S.44

Der sichtbare Himmelslichtanteil hat den größten Einfluss auf die Lichtmenge im Innenraum, die zusätzlich durch die Lage (bzw. Höhe) einer Wohnung im Gebäudeverband beeinflusst wird.¹⁵ Auch Gebäudevorsprünge und auskragende Bauteile, wie beispielsweise Balkonplatten, verringern den Lichteinfall und damit die Tageslichtquantität. Eine weitere Problematik, die speziell im dicht besiedelten Stadtgebiet zum Tragen kommt, ist die Abschattung durch umgebende Gebäude und durch Vegetation in Form von Baumbestand. Ungünstig im Außenraum platzierte Sonnen- und Blendschutzeinrichtungen, wie Rollladenkästen im Fensterbereich oder Markisen an Balkonüberhänge wirken sich negativ auf die Tageslichtversorgung aus. Hinzu kommen optische Einflussgrößen wie interne und externe Lichtreflexion, die den Helligkeitseindruck im Raum wesentlich beeinflussen. In dichter, urbaner Bebauung werden auch äußere Reflexionseigenschaften der Umgebung relevant, da diese Licht unter flachem Einfallswinkel tief in den Innenraum werfen.¹⁶

Aus lichtplanerischer Sicht sind Reflexionseigenschaften opaker Bauteile ein zu berücksichtigendes Kriterium für die Gesamtlichtmenge und die Lichtverteilung im Innenraum. Je nach Oberflächenbeschaffenheit eines Objektes wird das mit einer bestimmten Lichtstärke auftreffende Licht moduliert und reflektiert, meist in gestreuter (diffuser) Form. Die Reflexionseigenschaften entscheiden über die tatsächlich wahrgenommene Helligkeit (Leuchtdichte). Das durch die Raumbegrenzungsflächen und Mobiliaroberflächen reflektierte Licht ist maßgeblich für die Belichtung in tieferen Raumzonen. Der Reflexionsanteil kann die Lichtmenge in der Raumtiefe um bis zu 20% erhöhen.¹⁷ Da die Ausgestaltung der Innenräume und Beschaffenheit der Raum- und Mobiliaroberflächen vom Nutzerverhalten abhängig ist, bestehen kaum Möglichkeiten der Beeinflussung. Hingegen können die externen Reflexionsanteile mit entsprechenden Maßnahmen in vielen Situationen verbessert werden.

In der folgenden Abbildung werden in der rechten Grafik die relevanten Anteile für den Lichteintrag aufgezeigt, die linke Grafik veranschaulicht das Ausmaß des reflektierten Lichtanteils (Indirektanteil) an der Gesamtlichtmenge und Raumausleuchtung.

SC = Himmelslichtanteil
ERC = Außenreflexionsanteile
IRC = Innenreflexionsanteile

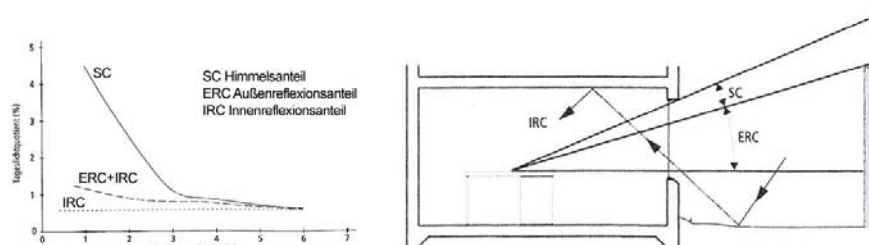


Abbildung 26: Himmelslicht- und Innen- und Außenreflexionsanteile¹⁸

¹⁵ Vgl. Corrodi, Spechtenhauser, 2009, S. 134

¹⁶ Vgl. Baker et al, 202, 2002, S. 59

¹⁷ Vgl. Daylighting in Architecture, 3. Druckauflage, 2001, Kapitel 4.1-4.17

¹⁸ Quelle: Corrodi, Spechtenhauser, 2009, S. 134, 143

2.3 Physiologische und psychologische Aspekte

Über 80% der menschlichen Wahrnehmung basieren auf visuellen Reizen. Die visuelle Wahrnehmung vermittelt Farben, Formen, räumliche und zeitliche Zusammenhänge sowie Orientierung im Raum. Darüber hinaus spielt das Tageslicht eine zentrale Rolle für Chronobiologie und Stoffwechselfvorgänge im menschlichen Organismus. Die retinalen Ganglienzellen des nicht-visuellen dritten Photorezeptors sind über den Netzhaut-Zwischenhirn (retino-hypothalamischen) Trakt mit dem oberen Zervikalganglion im Rückenmark und dem SCN (Suprachiasmatischer Nucleus) verbunden, welcher die Verarbeitung der lichtinduzierten Signale übernimmt. Die Rezeptoren arbeiten mit dem Pigment Melanopsin, welches seine größte Reaktivität bei Licht im Wellenlängenbereich von 410 nm bis 460 nm aufweist.¹⁹

Folgende Darstellungen zeigen den Pfad der nicht visuellen Rezeptoren (links) ausgehend von der Netzhaut sowie deren spektrale Einordnung im Vergleich zur Helligkeitsempfindlichkeitskurve $V\lambda$ (rechts).

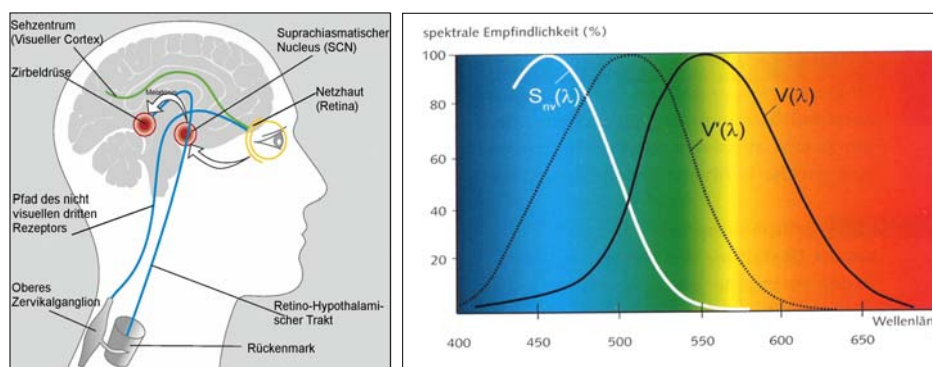


Abbildung 27: Pfad der nicht visuellen Rezeptoren, Helligkeitsempfindlichkeitskurve $v\lambda$ ²⁰

Die physiologischen Prozesse der meisten Körperfunktionen haben sich den jahres- und tageszeitlichen Rhythmen angepasst, wobei diese inneren Rhythmen vielfach circadian (in 24h Rhythmus) verlaufen. Der wichtigste Impulsgeber für den circadianen Schlaf- und Wachrhythmus ist das Licht, vor allem das diffuse Himmelslicht. Für die Steuerung des circadianen Rhythmus werden Lichtintensitäten von mindestens 2500 Lux bei gleichzeitig kurzen Wellenlängen benötigt.²¹ Darüber hinaus ermöglicht die solare Strahlung im UV-Bereich die körpereigene Produktion von Vitamin D3 (Vitamin-D-Synthese durch UV-Strahlung). Dieses stabilisiert die Knochenfestigkeit und den Muskelapparat, vermindert das Risiko des Auftretens unterschiedlicher Autoimmunerkrankungen (Multiple Sklerose, Diabetes 1a,..) sowie Krebserkrankungen und erhöht die Heilungschancen bei diversen Krebsarten.^{22 23}

Der zentrale Botenstoff der inneren Uhr ist das Hormon Melatonin, welches andere innere Rhythmen wie den Verlauf der Körpertemperaturen oder des Cortisonspiegels synchronisiert. Ein hoher Melatoninspiegel signalisiert dem Organismus Dunkelheit und stößt regulierende Prozesse an; Dem Melatonin selbst kommt antioxidierende Wirkung zu.

¹⁹ Vgl. Hammer, Licht und Gesundheit, 2008

²⁰ Quelle:Thiemann, Lichttechnische Grundlagen, 2008 – rechts http://www.licht.de/fileadmin/shop-downloads/lichtwissen19_Gesundheit.pdf - modifiziert durch den Autor, November 2008

²¹ Zeitzer et al., 2000, S. 695-702

²² Vgl. Hammer, Licht und Gesundheit, 2008

²³ Vgl. Grant et al., 2005, S 94-104

Mangel an Tageslicht bewirkt eine Störung der inneren biologischen Uhr und ist mit Ursache unterschiedlicher Beeinträchtigungen wie Schlafstörungen, rheumatische Erkrankungen, Stoffwechselstörungen, Herz und Gefäßerkrankungen bis hin zu hormonsensitiven Krebsarten.²⁴

Schließlich werden Zusammenhänge zwischen dem Angebot an Tageslicht und der psychischen Befindlichkeit des Menschen beobachtet. So werden saisonal affektive Depressionen (SAD) auf einen Mangel an Licht zurückgeführt, der einer kürzeren Verweildauer des Botenstoffes Serotonin in den neuronalen synaptischen Spalten bewirkt. Hochwertige, künstliche Leuchtmittel können für die visuelle Wahrnehmung geeignete Bedingungen schaffen, sind jedoch als Tageslichtersatz im Sinne der Photobiologie nicht ausreichend.²⁵

Darüber hinaus ist das Fehlen von Tageslicht eine der wichtigsten Ursachen für das Auftreten von SBS, dem Sick Building Syndrome.

Der Begriff wurde 1983 von der Weltgesundheitsorganisation WHO geprägt und umfasst die negativen Auswirkungen der bebauten Umwelt, die sich nicht auf eine konkrete organische Erkrankung zurückführen lassen. Wie eine Studie von A. und G. Cakir belegen konnte, nahmen die typischen Symptome von SBS wie Kopfschmerzen, Ermüdung, Benommenheit in dem Maße zu, in dem künstliche Beleuchtung dominierte.²⁶

In Anbetracht der demographischen Alterungspyramide wird die Versorgung älterer Menschen mit Licht immer wichtiger. Im Alter sind nicht nur die inneren Tag- und Nachtrhythmen geschwächt, auch der Bedarf an Licht zur visuellen Wahrnehmung steigt, da die Funktionalität und damit die Leistungsfähigkeit der Augen mit steigendem Alter abnimmt. Die maximale Pupillenweite, welche die einfallende Lichtmenge auf die Netzhaut reguliert, nimmt im Alter deutlich ab, dies reduziert eine Gelbfärbung und Trübung der Augenlinse die Lichtdurchlässigkeit. Hinzu kommt, dass sich die Rezeptordichte auf der Netzhaut im Laufe des Lebens verringert, was generell eine Abnahme der Sehschärfe zur Folge hat. Diese Vorgänge beeinträchtigen die visuelle Wahrnehmung und den chronobiologischen Rhythmus gleichermaßen: zum einen verringert die kleinere Pupillenweite die nicht-visuellen Lichtwirkungen, zum anderen tritt die geringere Lichtdurchlässigkeit der Linsen exakt in dem Spektralbereich auf, in dem sich die Empfindlichkeit der nicht-visuellen Lichtwirkungen befinden (410 nm bis 460 nm).²⁷

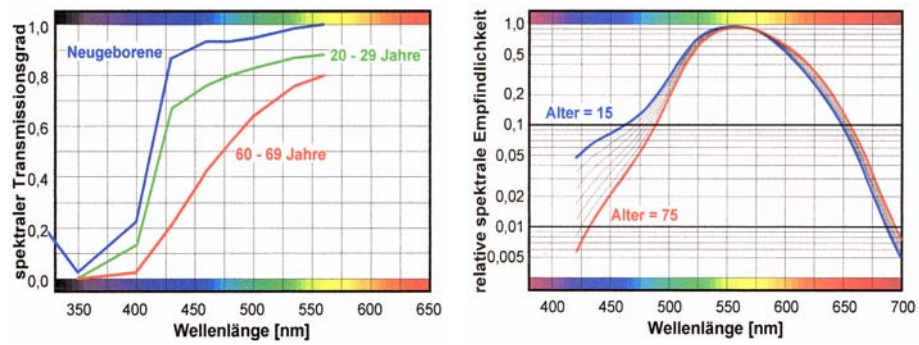
Ältere Menschen benötigen daher mehr Licht verbunden mit geeigneten Kontrastverhältnissen, um die visuelle Wahrnehmung und die räumliche Orientierung zu erleichtern, sowie den circadianen Rhythmus zu unterstützen. Speziell im Wohnraum ist eine entsprechende Versorgung mit Tageslicht aufgrund geänderten Freizeitverhaltens und häufiger Immobilität unerlässlich. Die beiden nachfolgenden Diagramme zeigen den spektralen Transmissionsgrad des Auges für drei Altersgruppen (links) und die altersbedingte Verringerung der spektralen Lichtdurchlässigkeit durch die Gelbfärbung und Trübung der Augenlinse (rechts).

²⁴ Vgl. Hammer, Licht und Gesundheit, 2008

²⁵ Vgl. Hammer, Licht und Gesundheit, 2008

²⁶ Vgl. Brandi, 2005, S.9

²⁷ Vgl. Schierz, Lux junior, 2007, S 1-8, und Tagungsband der 18. Gemeinschaftstagung lichttechnischer Gesellschaften, Illmenau, 2008 S. 33-35

Abbildung 28: Spektraler Transmissionsgrad unterschiedlicher Altersgruppen²⁸

²⁸ Quelle: Schierz, Lux junior, 2007, S. 4

3. Tageslicht in nationalen und internationalen Normen und Regelwerken

Die Rahmenbedingungen für die Tageslichtversorgung von Wohnräumen sind in Österreich in den länderspezifischen Bauordnungen geregelt. Wohnräume gelten als natürlich belichtet, wenn die gesamte Fensterfläche im jeweils vorgegebenen Verhältnis zur Fußbodenfläche stehen. Rückschlüsse auf die tatsächliche Belichtung können entsprechend der Raumgeometrie nur mangelhaft oder auch gar nicht gezogen werden.

3.1.1 Bau- und Bautechnikverordnungen (Österreich)

In der Wiener Bauordnung wird der Lichteintrag durch die die OIB Richtlinien 3 (Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz) geregelt. Für die Belichtung von Aufenthaltsräumen wird eine Gesamtfensterfläche (Architekturlichte) von 10% der Fußbodenfläche vorgeschrieben. Dieses Maß vergrößert sich bei Raumtiefen von mehr als 5m um 10% für jeden vollen Meter Mehrtiefe. Desweiteren ist der freie Lichteinfall unter 45° , wobei die Lichteinfallrichtung seitlich um nicht mehr als 30° abweichen darf, in beiden Verordnungen geregelt (Siehe Grafik 27). Die Parapethöhe von Fenstern darf jeweils max. 1,20m betragen. Bei Auskragungen von mehr als 50cm über Hauptfenstern, horizontal gemessen in den freien Lichteinfall, muss die erforderliche Fensterfläche mindestens ein Sechstel der Fußbodenfläche des jeweiligen Raumes betragen.

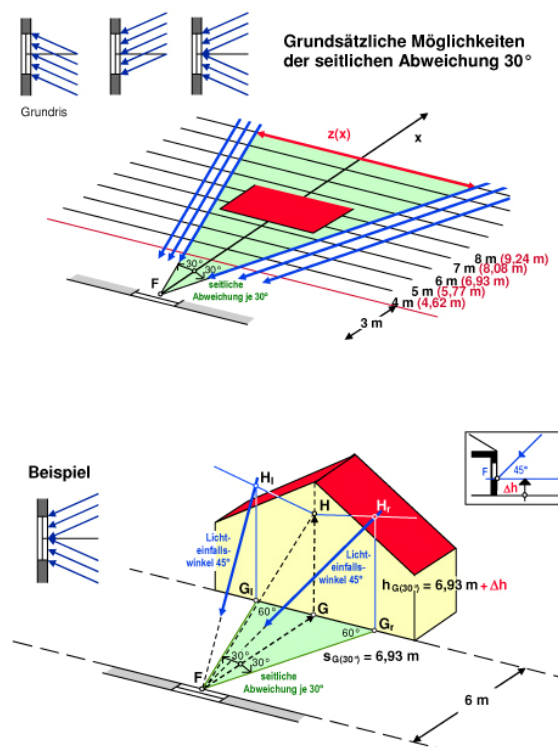


Abbildung 29: Freier Lichteinfall in Gebäuden²⁹

²⁹ Quelle: www.oib.or.at

In einer zusätzlichen Grafik wird illustratorisch verdeutlicht, wie sich diese Bestimmungen auf das Stadtbild von New York auswirken würde.

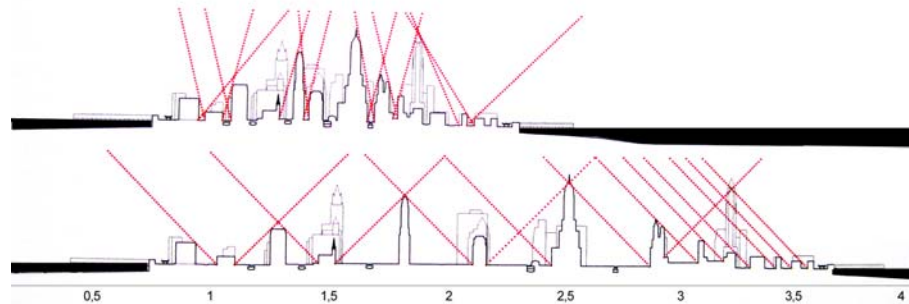


Abbildung 30: Stadtbild New York nach der wiener Bauordnung³⁰

3.2 Normanforderungen

Die DIN 5034 1-4, Tageslicht in Innenräumen, mit Mindestvorgaben für ausreichende Helligkeit in Wohnräumen, wird in der gegenständlichen Studie als Mindestkriterium herangezogen. Ausreichende Helligkeit ist dann gegeben, wenn der Tageslichtquotient (TQ in [%]) in halber Raumtiefe auf einer Bezugsebene von 0,85m im Mittel mindestens 0,9% und am ungünstigsten Punkt mindestens 0,75% beträgt. Sind Fenster in zwei aneinander grenzenden Wänden positioniert, muss der Tageslichtquotient wenigstens 1% betragen. Eine erforderliche Beleuchtungsstärke oder Leuchtdichtenverteilung ist nicht definiert. Eine ausreichende Besonnung von Wohnungen ist gemäß DIN 5034 -1, 4.4 dann gegeben, wenn ein Aufenthaltsraum im Wohnungsverband am 17. Jänner zumindest für eine Stunde direkt belichtet ist.³¹

Die Positionierung der Fenster und die Gesamtbreite des Verglasungsanteiles sind maßgebend für die Sichtverbindung nach außen. Die Empfehlungen hierzu sind eine Gesamtbreite der durchsichtigen Fensterteile von mindestens 55% der Breite der Fensterwand, Brüstungshöhe maximal 0,9m über dem Fußboden, Unterkante der durchsichtigen Fensterteile maximal 0,95m über dem Fußboden und die Fensteroberkante mindestens auf einer Höhe von 2,20m über dem Fußboden.³²

3.3 Bewertungskriterien und Richtlinien im EU-Raum

Um Vergleiche der österreichischen Gesetzeslage mit internationalen Bestimmungen in der bautechnischen Auseinandersetzung mit Tageslicht anzustellen, wurden die Bewertungskriterien und Richtlinien einiger europäischer Länder untersucht.

³⁰ Quelle: Berthold, 2009

³¹ Vgl. DIN 5034, Teil 1, 4.3.1

³² Vgl. DIN 5034, Teil 1, 4.2.2.

3.3.1 Schweden

In **Schweden** sind die Anforderungen an die natürliche Belichtung für Wohngebäude national über die Bauordnung i.d.g.F. BFS 2006:22 geregelt.³³ Aufenthaltsräume in Gebäuden müssen so orientiert sein, dass eine natürliche Belichtung möglich ist. Die Verglasungsfläche soll, bei Verwendung von klarem Glas mindestens 10% der Fußbodenfläche betragen. Bei Gläsern mit geringerer Lichtdurchlässigkeit (Sonnenschutzgläser o.ä.) und einer Verschattung von mehr als 20° durch Gebäudeteile oder Umgebungsbebauung muss die Verglasungsfläche erhöht werden. Eine Sichtverbindung nach draußen ist - ohne nähere Angaben - ebenfalls gefordert. Desweiteren sollen Aufenthaltsräume nicht ausschließlich über Dachfenster belichtet werden. Mindestens ein Raum der Wohnung soll direkt besonnt sein.

3.3.2 Dänemark

Die Belichtungsanforderungen der **dänischen** Bauordnung, i.d.g.F. Building Regulations (BR) 2008,³⁴ sind im Kontext mit allgemeinen, gesundheitlichen Aspekte des Tageslichtes zu sehen. Räume mit integrierten Arbeitsbereichen gelten als ausreichend belichtet, wenn die seitliche Verglasungsfläche 10% der Fußbodenfläche beträgt und bei Dachfenstern eine Fläche von 7% des Fußbodens nicht unterschritten wird; vorausgesetzt die Lichtdurchlässigkeit des Glases beträgt mindestens $\tau = 0,75$. Bei geringerer Lichttransmission (z.B. Sonnenschutzverglasung) und Verschattung durch Nachbarbebauung oder Überhänge, ist die verglaste Fläche proportional zur Reduktion zu erhöhen. Ein Raum kann auch als adäquat belichtet angesehen werden, wenn der Tageslichtquotient im Arbeitsbereich mindestens 2% beträgt. Raumproportion und Oberflächeneigenschaften soll ein angemessenes Verhältnis zu den Fenstergrößen aufweisen, die Sichtverbindung nach draußen ist zu berücksichtigen.

3.3.3 Niederlande

Die **niederländische** Bauordnung, i.d.g.F. Bouwbesluit 2003,³⁵ schreibt für die Belichtung von Aufenthaltsräumen ebenfalls eine Verglasungsfläche von 10% der Fußbodenfläche vor, wobei diese in Abhängigkeit des Lichteinfallswinkels zu bestimmen ist. Das heißt, bei Verschattungen und Überhängen ist eine äquivalente Belichtungsfläche zu ermitteln, deren Berechnungen in der Norm NEN 2057³⁶ mit entsprechenden Tabellen vorgesehen sind.

3.3.4 Großbritannien

In **Großbritannien** gelten die Baugesetze, i.d.g.F. Building Regulations (BR) 2006, Teil L, sowie die Empfehlungen des Britischen Normungsinstituts, i.d.g.F. BS 8206-2:2008.³⁷ Die Baugesetze definieren einen Raum mit einer Fensterwand von 6m als natürlich belichtet, wenn die Glasfläche mindestens 20% der Fensterwandfläche beträgt. Bei Oberlichtern muss die Glasfläche 10% der Fußbodenfläche betragen. Die Lichttransmission der Verglasung soll mindestens 70% betragen.³⁸ Der British Code of Standards ist vergleichbar mit der DIN 5034 und gibt folgende Mindestwerte eines mittleren Tageslichtquotienten vor:

³³ Quelle: http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2008/BBR_English/6_Hygiene_health_and_the_environment.pdf - Englische Übersetzung der Schwedischen Bauordnung (Code of Statutes BFS) - 08.02.2010

³⁴ Quelle: http://bcap-ocean.org/sites/default/files/Bygningsreglementet_englesk.pdf - 8.02.2010

³⁵ Quelle: <http://www.bouwbesluitonline.nl/default.aspx?AspxAutoDetectCookieSupport=1> - 9.02.2010

³⁶ NEN ist die Niederländische Norm, in diesem Fall für Tageslichtöffnungen und beinhaltet die Berechnung von Verschattungen sowie Tageslichtäquivalent-Tabellen ermittelt in 10°-Schritten

³⁷ The British Standards Institution: BS 8206-2:2008 Lighting for buildings, Code of Practice for Daylighting

³⁸ The Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE), Factfile No 9, April 2006, Lighting and the 2006 Building Regulations, URL: <http://www.cibse.org/pdfs/FF91.pdf> - 9.02.2010

Wohnräume 1,5%, Schlafräume 1,0% und Küchen 2,0%, die Werte beziehen sich auf eine Nutzebene von 0,85 m für den gesamten Raum.

Für die Besonnungsdauer eines Raumes werden 25% der jährlich möglichen Sonnenstunden und mindestens 5% während der Wintermonate (21. September bis 31. März) empfohlen. Zusätzlich gilt ein Gesetz 'Recht auf Licht' (right of light)³⁹ für Bestandsbauten. Hierbei wird, sofern eine 20-jährige uneingeschränkte Belichtung durch Neu-, Um- oder Zubauten verringert wird, üblicherweise die 45° Regel des freien Lichteinfalls angewendet.

3.3.5 Frankreich

Die *französischen* Vorschriften i.d.g.F. der Réglementation Thermique (RT) 2005 beziehen sich hauptsächlich auf die Energieeinsparung durch Tageslichtversorgung, geben jedoch keine Mindestanforderungen für die natürliche Belichtung vor. Die Ermittlung des Energieverbrauches für künstliche Beleuchtung erfolgt durch Berechnungen unter Einbeziehung des Tageslichts pro Raum mit vorgegebenen Faktoren für den nicht kommerziellen Bereich. Die RT 2005 wird gegenwärtig überarbeitet und soll tageslichtrelevante Vorschriften für Wohn- und Aufenthaltsräume mit Gültigkeit ab 2012 beinhalten.⁴⁰

3.3.6 Schweiz

In der *Schweiz* gilt eine Richtlinie der Schweizer Licht Gesellschaft (SLG), SLG 101.⁴¹ Diese ist vom Inhalt und Aufbau ähnlich der DIN 5034, geht jedoch im Wesentlichen von der Zweckbestimmung des Raumes aus und bezieht sich auf übliche Nennbeleuchtungsstärken für diverse Sehaufgaben. Die Nennbeleuchtungsstärken sind nicht zwingend mit einem bestimmten Tageslichtquotienten verbunden. Sie empfiehlt bei Seitenbelichtung für Wohnräume bis zu 6m Tiefe und 3m Höhe einen Tageslichtquotienten von 1% in halber Raumtiefe. Für eine angemessene Sichtverbindung nach außen wird eine Breite der durchsichtigen Fensterfläche von mindestens 55% der Raumbreite empfohlen. Da es sich um eine Richtlinie handelt, ist die Umsetzung in der Praxis nicht sichergestellt, zumal es kantonale Baugesetze gibt, die oftmals keine präzisen Angaben zur natürlichen Belichtung bieten.

³⁹ Vgl. <http://www.planning-applications.co.uk/righttolight.htm> - 4.03.2010

⁴⁰ Vgl. <http://www.thedaylightsite.com/filebank/Role%20of%20daylighting%20in%20the%20existent%20and%20future%20French%20building%20regulations.pdf> - 4.03.2010

⁴¹ SLG 101:1997 Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht - Richtlinie

4. Befragungsergebnisse zu Praktiken der thermischen Gebäudesanierung

Im Zuge einer vom Department für Bauen durchgeführten Umfrage wurden jene Maßnahmen der thermischen Wohnbausanierung erhoben, die häufig angewandt werden und von hoher praktischer Relevanz sind. Ziel war es festzustellen, inwieweit und bei welchen dieser Maßnahmen die Tageslichtversorgung Berücksichtigung findet. Die Umfrage wurde über das Online-Portal der Donau-Universität Krems durchgeführt. Zielgruppe waren ArchitektInnen und andere PlanerInnen, BaumeisterInnen, Wohnbaugesellschaften und Hausverwaltungen. Der Fragebogen wurde an etwa 600 Personen verschickt, 59 davon haben sich an der Umfrage beteiligt.

Die Umfrage beinhaltete Fragestellungen zu Anzahl und Art von Sanierungsmaßnahmen, Materialeinsatz sowie zu lichtplanerisch relevanten Vorgangsweisen.

Von besonderem Interesse war der aktuelle Kenntnisstand der UmfrageteilnehmerInnen bezogen auf den Bauteil Fenster und damit auf dessen Auswirkungen auf die Belichtung von Innenräumen. Informationen zu folgenden Themen wurden eingeholt:

- + Verwendete Dämmmaterialien
- + Verwendete Rahmenwerkstoffe für Fenster
- + Verwendete Verglasungsarten von Fenstern
- + Flächenanteilsverhältnisse von Rahmen- zu Glasfläche
- + Maßgebliche Sanierungsmethoden aus Sicht der PlanerInnen und Ausführenden

Bei einigen Fragen wurden stichwortartige Begründungen zur gegebenen Antwort erbeten, auch Mehrfachantworten waren möglich.

Die UmfrageteilnehmerInnen wurden auch darüber befragt, inwieweit sie mit der Planung von thermischen Sanierungen betraut sind. Die wesentlichen Erkenntnisse der Umfrage werden wie folgt zusammengefasst:

4.1 Sanierungsmaßnahmen

- + Die überwiegende Anzahl der Befragten (93%) ist mit thermischen Sanierungen im Wohnbausektor beschäftigt.

Die am häufigsten durchgeführten Maßnahmenpakete dabei sind:

- + Wärmedämmung der Gebäudehülle 8%
- + Wärmedämmung der Gebäudehülle und Fenstertausch 53%
- + Wärmedämmung der Gebäudehülle und oberster Geschoss- oder Kellerdecke 25%
- + energetischen Komplettsanierung 19%
- + Fenstertausch 7%

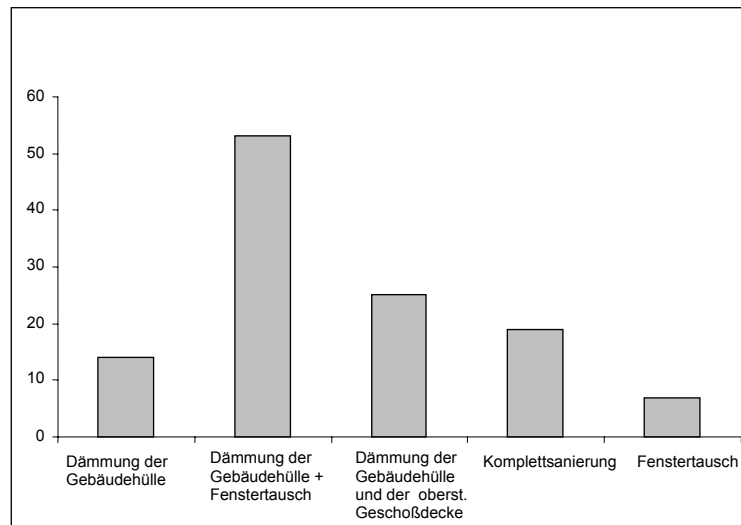


Tabelle 1: Anwendungen von unterschiedlichen Sanierungsmethoden

4.2 Dämmmaterialien

Folgendes Dämmmaterial wird vorwiegend eingesetzt:

- + Wärmedämmverbundsystem mit EPS Platten, 62%
- + anorganische Materialien wie Steinwolle, Kalziumsilikat etc., 36%
- + organische Materialien wie Kork, Zellulose, Flachs etc., 2%

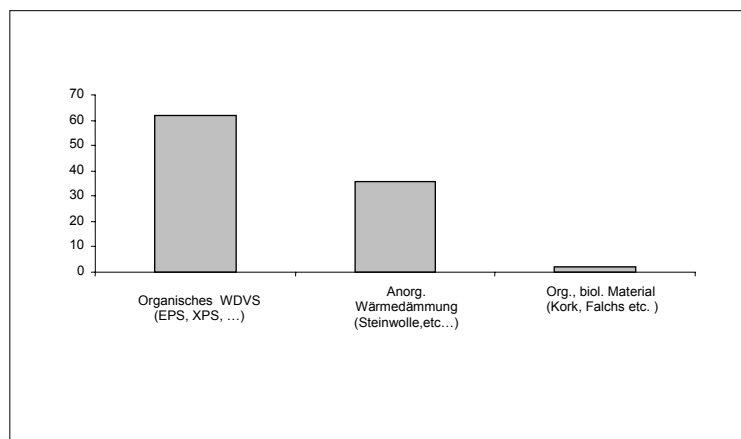


Tabelle 2: Verwendetes Dämmmaterial

4.3 Fenster

Folgendes Fenstermaterial wird vorwiegend verbaut:

- + Holz-Aluminium 51%
- + Kunststoff 34%
- + Holz 10%
- + Aluminium 18%

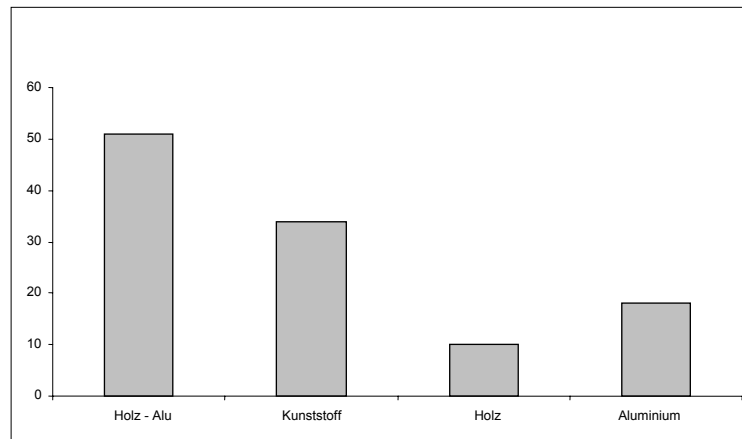


Tabelle 3: Fenstermaterialien

Hierzu wurde eine kurze Begründung für die Wahl des Rahmenwerkstoffes erbeten. Die genannten Gründe waren vordergründig der Kostenfaktor bei Verwendung von Kunststoffrahmen, sowie kein oder nur ein geringer Wartungsaufwand und Witterungsbeständigkeit bezogen auf Holz-Aluminium oder Aluminiumfenster Werkstoffe. An dritter Stelle der Vorteile rangiert die Lebensdauer, aber auch das optische Erscheinungsbild, Haptik und Wohnlichkeit (Holz) sowie Recyclierbarkeit sind für die Wahl des Rahmenmaterials von Bedeutung.

4.4 Verwendete Glasarten

Bei der Befensterung wird für Wärmeschutzverglasungen folgende Technologie verwendet:

- + 2 Scheiben Wärmeschutz - Verglasung (54%)
- + 3 Scheiben Wärmeschutz - Verglasung (46%)

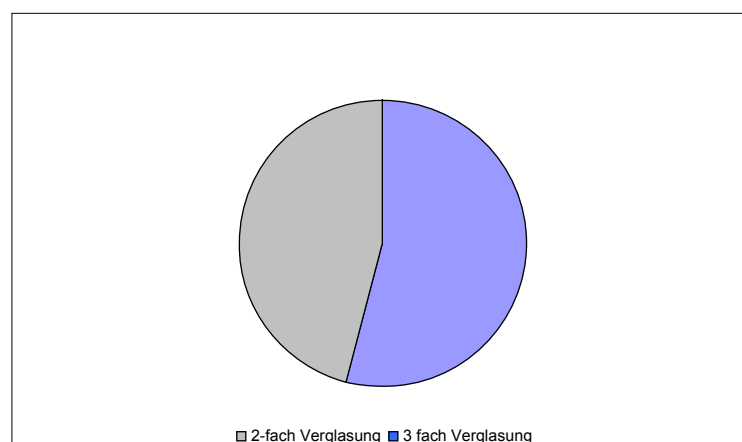


Tabelle 4: Verwendete Verglasungen

Zusätzlich kommen für Gebäude an verkehrsbelasteten Straßen/Orten Schallschutzgläser in Kombination mit dreifach - Wärmeschutzverglasung zum Einsatz.

Die Anwendung von Sonnenschutzverglasung wird mehrheitlich mit 55 % abgelehnt.

Die Gruppe jener, die beschichtetes Sonnenschutzglas verwenden, beträgt 35%,

Auf die Verwendung von eingefärbten Gläsern und Sonnenschutzfolie entfallen 10%.

Die Entscheidung für oder gegen den Einsatz von Sonnenschutzglas steht in Zusammenhang mit dessen spezifischen Eigenschaften, beispielsweise der Reduzierung von solaren Gewinne bzw. zu niedriger g-Wert, Kostenfaktoren, Licht- und Helligkeitsverlust sowie düsteres Raumgefühl. Der große Vorteil in der Verwendung beschichteter Sonnenschutzgläser wird in der Vermeidung oder Reduzierung sommerlicher Überhitzung bzw. geringeren Kühllasten gesehen. Weitere Gründe für die Ablehnung von Sonnenschutzgläsern waren u.a. ein abweisendes Erscheinungsbild, Beeinträchtigung des Tageslichteinfalls, kein optimaler Blendschutz. 8% der TeilnehmerInnen haben sich zu diesem Thema nicht geäußert.

4.5 Selektive Glasbeschichtungen

Die Begrifflichkeit und Funktion 'selektive Beschichtungen von Gläsern' ist knapp der Hälfte der Teilnehmer bekannt, der größere Prozentsatz (51%) antwortete mit 'eher nein/nein'.

4.6 Glas/Rahmen - Verhältnis

Die Frage ob das Flächenverhältnisses von Rahmen- zur Verglasungsfläche ein Entscheidungskriterium bei der Fensterwahl sei, wurde von 54% mit 'ja' und 46% mit 'eher nein/nein' beantwortet. Als Begründung, warum das Flächenverhältnis ein Entscheidungskriterium sei, wurden Energieeffizienz bzw. der g-Wert genannt, sowie die schlechteren U-Werte von Rahmenprofilen. Desgleichen waren Ästhetik und Optik bestimmend, weshalb das Rahmen-Glasverhältnis ein Entscheidungskriterium bei der Fensterwahl ist, gefolgt von Lichtverlusten oder Belichtungsbeschränkungen bei breiten Rahmen. Der Hauptgrund für die 'nein' Stimmung war in der Kostenfrage begründet, da größere Glasflächen als Sonderlösung Mehrkosten verursachen.

4.7 Veränderungen der Fensterposition

- + Versetzung des Fensters in die Dämmebene 49%
- + Verlegen das Fenster an die Mauerwerkskante 29%
- + Keine Veränderung der Fensterposition 22%

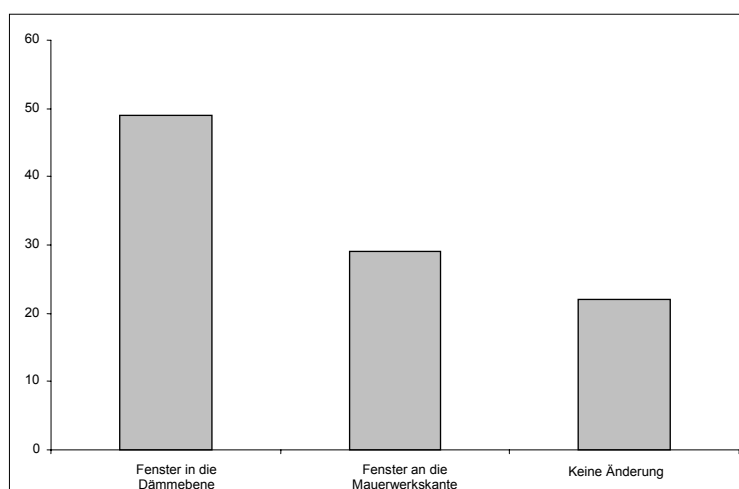


Tabelle 5: Veränderungen von Fensterpositionen

4.8 Veränderungen von Fenstergrößen

- + Veränderung von Fenstergröße- und Form 'eher selten' 63%
- + Veränderungen von Fenstergrößen 25%
- + Keine Veränderungen von Fenstergrößen 12%

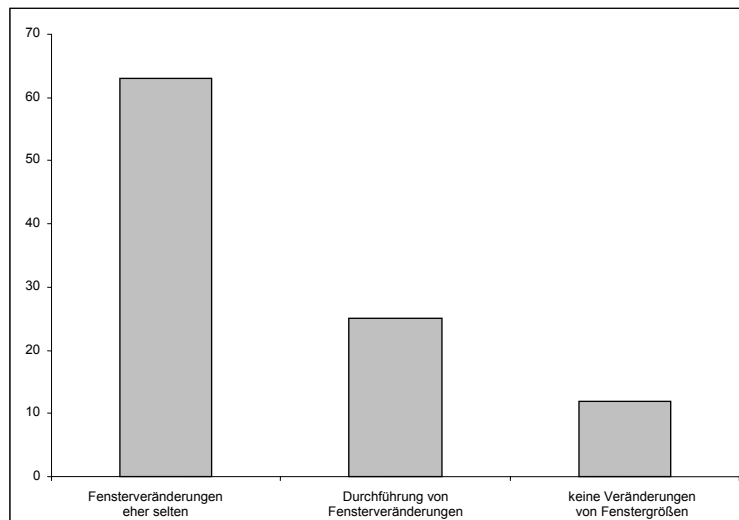


Tabelle 6: Veränderung von Fenstergrößen

4.9 Sonnenschutz in der Sanierung

- + Konstruktive Sicht- und Sonnenschutzmaßnahmen finden bei der thermischen Sanierung Berücksichtigung 75%
- + keinerlei Sonnenschutzmaßnahmen im Zuge von Sanierungen 25%



Tabelle 7: Berücksichtigung des Sonnenschutzes

Die Unterbringung von Sonnenschutzelementen erfolgt

- + an der Fassade 55%
- + an der äußeren Fensterleibung 35%
- + raumseitig 10%

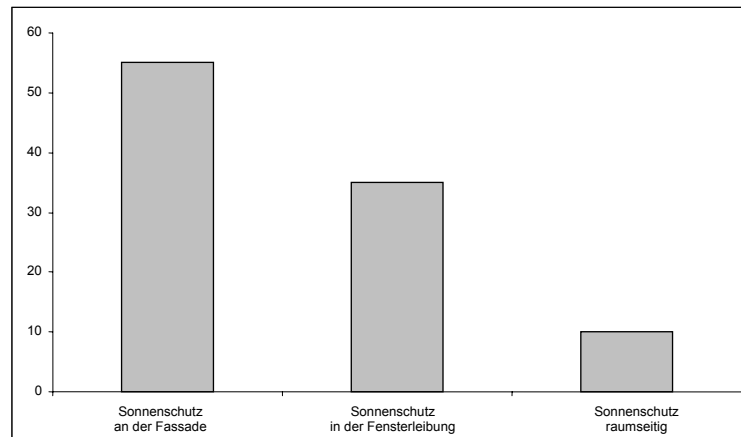


Tabelle 8: Positionen von Sonnenschutzelementen

4.10 Wesentliche Sanierungsmaßnahmen aus Sicht von PlanerInnen und Ausführenden

Abschließend wurde den Teilnehmern die Möglichkeit gegeben, im Rahmen einer schriftlichen Stellungnahme Maßnahmen zu nennen, die ihrer Meinung nach von besonderer Relevanz für die Planung von Sanierungen sind.

Vor dem Hintergrund der Aktualität von ökologischen, ökonomischen und energetischen Aspekten bei der Gebäudesanierung ist eine ganzheitliche Erneuerung von Bestandsbauten (inklusive der Haustechnik) auf einen energetisch zeitgemäßen Standard für viele TeilnehmerInnen von besonderer Bedeutung.

Ästhetische und gestalterische Kriterien und die Bewahrung des ursprünglichen Erscheinungsbildes von Gebäuden sind dabei von großer Relevanz. Mehr Licht in Dachgeschossen, Sonne in Wohnräumen sowie Verbesserung der Belichtung durch Lichtlenkung und tageslichtabhängiger Beleuchtungssteuerung zählen aus Sicht der Befragten zu wichtigen Maßnahmen der Sanierung.

5. Verzeichnisse

5.1 Literatur und Quellenverzeichnis

Baker Nick, Steemers Koen: *Daylight Design of Buildings*, James & James, London 2002, Seiten 43, 59

Bica Benedikt: *Tageslicht*, Skriptum Universitätslehrgang Tageslicht Architektur 2010/2012 Donau-Universität Krems, Department für Bauen und Umwelt

Brandi Ulrike, Augustesen Christina, Dietrich Udo, Friederici Annette, Geissmar-Brandi Christoph, Kristensen Peter, Madsen Merete, Storch Anja, Wand Burkhard: *Tageslicht Kunstlicht*, Edition Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München, 2005, Seiten 18, 19, 23, 25, 28,

British Standards Institution: *BS 8206-2:2008 Lighting for Buildings, Code of Practice for Daylighting*, September 2008, London, 2008

Corrodi Michelle, Spechtenhauser Klaus: *Lichteinfall*, Birkhäuser 2008, S.134, 143

DIN 5034-1 *Tageslicht in Innenräumen, allgemeine Anforderungen*, 1999

DIN 5034-2: *Tageslicht in Innenräumen – Teil 2: Grundlagen*, 1985

DIN 5034-3: *Tageslicht in Innenräumen – Teil 3: Berechnungen*, 2007

DIN 5034-4: *Tageslicht in Innenräumen – Teil 4: Vereinfachte Bestimmungen für Mindestfenstergrößen für Wohnräume*, 1994

DIN 5034-5: *Tageslicht in Innenräumen – Teil 5: Messung*, 1993

Haas-Arndt/Ranft, *Tageslichttechnik in Gebäuden*, C.F. Müller Verlag Heidelberg, 2007 S.44

Hammer Renate, Holzer Peter: *Licht, Grundgrößen zur technischen Berechnung; Skriptum Universitätslehrgang Tageslicht Architektur 2010/2012 Donau-Universität Krems, Department für Bauen und Umwelt.*

Hammer Renate: *Licht und Gesundheit, Vorlesung und Paper "Das Leben im Zeitraum Tag"* Roenneberg Till, Merrow Martha, Universitätslehrgang Master of Building Science 2007/2009, Donau-Universität Krems, Department für Bauen und Umwelt, Krems, 2008

Michael Hayner, Jo Ruoff, Dieter Thiel; *Faustformeln Gebäudetechnik*, Deutsche Verlags-Anstalt, 2010, S.118

Kromp-Kolb Helga: *Klimawandelszenarien für Österreich und potenzielle Auswirkungen des Klimawandels auf den Energieverbrauch von Gebäuden* In: *Magazin Perspektiven*, Heft 1_2/2009, Wien, 2009, Seiten 70 ff

Berthold Manfred: *Architektur braucht Raum*, Springer Verlag New York, 2009

Neufert Peter und Cornelius: *Bauentwurfslehre*, 37. Auflage, 2002, Vieweg & Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 2002, Seiten 167, 174

OIB Richtlinie 6: *Energieeinsparung und Wärmeschutz*, Österreichisches Institut für Bautechnik, Leitfaden 1999

Roberts Simon, Guariento Nicolo: Gebäudeintegrierte Photovoltaik; Birkhäuser, 2009, S.41

Schierz Christoph: Wie wird Leuchtdichte subjektiv als Helligkeit wahrgenommen?, Paper Lux Junior 2007, TU Ilmenau, FG Lichttechnik, Seite 4

Thiemann Nikolaus: Lichttechnische Grundlagen, Vorlesung und Mitschrift, Lichtseminar 2008/09, Donau-Universität Krems, Department für Bauen und Umwelt, 2008

Zeitler J.M., Dijk D.J., Kronauer R., Brown E., Czeisler C: Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression, Artikel in The Journal of Physiology, Vol 526, Seiten 695-702, Cambridge, England, 2000

5.2 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: BESONNUNG	9
ABBILDUNG 2: DURCHLICHTUNG.....	9
ABBILDUNG 3: TAGESLICHTAUTONOMIE	9
ABBILDUNG 4: TAGESLICHTQUOTIENT	10
ABBILDUNG 5: LICHTSTROM.....	10
ABBILDUNG 6: LICHTSTÄRKE	10
ABBILDUNG 7: BELEUCHTUNGSSTÄRKE	10
ABBILDUNG 8: LEUCHTDICHTE.....	11
ABBILDUNG 9: OBERFLÄCHENREFLEXION	11
ABBILDUNG 10: SONNENBAHNDIAGRAMM	12
ABBILDUNG 11: SONNENBAHNDIAGRAMM	12
ABBILDUNG 12: SONNENBAHNDIAGRAMM	12
ABBILDUNG 13 SONNENBAHNDIAGRAMM	13
ABBILDUNG 14 SONNENBAHNDIAGRAMM	13
ABBILDUNG 15: SONNENVERLAUF 3D DARSTELLUNG	13
ABBILDUNG 16: ORIENTIERUNGSDARSTELLUNGEN	13
ABBILDUNG 17: BEDECKTER HIMMEL	14
ABBILDUNG 18: HEITERER HIMMEL	14
ABBILDUNG 19: EINHEITLICH BEDECKTER HIMMEL	14
ABBILDUNG 20: HEIZWÄRMEBEDARF UND	15
ABBILDUNG 21: WECHSELWIRKUNG LICHT UND ATMOSPHERE	16
ABBILDUNG 22: SPEKTRALES STRAHLUNGSANGEBOT	16
ABBILDUNG 23: SONNENEINSTRALHUNG AUF EINE HORIZONTALE EBENE IM JAHRESDURCHSCHNITT, WELTWEIT	17
ABBILDUNG 24:TAGESLICHTQUOTIENTENVERLAUF BEI UNTERSCHIEDLICHEN RAUMGEOMETRIEN UND BEFENSTERUNGEN	18
ABBILDUNG 25: LICHTEINFALL - VERÄNDERUNGEN BEDINGT DURCH FENSTERPOSITION UND LEIBUNG.....	18
ABBILDUNG 26: HIMMELSLICHT- UND INNEN- UND AUßENREFLEXIONSANTEILE	19
ABBILDUNG 27: PFAD DER NICHT VISUELLEN REZEPTOREN, HELLIGKEITSEMPFINDLICHKEITSKURVE VA	20
ABBILDUNG 28: SPEKTRALER TRANSMISSIONSGRAD UNTERSCHIEDLICHER ALTERSGRUPPEN	22
ABBILDUNG 29: FREIER LICHTEINFALL IN GEBÄUDEN	23
ABBILDUNG 30: STADTBILD NEW YORK NACH DER WIENER BAUORDNUNG	24

5.3 Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: ANWENDUNGEN VON UNTERSCHIEDLICHEN SANIERUNGSMETHODEN	28
TABELLE 2: VERWENDETES DÄMMATERIAL	28
TABELLE 3: FENSTERMATERIALIEN	29
TABELLE 4: VERWENDETE VERGLASUNGEN.....	29
TABELLE 5: VERÄNDERUNGEN VON FENSTERPOSITIONEN	30
TABELLE 6: VERÄNDERUNG VON FENSTERGRÖßEN	31
TABELLE 7: BERÜCKSICHTIGUNG DES SONNENSCHUTZES	31
TABELLE 8: POSITIONEN VON SONNENSCHUTZELEMENTEN	32

Kapitel II

Umfrage - Qualitative Lichtwahrnehmung



Jan Vermeer, der Geograph (li.)
Nachbearbeitung, DBU (re.)

1. MOTIVATION.....	37
2. AUFGABENSTELLUNG.....	37
3. GRUNDLAGEN FÜR DIE UMFRAGE.....	37
4. METHODIK DER BEFRAGUNG	38
4.1 FRAGESTELLUNG	38
4.2 FESTLEGUNG DER BILDREIHENFOLGE.....	39
4.3 UMFRAGEDURCHFÜHRUNG	40
4.4 TEILNEHMERINNENPROFIL.....	40
5. ERGEBNISSE UND AUSWERTUNGEN	41
6. SCHLUSSFOLGERUNGEN	42
7. VERZEICHNISSE.....	44
7.1 LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS.....	44
7.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	44

1. Motivation

Etwa 80% der entscheidungs- und verhaltensrelevanten Informationen werden über das Auge aufgenommen. Licht unterstützt dabei die räumliche Orientierung, indem es Raumzonen kennzeichnet, architektonische Strukturen hervorhebt und sie in einen funktionellen Zusammenhang stellt.¹

Für den Verlauf des Lichts und die Art der Schattenbildung ist vor allem die im Raum dominierende Lichtrichtung entscheidend, weshalb die Unterschiede zwischen gerichtetem und diffusem Licht ein zentrales Kriterium qualitativer Zielsetzung darstellen.

Gerade in Wohnbereichen gibt es kein eigentliches Gut oder Schlecht – es herrscht Lichtfreiheit, die von den Bedürfnissen und Wohnwünschen der Bewohner diktiert wird.

Für Richard Neutra (österreichisch – amerikanischer Architekt, Vertreter der klassischen Moderne, 1892 – 1970) gilt die Tatsache, dass die Entwicklung von Wohnarchitektur zutiefst mit dem Erfühlbaren, dem Sinnlichen und Gedankenversponnenen und der Gesamtheit der seelischen Vorgänge höchst verantwortlich zu tun habe.

Für das Erleben von Raum spielt Licht eine bedeutende Rolle. Der deutsche Werkbund-Architekt Herrmann Muthesius betonte, dass ein behaglicher, wohnlicher, heimischer Eindruck eines Innenraumes ohne Aufwand von Kunstformen durch einfachste Mitteln erreicht werden könne. Wirkungsvolle Lichtführungen, einheitliche Formen, harmonische Farben seien Erfordernisse, die in allererster Linie erfüllt werden müssten. Räumliche Erlebnisse würden durch Hell – Dunkel Verteilungen im Gesichtsfeld bewirkt.²

Das Raumgefühl, das Sympathie und Antipathie bewirkt, wird als Anmutung eines Raumes bezeichnet. Sie ist ein integriertes Signal eines äußerst komplexen Sinnesapparates – also eine Verknüpfung aller Sinnesempfindungen - und beeinflusst Körperverfassung, Befinden und Verhalten. Die Anmutungsempfindung wird durch Raumqualitäten wie Enge, Weite, Orientierungsmöglichkeit, Erkennbarkeit etc. tangiert.³

2. Aufgabenstellung

Die unterschiedlichen räumlichen Anmutungen von Wohnbereichen, die durch divergierende Tageslichtsituationen entstehen können, werden im Rahmen einer Umfrage untersucht. Dabei ist es notwendig, die Meinungen von Menschen ohne explizit planerischen beruflichen Hintergrund einzuholen. Auf diese Weise soll festgestellt werden, welchen Stellwert Tageslicht in seinen unterschiedlichen Prägungen (vorwiegend diffus oder mit hohem Direktlichtanteil) in der allgemeinen qualitativen Beurteilung von Raumsituationen einnimmt.

3. Grundlagen für die Umfrage

Im Zeitraum von etwa 10 Monaten wurde eine Photoserie angefertigt, in der eine Vielzahl von Wohnräumen fotografisch abgebildet ist. Bei der Bilderstellung war es wichtig, die Räume paarweise in unterschiedlichen Lichtsituationen zu zeigen: Einerseits bei diffusem Licht, andererseits bei direkt einfallendem Sonnenlicht. Wesentlich war es, durchschnittliche Helligkeiten, Wetter- und jahreszeitliche Situationen abzubilden. Die fotografische Perspektive wurde so gewählt, dass die gezeigten Bildausschnitte zwar ähnlich jedoch nicht identisch waren. Die Wohnungsausstattungen sind sehr heterogen und weisen unterschiedliche gestalterische Qualitäten auf. 25 der so entstandenen Bilderpaare wurden zur Umfrageerstellung herangezogen.

¹ Vgl. Corrodi Spechtenhauser, 2008, S.158

² ebenda, S. 200

³ vgl. Prof. Volkher Schulz, Detmold Lichtplanung und Architektur, Teilbericht Licht und Architektur, S. 57

Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft die Charakteristik der Bilderpaare.



Abbildung 1: Beispiel Bildpaar

4. Methodik der Befragung

4.1 Fragestellung

Die Befragung wird so durchgeführt, dass jede der anhand der Bilder gezeigten Raumsituationen durch Beantwortung derselben Frage zu beurteilen ist. Die Fragestellung lautet dabei wie folgt:

Ich empfinde den dargestellten Raum als...

Die Beantwortung erfolgt durch Anklicken der folgenden vorgeschlagenen Antworten:

- + *sehr angenehm*
- + *eher angenehm*
- + *neutral*
- + *eher unangenehm*
- + *sehr unangenehm*

Nach erfolgter Markierung erscheint das nächste der insgesamt 50 Bilder.

Eine Möglichkeit, bereits gegebene Bewertungen zu korrigieren gibt es nicht.

Für eine aussagekräftige Auswertung der anonym durchgeführten Internetumfrage werden noch folgende freiwillige Angaben erbeten:

- Alter:
- + *bis 12 Jahr*
 - + *13 – 20 Jahre*
 - + *21 – 30 Jahre*
 - + *31 – 40 Jahre*
 - + *41 – 50 Jahre*
 - + *51 – 50 Jahre*
 - + *über 60 Jahre*

- Geschlecht:
- + *männlich, weiblich*



Abbildung 2: Darstellung von Eingabefeldern der Onlineumfrage

4.2 Festlegung der Bildreihenfolge

Die Festlegung der Bildreihenfolge hat dem Zufallsprinzip zu unterliegen. Der dabei angewandte Vorgang wurde protokolllarisch festgehalten.

1. Die 25 Bildpaare werden in 2er Reihen aufgelegt
Auf der linken Seite liegen jene Bilder, die Raumsituationen mit direktem Licht zeigen
Auf der rechten Seite liegen alle Bilder, die dieselben Räume mit diffusem Licht zeigen
2. Die Bilderpaare werden umgedreht
3. Die Bilder werden auf der Rückseite mit einer fortlaufenden Nummer und einem Index **D** für *Direktlicht* und **I** für *indirektes Licht* versehen
Für diese Kennzeichnung wird ein grüner Farbstift verwendet.
4. Die Bildpaare werden nach dem Zufallsprinzip (Würfel) in 2 Gruppen aufgeteilt.
Die Bilder mit dem Index D werden durch Würfeln einer ungeraden Augzahl einer Gruppe 1, bei gerader Augenzahl der Gruppe 2 zugeordnet. Die zugehörige Paarhälfte mit dem Index I kommt in die jeweils andere Gruppe.
(Beispiel: Bildpaar 1, 1D wird ausgewürfelt: Würfel weist eine ungerade Augzahl (5) auf, Bild wird Gruppe1 zugeordnet, 1I kommt in Gruppe 2.
5. Die so ermittelten Gruppen werden von Hand gemischt
6. Durch Ziehen der Bilder einer Gruppe wird eine neue Reihenfolge bestimmt.
Beginnend mit Gruppe 1 werden die Bilder in einer Reihe aufgelegt.
7. Das Letzte Bild der der ersten Gruppe weist die Nummer19 und den Index I auf. Danach werden die Bilder der zweiten Gruppe angereiht.
8. An der Grenze zwischen Gruppe1 ungerade und Gruppe 2 gerade werden jeweils 5 Bilder aufgedeckt und auf zufällige Übereinstimmung überprüft.
9. In einer zweiten Farbe werden die Bilder mit einer fortlaufenden Nummer versehen. Für diese Kennzeichnung wird ein roter Farbstift verwendet.
10. Die Bilder werden wieder aufgeschlagen und auf Auffälligkeiten durch Augenschein von 3 Personen wahrgenommen. Etwaige auftretende nebeneinander liegende Paare werden so getrennt. Der Augenschein legt einen Austausch nahe. Die fortlaufende Nummer 27 (Kennzeichnung 17I) wird gegen die fortlaufende Nummer 45 (23I) getauscht. Dieser Tausch wird mit schwarzer Farbe vermerkt.
11. Die so entstandenen Bildabfolge wird für die Umfrage herangezogen.

4.3 Umfragedurchführung

Um eine möglichst große Anzahl an TeilnehmerInnen zu erreichen, wird die Umfrage auf der Onlinesite der Niederösterreichischen Nachrichten (NÖN) sowie auf der Homepage der Donau-Universität angekündigt. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass sich das Teilnehmerpublikum aus den unterschiedlichsten Berufsgruppen- und -Schichten rekrutierte. Durchführung und Auswertung der Umfrage erfolgt durch eine Verlinkung der NÖN Seite mit dem Onlineportal der Donau-Universität Krems.

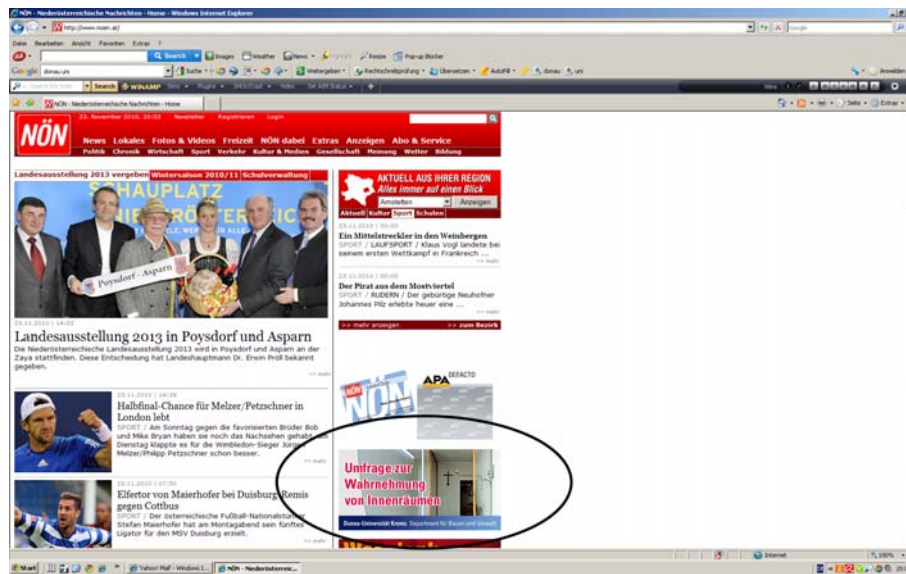


Abbildung 3: Homepage Niederösterreichische Nachrichten, Umfragelink (screenshot 23.11.2010)

4.4 TeilnehmerInnenprofil

+ TeilnehmerInnenanzahl:	119 Personen
+ Vollständig ausgeführte Umfrage:	100 Personen
+ weibliche Teilnehmer:	45,45 %
+ männliche Teilnehmer:	32,23 %
+ keine Angabe:	22,32 %
+ Alter:	
-12 Jahre	0,83 %
13-20 Jahre	0,83 %
21-30 Jahre	23,97 %
31-40 Jahre	32,23 %
41-50 Jahre	16,53 %
51-60 Jahre	3,31 %
> 60 Jahre	1,65 %
keine Antwort	4,96 %
nicht beendet	15,7 %

5. Ergebnisse und Auswertungen

Für die Umfrageauswertung werden für alle 50 abgebildeten Wohnungssituationen Akzeptanzpunkte ermittelt, die von den befragten Personen durch Anklicken der Bewertungsschaltflächen vergeben werden den.

- + Anklicken der Schaltfläche „sehr angenehm“ -> 2 Punkte
- + Anklicken der Schaltfläche „angenehm“ -> 1 Punkt
- + Anklicken der Schaltfläche „neutral“ -> 0 Punkte
- + Anklicken der Schaltfläche „eher unangenehm“ -> -1 Punkt
- + Anklicken der Schaltfläche „sehr unangenehm“ -> -2 Punkte

Die so für jedes Bild vergebenen Punkte werden addiert. Die entstandene Summe ergibt das Maß der Akzeptanz für die dargestellte Wohnsituation.

Beispiel:

Bild1:	+ Schaltfläche „sehr angenehm“, 17mal aktiviert	->	34 Punkte
	+ Schaltfläche „eher angenehm“, 49mal aktiviert	->	49 Punkte
	+ Schaltfläche „neutral“, 22mal aktiviert	->	0 Punkte
	+ Schaltfläche „eher unangenehm“, 11mal aktiviert	->	-11 Punkte
	+ Schaltfläche „sehr unangenehm“, 2mal aktiviert	->	-4 Punkte
			Σ 68 Punkte

Die Akzeptanzpunkte für Wohnungssituationen bei Direktlicht werden jenen bei Diffuslicht in Form von Markierungen gegenübergestellt. (Grüne Markierungen – Akzeptanzpunkte für Direktlicht, rote Markierung – Akzeptanzpunkte für Diffuslicht).

Die höchste Akzeptanz liegt bei 118 Punkten (Bild 50, bei Direktlicht), die geringste bei -124 (Bild 8, bei Direktlicht).

Die Darstellungen verdeutlichen, dass in 21 von 25 Fällen die Direktlichtsituationen auf mehr Akzeptanz stoßen als die Diffuslichtdarstellungen.

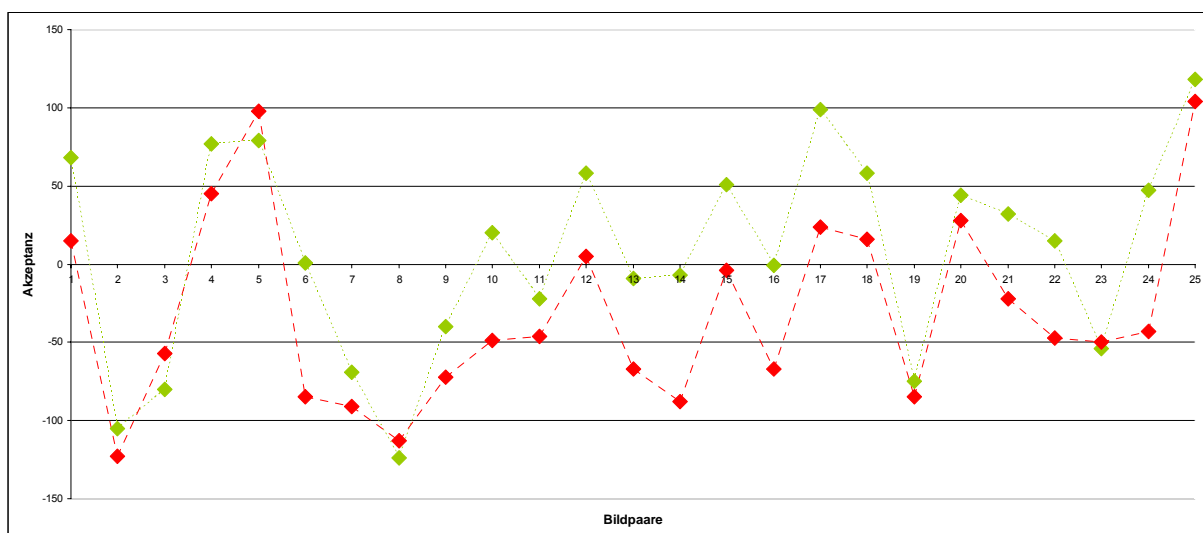


Abbildung 4: Gegenüberstellung der Akzeptanzwerte für Direktlicht- (GRÜN) und Diffuslichtsituationen (ROT)

In den meisten Fällen divergieren die Akzeptanzen trotz ähnlicher räumlicher Konfiguration sehr deutlich (um bis zu 90 Punkte).



Abbildung 5: Bildpaar mit hoher Divergenz der vergebenen Akzeptanzpunkte für die unterschiedlichen Lichtsituationen

Lediglich im Fall der Bilderpaare 3,5,8 und 23 übersteigt die Akzeptanz für die Diffuslichtdarstellung jene für die Direktlichtsituation, allerdings liegen die Punkteanzahlen in diesen Fällen sehr knapp beisammen.



Abbildung 6: Bilderpaar mit besserer Bewertung der Diffuslichtsituation und geringer Divergenz der Akzeptanzpunktzahl

6. Schlussfolgerungen

Die Umfrage verdeutlicht, dass mehr als 80% der gezeigten Wohnräume bei direktem Licht höherer Akzeptanz finden als bei Diffuslicht. Standort- und orientierungsabhängige Direktlichteinträge spielen also bei den allgemeinen qualitativen Beurteilungen von Räumen eine wichtige Rolle und sollten im Zuge der Gebäudeplanung unbedingt untersucht und berücksichtigt werden. Auch im Sanierungsfall ist darauf zu achten, den Direktlichteintrag durch die Wahl der Sanierungsart nicht zu verringern.

Abschließend wurden die Beurteilungen mit „sehr angenehm“ bzw. „sehr unangenehm“ für alle 50 Bilder ausgewertet und in einer Grafik gegenübergestellt.

Die Werte ergeben sich daraus, wie viel Prozent der Befragten die dargestellte Raumsituation mit „sehr angenehm“ bzw. „sehr unangenehm“ bewertet haben.

Dabei zeigt sich, dass die abgebildeten Wohnungen trotz unterschiedlicher Gestaltungsmerkmale tendenziell schlecht beurteilt wurden.

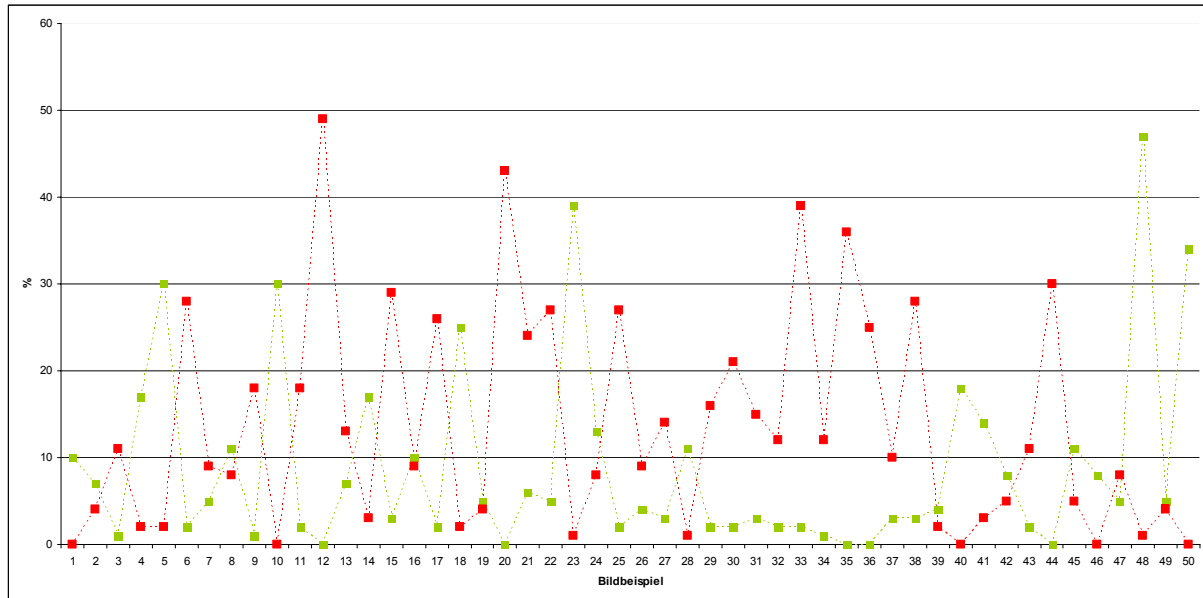


Abbildung 7: Gegenüberstellung der Bewertungen „sehr angenehm“ GRÜN [%] und „sehr unangenehm“ ROT [%]

Dies unterstreicht, dass die Zufriedenstellung von Wohnbedürfnissen eine komplexe planerische Herausforderung darstellt. Der gekonnte Umgang mit diffuser und direkter Lichtführung ist dabei ein wichtiges und zielführendes Entwurfswerkzeug.

7. Verzeichnisse

7.1 Literatur- und Quellenverzeichnis

Corrodi Michelle, Spechtenhauser Klaus: Lichteinfall, Birkhäuser 2008, S.134, 143

Schulz Volkher, Prof., Detmold *Lichtplanung und Architektur*, Teilbericht Licht und Architektur, S.57

7.2 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: BEISPIEL BILDPAAR	38
ABBILDUNG 2: DARSTELLUNG VON EINGABEFELDERN DER ONLINEUMFRAGE.....	39
ABBILDUNG 3: HOMEPAGE NIEDERÖSTERREICHISCHE NACHRICHTEN, UMFRAGELINK (SCREENSHOT 23.11.2010).....	40
ABBILDUNG 4: GEGENÜBERSTELLUNG DER AKZEPTANZWERTE FÜR DIREKTLICHT- (GRÜN) UND DIFFUSLICHTSITUATIONEN (ROT)	41
ABBILDUNG 5: BILDPAAR MIT HOHER DIVERGENZ DER VERGEBENEN AKZEPTANZPUNKTE.....	42
ABBILDUNG 6: BILDERPAAR MIT BESSERER BEWERTUNG DER DIFFUSLICHTSITUATION UND GERINGER DIVERGENZ DER AKZEPTANZPUNKTANZAHL	42
ABBILDUNG 7: GEGENÜBERSTELLUNG DER BEWERTUNGEN „SEHR ANGENEHM“ GRÜN [%] UND „SEHR UNANGENEHM“ ROT [%]	43

Kapitel III
Diffuslichtanalyse



INHALT

1. AUFGABENSTELLUNG.....	47
2. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN	47
2.1 WAHL DER WOHNOBJEKTE FÜR DIE TAGESLICHTANALYSE	47
2.2 AUSWAHL DER UNTERSUCHTEN WOHNUNGEN	47
2.3 ERHEBUNG GEOMETRISCHER WOHNUNGSDATEN UND OPTISCHER OBERFLÄCHENEIGENSCHAFTEN.....	47
2.4 MESS- UND BERECHNUNGSVERFAHREN.....	47
2.5 VERWENDETE MESSGERÄTE UND BERECHNUNGSSOFTWARE	48
2.6 KURZBESCHREIBUNG UND CODIERUNG DER UNTERSUCHTEN WOHNOBJEKTE	48
2.6.1 <i>Wohnung_1</i>	48
2.6.2 <i>Wohnung_2</i>	49
2.6.3 <i>Wohnung_3</i>	49
2.6.4 <i>Wohnung_4</i>	50
3. BERECHNUNGSDOKUMENTATION – DATENERHEBUNG UND LICHTANALYSE	51
3.1 BAUAUFNAHMEN	51
3.2 TAGESLICHTRELEVANTE PLANUNGSPARAMETER	51
3.2.1 <i>Fensterrahmen und Verglasung</i>	51
3.2.2 <i>Bauphysikalische Kennwerte</i>	52
3.2.3 <i>Dämmstärken und Fensterleibungen</i>	53
3.2.4 <i>Reflexionsgrade von Bauteiloberflächen</i>	53
3.2.5 <i>Verschattungsfaktoren im Außenraum</i>	54
4. METHODIK ZUR ERMITTLUNG DES QUANTITATIVES TAGESLICHTANGEBOTES IN WOHNUNGEN.....	56
4.1 TAGESLICHTMESSUNG	56
4.2 ERMITTLUNG VON TAGESLICHTQUOTIENTEN ANHAND VON MESSUNGEN	56
4.3 COMPUTERUNTERSTÜTZTE TAGESLICHTQUOTIENTERMITTLUNG.....	57
5. GEGENÜBERSTELLUNG DER LICHTETRÄGE IN INNENRÄUME VOR UND NACH SANIERUNG.....	59
5.1 TAGESLICHTANGEBOT VOR UND NACH DER THERMISCHEN SANIERUNG	59
5.2 EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE VERÄNDERUNG DES TAGESLICHTANGEBOTES NACH SANIERUNG.....	62
5.2.1 <i>Einflussfaktor Rahmen- und Verglasungsanteile</i>	62
5.2.2 <i>Einflussfaktor Glasqualität</i>	63
5.2.3 <i>Einflussfaktor Fensterleibung</i>	63
6. VERGLEICH MIT NORMATIVEN ANFORDERUNGEN AN TAGESLICHTANGEBOT.....	64
6.1 STELLUNGNAHME ZU NORMATIVEN ANFORDERUNGEN AN TAGESLICHTANGEBOT	65
7. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE.....	66
8. VERZEICHNISSE.....	67
8.1 LITERATURVERZEICHNIS.....	67
8.2 ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	67
8.3 TABELLENVERZEICHNIS.....	67

1. Aufgabenstellung

Der Einfluss von thermischen Sanierungsmaßnahmen auf den quantitativen Eintrag von diffusem Licht in Wohnungen wird anhand von konkreten Wohnungsbeispielen berechnet und analysiert. Dabei werden die Tageslichtquotientwerte vor und nach thermischen Sanierungen gemessen bzw. computerunterstützt berechnet.

Anschließend werden die wesentlichsten Einflussfaktoren auf Veränderungen von Lichtsituationen definiert. Auf Basis dieser Erkenntnisse können zukünftige Planungsstrategie für Sanierungen entwickelt werden.

2. Berechnungsgrundlagen

2.1 Wahl der Wohnobjekte für die Tageslichtanalyse

Für die Beurteilung der quantitativen Tageslichtversorgung im Innenraum wurden vier Wohnungen an unterschiedlichen Standorten ausgewählt. Zwei davon stehen im Besitz der Baugesellschaft Wien Süd und befinden sich in Wien Liesing. Die Objekte wurden vor Ort in Augenschein genommen und geometrisch und lichtplanerisch vermessen, entsprechende Kontakte zu den MieterInnen konnten durch die Mithilfe von DI Gerald Batelka hergestellt werden. Zwei weitere Objekte stehen in Niederösterreich und wurden ebenfalls vor Ort untersucht.

2.2 Auswahl der untersuchten Wohnungen

Die Wohneinheiten und die zu analysierenden Räume wurden nach ihrer Gleichwertigkeit in jenen Faktoren ausgewählt, die maßgeblich für die Tageslichtquantität im Innenraum sind und die Basis für einen objektiven Vergleich bilden:

- + Raumgeometrien
- + Fenster und Fenstertüren in Anzahl und Dimension
- + Reflexionsgrade der Innenraumbooberflächen und des Mobiliars

2.3 Erhebung geometrischer Wohnungsdaten und optischer Oberflächeneigenschaften

Sämtliche erforderliche Daten wurden vor Ort im Rahmen einer detaillierten Bauaufnahme erfasst. Die Raumgeometrien wurden auf Basis der von den Eigentümern zur Verfügung gestellten Grundrissplänen überprüft. Fenster-, Fenstertürdimensionen, Leibungen und Balkone wurden detailliert vermessen. Verschattende Objekte wie Blenden oder Sonnenschutzelemente wurden vor Ort aufgenommen. Informationen zur Gebäudeentstehung, Bauweise und getätigte Sanierungsmaßnahmen stammen von den Eigentümern oder wurden am Standort eruiert.

2.4 Mess- und Berechnungsverfahren

Die Lichtversorgung im Innenraum wurde gemäß DIN 5034 - Tageslicht in Innenräumen, an zwei Messpunkten in halber Raumtiefe und in je 1m Entfernung von den Seitenwänden auf einer Nutzenebene von 0,85 m über dem Fußboden festgestellt. Die Außenbeleuchtungsstärke wurde bei gleichmäßig bedecktem Himmel, Standardhimmel nach CIE, auf horizontaler Ebene im unverschatteten Außenraum und im dicht besiedelten Stadtgebiet auf dem Gebäudedach gemessen. Zur Bestimmung der Reflexionsgrade im Außenraum (Fassade, Laibungen) sowie der Raumumschließungsflächen wurden Leuchtdichtemessungen an Böden, Wänden und Decken durchgeführt.

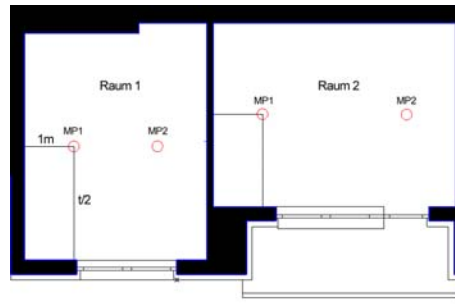


Abbildung 1: Einmessung von Messpunkten

2.5 Verwendete Messgeräte und Berechnungssoftware

Für die lichtplanerischen Vermessungsarbeiten kamen folgende Geräte zum Einsatz:

- + Beleuchtungsstärkemessgeräte: Konica Minolta, Typ T-10M und Mavolux 5032C der Firma Gossen
- + Leuchtdichtemessgerät: Konica Minolta, Typ LS 100 (B)

Eine Abgleichung der beiden Geräte für die Messung der Beleuchtungsstärke wurde vorgenommen

Basis für computerunterstützte Berechnungen bildeten die erfassten Daten der Bauaufnahme, Messwerte und optische Materialeigenschaften unter Verwendung der Softwareprogramme Microsoft Excel und Relux Professional 2007-7.1.

2.6 Kurzbeschreibung und Codierung der untersuchten Wohnobjekte

Die Wohnobjekte werden in Form von Kurzbeschreibungen vorgestellt. Dabei werden die untersuchten Räume in den jeweiligen Grundrissplänen gekennzeichnet und geben zusammen mit den Gebäudedarstellungen Aufschluss über deren Orientierung. Die Lage der Wohngebäude wurde in den eingeholten digitalen Katastralmappen und Lageplänen markiert.

Die analysierten Wohnobjekte (WO) werden numerisch (1,2,3,4) erfasst. In den dargestellten Vergleichen werden die sanierten Wohneinheiten mit "san" für saniert und "nsan" für nicht saniert gekennzeichnet. Für die Datenauswertung und Gegenüberstellung werden Wohnungen und Räume numerisch geordnet und entsprechend ihrer Vergleichbarkeit mit Ziffern versehen.

Beispiel: WO_1_san, Raum 1 san Wohnobjekt 1 saniert, Raum 1 saniert
 WO_1_nsan, Raum 1 nsan Wohnobjekt 1 nicht saniert, Raum 1 nicht saniert

2.6.1 Wohnung_1

Das erste Untersuchungsobjekt ist in einem in den Jahren 1974/1975 errichteten Wohnbau mit großzügigen Grünzonen im dicht besiedelten Stadtgebiet untergebracht. Sämtliche Wohnungen in der Anlage weisen Nutzflächen zwischen 53 m² und 78 m² auf.

Die untersuchte Wohnung liegt im Hochparterre und ist nach Osten orientiert.

Das Gebäude wurde 2003 einer thermischen Sanierung unterzogen. Dabei wurden sämtliche Fassaden mit einem 10cm Wärmedämmverbundsystem (EPS) versehen sowie Dach- und Kellerdeckenisolierungen vorgenommen. Die ursprünglichen Metallfenster wurden bereits Mitte der 90er Jahre durch PVC Fenster mit zweifacher Wärmeschutz-Isolierverglasung ersetzt.

Es werden 2 Wohnräume untersucht, wobei einem davon (Raum 1) eine unverglaste Loggia vorgelagert ist.



Abbildung 2: Wohnung 1, Ansicht, Grundriss

2.6.2 Wohnung_2

Die zweite der untersuchten Wohnungen befindet sich im ersten Obergeschoß derselben Anlage, und ist nach Süden ausgerichtet. Auch diese Wohnung wurde 2003 einer thermischen Sanierung unterzogen. Die Raumkonfiguration ist jener der ersten Wohnung sehr ähnlich. Zwei Räume werden untersucht, einem davon (Raum 1) ist eine unverglaste Loggia vorgelagert.



Abbildung 3: Wohnung 2, Ansicht, Grundriss

2.6.3 Wohnung_3

Diese Wohnung ist Teil einer Gebäudeanlage aus dem Jahre 1948, die sich aus zwei gegenüberliegenden dreigeschossigen Häuserzeilen mit insgesamt 48 Wohnungen zu je 62 m² Nutzfläche zusammensetzt. Die drei untersuchten Wohnräume sind nach Ost und West orientiert und liegen im Erdgeschoss.

Eine thermische Vollsanierung des Gebäudes fand 2009 statt, die Fertigstellung des Sockelbereiches ist für 2010 geplant. Die ausgeführten Maßnahmen beinhalten die Isolierung der Kellerdecke und des Daches, Erneuerung sämtlicher Fenster und Türen, sowie Dämmung der Gebäudehülle mittels Wärmedämmverbundsystem (16 cm EPS).



Abbildung 4: Wohnung 3, Ansichten, Grundriss

2.6.4 Wohnung_4

Ein vierter Wohnungstyp befindet sich in einer großen Wohnhausanlage bestehend aus 2 Gebäudeblöcken mit vier bzw. sechs Geschossen, die am Rande einer Grünzone gelegen ist. Die Gebäudekubatur ist durch zahlreiche Vor- und Rücksprünge charakterisiert.

Die Nutzflächen der Wohnungen betragen zwischen 63m² und 73m².

Das Wohngebäude wurde 1984 errichtet und bereits bei der Entstehung mit einem WDVS aus 5 cm EPS versehen. Durch die thermische Fassadensanierung des vorderen Gebäudeteiles im Jahr 2009 kamen weitere 5cm Wärmedämmung hinzu, ferner wurden Fenster und Fenstertüren durch eine Wärmeschutzverglasung ersetzt.

Eine bereits sanierte Wohneinheit 4 befindet sich im Erdgeschoss, eine noch unsanierte und strukturell gleiche Wohnung ist im Hochparterre gelegen.



Abbildung 5: Wohnung 4, Ansicht und Grundrisse

3. Berechnungsdokumentation – Datenerhebung und Lichtanalyse

3.1 Bauaufnahmen

Die Tageslichtverhältnisse eines Raumes, insbesondere die Lichtmenge, sind von diversen Raum- und Umgebungsfaktoren des Gebäudestandortes abhängig. Zur Erfassung der jeweiligen Ausgangssituation wurden von jedem Wohnobjekt Daten der auf die Lichtsituation in den Innenräumen Einfluss nehmenden Parameter erhoben und in Form von Bauaufnahmen dokumentiert. Hierfür wurden die Innenräume hinsichtlich ihrer Tageslichtsignatur analysiert, entsprechenden Daten wurden messtechnisch ermittelt. Die Datenerhebung erfolgte jeweils für jene Räume, die aufgrund der spezifischen Auswahlkriterien einen sachlichen Vergleich ermöglichen. Die Erkenntnisse der ausgewerteten Daten werden in den folgenden Kapiteln aufgezeigt.

3.2 Tageslichtrelevante Planungsparameter

3.2.1 Fensterrahmen und Verglasung

In allen untersuchten Objekten kamen ein- oder zweiflügelige Dreh-Kippfenster und Dreh-Türen, ohne Versprossung zum Einsatz. Die Fensterkonstruktionen setzen sich ausnahmslos aus Kunststoffrahmen und zweifacher Wärmeschutzverglasung in den sanierten, sowie Standardisolierverglasung in den nicht sanierten Wohngebäuden zusammen. Die Gesamtansichtsbreiten der Rahmen und Flügelprofile liegen zwischen 11 cm und 15,5 cm mit Profilbreiten von 8 cm bzw. 7 cm im unsanierten Wohnobjekt 3B. Die Einbautiefen variieren von 6,5 cm bei der Standardisolierverglasung bis ca. 8 cm für zweifach Wärmeschutzverglasungen.

Den Berechnungen der Rahmen- und Verglasungsanteile wurden die erhobenen Naturmaße zugrunde gelegt. Bis auf die Räume des unsanierten Wohnobjektes 3 sind sämtliche Fenster und Fenstertüren mit Sonnen- und Blendschutz ausgestattet. Diese sind, mit einer Ausnahme, raumseitig an den Flügelprofilen montiert. In der sanierten Wohneinheit 3 ist der Sonnen- und Blendschutz in die Fensterkonstruktion, zwischen Wärmeschutzverglasung und einer außenseitigen Einfachverglasung, integriert. Die Verminderung der transparenten Glasfläche durch den Sonnenschutz von 6,5 cm wurde bei den Rahmenanteilen entsprechend berücksichtigt.

Bezogen auf die gesamte Fensterfläche variieren die prozentuell errechneten Rahmenanteile zwischen 33% und 48%, die Nettoglasflächen liegen entsprechend bei 52% im Minimum und 67% im Maximum.

Gesamtfensterflächen sowie Rahmen und Glasanteile aller Fenster in den untersuchten Wohnungen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

Wohnung	Raum		Anzahl Fenster Türen	Fensterfläche [m ²]	Rahmenanteil [%]	Glasanteil [%]
Wohnung 1	Raum 1	san	111	5,29	45	55
	Raum 1	nsan	111	5,29	45	55
	Raum 2	san	1	2,94	38	62
	Raum 2	nsan	1	2,94	38	62
Wohnung 2	Raum 1	san	111	5,29	39	61
	Raum 1	nsan	111	5,29	39	61
	Raum 2	san	1	2,94	38	62
	Raum 2	nsan	1	2,94	38	62
Wohnung 3	Raum 1	san	1	3,16	37	63
	Raum 1	nsan	2	3	33	67
	Raum 2	san	1	1,47	39	61
	Raum 2	nsan	1	1,47	33	67
	Raum 3	san	1	1,47	39	61
	Raum 3	nsan	1	1,47	33	67
Wohnung 4	Raum 1	san	111	4,58	44	56
	Raum 1	nsan	111	4,58	41	59
	Raum 2	san	2	2,8	48	52
	Raum 2	nsan	2	3,15	41	59

Tabelle 1: Fensterbeschreibung, Rahmen- und Glasanteile

3.2.2 Bauphysikalische Kennwerte

Aufgrund der mehrheitlichen Verwendung von zweifach- Wärmeschutzverglasung weisen die physikalischen Kennwerte, abgesehen von den Standardisolierverglasungen mit Luftfüllung in den unsanierten Wohnobjekten, keine wesentlichen Differenzen hinsichtlich ihrer bauphysikalischen Qualität auf. Der Unterschied der Lichttransmission in Wohnung 3san ist auf das zusätzliche Einfachglas durch den integrierten Sonnenschutz zurückzuführen. Alle Fenster sind mit einem Aluminiumabstandhalter am Glasrandverbund ausgestattet, die zweifache Wärmeschutzverglasung ist mit Argon, Füllmenge durchschnittlich 90%, gefüllt.¹

Wohnung	Material	Zustand	Verglasung	U Wert [W/m ² K]	g-Wert [%]	Lichttransmission τ [%]
Wohnung 1	Kunststoff	san	2fach WSW, Argon	1,3	63	80
	Kunststoff	nsan	2fach WSW, Argon	1,3	63	80
Wohnung 2	Kunststoff	san	2fach WSW, Argon	1,3	63	80
	Kunststoff	nsan	2fach WSW, Argon	1,3	63	80
Wohnung 3	Kunststoff	san	2fach WSW, Argon	1,1	61	78
	Kunststoff	nsan	2fach Isolier., Luft	3	76	80
Wohnung 4	Kunststoff	san	2fach WSW, Argon	1,1	64	80
	Kunststoff	nsan	2fach Isolier., Luft	3	76	80

Tabelle 2: Bauphysikalische Fensterkennwerte

¹ Die physikalischen Kennwerte wurden bei den Herstellern erhoben; für die Standardisolierverglasung wurden übliche

Kenndaten der Literatur entnommen: Vgl. Giebeler et.al, Atlas Sanierung, 2008, S. 34

3.2.3 Dämmstärken und Fensterleibungen

Fensterleibungen beeinflussen das Potenzial der natürlichen Belichtung in Innenräumen. Durch die Wärmedämmung der Gebäudehülle erhöht sich die Außenwandstärke und damit die Geometrie der Leibungstiefe, wenn die ursprünglichen Positionen der Fenster in den Fassadenöffnungen beibehalten werden. Eine größere Leibungsbildung im Bereich des Fenstersturzes reduziert den Ausblick auf den freien Himmel und verändert den Lichteinfallswinkel der unmittelbar mit der erzielbaren Beleuchtungsstärke verbunden ist. Seitliche Leibungsvertiefungen führen, je nach Dämmstärke, zu einer schachtartigen Fensterbegrenzung, die den Blickwinkel und den Sichtbezug nach außen einschränken. Jede Veränderung der Fensterleibung ist deshalb ein maßgeblicher Parameter in der Tageslichtversorgung.

Die sanierungsbedingten Veränderungen des Außenwandaufbaus der Wohnobjekte sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst.

Wohnung	Zustand	Leibungstiefe [cm]	Dämmungsaufbau [cm]
Wohnung 1	san	21	11
	nsan	10	
Wohnung 2	san	21	11
	nsan	10	
Wohnung 3	san	28*	18
	nsan	10	
Wohnung 4	san	16	6
	nsan	10	

* Fensterversetzung an die Mauerwerkskante

Tabelle 3: Aufbau der Wärmedämmungen

In den Wohnungen 1san und 2san erhöhte sich die Leibungstiefe unter Verwendung von 10cm starken EPS Platten plus Außenputz auf 11cm. In Wohnung 3san wurden die Fenster im Zuge des Austausches an die Mauerwerkskante der Fassadenöffnung versetzt, dadurch entstand unter dem Einsatz von 16cm Dämmplatten (EPS und 2cm Aufbereitung) eine Leibung von insgesamt 18cm. Die in Wohnung 4san bereits seit Entstehung vorhandene Wärmedämmschicht wurde im Zuge der Sanierung in 2009 mittels Wärmedämmverbundsystem um weitere 5cm erhöht, dadurch ergibt sich eine Leibungstiefe von 16cm.

3.2.4 Reflexionsgrade von Bauteiloberflächen

Die Reflexionseigenschaften opaker Bauteile tragen wesentlich zur Höhe der messbaren Gesamtlichtmenge und Lichtverteilung im Raum bei, besonders in der Raumtiefe. Die optisch wahrgenommene Helligkeit, das Orientierungsvermögen und gesamte Raumeindruck werden durch das reflektierte Licht der umschließenden Flächen geprägt. Die optisch wahrgenommene Helligkeit wird mit der photometrischen Größe der Leuchtdichte bestimmt. Hierfür wurden in allen Wohnobjekten die Umschließungsflächen der untersuchten Räume vermessen. Die entsprechenden Reflexionsgrade wurden nach folgender Formel ermittelt.

$$\rho = L[\text{cd/m}^2] \times \pi / E [\text{lx}]$$

Wohnung	Raum		ρ Decke [%]	ρ Wand [%]	ρ Boden [%]	ρ Fassade & Leibung [%]	ρ Boden Loggia [%]
Wohnung 1	Raum 1	san	71	66	35	24	79
	Raum 1	nsan	71	66	35	24	79
	Raum 2	san	71	67 90	35	24	
	Raum 2	nsan	71	67 90	35	24	
Wohnung 2	Raum 1	san	82	69	62	24	17
	Raum 1	nsan	82	69	62	24	17
	Raum 2	san	82	78	30	24	
	Raum 2	nsan	82	78	30	24	
Wohnung 3	Raum 1	san	81	57	40	36	
	Raum 1	nsan	80	70	40	66	
	Raum 2	san	81	73	40	36	
	Raum 2	nsan	80	70	40	66	
	Raum 3	san	81	57	40	36	
	Raum 3	nsan	80	70	40	66	
Wohnung 4	Raum 1	san	81	72	40	74	41
	Raum 1	nsan	86	70	34	53	19
	Raum 2	san	81	80	40	74	
	Raum 2	nsan	86	70	35	53	

Tabelle 4: Reflexionsgrade der inneren und äußeren Raumboflächen

Die inneren Raumschließungsflächen der untersuchten Wohnungen zeigen geringfügige Abweichungen hinsichtlich ihrer Reflexionseigenschaften. Die gemittelten Reflexionsgrade pro Raum ergeben im Maximum eine Abweichung von 4% und können daher als gleichwertig eingestuft werden. Dies trifft auch auf die Reflexionsgrade der Innenausstattung hinsichtlich des Mobiliars zu. Veränderte Reflexionsgrade von Raumboflächen nach der Sanierung ergeben sich durch raumgestalterische Maßnahmen.

3.2.5 Verschattungsfaktoren im Außenraum

Ein weiteres Kriterium für den Lichtertrag im Innenraum sind die topografischen Bedingungen des Gebäudestandortes. Zu den Verschattungsparametern im Außenraum zählen Umgebungsverbauung, horizontale Überhänge vor oder über der Lichtöffnung, Gebäudevorsprünge und Vegetation. Je nach Vorkommen kann die Lichtmenge dadurch erheblich verändert werden. Der Grad der Abschattung eines gegenüberliegenden Objektes/Gebäudes wurde mit dem Verhältnis von Abstand A zur Höhe H näherungsweise festgestellt.²

- + A : H > 2,7 keine Beeinträchtigung [a]
- + A : H > 2,0 geringe Beeinträchtigung [b]
- + A : H > 1,0 starke Beeinträchtigung [c]
- + A : H < 1,0 sehr starke Beeinträchtigung [d]

Wohnung 1 ist durch Verschattung gegenüberliegender Gebäude nicht beeinträchtigt, das Verhältnis entspricht [a], da die Entfernung zur Nachbarbebauung ca. 32 m beträgt.³ Es besteht jedoch eine Abschattung durch den Loggienüberhang von 1,20m.

² Vgl. Brandi et.al., 2005 S. 28

³ Entfernungen wurden den digitalen Katastralmappen entnommen, Höhen gegenüberliegender Gebäude/Objekte wurden aufgrund vorliegender Gebäudeschnitte der untersuchten Wohneinheiten abgeschätzt.

Wohnung 2 ist von Verschattung im Außenraum massiv betroffen. Einerseits durch die dichte Vegetation (ca. 15m hohe Bäume an der gegenüberliegenden Grundgrenze in einer Entfernung von 9m ~ Beeinträchtigung [d]), andererseits durch die Gebäudkubatur und einen rechtwinkligen Bauteilvorsprung von ca. 2m. Hinzu kommt die Loggiaauskragung von 1,20m sowie Trogbepflanzung auf der Brüstung.

Wohnung 3 ist von leichter Verschattung in Raum 3 sowie durch Vegetation auf der Westseite (Baum) betroffen. Beeinträchtigungen durch gegenüberliegende Gebäude liegen nicht vor.

In Wohnung 4 verursacht die Auskragung einer Loggia von 1,80m, ein Markisenüberhang von 34cm sowie ein direkt vor der Fensterfront gelegener Baum mit ausladendem Geäst (Kiefer) eine beträchtliche Abschattung der Innenräume.

Gleiches gilt für die Vergleichswohnung 4, die zudem von Bauteilverschattung betroffen ist.

4. Methodik zur Ermittlung des quantitativen Tageslichtangebotes in Wohnungen

4.1 Tageslichtmessung

Die Ermittlung der Tageslichtmenge in den jeweiligen Räumen der Wohnobjekte erfolgte durch Lichtmessungen nach DIN 5034 bei gleichmäßig bedecktem Himmel, in halber Raumtiefe in 1m Abstand von der Raumbegrenzungsfläche.

Ein gleichmäßig bedeckter Himmel nach CIE Standard (auch Moon & Spencer Himmel) ist durch den Anstieg der Leuchtdichte mit dem Höhenwinkel charakterisiert, wobei die Leuchtdichte am Zenit drei Mal so hoch wie jene am Horizont (Verhältnis 3:1).

Die Messungen der äußeren Beleuchtungsstärke erfolgte jeweils am Höchsten Punkt des Gebäudes (am Dach), zeitgleich mit den Messungen der jeweiligen inneren Beleuchtungsstärke. Für annähernd entsprechende Himmelsleuchtdichten wurden die Wetterprognosen im Vorfeld studiert und die Messzeiten in den Vor- oder Nachmittagsstunden am Vermessungstag festgelegt.



Abbildung 6: Messung der äußeren Beleuchtungsstärke auf dem Dach

4.2 Ermittlung von Tageslichtquotienten anhand von Messungen

Der Tageslichtquotient quantifiziert die im Innenraum vorhandene Lichtmenge und beschreibt das Verhältnis der Innenraumbeleuchtungsstärke an einem Punkt zur Außenraumbeleuchtungsstärke. Die Beleuchtungsstärken wurden auf der üblichen Nutzebene von 0,85m laut Normempfehlung und ergänzend auf einer Bezugsebene von 0,50 m gemessen, da es sich bei den untersuchten Objekten um Wohnräume handelt, in denen viele Aktivitäten tendenziell in Bodennähe (Annahme 50cm ü FOK) stattfinden

$$\text{Tageslichtquotient [\%]} = E(\text{innen}) [\text{lx}] / E(\text{außen}) [\text{lx}] \times 100$$

Die mittleren Beleuchtungsstärken der beiden Messebenen und die daraus errechneten Tageslichtquotienten sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Wohnung	Raum		Em 50cm ü FOK [lx]	Em 85cm ü FOK [lx]	E außen [lx]	TQ h50cm h85cm [%]
Wohnung 1	Raum 1	san	320	319	28900	1,11 1,10
	Raum 1	nsan		124	10000	x,xx 1,23
	Raum 2	san	347	349	27980	1,24 1,23
	Raum 2	nsan		187	10000	x,xx 1,90
Wohnung 2	Raum 1	san	51	59	8240	0,62 0,72
	Raum 1	nsan		87	10000	x,xx 0,87
	Raum 2	san	89	116	7950	1,12 1,46
	Raum 2	nsan		180	10000	x,xx 1,80
Wohnung 3	Raum 1	san	204	382	19790	1,03 1,93
	Raum 1	nsan		229	10000	x,xx 2,28
	Raum 2	san	125	230	18360	0,68 1,25
	Raum 2	nsan		118	10000	x,xx 1,18
	Raum 3	san	*	231	18360	x,xx 1,26
	Raum 3	nsan	*	144	10000	x,xx 1,44
Wohnung 4	Raum 1	san	69	91	14260	0,48 0,64
	Raum 1	nsan		167	17326	x,xx 0,96
	Raum 2	san	80	111	15240	0,53 0,73
	Raum 2	nsan	235	206	18075	1,30 1,14

Tabelle 5: Innere und äußere Beleuchtungsstärken, errechnete Tageslichtquotientenwerte

Da die Fenster der Wohnungen 1 und 2 bereits zu einem früheren Zeitpunkt erneuert wurden, betreffen die sanierungsbedingten Veränderungen des Gebäudes die Außenmauerstärke und damit die Leibungstiefen und deren Farbgebung. Der nicht sanierte Zustand der Wohnungen 1 und 2 wurde mittels Berechnungsprogramm rücksimuliert, indem die Wärmedämmung der Gebäudehülle und die Farbgebung der Fassade im Berechnungsmodell entsprechend abgezogen wurden. Die vor der Sanierung messtechnisch erhobenen Daten und daraus berechneten Tageslichtquotienten für das Objekt 3 fanden zu einem Zeitpunkt mit sehr hoher Außenbeleuchtungsstärke statt. In einer computerunterstützten Berechnung wurde daher eine Außenbeleuchtungsstärke von 10.000 lx angenommen. Für die Räume dieser Objekte gibt es daher keine Messdaten auf einer Bezugsebene 0,50m ü FOK, gleiches trifft für Räume zu, die als Arbeitsraum gewertet werden (Küchen).

4.3 Computerunterstützte Tageslichtquotientermittlung

Zur Berechnung des natürlichen Lichtangebotes in den einzelnen Räumen wurde das Softwarepaket ReluxPro⁴ verwendet. Die Visualisierung erfolgt in sogenannten 3D Falschfarbendarstellung, einer perspektivischen Kolorierung wobei die jeweiligen Farben im Raum den darunter angeführten Beleuchtungsstärken zugeordnet werden können.⁵

Die Berechnungen wurden mit den erhobenen geometrischen und bauphysikalischen Werten der untersuchten Räume und Bauteile durchgeführt:

- + Reflexionsgrade der inneren Raumumschließungsflächen laut den Werten in Tabelle 4.
- + Transmissionsgrade der Verglasungen mit den Werten aus Tabelle 2.
- + Die Fensterrahmen wurden mit den prozentuell errechneten Anteilen (Tabelle 1) durch entsprechenden Abschwächungsfaktoren (Versprossung) berücksichtigt.
- + Der Verminderungsfaktor Verschmutzung wurde analog den Anhaltswerten in der DIN 5034-3, Tabelle 1, mit dem Wert 0,9 festgelegt.

⁴ RELUX Professional 2007, Relux Informatik AG, Basel

⁵ Siehe dazu Anhang D 1 bis D 8

Die Verschattungen wurden nach den lokalen Gegebenheiten als Außenverbauung modelliert. Die Vertiefungen der Fensterleibungen durch die Wärmedämmung wurden gemäß den erfassten Daten modellhaft nachgebaut. Außenreflexionen wurden nach den gemessenen Werten berücksichtigt.

Für die Berechnungen wurde ein gleichmäßig bedeckter Himmel nach CIE und eine Außenbeleuchtungsstärke von 10.000 lx angenommen.

Die Ergebnisse der Tageslichtquotientberechnung mittels Software stellen sich wie folgt dar:

Wohnung	Raum		Tageslichtquotient Dm [%]
Wohnung 1	Raum 1	san	0,98
	Raum 1	nsan	1,23
	Raum 2	san	1,6
	Raum 2	nsan	1,9
Wohnung 2	Raum 1	san	0,71
	Raum 1	nsan	0,87
	Raum 2	san	1,6
	Raum 2	nsan	1,8
Wohnung 3	Raum 1	san	1,65
	Raum 1	nsan	2,28
	Raum 2	san	0,83
	Raum 2	nsan	1,18
	Raum 3	san	1,23
	Raum 3	nsan	1,44
Wohnung 4	Raum 1	san	0,48
	Raum 1	nsan	0,6
	Raum 2	san	0,69
	Raum 2	nsan	0,81

Tabelle 6: Computerunterstützte Tageslichtquotientberechnung

Die Werte zeigen geringfügige Abweichungen gegenüber den Messwerten an den realen Objekten. Dies ist auf das Himmelsmodell des Berechnungsprogramms zurückzuführen, dessen Leuchtdichtenverteilung, im Gegensatz zu den veränderlichen realen Himmelszuständen, statisch sind.

5. Gegenüberstellung der Lichteinträge in Innenräume vor und nach Sanierung

Im folgenden Abschnitt werden die quantitativen Tageslichteinträge vor und nach der thermischen Sanierung in den untersuchten Wohnungen anhand der Mess-Berechnungsergebnisse verglichen.

Die Gegenüberstellungen sollen aufzeigen, inwieweit sich die Lichtmenge in den sanierten Wohnobjekten gegenüber dem unsanierten Zustand verändert hat und durch welche Faktoren dies bewirkt wurde.

5.1 Tagelichtangebot vor und nach der thermischen Sanierung

Die Lichtmengen in den noch unsanierten Wohneinheiten weisen sehr niedrige Werte auf. Durch die Sanierung hat sich die Tageslichtmenge in den Innenräumen weiter reduziert, mit errechneten Tageslichtquotienten, die teilweise unter der Normmindestgrenze von 0,9% liegen. Die prozentuelle Lichtminderungen durch die Sanierung beträgt bis zu 36% gegenüber dem Zustand vor der Sanierung. Die Tageslichtquotienten für die Bezugsebene von 0,50m ü FOK reduzieren sich sanierungsbedingt um durchschnittlich 26%.

Wohnung	Raum		Tageslichtquotient Dm [%]	Δ TQ [%]	Verminderte Gesamtlichtmenge [%]
Wohnung 1	Raum 1	san	1,1	0,13	- 10,6
	Raum 1	nsan	1,23		
	Raum 2	san	1,25	0,65	- 34,2
	Raum 2	nsan	1,9		
Wohnung 2	Raum 1	san	0,72	0,15	- 17,2
	Raum 1	nsan	0,87		
	Raum 2	san	1,46	0,34	- 18,8
	Raum 2	nsan	1,8		
Wohnung 3	Raum 1	san	1,93	0,35	- 15,4
	Raum 1	nsan	2,28		
	Raum 2	san	1,25	0,07*	+ 5,8*
	Raum 2	nsan	1,18		
	Raum 3	san	1,26	0,18	- 12,5
	Raum 3	nsan	1,44		
Wohnung 4	Raum 1	san	0,64	0,32	- 33,3
	Raum 1	nsan	1,96		
	Raum 2	san	0,73	0,41	- 36
	Raum 2	nsan	1,14		
					Ø - 22,3

* Erhöhte TQ-Werte aufgrund höherer Reflexionseigenschaften von Oberflächen

Tabelle 7: Sanierungsbedingte Reduktion bzw. Steigerung von Tageslichtquotientwerten

In Wohnung 1 weisen die Unterschiede in Raum 1 und 2 Werte von -10,6% bzw. -34% auf. Dieser große Unterschied wird u.a. dadurch begründet, dass, im Gegensatz zu den weißen Loggieninnenwänden vor Raum 1, die Fensterleibung in Raum 2 infolge der Sanierung eine Farbgebung mit einem Reflexionsgrad von ρ 0,24% erhalten hat. Die ursprüngliche Farbgebung wies dagegen einen Reflexionsgrad von ρ 0,66% auf. Zudem bedingt die vergrößerte Leibungsausbildung im Sturzbereich, dass Licht nicht mehr weit genug in den Raum dringt. Dadurch wird eine ausreichende Lichtversorgung bis in eine Tiefe von 5,05 m nur noch schwer zu erreichen.

Die nachfolgende Graphik veranschaulicht Lichteinfall und Lichtabnahme bei einseitiger Raumbelichtung:

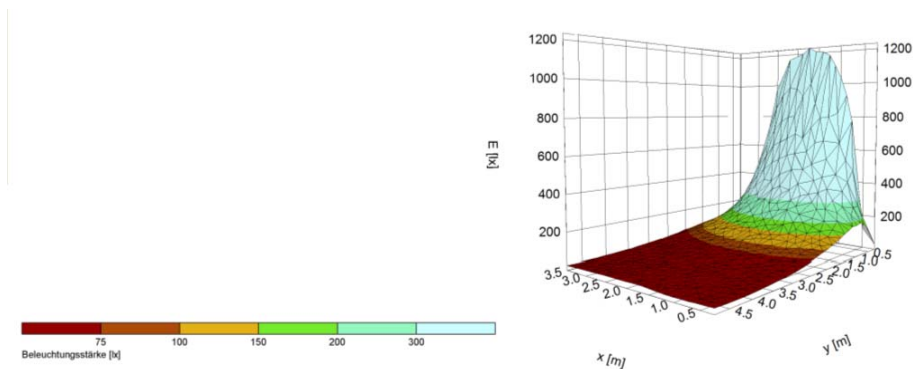


Abbildung 7: Tageslichtverteilung in einseitig belichteten Räumen

Bei einseitiger Raumbelichtung sinken die Tageslichtquotientwerte in der Raumtiefe exponentiell ab. Hinzu kommt, dass niedrige Raumhöhen die Verteilung des Lichtes erschweren. In Wohnräumen mit niedrigen quantitativen Lichteinträgen vor der Sanierung fallen sanierungsbedingte Lichteinbußen besonders drastisch aus, v.a wenn zudem äußerer Verschattungsfaktoren wie Baubestand oder Nachbarbebauung wirksam werden.

Die verminderte Tageslichtmenge in den Räumen von Wohnung 3 ist überwiegend auf die veränderten Rahmenanteile zurückzuführen, die durch den Einbau neuer Fenster bzw. Sonnen- und Blendschutz von etwa 33% auf 38% angewachsen sind und dadurch die lichtdurchlässige Fläche verringert wird. Weitere Ursachen für die Lichtverminderung sind die um 2% geringere Lichttransmission der Verglasung und die Reflexionseigenschaften der Fensterleibungen, die von ρ_L 0,66% auf ρ_L 0,36% gesenkt wurden, sowie die niedrigeren Reflexionsgrade in den Räumen 1 und 3 durch die neue Farbgestaltung der Wand- und Deckenflächen nach der Sanierung.

Die Tageslichtquotientenberechnungen haben gezeigt, dass die sanierungsbedingten Lichtverluste im Durchschnitt etwa 22,3% betragen.

Die höchsten Lichtreduktionen sind an den Wohnobjekten 2 und 4 zu erkennen, die Lichtmengen fallen hier unter die Normmindestgrenze von TQ 0,9% fallen. Sehr niedrig sind auch die Tageslichtquotienten von D_m 1,26% und D_m 0,96% der untersuchten Arbeitsräume (Küchen) in den Objekten 3 und 4. Bei einer mittleren Außenbeleuchtungsstärke von 10.000 lx entspräche dies einer inneren Beleuchtungsstärke von 126 lx bzw. 96 lx, Werte, die in öffentlichen und kommerziellen Gebäuden für Räume mit untergeordneter Nutzungen vorgesehen sind.

Das nachfolgende Diagramm veranschaulicht die Lichtmengen in den sanierten und nicht sanierten Räumen.

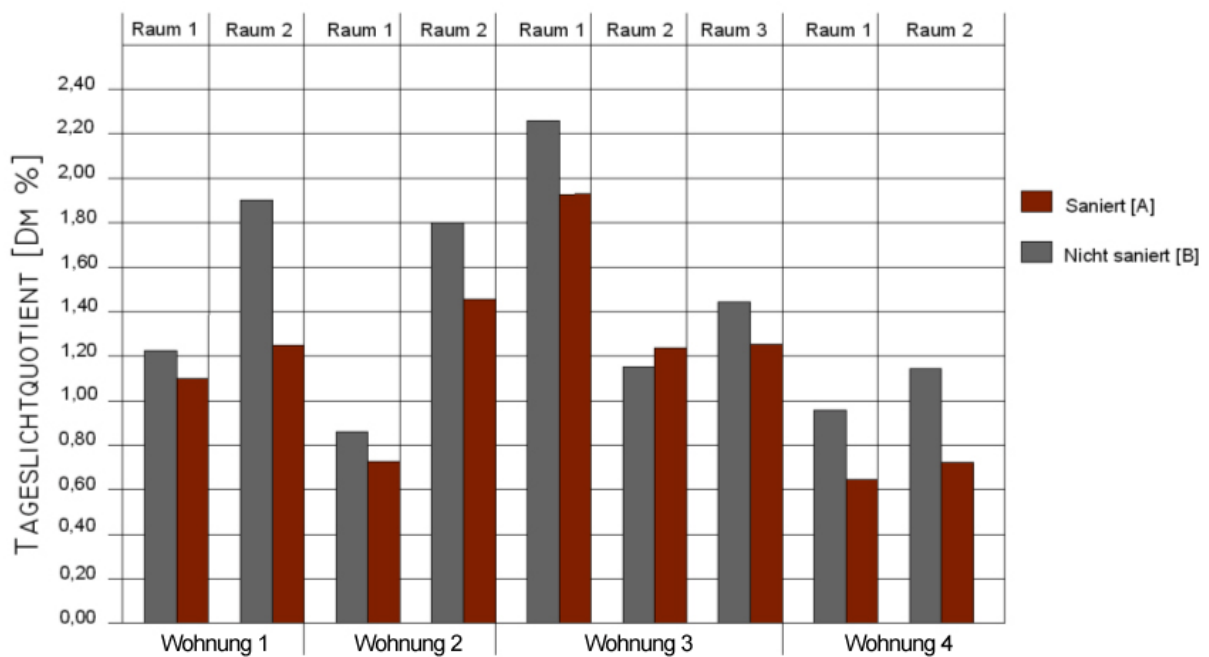


Abbildung 8; Graphische Gegenüberstellung von sanierungsbedingten Veränderungen der Tageslichtquotiente

5.2 Einflussfaktoren auf die Veränderung des Tageslichtangebotes nach Sanierung

5.2.1 Einflussfaktor Rahmen- und Verglasungsanteile

Durch die thermische Sanierung vergrößern sich die Rahmenanteile der Fenster in den untersuchten Wohnungen um 3,7% bis 15,3% (ausgenommen sind die Wohneinheiten 1 und 2, da der Fenstertausch zu einem früheren Zeitpunkt stattfand und die Geometriedaten der ursprünglichen Fenster nicht bekannt waren).

Wohnung	Raum		Rahmenfläche [m ²]	Rahmenanteildifferenz [%]
Wohnung 3	Raum 1	san	1,18	+15,3
	Raum 1	nsan	1	
	Raum 2	san	0,57	+14
	Raum 2	nsan	0,49	
	Raum 3	san	0,57	+14
	Raum 3	nsan	0,49	
Wohnung 4	Raum 1	san	2,03	+7,4
	Raum 1	nsan	1,88	
	Raum 2	san	1,35	+3,7
	Raum 2	nsan	1,3	

Tabelle 8: Veränderungen von Fensterrahmenanteilen im Zuge der thermischen Sanierung

Die prozentuell errechnete Erhöhung der Rahmenanteile beträgt im Mittel 11%. Im Falle von Wohnung 3 sind die Gründe hierfür der hinzugekommene Sonnen- und Blendschutz, die größeren verwendeten Rahmenprofile und eine Vergrößerung der Gesamtfensterfläche durch einen erfolgten Fenstertausch. Im Falle von Objekt 4 ist der Unterschied hauptsächlich darin begründet, dass die Gesamtansichtsbreiten der Rahmenprofile durch eine zusätzliche Blendleiste vergrößert wurden. Fast alle Fenster- und Fenstertüren sind mit Sonnen- und Blendschutz ausgerüstet, der entweder im Scheibenzwischenraum integriert (Wohnung 3), oder raumseitig zwischen den Flügelprofilen montiert ist. Folgende Grafik veranschaulicht den flächenmäßigen Anteil von Fensterbauteilen an der Gesamtfensterfläche:

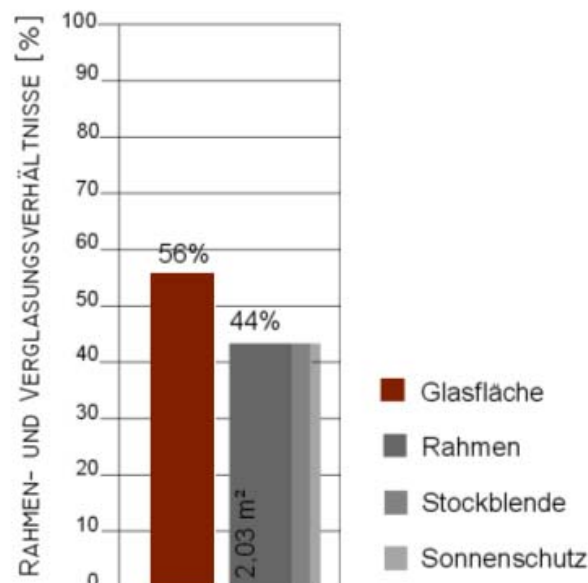


Abbildung 9: Graphische Gegenüberstellung von Rahmen- und Glasanteilen

5.2.2 Einflussfaktor Glasqualität

Eine weitere maßgebliche Komponente für die im Raum vorhandene Lichtmenge ist die Lichtdurchlässigkeit der Verglasung. Hierbei ist die Art des Glases entscheidend, die je nach Beschichtung oder Einfärbung zu unterschiedlich hohen Lichtverlusten führen kann. Bei den untersuchten Objekten kamen mehrheitlich zweifach-Wärmeschutzverglasungen mit einem (durchaus akzeptablen) Lichttransmissionswert von τ 80% zur Anwendung. Lediglich in der sanierten Wohnung 3 weist die Verglasung einen etwas geringeren Lichttransmissionswert von τ 78% auf.

5.2.3 Einflussfaktor Fensterleibung

Die Veränderung der Leibungsgeometrien stellt sich, gemessen an der Summe der Einflussfaktoren, besonders problematisch dar, da die Öffnungslichte je nach Dämmstärke, durch die größere Vertiefung der schachtartigen Umrandung stark begrenzt wird.

Unter Beibehaltung der Fensterlage in der Fassade wäre eine Abschrägung der Fensterleibung eine mögliche Alternative zur Verbesserung der Tageslichtversorgung in den Wohnungen. Diesbezügliche Untersuchungen werden im 4. Kapitel der Arbeit demonstriert und ausgewertet.

Die vielfach geforderte Verbesserungsmöglichkeit des Lichteinfalls durch Versetzung der Fenster nach außen kann an dieser Stelle nicht bestätigt werden.

6. Vergleich mit normativen Anforderungen an Tageslichtangebot

Ein Vergleich der gemessenen und berechneten Lichtsituationen in den untersuchten Innenräumen mit entsprechenden Vorschriften und Normempfehlungen zeigt folgenden Sachverhalt:

- + Die Mindestvorgaben der DIN 5034 in Bezug auf ausreichende Helligkeit konnte nicht bei allen untersuchten Wohneinheiten erzielt werden.
- + Die Empfehlungen der Fensterpositionierung für eine angemessene Sichtverbindung nach draußen wurden in allen Wohnobjekten eingehalten.
- + Die Empfehlung einer Verglasungsbreite von 55% gemessen an der Breite der Fensterwand wird im Durchschnitt um 29% unterschritten.

Die Bauordnung nimmt in ihrer Forderung nach ausreichender Belichtung Bezug auf die Gesamtfensterfläche, die 10% der Fußbodenfläche zu betragen hat. Dies hat hinsichtlich der tatsächlichen Raumbelichtungsfläche wenig Aussagekraft, da dabei die Rahmen- und Verglasungsanteile von Fenstern nicht berücksichtigt werden.

Laut Norm DIN 5034 ist die ausreichende Helligkeit in Wohnräumen dann gegeben, wenn der Mittlere Tageslichtquotient wenigstens 0,9% und am ungünstigsten der beiden Bezugspunkte 0,75% beträgt. Die folgende Tabelle verdeutlicht, dass die eruierten mittleren TQ Werte in vielen Fällen weit unter dem normativ geforderten Mindestwert von 0,75% liegen.

Wohnung	Raum		E Messpunkt 1 [lx]	E Messpunkt 2 [lx]	E außen [lx]	TQ [%]
Wohnung 1	Raum 1	san	353	284	28900	0,98
	Raum 1	nsan	84	94	10000	0,84
	Raum 2	san	272	426	27980	0,97
	Raum 2	nsan	102	90	10000	0,9
Wohnung 2	Raum 1	san	92	25	8240	0,3
	Raum 1	nsan	54	65	10000	0,54
	Raum 2	san	159	72	7950	0,91
	Raum 2	nsan	96	90	10000	0,9
Wohnung 3	Raum 1	san	499	264	19790	1,33
	Raum 1	nsan	118	130	10000	1,18
	Raum 2	san	303	156	18360	0,85
	Raum 2	nsan	103	63	10000	0,63
	Raum 3	san	357	105	18360	0,57
	Raum 3	nsan	319	37	10000	0,37
Wohnung 4	Raum 1	san	147	35	14260	0,25
	Raum 1	nsan	195	138	10000	1,33
	Raum 2	san	125	97	15240	0,64
	Raum 2	nsan	184	227	10000	1,02

Tabelle 9: Erfüllung bzw. Unterschreitung normativer TQ – Anforderungen (Orange: <0,9%, Rot: < 0,75%)

6.1 Stellungnahme zu normativen Anforderungen an Tageslichtangebot

Empfehlungen für Mindestbeleuchtungsstärken in Wohnräumen sind normativ nicht festgehalten. Um die Versorgung der untersuchten Wohnräume mit natürlichem Licht dennoch gut einschätzen zu können, werden Bewertungskriterien und Richtlinien einiger europäischer Länder als Vergleichsmaßstab für eine Bewertung herangezogen. (Siehe dazu auch Teil 1, Pkt.3)

In **Dänemark** und **Großbritannien** werden Lichttransmissionswerte der Verglasung von τ 75% bzw. τ 70% vorgegeben. In Dänemark ist bei Unterschreitung des geforderten Lichttransmissionswertes die Verglasungsfläche proportional zu erhöhen. Zudem werden in Dänemark Wohnräume mit integrierten Arbeitsbereichen berücksichtigt, für die ein Tageslichtquotient von mindestens 2% gefordert wird. In Großbritannien gibt es zusätzlich eine Normvorschrift, die Mindestwerte für einzelne Wohnbereiche vorsieht: Wohnräume 1,5%, Schlafräume 1% und für Küchen 2%.

In **Schweden** ist die Nettoglasfläche durch Vorgabe von "klarem Glas" geregelt, die bei Verwendung von Sonnenschutzgläsern zu erhöhen ist. Die Glasfläche muss auch dann erhöht werden, wenn Lichteinbußen durch Verschattung vorliegen.

In den **Niederlanden** ist die Verglasungsfläche in Abhängigkeit vom Lichteinfallswinkel zu bestimmen und bei Verschattung eine äquivalente Belichtungsfläche zu ermitteln, deren Berechnung einer Norm zu entnehmen ist.

Die **Schweiz** hat ergänzend eine Richtlinie der Schweizer Lichtgesellschaft (SLG), die im Wesentlichen von der Zweckbestimmung eines Raumes ausgeht und sich auf übliche Nennbeleuchtungsstärken für diverse Sehaufgaben bezieht. Bei einseitiger Belichtung von Wohnräumen wird ein Tageslichtquotient von 1% empfohlen.

Die genannten gesetzlichen Vorgaben beschränken sich nicht ausschließlich auf die Größe von Belichtungsöffnungen, sondern inkludieren eine Kombination aus lichtrelevanten Faktoren wie Gasflächen, Glasqualitäten (Lichttransmission) oder auch die Zweckbestimmung von Räumen.

Die Anhebung von normativ empfohlenen Tageslichtquotienten von 0,9% auf etwa 2%, wie sie etwa in Dänemark vorgesehen ist, wäre angesichts vieler Vorteile zu begrüßen. Somit wäre eine adäquate Tagesbelichtung auch bei einer niedrigen Außenbeleuchtungsstärke von 5.000 lx in den Räumen zur Erfüllung vielfältiger Sehaufgaben gewährleistet und hätte den positiven Effekt geringerer Einschaltzeiten künstlicher Beleuchtung, wie es in Kapitel 4 der Arbeit beschrieben wird.

7. Zusammenfassung der Ergebnisse

Der Vergleich der Lichtsituation vor und nach der thermischen Sanierung hat dargelegt, dass sich die Tageslichtmenge in den sanierten Wohnobjekten durch die thermischen Maßnahmen um rund 22% vermindert hat - die ermittelten Tageslichtquotientwerte in den untersuchten Wohnungen vor der Sanierung werden noch einmal jenen danach gegenübergestellt.

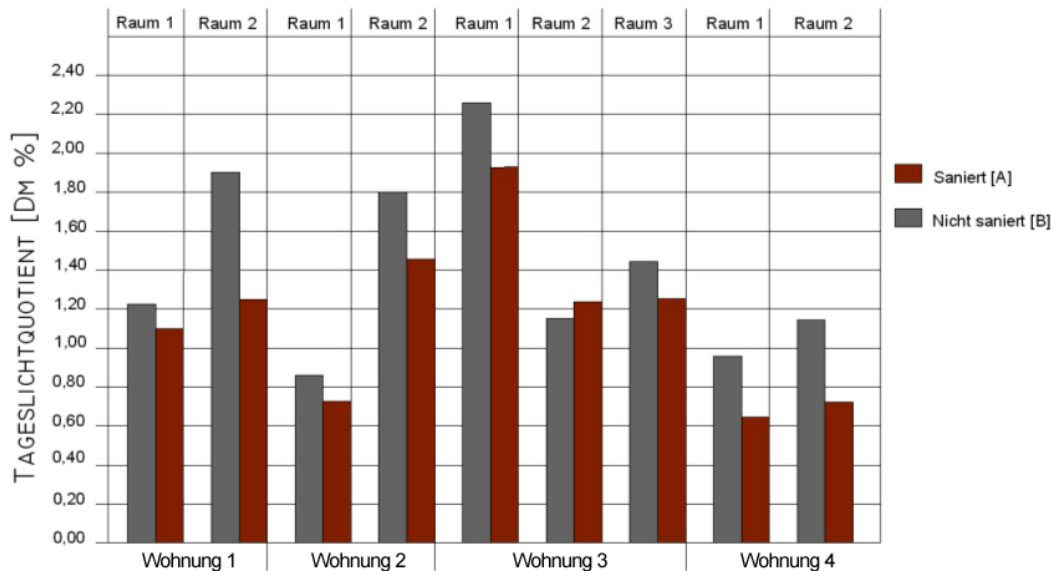


Abbildung 10: Graphische Gegenüberstellung von sanierungsbedingten Veränderungen der Tageslichtquotientwerte

Aufgrund der Untersuchungen haben sich drei Faktoren konkretisiert, die für die Lichtreduktion besonders maßgeblich sind.

- + Veränderungen der äußeren Fensterleibungsgeometrie, bedingt durch die Anbringung außen liegender Wärmedämmung
- + Veränderungen von Rahmenprofilen durch größere Gesamtansichtsbreiten bzw. durch Blendrahmen und Sonnenschutzelementen
- + Reflexionseigenschaften von Bauteilen

Schachtartig ausgebildete tiefe Außenleibungen und Veränderungen von Rahmenprofilen üben den vergleichsweise größten Einfluss auf die Lichtreduktion in Innenräumen aus.

Abschrägung der Leibungen im Sturz- und Flankenbereich sowie Reduktionen von Fensterrahmenanteilen sind daher eine wirkungsvolle Möglichkeit, um Lichtreduktionen einzudämmen.

Im Falle von Loggien und Balkone ist auf eine adäquate Gestaltung der Oberflächen sowie auf eine möglichst transparente Ausführung von Brüstungen zu achten, um optimierte Lichteinträge in den dahinterliegenden Räumen sicherzustellen.

Eine optimierte Tageslichtversorgung beruht auf einem komplexen Zusammenwirken vieler Parameter, die sich für jedes Gebäude neu darstellen und individuell zu gewichten sind. Die durchgeführten Untersuchungen sollen dabei helfen, für individuelle Planungsaufgaben entsprechende Lösungsansätze zu definieren.

8. Verzeichnisse

8.1 Literaturverzeichnis

Brandi Ulrike, Augustesen Christina, Dietrich Udo, Friederici Annette, Geissmar-Brandi Christoph, Kristensen Peter, Madsen Merete, Storch Anja, Wand Burkhard: *Tageslicht Kunstlicht*, Edition Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München, 2005

Wagner Andreas: *Energieeffiziente Fenster und Verglasung*, 3. Auflage, FIZ Karlsruhe, 2008

DIN 5034-1 Tageslicht in Innenräumen, allgemeine Anforderungen, 1999

DIN 5034-2: Tageslicht in Innenräumen – Teil 2: Grundlagen, 1985

DIN 5034-3: Tageslicht in Innenräumen – Teil 3: Berechnungen, 2007

DIN 5034-4: Tageslicht in Innenräumen – Teil 4: Vereinfachte Bestimmungen für Mindestfenstergrößen für Wohnräume, 1994

Giebeler Georg, Fisch Rainer, Krause Harald: *Atlas Sanierung – Instandhaltung Umbau Ergänzung* – Edition Detail, Institut für Intentionale Architektur-Dokumentation, München, 2008, Seite 34

8.2 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: EINMESSUNG VON MESSPUNKTEN	48
ABBILDUNG 2: WOHNUNG 1, ANSICHT, GRUNDRISS	49
ABBILDUNG 3: WOHNUNG 2, ANSICHT, GRUNDRISS	49
ABBILDUNG 4: WOHNUNG 3, ANSICHTEN, GRUNDRISS	50
ABBILDUNG 5: WOHNUNG 4, ANSICHT UND GRUNDRISSE	50
ABBILDUNG 6: MESSUNG ÄUßERER BELEUCHTUNGSSTÄRKE.....	56
ABBILDUNG 7: TAGESLICHTVERTEILUNG IN EINSEITIG BELICHTETEN RÄUMEN.....	60
ABBILDUNG 8; GRAPHISCHE GEGENÜBERSTELLUNG VON SANIERUNGSBEDINGTEN VERÄNDERUNGEN DER TAGESLICHTQUOTIENTE	61
ABBILDUNG 9: GRAPHISCHE GEGENÜBERSTELLUNG VON RAHMEN- UND GLASANTEILEN.....	62
ABBILDUNG 10: GRAPHISCHE GEGENÜBERSTELLUNG VON SANIERUNGSBEDINGTEN VERÄNDERUNGEN DER TAGESLICHTQUOTIENTWERTE	66

8.3 Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: FENSTERBESCHREIBUNG, RAHMEN- UND GLASANTEILE	52
TABELLE 2: BAUPHYSIKALISCHE FENSTERKENNWERTE	52
TABELLE 3: AUFBAU DER WÄRMEDÄMMUNGEN	53
TABELLE 4: REFLEXIONSGRADE DER INNEREN UND ÄUßEREN RAUMOBERFLÄCHEN.....	54
TABELLE 5: INNERE UND ÄÜßERE BELEUCHTUNGSSTÄRKEN, ERRECHNETE TAGESLICHTQUOTIENTWERTE	57
TABELLE 6: COMPUTERUNTERSTÜTZTE TAGESLICHTQUOTIENTBERECHNUNG	58
TABELLE 7: SANIERUNGSBEDINGTE REDUKTION BZW. STEIGERUNG VON TAGESLICHTQUOTIENTWERTEN	59
TABELLE 8: VERÄNDERUNGEN VON FENSTERRAHMENANTEILEN IM ZUGE DER THERMISCHEN SANIERUNG.....	62
TABELLE 9: ERFÜLLUNG BZW. UNTERSCHREITUNG NORMATIVER TQ – ANFORDERUNGEN (ORANGE: <0,9% ROT: <0,75%).....	64

Kapitel IV

Direktlicht, passiv solare Gewinne und Tageslichtautonomie



1. AUFGABENSTELLUNG	72
1.1 BERECHNUNGEN DES QUANTITATIVEN DIREKTLICHT-EINTRAGES.....	72
1.1.1 Berechnung der jährlichen Gesamtsonnenscheindauer.....	72
1.1.2 Zeitliches Auftreten von direktem Lichteintrag.....	72
1.1.3 Sanierungsbedingte Unterschiede des quantitativen Direktlichteintrages.....	72
1.1.4 Visualisierung der Unterschiede von quantitativen Direktlichteintrag.....	73
1.2 BERECHNUNGEN SANIERUNGSBEDINGTER UNTERSCHIEDE VON HWB UND SOLAREN GEWINNEN.....	73
1.3 BERECHNUNGEN SANIERUNGSBEDINGTER UNTERSCHIEDE DES QUANTITATIVEN DIFFUSLICHT-EINTRAGES	
73	
1.4 TAGESLICHTAUTONOMIEBERECHNUNGEN.....	74
1.5 VERGLEICHENDE ZUSAMMENSCHAU DER BERECHNUNGSERGEBNISSE.....	74
2. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN	75
2.1 ANALYSE VON SANIERUNGSOBJEKTEN.....	75
2.2 ART DER SANIERUNGSDURCHFÜHRUNG AN DEN UNTERSUCHTEN WOHNUNGEN.....	77
2.2.1 Auswahl einer Versuchswohnung.....	77
2.3 ERHEBUNG GEOMETRISCHER WOHNUNGSDATEN.....	78
2.4 UNTERSUCHTE RÄUME.....	79
2.5 AUSWAHL VON SANIERUNGSMAßNAHMEN.....	79
3. BERECHNUNGSDOKUMENTATION	81
3.1 CODIERUNG DER SANIERUNGSVARIANTEN.....	81
3.2 GEOMETRISCHE MODELLBILDUNG.....	81
3.2.1 Physisches Versuchsmodell.....	82
3.3 VERWENDETE BERECHNUNGS SOFTWARE UND GERÄTSCHAFTEN.....	82
3.3.1 Autodesk Ecotect Analysis 2010.....	82
3.3.2 Passivhaus-Projektierungs-Paket PHPP.....	83
3.3.3 ReluxPro.....	83
3.3.4 Fotokamera und Optik.....	84
3.3.5 Lichtlabor.....	84
3.3.6 Bildbearbeitungssoftware.....	85
3.4 PHYSIKALISCHE EINGABEPARAMETER.....	85
3.4.1 Eingabeparameter Berechnungssoftware zur Ermittlung des direkten Lichteintrags.....	85
3.4.2 Eingabeparameter für die Berechnung des HWBs und der solaren Gewinne.....	85
3.4.3 Eingabeparameter Tageslichtquotient- und autonomieberechnung.....	86
4. BERECHNUNGS AUSWERTUNG	88
4.1 BERECHNUNG DER JÄHRLICHEN GESAMTSONNENSCH EINDAUER.....	88
4.2 BERECHNUNGEN ZUM ZEITLICHEN AUFTRETEN VON DIREKTEM LICHT.....	88
4.3 BERECHNUNG DER SANIERUNGSBEDINGTEN UNTERSCHIEDE DES QUANTITATIVEN	
DIREKT LICHT-EINTRAGES.....	88
4.3.1 Darstellung des Direktlichteintrages anhand von Falschfarbendiagrammen.....	88
4.3.2 Darstellung des Direktlichteintrages anhand von Modellfotos.....	89
4.4 BERECHNUNG DER SANIERUNGSBEDINGTEN UNTERSCHIEDE VON HWB UND SOLAREN GEWINNE.....	90
4.5 BERECHNUNG DER SANIERUNGSBEDINGTEN UNTERSCHIEDE VON EINSCHALTZEITEN NOTWENDIGEN	
KUNSTLICHTS.....	90
5. BERECHNUNG SERGEBNISSE	91
5.1 ERGEBNISSE ZU DEN BERECHNUNGEN DES QUANTITATIVEN DIREKT LICHT-EINTRAGES.....	91
5.1.1 Sonnenscheindauer.....	91
5.1.2 Zeitabschnitte direkten Lichteintrags.....	91
5.1.3 Orientierungsabhängige Unterschiede des Direktlichteintrages.....	92
5.1.4 Sanierungsabhängige Unterschiede des quantitativen Direktlichteintrages.....	93
5.1.5 Unterschiede von Besonnungszeiten im jahreszeitlichen Verlauf.....	96
5.1.6 Visualisierungen der Raumbesonnung.....	100
5.1.7 Schlussfolgerung.....	109
5.2 HEIZWÄRMEBEDARF UND SOLARE GEWINNE.....	110
5.2.1 Heizwärmebedarf vor der Sanierung.....	110

5.2.2	<i>Sanierungsbedingte Veränderung von Heizwärmebedarf und solarer Gewinne</i>	110
5.2.3	<i>Schlussfolgerung</i>	113
5.3	TAGESLICHTQUOTIENT	114
5.3.1	<i>Reduktion der TQ Werte im Schlafzimmer</i>	114
5.3.2	<i>Reduktion der TQ Werte im Wohnzimmer</i>	114
5.3.3	<i>Schlussfolgerung</i>	116
5.4	TAGESLICHTAUTONOMIE	117
5.4.1	<i>Jährliche Anteile [%] ausreichenden Tageslichts im Innenraum</i>	117
5.4.2	<i>Verlauf monatlicher Anteile [%] ausreichenden Tageslichts im Innenraum</i>	117
5.4.3	<i>Schlussfolgerung</i>	118
6.	ERGEBNISZUSAMMENSCHAU	120
6.1	ERFÜLLUNG GESETZLICHER UND NORMATIVER ANFORDERUNGEN AN DEN LICHT EINTRAG	120
6.2	GEGENÜBERSTELLUNG VON DIFFUSLICHTABHÄNGIGEN BERECHNUNGEN	121
6.3	GEGENÜBERSTELLUNG DIREKTLICHTBERECHNUNGEN UND THERMISCHER GEBÄUDEPERFORMANCE .	124
	<i>Ost- bzw. Westorientierung</i>	124
	<i>Südorientierung</i>	125
	<i>Nordorientierung</i>	125
6.4	ZUSAMMENFASSENDE ERGEBNISSE	126
7.	ERFAHRUNGEN AUS DER PRAKTISCHEN UMSETZUNG DER THERMISCHEN GEBÄUDESANIERUNG	127
7.1	STELLUNGNAHMEN VON AUFTRAGGEBER UND AUSFÜHRENDER BAUFIRMA	128
8.	VERZEICHNISSE	130
8.1	LITERATURVERZEICHNIS	130
8.2	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	130
8.3	TABELLENVERZEICHNIS	132

1. Aufgabenstellung

Die Einflussnahme thermischer Sanierungsmaßnahmen auf die Einträge direkten Sonnenlichts in Wohnungen wird im folgenden Kapitel untersucht.

Darüber hinaus werden Veränderungen der Wärmebilanzen und damit der solaren Einträge und des Heizwärmebedarfs berechnet. Auch die Veränderungen der erforderlichen Zuschaltzeiten von Kunstlicht zur Aufrechterhaltung einer notwendigen Beleuchtungsstärke sollen eruiert und bewertet werden. In einer Zusammenschau der Ergebnisse werden etwaige Zusammenhänge und Parallelen zwischen den tageslichtbezogenen thermischen und visuellen Veränderungen in der Wohnung ausgemacht.

Die Berechnungen werden auf eine bestimmte Wohnungskonfiguration angewendet und für 4 unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen bei Nord- Ost- Süd und Westorientierungen angesetzt. Wesentliches Ziel dieser Berechnungen ist es, effiziente Methoden und Parameter sowohl von energetisch als auch visuell optimierten Gebäudesanierungen zu definieren.

Im Detail werden die zu berechnenden Parameter wie folgt angegeben:

1.1 Berechnungen des quantitativen Direktlichteintrages

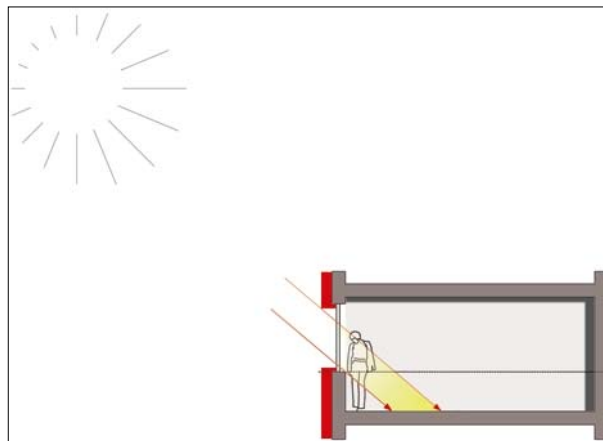


Abbildung 1: Raumdurchlichtung

1.1.1 Berechnung der jährlichen Gesamtsonnenscheindauer

Als Referenz für spätere Auswertungen wird die potentielle gesamtjährliche Sonnenscheindauer am Standort Wien errechnet.

1.1.2 Zeitliches Auftreten von direktem Lichteintrag

Berechnungen zeigen, in welchen Monaten und zu welchen Uhrzeiten unter Annahme von unterschiedlichen Ausrichtungen in einer angenommenen Versuchswohnung mit direktem Lichteintrag zu rechnen ist.

1.1.3 Sanierungsbedingte Unterschiede des quantitativen Direktlichteintrages

Es wird untersucht, welchen Einfluss unterschiedliche Methoden der thermischen Gebäudesanierung und damit veränderte Fassaden- Leibungs- und Fensterstrukturen auf die Dauer des Direktlichteintrages in einer typischen Wiener Wohnungen ausüben. Im Gegensatz zu Diffuslichtberechnungen, spielen dabei Standort und Orientierung des Untersuchungsobjektes eine wesentliche Rolle. Veränderungen im jahreszeitlichen Verlauf werden ebenso berücksichtigt, wie Lage und Wohnungsorientierung.

Die Ergebnisse werden dabei sowohl als gesamtjährliche als auch auf tagesbezogene Lichteintragsdauer angegeben und in Stunden[h] bzw. Minuten[min] angegeben.

Bei den Berechnungen handelt es sich um Potentialstudien für die maximal zur Verfügung stehende Sonnenscheindauer. Das bedeutet, es wird von einer permanenten direkten Sonnenbelichtung im Zeitraum von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang (Sonnenhöhe $> 0^\circ$) ohne Bewölkungsanteil ausgegangen (Himmelsmodell CIE clear sky),

1.1.4 Visualisierung der Unterschiede von quantitativen Direktlichteintrag

Zur Verdeutlichung der numerisch errechneten, sanierungsbedingten Unterschiede des ausrichtungsbezogenen Lichteintrages werden die Ergebnisse anhand von Falschfarbendarstellungen und Modellfotos dargestellt.

1.2 Berechnungen sanierungsbedingter Unterschiede von HWB und solaren Gewinnen

Es werden die sanierungs- und orientierungsbedingten Unterschiede des Heizwärmebedarfes und der lukrierbaren solaren Gewinne von Wohnungen im Vergleich zum Zustand vor der Sanierung untersucht.

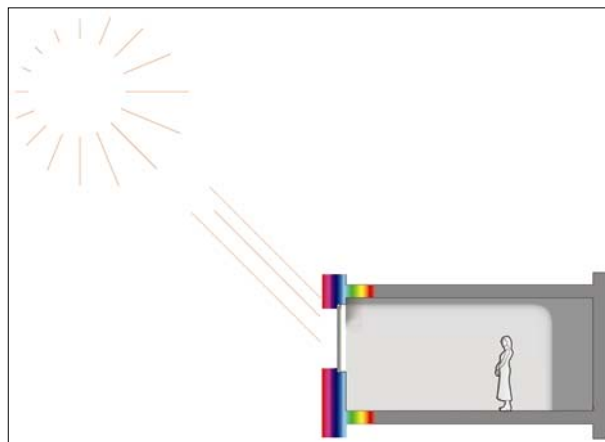


Abbildung 2: Heizwärmebedarf und solare Gewinne

1.3 Berechnungen sanierungsbedingter Unterschiede des quantitativen Diffuslichteintrages

Die Berechnungen der sanierungsbedingten Veränderungen von Diffuslichteinträgen werden im dritten Teil der vorliegenden Arbeit genau analysiert. Für weitere Analysen sind die in diesem Kapitel berechneten Tageslichtquotienten Ausgangspunkt für die Ermittlung von Tageslichtautonomien in Wohnungen vor und nach der Sanierung.

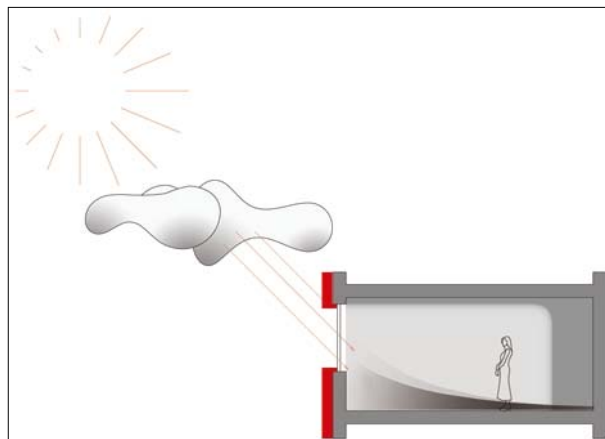


Abbildung 3: Tageslichtquotientenverlauf

1.4 Tageslichtautonomieberechnungen

Ergänzende Berechnungen zum quantitativen Diffuslichteintrag (Tageslichtquotientenberechnung) werden als Grundlage zu Wirtschaftlichkeitsberechnungen herangezogen, die angeben, wie lange das natürliche Tageslicht zur Aufrechterhaltung einer erforderlichen Beleuchtungsstärke ausreicht, bzw. wie lange Kunstlicht zugeschaltet werden muss und welche Veränderungen sich dabei durch Sanierungsmaßnahmen ergeben können. Die zu erwartenden Ergebnisse sind Grundlage für die Bewertung des für künstliche Beleuchtung notwendigen Energieverbrauchs.

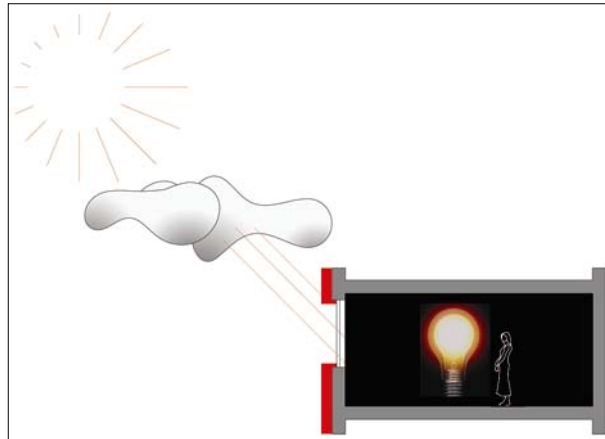


Abbildung 4: Tageslichtautonomie

1.5 Vergleichende Zusammenschau der Berechnungsergebnisse

In einer vergleichenden Gegenüberstellung der Berechnungen wird analysiert, welche Parallelen und Zusammenhänge zwischen den Einträgen von direktem und diffusem Licht sowie den erzielbaren solarenergetischen Gewinnen festgestellt werden können.

2. Berechnungsgrundlagen

2.1 Analyse von Sanierungsobjekten

Anhand einer Reihe von Untersuchungen an konkreten Objekten wird ein Profil einer typischen Wiener Wohnung erstellt. Wie eingangs erwähnt, war es durch die Mithilfe des Leiters der Wiener Wohnbauforschung Dr. Wolfgang Förster, der Geschäftsführerin des Wiener Wohnfonds DI Michaela Trojan und durch die Zusammenarbeit mit der Baugesellschaft Wien Süd und deren Projektverantwortlichen DI Gerald Batelka möglich, exemplarische Wohnungen in Wien Liesing zu sichten.



Abbildung 5: Lage von Liesing im wiener Stadtgebiet

In der Folge wurden die MieterInnen der jeweiligen Wohnungen schriftlich über das laufende Forschungsvorhaben informiert und gebeten, lichttechnische und geometrische Messungsarbeiten in ihren Privaträumen zu vereinbarten Terminen zu gestatten. Um den zeitlichen Aufwand und die damit verbundene Ruhestörung während der Datenerhebung so gering wie möglich zu halten, wurden geometrische und lichttechnische Messungen in den Wohnungen in einem Arbeitsgang im Februar und März 2010 durchgeführt.

Die zur Verfügung gestellten Wohnungen wurden (wie auch bereits in der Diffuslichtanalyse) auf strukturelle Parallelen untersucht, um einen möglichst häufig vorkommenden Wohnungstypus zur Berechnung heranziehen zu können.

Folgende Parameter waren von besonderem Interesse:

- Raumgeometrien der Wohn- und Aufenthaltsräume (Raumtiefe, Raumhöhe, Raumbreite)
- Geometrien der Fenster, Fenstertüren (Verhältnis von Rahmen- und Glasanteilen)
- Einseitige oder mehrseitige natürliche Raumbelichtung
- Vorgelagerte Bauteile wie Loggien, Balkone etc.

Die Wohngebäude wurden in etwa zur gleichen Zeit (zw. 1950 und 1970) und in vergleichbarer Bauweise errichtet (Massivbauweisen, Ziegelmauerwerk, Stahlbetonüberlager im Fensterbereich, Stahlbetondecken,..). Darüber hinaus befinden sich sämtliche Objekte in Wien Liesing und sind nur wenige Kilometer voneinander entfernt. Für die Berechnungsarbeiten können also identische äußere klimatische Bedingungen angenommen werden.

Sämtliche untersuchte Wohnungen verfügen sowohl über einen dem Wohnzimmer vorgelagerten Balkon und weisen ähnliche Raumgeometrien auf. Die Rahmenanteile der Fenster sowie deren Größen sind ebenfalls vergleichbar. Auch die Art der natürlichen Belichtung (einseitige Raumbefensterung) war bei allen Objekten gleich.

Zwei der untersuchten Wohnungen befinden sich in einem großen Wohnbau in der Meggagasse, der im vorvergangenen Jahr einer Sanierung unterzogen wurde.

Die vermessenen Räume weisen ähnliche Geometrien, die Fenster gleiche Bauweise und Geometrien auf. Beide Wohnungen wurden auch im Zuge der Diffuslichtanalyse zur Messung und Errechnung des quantitativen Lichteintrages herangezogen.

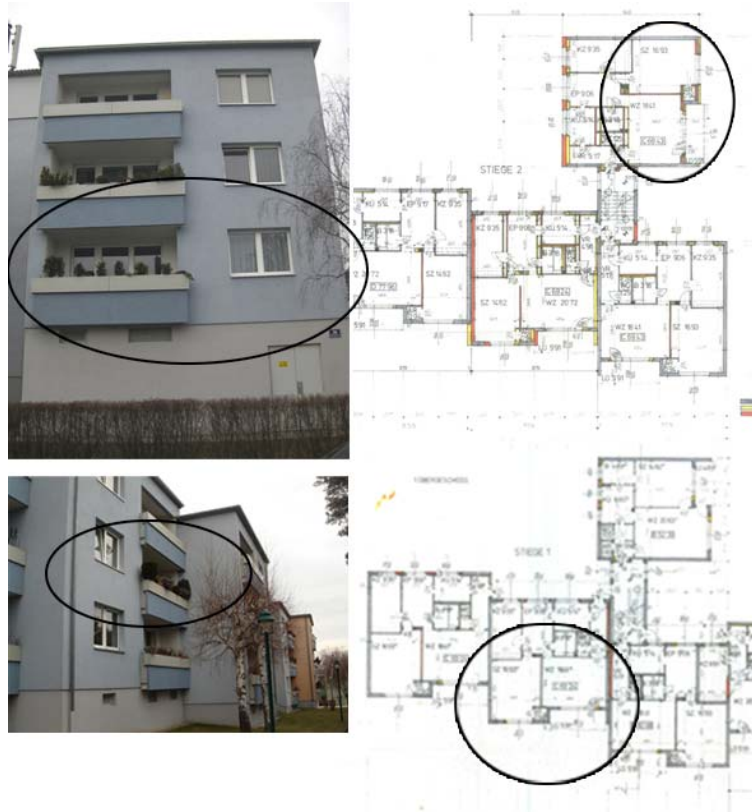


Abbildung 6: Wohnungsbeispiele Meggagasse, Außenansichten und Grundrisse

Weitere Wohnungen befinden sich in einem unsanierten Wohnbau aus den 1970er Jahren in der Endresstraße, der in naher Zukunft saniert werden soll. Wiederum sind die Raumstrukturen der übereinanderliegenden Wohnungen und die Befensterungen sehr ähnlich.



Abbildung 7: Wohnungsbeispiele Endresstraße, Außenansichten und Grundrisse

Ein dritter Wohnbau in der Bukalgasse beherbergt zwei weitere untersuchte Wohnungen. Geometrien der Aufenthaltsräume sowie deren Befensterung ist jenen der Vergleichsobjekte durchaus ähnlich.

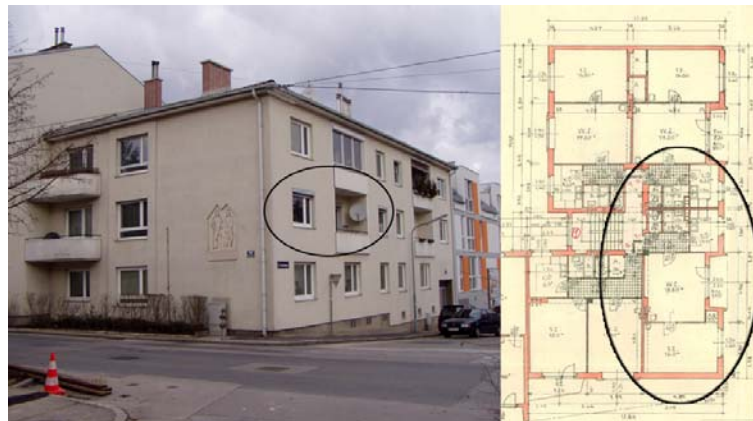


Abbildung 8: Wohnungsbeispiel Bukalgasse, Außenansicht und Grundriss

Die folgende Tabelle gibt Informationen über Raumstruktur, Fensterfläche- und Bauweise der vermessenen Wohnungen:

	SZ Schlafzimmer t/b/h [cm]	WZ Wohnzimmer t/b/h [cm]	Fensterfläche [m ²]	Rahmenanteil [%]	Belichtung
Meggaugasse_1	380/485/250	437/367/250	SZ 2,9 WZ 5,2	SZ34,8 WZ34,5	einseitig
Meggaugasse_2	455/369/250	368/490/250	SZ 2,9 WZ5,3	SZ34,8 WZ34,5	einseitig
Endresstraße_1	420/340/250	420/600/250	SZ2,8 WZ10,3	SZ34,9 WZ32,1	einseitig
Endresstraße_2	420/340/250	420/600/250	SZ2,8 WZ10,3	SZ34,9 WZ32,1	einseitig
Bukalgasse_1	490/330/260	380/450/260	SZ2,7 WZ3,95	SZ42,8 WZ35,2	einseitig

Tabelle 1: Raum- und Fensterstrukturen, Belichtungsarten der untersuchten Wohnungen

2.2 Art der Sanierungsdurchführung an den untersuchten Wohnungen

Die Art und Weise der durchgeführten bzw. geplanten Sanierungen ist für die untersuchten Wohnhäuser gleich und beinhaltet i.d.R. folgende Maßnahmen¹:

- + Verwendung von Holz, Holz/Alu oder Alu Fenster
(Es werden seitens der Stadt Wien keine Förderungen für PVC Fenster vergeben)
- + Übliche Flügel- und Rahmenansichtsbreite: 80mm + 40mm + 20mm Einbauluft
- + Übliche U-Werte für Rahmen $U_w = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$
- + Übliche U-Werte für Gläser $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$
- + Verwendete Glasabstandhalter aus Kunststoff
- + Max. Wärmedämmstärke: 16cm
Eine stärkere Dämmung ist aus baurechtlichen Gründen (Auskragung über öffentliches Gut) nicht möglich.
- + Stärke der Wärmedämmung im Leibungsbereich: mind. 4cm
- + Wärmedurchgangskoeffizient des Dämmmaterials: $\lambda = 0,031 \text{ W/mK}$

2.2.1 Auswahl einer Versuchswohnung

Für die Erstellung von standort- und orientierungsabhängigen Lichtberechnungen wird eine der untersuchten Wohnungen als Testobjekt ausgesucht, die aufgrund ihrer Größe und Ausstattung (einseitig belichtete Wohnräume, Loggia) strukturell mit den anderen untersuchten Wohnungen vergleichbar ist. Aufgrund von Ausrichtung (Süd) und geringer Verschattung durch

¹ Informationen lt. Herrn DI Batelka, Telefonat 29.Juni 2010

Nachbargebäude und Vegetation wird dieses Objekt als Musterwohnung für besonders geeignet erachtet.

Die Wohnung befindet sich im 2. Obergeschoß eines Wohnbaus in der Bukalgasse, wurde in den Jahren 1957 – 1958 errichtet und ist nach Süden zur Ketzergasse orientiert.

Das in Ziegelbauweise errichtete Haus (Außenwandstärken von 30 bzw. 38 cm) wurde im Jahr 1996 teilsaniert, wobei ein 3cm Wärmedämmverbundsystem außen an der Gebäudehülle angebracht und die Fenster getauscht wurden. Diese weisen folgende bauphysikalische Kennwerte auf:

- + 2-facher Wärmeschutzverglasung, Scheiben 4/12/4, Argonfüllung (85-90%),
- + $U_g = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$
- + $g = 63\%$,
- + $\tau = 80\%$
- + Fensterrahmenwerkstoff: PVC



Abbildung 9: Versuchswohnung Bukalgasse, Außenansichten

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind am Haus umfassende Sanierungsmaßnahmen in Umsetzung, mit denen zu Beginn der Forschungsarbeiten allerdings noch nicht begonnen wurde. Nach Beendigung der geometrischen und lichttechnischen Vermessungen im März 2010 wurden Sanierungsarbeiten gestartet, die Ende 2010 fertig gestellt sein sollten. Zudem erklärte sich die Baugesellschaft Wien Süd dankenswerterweise dazu bereit, eine alternative Sanierungsvariante mit abgeschrägten Fensterleibungen vorzunehmen.

Da dabei auftretenden Problem- und Aufgabenstellungen werden im Punkt 7 dieses Kapitels beschrieben.

2.3 Erhebung geometrischer Wohnungsdaten

Zuzüglich zu den durch die Baugesellschaft Wien Süd zur Verfügung gestellten Bestandsplänen, wurden im Zuge der Bauaufnahme am 8.3.2010 geometrische Daten der Versuchswohnen erhoben, die als Grundlage für die Bestandsplan- und Modellerstellung herangezogen wurden.

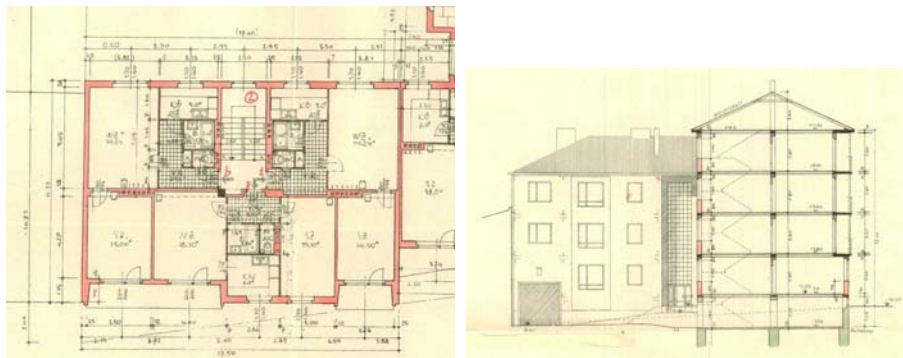


Abbildung 10: Versuchswohnung Bukalgasse, Grundriss und Schnitt

	SZ Schlafzimmer t/b/h [cm]	WZ Wohnzimmer t/b/h [cm]	Fensterfläche [m ²]	Rahmenanteil [%]	Belichtung
Versuchswohnung	505/305/260	455/392/260	SZ 1,75 WZ383	SZ38,8 WZ43	einseitig

Tabelle 2: Raum- und Fensterstrukturen, Belichtungsart der Versuchswohnung

Außen liegenden Verschattungsfaktoren wie Nachbargebäude oder Vegetation wurden nicht angenommen.

2.4 Untersuchte Räume

Die Versuchswohnung weist ein Wohnzimmer mit vorgelagertem Balkon sowie ein Schlafzimmer mit einem Fenster an der äußeren Fassade auf. Für die Berechnungen werden diese beiden wichtigsten Aufenthaltsräume herangezogen. Auf diese Weise kann untersucht werden, welchen Einfluss Sanierungen von baulichen Verschattungselementen wie Balkone oder Loggien auf den Lichteintrag in dahinter liegende Räume haben.

2.5 Auswahl von Sanierungsmaßnahmen

Gängige und in der Praxis häufig angewendete Maßnahmen der thermischen Sanierung sind im Kapitel 1 anhand der durchgeführten Umfrageauswertung detailliert beschrieben. Aus den daraus gewonnenen Erkenntnissen und aus den Ergebnissen der Diffuslichtanalyse, die im Besonderen eine Abschrägung von außen liegenden Fensterleibungen zur Lichteintragsmaximierung empfehlen, werden für die Berechnungen des direkten Lichteintrags vier Sanierungsvarianten definiert, die Eingang in die weiterführende Berechnungen finden.

Die Sanierungsmethoden Fenstertausch, Aufbringung von außen liegender Wärmedämmung sowie die spezielle Modellierung von Leibungsgeometrien werden zu folgenden Sanierungsvarianten kombiniert:

- 1 Aufbringung einer 10cm starken Wärmedämmung, kein Fenstertausch
- 2 Aufbringung einer 10cm starken Wärmedämmung, Fenstertausch, (neues Fenster mit verringertem Rahmenanteil bei gleicher bauphysikalischen Qualität der Fensterbauteile)
- 3 Aufbringung einer 10cm starken Wärmedämmung, 45° Abschrägung seitlich und im Sturzbereich, kein Fenstertausch (Aus konstruktiven Gründen setzt die Abschrägung 7cm außerhalb des Fensterrahmes an. Dadurch verringern sich notwendige Abbrucharbeiten am Bestandsmauerwert sowie die Gefahr von Wärmebrückenbildung)
- 4 Aufbringung einer 10cm starken Wärmedämmung, 45° Abschrägung seitlich und im Sturzbereich, Fenstertausch (neues Fenster mit verringertem Rahmenanteil, bei gleicher bauphysikalischer Qualität der Fensterbauteile)

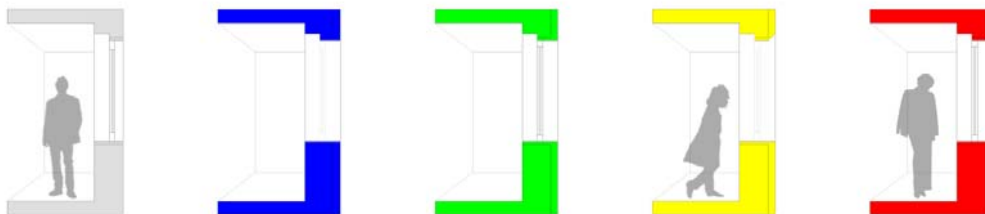


Abbildung 11: Grafische Darstellung des bestehenden Wandaufbaues und der 4 ausgewählten Sanierungsvarianten

Die in den untersuchten Wohnungen vorgefundene Befensterung ist ausnahmslos aus PVC-Profilen mit hohen Rahmenansichtsbreiten hergestellt. Für Sanierungsmaßnahmen mit Fenstertausch wird eine Reduktion der äußeren Rahmenansichtsbreite von 14cm auf 10cm angesetzt.

Bei einer Gesamtfensterfläche von $1,75\text{m}^2$ im Schlafzimmer verringert sich dadurch der Rahmenanteil von 38,85% auf 28,57%. Die Kombination von Fenster und Fenstertür im Wohnzimmer weist eine Gesamtfläche von $3,83\text{m}^2$ mit einem Rahmenanteil von 43,08%. Durch die Verschmälerung der Rahmenansichtsbreite ergibt sich eine Reduktion auf 33,68% Rahmenanteil.

3. Berechnungsdokumentation

3.1 Codierung der Sanierungsvarianten

Die vier ausgewählten Sanierungsvarianten werden zum besseren Verständnis und zur vereinfachten Lesbarkeit der Berechnungsergebnisse mit Farbcodes versehen, sämtliche Diagramme und Verlaufskurven folgen dieser Codierung:

- + Bestand, vor Sanierung: Grau
- + Sanierungsvariante 1: Blau
- + Sanierungsvariante 2: Grün
- + Sanierungsvariante 3: Gelb
- + Sanierungsvariante 4: Rot

Anhand folgender Abbildungen wird das geometrische Erscheinungsbild der ausgewählten Sanierungsvarianten verdeutlicht:



Abbildung 12: Räumliche Darstellung der bestehenden Außenwand

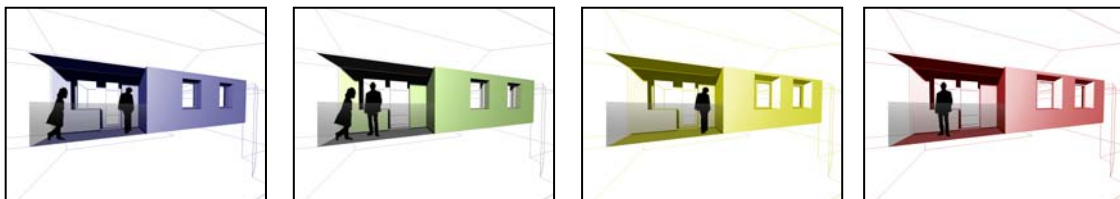


Abbildung 13: Räumliche Darstellung der 4 ausgewählten Sanierungsvarianten

3.2 Geometrische Modellbildung

Aus den im Zuge der Bauaufnahme erhobenen Messdaten werden digitale zwei- und dreidimensionale Wohnungsmodelle erstellt, die für weitere Berechnungen als Grundlage herangezogen werden.

Die Erstellung von zweidimensionalen Plänen erfolgt mit Hilfe der CAD Software Archicad 13.

Die angenommenen Sanierungsvarianten werden in den Berechnungsplänen ebenfalls dargestellt.

Die 2-dimensionalen Berechnungspläne werden als dxf files im Modellierprogramm

FomZ 3.8 importiert und dort zu einem dreidimensionalen Simulationsmodell weiterbearbeitet.

Neben den Raumstrukturen werden insbesondere die Geometrien der Fenster, Fensterleibungen und die sanierungsbedingten Veränderungen der Fassadengeometrie exakt abgebildet.

Die so entstandenen Modelle können als 3d Studio files in die lichttechnischen Berechnungsprogramme exportiert werden.

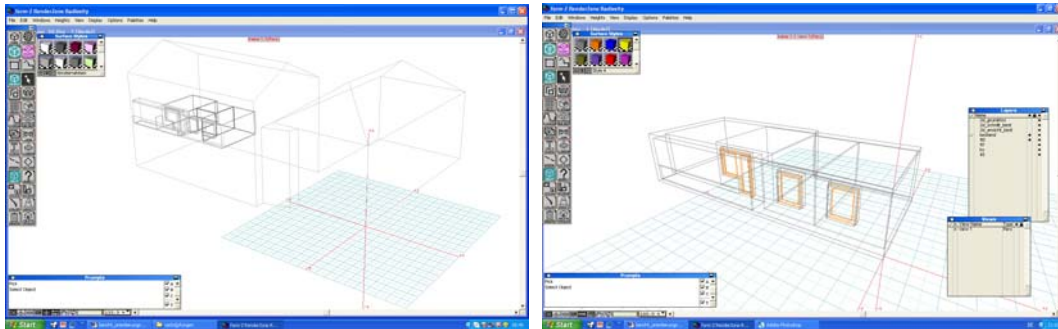


Abbildung 14: Digitales Gebäudemodell

3.2.1 Physisches Versuchsmodell

Auf Basis der erstellten Berechnungspläne wurde ein physisches Versuchsmodell im Maßstab 1:25 erstellt, das zur Visualisierung der Direktlichteinträge herangezogen wird.

Um eine möglichst realitätsnahe Versuchsumgebung sicherzustellen, werden nicht nur die geometrischen Wohnungsparameter sondern auch die optischen Qualitäten der Raumbooberflächen modellhaft erfasst. Die im Zuge der Wohnungsvermessung erstellten Photographien der Raumbooberflächen wurden großflächig ausgedruckt und auf die Bauteiloberflächen aufgeklebt.

Die sanierungsbedingten Veränderungen der Fassadengeometrien werden ebenfalls modellhaft nachgebaut und können auf das Modell aufgesetzt werden.

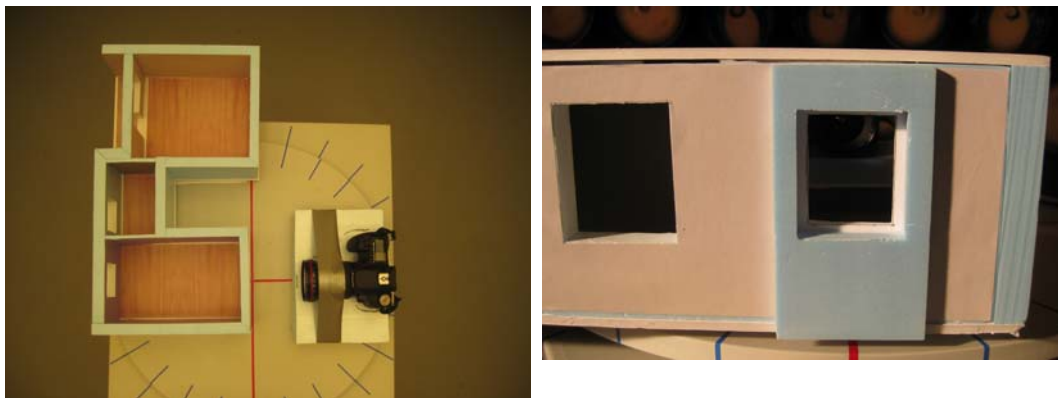


Abbildung 15: Wohnungsmodell

3.3 Verwendete Berechnungssoftware und Gerätschaften

3.3.1 Autodesk Ecotect Analysis 2010

Für die Berechnungen der jährlichen Gesamtsonnenscheindauer, des Auftretens von direktem Sonnenlicht in den Wohnungsinnenräumen sowie den sanierungsbedingten Unterschieden der Innenraumbesonnung wird das Softwarepaket Ecotect herangezogen.

Ecotect Analysis ist ein Produkt der Firma Autodesk und ist als kommerzielle Software erhältlich. Es unterstützt als Analysesoftware nachhaltig orientierte Bauvorhaben. Für diese Arbeit wurde es ausschließlich als Tool für den quantitativen Direktlichteintrag verwendet.²

3.3.2 Passivhaus-Projektierungs-Paket PHPP

Die sanierungsbedingten Unterschiede des Heizwärmebedarfes und der nutzbaren solaren Gewinne im Vergleich mit dem Wohnungszustand vor der Sanierung werden mit Hilfe des Passivhaus-Projektierungs-Paketes (PHPP) ermittelt.

Darin enthalten sind die Tools zur

- * Berechnung von Energiebilanzen (inkl. U-Wert-Berechnung)
- * Projektierung der Fenster, samt Verschattungselemente
- * Projektierung der Komfortlüftung
- * Auslegung der Heizlast
- * Voraussage für den sommerlichen Komfort
- * Auslegung von Heizung und Warmwasserbereitung

und weitere Werkzeuge für die zuverlässige Projektierung von Passivhäusern sowie auch der Nachweis für die Förderung von Passivhäusern (z.B. durch die KfW) und der vereinfachte Nachweis nach der Energiesparverordnung (EnEV).³

3.3.3 ReluxPro

Der quantitative Diffuslichteintrag ist Basis für weiterführende Berechnungen zur Ermittlung von notwendigen Kunstlichteinschaltzeiten. Diese erfolgen mit Hilfe des Softwarepaketes ReluxPro im progressive Radiosity Verfahren.

Relux Informatik AG, Schweiz, ist ein etabliertes Unternehmen für Entwicklung, Produktion und Vertrieb von anerkannter und gut validierter Lichtplanungssoftware.

Das Unternehmen operiert global und arbeitet eng mit seinen Vertretungen zusammen.

Relux ist heute ein Standard in der modernen Lichtplanung und bietet Lichtplanungssoftware mit offenen Schnittstellen und gleichzeitigem Zugang zu aktuellen Produktdaten von Leuchten-Sensor- und Lampenherstellern an.⁴

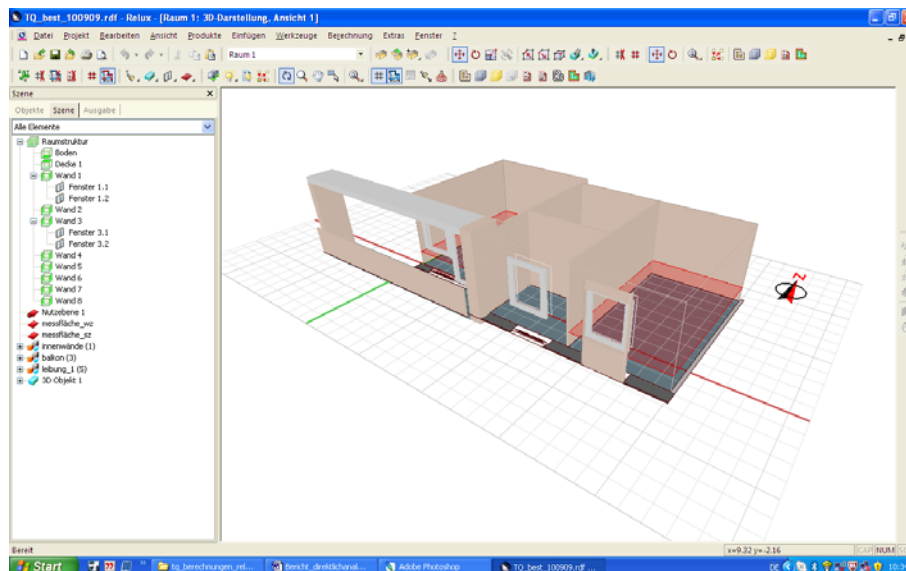


Abbildung 16: Digitales Berechnungsmodell mit nachgebildeter Fassadengeometrie

² <http://www.autodesk.de/adsk/servlet/pc/index?siteID=403786&id=15073595>

³ vgl. http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/PHPP.html

⁴ RELUX professional, Version 2, RELUX GmbH, aus dem Internet www.relux.biz vom 21.05.2009

3.3.4 Fotokamera und Optik

Für die fotografische Dokumentation zur Visualisierung des Direktlichteintrages in das Versuchsmodell wird eine Fotokamera vom Typ Canon EOS 50D mit einer Canon Zoom Lens EF 17-40mm Optik bei eingestellter Brennweite von 17mm verwendet.

3.3.5 Lichtlabor

Das Lichtlabor der Donau Universität Krems ist eine Kombination aus einer mit 230 Halogenhochvoltglühlampen bestückten Kuppel zur Simulation eines gleichmäßig bedeckten Himmels nach CIE und einer künstlichen Sonne. Diese setzt sich aus einer 1000W Hochvolt Halogenlampe und einem Parabolspiegel (Durchmesser ca. 1,2m) zusammen und ist auf einem beweglichen Schlitten befestigt, der mit Hilfe einer Seilwinde auf unterschiedliche Höhen manövriert werden kann. Durch einen drehbaren Messtisch auf Höhe des Horizonts können die Richtungen der tageszeitlichen Sonneneinstrahlung (Azimuteinstellungen) simuliert werden.

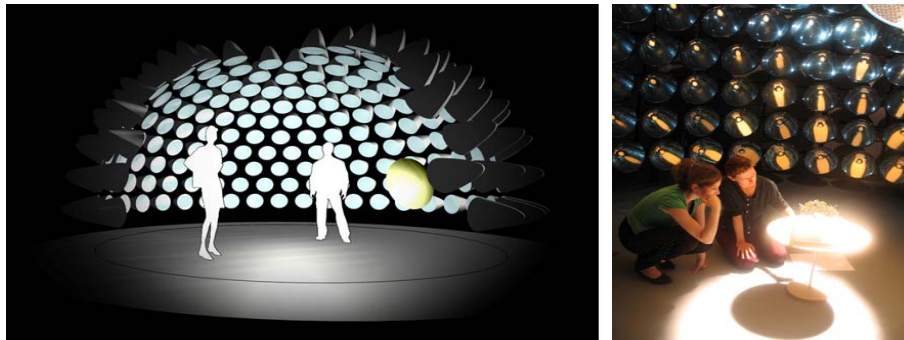


Abbildung 17: Lichtlabor, Leuchtenkuppel zur Simulation eines gleichmäßig bedeckten Himmels

Die Konstruktion ermöglicht es, durch Zuhilfenahme von Sonnenstandsdiagrammen gezielte Simulationen von Tageslichtsituation zu unterschiedlichen Jahres- und Tageszeiten, für jeden Erdstandort, vorzunehmen.

So bietet sich die Möglichkeit, Architekturmodelle in verschiedenen Maßstäben in unterschiedlichen Entwurfsphasen zu untersuchen. Außerdem ist die Anwendung mit kontrollierter Lichtmenge einsetzbar.

Lichteinfall, verzögerte Tageslichtmenge, Sichtbarkeit der Sonne und des Himmels, Beschattung, Vegetation, Blendung etc. sind nur einige Szenarien, die simuliert werden können.

Anhand von maßstäblichen Modellen können so quantitative, qualitative, raumbezogene oder auch städtebauliche Analysen durchgeführt werden.

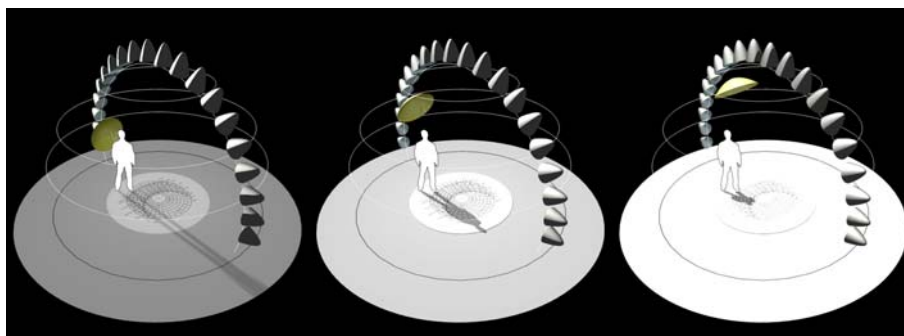


Abbildung 18: Lichtlabor, bewegliche Sonne zur Simulation von Sonnenständen

3.3.6 Bildbearbeitungssoftware

Die Bearbeitung der erstellten Modellfotos zur Verdeutlichung des Direktlichteintrages in die Wohnung erfolgt mit Hilfe des Bildbearbeitungsprogramms Adobe Photoshop CS2.

3.4 Physikalische Eingabeparameter

Für die computerunterstützten Berechnungen werden nachfolgende Einstellungen vorgenommen.

3.4.1 Eingabeparameter Berechnungssoftware zur Ermittlung des direkten Lichteintrags

Die Berechnungen werden mit Hilfe des Softwarepaketes Autodesk Ecotect 2010 durchgeführt. Folgende Eingabeparameter werden angesetzt:

- + Importierung der erstellten Bestands- und Sanierungsmodelle als 3D Studio-files (3ds).
- + Wetterdaten für den Standort Wien Schwechat werden aus der Online Datenbank des US Departments of Energy in das Softwarepaket Ecotect Analysis importiert.
- + Die Messflächen im Schlaf- bzw. Wohnzimmer sind in ein Raster von 20/16 Messpunkte aufgeteilt. Gesamtanzahl der Messpunkte: 320
- + Die Berechnungen erfolgen monats- bzw. jahresbezogen.
- + Die Messflächen in den Wohnräumen werden auf einer Höhe von 50cm über dem Fußboden positioniert (50cm ü FOK) und entsprechen den jeweiligen Raumgrößen. Abstände zu den raumbildenden Wänden werden nicht angenommen.

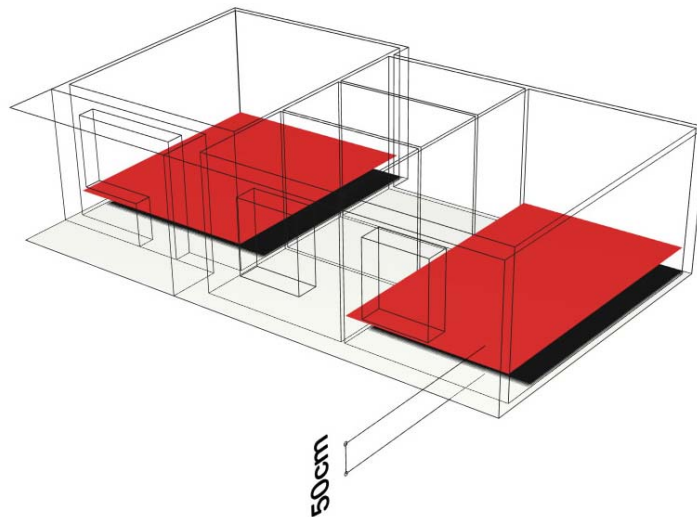


Abbildung 19: Messflächendarstellung

3.4.2 Eingabeparameter für die Berechnung des HWBs und der solaren Gewinne

Die Berechnungen werden mit Hilfe von PHPP durchgeführt. Folgende Eingabeparameter werden angesetzt:

Standort:	Wien, Groß Enzerdorf
U Wert Außenwand 1	0,5 W/m ² K
U Wert Außenwand 2	0,54 W/m ² K
U Wert Innenwand gg. ubh.	2,07 W/m ² K
U Wert Fenster Kunststoff, Rahmen	1,8 W/m ² K
U Wert Fenster Kunststoff, Glas	1,3 W/m ² K
Orientierung	N O S W

Tabelle 3: Bauphysikalische Parameter für Wand und Fensterbauteile

Die Eingabe zur Erfassung der Gebäudegeometrie, insbesondere der sanierungsbedingten Verschattungsfaktoren durch veränderte Leibungsgeometrien, folgen den Bestandsplänen bzw. den 4 gezeichneten Sanierungsvarianten.

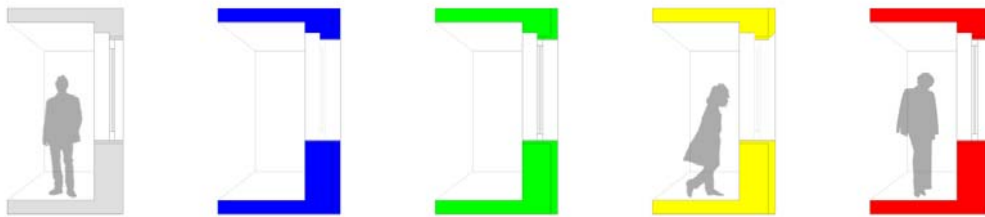


Abbildung 20: Grafische Darstellung des bestehenden Wandaufbaues und der 4 ausgewählten Sanierungsvarianten

3.4.3 Eingabeparameter Tageslichtquotient- und autonomieberechnung

Zur Berechnung von Tageslichtquotienten und zur weiterführenden Berechnung der notwendigen Zuschaltzeiten von Kunstlicht werden die Festlegungen für Fenster und optische Innenraumqualitäten wie folgt getroffen:

Fensterparameter

Sämtliche Fenster in der Außenhülle werden entsprechend den Angaben der Baugesellschaft Wien Süd als Zweischeiben Wärmeschutzverglasungen berücksichtigt.

Lichttransmission t_v	80%
Abschwächungsfaktor durch Verschmutzung	0,98
Abschwächungsfaktor durch Rahmenanteile	1

Tabelle 4: Eingabeparameter für den Strahlungsdurchgang durch Verglasungen

Da die genaue Fenstergeometrie bereits im 3d Simulationsmodell nachgebildet ist, wird keine zusätzliche Abschwächung durch Fensterrahmen angenommen und der Faktor demnach gleich 1 gesetzt.

Reflexionsgrade der Innenoberflächen

Die optischen Qualitäten der Innenraumoberflächen werden den Anforderungen der Norm 5034 – 4 angepasst.

Reflexionsgrad Böden p_b	20%
Reflexionsgrad Wände p_w	60%
Reflexionsgrad Decken p_d	70%

Tabelle 5: Eingabeparameter für optische Eigenschaften von Oberflächen

Berechnungsparameter

Folgende Parameter zur Berechnung von mittleren Tageslichtquotienten werden angenommen:

Genauigkeit:	hoher Indirektanteil
Rasterung:	grobe Rasterverfeinerung
Himmel:	bedeckter Himmel nach CIE

Tabelle 6: Eingabeparameter für die Diffuslichtberechnung

Die Berechnungen erfolgen, entgegen den Vorgaben der Norm 5034, nicht auf einer Messebene 85cm über der Fußbodenoberkante (ü FOK), sondern 50cm ü FOK. Ein seitlicher Abstand der Messebene von 1m zur Raumbegrenzungswand wird nicht eingehalten. Begründet wird dies damit, dass Aktivitäten des Wohnens (Lesen und Liegen auf einem Sofa, Kinderspiel am Boden, etc.) tendenziell bodennäher (~in 50cm Höhe) stattfinden als Arbeitstätigkeiten (85cm ü FOK).

Berechnungsparameter zur Ermittlung der Tageslichtautonomie

In einschlägigen Normen finden sich keine Hinweise hinsichtlich erforderlicher Mindestbeleuchtungsstärken und täglichen Nutzungszeiten von Wohnungen, da diese einem individuellen Gebrauch unterliegen und eine Standardisierung demnach nur sehr schwer möglich ist. Die Berechnungen der Einschaltzeiten von notwendigem Kunstlicht zur Aufrechterhaltung einer angenommenen Beleuchtungsstärke in Wohnungen beziehen sich daher auf häufige, statistisch erhobene Nutzungszeiten von Wohngebäuden.

Im Buch *Faustformeln Gebäudetechnik* (Michael Hayner, Jo Ruoff, Dieter Thiel, Deutsche Verlags-Anstalt, 2010, S 118) finden sich dazu weiterführende Angaben, auf die sich die gegenständlichen Berechnungsannahmen stützen.



Abbildung 21. Zeitliches Nutzungsprofil von Wohngebäuden

Geforderte Mindestbeleuchtungsstärke	300 lx
Bemessungszeitraum	7:00 - 22:00
Sonnenwahrscheinlichkeit	ganzjährig 40%

Tabelle 7: Berechnungsparameter für die Ermittlung der Tageslichtautonomie

Automatisierte Bedienungen wie Präsenzmelder oder manuelle Bedienung durch den Nutzer werden nicht angenommen. Es wird jene Zeit dargestellt, an denen der Tageslichtanteil alleine nicht ausreicht und das Kunstlichtsystem automatisch oder manuell zugeschaltet werden muss.

4. Berechnungsauswertung

Die Auswertungsmethodik folgt der Aufgabenstellung.

4.1 Berechnung der jährlichen Gesamtsonnenscheindauer

Mit Hilfe des Kalkulationstools Solar Access Analysis des Softwarepaketes Autodesk Ecotect Analysis 2010 wird für den Standort Wien die Gesamtsonnenscheindauer während eines Jahres (1. Jänner – 31. Dezember, jeweils von 0.00 bis 24.00, ohne Bewölkungsanteile) auf einer horizontalen und unverschatteten Messfläche ermittelt. Anhand einer Verlaufskurve wird der jährliche Verlauf der täglich auftretenden Sonnenstunden gezeigt.

4.2 Berechnungen zum zeitlichen Auftreten von direktem Licht

Berechnet wird das Auftreten von direktem Lichteintrag auf die Messfläche in den untersuchten Räumen. Mit Hilfe des Kalkulationstools Sun Path Diagram des Softwarepaketes Autodesk Ecotect Analysis 2010 wird in polaren Sonnenbahndiagrammen dargestellt, in welchen Monaten und zu welcher Tageszeit die jeweiligen Mittelpunkte der Messflächen in den untersuchten Räumen von direktem Sonnenlicht getroffen werden. Die Ermittlungen werden für alle 4 angenommenen Himmelsrichtungen durchgeführt.

4.3 Berechnung der sanierungsbedingten Unterschiede des quantitativen Direktlicheintrages

Die sanierungsbedingten Unterschiede des quantitativen Lichteintrages werden auf Messflächen in den Versuchsräumen ermittelt.

Unter Anwendung des Softwarepaketes Autodesk Ecotect Analysis 2010 und dem Berechnungstool Solar Access Analysis wird die durchschnittliche Besonnungsdauer auf den Messpunkten der Flächen während eines Jahres und jedes Monats errechnet.

Dieser Berechnungsvorgang wird für jede Sanierungsvariante bei jeder Orientierung (N, O, S, W) durchgeführt. Die ausgerechneten Werte werden in Stunden bzw. Minuten angegeben.

Auf diese Weise können sanierungsbedingte Unterschiede der Besonnungszeiten in der Wohnung ermittelt und Verlaufskurven angefertigt werden, die orientierungsabhängige Unterschiede der Raumbesonnung zeigen.

Sanierungsbedingte Unterschiede des quantitativen Direktlicheintrages werden durch Modellfotos und Falschfarbendarstellungen visualisiert.

4.3.1 Darstellung des Direktlicheintrages anhand von Falschfarbendiagrammen

Die Verteilungen der Besonnungszeiten einzelner Punkte auf der Messfläche während eines Jahres werden anhand von Falschfarbendiagrammen dargestellt. Die Unterschiede der Dauer der Besonnung werden dabei farblich gekennzeichnet.

Gelbe Farbe bedeuten eine gesamtjährliche Besonnungszeit von 500 Stunden und mehr, blaue Farbe markiert jene Bereiche der Messfläche, die nie von direktem Sonnenlicht getroffen werden. Die Darstellung erfolgt anhand der Wohnungsgrundrisse.

Mit Hilfe der Darstellungsmethode Pt Cloud wird das durchlichtete Raumvolumen dreidimensional dargestellt. Die dazu erforderliche Berechnung bezieht sich also nicht auf eine einzelne Messfläche, sondern wird für bodenparallele Bezugsflächen im Abstand von 10cm über die gesamte Raumhöhe durchgeführt. Die Farbcodierung zur Kennzeichnung der Besonnungszeiten im Raum erfolgt analog zu jener der Messflächendarstellung.

Durch diese Darstellungen wird die Durchlichtung von Versuchsräumen bei unterschiedlicher Sanierung und Gebäudeorientierung veranschaulicht. Sanierungsbedingte und orientierungsabhängige Veränderungen der Durchlichtung werden verdeutlicht.

4.3.2 Darstellung des Direktlichteintrages anhand von Modellfotos

Im Lichtlabor der Donau-Universität Krems wird der direkte Lichteintrag im Sommer (21. Juni), Frühling (21. März) sowie Winter (21. Dezember) jeweils um die Mittagszeit (bei Sonnenhöchststand) nachempfunden. Eine Fotokamera dokumentiert den Lichteintrag im Inneren des Versuchsmodells (der beiden Versuchsräume SZ und WZ) bei eingestellter Orientierung OstSüdOst (OSO), SüdSüdOst (SSO), Süd (S), SüdSüdWest (SSW), WestSüdWest (WSW). Dieser Dokumentationsvorgang wird für den modellhaft dargestellten Gebäudezustand vor der Sanierung bzw. bei Sanierungsvariante 1 und Sanierungsvariante 4 durchgeführt.



Abbildung 22: Geräteanordnung für Modellaufnahmen im Lichtlabor; künstliche Sonne, Modell, Kamera

Je Gebäudezustand werden die dokumentierten Direktlichteinträge der 5 angenommenen Orientierungen mit Hilfe einer Bildbearbeitungssoftware überlagert und dargestellt. Die unter dem Einfluss der jeweiligen Sanierungsvarianten besonnten Innenraumbooberflächen werden gemäß Farbcodierung umrandet (Bestand Grau, Sanierungsvariante 1 Blau, Sanierungsvariante 4 Rot). Auf diese Weise werden die Unterschiede der Raumbesonnung sichtbar gemacht.



Abbildung 23: Darstellung der Überlagerung von direkt belichteten Modellfotos bei unterschiedlicher Gebäudeorientierung

4.4 Berechnung der sanierungsbedingten Unterschiede von HWB und solaren Gewinne

Heizwärmebedarf und nutzbare solare Gewinne hängen von der Wohnungsorientierung ab. Deshalb werden für die PHPP Berechnungen Wohnungsorientierungen nach Nord, Ost, Süd, und West angenommen. Die Ergebnisse werden in Form von Säulendiagrammen dargestellt.

4.5 Berechnung der sanierungsbedingten Unterschiede von Einschaltzeiten notwendigen Kunstlichts

Die im Vorfeld eruierten Tageslichtquotienten in der Versuchswohnung vor der Sanierung bzw. nach Anwendung der vier Sanierungsvarianten werden als Berechnungsgrundlage zur Ermittlung der Tageslichtautonomie herangezogen. Diese erfolgt sowohl ganzjährig als auch monatsweise. Dadurch wird ersichtlich, zu welchen Jahreszeiten und in welchen Monaten mit dem größten notwendigen Kunstlichtbedarf zu rechnen ist.

Die Ergebnisse werden in Form von Säulendiagrammen, die das gesamtjährliche Verhältnis von Kunstlichtbedarf zu ausreichendem Tageslichtangebot darstellen, und Verlaufskurven, die den monatlich notwendigen Kunstlichtanteil zur Aufrechterhaltung der notwendigen Beleuchtungsstärke von 300lux während des Benutzungszeitraumes zeigen, dargestellt. Da sich die Berechnungen auf Ermittlung von Tageslichtquotienten beziehen (quantitativer Lichteintrag von diffusem Licht) sind Wohnungsorientierungen für diese Untersuchungen nicht von Relevanz.

5. Berechnungsergebnisse

5.1 Ergebnisse zu den Berechnungen des quantitativen Direktlichteintrages

Die Berechnungsergebnisse weisen bei Anwendung unterschiedlicher Sanierungsvarianten sowohl vermehrte als auch verminderte Direktlichteinträge, verglichen mit der Besonnungsdauer der Messflächen in der unsanierten Versuchswohnung, auf.

Die Höhe der Lichtzunahmen bzw. -einbußen sind dabei orientierungsabhängig.

5.1.1 Sonnenscheindauer

Für den Standort Wien wurde eine potentielle jährliche Sonnenscheindauer (Sonnenhöhe $> 0^\circ$, 0% Bewölkungsanteil) von 4315 Stunden errechnet.

Die durchschnittliche, tägliche Sonnenscheindauer variiert dabei zwischen ca. 8 Stunden (Dezember) und 15,4 Stunden (Juni).

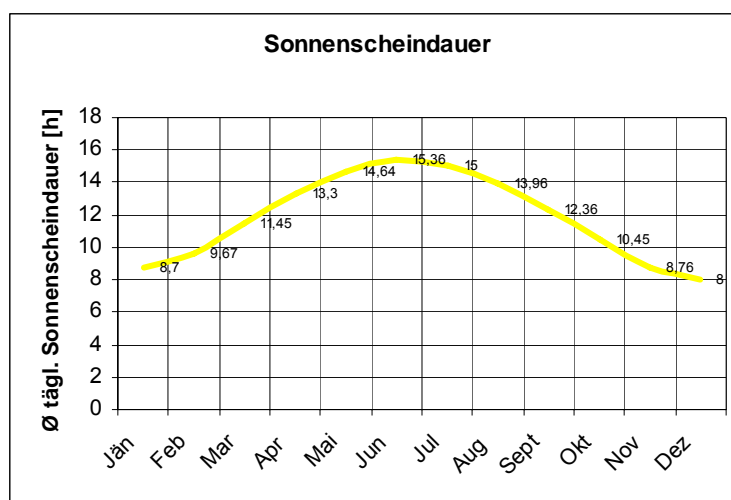


Abbildung 24: Tägliche Sonnenscheindauer, monatsbezogen

5.1.2 Zeitabschnitte direkten Lichteintrags

Die nachfolgenden graphischen Darstellungen zeigen anhand von polaren Sonnenbahndiagrammen, zu welchen Tageszeiten und in welchen Monaten direktes Sonnenlicht auf dem Mittelpunkt der Messflächen im Schlaf- und Wohnzimmer fällt.

Direktlicht im Schlafzimmer

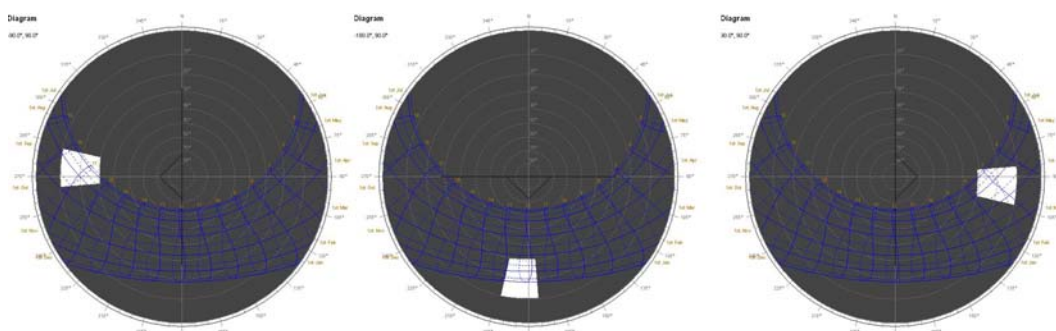


Abbildung 25: Auftreten von Direktlicht auf der Messfläche im Schlafzimmer im Verlauf eines Jahres, bei West- Süd- und Ostorientierung

Bei Westorientierung wird der Messflächenmittelpunkt zwischen April und September von direktem Licht getroffen. Die längste Besonnungsphase tritt dabei im August und Mai auf und dauert etwa von 16.00 bis 18.00.

Bei Südorientierung wird der Messflächenmittelpunkt zwischen November und Februar erreicht wobei im Dezember um die Mittagszeit mit der längsten Besonnungsphase von ca. 1 Stunde zu rechnen ist.

Bei Ostorientierung tritt direktes Licht zwischen März und Oktober auf dem Messflächenmittelpunkt auf. Im August und Mai ist mit der längsten Besonnungszeit von ca. 2 Stunden zu rechnen.

Direktlicht im Wohnzimmer

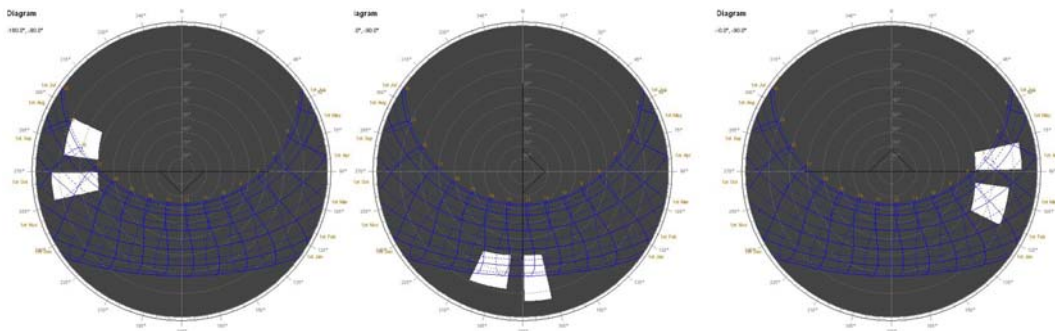


Abbildung 26: Auftreten von Direktlicht auf der Messfläche im Wohnzimmer im Verlauf eines Jahres, bei West- Süd- und Ostorientierung

Bei Westorientierung wird der Messflächenmittelpunkt zwischen April und Oktober von direktem Licht getroffen. Die längste Besonnungsphase tritt dabei im August und Mai auf und dauert etwa von 17.00 bis 18.00. Bei Südorientierung wird der Messflächenmittelpunkt zwischen Oktober und Februar erreicht, wobei im Dezember um die Mittagszeit mit der längsten Besonnungsphase von ca. 3 Stunde zu rechnen ist. Bei Ostorientierung tritt direktes Licht zwischen März und Oktober auf dem Messflächenmittelpunkt auf. Im August und Mai ist mit der längsten Besonnungszeit von ca. 2 Stunden zu rechnen.

5.1.3 Orientierungsabhängige Unterschiede des Direktlichteintrages

Die Dauer der jährlichen Raumbesonnung im Schlafzimmer der Versuchswohnung im Zustand vor der thermischen Sanierung ist stark von der Orientierung abhängig.

Für unterschiedliche Ausrichtungen wurde folgende durchschnittliche jährliche Besonnungsdauer der Messfläche im Schlafzimmer ermittelt:

- + 114,5 Stunden bei Südorientierung
- + 88 Stunden bei Ost- bzw. Westorientierung.

Ähnliches gilt für die Besonnungsdauer des hinter einem auskragenden Balkon gelegenen Wohnzimmerbereichs.

- + 157 Stunden bei Südorientierung
- + 135 Stunden bei Ostorientierung
- + 102 Stunden bei Westausrichtung

5.1.4 Sanierungsabhängige Unterschiede des quantitativen Direktlichteintrages

Sanierungsvarianten, bei denen eine Verringerung des Fensterrahmenanteils vorgesehen ist, ermöglichen einen Zugewinn des direkten Lichteintrages verglichen mit jenem vor der Sanierung. Für die angenommenen Sanierungsvarianten 2 und 4 bedeutet dies für unterschiedliche Orientierungen Zugewinne des Direktlichteintrages im Schlafzimmer im Ausmaß zwischen ca. 1,8-17,6%.

Direktlichtzugewinne	Variante 2	Variante 4
Südorientierung:	+ 1,80%	+ 8,50%
Ostorientierung:	+ 10,20%	+ 15,20%
Westorientierung	+ 11,20%	+ 17,60%

Tabelle 8: Zugewinne von Direktlichteinträgen im Schlafzimmer durch Sanierungsvariante 2 und 4

Sanierungsmethoden ohne Fensterrahmenreduktion (Variante 1 und 3) bewirken dagegen generell eine Verminderung des Direktlichteintrages. Diese Lichteinbußen zwischen 0,3 und 9,1%:

Direktlichtverluste	Variante 1	Variante 3
Ostorientierung	-5,90%	-2,10%
Westorientierung	-4,10%	-0,30%
Südorientierung	-9,10%	-4,70%

Tabelle 9: Verluste von Direktlichteinträgen im Schlafzimmer durch Sanierungsvariante 1 und 3

Die Auswertungen incl. der Zugewinne und Verluste sind in Säulendiagrammen eingetragen:

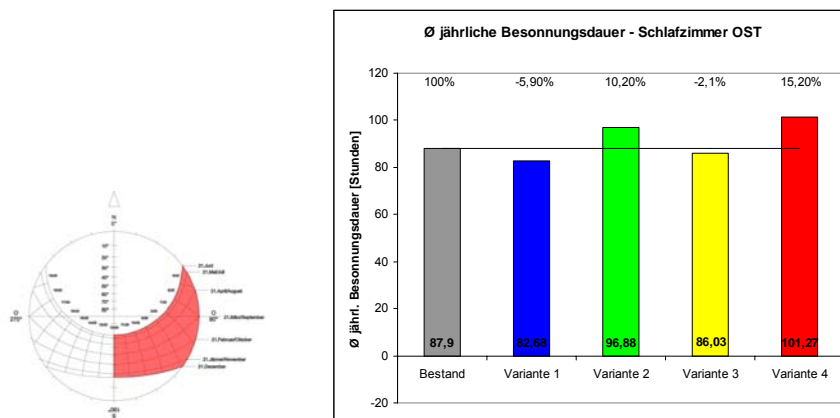


Abbildung 27: Jährliche Besonnungsdauer der Messfläche im Schlafzimmer bei Ostorientierung, im Bestandszustand und bei den Sanierungsvarianten 1-4, Darstellung der Zugewinne bzw. Verluste in Prozent

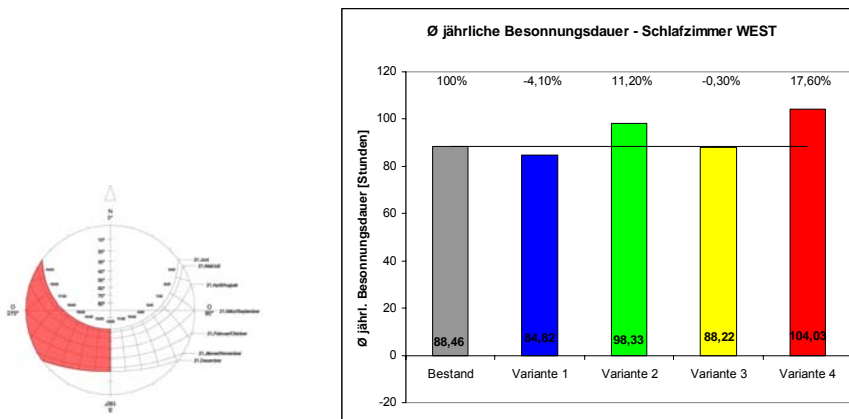


Abbildung 28: Jährliche Besonnungsdauer der Messfläche im Schlafzimmer bei Westorientierung, im Bestandszustand und bei den Sanierungsvarianten 1-4, Darstellung der Zugewinne bzw. Verluste in Prozent

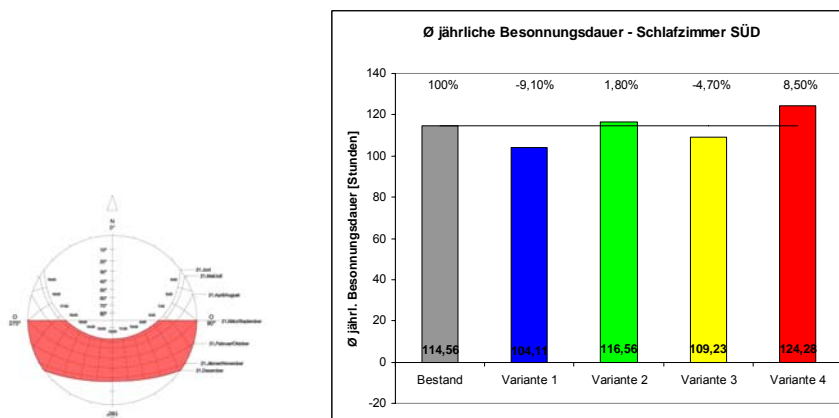


Abbildung 29: Jährliche Besonnungsdauer der Messfläche im Schlafzimmer bei Südorientierung, im Bestandszustand und bei den Sanierungsvarianten 1-4, Darstellung der Zugewinne bzw. Verluste in Prozent

Im Wohnzimmerbereich werden 2 Sanierungsvarianten untersucht, die eine Aufbringung von Wärmedämmung ohne bzw. mit Fenstertausch vorsehen (Sanierungsvariante 1 und 2) Wiederum können Direktlichtzugewinne für die Sanierungsvariante mit Fenstertausch abgebildet werden:

Direktlichtzugewinne	Variante 2
Ostorientierung:	+ 14,60%
Westorientierung	+ 11,20%
Südorientierung:	+ 8,50%

Tabelle 10: Zugewinne von Direktlichteinträgen im Wohnzimmer durch Sanierungsvariante 2

Gleichzeitig sind Direktlichtverluste bei Sanierung ohne Fenstertausch zu erkennen:

Direktlichtverluste	Variante 1
Ostorientierung	-7,60%
Westorientierung	-9,50%
Südorientierung	-10,82%

Tabelle 11: Verluste von Direktlichteinträgen im Schlafzimmer durch Sanierungsvariante 1

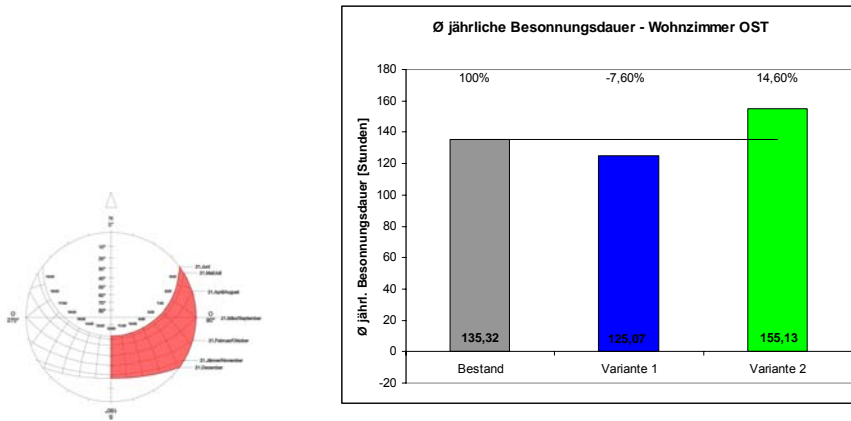


Abbildung 30: Jährliche Besonnungsdauer der Messfläche im Wohnzimmer bei Ostorientierung, im Bestandszustand und bei den Sanierungsvarianten 1 und 2, Darstellung der Zugewinne bzw. Verluste in Prozent

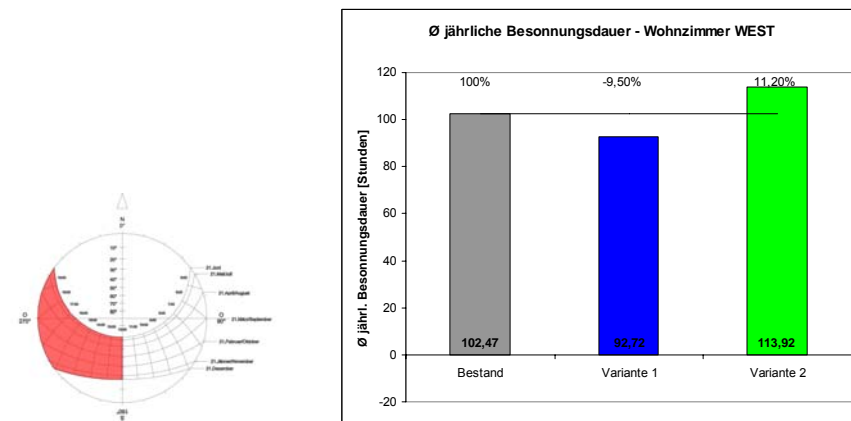


Abbildung 31: Jährliche Besonnungsdauer der Messfläche im Wohnzimmer bei Westorientierung, im Bestandszustand und bei den Sanierungsvarianten 1 und 2, Darstellung der Zugewinne bzw. Verluste in Prozent

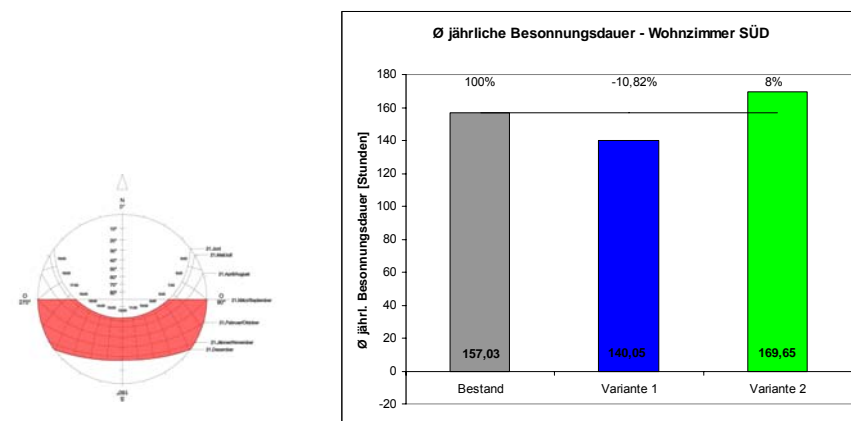


Abbildung 32: Jährliche Besonnungsdauer der Messfläche im Wohnzimmer bei Südorientierung, im Bestandszustand und bei den Sanierungsvarianten 1 und 2, Darstellung der Zugewinne bzw. Verluste in Prozent

5.1.5 Unterschiede von Besonnungszeiten im jahreszeitlichen Verlauf

Die Darstellungen der monatlichen Verläufe von Besonnungszeiten verdeutlichen ihre starke Orientierungsabhängigkeit;

Jahreszeitliche Besonnungsdauer bei Ost- bzw. Westorientierung

Die Raumbesonnung in den Herbst- bzw. Wintermonaten von Oktober bis Februar sind rel. kurz (\emptyset etwa 5 Minuten Besonnungszeit pro Tag), nehmen ab dem Monat März stark zu und konsolidieren sich von April bis August auf hohem Niveau (\emptyset etwa 20 Minuten pro Tag) um im September wieder rapide abzunehmen.

Verglichen mit den monatsbezogenen Tagesmittelwerten der Besonnungszeiten im Zustand vor der Sanierung werden diese bei angenommener Sanierungsvariante1 ganzjährig nicht erreicht. Bei Sanierungsvariante 3 werden ähnliche Berechnungsergebnisse wie im Zustand vor der Sanierung erzielt, was auch aufgrund der ermittelten jährlichen Besonnungsdauer erwartet werden konnte.

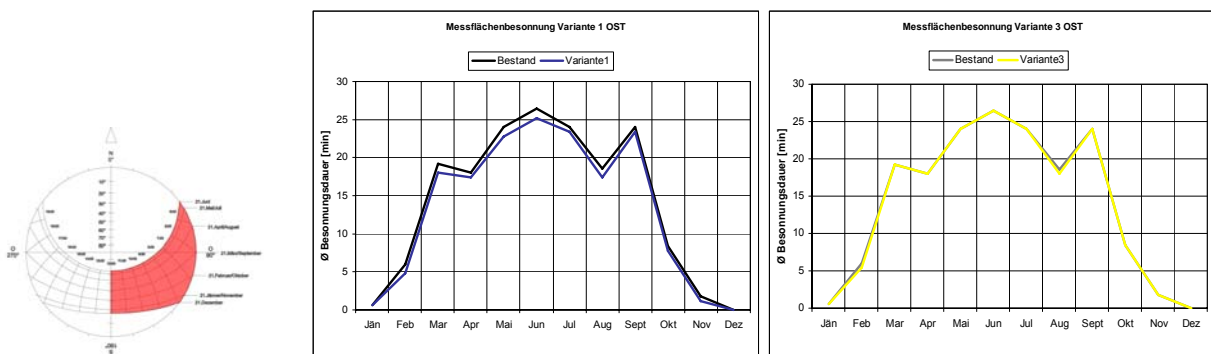


Abbildung 33: Darstellung der Reduktionen des monatlichen Direktlichteintrages im Schlafzimmer bei Sanierungsvariante 1 und 3 im Vergleich zum Bestandszustand, bei Ostorientierung

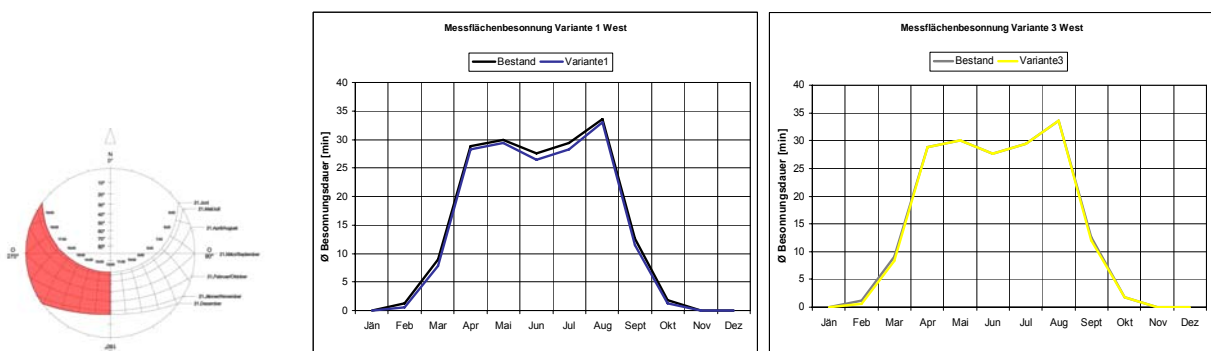


Abbildung 34: Darstellung der Reduktionen des monatlichen Direktlichteintrages im Schlafzimmer bei Sanierungsvariante 1 und 3 im Vergleich zum Bestandszustand, bei Westorientierung

Im Fall von Sanierungsvariante 2 und Sanierungsvariante 4 werden die Vergleichswerte vor der Sanierung in jedem Monat überboten. Die Verlängerung der durchschnittlichen Besonnungsdauer beträgt dabei bis ca. 4 bzw. 7 Minuten pro Tag.

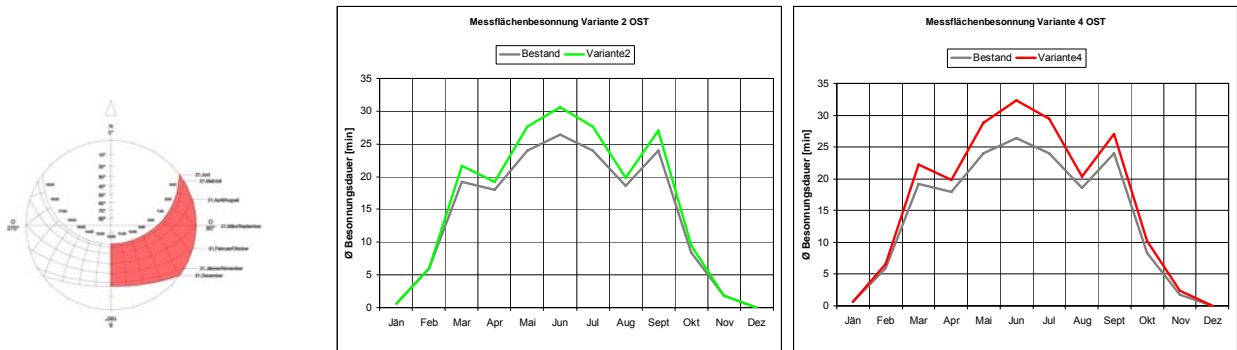


Abbildung 35: Darstellung der Steigerungen des monatlichen Direktlichteintrages im Schlafzimmer bei Sanierungsvariante 2 und 4 im Vergleich zum Bestandszustand, bei Ostorientierung

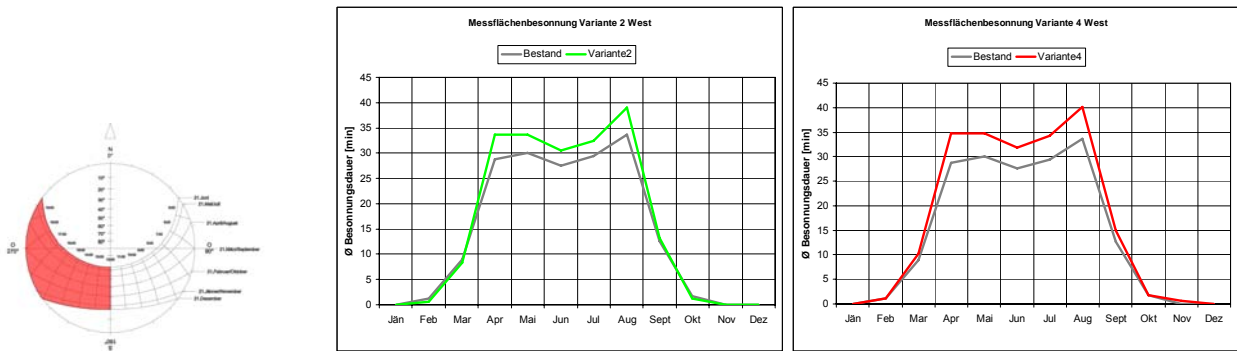


Abbildung 36: Darstellung der Steigerungen des monatlichen Direktlichteintrages im Schlafzimmer bei Sanierungsvariante 2 und 4 im Vergleich zum Bestandszustand, bei Westorientierung

Die Besonnungsdauer im Wohnzimmerbereich bei Sanierungsvariante 1 bzw. 2 unter- bzw. überschreiten jene vor der Sanierung.

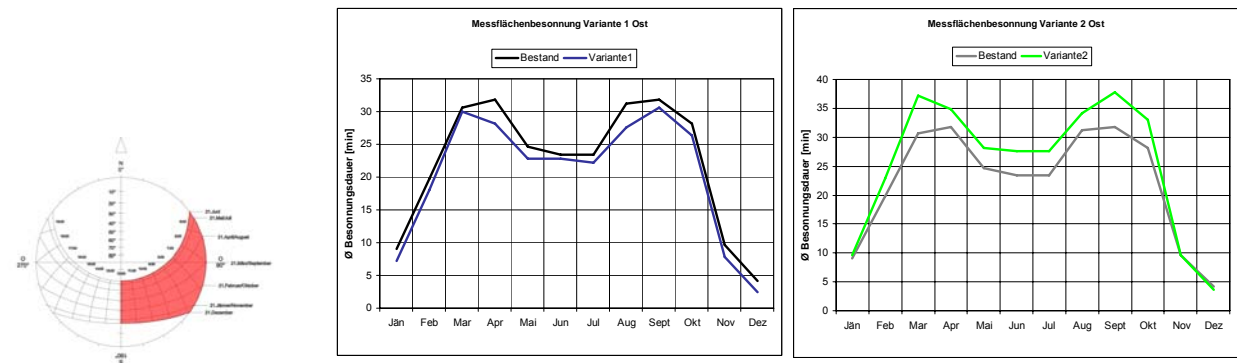


Abbildung 37: Darstellung der Reduktion bzw. Steigerungen des monatlichen Direktlichteintrages im Wohnzimmer bei Sanierungsvariante 1 und 2 im Vergleich zum Bestandszustand, bei Ostorientierung

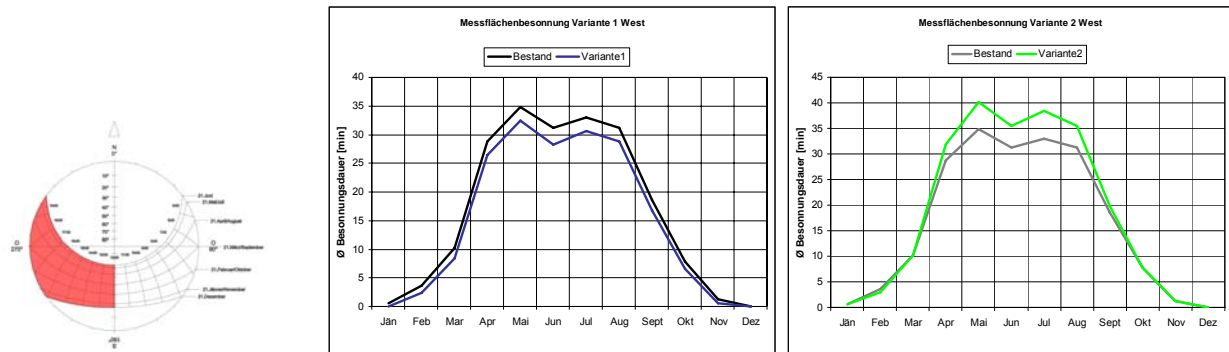


Abbildung 38: Darstellung der Reduktion bzw. Steigerungen des monatlichen Direktlichteintrages im Wohnzimmer bei Sanierungsvariante 1 und 2 im Vergleich zum Bestandszustand, bei Westorientierung

Jahreszeitliche Besonnungsdauer bei Südorientierung

Die monatsweise ermittelten Besonnungszeiten der Messflächen bei Südausrichtung verhalten sich anders als bei Ost- bzw. Westorientierung:

In der ersten Jahreshälfte fallen sie von durchschnittlich ca. 30 Minuten pro Tag kontinuierlich auf etwa 3 Minuten pro Tag ab und beginnen ab dem Monat Juni wieder zu steigen.

Wiederum werden die vor der Sanierung errechneten Besonnungszeiten der Messflächen bei angenommener Sanierungsvariante 1 ganzjährig nicht erreicht. Im Fall von Sanierungsvariante 3 sind die errechneten Werte jenen des Ausgangszustandes allerdings sehr ähnlich.

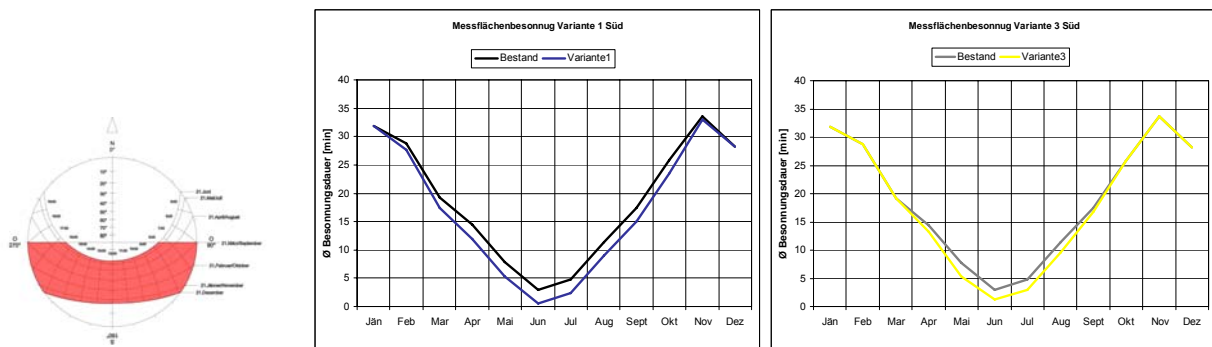


Abbildung 39: Darstellung der Reduktionen des monatlichen Direktlichteintrages im Schlafzimmer bei Sanierungsvariante 1 und 3 im Vergleich zum Bestandszustand, bei Südorientierung

Die Verlaufskurven der monatlichen Besonnungsdauer der Messflächen bei angenommener Sanierungsvariante 2 und 4 weisen Besonderheiten auf:

Sie zeigen, dass die Besonnungszeiten in den Herbst- und Wintermonaten (Oktober bis Februar) um durchschnittlich ca. 5 bzw. 7 Minuten länger ausfallen, als jene im Bestandszustand.

In den Frühlings- und Sommermonaten (März bis September) werden sie allerdings um ca. 3 Minuten pro Tag kürzer.

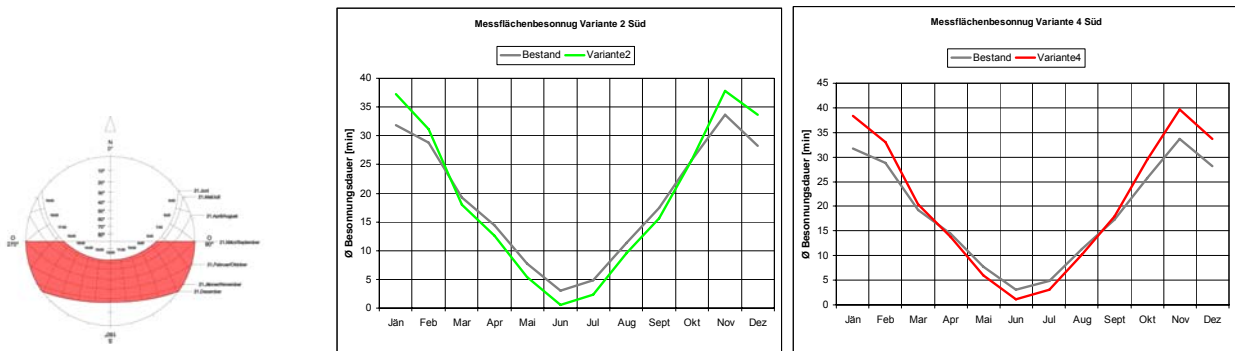


Abbildung 40: Darstellung des monatlichen Direktlichteintrages im Schlafzimmer bei Sanierungsvariante 2 und 4 im Vergleich zum Bestandszustand, bei Südorientierung

Im Wohnzimmerbereich wird bei Südorientierung die Besonnungsdauer im Zustand vor der Sanierung bei Anwendung von Sanierungsvariante 1 in den Herbst- und Wintermonaten unterschritten. Gleichzeitig erhöht sich die Anzahl der Sonnenstunden im selben Zeitraum bei Anwendung von Sanierungsvariante 2. Durch die hoch stehende Sonne und durch Bauteilverschattung wird die Messfläche in den Sommermonaten Mai, Juni, und Juli nicht besonnt.

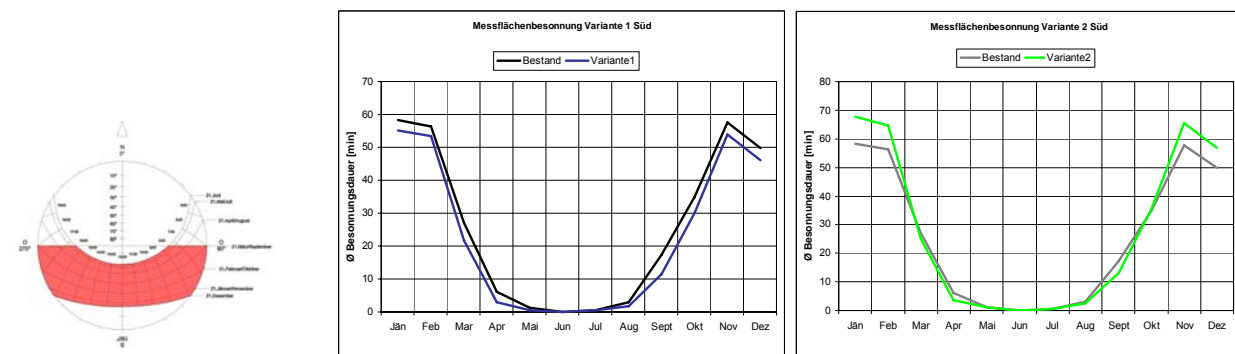


Abbildung 41: Darstellung der Reduktion bzw. Steigerungen des monatlichen Direktlichteintrages im Wohnzimmer bei Sanierungsvariante 1 und 2 im Vergleich zum Bestandszustand, bei Südorientierung

Jahreszeitliche Besonnungsdauer bei Nordorientierung

Da die angenommene Messfläche 50cm über dem Fußboden und damit unterhalb des Schlafzimmerfensterparapetes (85cm über FOK) bzw. der Balkonbrüstung (100cm ü FOK) gelegen ist, wird diese im Jahresverlauf zu keinem Zeitpunkt von direktem Sonnenlicht getroffen. Aus diesem Grund liegen keine Berechnungsergebnisse für Direktlichteintrag bei Nordorientierung vor.

5.1.6 Visualisierungen der Raumbesonnung

5.1.6.1. Modellhafte Darstellung der direkten Raumbesonnung

Die sanierungsbedingten Gewinne bzw. Verluste an Direktlicht werden anhand eines Wohnungsmodells gezeigt. Jene Sanierungsvarianten, die den geringsten bzw. größten Direktlichteintrag aufweisen, werden modellhaft dargestellt. Im Lichtlabor der Donau-Universität Krems werden die Direktlichteinträge im Modell für den 21. Dezember, 21. März und 21. Juni jeweils zur Mittagszeit und bei fünf unterschiedlichen Gebäudeorientierung (OstSüdOst, SüdSüdOst, Süd, SüdSüdWest, WestSüdWest) fotografiert. Die Abbildungen zeigen die Direktlichteinträge bei Sanierungsvariante 1 und 4 verglichen mit jenen im Zustand des Gebäudes vor der Sanierung. Die direkt bestrahlte Fläche im Zustand des Gebäudes vor der Sanierung ist dabei weiß hinterlegt, die blauen bzw. roten Umrandungen deuten die Belichtungsflächen bei Sanierungsvariante 1 bzw. 4 an.

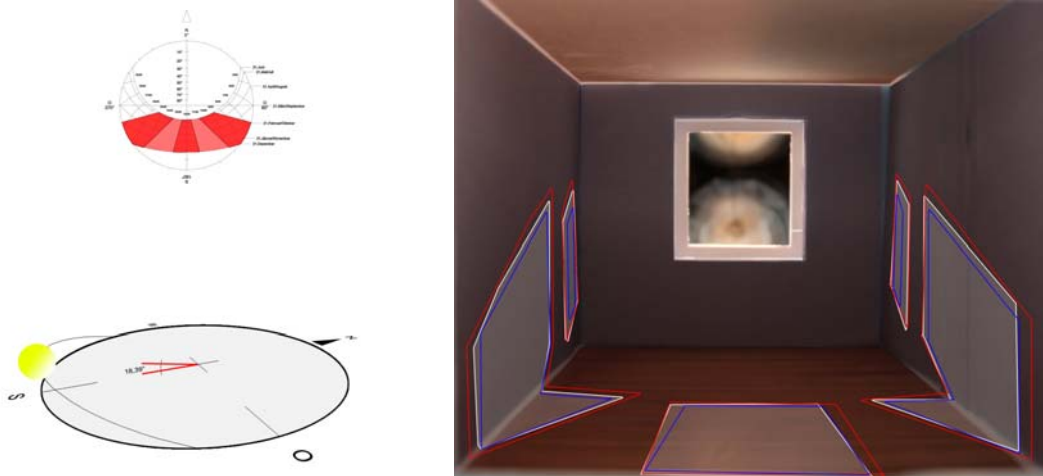


Abbildung 42: Bildvergleich von Direktlichteinträgen bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten; Bestandszustand (GRAU) Sanierungsvariante 1 (BLAU) und 4 (ROT) im Schlafzimmer, Zeit: 21. Dezember 12.00, Orientierung: OSO, SSO, S, SSW, WSW

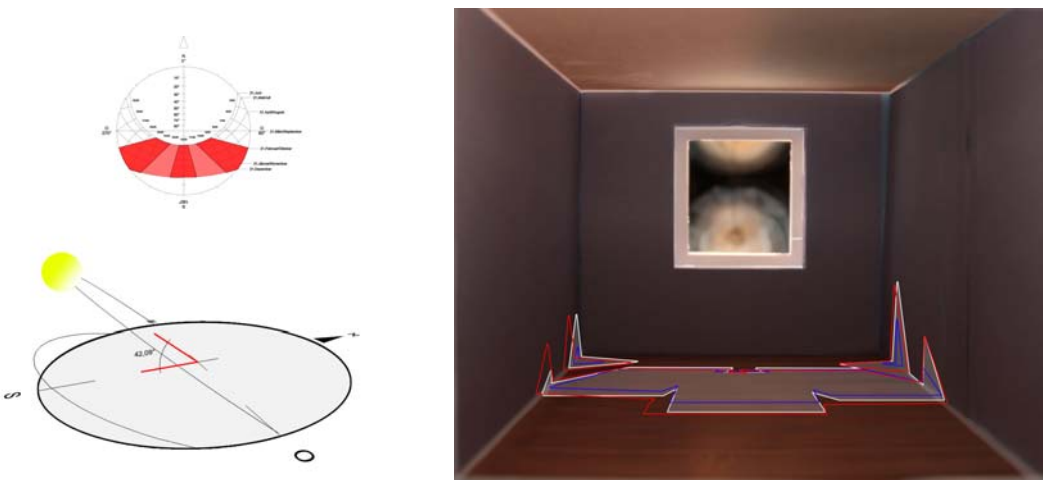


Abbildung 43: Bildvergleich von Direktlichteinträgen bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten; Bestandszustand (GRAU) Sanierungsvariante 1 (BLAU) und 4 (ROT) im Schlafzimmer, Zeit: 21. März 12.00, Orientierung: OSO, SSO, S, SSW, WSW

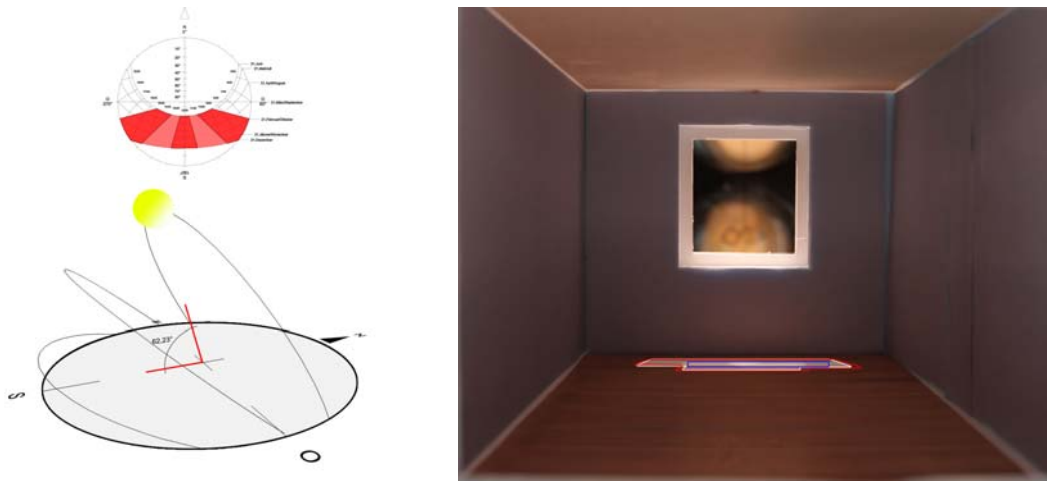


Abbildung 44: Bildvergleich von Direktlichteinträgen bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten; Bestandszustand (GRAU) Sanierungsvariante 1 (BLAU) und 4 (ROT) im Schlafzimmer, Zeit: 21. Juni 12.00, Orientierung: OSO, SSO, S, SSW, WSW

In gleicher Weise wird für die Darstellung des Lichteintrages im Wohnzimmer verfahren. Allerdings kann durch den außen liegenden Balkon und die damit entstehende Verschattung der steil stehenden Sonne am 21. Juni kein Ergebnis für diesen Tag erstellt werden. Die Bildresultate beziehen sich daher auf den 21. Dezember bzw. 21. März.

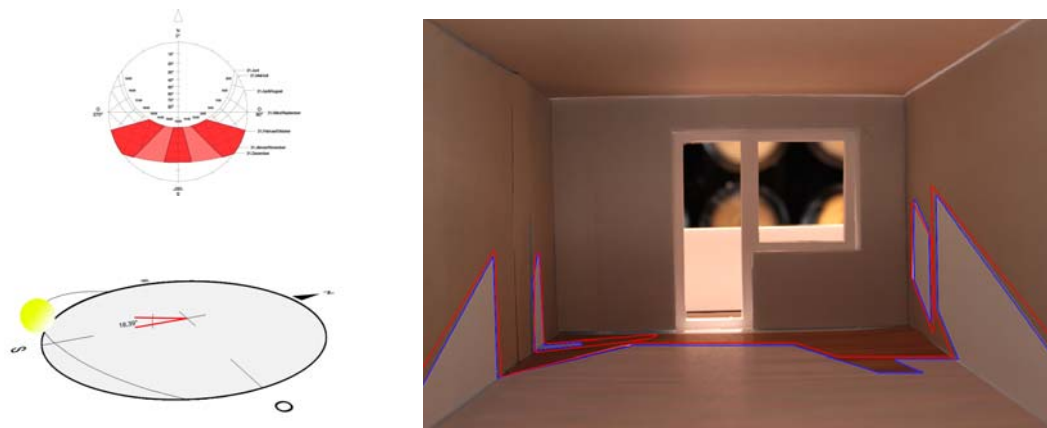


Abbildung 45: Bildvergleich von Direktlichteinträgen bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten; Bestandszustand (GRAU) Sanierungsvariante 1 (BLAU) und 4 (ROT) im Wohnzimmer, Zeit: 21. Dezember 12.00, Orientierung: OSO, SSO, S, SSW, WSW

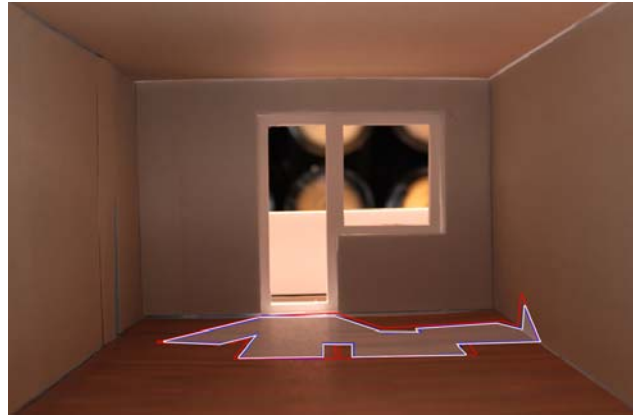
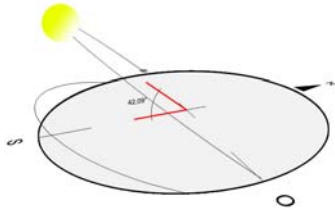


Abbildung 46: Bildvergleich von Direktlichteinträgen bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten; Bestandszustand (GRAU) Sanierungsvariante 1 (BLAU) und 4 (ROT) im Schlafzimmer, Zeit: 21.März 12.00, Orientierung: OSO, SSO, S, SSW, WSW

5.1.6.1. 2d Falschfarbendiagramme

Anhand von Falschfarbendiagrammen, wird die räumliche Verteilung der jährlichen Besonnungsstunden auf der Messfläche farblich dargestellt. Auf diese Weise wird klar, welche Raumbereiche am häufigsten bzw. nie von direktem Sonnenlicht getroffen werden. Die folgenden Darstellungen zeigen den Wohnungszustand vor Sanierung bei 3 unterschiedlichen Ausrichtungen (Ost, West, Süd):

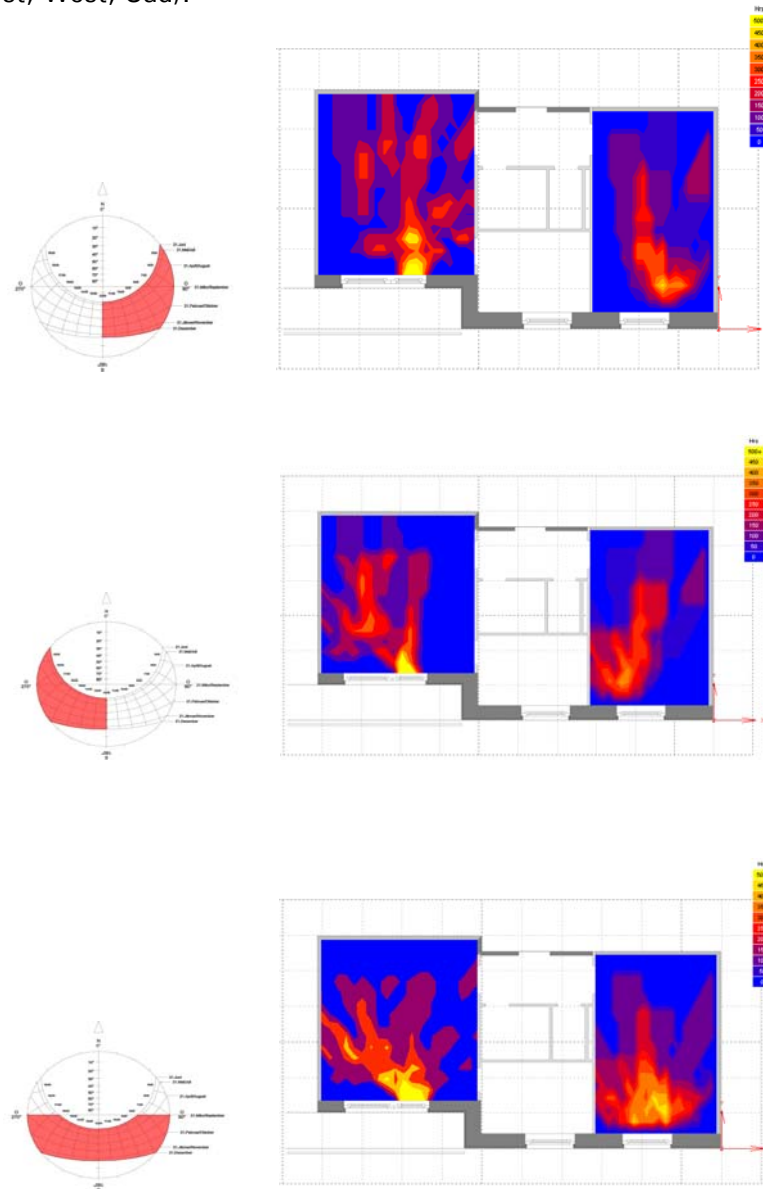


Abbildung 47; Falschfarbendiagramm der Dauer der jährlichen Messflächenbesonnung im Schlaf- und Wohnzimmer im Bestandszustand bei Ost- West- und Südorientierung (GELB ≥ 500 Stunden, BLAU ≥ 0 Stunden)

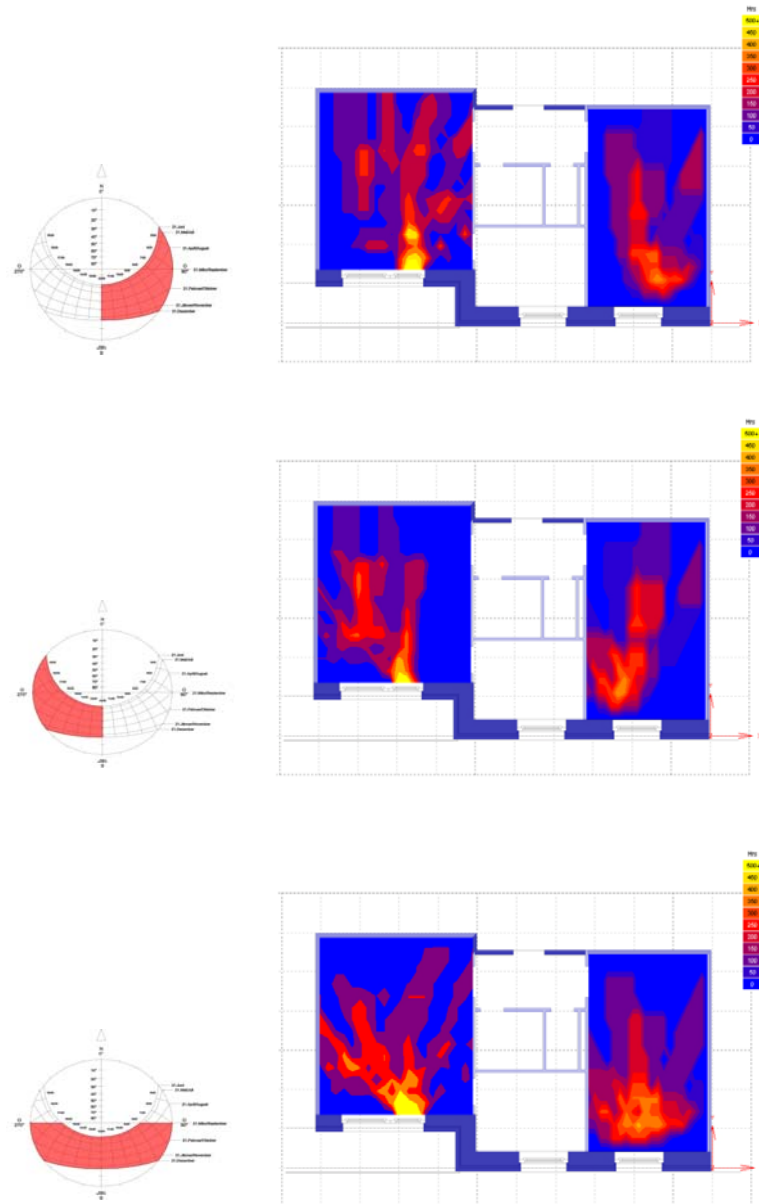


Abbildung 48: Falschfarbendiagramm der Dauer der jährlichen Messflächenbesonnung im Schlaf- und Wohnzimmer bei Sanierungsvariante 1 bei Ost- West- und Südorientierung (GELB ≥ 500 Stunden, BLAU ≥ 0 Stunden)

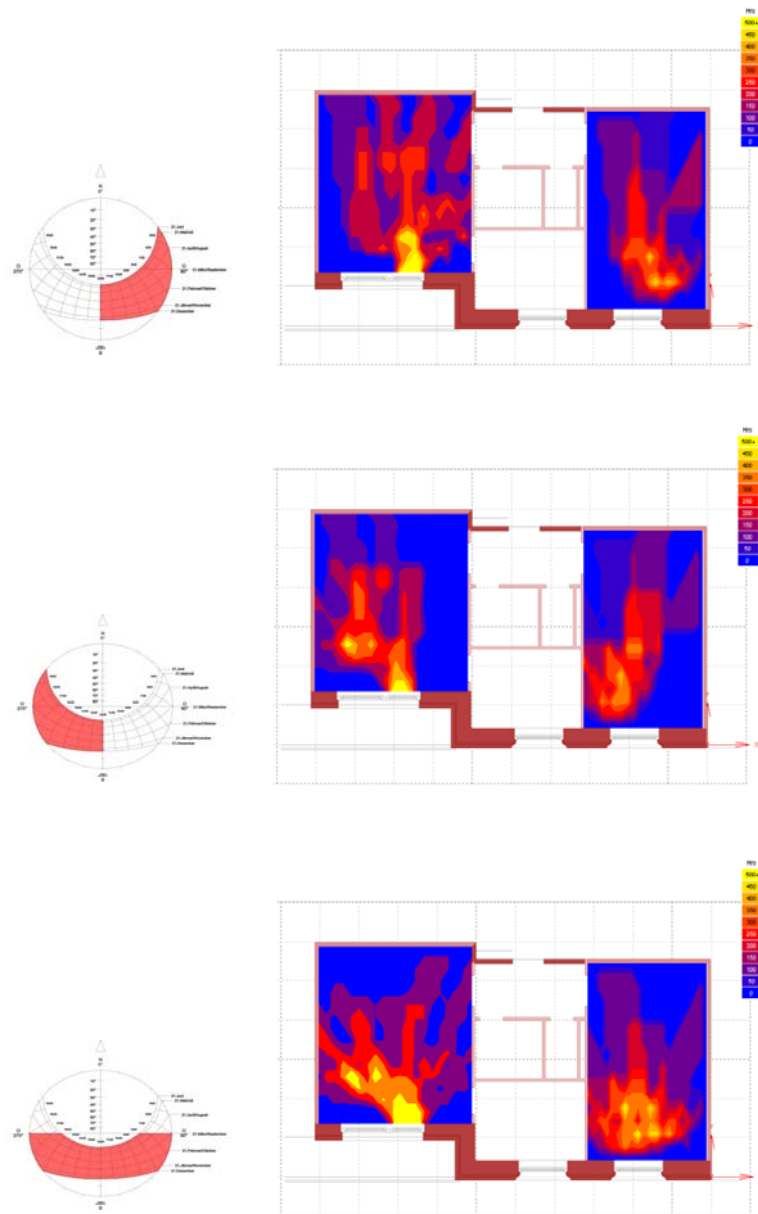


Abbildung 49: Falschfarbendiagramm der Dauer der jährlichen Messflächenbesonnung im Schlaf- und Wohnzimmer bei Sanierungsvariante 4 bei Ost- West- und Südorientierung (GELB ≥ 500 Stunden, BLAU ≥ 0 Stunden)

5.1.6.1. 3d Falschfarbendarstellung

Folgende Darstellungen zeigen exemplarisch die jährliche, räumliche Durchlichtung des Schlafzimmers bei unterschiedlicher Ausrichtung (Nord, Ost, West, Süd). Die Farbcodierung kennzeichnet die Dauer der Durchlichtung. Bereiche, die 0-1 Stunde/Jahr von direktem Licht getroffen werden, sind blau gekennzeichnet, jene die 1000 Stunden/Jahr und länger durchlichtet werden sind gelb eingetragen. Auf diese Weise kann festgestellt werden, welche Bereiche am häufigsten oder nie direkt belichtet sind.

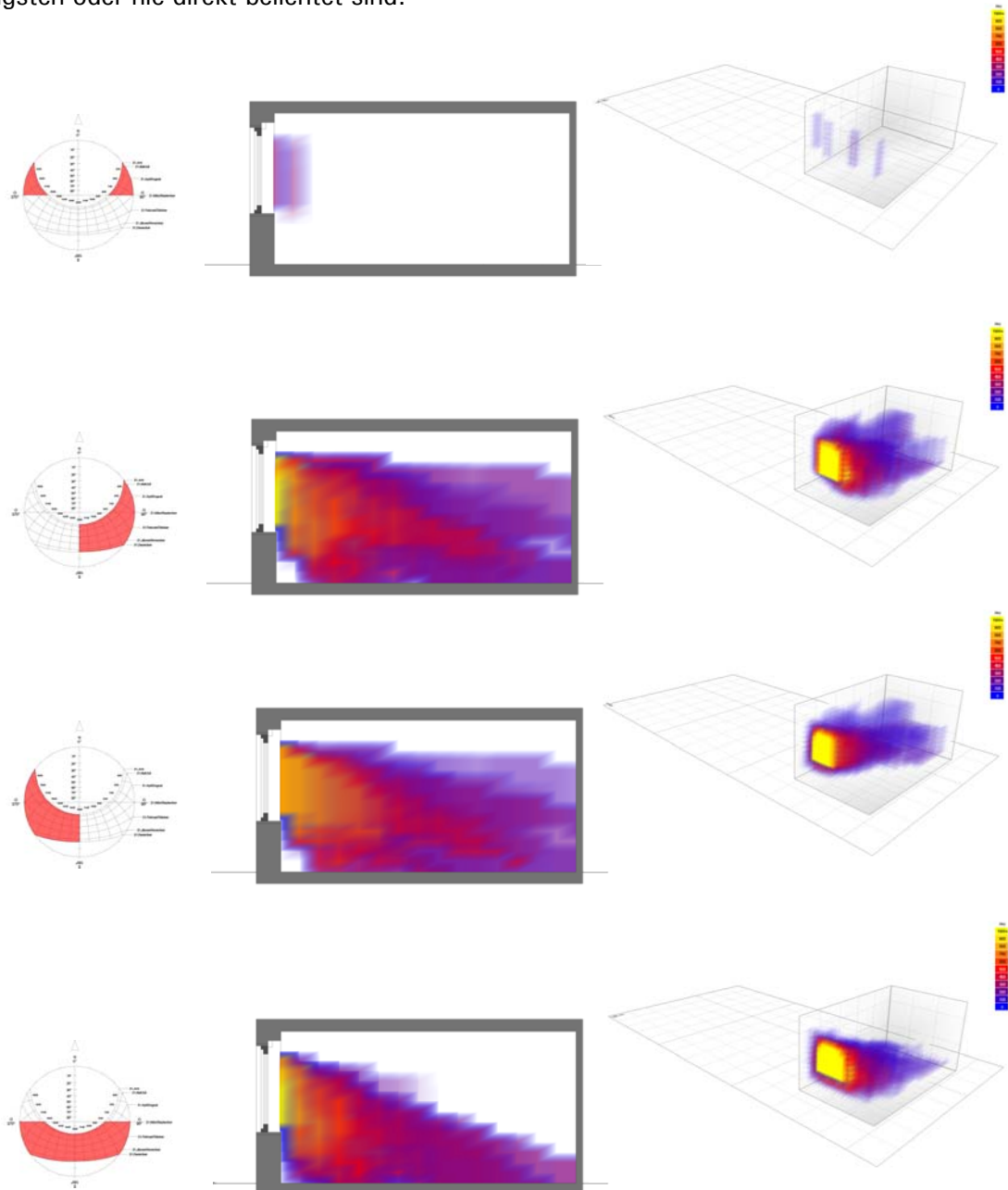


Abbildung 50: Jährliche Raumdurchlichtung, Schlafzimmer im Bestandszustand bei Nord- Ost- West- Südorientierung (GELB \geq 1000 Stunden, BLAU \geq 0 Stunden)

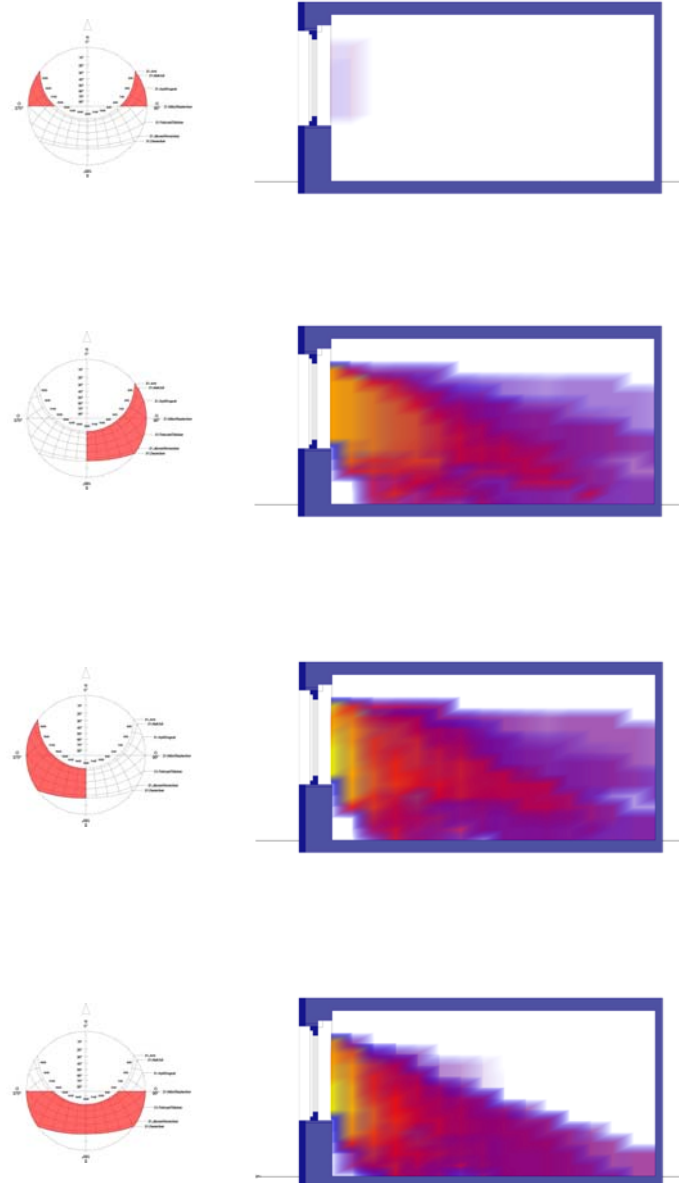


Abbildung 51: Jährliche Raumdurchlichtung, Schlafzimmer bei Sanierungsvariante 1 bei Nord- Ost- West- Südorientierung (GELB ≥ 1000 Stunden, BLAU ≥ 0 Stunden)

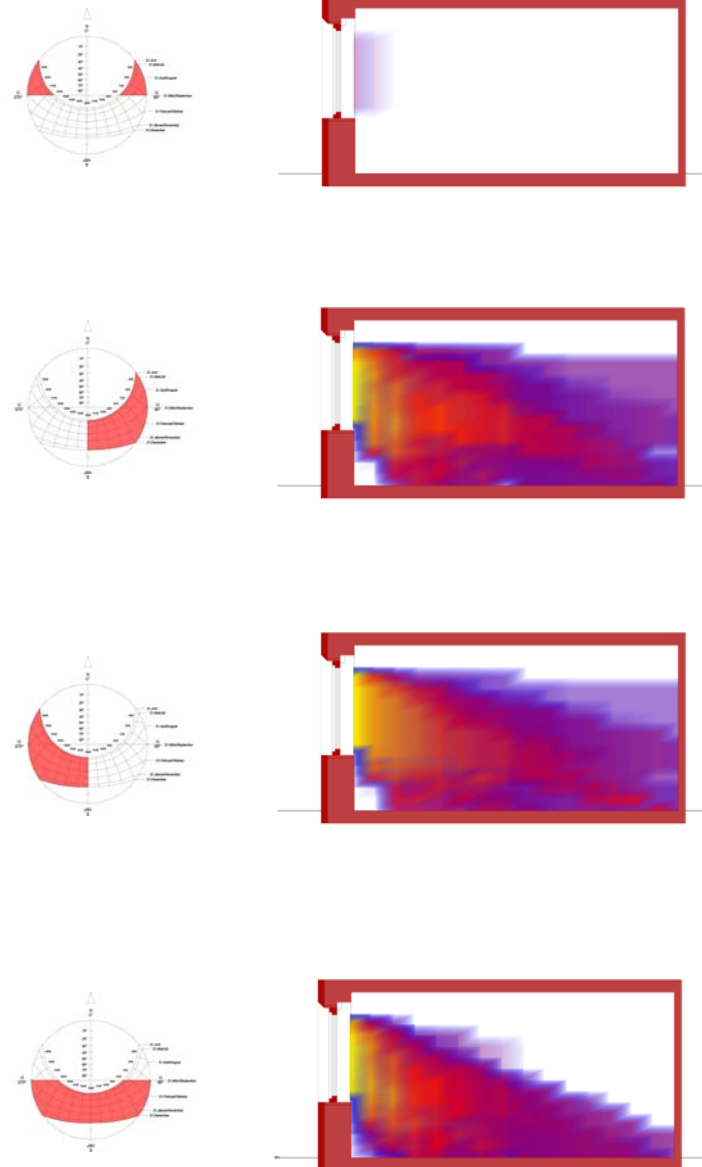


Abbildung 52: Jährliche Raumdurchlichtung, Schlafzimmer bei Sanierungsvariante 4 bei Nord- Ost- West- Südorientierung (GELB ≥ 1000 Stunden, BLAU ≥ 0 Stunden)

5.1.7 Schlussfolgerung

Bei der Direktlichtanalyse zeigt sich, dass im Falle von Sanierungsvariante 2 und 4 der direkte Lichteintrag im Vergleich zum Gebäudezustand vor der Sanierung gesteigert werden kann. Dies gilt für alle untersuchten Himmelsrichtungen. Die Zugewinne weisen folgende Größenordnungen auf:

Ost: +10,2% bzw. +15,2%
Süd: +1,8% bzw. +8,5%
West: +11,2% bzw. +17,6%

Im Falle von Sanierungsvariante 1 und 3 werden die Direktlichteinträge durchwegs verringert.

Ost: -5,9% bzw. -2,1%
Süd: -9,1% bzw. -4,7%
West: -4,1% bzw. -0,3%

Eine an der Fassade aufgebrachte Wärmedämmung führt, ohne verringerte Fensterrahmenanteile, in jedem Fall zu Verminderungen des direkten Lichteintrages.

Durch Abschrägung der Fensterleibung kann der Direktlichtverlust deutlich minimiert, jedoch nicht ausgeglichen werden.

Verbesserungen und vermehrte Direktlichteinträge werden durch Reduktion der Fensterrahmenanteile erzielt. In Kombination mit nach außen hin erweiterten Bauteilöffnungen sind jährliche Zugewinne des Direktlichteintrages möglich. Bei Südorientierung ist dabei eine Häufung in der kalten Jahreszeit erkennbar.

Unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen beinhalten also die Möglichkeit, einem etwaigen Wunsch nach vermehrtem Direktlichteinfall nachzukommen.

5.2 Heizwärmebedarf und solare Gewinne

Der Heizwärmebedarf und die nutzbaren passiv solaren Gewinne der untersuchten Wohnung vor der thermischen Sanierung unterscheiden sich durch unterschiedliche Ausrichtungen in hohem Maße. Bezogen auf den orientierungsgleichen HWB - Wert der unsanierten Wohnung sind die sanierungsbedingten Reduktionen jedoch recht ähnlich.

5.2.1 Heizwärmebedarf vor der Sanierung

Die HWB Werte der untersuchten Wohnung reichen im Zustand vor der Gebäudesanierung von 74 kWh/m²a bei Südorientierung über 83 kWh/m²a bei Ost- und Westausrichtung bis zu 87 kWh/m²a bei Nordorientierung. Das bedeutet, dass der notwendige Heizwärmebedarf für ein- und dieselbe Wohnung durch deren Ausrichtung einer Schwankungsbreite von mehr als 17% unterworfen ist.

HWB [kWh/m ² a]	Bestand
Nordorientierung	87
Ostorientierung	83
Westorientierung	83
Südorientierung	74

Tabelle 12: Heizwärmebedarf der Wohnung vor der Sanierung

5.2.2 Sanierungsbedingte Veränderung von Heizwärmebedarf und solarer Gewinne

Die orientierungsabhängigen Reduktionen des Heizwärmebedarfes durch thermische Sanierungen weisen folgende Größenordnungen auf:

- + Reduktion bei Nordorientierung 19-20%
- + Reduktion bei Ost- und Westorientierung 18-21%
- + Reduktion bei Südorientierung 19-23%

HWB [kWh/m ² a]	Bestand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Nordorientierung	87	72	70	71	70
Ostorientierung	83	68	66	67	66
Westorientierung	83	68	66	67	66
Südorientierung	74	60	57	59	57

Tabelle 13: Heizwärmebedarf der sanierten Wohnung bei Sanierungsvariante 1-4

Die nutzbaren passiv solaren Gewinne Q_s stehen dabei in folgendem Größenverhältnis zum gesamten Heizwärmebedarf:

- + Nordorientierung: $Q_s \sim 7\%$ HWB
- + Ost- Westorientierung: $Q_s \sim 12\%$ HWB
- + Südorientierung: $Q_s \sim 24\%$ HWB

Die sanierungsbedingten Unterschiede der nutzbaren solaren Gewinne im Vergleich zum Gebäudezustand vor der Sanierung stellen sich wie folgt dar:

Nutzbare solare Gewinne [kWh/m ² a]	Bestand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Nordorientierung	6	5	5	5	5
Ostorientierung	10	9	10	9	10
Westorientierung	10	9	10	9	10
Südorientierung	18	17	20	17	20

Tabelle 14: Nutzbare solare Gewinne der Wohnung im Bestandszustand und bei Sanierungsvariante 1-4

Bei Nordorientierung werden die Ausgangswerte der nutzbaren solaren Gewinne bei allen vier angewendeten Sanierungsmethoden unterschritten. Sanierungsvarianten, die Reduktionen des Fensterrahmenanteils vorsehen, erlauben bei Ost- bzw. Westausrichtung zumindest eine Beibehaltung der solaren Erträge und ermöglichen bei Südorientierung sogar solare Zugewinne.

Reduktion / Steigerung solarer Gewinne	Bestand	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Nordorientierung	100%	-17%	-17%	-17%	-17%
Ostorientierung	100%	-10%	+0%	-10%	+0%
Westorientierung	100%	-10%	+0%	-10%	+0%
Südorientierung	100%	-5%	+11%	-5%	+11%

Tabelle 15: Sanierungs- und orientierungsabhängige Reduktionen und Steigerungen der solaren Gewinne

Die folgenden Abbildungen verdeutlichen die Größenordnung der solaren Gewinne Q_s [kWh/m²] im Vergleich mit dem gesamten Heizwärmebedarf.

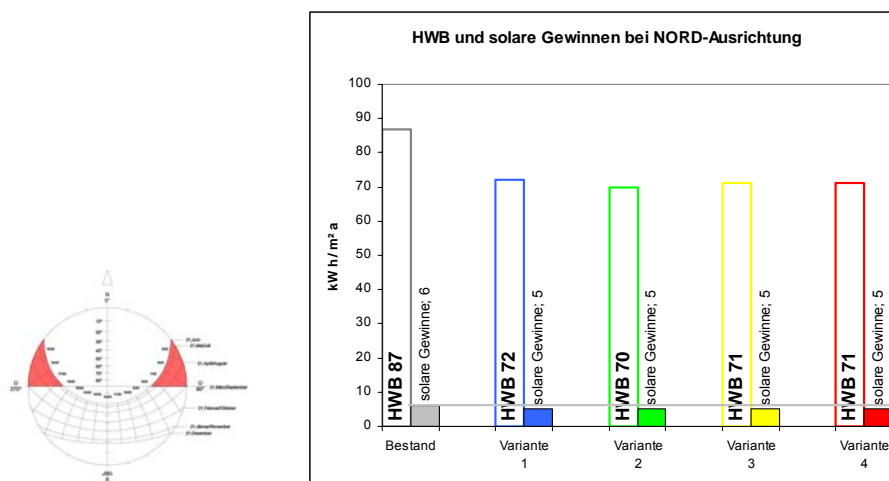


Abbildung 53: HWB und solare Gewinne im Bestandszustand und nach Sanierung bei NORD Orientierung

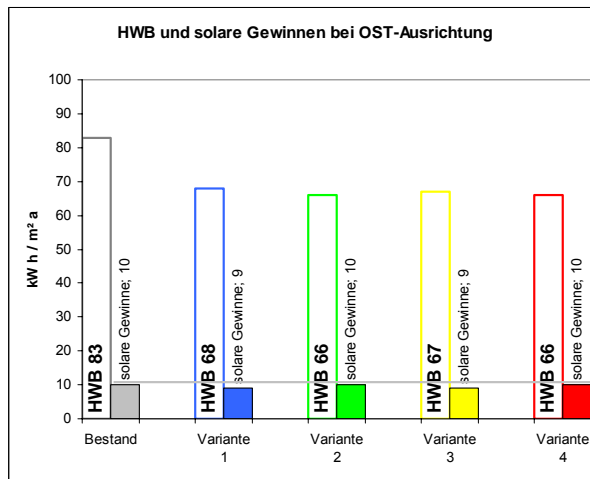
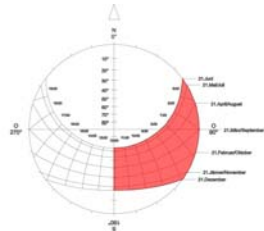


Abbildung 54: HWB und solare Gewinne im Bestandszustand und nach Sanierung bei OST Orientierung

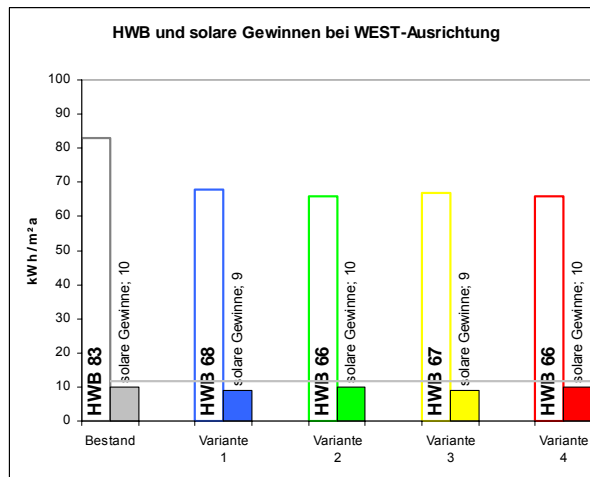
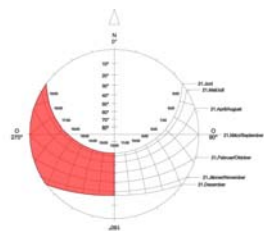


Abbildung 55: HWB und solare Gewinne im Bestandszustand und nach Sanierung bei WEST Orientierung

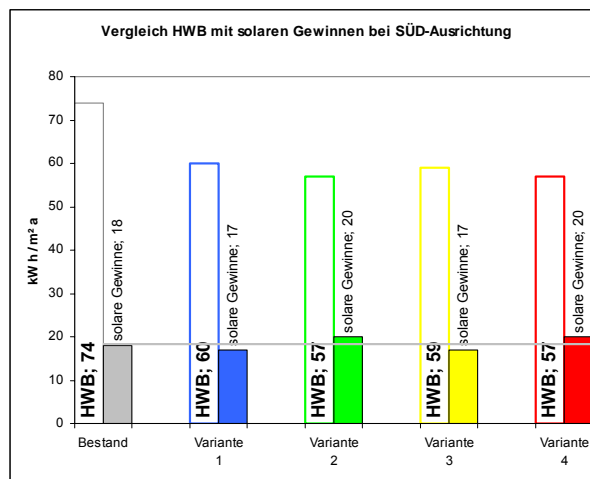
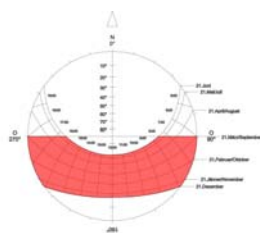


Abbildung 56: HWB und solare Gewinne im Bestandszustand und nach Sanierung bei SÜD Orientierung

5.2.3 Schlussfolgerung

Die sanierungsbedingte Reduktion des Heizwärmebedarfes durch die Aufbringung einer 10cm starken äußeren Wärmedämmung betragen in den durchgeführten Untersuchungen je nach Sanierungsart und Orientierung zwischen 19% und 23% im Vergleich zum Gebäudezustand vor der Sanierung (bei einem Heizwärmebedarf von 87kWh/m²a bei Nordorientierung, 83kWh/m²a bei Ost- und Westorientierung und 74kWh/m²a bei Südorientierung).

Für die vorliegenden Sanierungsarten erscheint, angesichts der geringfügigen Verbesserung des Heizwärmebedarfs, eine Erhöhung der Dämmstärke empfehlenswert.

Bei Verwendung von Fenstern mit geringen Rahmenstärken und durch abgeschrägte Fensterleibungen würde dies keinen Nachteil für den Lichteintrag darstellen.

Im Zuge der Optimierung von nutzbaren passiv solaren Gewinnen ist auf die Gebäudeorientierung zu achten.

Bei Nordorientierung werden die nutzbaren passiv solaren Gewinne durch alle untersuchten Sanierungsvarianten im Vergleich zum Gebäudezustand vor der Sanierung verringert.

Bei Ost- und Westorientierung ermöglichen lichtoptimierende Sanierungsmaßnahmen (verringerte Rahmenanteile von Fenstern, Leibungsabschrägungen) eine Beibehaltung, bei Südorientierung eine Steigerung der erzielbaren Einträge um bis zu 11% verglichen mit jenen vor der Sanierung.

5.3 Tageslichtquotient

Im Falle der vier gewählten Sanierungsmethoden ist durchwegs mit Verringerungen des quantitativen Diffuslichteintrages, verglichen mit den Werten vor der Gebäudesanierung, zu rechnen. Das Ausmaß der Verringerungen ist von Fall zu Fall höchst unterschiedlich und wird nachfolgend beschrieben.

5.3.1 Reduktion der TQ Werte im Schlafzimmer

Verglichen mit einem durchschnittlichen Tageslichtquotient von 1,27% vor der Gebäudesanierung reduzieren sich Werte durch den Einfluss der 4 Sanierungsvarianten in folgendem Ausmaß:

	TQ	Reduktion
Variante 1:	1 %	-21,26%
Variante 2:	1,14 %	-10,24%
Variante 3:	1,08 %	-14,97%
Variante 4:	1,24 %	-2,37%

Tabelle 16: Sanierungsbedingte Reduktionen der Tageslichtquotientwerte im Schlafzimmer

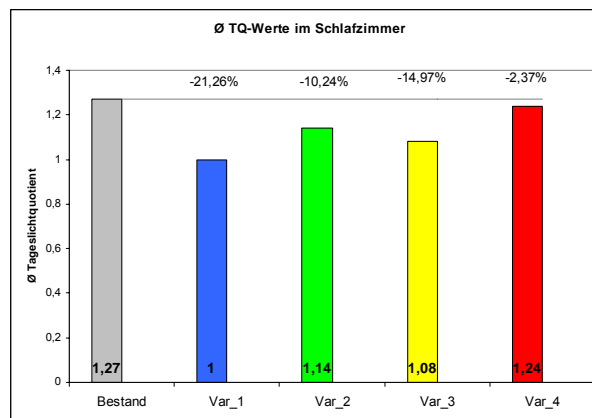


Abbildung 57: Säulendiagramm zur Verdeutlichung der sanierungsbedingten TQ-Reduktionen im Schlafzimmer

5.3.2 Reduktion der TQ Werte im Wohnzimmer

Der Einfluss des vorgelagerten Balkons und die sanierungsbedingte Veränderung seiner Geometrie auf den quantitativen Diffuslichteintrag in den dahinterliegenden Wohnraum wird wie folgt abgebildet: Tageslichtquotient vor Sanierung: 1,38%

	TQ	Reduktion
Variante 1:	1,09 %	-21,02%
Variante 2:	1,29 %	-6,53%

Tabelle 17: Sanierungsbedingte Reduktionen der Tageslichtquotientwerte im Wohnzimmer

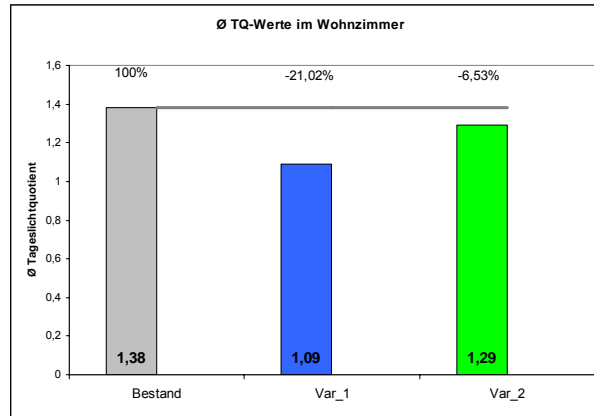


Abbildung 58: Säulendiagramm zur Verdeutlichung der sanierungsbedingten TQ- Reduktionen im Wohnzimmer

Die folgenden Darstellungen zeigen die Tageslichtquotientverläufe in der unsanierte Wohnung und jene nach Anwendung der 4 Sanierungsvarianten.

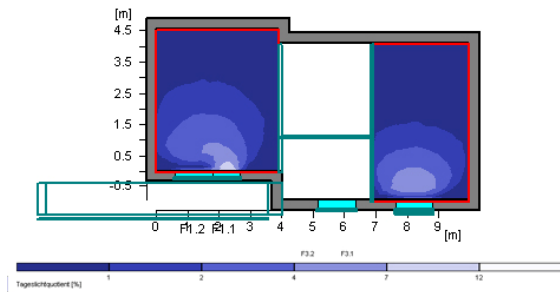


Abbildung 59: Tageslichtquotientenverteilung in den Wohnräumen im Zustand vor der Sanierung

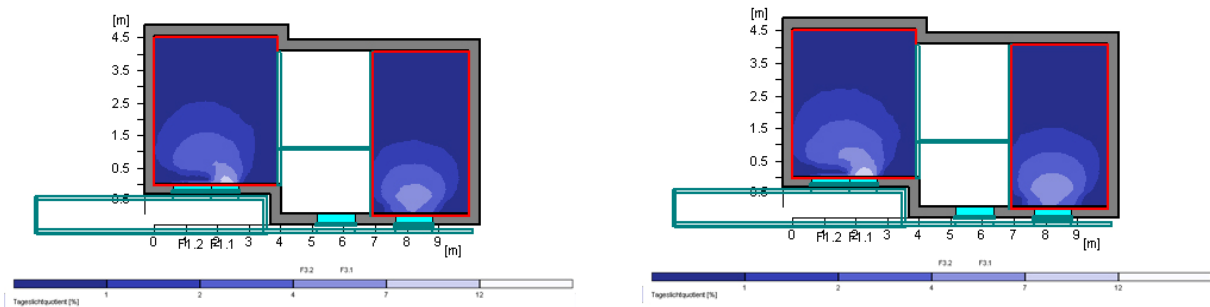


Abbildung 60: Tageslichtquotientenverteilung in den Wohnräumen bei Sanierungsvariante 1 (links) und 2 (rechts)

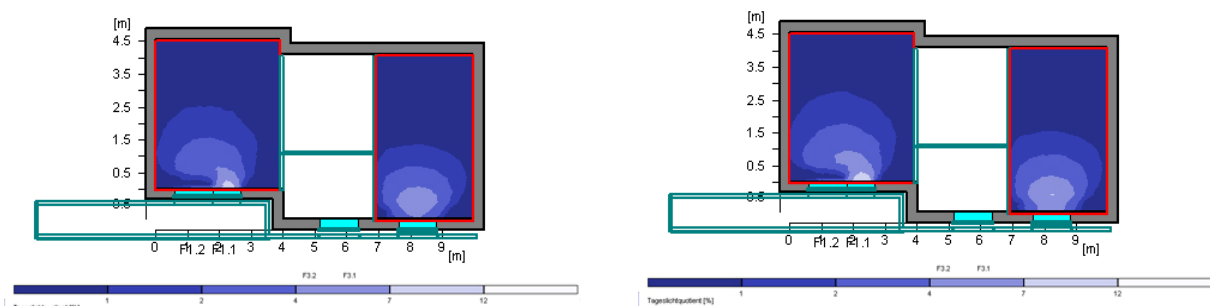


Abbildung 61: Tageslichtquotientenverteilung in den Wohnräumen bei Sanierungsvariante 3 (links) und 4 (rechts)

5.3.3 Schlussfolgerung

Im Falle der vier gewählten Sanierungsmethoden ist durchwegs mit einer Reduktion des Diffuslichteintrages zu rechnen. Die Bandbreite der Lichteinbuße ist dabei sehr gestreut und reicht von mehr als minus 21 % (~Verzicht auf jedes 5. Fenster) bis zu minus 2%.

Die Ergebnisse bestätigen die im 3. Kapitel dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen zu sanierungsbedingten Einbußen von Lichteinträgen.

Dabei ist festzuhalten, dass die errechneten Lichtverminderungen im Falle von Sanierungsvarianten, die eine Verringerung des Fensterrahmenanteil beinhalten (Variante 2, Variante 4) deutlich geringer ausfallen, als bei jenen, wo kein Fenstertausch vorgesehen ist.

Verglichen mit den geraden Leibungen bei konventioneller Sanierung, bringen Abschrägungen zwar gewisse Vorteile mit sich (vgl. Variante 1, Variante 3), ohne die Reduktion von Rahmenanteilen kann allerdings nicht von vergleichbaren TQ Werten wie jenen vor der Sanierung ausgegangen werden.

Die TQ - Wertreduktion im Wohnzimmerbereich, die sich infolge von Sanierungsmaßnahmen eines vorgelagerten Bauteils (Balkon oder Loggia) ergeben, sind mit jenen im an der Außenfassade gelegenen Schlafzimmer durchaus vergleichbar.

Zur Optimierung des quantitativen Lichteintrages mit der Zielsetzung des Erreichens ähnlich hoher Tageslichtquotientwerte wie vor der Sanierung ist es notwendig, Rahmenstärken zu minimieren und durch Leibungsabschrägungen Erweiterungen von Bauteilöffnungen durchzuführen. Werden gar Verbesserungen der quantitativen Lichteinträge angestrebt, sind zusätzlich Veränderungen von Raum- und Leibungsoberflächen (durch Aufhellungen zur Erhöhungen von Reflexionseigenschaften oder alternative Materialwahl) vorzunehmen.

5.4 Tageslichtautonomie

Die Ergebnisse zur Berechnungen der Tageslichtautonomie, also jene Werte, die angeben, wie lange das natürliche Licht zur Beleuchtung von Innenräumen ausreicht, weisen Größenunterschiede auf, die wie folgt dargestellt werden.

5.4.1 Jährliche Anteile [%] ausreichenden Tageslichts im Innenraum

Die Tageslichtautonomieberechnungen für den Wohnungszustand vor der thermischen Sanierung ergeben, dass durch den mittlere Tageslichtquotient von 1,27% eine Beleuchtungsstärke von 300 lux zwischen 7.00 morgens und 22.00 abends im Verkauf eines Jahres an 23% der Bemessungszeit durch natürliches Licht gedeckt werden kann (Tageslichtautonomie 23%).

Die weiteren Berechnungen beziehen sich auf TQ Werte nach Anwendung der Sanierungsmaßnahmen 1-4 und ergeben folgende Resultate:

	TQ	Tageslichtautonomie	Reduktion
Variante 1:	TQ: 1%	15%	-35,07
Variante 2:	TQ: 1,14%	16,70%	-27,71
Variante 3:	TQ: 1,08%	15,80%	-31,6
Variante 4:	TQ: 1,24%	21,80%	-5,63

Tabelle 18: Sanierungsbedingte Reduktionen der Tageslichtautonomien

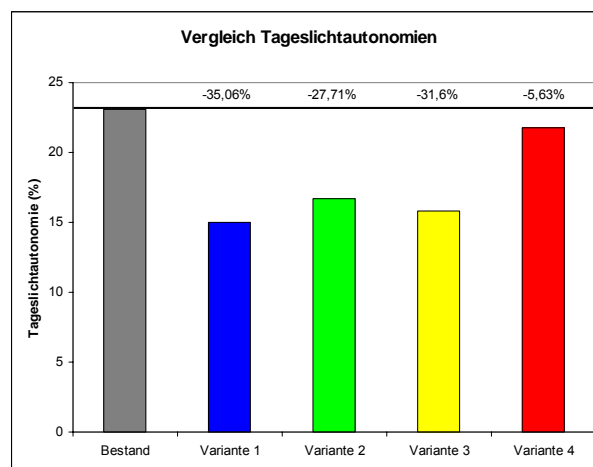


Abbildung 62: Säulendiagramm zur Verdeutlichung der sanierungsbedingten Reduktionen der Tageslichtautonomien

5.4.2 Verlauf monatlicher Anteile [%] ausreichenden Tageslichts im Innenraum

Die Verlaufskurven der monatlichen Tageslichtautonomiewerte zeigen, dass in Monaten mit kurzen Tageslängen natürliches Licht nur zu sehr geringen Teilen ausreichend ist um die geforderte Beleuchtungsstärke von 300lux aufrecht zu erhalten. Kunstlicht muss oft und lange zugeschaltet werden.

Im unsanierten Gebäudezustand werden in den Sommermonaten die höchsten Tageslichtautonomie Werte (ca. 50%) erzielt. Nach Anwendung der Sanierungsvarianten sinken diese drastisch ab. Nur im Falle von Sanierungsvariante 4 (Leibungsabschrägung, verringerter Rahmenanteil) ist es möglich, die vor der Sanierung erzielten Ausgangswerte annähernd aufrechtzuerhalten.

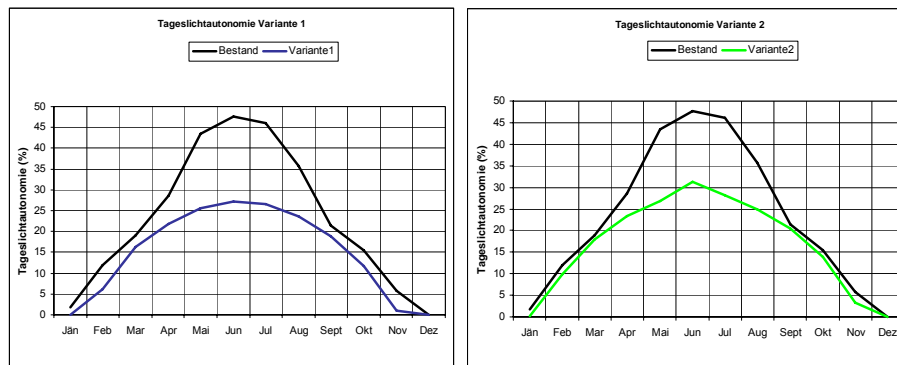


Abbildung 63: Verlaufskurven der monatlichen Tageslichtautonomien für Sanierungsvariante 1 (BLAU, links) und 2 (GRÜN, rechts)

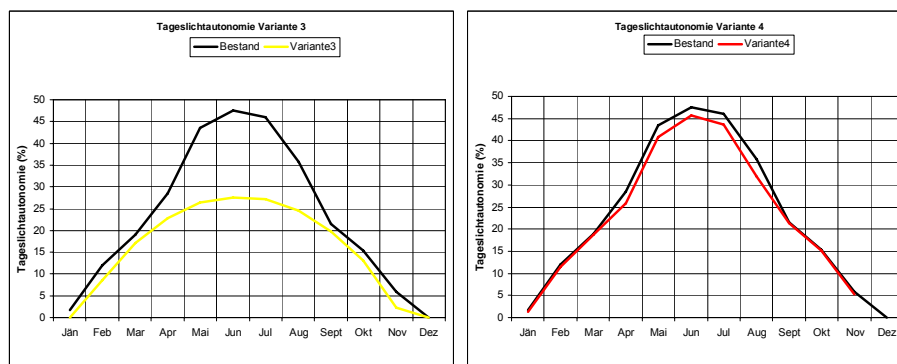


Abbildung 64: Verlaufskurven der monatlichen Tageslichtautonomien für Sanierungsvariante 3 (GELB, links) und 4 (ROT, rechts)

5.4.3 Schlussfolgerung

Ausgehend von einem sehr niedrigen Tageslichtautonomiewert von 23% (d.h. an weniger als einem Viertel der gesamtjährlichen Berechnungszeit ist das natürliche Licht ausreichend) vor der Gebäudesanierung werden diese durch alle vier gewählten Sanierungsvarianten zusätzlich reduziert. Da in Monaten mit kurzen Tageslängen (etwa von Oktober bis März) Kunstlicht häufig zugeschaltet werden muss, ist das Maß der Reduktion zu dieser Zeit nicht sonderlich auffällig. In Monaten mit hohem Tageslichtangebot (etwa von April bis September) erhöhen sich die Zuschaltzeiten von Kunstlicht zur Aufrechterhaltung der notwendigen Beleuchtungsstärken verglichen mit der Lichtsituation vor der Sanierung.

Die durchgeführten Tageslichtautonomieberechnungen basieren auf quantitativen sehr niedrigen Lichteinträgen. Darum wird eine zusätzliche Berechnung durchgeführt, die auf den für Wohnbereiche akzeptablen und anzustrebenden Tageslichtquotienten von etwa 3% aufgebaut ist. Die ganzjährliche Tageslichtautonomie kann so auf 57% angehoben werden.

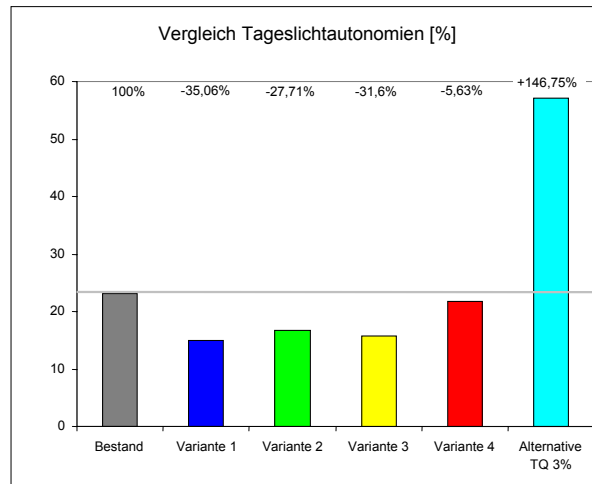


Abbildung 65: Säulendiagramm zur Verdeutlichung der Steigerung der Tageslichtautonomie durch Erhöhung der durchschnittlichen TQ Werte.

Verglichen mit dem Ausgangszustand (Tageslichtautonomie 23%) stellt dies eine deutliche Verbesserung dar. Die monatliche Verlaufskurve macht deutlich, dass natürliches Licht in den Sommermonaten bis zu 80% der Berechnungszeit für die Aufrechterhaltung der gewünschten Beleuchtungsstärke ausreichend ist. Auch in den Wintermonaten ist natürliches Licht an über 30% der Bemessungszeit im Innenraum ausreichend vorhanden.

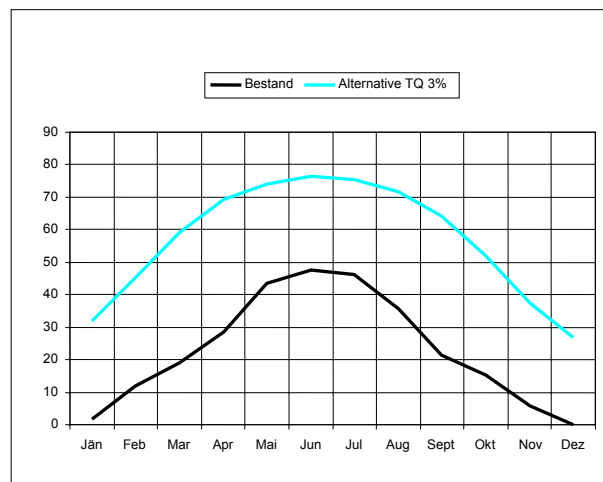


Abbildung 66: Verlaufskurven der monatlichen Tageslichtautonomien für eine Alternativvariante auf Basis von TQ 3%














6. Ergebniszusammenschau

6.1 Erfüllung gesetzlicher und normativer Anforderungen an den Lichteintrag

Die nachfolgenden Tabellen verdeutlichen, inwieweit die gesetzlichen und normativen Forderungen nach ausreichender Belichtung in der untersuchten Modellwohnung im Zustand vor der Sanierung erfüllt sind. Dabei zeigt sich, dass das in der Bauordnung geforderte Verhältnis zwischen der Größe der Fensteröffnungen zur Fußbodenfläche erfüllt wird.

Würde die untersuchte Musterwohnung nach Norden ausgerichtet sein, wäre eine Besonnung am vorgegebenen Stichtag 17. Jänner nicht gegeben. Für diesen Fall müsste ein zusätzliches Fenster implementiert werden.

Die Ergebnisse gelten auch für die Sanierungsvarianten 1 und 3, allerdings können die Normempfehlungen für ausreichende TQ- Werte nur noch sehr knapp erfüllt werden.














	SZ	WZ	
Gesamtfensterfläche F [m ²] > 10% Fußbodenfläche A [m ²]			OIB 3 bzw.6
Breite Glasfläche [m] > 55% Raumbreite [m]			DIN 5034
TQ Ø > 0,9% (in halber Raumtiefe)			DIN 5034
TQ min > 0,75% (in halber Raumtiefe)			DIN 5034
Höhe Glasfläche > 1,25m			DIN 5034
Breite Glasfläche > 1m			DIN 5034
Besonnung am 17. Jänner			DIN 5034

 erfüllt

 nicht erfüllt

Tabelle 19: Erfüllung von gesetzlichen und normativen Anforderungen an die Raumbelichtung; geltend für den Bestandszustand sowie Sanierungsvarianten 1 und 3

Die Verringerung von Rahmenansichtsbreiten, wie in Sanierungsvariante 2 und 4 vorgesehen, tragen dazu bei, dass die normativen Empfehlungen größtenteils erfüllt werden können.

	SZ	WZ	
Gesamtfensterfläche F [m ²] > 10% Fußbodenfläche A [m ²]			OIB 3 bzw.6
Breite Glasfläche [m] > 55% Raumbreite [m]			DIN 5034
TQ Ø > 0,9% (in halber Raumtiefe)			DIN 5034
TQ min > 0,75% (in halber Raumtiefe)			DIN 5034
Höhe Glasfläche > 1,25m			DIN 5034
Breite Glasfläche > 1m			DIN 5034
Besonnung am 17. Jänner			DIN 5034

 erfüllt

 nicht erfüllt

Tabelle 20: Erfüllung von gesetzlichen und normativen Anforderungen an die Raumbelichtung; geltend für die Sanierungsvarianten 2 und 4

Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, dass die Dimensionierung von Fensteröffnungen im vorliegenden Fall grundsätzlich angemessen ist, durch den Einsatz von unproportionalen Fensterkonstruktionen mit hohen Rahmenanteilen kann dies allerdings ins Gegenteil verkehrt werden.

6.2 Gegenüberstellung von diffuslichtabhängigen Berechnungen

Tageslichtquotient- und Tageslichtautonomieberechnungen für unterschiedliche Sanierungsvarianten zeigen ähnliche Tendenzen in unterschiedlichen Ausprägungen. In allen berechneten Fällen treten Reduktionen gegenüber dem Zustand vor der Gebäudesanierung ein, wobei diese im Falle von Sanierungsvariante 4 mit 2% sehr gering sind. Hingegen würde eine Lichtreduktion von mehr als 21%, wie im Falle von Sanierungsvariante 1 dem Verzicht auf jedes fünfte Fenster gleichkommen.

Für die Tageslichtautonomieberechnungen haben wechselnde Tageslängen großen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse. Gerade an langen Sommertagen ist die hohe Kunstlichtabhängigkeit (Tageslichtautonomieeinbußen um bis zu 35%) nicht nur für den visuellen Komfort sondern auch für den Energiehaushalt einer Wohnung nachteilig, da die Leistung von elektrischen Beleuchtungskörper nicht nur in Licht sondern auch in Wärme umgesetzt und so als Kühllast wirksam wird.

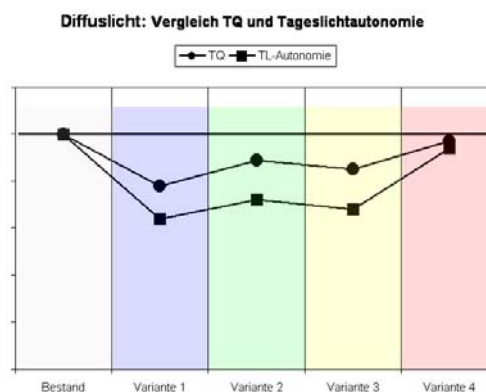


Abbildung 67: Sanierungsbedingte Reduktion der TQ- und Tageslichtautonomiewerte

Tageslichtquotientoptimierungen begünstigen zwar die Tageslichtautonomie, allerdings wird ab einem Wert von $TQ = 3\%$ ein Niveau erreicht, an dem keine weitere Energie eingespart werden kann. Dann wird an einem Großteil der Nutzungsstunden eine Beleuchtungsstärke von etwa 300lx überschritten, im Rest der Nutzungszeit steht kein natürliches Licht zur Verfügung, da diese in der Nacht liegt.⁵

⁵ Vgl. Brandi, 2005, S.23

Folgende Graphiken verdeutlichen, zu welchen Tages- bzw. Nachtzeiten regelmäßiger Arbeits- bzw. Wohnaktivität stattfinden.

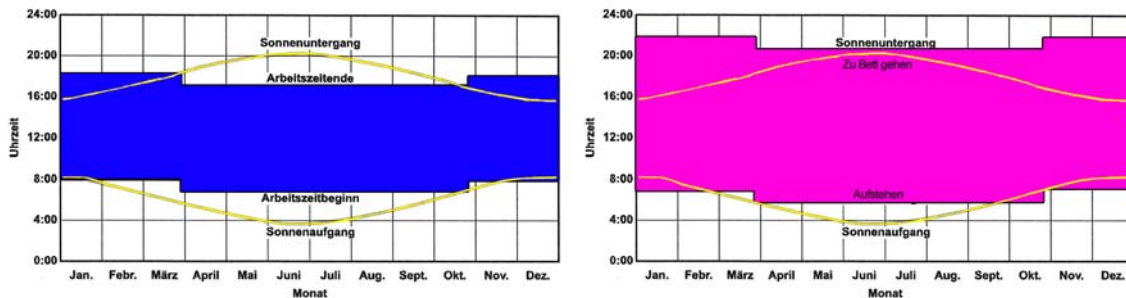


Abbildung 68: Vergleich des zeitlichen Nutzungsprofils von Büros (links) und Wohnungen (rechts)⁶

Die Reduktion von Kunstlichteinsatz und Optimierungen von Tageslichtquotienten kann durch folgende konstruktive Maßnahmen begünstigt werden:

- + Vergrößerung der transparenten Fensterflächen durch Verringerung von Rahmenanteilen; (im Falle der vorgenommenen Untersuchungen wurden Reduktionen von etwa 10% angenommen)
- + Abschrägung von Fensterleibungen im Sturz- bzw. Flankenbereich

Beide Maßnahmen begünstigen den Eintrag von Himmelslicht, das primär für die Lichtverteilung im Raum verantwortlich ist.⁷



Abbildung 69: Leibungsabschrägung, Pariser Platz, Berlin 2009

- + Erhöhung der Reflexionsgrade von Innenoberflächen (die normgemäß definierten Werte für die optische Qualität von Innenraumoberflächen sind tendenziell tief angesetzt (Fußböden $\rho_b = 20\%$, Wände $\rho_w = 60\%$, Decken $\rho_d = 70\%$)
- + Erhöhung der Außenreflexion

⁶ Grafikbearbeitung, Geiselman 2005, S.64

⁷ vgl. Brandi, 2005, S 23



Abbildung 70: Dunkle Leibungsgeometrien (links), verringerte Außenreflexion durch schwarze Hochhausfassade (rechts)

- + Erhöhung der Lichttransmission durch Verbesserten Lichttransmissionen (τ - Werte) von Verglasungen



Abbildung 71: Unterschiedliche der Lichttransmission durch Verglasung, sichtbar gemacht durch unterschiedliche Leuchtdichten auf einer besonnenen Bodenfläche

6.3 Gegenüberstellung Direktlichtberechnungen und thermischer Gebäudeperformance

Im Gegensatz zu den Ergebnissen der orientierungsunabhängigen Diffuslichtberechnungen können die quantitativen Direktlichteinträge und nutzbaren solaren Gewinne infolge von Sanierungen gesteigert werden.

Ost- bzw. Westorientierung

Vergrößerungen der transparenten Fensterflächen durch Verringerung von Rahmenanteilen (im Falle der vorgenommenen Untersuchungen wurden Reduktionen von etwa 10% angenommen) führen zu vermehrtem Direktlichteintrag der durch zusätzliche Abschrägungen von Fensterleibungen im Sturz- bzw. Flankenbereich noch gesteigert werden kann.

Die passivsolaren Gewinne sind in diesen Fällen vergleichbar mit jenen, die im Bestandszustand erreicht werden konnten.

Ohne Vergrößerung der Glasanteile verringern sich solare Gewinne und Direktlichteintrag.

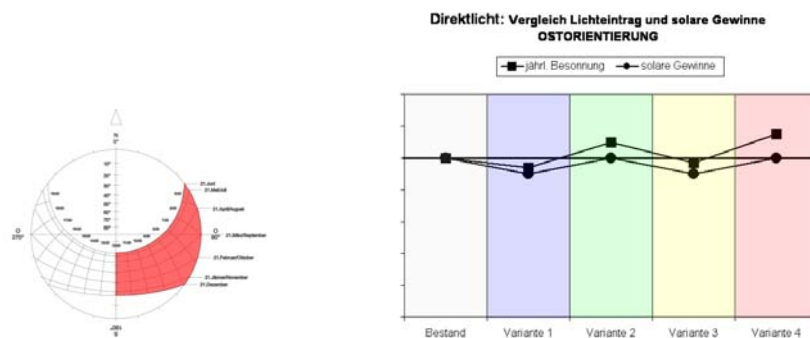


Abbildung 72: Sanierungsabhängige Reduktion bzw. Steigerungen von Direktlichteinträgen und solaren Gewinnen im Vergleich mit dem Bestandszustand (GRAU) bei Ostorientierung

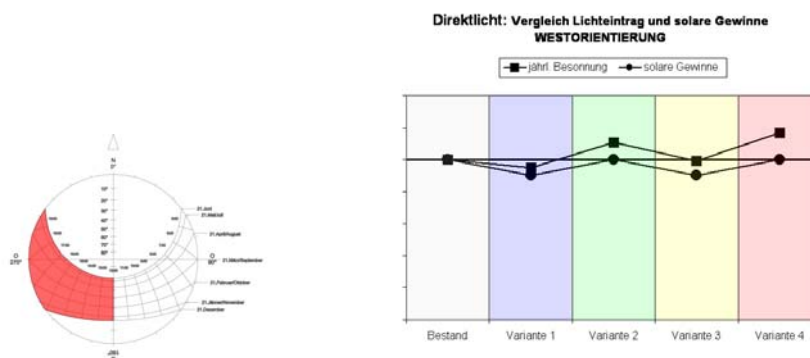


Abbildung 73: Sanierungsabhängige Reduktion bzw. Steigerungen von Direktlichteinträgen und solaren Gewinnen im Vergleich mit dem Bestandszustand (GRAU) bei Westorientierung

Südorientierung

Bei Südorientierung ist die Periode des Direktlichteinfalls am längsten. Auch die solaren Energieeinträge sind in diesem Fall am höchsten.

Die Berechnungsauswertungen zeigen, dass sowohl passivsolare Gewinne also auch Besonnungsdauer durch Verringerung von Rahmenanteilen höher ausfallen als vor der Sanierung.

Erhöhte Glasanteile und Verkleinerungen der Schatten gebende Geometrien der aufgetragenen Fassadendämmung führen gerade bei Südausrichtung zu vermehrtem Licht- und Energieeintrag.

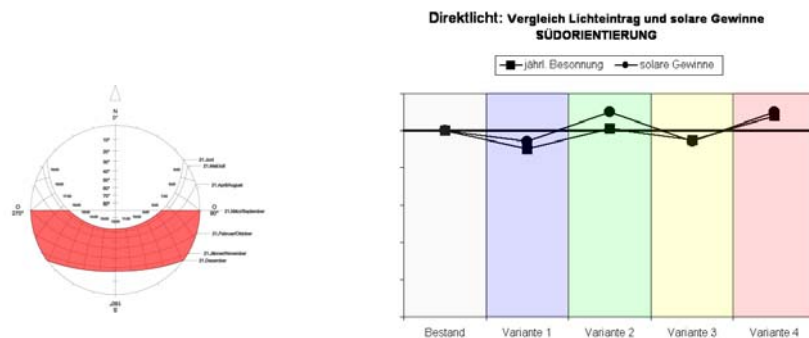


Abbildung 74: Sanierungsabhängige Reduktion bzw. Steigerungen von Direktlichteinträgen und solaren Gewinnen im Vergleich mit dem Bestandszustand (GRAU) bei Südorientierung

Nordorientierung

Kurze Besonnungszeiten morgens und abends in den Sommermonaten, geringe Sonnenhöhen, fehlendes Direktlicht und kurze Tageszeiten im Winter wirken sich bei Nordorientierung ungünstig auf den Direktlichteintrag und die lukrierbaren passivsolaren Gewinne aus.

Die Räume einer nordorientierten Wohnung werden zwar im Sommer im Fensterbereich besonnt, von September bis März unterbleibt allerdings der direkte Lichteinfall gänzlich.

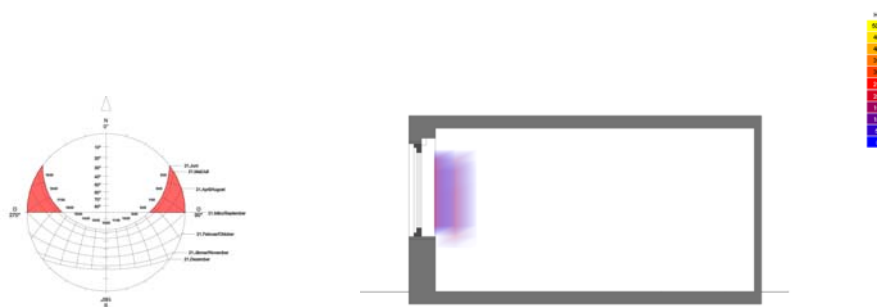


Abbildung 75: Jährliche Raumdurchlichtung bei Nordorientierung

Die Messflächen der untersuchten Räume werden bei Nordorientierung nie von Direktlicht getroffen. Die solaren Gewinne fallen, ausgehend von niedrigen Werten im Bestandsgebäude, sanierungsbedingt weiter ab.

Deshalb sollte bei rein nordorientierten Wohnungen unbedingt für eine zusätzliche Befensterung gegen eine andere Himmelsrichtung gesorgt werden. Nicht nur zur Erhöhung des Direktlichteintrages sondern auch zur Optimierung der passivsolaren Gewinne.

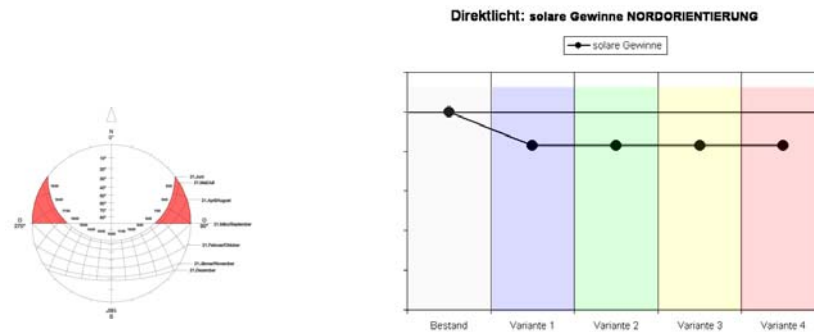


Abbildung 76: Sanierungsabhängige Reduktion von Direktlichteinträgen und solaren Gewinnen im Vergleich mit dem Bestandszustand (GRAU) bei Nordorientierung

6.4 Zusammenfassende Ergebnisse

Der Schwankungsbereich zwischen der günstigsten und ungünstigsten Sanierungsart liegt für den Diffuslicht- und jahresbezogenen Direktlichteintrag bei etwa 20%, für den solaren Energieeintrag bei 10% und für die Tageslichtautonomie bei etwa 30%. Dabei haben Fensterrahmenanteile deutlich größeren Einfluss als Leibungsgeometrien und Aufbaustärken der Wärmedämmschicht.

Die nachfolgende Ampelgrafik zeigt zusammenfassend den Einfluss der Sanierungsart auf den direkten und diffusen Lichteintrag und auch auf die Höhe der passivsolaren Gewinne in die dahinter liegenden Wohnräume.

Varianten, die Leibungsabschrägungen vorsehen stellen eine Verbesserung gegenüber konventionellen Sanierungsmethoden mit rechtwinkligen Leibungsgeometrien dar. Die erzielbaren quantitativen Lichteinträge vor der Sanierung können dadurch allerdings nicht erreicht werden. Zusätzliche Maßnahmen an Fenstern (Verringerungen von Rahmenanteilen) ermöglichen in vielen Fällen Verbesserungen gegenüber Bestandszustand. Direktlichteinträge und solare Gewinne können so gesteigert werden. Die Erhöhung des Diffuslichteintrags ist allerdings meist nur durch zusätzliche Maßnahmen, wie veränderte Oberflächenstrukturen im Innen- und Außenraum möglich.

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Tageslichtquotient	●	●	●	●
Tageslichtautonomie	●	●	●	●
Σ jährliche Messflächenbesonnung_Ostorientierung	●	●	●	●
Σ jährliche Messflächenbesonnung_Westorientierung	●	●	●	●
Σ jährliche Messflächenbesonnung_Südorientierung	●	●	●	●
Σ jährlicher solarer Gewinne_Ostorientierung	●	●	●	●
Σ jährlicher solarer Gewinne_Südorientierung	●	●	●	●
Σ jährlicher solarer Gewinne_Westorientierung	●	●	●	●
Σ jährlicher solarer Gewinne_Nordorientierung	●	●	●	●

- Verringerung gegenüber dem Bestand, max. Lichtreduktion
- Verringerung gegenüber dem Bestand, Verbesserung gegenüber max. Lichtreduktion
- Verbesserung gegenüber dem Bestand

Tabelle 21: Bewertung der Sanierungsvarianten im Bezug auf Lichteintrag und nutzbarer solaren Gewinne

7. Erfahrungen aus der praktischen Umsetzung der thermischen Gebäudesanierung

Bei der Optimierung von Licht- und Energieeinträgen ist die Modellierung der Leibungsgeometrie eine wirksame Maßnahme.

Die Baugesellschaft Wien Süd erklärte sich aus diesem Grund bereit, am Haus in der Bukalgasse Sanierungsmaßnahmen vorzunehmen, die Abschrägungen der Wärmedämmung im Sturzbereich und an der Seitenflanken von Fenstern an der Außenfassade vorsehen.

Voraussetzung dabei war, kleine Teile des bestehenden Massivmauerwerkes abzuschlagen um den Dämmblöcken im Leibungsbereich ausreichend Platz zu bieten.

Das Department für Bauen und Umwelt führte diesbezüglich Berechnungen durch, aufgrund derer die Gefahr von raumseitiger Schimmel- oder Kondensatbildung ausgeschlossen werden kann.



Abbildung 77: Visualisierung der geplanten Fassadengeometrie (links), Gebäudedarstellung (rechts), Graphik: Wien Süd

Die im Jahre 1996 eingesetzten Fenster bleiben bei der gewählten Art der Sanierung (vergleichbar mit Sanierungsvariante 3) erhalten und werden in ihrer Position nicht verändert. Die Maßnahme verspricht eine Erhöhung des diffusen und direkten Lichteintrages in die Wohnungen gegenüber jener Variante, die rechtwinkelige Leibungen vorsieht. Zudem dient das Experiment dem Sammeln von praktischen Erfahrungen für die Umsetzung zukünftiger Sanierungsprojekte.

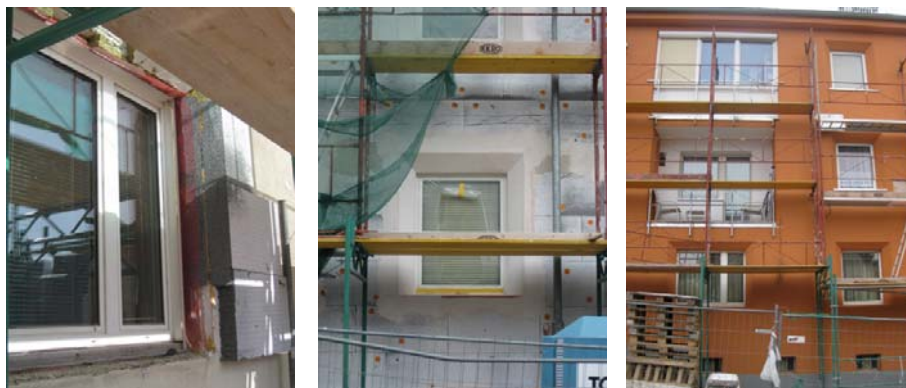


Abbildung 78: Konstruktion abgeschrägter Fensterleibungen

Im Zuge von Baubesprechungen mit Auftraggeber und ausführenden Baufirmen, vertreten durch DI Gerald Batelka Wien, Süd und Heribert Sereinig, G + G Bau wurden Informationen eingeholt, die Aufschlüsse über die praktische Umsetzung der Sanierung in der Projektvorbereitung und Ausführung geben;

7.1 Stellungnahmen von Auftraggeber und ausführender Baufirma

Sehen Sie in dieser Art der Gebäudesanierung Nachteile, die bei konventioneller Sanierung nicht aufgetreten wären?

Die Konstruktion von abgeschrägten Fensterleibungen bewirkte eine Vielzahl von Arbeitsschritten, die im Falle von konventionellen Sanierungen mit rechtwinkelig eingebrachten Dämmplatten nicht auftreten.

Zunächst waren Stemm- und Abbrucharbeiten am Bestandsmauerwerk notwendig, um für den Einbau von abgeschrägten Dämmelementen Platz zu schaffen.

Durch die veränderten Leibungsgeometrien konnten Bauelemente, die bisher standardmäßig verwendet wurden, nicht eingesetzt werden.

Die aufwendige Bearbeitung von Dämmplatten im Seiten- und Sturzbereich oder trapezförmig ausgeführten Außenfensterbänke führten zu Mehrkosten und erschwerten Einbau.

Probleme stellte auch die Anbringung von außen liegenden Sonnenschutzelementen dar.

Die Integration von Kästen für Rollläden oder Raffstoren wurde durch die abgeschrägten Leibungen und das damit verminderte Platzangebot im Sturzbereich erschwert.

Sehen Sie, neben den lichtplanerischen Vorteilen dieser Sanierungsvariante, auch gestalterische Vorteile?

Die Sanierungsmaßnahmen bewirken interessante Oberflächengeometrien, die den lichtplanerischen Mehrwert der Fenster und Bauteilöffnungen erahnen lassen.

Stellt die Ausbildung von abgeschrägten Wärmedämmungen im Gegensatz zu konventionellen Sanierungsarbeiten einen zeitlichen Mehraufwand in der Projektvorbereitung dar?

Neben der Anfertigung von Mustern und Prototypen waren zusätzliche Baubesprechungen zwischen Auftraggeber und ausführenden Firmen während den Projektvorbereitungen und der Durchführung notwendig, da zum gegebenen Zeitpunkt noch keine Erfahrungswerte in von technischen Umsetzungsmöglichkeiten vorlagen.

Der zusätzliche zeitliche Mehraufwand für den Auftraggeber kann mit etwa 2 zusätzlichen Arbeitstagen beziffert werden.

Welcher zeitliche Mehraufwand ergab sich für die ausführenden Firmen in der Projektdurchführung?

Normalerweise wird für die Sanierung einer Fensterleibungen ein Zeitaufwand von etwa 3 Arbeitsstunden angenommen. In dieser Zeit werden Wärmedämmplatten zugeschnitten, aufgetragen, verspachtelt und verputzt. Durch die Ausbildung von abgeschrägten Fensterleibungen kamen Stemmarbeiten, erschwerter Materialzuschnitt und Spachtelarbeiten hinzu. In Summe wurde eine Arbeitszeit von etwa 12 Stunden je Fenster kalkuliert.

In der Regel werden Sanierungsarbeiten an der Fassade nach Anzahl sanierter Quadratmetern entlohnt. Im Falle der Fassadensanierung mit abgeschrägten Leibungen war für die Anzahl an Quadratmetern sanierter Fläche ein vergleichsweise größerer Zeitaufwand notwendig. Dies führte dazu, dass einige Arbeiter die Baustelle im laufenden Betrieb verlassen haben.

Für die Bauführung bedeutete dies einen zusätzlichen Aufwand für die Rekrutierung von neuen Arbeitskräften, die darüber hinaus neu eingewiesen werden mussten.

Wie hoch kann der finanzielle Mehraufwand für diese Art der Gebäudesanierung beziffert werden?

Durch den Aufwand für die vor Ort entwickelten Umsetzungstechniken, die zusätzlich anfallende Arbeitszeit, die Verwendung von Sonderbauteilen und den anfallenden Verschnitt von Dämmplatten entstanden Mehrkosten von etwa 500€ pro Fenster.

Ist die unkonventionelle Art der Gebäudesanierung für Sie auch in Zukunft eine Option?

Die Art der Gebäudesanierung kann als interessantes Pilotprojekt gesehen werden, das auf eine Vielzahl von Problemstellungen bei der Gebäudesanierung hinweist. Abgeschrägte Fensterleibungen bringen aus lichtplanerischer Sicht Vorteile mit sich, stellen allerdings eine komplizierte Einbausituationen von Dämmelementen dar und erfordern qualifiziertes Arbeiterpersonal, gleichzeitig entsteht ein Mehraufwand an Arbeitsstunden für Planer und Ausführende. Für zukünftige Projekte ist der Einbau von Fenstern mit thermisch verbesserter Glasqualität und verminderter Rahmenstärke eine interessante Option.

Auch die Verlegung der Fensterposition weiter nach außen ohne Leibungsabschrägung erscheint als vernünftige Möglichkeit.

Dadurch würde sich zwar ein materieller Mehraufwand durch neue Fenster und Fensterbänke ergeben, gleichzeitig verringerte sich die Anzahl an Sonderelementen und die Arbeitszeit zur Modellierung der Dämmplatten. Ebenso würde die Anbringung von außen liegenden Sonnenschutzelementen nicht erschwert.

Abschließend sei noch erwähnt, dass im Zuge der Projektumsetzung mehrere Ideen zur energetischen Gebäudeoptimierung entstanden und zur Ausführung gelangt sind. So wurden etwa an allen Balkonbrüstungen Photovoltaikmodule montiert. Zudem wurden sämtliche Wohnungen mit kontrollierten Wohnraumlüftungen ausgestattet, die an einem lärmbelasteten Ort für verbesserten Wohnkomfort sorgen, da durch die so gewährleistete Frischluftzufuhr die Fenster zur Ketzergasse geschlossen bleiben können.

8. Verzeichnisse

8.1 Literaturverzeichnis

Brandi Ulrike, Augustesen Christina, Dietrich Udo, Friederici Annette, Geissmar-Brandi Christoph, Kristensen Peter, Madsen Merete, Storch Anja, Wand Burkhard: *Tageslicht Kunstlicht*, Edition Detail, Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München, 2005

Corrodi Michelle, Spechtenhauser Klaus: *Lichteinfall*, Birkhäuser 2008

Geiselman Thomas, Masterthesis Dynamische Tageslichtsimulation zur Ermittlung des Energiebedarfes für Kunstlicht in Bürogebäuden, Department für Bauen und Umwelt 2005

Hayner Michael, Ruoff Jo, Thiel Dieter, *Faustformeln Gebäudetechnik* Deutsche Verlags-Anstalt, 2010, S 118

8.2 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: RAUMDURCHLICHTUNG	72
ABBILDUNG 2: HEIZWÄRMEBEDARF UND SOLARE GEWINNE	73
ABBILDUNG 3: TAGESLICHTQUOTIENTENVERLAUF	73
ABBILDUNG 4: TAGESLICHTAUTONOMIE	74
ABBILDUNG 5: LAGE VON LIESING IM WIENER STADTGEBIET.....	75
ABBILDUNG 6: WOHNUNGSBEISPIELE MEGGAUGASSE, AUßENANSICHTEN UND GRUNDRISSE	76
ABBILDUNG 7: WOHNUNGSBEISPIELE ENDRESSTRAßE, AUßENANSICHTEN UND GRUNDRISSE.....	76
ABBILDUNG 8: WOHNUNGSBEISPIEL BUKALGASSE, AUßENANSICHT UND GRUNDRISS.....	77
ABBILDUNG 9: VERSUCHSWOHNUNG BUKALGASSE, AUßENANSICHTEN	78
ABBILDUNG 10: VERSUCHSWOHNUNG BUKALGASSE, GRUNDRISS UND SCHNITT.....	78
ABBILDUNG 11: GRAFISCHE DARSTELLUNG DES BESTEHENDEN WANDAUFBAUES UND DER 4 AUSGEWÄHLTEN SANIERUNGSVARIANTEN	79
ABBILDUNG 12: RÄUMLICHE DARSTELLUNG DER BESTEHENDEN AUßENWAND	81
ABBILDUNG 13: RÄUMLICHE DARSTELLUNG DER 4 AUSGEWÄHLTEN SANIERUNGSVARIANTEN.....	81
ABBILDUNG 14: DIGITALES GEBÄUDEMODELL.....	82
ABBILDUNG 15: WOHNUNGSMODELL	82
ABBILDUNG 16: DIGITALES BERECHNUNGSMODELL MIT NACHGEBILDETER FASSADENGEOMETRIE	83
ABBILDUNG 17: LICHLABOR, LEUCHTENKUPPEL ZUR SIMULATION EINES GLEICHMÄßIG BEDECKTEN HIMMELS... 84	
ABBILDUNG 18: LICHLABOR, BEWEGLICHE SONNE ZUR SIMULATION VON SONNENSTÄNDEN.....	84
ABBILDUNG 19: MESSFLÄCHENDARSTELLUNG.....	85
ABBILDUNG 20: GRAFISCHE DARSTELLUNG DES BESTEHENDEN WANDAUFBAUES UND DER 4 AUSGEWÄHLTEN SANIERUNGSVARIANTEN	86
ABBILDUNG 21. ZEITLICHES NUTZUNGSPROFIL VON WOHNGEBÄUDEN	87
ABBILDUNG 22: GERÄTEANORDNUNG FÜR MODELLAUFNAHMEN IM LICHTLABOR; KÜNSTLICHE SONNE, MODELL, KAMERA	89
ABBILDUNG 23: DARSTELLUNG DER ÜBERLAGERUNG VON DIREKT BELICHTETEN MODELLFOTOS BEI UNTERSCHIEDLICHER GEBÄUDEORIENTIERUNG.....	89
ABBILDUNG 24: TÄGLICHE SONNENSCHEINDAUER, MONATSBEZOGEN.....	91
ABBILDUNG 25: AUFTRETEN VON DIREKTLICHT AUF DER MESSFLÄCHE IM SCHLAFZIMMER IM VERLAUF EINES JAHRES,	91
ABBILDUNG 26: AUFTRETEN VON DIREKTLICHT AUF DER MESSFLÄCHE IM WOHNZIMMER IM VERLAUF EINES JAHRES,	92
ABBILDUNG 27: JÄHRLICHE BESONNUNGSDAUER DER MESSFLÄCHE IM SCHLAFZIMMER BEI OSTORIENTIERUNG, IM BESTANDSZUSTAND UND BEI DEN SANIERUNGSVARIANTEN 1-4, DARSTELLUNG DER ZUGEWINNE BZW. VERLUSTE IN PROZENT	93
ABBILDUNG 28: JÄHRLICHE BESONNUNGSDAUER DER MESSFLÄCHE IM SCHLAFZIMMER BEI WESTORIENTIERUNG, IM BESTANDSZUSTAND UND BEI DEN SANIERUNGSVARIANTEN 1-4, DARSTELLUNG DER ZUGEWINNE BZW. VERLUSTE IN PROZENT	94
ABBILDUNG 29: JÄHRLICHE BESONNUNGSDAUER DER MESSFLÄCHE IM SCHLAFZIMMER BEI SÜDORIENTIERUNG, IM BESTANDSZUSTAND UND BEI DEN SANIERUNGSVARIANTEN 1-4, DARSTELLUNG DER ZUGEWINNE BZW. VERLUSTE IN PROZENT	94

ABBILDUNG 30: JÄHRLICHE BESONNUNGSDAUER DER MESSFLÄCHE IM WOHNZIMMER BEI OSTORIENTIERUNG, IM BESTANDSZUSTAND UND BEI DEN SANIERUNGSVARIANTEN 1 UND 2, DARSTELLUNG DER ZUGEWINNE BZW. VERLUSTE IN PROZENT	95
ABBILDUNG 31: JÄHRLICHE BESONNUNGSDAUER DER MESSFLÄCHE IM WOHNZIMMER BEI WESTORIENTIERUNG, IM BESTANDSZUSTAND UND BEI DEN SANIERUNGSVARIANTEN 1 UND 2, DARSTELLUNG DER ZUGEWINNE BZW. VERLUSTE IN PROZENT	95
ABBILDUNG 32: JÄHRLICHE BESONNUNGSDAUER DER MESSFLÄCHE IM WOHNZIMMER BEI SÜDORIENTIERUNG, IM BESTANDSZUSTAND UND BEI DEN SANIERUNGSVARIANTEN 1 UND 2, DARSTELLUNG DER ZUGEWINNE BZW. VERLUSTE IN PROZENT	95
ABBILDUNG 33: DARSTELLUNG DER REDUKTIONEN DES MONATLICHEN DIREKTLICHT-EINTRAGES IM SCHLAFZIMMER BEI SANIERUNGSVARIANTE 1 UND 3 IM VERGLEICH ZUM BESTANDSZUSTAND, BEI OSTORIENTIERUNG	96
ABBILDUNG 34: DARSTELLUNG DER REDUKTIONEN DES MONATLICHEN DIREKTLICHT-EINTRAGES IM SCHLAFZIMMER BEI SANIERUNGSVARIANTE 1 UND 3 IM VERGLEICH ZUM BESTANDSZUSTAND, BEI WESTORIENTIERUNG	96
ABBILDUNG 35: DARSTELLUNG DER STEIGERUNGEN DES MONATLICHEN DIREKTLICHT-EINTRAGES IM SCHLAFZIMMER BEI SANIERUNGSVARIANTE 2 UND 4 IM VERGLEICH ZUM BESTANDSZUSTAND, BEI OSTORIENTIERUNG	97
ABBILDUNG 36: DARSTELLUNG DER STEIGERUNGEN DES MONATLICHEN DIREKTLICHT-EINTRAGES IM SCHLAFZIMMER BEI SANIERUNGSVARIANTE 2 UND 4 IM VERGLEICH ZUM BESTANDSZUSTAND, BEI WESTORIENTIERUNG	97
ABBILDUNG 37: DARSTELLUNG DER REDUKTION BZW. STEIGERUNGEN DES MONATLICHEN DIREKTLICHT-EINTRAGES IM WOHNZIMMER BEI SANIERUNGSVARIANTE 1 UND 2 IM VERGLEICH ZUM BESTANDSZUSTAND, BEI OSTORIENTIERUNG	97
ABBILDUNG 38: DARSTELLUNG DER REDUKTION BZW. STEIGERUNGEN DES MONATLICHEN DIREKTLICHT-EINTRAGES IM WOHNZIMMER BEI SANIERUNGSVARIANTE 1 UND 2 IM VERGLEICH ZUM BESTANDSZUSTAND, BEI WESTORIENTIERUNG	98
ABBILDUNG 39: DARSTELLUNG DER REDUKTIONEN DES MONATLICHEN DIREKTLICHT-EINTRAGES IM SCHLAFZIMMER BEI SANIERUNGSVARIANTE 1 UND 3 IM VERGLEICH ZUM BESTANDSZUSTAND, BEI SÜDORIENTIERUNG	98
ABBILDUNG 40: DARSTELLUNG DES MONATLICHEN DIREKTLICHT-EINTRAGES IM SCHLAFZIMMER BEI SANIERUNGSVARIANTE 2 UND 4 IM VERGLEICH ZUM BESTANDSZUSTAND, BEI SÜDORIENTIERUNG	99
ABBILDUNG 41: DARSTELLUNG DER REDUKTION BZW. STEIGERUNGEN DES MONATLICHEN DIREKTLICHT-EINTRAGES IM WOHNZIMMER BEI SANIERUNGSVARIANTE 1 UND 2 IM VERGLEICH ZUM BESTANDSZUSTAND, BEI SÜDORIENTIERUNG	99
ABBILDUNG 42: BILDVERGLEICH VON DIREKTLICHT-EINTRÄGEN BEI UNTERSCHIEDLICHEN SANIERUNGSVARIANTEN;	100
ABBILDUNG 43: BILDVERGLEICH VON DIREKTLICHT-EINTRÄGEN BEI UNTERSCHIEDLICHEN SANIERUNGSVARIANTEN;	100
ABBILDUNG 44: BILDVERGLEICH VON DIREKTLICHT-EINTRÄGEN BEI UNTERSCHIEDLICHEN SANIERUNGSVARIANTEN;	101
ABBILDUNG 45: BILDVERGLEICH VON DIREKTLICHT-EINTRÄGEN BEI UNTERSCHIEDLICHEN SANIERUNGSVARIANTEN;	101
ABBILDUNG 46: BILDVERGLEICH VON DIREKTLICHT-EINTRÄGEN BEI UNTERSCHIEDLICHEN SANIERUNGSVARIANTEN;	102
ABBILDUNG 47: FALSCHFARBENDIAGRAMM DER DAUER DER JÄHRLICHEN MESSFLÄCHENBESONNUNG IM SCHLAF- UND WOHNZIMMER IM BESTANDSZUSTAND BEI OST- WEST- UND SÜDORIENTIERUNG (GELB >500 STUNDEN, BLAU >0 STUNDEN)	103
ABBILDUNG 48: FALSCHFARBENDIAGRAMM DER DAUER DER JÄHRLICHEN MESSFLÄCHENBESONNUNG IM SCHLAF- UND WOHNZIMMER BEI SANIERUNGSVARIANTE 1 BEI OST- WEST- UND SÜDORIENTIERUNG (GELB >500 STUNDEN, BLAU >0 STUNDEN)	104
ABBILDUNG 49: FALSCHFARBENDIAGRAMM DER DAUER DER JÄHRLICHEN MESSFLÄCHENBESONNUNG IM SCHLAF- UND WOHNZIMMER BEI SANIERUNGSVARIANTE 4 BEI OST- WEST- UND SÜDORIENTIERUNG (GELB >500 STUNDEN, BLAU >0 STUNDEN)	105
ABBILDUNG 50: JÄHRLICHE RAUMDURCHLICHTUNG, SCHLAFZIMMER IM BESTANDSZUSTAND BEI NORD- OST- WEST- SÜDORIENTIERUNG (GELB >1000 STUNDEN, BLAU >0 STUNDEN)	106
ABBILDUNG 51: JÄHRLICHE RAUMDURCHLICHTUNG, SCHLAFZIMMER BEI SANIERUNGSVARIANTE 1 BEI NORD- OST- WEST- SÜDORIENTIERUNG (GELB >1000 STUNDEN, BLAU >0 STUNDEN)	107
ABBILDUNG 52: JÄHRLICHE RAUMDURCHLICHTUNG, SCHLAFZIMMER BEI SANIERUNGSVARIANTE 4 BEI NORD- OST- WEST- SÜDORIENTIERUNG (GELB >1000 STUNDEN, BLAU >0 STUNDEN)	108

ABBILDUNG 53: HWB UND SOLARE GEWINNE IM BESTANDSZUSTAND UND NACH SANIERUNG BEI NORD ORIENTIERUNG	111
ABBILDUNG 54: HWB UND SOLARE GEWINNE IM BESTANDSZUSTAND UND NACH SANIERUNG BEI OST ORIENTIERUNG	112
ABBILDUNG 55: HWB UND SOLARE GEWINNE IM BESTANDSZUSTAND UND NACH SANIERUNG BEI WEST ORIENTIERUNG	112
ABBILDUNG 56: HWB UND SOLARE GEWINNE IM BESTANDSZUSTAND UND NACH SANIERUNG BEI SÜD ORIENTIERUNG	112
ABBILDUNG 57: SÄULENDIAGRAMM ZUR VERDEUTLICHUNG DER SANIERUNGSBEDINGTEN TQ- REDUKTIONEN IM SCHLAFZIMMER	114
ABBILDUNG 58: SÄULENDIAGRAMM ZUR VERDEUTLICHUNG DER SANIERUNGSBEDINGTEN TQ- REDUKTIONEN IM WOHNZIMMER	115
ABBILDUNG 59: TAGESLICHTQUOTIENTENVERTEILUNG IN DEN WOHNÄRÄUMEN IM ZUSTAND VOR DER SANIERUNG	115
ABBILDUNG 60: TAGESLICHTQUOTIENTENVERTEILUNG IN DEN WOHNÄRÄUMEN BEI SANIERUNGSVARIANTE 1 (LINKS) UND 2 (RECHTS)	115
ABBILDUNG 61: TAGESLICHTQUOTIENTENVERTEILUNG IN DEN WOHNÄRÄUMEN BEI SANIERUNGSVARIANTE 3 (LINKS) UND 4 (RECHTS)	115
ABBILDUNG 62: SÄULENDIAGRAMM ZUR VERDEUTLICHUNG DER SANIERUNGSBEDINGTEN REDUKTIONEN DER TAGESLICHTAUTONOMIEN	117
ABBILDUNG 63: VERLAUFSKURVEN DER MONATLICHEN TAGESLICHTAUTONOMIEN	118
ABBILDUNG 64: VERLAUFSKURVEN DER MONATLICHEN TAGESLICHTAUTONOMIEN	118
ABBILDUNG 65: SÄULENDIAGRAMM ZUR VERDEUTLICHUNG DER STEIGERUNG DER TAGESLICHTAUTONOMIE DURCH ERHÖHUNG DER DURCHSCHNITTLICHEN TQ WERTE.....	119
ABBILDUNG 66: VERLAUFSKURVEN DER MONATLICHEN TAGESLICHTAUTONOMIEN.....	119
ABBILDUNG 67: SANIERUNGSBEDINGTE REDUKTION DER TQ- UND TAGESLICHTAUTONOMIEWERTE	121
ABBILDUNG 68: VERGLEICH DES ZEITLICHEN NUTZUNGSPROFILS VON BÜROS (LINKS) UND WOHNUNGEN (RECHTS)	122
ABBILDUNG 69: LEIBUNGSABSCHRÄGUNG,	122
ABBILDUNG 70: DUNKLE LEIBUNGSGEOMETRIEN (LINKS), VERRINGERTE AUßENREFLEXION DURCH SCHWARZE HOCHHAUSFASSADE (RECHTS).....	123
ABBILDUNG 71: UNTERSCHIEDLICHE DER LICHTTRANSMISSION DURCH VERGLASUNG,	123
ABBILDUNG 72: SANIERUNGSABHÄNGIGE REDUKTION BZW. STEIGERUNGEN VON DIREKTLICHTEINTRÄGEN UND SOLAREN GEWINNEN IM VERGLEICH MIT DEM BESTANDSZUSTAND (GRAU) BEI OSTORIENTIERUNG.....	124
ABBILDUNG 73: SANIERUNGSABHÄNGIGE REDUKTION BZW. STEIGERUNGEN VON DIREKTLICHTEINTRÄGEN UND SOLAREN GEWINNEN IM VERGLEICH MIT DEM BESTANDSZUSTAND (GRAU) BEI WESTORIENTIERUNG.....	124
ABBILDUNG 74: SANIERUNGSABHÄNGIGE REDUKTION BZW. STEIGERUNGEN VON DIREKTLICHTEINTRÄGEN UND SOLAREN GEWINNEN IM VERGLEICH MIT DEM BESTANDSZUSTAND (GRAU) BEI SÜDORIENTIERUNG.....	125
ABBILDUNG 75: JÄHRLICHE RAUMDURCHLICHTUNG BEI NORDORIENTIERUNG.....	125
ABBILDUNG 76: SANIERUNGSABHÄNGIGE REDUKTION VON DIREKTLICHTEINTRÄGEN UND SOLAREN GEWINNEN IM VERGLEICH MIT DEM BESTANDSZUSTAND (GRAU) BEI NORDORIENTIERUNG	126
ABBILDUNG 77: VISUALISIERUNG DER GEPLANTEN FASSADENGEOMETRIE (LINKS), GEBÄUDEDARSTELLUNG (RECHTS), GRAPHIK: WIEN SÜD.....	127
ABBILDUNG 78: KONSTRUKTION ABGESCHRÄGTER FENSTERLEIBUNGEN.....	127

8.3 Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: RAUM- UND FENSTERSTRUKTUREN, BELICHTUNGSARTEN DER UNTERSUCHTEN WOHNUNGEN	77
TABELLE 2: RAUM- UND FENSTERSTRUKTUREN, BELICHTUNGSART DER VERSUCHSWOHNUNG	79
TABELLE 3: BAUPHYSIKALISCHE PARAMETER FÜR WAND UND FENSTERBAUTEILE	85
TABELLE 4: EINGABEPARAMETER FÜR DEN STRAHLUNGSDURCHGANG DURCH VERGLASUNGEN	86
TABELLE 5: EINGABEPARAMETER FÜR OPTISCHE EIGENSCHAFTEN VON OBERFLÄCHEN	86
TABELLE 6: EINGABEPARAMETER FÜR DIE DIFFUSLICHTBERECHNUNG	86
TABELLE 7: BERECHNUNGSPARAMETER FÜR DIE ERMITTLUNG DER TAGESLICHTAUTONOMIE	87
TABELLE 8: ZUGEWINNE VON DIREKTLICHTEINTRÄGEN IM SCHLAFZIMMER DURCH SANIERUNGSVARIANTE 2 UND 4	93
TABELLE 9: VERLUSTE VON DIREKTLICHTEINTRÄGEN IM SCHLAFZIMMER DURCH SANIERUNGSVARIANTE 1 UND 3	93
TABELLE 10: ZUGEWINNE VON DIREKTLICHTEINTRÄGEN IM WOHNZIMMER DURCH SANIERUNGSVARIANTE 2	94
TABELLE 11: VERLUSTE VON DIREKTLICHTEINTRÄGEN IM SCHLAFZIMMER DURCH SANIERUNGSVARIANTE 1	94
TABELLE 12: HEIZWÄRMEBEDARF DER WOHNUNG VOR DER SANIERUNG	110

TABELLE 13: HEIZWÄRMEBEDARF DER SANIERTEN WOHNUNG BEI SANIERUNGSVARIANTE 1-4	110
TABELLE 14: NUTZBARE SOLARE GEWINNE DER WOHNUNG IM BESTANDSZUSTAND UND BEI SANIERUNGSVARIANTE 1-4	111
TABELLE 15: SANIERUNGS- UND ORIENTIERUNGSABHÄNGIGE REDUKTIONEN UND STEIGERUNGEN DER SOLAREN GEWINNE	111
TABELLE 16: SANIERUNGSBEDINGTE REDUKTIONEN DER TAGESLICHTQUOTIENTWERTE IM SCHLAFZIMMER	114
TABELLE 17: SANIERUNGSBEDINGTE REDUKTIONEN DER TAGESLICHTQUOTIENTWERTE IM WOHNZIMMER	114
TABELLE 18: SANIERUNGSBEDINGTE REDUKTIONEN DER TAGESLICHTAUTONOMIEN	117
TABELLE 19: ERFÜLLUNG VON GESETZLICHEN UND NORMATIVEN ANFORDERUNGEN AN DIE RAUMBELEUCHTUNG; GELTEND FÜR DEN BESTANDSZUSTAND SOWIE SANIERUNGSVARIANTEN 1 UND 3	120
TABELLE 20: ERFÜLLUNG VON GESETZLICHEN UND NORMATIVEN ANFORDERUNGEN AN DIE RAUMBELEUCHTUNG; GELTEND FÜR DIE SANIERUNGSVARIANTEN 2 UND 4	120
TABELLE 21: BEWERTUNG DER SANIERUNGSVARIANTEN IM BEZUG AUF LICHT EINTRAG UND NUTZBARER SOLAREN GEWINNE	126

Kapitel V
Résumé



Résumé

Die untersuchten sanierungsbedingten Veränderungen von Diffus- und Direktlichteinträgen sowie der nutzbaren solaren Gewinne und der Tageslichtautonomie werden im abschließenden Kapitel zusammengefasst.

Häufig angewandte Arten der thermischen Gebäudesanierung sowie der Stellenwert des direkten Lichteinfalls für die allgemeine qualitative Wahrnehmung von Wohnsituationen werden durch die Ergebnisse aus zwei Onlineumfragen, die am Department für Bauen und Umwelt im Zuge dieser Arbeit durchgeführt wurden, bewertet.

Aus den Untersuchungsergebnissen werden Strategien für tageslichtoptimierende Sanierungsmaßnahmen abgeleitet und erläutert.

Praktiken der thermischen Gebäudesanierung

Die Dämmung der Gebäudehülle samt Fenstertausch ist, laut einer Umfrage unter ArchitektInnen, BaumeisterInnen, Wohnbaugesellschaften und Hausverwaltungen, die am häufigsten angewandte Art der thermischen Gebäudesanierung.

Andere Sanierungsmethoden sehen lediglich die Dämmung der Gebäudehülle vor, oder es wird eine energetische Komplettanierung samt Erneuerung der Haustechnikanlage vorgenommen. Als Dämmmaterial kommen überwiegend Wärmedämmverbundsysteme aus EPS- oder XPS-Platten zum Einsatz. Anorganische oder biologisch- nachhaltige Baustoffe werden kaum verwendet.

Die im Zuge von Sanierungen getauschten Fenster bestehen überwiegend aus Holz und Aluminium mit 2-facher Wärmeschutzverglasung. Das Verhältnis von Glas- und Rahmenanteilen wird von etwa der Hälfte der Befragten zumeist aus ästhetischen aber auch aus lichtplanerischen Gründen berücksichtigt. Veränderungen von Fenstergrößen und damit verbundenen Eingriffe in das Erscheinungsbild von Fassade finden kaum Anwendungen.¹

Quantitativer Lichteintrag

Die sanierungsbedingten Veränderungen von Diffus- und Direktlichteinträgen sowie der nutzbaren solaren Gewinne und der Tageslichtautonomie werden anhand konkreter Wohnungsbeispiele und einer ausgewählten Versuchswohnung berechnet.

Diffuslichteintrag

Messungen und Berechnungen der Lichtsituationen ergeben bei allen untersuchten Wohnungen geringe Lichteinträge mit einem durchschnittlichen Tageslichtquotientwert von 1,21% vor der Sanierung. Durch den Sanierungseingriff werden die quantitativen Lichteinträge um durchschnittlich 22% verringert, was dem Verzicht auf etwa jedes fünfte Fenster gleichkommen würde.

Folgende Faktoren sind für die Verringerungen der Lichteinträge hauptverantwortlich²:

- + Erhöhung der Rahmenanteile der Befensterungen um durchschnittlich etwa 11%
- + Vergrößerung der Leibungsgeometrien durch zusätzlich aufgebrachte Dämmschichten an der Außenfassade (Dämmstärke zw. 10cm und 18cm)
- + Rechtwinkelige, schachtartige Fensterleibungen
- + Oberflächengestaltungen mit geringen Lichtreflexionseigenschaften

¹ Vgl. Kapitel I, Teil4 – Befragungsergebnisse zu Praktiken der thermischen Gebäudesanierung

² Vgl. Kapitel III, Teil 3.2 – Tageslichtrelevante Planungsparameter

Tageslichtoptimierende Maßnahmen

Folgende Möglichkeiten für lichtoptimierende Sanierungsmaßnahmen werden empfohlen:

- + **Verwendung von Fenstern mit verringerten Rahmenanteilen**
(in den Untersuchungen wurden die Rahmenanteile der Fenster um ca. 10% reduziert, die Rahmenansichtsbreite verringerte sich dabei von 14cm auf 10cm)
- + **Modellierung von Fensterleibungen**, Abschrägungen im Sturz- und Flankenbereich
(zur Vermeidung von Wärmebrücken und für eine vereinfachte Umsetzung ohne Tausch von bestehenden Fensterüberlagern wurden die Abschrägungen nur bis etwa 7cm an die Fensterrahmen herangeführt)
- + Verwendung von inneren und äußeren Bauteiloberflächen mit **hohen Reflexionseigenschaften** (im Leibungsbereich und – wenn möglich - im Bodenbereich vor und an gegenüberliegenden Fassaden)
- + bei Balkonen: Verwendung von transparenten Brüstungsausfachungen zur Steigerung des Lichteintrages im Bodenbereich der dahinterliegenden Aufenthaltsräume

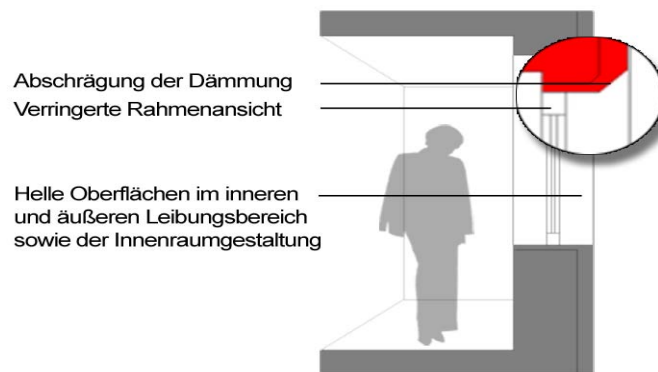


Abbildung 1: Darstellung von konstruktiven Sanierungsmaßnahmen zur Optimierung von Lichteinträgen in Wohnungen; Leibungsabschrägungen im Flanken und Sturzbereich von Fenstern – ggf. ohne Tausch von Fensterüberlagern, verringerte Fensterrahmenanteile, Helle Oberflächen im Innen- und Außenbereich

Die vielfach angenommene Vermutung, vermehrten Direktlichteintrag durch Versetzung von Fenstern an die Vorderkante der Außenfassade erzielen zu können, wird durch zusätzlich durchgeführte Untersuchungen nicht bestätigt. Eher ist durch diese Maßnahme mit Lichtverlusten zu rechnen.

Durch Berücksichtigung dieser Empfehlungen können die quantitativen diffusen Lichteinträge in Wohnungen auf ein vergleichbares Niveau wie vor der Sanierung gebracht werden und ermöglichen orientierungsabhängige Steigerungen des direkten Lichteinfallens. In Kapitel IV werden diese lichtoptimierende Leibungsgestaltung neben 3 anderen Sanierungsarten für weiterführende Berechnungen herangezogen.³

Vergrößerungen oder Erhöhung der Anzahl von Fensteröffnungen wurden nicht angewendet.

³ Vgl. Kapitel IV, Teil 2.5 – Auswahl von Sanierungsmaßnahmen

Direktlichteintrag

Direkter Lichteintrag wird in der vorliegenden Studie durch jene Zeit quantifiziert, in der eine horizontale Messfläche im Lauf eines Jahres von direktem Licht besonnt wird.⁴

Durch die beschriebenen lichtoptimierenden Sanierungsmaßnahmen kann dieser im Vergleich zum Wohnungszustand vor der Sanierung gesteigert werden. In Abhängigkeit von der Wohnungsorientierung kann der vermehrte jährliche Direktlichteintrag wie folgt beziffert werden:

- | | |
|-------------------------------|-------------------------|
| + Ost- bzw. Westorientierung: | Steigerungen bis zu 17% |
| + Südorientierung: | Steigerungen bis zu 8% |

Sanierungen ohne tageslichtoptimierende Maßnahmen (schachtartige Leibungen, hohe Fensterrahmenanteile), wie Variante 1 aus Kapitel IV Teil 2.5 bewirken hingegen orientierungsabhängige Reduktionen des Direktlichteintrages:

- | | |
|-------------------------------|-------------------------|
| + Ost- bzw. Westorientierung: | Lichteinbußen bis zu 6% |
| + Südorientierung: | Lichteinbußen bis zu 9% |

Tageslichtautonomie

Die Tageslichtautonomie gibt an, zu wie viel Prozent einer Bemessungszeit natürliches Licht in einer Wohnung zur Aufrechterhaltung einer angenommenen Mindestbeleuchtungsstärke ausreicht und demnach kein künstliches Licht zugeschaltet werden muss.⁵

Eine Versuchswohnung mit einem durchschnittlichen Tageslichtquotient von 1,27% weist eine Tageslichtautonomie von 23% auf (bei angenommener Mindestbeleuchtungsstärke von 300 Lux und einem Nutzungszeitraum zwischen 7.00 und 22.00).

In Monaten mit kurzen Tageslängen und geringen äußeren Beleuchtungsstärken (etwa im Dezember oder Jänner) muss fast durchgehend Kunstlicht zugeschaltet werden, in den Sommermonaten reicht das Tageslicht nur zu etwa 50% der Bemessungszeit aus, um die erforderliche Mindestbeleuchtungsstärke aufrecht zu erhalten.

Durch den sanierungsbedingten Verlust an Lichteinträgen wird die Tageslichtautonomie um bis zu 35% herabgesetzt.

Lichtoptimierte Sanierungsmaßnahmen tragen dazu bei, den zusätzlichen Energieverbrauch für Kunstlicht einzugrenzen. Eine Anhebung der Lichteinträge (Tageslichtquotient-Annahme 3%), etwa durch Veränderungen von Fenstergößen, würden eine Steigerung der Tageslichtautonomie von 23% auf 57% ermöglichen.

Heizwärmebedarf und solare Gewinne

Die sanierungsbedingte Reduktion des Heizwärmebedarfes durch die Aufbringung einer 10cm starken äußeren Wärmedämmung betragen in den durchgeführten Untersuchungen je nach Sanierungsart und Orientierung zwischen 19% und 23% im Vergleich zum Gebäudezustand vor der Sanierung (bei einem Heizwärmebedarf von 87kWh/m²a bei Nordorientierung, 83kWh/m²a bei Ost- und Westorientierung und 74kWh/m²a bei Südorientierung).⁶

⁴ Vg. Kapitel I, Teil 1 – Lichtplanerische Kennwerte

⁵ ebenda

⁶ Vgl. Kapitel IV, Teil 5.2 – Heizwärmebedarf und solare Gewinne

Die passiv solaren Gewinne Q_s weisen dabei folgende Größenordnungen auf:

+ Nordorientierung	$Q_s = 7\%$ des HWB
+ Ost- bzw. Westorientierung	$Q_s = 12\%$ des HWB
+ Südorientierung	$Q_s = 24\%$ des HWB

Bei Nordorientierung werden die nutzbaren passiv solaren Gewinne durch alle untersuchten Sanierungsvarianten im Vergleich zum Gebäudezustand vor der Sanierung verringert. Bei Ost- und Westorientierung ermöglichen lichtoptimierende Sanierungsmaßnahmen eine Beibehaltung, bei Südorientierung eine Steigerung der erzielbaren Einträge um bis zu 11% verglichen mit jenen vor der Sanierung.

Qualitative Lichtwahrnehmung

Anhand der Ergebnisse einer Onlineumfrage wurde die Bedeutung von Tageslicht auf die Anmutung von Wohnräumen untersucht. Dabei zeigt sich, dass direkter Lichteintrag bei vergleichbaren Raumabbildungen bei mehr als 80% der gezeigten Beispiele höhere Akzeptanz findet als eine diffuse Lichtsituation.⁷

Vor diesem Hintergrund und der großen Bedeutung von Licht auf Gesundheit und Wohlbefinden sind Veränderungen der Lichtsituationen in Wohnungen, die im Zuge von Gebäudesanierungen entstehen können, im Sinne einer positiven Raumwahrnehmung unbedingt zu beachten.

⁷ Vgl. Kapitel II, Teil 5 – Ergebnisse und Auswertungen der Umfrage zur qualitativen Lichtanalyse

