

Entwicklung eines „Lichtfängers“ für tageslichttransparente, hochenergieeffiziente, mehrgeschoßige Gebäude

W. Pohl

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

22/2014

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Entwicklung eines „Lichtfängers“ für tageslichttransparente, hochenergie- effiziente, mehrgeschoßige Gebäude

Mag. Wilfried Pohl, Philipp Schmitz, MLL,
DI Dr. David Geisler-Moroder
Bartenbach LichtLabor GmbH

Aldrans, Juli 2013

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“). Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse www.HAUSderZukunft.at Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1.1	Begriffserläuterung	11
2.1	Beschreibung des Standes der Technik.....	12
2.2	Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema.....	13
2.3	Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts).....	13
2.4	Verwendete Methoden.....	14
2.5	Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung.....	14
3.1	Projektrecherche, Projektauswahl Neubau und Altbau.....	15
3.2	Patent- und Schutzrechtsanalyse, Recherche	15
3.3	Projektanalyse Neubau- und Altbauprojekt	16
3.3.1	Neubau	16
3.3.2	Altbau.....	18
3.4	Neuentwurf	19
3.4.1	Neuentwurf Neubau	19
3.4.2	Neuentwurf Altbau.....	25
3.5	Ökonomische und energetische Analyse	28
3.5.1	energetische Analyse	28
3.5.2	ökonomische Analyse.....	30
3.6	Vergleich Bestand mit Neuentwurf	32
3.6.1	Neubau	32
3.6.2	Altbau.....	37
4.1	Einpassung in das Programm	38
4.2	Beitrag zum Gesamtziel des Programms	38
4.3	Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt	39
4.4	Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse.....	39
8.1	Abbildungen.....	42
8.2	Tabellenverzeichnis	43

Kurzfassung

Der Lichtfänger hat seinen Ursprung in einer Idee von Prof. Christian Bartenbach. Große Gebäudevolumina mit mindestens 5 Geschossen und theoretisch unbegrenzter Länge und Breite können über spezielle Tageslichtschächte auf Ihrer gesamten Nutzfläche mit natürlichem Licht versorgt werden. Dieser Ansatz wurde bereits in unterschiedlichen Seminararbeiten und Masterthesen an der Lichtakademie Bartenbach untersucht.

Die Verwendung von hochreflektierenden Materialien im Lichtschacht ermöglicht den Transport des gerichteten Sonnenlichtes und des diffusen Himmelslichtes von der Oberlichtöffnung bis in den Keller des Gebäudes. In jedem Geschöß wird vom Schacht so viel Licht abgezweigt, wie zu dessen Versorgung mit Tageslicht erforderlich ist. Dieser "Lichtfänger" (-schacht) ist ein Implantat in ein Gebäude, das sowohl zur Sanierung eines Bestandsgebäudes, wie auch für neue Gebäude angewendet werden kann, und dem gegenständlichen Forschungsprojekt (Machbarkeitsstudie) seinen Namen gibt.



Lichtfängerkonzept im Modell

Diese Studie diente der Klärung offener technischer und wirtschaftlicher Fragen zum Lichtfänger. Dazu wurden ein Neubauprojekt und ein Altbauprojekt jeweils einem Neuentwurf mit Lichtfänger gegenübergestellt. Es wurden technische Lösungen zur Gestaltung, Statik, Lüftung, Akustik und Brandschutz an konkreten Beispielen für unterschiedliche Nutzungen erarbeitet. Der direkte Vergleich mit den bestehenden Gebäuden zeigte die Vorteile des Lichtfängers auf. Ausreichende Tagesbelichtung mit ausgezeichneter und blendfreier Verteilung im Innenraum sowie sehr niedriger Energieverbrauch durch minimierten Heizbedarf zeichnen das Konzept aus. Zusammen mit niedrigen Bauwerkskosten resultiert eine exzellente wirtschaftliche Bilanz sowie eine sehr geringe CO₂-Emission.

Diese Ergebnisse dienen als Basis für die Entwicklung eines real umsetzbaren Entwurfs welcher im Rahmen eines Fortsetzungsprojekts gemeinsam mit Architekten angestrebt wird.

Abstract

The "LIGHT WELL"

The "Light Well" is based on an idea of Prof. Christian Bartenbach. It enables multi-storey buildings to be completely illuminated by daylight from openings in the roof. This means that buildings are not longer limited in width and length in terms of day lighting. This idea has already been applied in different student projects and master thesis at the Lichtakademie Bartenbach.

The specific characteristic of the "Light Well" is based on reflecting material which enables the transport of sunlight from a transparent opening on top of the roof down to the lowermost floor. The light is transported in a duct which has an opening in every floor to get the right amount of lighting into each level. The "Light Well" is an implant for a new building and can also be used for buildings which should be refurbished.



Light Well concept in scale model

Within this feasibility study unsolved problems in design and technical aspects were clarified. Therefore a new building and a refurbished building were newly designed using the Light Well technology. Afterwards both designs were compared in aspects of profitability and the quality of their interior design. Adequate daylighting with perfect and glare-free distribution inside the rooms and minimized heating requirements and thus low energy consumption show the superiority of the Light Well. Together with low building costs this results in an excellent economic effectiveness and low CO₂ emissions.

These results of this study are the basis for the development of an actual draft that shall be realized within a follow-up project together with architects.

1 Einleitung

Dieses Projekt stellt eine technische Machbarkeitsstudie zur Idee des sogenannten "Lichtfängers" dar. Ziel ist die Tageslichtversorgung mehrgeschoßiger Gebäude über Oberlichtöffnungen im Dach und innen verspiegelte vertikale Schächte zum Lichttransport und Weiterleitung in die Gebäudetiefe. Das Low-Tech Prinzip der gerichteten Reflexion an spiegelnden Oberflächen wird genutzt, womit ohne große Mechanik sowohl diffuses Himmelslicht, wie auch gerichtetes Sonnenlicht bis in die Tiefgeschoße von Gebäuden transportiert wird. Die Idee verspricht neue tageslichtdurchflutete, energetisch hocheffiziente Gebäudestrukturen mit minimalem Kunstlicht- und Kühlbedarf und optimalem Komfort. Die Fassade dieser neuen Gebäudestruktur wird von der lichtbringenden Funktion befreit und kann frei gestaltet werden, z.B. thermisch optimiert oder evtl. auch für die Anbringung von Photovoltaik genutzt werden; das Licht gelangt von oben ins Gebäude, so dass im dicht bebauten innerstädtischen Kontext nachhaltige Gebäudetypologien entstehen, die eine optimale Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Grundstücke bei höchstem Nutzerkomfort bieten.

1.1 Begriffserläuterung

Lichtfänger

Bezeichnung des generellen Konzeptes (siehe Synopsis) und des Forschungsprojektes

Lichtfängerschacht

Lichtschacht mit Oberlichtöffnung und lichtlenkenden Materialien

Lichtfängergebäude

Gebäudeentwurf mit integrierten Lichtfängerschächten

Altbau

Referenzgebäude in Wien, Altbau Wohngebäude aus dem beginnenden 20. Jahrhundert mit Innenhof

Neubau

Referenzgebäude in Innsbruck, ATP Büro aus dem Jahr 1999

Neuentwurf

Neuentwurf des Altbaus und Neubaus, auch Lichtfängergebäude genannt

SNR

Produkt "Sonnennutzraster"; System zur gezielten Einspeisung des Sonnenlichtes in den Lichtfängerschacht

Fischchen

Produkt "Lineares Lamellensystem" zur ausgeblendeten Umlenkung des Tageslichtes

TQ

Tageslichtquotient nach DIN 5034-1

cDA

Kontinuierliche Tageslichtautonomie (continuous daylight autonomy): die Tageslichtautonomie [DA] ist eine Kenngröße für die Tagesbelichtung eines Raumes und gibt Auskunft darüber, zu wieviel Prozent der täglichen Arbeitszeit der Arbeitsplatz durch das vorhandene Tageslicht ausreichend beleuchtet wird. Dabei wird ein definierter Beleuchtungsstärke-Schwellwert im Innenraum vorgesehen. Die Arbeitszeit ist im vorliegenden Projekt auf eine Dauer von 8:00-18:00 Uhr an Werktagen festgelegt. Diese Methode bietet jedoch nicht die Möglichkeit das zur Verfügung stehende Tageslicht unter dem Beleuchtungsstärke-Schwellwert zu berücksichtigen. Daher wurde die verfeinerte Methode der kontinuierlichen Tageslichtautonomie [cDA] angewandt. Diese bezieht die Lichtströme pro Fläche auch unterhalb des Schwellwerts anteilsweise mit ein.

2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

2.1 Beschreibung des Standes der Technik

Betrachtet man mehrgeschoßige Gebäudestrukturen, die nach dem aktuellen Stand der Technik errichtet werden, so hängt die Tageslichtversorgung direkt mit der Fassadenkonstruktion zusammen. Fassaden mit großem Verglasungsanteil liefern zwar ausreichende Tagesbelichtung, verursachen aber gleichzeitig Probleme was den visuellen Komfort (Blendung) und die thermischen Eigenschaften (Überhitzung) betrifft. Umgekehrt schaffen es "geschlossene" Fassaden nicht, die dahinterliegenden Räume mit ausreichend Tageslicht bis in die Raumtiefe zu versorgen.

Die Ineffizienz in der Nutzung des natürlichen Tageslichtangebotes aktueller Gebäudestrukturen liegt dabei in der Positionierung großzügiger Öffnungen an den Seitenflächen des Gebäudes. Diese Öffnungen werden für den Bezug nach Außen und die Tageslichtversorgung genutzt. Trennt man diese Funktionen, so stellt man fest, dass das Tageslichtangebot an horizontale Flächen, also am Dach eines Gebäudes wesentlich besser ist. Der Bezug nach außen für die Benutzer des Gebäudes braucht keine raumhohen Verglasungen, sondern lässt sich bereits mit ca. 20% der Fassadenfläche befriedigend erreichen.

Gebäudestrukturen mit Lichtfänger bauen auf diesen Überlegungen auf und sind damit wesentlich wirtschaftlicher im Betrieb und energieeffizienter ausgerichtet. Sie nutzen sowohl das diffuse Himmelslicht, als auch das gerichtete Sonnenlicht. Es ist sogar eine Anpassung an die lokalen Verhältnisse und das spezielle Tageslichtangebot eines Ortes möglich.

Glasflächen in der Außenhaut eines Gebäudes sind die energetischen Schwachpunkte und können dank der Überlegung zum Lichtfänger minimiert werden. Die hohe Lichtausbeute von 150-100 Lumen/Watt des Tageslichtes ist von keiner künstlichen Lichtquelle bei optimaler

Farbwiedergabe erreichbar. Bei der Anwendung des Lichtfängers in einem Gebäude ist damit die Wärmebelastung durch die Lichtversorgung minimiert und der visuelle Komfort maximiert.

2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Die Vorprojekte, die bisher zum Lichtfänger entstanden sind, haben hauptsächlich Studiencharakter. Die umfassendste wissenschaftliche Arbeit zur Idee ist bisher die Masterthesis von DI Peter Dokulil, MLL an der Bartenbach Lichtakademie. Weitere Studienprojekte zur Idee entstanden in der Folge im Rahmen des Studienbetriebes an der Lichtakademie.

Da sämtliche Darstellungen und Projektskizzen auf großes Interesse gestoßen sind, war die im Rahmen dieses Projekts durchgeführte technische Machbarkeitsstudie ein logischer nächster Schritt um die Realisierbarkeit, Wirtschaftlichkeit und energetische Relevanz der Idee zu untermauern.

2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts)

Innenhöfe, die nach dem Stand der Technik ausgebildet werden, sind meist sehr großvolumig und nehmen dementsprechend viel nutzbare und vermietbare Fläche eines Gebäudes ein, oder Innenhöfe fallen sehr kleinvolumig aus, dann bringen diese nach aktuellem Stand der Technik kaum Licht in die unteren Geschoße.

Der Lichtfänger nimmt minimalen Raum im Gebäude ein und bringt maximale Tageslichtmenge auch in die unteren Geschoße und bietet dadurch einen wesentlichen technischen Fortschritt gemessen an bestehenden Lösungen.

So entstehen Gebäude die neben Ihrer Energie- und damit Kosteneffizienz auch noch optimale Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Grundstücksfläche bieten. Besonders in den Innenstädten liegt hohes Wertschöpfungspotential in optimal verdichteter Bauweise.

Für die österreichische Wirtschaft kann diese Technologie einen ganz neuen Markt erschließen. Stahl-Glas verarbeitende Betriebe, technische Büros, Architekten, und die Bauindustrie im weiteren Sinne können aus dem Projekt ein neues Geschäftsfeld aufbauen, das von Österreich ausgehend, überregional angewendet werden kann.

Mit dem Lichtfänger-Konzept können spezifische Lösungen für unterschiedliche geographische Verhältnisse angeboten werden. Die eingesetzten Systeme zur Einspeisung werden dafür entsprechend angepasst (Akzeptanzbereich, Einbau-Neigung) und die Lichtschächte entsprechend dem Tageslichtangebot dimensioniert. Durch die gezielte Nutzung der Sonne zur Gebäudeinnenbeleuchtung können z.B. im arabischen Raum, wo die Sonnenscheinwahrscheinlichkeit bei bis zu 80% liegt, die Querschnitte des Lichtfängers besonders klein werden.

2.4 Verwendete Methoden

Zunächst wurden Referenzgebäude sowohl für den Neubau als auch den Altbau ausgewählt, anhand derer das Konzept des Lichtfängers angewandt und evaluiert wurde. Ein 6-geschoßiges Bürogebäude der ATP Architekten in Innsbruck wurde als Neubau-Referenzprojekt gewählt, ein 5-geschoßiges Wohngebäude in Wien diente als Altbau-Sanierungsprojekt (vgl. 3.1). In weiterer Folge wurden beide Bestandsgebäude analysiert und dokumentiert. Dazu wurden vor Ort Beleuchtungsstärken und Tageslichtquotienten gemessen sowie auftretende Leuchtdichten zur Bewertung der Kontrastverhältnisse und des visuellen Komforts erhoben (siehe dazu 3.3).

Für beide Referenzgebäude (Altbau und Neubau) wurden Neuentwürfe nach dem Lichtfängerkonzept erstellt. Die Lichtfängerschächte wurden lichttechnisch dimensioniert um eine ausreichende Tagesbelichtung zu gewährleisten. Zusätzlich musste ein Tageslichtlenksystem entwickelt werden, das eine optimale Einkoppelung des Lichts in den Schacht gewährleistet. Die lichttechnische Bewertung der Entwürfe wurde mit Hilfe von Simulationen und Messungen am physischen Modell im künstlichen Himmel des Bartenbach LichtLabor durchgeführt (vgl. 3.4). Mit Hilfe einer gekoppelten lichttechnischen und thermischen Gebäudesimulation wurde der Neuentwurf energetisch analysiert, für die ökonomische Bewertung wurde eine Kostenkalkulation durchgeführt (vgl. 3.5).

Um mögliche Schutzrechte klarzustellen und Potenziale für Patentanmeldungen des Konzeptes ausfindig zu machen, wurde zudem gemeinsam mit einer Patentanwaltskanzlei als eine Patentrecherche durchgeführt (s. 3.2).

2.5 Beschreibung der Vorgangsweise und der verwendeten Daten mit Quellenangabe, Erläuterung der Erhebung

Die gebäudespezifischen Daten wurden - sofern nicht bereits vorhanden - von den ATP Architekten geliefert. So konnte in den Auswertungen die Berücksichtigung realistischer Daten im Architekturbereich sichergestellt werden.

Die lichttechnische Simulation wurde mit dem Softwarepaket RADIANCE [RAD2013] durchgeführt, das den State-of-the-Art im Bereich der Tageslichtsimulation darstellt. Für die energetische Analyse wurde das dynamische Gebäudesimulationstool EnergyPlus [EP2013] sowie die darauf aufgesetzte grafische Oberfläche OpenStudio [OS2013] verwendet. Sowohl in der lichttechnischen als auch in der thermischen Simulation wurden die spezifischen Klimadaten für den Standort Innsbruck verwendet [EPW2013].

3 Ergebnisse des Projektes

3.1 Projektrecherche, Projektauswahl Neubau und Altbau

Ziele:

Finden von einem, im letzten Jahr fertiggestellten 2-hüftigen Bürogebäude, und einem renovierten ca. 5-geschoßigen Innenstadtgebäude, die von Bauträgerseite als Vergleichsprojekte im gegenständlichen Projekt zur Verfügung gestellt wurden.

Im ersten Schritt wurden über eine Recherche (Internet, bestehende Kontakte des Bartenbach LichtLabors zu Architekten) geeignete Referenzgebäude gesucht.

Als Referenzgebäude wurden folgende Gebäude herangezogen:

- Referenzgebäude „Neubauprojekt“: Ein innerstädtisches, 6-geschoßiges Bürogebäude der ATP in der Heiliggeiststr. 16, Innsbruck, riegelförmig, über Seitenfenster belichtet, Nutzung als Architekturbüro
Büroorganisationsform: Mischform: Es liegen Gruppenbüros, Zellenbüros und Großraumbüro-Strukturen vor
Architekt: ATP Innsbruck
- Referenzgebäude „Altbauprojekt“: innerstädtisches Renovierungsprojekt in der Karajangasse 19 in Wien, Sanierungsgebäude mit Wohnnutzung, 5-geschoßige Blockrandbebauung, Gründerzeitstruktur, bestehende Innenhöfe in dichter Bebauungsstruktur
Architekt für das Sanierungsvorhaben: Atelier Augarten, Wien

Anhand des Referenzgebäudes „Neubauprojekt“ wurde der aktuelle Stand der Technik beim Bau von Büro- und Verwaltungsgebäuden reflektiert. Es stellte sich dabei die Frage, wie der „Lichtfänger“ umgesetzt werden kann und welche Vorteile im Vergleich zu heutigen Bürogebäuden die neue Gebäudetypologie erzielen wird.

Anhand des Referenzgebäudes „Altbauprojekt“ wurde überprüft, ob sich die Idee des „Lichtfängers“ auch im Bestand im Rahmen einer Sanierung umsetzen lässt.

3.2 Patent- und Schutzrechtsanalyse, Recherche

Ziele:

Feststellung der Schutzrechtsfähigkeit der Idee zum Lichtfänger in der vorliegenden Form.

Es wurden sowohl hausintern als auch durch ein Patentbüro ausführliche Patentrecherchen zu den für das Lichtfängerkonzept relevanten Themenbereichen durchgeführt. Dabei wurde spezielles Augenmerk auf die drei wesentlichen Komponenten des Lichtfängerschachts gelegt:

- Einkoppelsysteme am Dach des Lichtfängergebäudes um bevorzugt Sonnenlicht "einzufangen" und gezielt in den Lichtschacht einzuspeisen
- Geometrie und Beschaffenheit des Lichtschachtes
- Systeme zum effizienten und blendfreien Auskoppeln des Lichts aus dem Schacht in die einzelnen Geschoße

3.3 Projektanalyse Neubau- und Altbauprojekt

Ziele:

Erarbeitung und Dokumentation der Randbedingungen die für den Entwurf der ausgewählten Referenzgebäude maßgeblich waren. Erarbeitung von umfassenden Daten zum Bestand in baulicher, energetischer und wirtschaftlicher Hinsicht.

3.3.1 Neubau

In Zusammenarbeit mit dem Architektur- & Ingenieurbüro ATP Sphere konnte der Neubau hinsichtlich der oben beschriebenen Eigenschaften erfasst werden. Bauliche Charakteristika wurden anhand von Plänen und Begehung vor Ort ermittelt. Lichttechnische und energetische Eigenschaften konnten durch Messungen vor Ort sowie durch Simulation erfasst werden.



Abbildung 1: Nordansicht des Neubaus in Innsbruck

Bei dem Neubau aus dem Jahr 1999 handelt es sich um einen zweihüftigen Riegelbau mit 6 Stockwerken und den Grundmassen 68m x 17m. Das Gebäude ist durch einen sehr hohen Fensterflächenanteil von etwa 80% an der Nord- und 33% an der Südfassade gekennzeichnet. Der vor Ort gemessene TQ in OG4 liegt im Mittel bei 4%, in halber Raumtiefe bei ca. 2%. Die Mindestanforderung von 0,9% in halber Raumtiefe beschrieben durch die DIN 5034-1 ist somit erfüllt. Um die Vergleichbarkeit mit dem Neuentwurf zu gewährleisten wurde zudem der TQ in einer Simulation ermittelt.

Büro an nordseitiger Fassade					
EG	OG1	OG2	OG3	OG4	OG5
TQ _m = 3.0%	TQ _m = 3.4%	TQ _m = 3.8%	TQ _m = 4.3%	TQ _m = 4.8%	TQ _m = 5.3%
Büro an südseitiger Fassade					
EG	OG1	OG2	OG3	OG4	OG5
TQ _m = 3.9%	TQ _m = 4.5%	TQ _m = 5.2%	TQ _m = 5.8%	TQ _m = 6.1%	TQ _m = 6.3%

Tabelle 1: Simulationsergebnisse. TQs auf den repräsentativen Berechnungsflächen im Neubau

Trotz des geringen Fensterflächenanteils an der Südfassade sind die simulierten TQs dort höher. Dies liegt zum Einen daran, dass die Verschattung durch die Brüstung nur wenig Auswirkung auf den Innenraum hat. Zum Anderen, dass die Referenzberechnungsfläche wesentlich kleiner ist als an der Nordseite.

Der innenliegende Sonnenschutz dient auch als Blendschutz. Dies führt zu unausgewogenen Leuchtdichteverhältnissen im Innenraum. Bei bedecktem Himmel und unverschatteten Fenster ist die Leuchtdichte des Fensters immer höher als die des Arbeitsplatzes. Bei aktiviertem Sonnenschutz sinkt die Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz soweit herab, dass Kunstlicht zugeschaltet wird.

Büro an südseitiger Fassade, Sonnen-/Blendschutz aktiviert					
EG	OG1	OG2	OG3	OG4	OG5
TQ _m = 0.37%	TQ _m = 0.42%	TQ _m = 0.46%	TQ _m = 0.50%	TQ _m = 0.56%	TQ _m = 0.61%

Tabelle 2: Simulationsergebnisse. TQs auf den repräsentativen Berechnungsflächen im Neubau bei aktiviertem Sonnen-/Blendschutz.

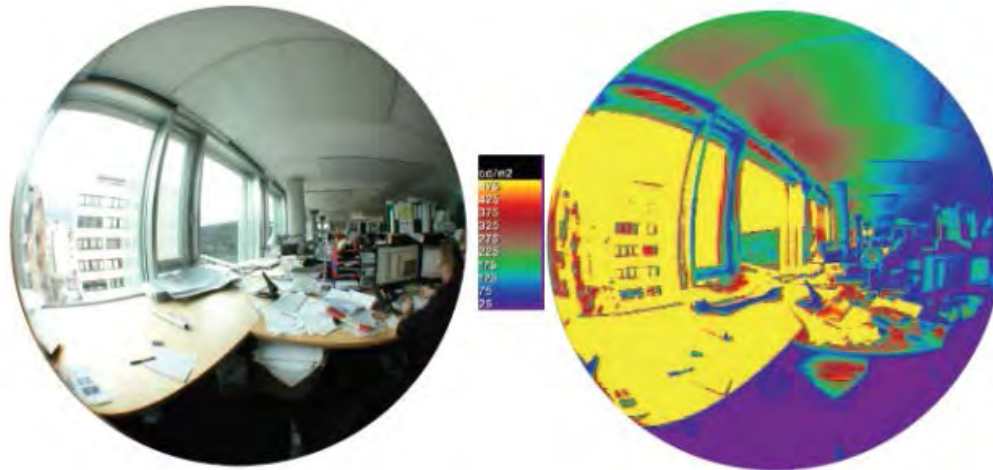


Abbildung 2: HDR und Falschfarben Leuchtdichtebild eines Arbeitsplatzes im OG4. Zu erkennen ist die hohe Leuchtdichte des unverschatteten Fensters im Kontrast zu der Leuchtdichte des Arbeitsplatzes.

Die durch Simulation in Radiance ermittelte kontinuierliche Tageslichtautonomie bei einem Schwellwert von 500lx liegt aufgrund des hohen Fensterflächenanteils im Schnitt bei 82%.

cDA	EG	OG1	OG2	OG3	OG4	OG5
Nord	84%	84%	86%	88%	89%	90%
Süd	80%	79%	78%	76%	76%	76%

Tabelle 3: [cDA] kontinuierliche Tageslichtautonomie zum Schwellwert von 500lx im Neubau

Zusammenfassend kann man feststellen, dass der TQ im Innenraum und im Besonderen an den Arbeitsplätzen die DIN 5034-1 erfüllt.

Die großflächige seitliche Öffnung des Gebäudekörpers ist jedoch problematisch hinsichtlich der thermischen Eigenschaften. Ein erhöhter Heizwärmebedarf im Vergleich zum Neuentwurf ist zu erwarten.

Das Referenzgebäude ist dabei kein Einzelfall sondern stellt den allgemein anerkannten Stand der Technik dar.

3.3.2 Altbau

Bei dem Referenzgebäude für das Altbau- bzw. Sanierungsobjekt handelt es sich um ein Wohngebäude aus dem beginnenden 20. Jahrhundert. Eine Sanierung des Objekts wurde durch das Architekturbüro Atelier Augarten, Wien durchgeführt.



Abbildung 3: Ansicht Karajangasse & Ansicht Innenhof

Die vor Ort durchgeführten Tageslichtquotienten Messungen ergaben einen TQ in halber Raumtiefe in OG1 von ca. 0,15%. Der TQ_m im Mittel betrug etwa 0,26%.

Die Tageslichtsituation in den Innenräumen mit Orientierung zum Innenhof ist ungenügend. Der gemessene Tageslichtquotient liegt weit unter den Anforderungen der Norm. Da es sich bei dem Objekt zum Zeitpunkt der Messung um einen unsanierten Altbau handelt, wird eine Verbesserung der Ist-Situation durch eine Sanierung, wie sie der Neuentwurf vorsieht, angenommen.

Direkte Sonnenstrahlung wird in die Innenräume der unteren Geschoße nie eindringen. Die Räume werden als dunkel und kalt wahrgenommen. Diese negative Konnotation beim Nutzer spiegelt sich auch in einem verminderten Verkehrswert wieder. Laut des Maklerbüros Arnold Immobilien liegt der Verkehrswert von unteren Geschoßen von Altbauten in Wien, Aufgrund der defizitären Lichtsituation, nur bei etwa 50% der oberen Geschoße.

3.4 Neuentwurf

Ziele:

Erarbeitung von jeweils einem Neuentwurf für das Neubau- und das Altbauobjekt mit Lichtfänger.

3.4.1 Neuentwurf Neubau

Grundlegende Idee war es eine alternative Gebäudegeometrie zu entwickeln welche auf Tagesbelichtung durch die vertikale Fassade verzichtet und stattdessen gezielt Tageslicht über exakt dimensionierte Öffnungen am Dach gleichmäßig im Gebäude verteilt.

Im ersten Schritt wurde eine grobe Dimensionierung des Lichtfängerschachtes auf Basis eines bedeckten Himmels durchgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchung in Radiance zeigten, dass ein akzeptables Verhältnis von Grundfläche "Lichtfängerschacht" zu tagesbelichteter Büronutzfläche nur durch die Mitbenutzung des Sonnenlichts erfolgen kann.

Der Lichtfängerschacht wurde daraufhin auf das am Standort Innsbruck vorzufindende Tageslichtangebot mit Sonne dimensioniert und optimiert. In Zusammenarbeit mit dem Subunternehmer ATP Sphere konnte ein Gebäudeentwurf mit dazugehörigem Haustechnikkonzept erstellt werden welcher nicht nur gute Tageslicheigenschaften aufweist

sondern auch die daraus resultierenden positiven Effekte für die Gebäudetypologie berücksichtigt:

- Minimale Nutzfläche Verlust – Maximale Bauwesen Wirtschaftlichkeit
- Gutes AV Verhältnis
- Minimale Installations- & Betriebskosten
- Maximale TL Verfügbarkeit – Maximale TL Autonomie
- Minimaler Energieverbrauch für Kunstlicht

Gebäudemaße	60m x 60m
Anzahl Geschoße	4
NF Büroflächen [m ²] /Geschoß	2136
NF Verkehrsflächen intern [m ²] /Geschoß	567
SF Sanitärfläche [m ²] /Geschoß	152
VF (allgemeine Erschliessung) [m ²]	225
Konditionierte Bruttogrundfläche (Nettoraumfläche) [m ²] /Geschoß	2855
Anteil NRF an BRF	85%
TF Technikfläche [m ²] /Geschoß	47
KF Konstruktionsfläche [m ²] /Geschoß	217
Lichtfänger Maße	4m x 4m
Lichtfänger Fläche (16 Stück) [m ²]	256
Fenster/Öffnungsfläche an NF gesamt	2%
Summe BGF/Geschoß [m ²]	3600
Grundstücksfläche [m ²]	8500
AV Verhältnis	0,191
Anteil an Grundstücksfläche	40%
Arbeitsplätze /Geschoß	210

Tabelle 4: bauliche Gebäudeeigenschaften im Detail

Brutto Grundfläche (BGF)	14.400,00	m ²
Brutto Rauminhalt (BRI)	57.744,00	m ³
Netto Grundfläche (NGF)	11.420,00	m ²
Arbeitsplätze Gesamt	840	Stk.

Tabelle 5: Gebäudebasisdaten gesamt

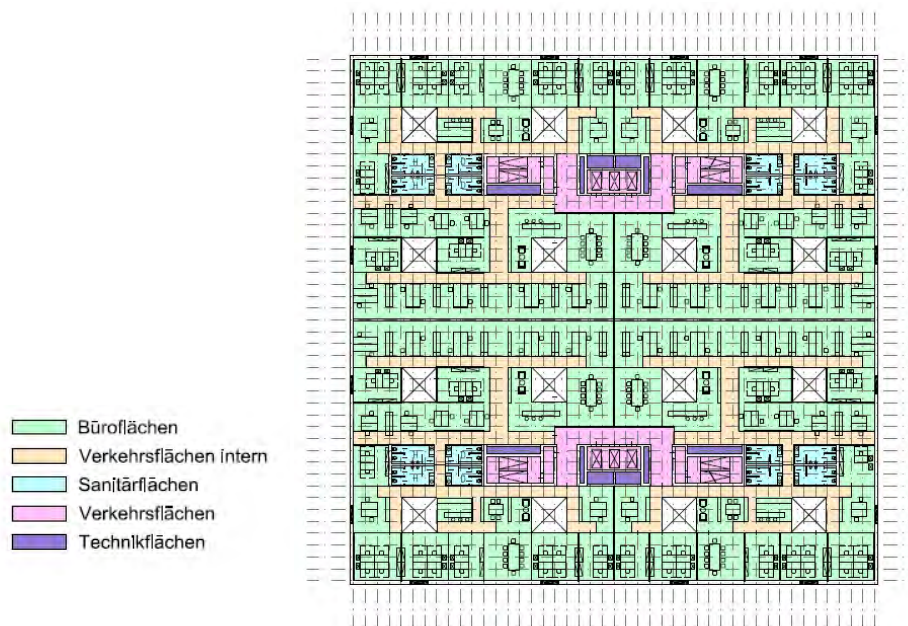


Abbildung 4: Grundriss des Neuentwurfs "Lichtfänger" mit Flächennutzung erstellt durch ATP Sphere

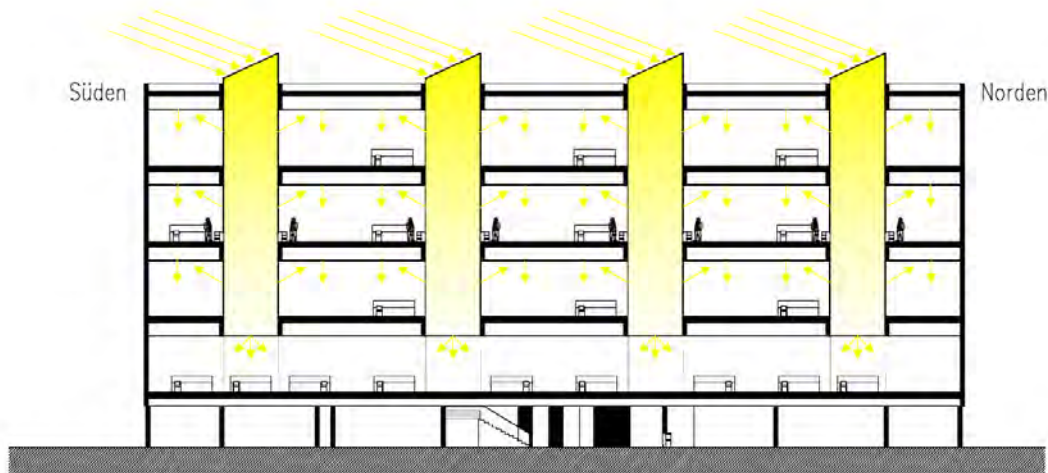


Abbildung 5: Gebäudeschnitt mit Lichtfängerschächten. Tageslicht wird über Öffnungen am Dach gleichmäßig im Gebäude verteilt

3.4.1.1 Entwurf Lichtfängerschacht

In einer weiteren Untersuchung wurden die lichttechnischen Eigenschaften des Schachtes auf das zur Verfügung stehende Sonnenlicht optimiert. Zur gleichmäßigen Verteilung des Lichtes über alle Stockwerke wurde der Schacht mit verschiedenen lichtlenkenden Elementen ausgestattet. Der Lichttransport und die Verteilung finden wie folgt statt:

1. Tageslicht bzw. Sonnenlicht wird am Dach durch Oberlichtöffnungen in den Lichtfängerschacht eingelenkt. Zur verbesserten Nutzung des Sonnenlichts wird an dieser Stelle das BLL Produkt "Sonnennutzraster" (SNR) hinter einer Wärmeschutzverglasung

vorgesehen. Dieses erfasst gezielt den Raumwinkel des Himmels in dem sich die Sonne befindet und leitet dieses möglichst vertikal in den Schacht ein. Zur besseren ganzjährigen Nutzung des Sonnenlichts, auch bei niedrigen Sonnenständen wird das Oberlicht um $24,5^\circ$ nach Süden geneigt. Die Konstruktion des SNR ist dabei auf Breitengrade ähnlich denen in Mitteleuropa ausgelegt. Zur maximalen Nutzung des Lichtstroms bei bedecktem Himmel sollte das SNR hier jedoch nicht verwendet werden. Das Konzept sieht daher ein schaltbares bzw. wegfahrbares SNR am Dach vor.

2. Zur gleichmäßigen Verteilung des Tageslichts über alle Stockwerke werden die Innenseiten des Lichtfängerschachtes mit hochreflektierendem Aluminium ausgekleidet (Reflexionsgrad $\rho=98\%$). Das Konzept sieht vor im oberen Stockwerk nur wenig Licht aus dem zur Verfügung stehenden Lichtstrom zu entnehmen und in das Geschoß einzulenken. Dies wird über den Transmissionsgrad der vertikalen Öffnungen zum Geschoß erreicht. Um eine gleichmäßige Verteilung des Lichtstroms über alle Geschoße zu gewährleisten erhöht sich der Transmissionsgrad der vertikalen Öffnungen sukzessive nach unten. Die Regulierung des Transmissionsgrades wird durch unterschiedlich gelochtes Aluminium an den Öffnungen erzielt. In OG 3 beträgt der Anteil der Lochung 35%, in OG 2 50%. In OG 1 wurde kein Lochblech verplant. Der verbleibende Lichtstrom verteilt sich auf die vertikalen Öffnungen und die horizontale Öffnung für das EG.

3. Das Tageslicht soll nun blendfrei und gleichmäßig im Innenraum auf der Nutzebene verteilt werden. Hierfür wird die Verwendung des BLL Produkts "Fischchen" vorgesehen. Wartungsfrei installiert im vertikalen Scheibenzwischenraum (SZR) des Lichtfängerschachtes erfasst das Fischchen den oberen Viertelraum und lenkt das Tageslicht blendfrei in den oberen Viertelraum des Geschoßes. Dort reflektiert das Tageslicht über eine leicht satinierte Aluminium Decke auf die Nutzebene. Abbildung 5 zeigt den Strahlengang im Schema.

4. Der Lichtfängerschacht ist am unteren Ende offen und versorgt das EG anders als OG1 bis OG3 über eine horizontale Öffnung in der Decke. Dort wird das Licht über eine diffuse Streuscheibe auf der Nutzebene verteilt. Die Auswertung aus der lichttechnischen Analyse zeigt jedoch, dass die Verteilung nicht optimal erfolgt (Abbildung 6 und Abbildung 7, jeweils EG). Ein System zur gleichmäßigen Verteilung im ganzen Raum sollte in weiterer Folge entwickelt werden.

3.4.1.2 Evaluierung

Der Lichtfänger Neuentwurf weist keine Öffnungen in der vertikalen Fassade auf. Die Tagesbelichtung erfolgt lediglich über die horizontalen Öffnungen am Dach. Dieser extreme Entwurf soll die Funktion des Lichtfängerschachtes belegen. Ein umsetzbarer Entwurf sollte den Sichtbezug des Nutzers nach außen berücksichtigen und entsprechend dimensionierte Fensteröffnungen beinhalten. In einer Radiance-Simulation wurden die lichttechnischen Eigenschaften des Neuentwurfs ermittelt. Der mittlere TQ über alle Geschoße liegt bei 1,32%. Die Anforderung der Norm ist damit erfüllt. In Abbildung 6 ist die homogene Lichtverteilung von OG1 bis OG3 zu erkennen. Das EG weist derzeit noch eine

ungleichmäßige Verteilung auf. Diese sollte in weiteren Untersuchungen genau analysiert und verbessert werden.

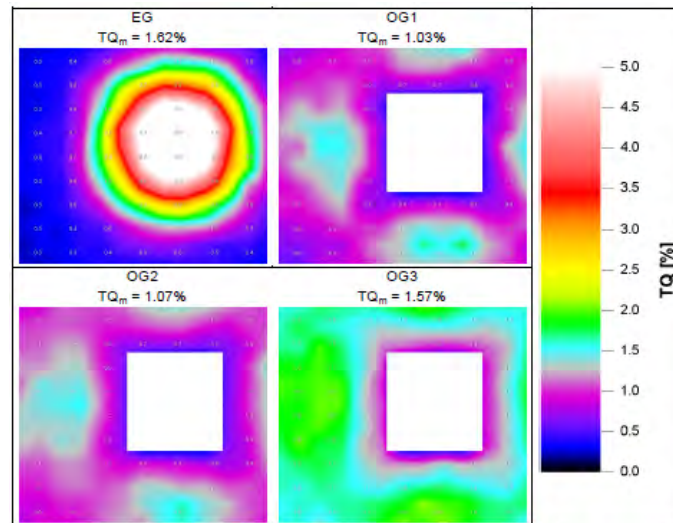


Abbildung 6: TQ-Verläufe auf den repräsentativen Berechnungsflächen im Lichtfängergebäude mit satinieren Spiegeldecken für optimale Lichtumlenkung ($\rho = 98\%$), ohne Sonnennutzraster in den Lichtschächten.

Durch die Verwendung des "Fischchen" kann das Sonnenlicht sehr gleichmäßig und blendfrei auf der Nutzfläche verteilt werden. Das EG zeigt wie beim bedeckten Himmel Defizite hinsichtlich der Verteilung.

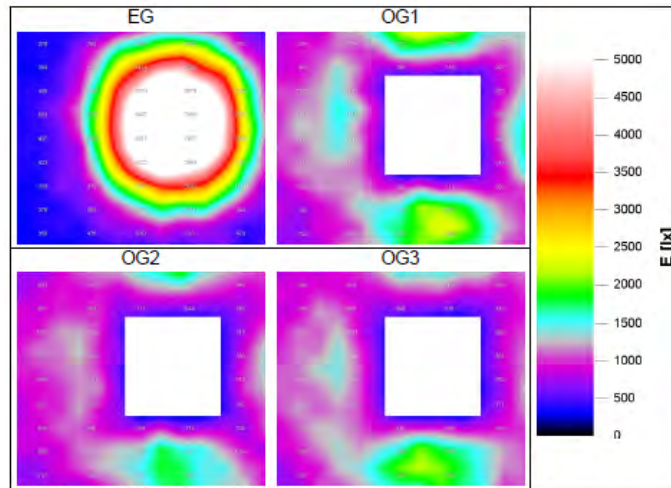


Abbildung 7: Beleuchtungsstärkeverteilungen auf den repräsentativen Berechnungsflächen im Lichtfängergebäude mit satinierten Spiegeldecken für klaren Himmel mit Sonne am 21.03., 12:00

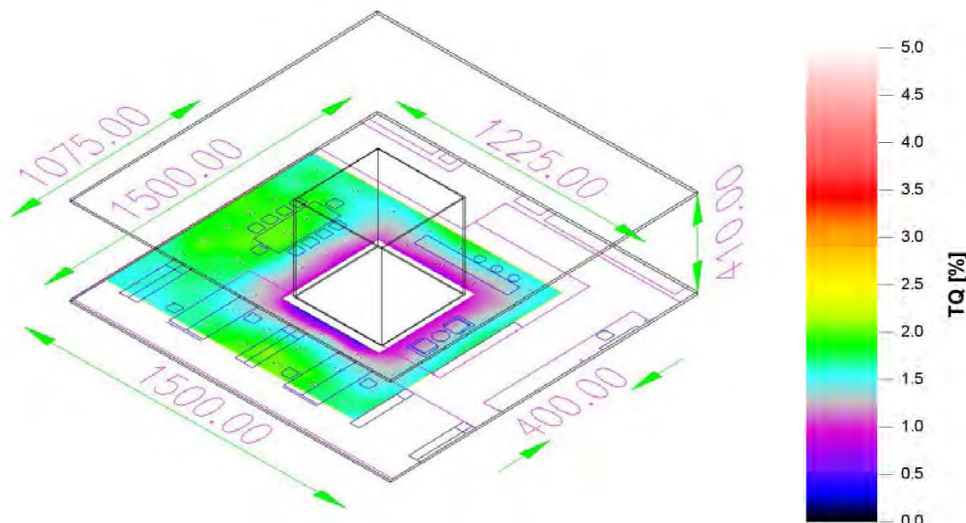


Abbildung 8: Messfläche mit TQ-Falschfarbenbild im Raster. 1m² Lichtfängergrundfläche kann ca. 30m² Büronutzfläche mit einem TQm von 1,32% versorgen.

Zur Ermittlung des Kunstlichtbedarfs wurde die kontinuierliche Tageslichtautonomie des Neuentwurfs ermittelt. Die DIN 5034-1 sieht eine Nennbeleuchtungsstärke von 500 lx auf der Arbeitsfläche und 100 lx in der Verkehrszone vor. Anhand eines Referenzjahres aus der *EnergyPlus* Klima-Datenbank konnten folgende Werte errechnet werden:

	EG	OG1	OG2	OG3
cDA	63%	57%	61%	73%

Tabelle 6: kontinuierliche Tageslichtautonomie (cDA) je repräsentativer Berechnungsfläche zum Schwellwert 500lx im Lichtfängergebäude mit satinierten Spiegeldecken für optimale Lichtumlenkung ($\rho = 98\%$), mit schaltbarem Sonnennutzraster in den Lichtschächten.

3.4.1.3 Fazit

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die hochgesteckten Erwartungen aus dem Projektantrag an den Lichtfänger nicht gänzlich erfüllt werden konnten. Ein starres System

am Dach kann die Mindestanforderungen an den TQ nicht erfüllen und muss daher schaltbar sein. Ein völliger Verzicht auf Kunstlicht am Tag ist ebenfalls nicht möglich. Die cDA liegt im Schnitt über alle Geschosse bei 63,5%.

Die geringe Gebäudeöffnung am Dach liefert jedoch genügend Licht um die Anforderungen an die Norm zu erfüllen. Gleichzeitig ist bedingt durch die geschlossene Fassade ein sehr niedriger Heizwärmebedarf zu erwarten. Durch die Integration der Lichtfänger in den Gebäudekörper können wesentlich größere Raumtiefen entstehen. Dies führt zu einem sehr guten AV Verhältnis.

Der Lichttransport an den lichtbringenden Öffnungen zum Lichtfängerschacht wird durch das System Fischchen vorgesehen. Dieses lenkt diffuses Tageslicht und Sonnenlicht absolut blendfrei über die Decke auf die Nutzebene um. Dadurch werden hohe Leuchtdichten an der Tageslichtöffnung (d.h. am Lichtschacht) und somit auch Blendung gezielt vermieden. Die Verteilung der Leuchtdichtekontraste kann als angenehm und ablenkungsfrei bezeichnet werden.

3.4.2 Neuentwurf Altbau

Ein Neuentwurf für das Bestandsgebäude „Altbau Wien“ wurde ebenfalls erstellt. Die Anforderungen für diesen Entwurf weichen im Detail von denen des Neuentwurfs „Neubau“ ab. Da es sich bei diesem Objekt zum einen um ein Wohngebäude handelt ist eine Vergrößerung der Raumtiefen hier nicht primäres Ziel. Auch handelt es sich bei dem Objekt zwar um eine Sanierung, diese stellt jedoch die bestehende Geometrie des Gebäudes und die Raumaufteilung nicht in Frage. Primäres Ziel des Neuentwurfs ist die verbesserte Tageslichtnutzung im Innenraum. Erwartungsgemäß würde damit auch eine Verbesserung des Raumklimas stattfinden, welches sich in der Regel in einem erhöhten Verkehrswert widerspiegelt.

Auf Basis einer ersten Dimensionierung wurde der Innenhof des Bestandsgebäudes in seinen Tageslichteigenschaften optimiert. Ziel war es den Tageslichtquotienten besonders im unteren Stockwerk anzuheben. Um dies zu erreichen wurde der Schacht im Modellversuch mit hoch reflektierendem Material ausgekleidet. Aluminium Paneele weisen nicht nur sehr hohe Reflexionsgrade auf sondern haben zudem die Eigenschaft das Licht in eine bestimmte Richtung zu transportieren. Diffuse Oberflächen hingegen streuen das Licht gleichmäßig in alle Richtungen und somit, verbaut in einem Lichtschacht, auch wieder zurück nach oben. Das hochglänzende Aluminium-Material streut kein Licht zurück nach oben sondern lenkt es zu optimal in den unteren Teil des Innenhofs.



Abbildung 9: Innenhof mit lichtlenkenden Oberflächen: 1. diffuse Oberfläche (saniert), 2. Lichtlenkung mit hochglänzendem Alu, 3. Lichtlenkung mit hochglänzendem und satiniertem Alu.

Var.	Beschreibung	TQ Innenhof	TQ			TQm	Steigerung in %
			MP1 (1,4m)	MP2 (2,8m) HRT*	MP3 (4,2m)		
1	100% Diffus	16,34	0,61	0,38	0,33	0,44	0
2	25% Spiegel	21,24	0,82	0,49	0,4	0,57	30
3	50% Spiegel	27,29	1,12	0,61	0,49	0,74	69
4	100% Spiegel	43,32	1,52	0,69	0,48	0,9	104

Tabelle 7: TQ Messung im Modell (HRT- halbe Raumtiefe laut Norm)

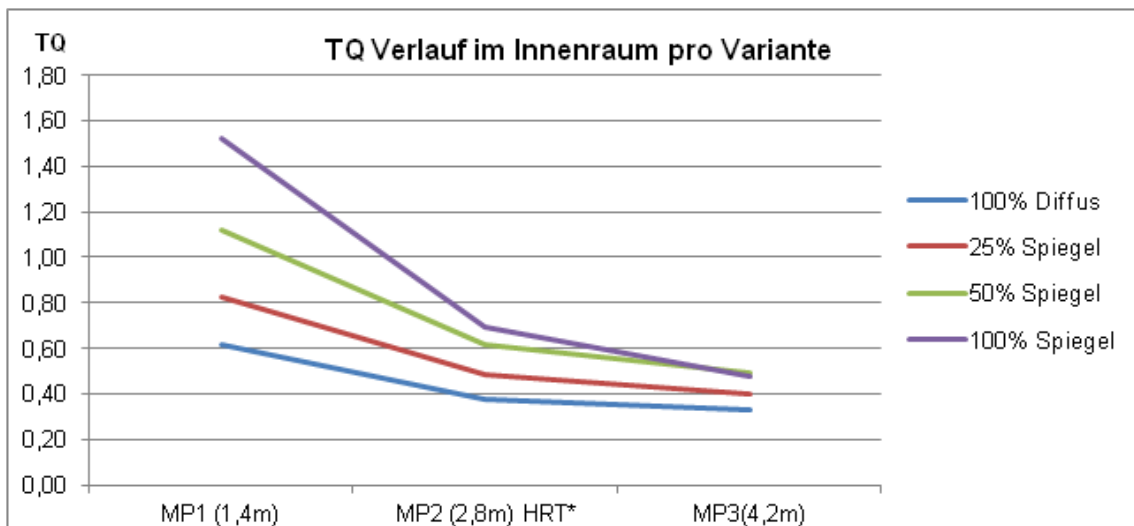


Abbildung 10: TQ Werte im Referenzraum

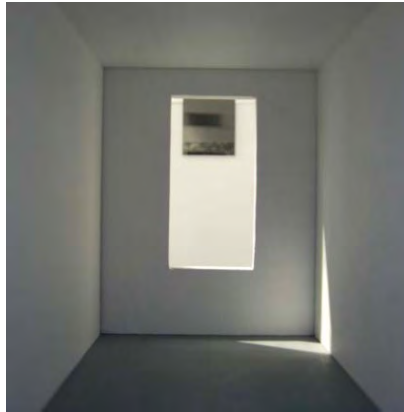


Abbildung 11: Sonnenflecken im Innenraum des EG durch Lichtumlenkung über die Paneele

Der Modellversuch zeigt, dass durch die Verwendung von hochspiegelnden Reflektoren (Variante 4) an der Fassade des Innenhofs eine Steigerung des TQm im Referenzraum des EG um 104% (im Vergleich zum sanierten Bestand mit diffusen Oberflächen) erreicht werden kann. Die Methode bringt nicht nur mehr Tageslicht in die unteren, meist sehr dunklen Stockwerken sondern erlaubt es, auch direktes Sonnenlicht über die Fassade bis in den Innenraum zu lenken. Räume die im Bestandsgebäude nie vom Sonnenlicht erreicht wurden, können nun je nach Sonnenstand dem Nutzer ein verbessertes Raummilieu bieten (Abbildung 11).

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit des Wohngebäudes werden die Abschaltzeiten des Kunstlichts abgeschätzt. Dabei wird im Innenraum eine Zielbeleuchtungsstärke von 90 lx angenommen. Dieser Wert errechnet sich aus den Anforderungen der Norm (TQ 0,9%) und dem bedeckten Himmel nach CIE mit 10000lx.

Der mittlere TQ des Objekts liegt ebenfalls bei 0,9%. Am Standort Wien wurde eine Außenbeleuchtungsstärke (E horizontal diffus) über 10.000lx zwischen den Jahren 1996 und 2000 zu 32% pro 24h erreicht. Eine deutliche Reduktion der Betriebskosten durch die Einsparung von Kunstlicht durch Tageslicht ist jedoch nicht zu erwarten. Generell sind die Anschlusswerte einer Kunstlichtanlage im Wohnbereich eher niedrig. Das Einsparpotential dementsprechend gering.

Die Erhöhung des TQs im Innenraum der unteren Stockwerke steht in direktem Verhältnis zu der Menge an verbauten Aluminiumpaneelen. Eine konservative Fassadensanierung mit Dämmpaneelen kostet für das Referenzobjekt schätzungsweise 57.840€. Eine vollflächige Beplankung mit Aluminiumpaneelen im Zuge einer Sanierung würde ca. 92.544€ kosten. Eine Anhebung des TQs im Innenraum um 104% und die Möglichkeit direkte Sonne in die unteren Stockwerke zu bringen würde Mehrkosten, im Vergleich zur konservativen Sanierung, von ca. 60% bedeuten.

3.5 Ökonomische und energetische Analyse

Ziele:

Die Vor- und Nachteile des Systems aus energetischer und ökonomischer Sicht sollten mit Gebäudesimulationsprogrammen untersucht werden.

Die Vor- und Nachteile des Systems aus energetischer und ökonomischer Sicht wurden untersucht und dargestellt, wie z. Bsp. die Nutzflächenverluste durch den Lichtfänger, die Wärmeverluste an den transparenten Dachflächen, die Energieeinsparungen beim Kunstlicht und bei der Klimatisierung.

Beim Neuentwurf des Altbaus (Renovierung) konzentrierte man sich auf die Innenhofgestaltung, der Gebäudebestand wurde sonst nicht verändert (realistisches Renovierungs-Szenario). Eine ökonomische und energetische Analyse wurden für diesen Fall nicht durchgeführt, da die lichttechnischen Simulationen bereits die wesentlichen Aussagen beinhalten.

3.5.1 energetische Analyse

Anhand der kontinuierlichen Tageslichtautonomie kann der jährliche Energiebedarf für Kunstlicht im Neubau und Neuentwurf ermittelt werden.

Aus den mittleren Beleuchtungsstärken in den repräsentativen Arbeitsbereichen werden die notwendigen Kunstlichtzuschaltungen berechnet. Diese Zuschaltungen werden in weiterer Folge auch als Input-Größe für die thermische Simulation verwendet um dort den Kunstlichtbedarf in Form von internen thermischen Lasten korrekt abzubilden.

[kWh/m²/a]	EG	OG1	OG2	OG3	OG4	OG5
Nord	6.4	5.7	5.2	4.7	4.4	4.2
Süd	6.9	7.2	7.6	8.1	8.1	8.1
je Geschoß	6.7	6.5	6.4	6.5	6.6	6.5
Gesamt	6.5					

Tabelle 8: Jährliche Kunstlichtzuschaltung im Neubau je repräsentativer Berechnungsfläche, gemittelt je Geschoß und gesamt.

[kWh/m²/a]	EG	OG1	OG2	OG3
je Geschoß	9.2	10.6	9.6	6.8
gesamt	9.1			

Tabelle 9: Jährliche Kunstlichtzuschaltung im Neuentwurf (Lichtfänger) je repräsentativer Berechnungsfläche (= je Geschoß) und gesamt.

Die ermittelten Werte cDA und TQm des Neuentwurfs liegen unter denen des Neubaus. Der jährliche Energiebedarf für Kunstlicht des Lichtfängergebäudes liegt daher mit 9,1 kWh/m² über dem des Neubaus mit nur 6,5 kWh/m².

Der jährliche Gesamtenergiebedarf wurde mit Hilfe der Software *OpenStudio* und *EnergyPlus* errechnet. Um eine Vergleichbarkeit beider Gebäude zu gewährleisten und die

alternative Geometrie des Lichtfängergebäudes beurteilen zu können wurden beide Gebäude mit denselben bauphysikalischen Eigenschaften simuliert:

U-Wert Wände	0,20 W /m ² K
U-Wert Dach	0,10 W /m ² K
U-Wert Fenster	0,70 W /m ² K
U-Wert Decken über Außenluft	0,15 W /m ² K

Der jährliche Gesamtenergiebedarf liegt aufgrund des geschlossenen und kompakten (AV Verhältnis) Baukörpers beim Neuentwurf mit 30 kWh/m² weit unter dem des Neubaus (130kWh/m²). Dies ist in erster Linie auf die exzellenten thermischen Eigenschaften der Gebäudehülle zurück zu führen. Die Dämmeigenschaften führen beim Lichtfänger zu einem Heizwärmebedarf von nur 13 kWh/m² im Vergleich zu dem Neubau mit seiner transparenten Fassade mit 115 kWh/m².

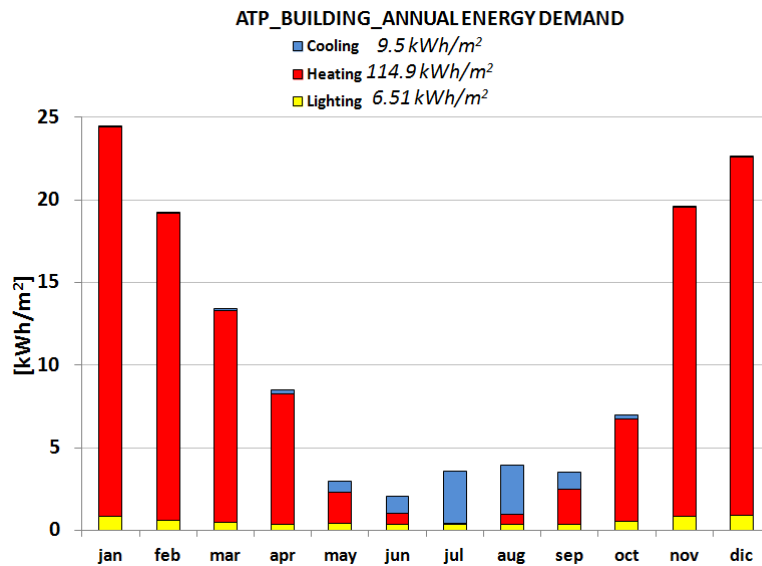


Abbildung 12: Monats- und Jahresbedarf für Heizung, Kühlung und Kunstlicht des Neubaus. Bedarf gesamt 130,91 kWh/m².

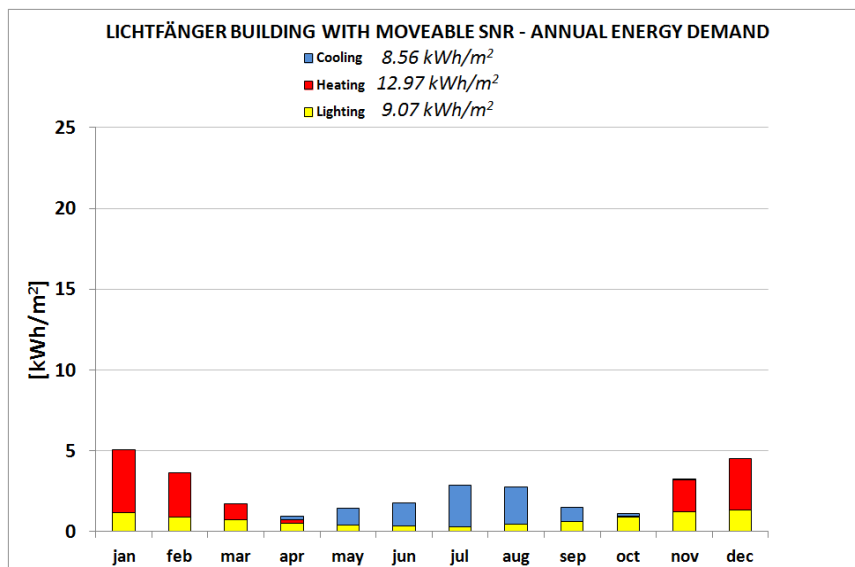


Abbildung 13: Monats- und Jahresbedarf für Heizung, Kühlung und Kunstlicht im Lichtfängergebäude mit wegfarebarem SNR im Oberlicht. Bedarf gesamt 30,6 kWh/m². Entspricht 23% des Neubaus.

3.5.2 ökonomische Analyse

Gemeinsam mit ATP konnten auf Basis des Entwurfs Invest- und Betriebskosten für den Neuentwurf errechnet werden. Die Bauwerkskosten (BWK) entsprechen dem Stand der Technik und wurden von ATP Architekten kalkuliert. Die BWK enthalten die Aufschließung des Grundstückes, den Rohbau, die Technische Gebäudeausrüstung (TGA) wie Stromanlagen, Heiz- und Klimatechnik, Wasserversorgung, den Innenausbau wie Sanitäranlagen, Böden, Lichtfängerunterkonstruktion und Montage, sowie Fassade und eine Photovoltaikanlage. Die Kosten der Lichtfängerschächte (16 Stück a 4mx4m) und seiner Komponenten wurden durch das Lichtlabor Bartenbach geschätzt. Komponenten wie das

Sonnennutzraster (SNR) oder das Fischchen welche sich noch in der Entwicklungsphase befinden und keine marktreifen Produkte darstellen wurden bezüglich der Kosten anhand von ähnlichen Produkten wie z.B. dem Sonnenschutzraster geschätzt (Tabelle 10). Ein Lichtfängerschacht kostet geschätzte 104.884€.

In der Kostenaufstellung nicht enthalten sind Planungshonorare.

Die Baukosten für den Neubau ATP aus dem Jahr 1999 wurden auf heutige Baukosten hochgerechnet und liegen bei 10.500.000€. Das Gebäude bietet 60 Arbeitsplätze pro Geschoss bei insgesamt sechs Stockwerken, also insgesamt 360 Arbeitsplätze.

Da die Fassade des Lichtfängers von ihrer lichtbringenden Funktion befreit wurde kann diese Fläche z.B. für Photovoltaikpaneele genutzt werden. Insgesamt stehen hierfür an Dach und vertikaler Fassade 3200m² zur Verfügung und könnten in Summe jährlich 327.690 kWh liefern.

Der Heizwärmebedarf bzw. Kühlbedarf wurde in einen Energieeinsatz umgerechnet. Das Konzept sieht eine hocheffiziente Wärmepumpe vor welche dem aktuellen Stand der Technik entspricht. Der Endenergieeinsatz dient als Basis zur Berechnung der voraussichtlichen Betriebskosten.

Komponente	Typ	Preis Netto/m ²	Fläche gesamt [m ²]	Summe [Euro]
Sonnennutzraster	SNR	400	279,7	€ 111.874
Verglasung Dach	WSG	100	279,7	€ 27.969
Alu gelocht	Miro Silver 27	80	1587,2	€ 126.976
Alu ungelocht	Miro Silver 27	80	5465,6	€ 437.248
Fischchen		300	2380,8	€ 714.240
Verglasung Schacht	VSG	100	2380,8	€ 238.080
Diffusor EG	Satin Ice	85	256,0	€ 21.760
Summe Total netto [EURO]				€ 1.678.147
Summe Total netto [EURO] pro Lichtfängerschacht				€ 104.884

Tabelle 10: Kostenschätzung Lichtfängerschächte

Parameter		Neubau ATP (360AP)	Neubau Lichtfänger (840AP)
Errichtungskosten	Rohbau	€ 3.000.000	€ 3.836.000
	Fassade (Glas)	€ 1.000.000	-
	Lichtfänger (16 Stk.)	-	€ 1.678.147
	Innenausbau	€ 4.100.000	€ 7.055.000
	Technische Gebäudeausrüstung	€ 2.400.000	€ 7.076.000
	PV Anlage	-	€ 702.900
	Bauwerkskosten (BWK) [€]	€ 10.500.000	€ 20.348.047
Endenergieeinsatz	Erträge aus Photovoltaik (3200m ²) [kWh/a]	-	327.690
	Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	4	4
	Jahresarbeitszahl Kältemaschine + Rückkühlung	2,5	2,5
	Verlustanteil Heizung / Kühlung [%]	10	10
	Endenergieeinsatz Strom Heizung [kWh/a]	221.374	40.348
	Endenergieeinsatz Strom Kühlung [kWh/a]	29.285	55.522
	Endenergieeinsatz Strom Lüftung [kWh/a]	77.638	109.648
	Endenergieeinsatz Strom Licht [kWh/a]	50.100	123.700
	Endenergieeinsatz Summe [kWh/a]	378.397	329.218
	Endenergieeinsatz Summe minus PV Erträge [kWh/a]	-	1.528
	spez. Endenergieeinsatz [kWh/m ² /a]	54	26
	spez. Endenergieeinsatz minus PV Erträge [kWh/m ² /a]	-	0
	Strompreis €/kWh	€ 0,12	€ 0,12
	CO ₂ pro kWh [kG]	0,80	0,80
	CO ₂ Emission_ohne PV [kG/a]	302.718	263.374
Endenergiekosten_ohne PV [€/a] Summe	€ 45.408	€ 39.506	

Tabelle 11: Errichtungskosten und Energiekosten im Detail

Der Endenergieeinsatz des Neuentwurfs liegt bei 329.218 kWh/a (26 kWh/m²/a) was pro Jahr 39.506€ Betriebskosten entspräche. Rechnet man die Erträge der PV Anlage dagegen liegt der Endenergieeinsatz nur noch bei 1.528 kWh/a. Das Gebäude kann ausgestattet mit einer PV als Nullenergie-Gebäude klassifiziert werden.

3.6 Vergleich Bestand mit Neuentwurf

Ziele:

Durchführung eines Vergleichs der beiden Entwürfe mit dem Bestand bzw. den Referenzgebäuden.

3.6.1 Neubau

Aufgrund der verdichteten Bauart weist das Lichtfängergebäude (AV 0,191) im Gegensatz zum ATP Bestandsgebäude (AV 0,24) ein sehr gutes AV Verhältnis auf. Dieser Wert ist eine

wichtige Kenngröße für Aussagen zum Heizenergiebedarf eines Gebäudes. Die Grundstücksfläche kann ebenfalls besser genutzt werden. Der Anteil des Lichtfängers beträgt 43% wobei das Bestandsgebäude 16% abdeckt. Durch die aufgeständerte Bauweise versiegelt der Lichtfänger die Grundstücksfläche dabei nur minimal. Bedingt durch die gute Ausnutzung der Büroflächen und dem geringen Anteil der Konstruktionsfläche stellen Flächenverluste durch die Lichtfängerschächte kein Problem dar. Die NF Bürofläche ist mit 59% an der BGF im Vergleich zum Referenzgebäude mit 57% sogar größer (Abbildung 14).

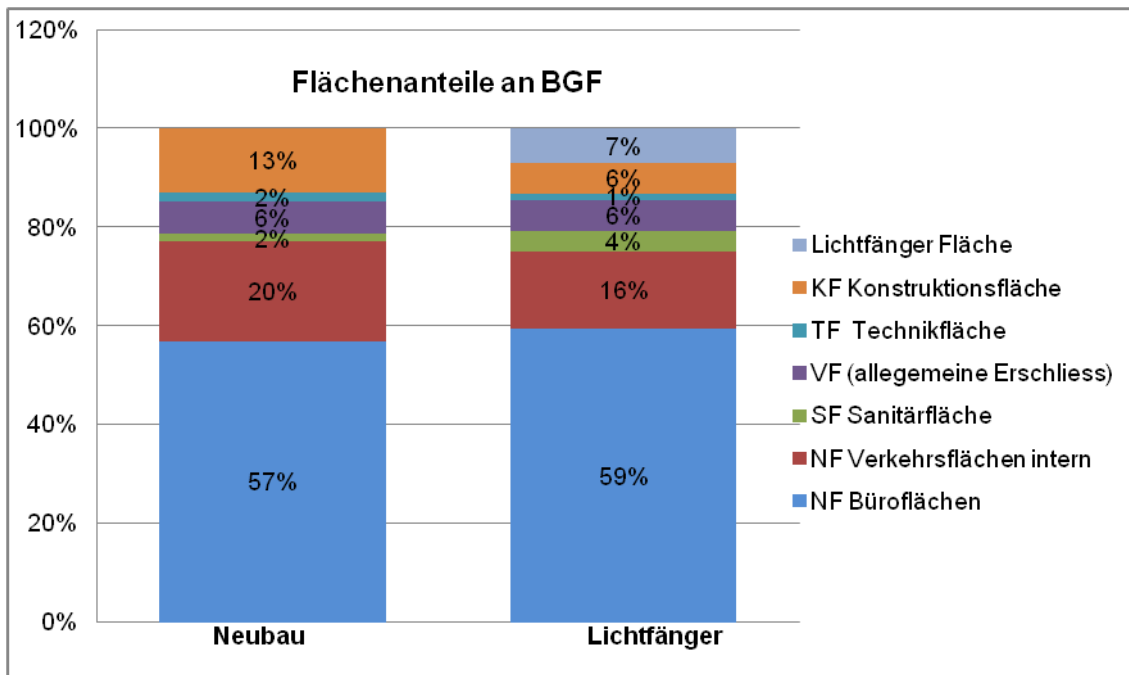


Abbildung 14: Flächenanteile an der Bruttogeschoßfläche

3.6.1.1 Licht

Wie bereits oben beschrieben zeichnet sich der Neubau mit seiner großflächigen transparenten Fassade durch einen sehr guten TQ_m und einer hohen cDA aus. Wie in der Tabelle 10 zu sehen ist schneidet der Neuentwurf schlechter ab, erfüllt jedoch die Norm. Die Lichtverteilung im Lichtfängergebäude ist jedoch wesentlich besser gelöst als im Neubau. Die höchsten Leuchtdichten befinden sich am Arbeitsplatz und nicht am Fenster. Eine Beurteilung nach DGNB Kriterien berücksichtigt die Verteilung der Leuchtdichten im Innenraum durch die vorgesehen Systeme jedoch nicht. Die Bewertung fällt daher schlechter aus. Da es sich bei dem Neuentwurf um eine atypische und neue Gebäudeform handelt können gängige Beurteilungsmodelle wie die des DGNB die Vorteile des Gebäudes nicht erfassen und sind nur bedingt aussagekräftig.

Parameter	Neubau ATP	Neuentwurf Lichtfänger
TQ _m (ohne Blendschutz) [DF]	4,10%	1,32%
Tageslichtautonomie gemittelt @ 500lx [cDA]	82%	53%
Tageslichtautonomie gemittelt @ 500lx_ schaltb. SNR [cDA]	82%	63%
solarer Eintrag [kWh/m ² /a]	22,34	5,26
Kontrastverhältnis	mittel	sehr gut
Visueller Komfort [CL Punkte] von max.100	75 - 89	73

Tabelle 12: Ergebnis der lichttechnischen Simulation

3.6.1.2 Energie

Wie die energetische Analyse zeigt, liegt der Energiebedarf des Lichtfängers weit unter dem des Neubaus. Das durch ATP beschriebene Haustechnikkonzept sieht den Einsatz einer hoch effizienten elektrischen Wärmepumpe für Heizen und Kühlen vor. Der errechnete Endenergieeinsatz des Lichtfängers beträgt daher nur etwa 50% des Referenzgebäudes "Neubau" (Abbildung 16). Eine PV-Anlage kann den Energieeinsatz nahezu völlig decken. Ein Nullenergiehaus wäre möglich (

Abbildung 17).

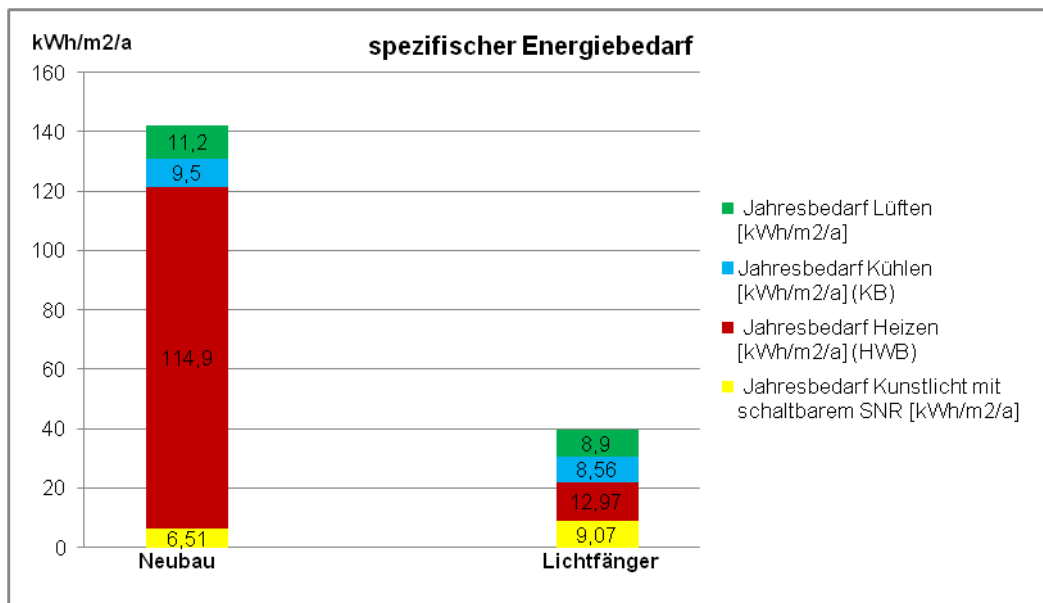


Abbildung 15: Energiebedarf laut thermischer Simulation

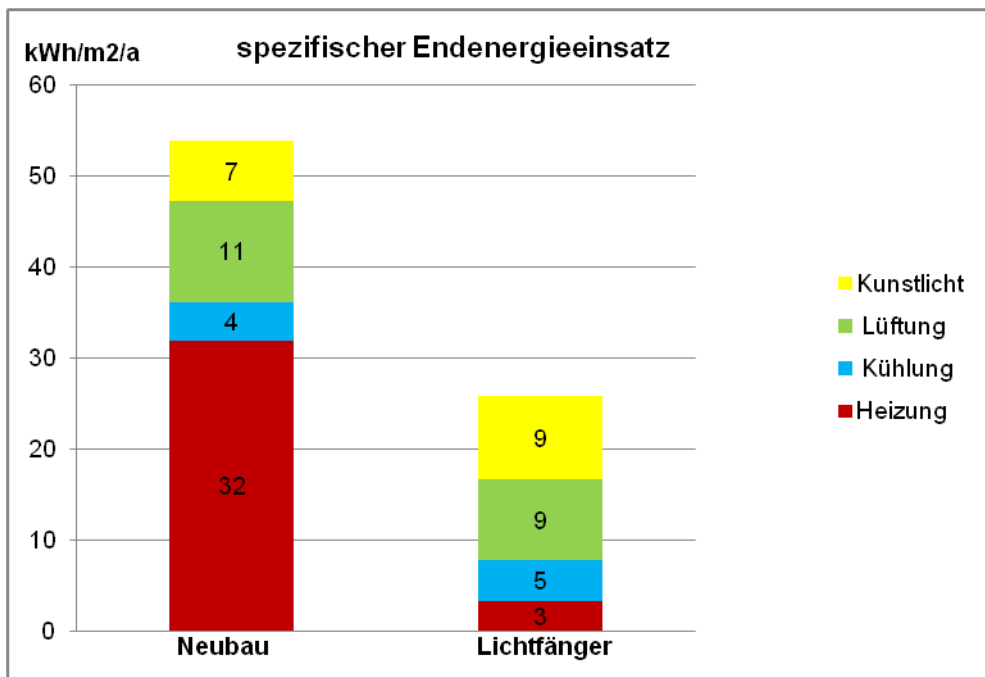


Abbildung 16: Der spezifische Endenergieeinsatz des Lichtfängers ist wesentlich niedriger als der das Referenzgebäudes. Die effiziente Wärmepumpe kann den Energieeinsatz für Heizen und Kühlen drastisch reduzieren wobei der Energieeinsatz des Lichts und der Lüftung gleich dem des Bedarfs ist.

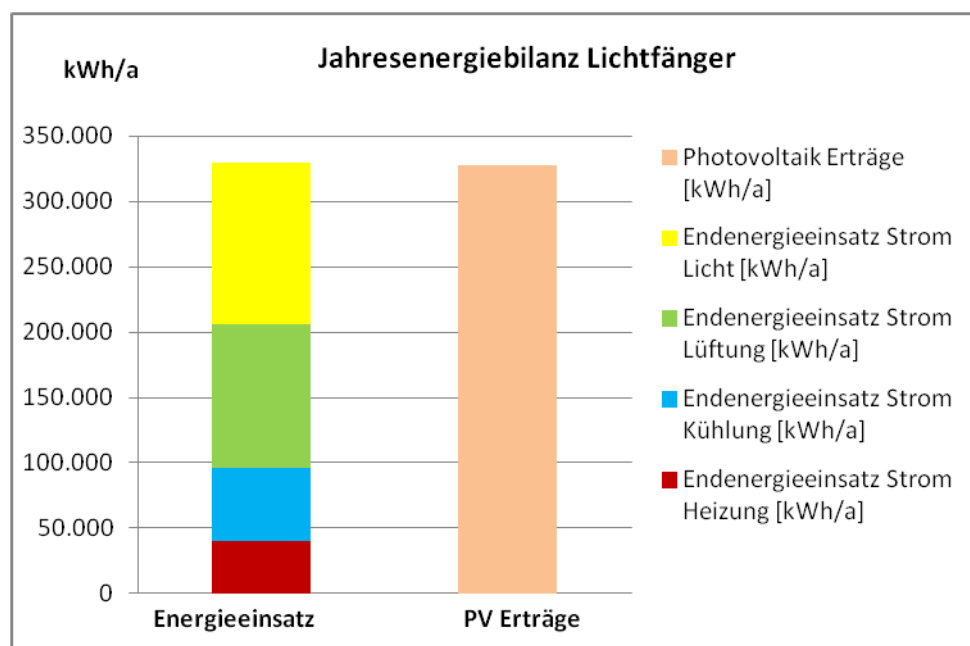


Abbildung 17: Eine PV Anlage kann 99,5% des Energieeinsatzes des Lichtfängergebäudes decken.

3.6.1.3 Kosten

Die spezifischen Errichtungskosten des Lichtfängers sind nur wenig höher als die des Neubaus (Abbildung 18). Die Mehrkosten des Lichtfängers sind zum einen bedingt durch die zusätzliche PV Anlage, zum anderen durch den kostenintensiveren technischen Ausbau.

Eine PV Anlage in der Größe des Lichtfängergebäudes ist beim Neubau aufgrund der fehlenden Flächen nicht möglich.

Die Arbeitsplatzfläche wurde nach Großraumbürostandard von ATP Architekten dimensioniert. Das gesamte Gebäude bietet 840 Arbeitsplätze mit einer Fläche von 14 m² pro Arbeitsplatz. Durch die effiziente Arbeitsplatzbelegung und die optimale Ausnutzung der Büronutzfläche liegen die Bauwerkskosten pro Arbeitsplatz beim Neuentwurf bei 24.244€ und somit unter denen des Referenzgebäudes.

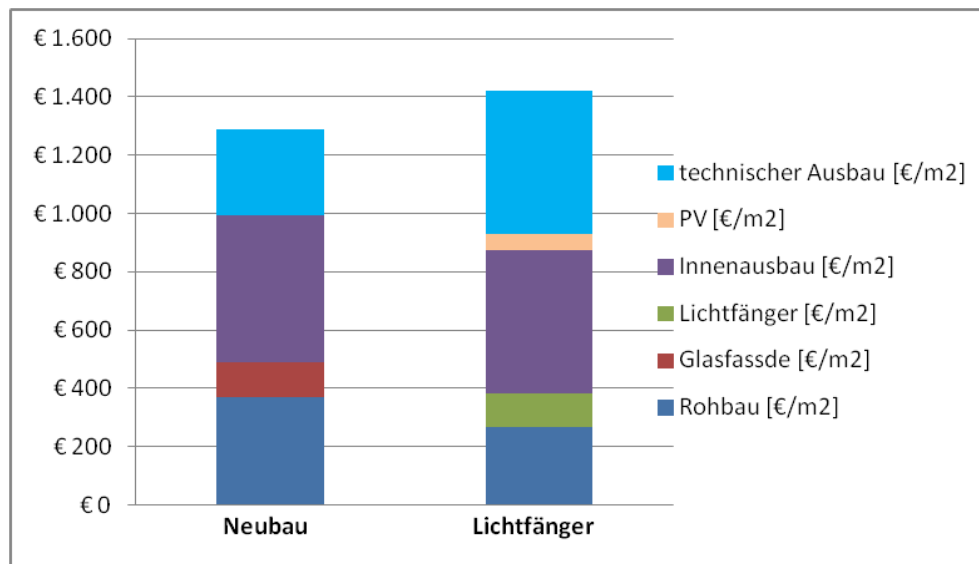


Abbildung 18: Ohne PV Anlage sind die spezifischen Baukosten beider Gebäude nahezu identisch

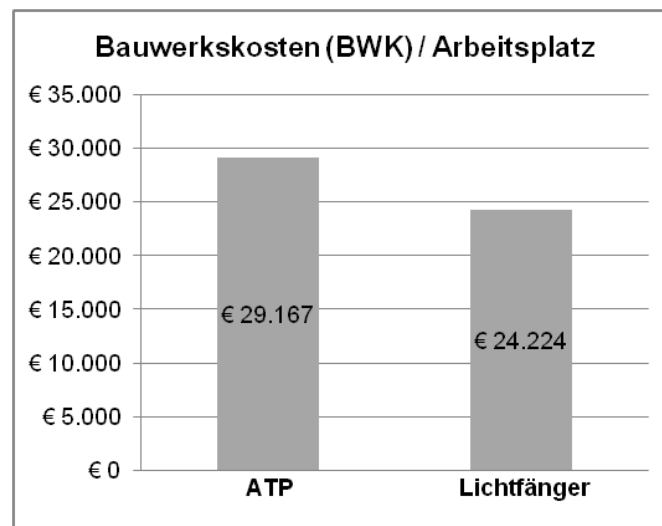


Abbildung 19: Bauwerkskosten pro Arbeitsplatz mit PV.

3.6.1.4 Kennwerte

Das Lichtfängergebäude kann zu vergleichbaren Errichtungskosten eines Riegelbaus gebaut werden. Die günstige Bürostruktur und die damit einhergehende optimale

Arbeitsplatzbelegung führen zu einem sehr guten Kosten / Arbeitsplatz Verhältnis. Hinzu kommen die niedrigen Betriebskosten des Lichtfängers. Eine PV Anlage kann diese nahezu auf null reduzieren. Bezogen auf den Gesamtlebenszyklus stellt dieser Gebäudetyp eine sehr kosteneffiziente Alternative zu Standard Gebäudeformen wie dem Riegelbau dar ohne die Bedürfnisse der Nutzer im Gebäude zu vernachlässigen.

Parameter	Neubau ATP	Neubau Lichtfänger
NRF / Arbeitsplatz	18	14
Grundstücksfläche / Arbeitsplatz	24	10
Bauwerkskosten (BWK) / m ² BGF	€ 1.377	€ 1.507
Bauwerkskosten (BWK) / Arbeitsplatz	€ 29.167	€ 24.224
spezifische CO ₂ Emission ohne PV [kg/m ² /a]	40	20
spezifische Endenergiekosten ohne PV [€/m ² /a]	€ 6	€ 3
spezifische CO ₂ Emission mit PV [kg/m ² /a]	-	0
spezifische Endenergiekosten mit PV [€/m ² /a]	-	€ 0,01

Tabelle 13: wirtschaftliche Kennwerte im Vergleich

3.6.2 Altbau

Der Neuentwurf für den Altbau sieht ein lichttechnisches Sanierungskonzept vor. Dieses konzentriert sich in erster Linie auf eine bessere Tages- bzw. Sonnenlichtversorgung der unteren Stockwerke mit Fensteröffnungen zu einem Innenhof.

Parameter	saniert	lichttechnisch optimiert saniert (Lichtfänger)
TQ _m [%]	0,44	0,9
Tageslichtautonomie [%]	13	32
Sonnenflecken im Innenraum	nein	ja
Investkosten	€ 57.840	€ 92.544
Mehrkosten Invest zu "saniert"		62,50%

Tabelle 14: Vergleich saniertes Innenhof und lichttechnisch sanierter Innenhof mit vollflächiger Aluminium Verkleidung.

Der Entwurf zeigt, dass das Prinzip des Lichtfängers auch bei einer Gebäudesanierung eingesetzt werden kann. Der Tageslichtquotient kann angehoben und das Raummilieu deutlich verbessert werden. Kurzfristige wirtschaftliche Gewinne lassen sich durch die Einsparung an Kunstlicht nicht erzielen. Langfristig wird die Immobilie jedoch durch deutlich gesteigerte Wohnqualität aufgewertet. Besonders die unteren Stockwerke im innerstädtischen Bereich zeichnen sich durch einen stark reduzierten Verkehrswert aus. In

der Regel geht man davon aus, dass der Verkehrswert von EG und OG1 nur 50% der oberen Stockwerke beträgt. Der Lichtfänger bietet somit ein großes Potenzial die Wohnqualität und Verkehrswerte innerstädtischer Altbauten mit Innenhöfen deutlich zu steigern.

4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms

4.1 Einpassung in das Programm

Mit der vorliegenden Durchführbarkeitsstudie wurde ein neuartiger Ansatz zur drastischen Reduktion des Energieverbrauches eines Gebäudes bei gleichzeitigem Komfortgewinn für dessen Nutzer gefördert. Damit knüpft das Projekt unmittelbar an die Programminhalte von "Haus der Zukunft Plus" an, wo durch grundlegende Forschungsarbeiten sowie kooperative Technologieentwicklungen neue Erkenntnisse für die Effizienzsteigerung im Gebäudebereich erreicht werden sollen.

4.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms

Es konnte nachgewiesen werden, dass ein Gebäude, das mit Lichtfänger ausgestattet ist, im Vergleich zu einem herkömmlichen Gebäude eine deutliche Reduktion des gesamten Energieumsatzes aufweist. Die Maximierung des visuellen Komforts bei ausreichender Tagesbelichtung und gleichzeitiger Minimierung des Energieverlustes reduziert vor allem die Heizleistung bei kalten Außentemperaturen drastisch, auch die erforderliche Kühlleistung bei warmen Außentemperaturen wird leicht gesenkt.

Der Primärenergieaufwand für die Beleuchtung im Innenraum ist bei Tageslichtnutzung minimal im Gegensatz zur reinen elektrischen Beleuchtung. Verglichen mit einem Gebäude mit hohem Glasanteil in der Fassade ist die Zuschaltzeit der künstlichen Beleuchtung zwar leicht erhöht, gesamtenergetisch wird dieser Nachteil jedoch durch den stark reduzierten Heizbedarf vielfach wettgemacht. Dabei darf nicht vergessen werden, dass im Lichtfängergebäude zusätzlich die visuelle Qualität deutlich verbessert ist. Dank der Eigenenergieumsatzreduktion kann ein derartiges Gebäude wesentlich leichter als Null-Energie-Haus bzw. sogar als Energielieferant (Plus-Energie-Haus) realisiert werden als dies mit herkömmlichen Gebäudeformen möglich ist, und leistet damit einen wesentlichen Beitrag um dem global wachsenden Energiebedarf entgegen zu wirken.

Die Analyse anhand eines Bürohauses als Neubauprojekt trifft den Programmschwerpunkt "Auslegung auf Büro- und Betriebsgebäude" ebenso wie die Studie zu einem Altbau-Renovierungsgebäude (Stichwort "Gebäudemodernisierung"). Auf der Basis der Ergebnisse der Durchführbarkeitsstudie wurden sowohl die technischen, als auch die wirtschaftlichen Vorteile eines Lichtfängers quantifizierbar.

Als Weiterführung wird ein Nachfolgeprojekt geplant, in dem mit Architekten als Projektpartner ein ganzheitliches Gebäudekonzept für den Lichtfänger erstellt werden soll. Dies wäre der nächste Schritt in Richtung Prototyp bzw. Demonstrationsgebäude, deren Initiierung ein weiteres Ziel des Programms Haus der Zukunft PLUS darstellen.

4.3 Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt

Durch das Architekturbüro ATP Sphere war Input von der wesentlichen Zielgruppe des Lichtfängers - der innovationsoffenen Architekturbranche - sichergestellt. Das Interesse am Projekt wuchs auf Seiten von ATP kontinuierlich, wodurch mehr und mehr Austausch zwischen dem Bartenbach Lichtlabor als Projektleiter und dem Architekturbüro stattfand. Dadurch war es möglich Anregungen und Hinweise direkt in den Projektprozess einfließen zu lassen. Diese intensive Zusammenarbeit resultierte vorerst im gemeinsamen Vorhaben ein Nachfolgeprojekt als Projektpartner anzustreben.

4.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse

Die Zielmärkte für den Lichtfänger sind auf der ganzen Welt zu finden. Besonders attraktiv für die Anwendung sind Bereiche mit hoher Sonnenscheinwahrscheinlichkeit wie z.B. der arabische Raum. Dort ist außerdem das Interesse am „Green Building“ bzw. an „Solar Cities“ spürbar und erste Projekte in diese Richtung sind in Ausarbeitung und Realisierung.

Mit der in der technischen Durchführbarkeitsstudie nachgewiesenen wirtschaftlichen und energiesparenden Überlegenheit von Gebäuden ist der "Lichtfänger" in jeder dichten Bebauungsstruktur im Vorteil gegenüber herkömmlicher mehrgeschoßiger Bauweisen. Da die Anwendung des "Lichtfängers" sowohl in Neubauten wie auch in bestehenden Renovierungsbauten möglich ist, kann nahezu jeder mehrgeschoßige Bau damit verbessert werden.

Absehbare Kunden des Lichtfängers sind Bauherrn die mittelbar über Ihre Architekten angesprochen werden. Der Nutzen für den Bauherrn liegt in der Wirtschaftlichkeit, der Nachhaltigkeit, im hohen Nutzungskomfort und sicherlich auch in der attraktiven Gestaltung des Gebäudes und der damit verbundenen Werbewirksamkeit. Bauträger als weitere Kundengruppe können mit dem Lichtfänger-Konzept innerstädtische Grundstücke besser ausnützen und dichter bebauen als dies bisher möglich war. Damit können die Mieten für deren Kunden attraktiver gestaltet werden. Zum weiteren Kundenkreis zählen die Hersteller der entsprechenden Branchen wie etwa im Bereich Stahl-Glas-Bau, die damit neue Geschäftsfelder erschließen können.

5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen

Die Grundidee von Prof. Christian Bartenbach war es die vertikale Fassade von seinen lichtbringenden Zwängen zu befreien und das Tageslicht, unabhängig von umliegender Verschattung und unter Ausnutzung des Zenitlichts, über horizontale Öffnungen am Dach einzulenken. Vermutet wurde, dass mehr Tageslicht in den Innenraum gebracht werden kann, gleichzeitig die tageslichtrelevanten Öffnungen in der Gebäudehülle jedoch so gering sind, dass Heiz- und Kühlbedarf minimal ausfallen.

Neue Gebäudestrukturen waren plötzlich denkbar und wurden gemeinsam mit dem Architekturbüro ATP Sphere zu einem Entwurf für ein Großraumbüro umgesetzt.

Die ersten Analysen zeigten jedoch dass eine Dimensionierung der Lichtfängerschächte auf einen bedeckten Himmel zu sehr großen Geometrien führte, welche sich nur schwierig und nur mit hohen Flächenverlusten in ein Gebäude integrieren ließen. Die Idee, zusätzlich das zur Verfügung stehende Sonnenlicht zu nutzen, stellte eine vielversprechende Lösung dar welche sich in der lichttechnischen und energetischen Analyse als zutreffend erwies.

Die Gebäudehülle wird nur minimal am Dach geöffnet um die Mindestanforderung an den Tageslichtquotienten zu erfüllen. Gleichzeitig steht bei Mischhimmel und klarem Himmel mit Sonne genügend Licht zur Verfügung um Kunstlicht einzusparen. Die Lichtverteilung im Innenraum ist dabei zu allen Himmelszuständen optimal gelöst und bietet auch bei bedecktem Himmel sowie bei Sonne höchste Leuchtdichten am Arbeitsplatz und nicht an den Fenstern bzw. den relevanten Tageslichtöffnungen im Lichtfängerschacht. Die großflächige Verteilung des Sonnenlichts führt dabei zu minimalen solaren Lasten. Das Raumklima und Milieu sollte als angenehm und ablenkungsfrei empfunden werden.

Öffnungen in der vertikalen Fassade wurden in diese Machbarkeitsstudie bewusst vernachlässigt. Die Lichtfängerschächte alleine liefern ausreichendes Tageslicht. Eine Öffnung der Fassade von ca. 5% der Raumbodenfläche würde Sichtbezug nach außen liefern, gleichzeitig die guten thermischen Eigenschaften kaum beeinflussen.

Die geschlossene und kompakte Bauform in Kombination mit den guten Dämmeigenschaften der Fassade führt dabei zu einem sehr geringen Energiebedarf. Der errechnete Energieeinsatz kann mit Hilfe einer PV-Anlage auf nahezu Null reduziert werden.

Die Positionierung der lichtgebenden Öffnungen am Dach erweist sich nicht nur als dauerhaft unabhängig von umliegender Verschattung sondern bietet auch die Möglichkeit das Zenitlicht bzw. Sonnenlicht optimal zu nutzen.

Als möglicher Standort kommt zum Einen der stark verbaute innerstädtische Bereich in Frage, zum Anderen bedingt durch die geringen Bau- und Betriebskosten, wenig verbaute und preiswerte Grundstücke in der Stadtperipherie.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass der Lichtfänger massgebliche Vorteile gegenüber konventioneller Gebäudegeometrien aufweist und sich durch folgende positive Eigenschaften auszeichnet:

- ausreichende Tagesbelichtung
- ausgezeichnete und blendfreie Tageslichtverteilung im Innenraum
- minimierte Gebäudeöffnung für den Tageslichteintrag - damit minimaler Wärmeeintrag im Sommer und minimaler Wärmeverlust im Winter
- kompakte Bauweise führt zu niedrigem Energieverbrauch (Heizbedarf, Kühlbedarf)
- Die Gebäudefassade wird von der Funktion Licht in den Raum zu bringen befreit > frei gestaltbare Fassaden
- Die mit Glasfassaden verbundenen Probleme bzw. die notwendigen aufwändigen Fassadenkonstruktionen entfallen (Sonnenschutz, Blendschutz, etc.)
- Anpassbarkeit des Lichtfängers an das lokal vorhandene Tageslichtangebot von Sonneneinstrahlung und bedecktem Himmelslicht
- Unterschiedliche neue Gebäudetypologien und formale Ausprägungen können aus diesem Konzept erarbeitet werden
- Anwendung besonders für dichte Bebauungsstrukturen, wie im innerstädtischen Bereich, geeignet, da Tageslicht vom Dach bis in die unteren Geschoße transportiert werden kann (optimale Grundstücksverwertung)
- geringe Baukosten
- generell höhere Effizienz beim Lichttransport führt zu neuen Erscheinungsbildern im Gebäude und neuen Innenhoflösungen

Zusammenfassend kann man sagen, dass der Entwurf mit den Lichtfängern ausreichend Tageslicht bietet, gleichzeitig in seinen Bauwerkskosten vergleichbar mit einem Standard Entwurf ist. Der Endenergieeinsatz hingegen ist minimal, was sich in einer exzellenten wirtschaftlichen Bilanz und einem sehr geringen CO₂ Emission widerspiegelt.

6 Ausblick und Empfehlungen

Gemeinsam mit dem Architekturbüro ATP Architekten und Ingenieure soll auf Basis der in diesem Forschungsprojekt erarbeiteten Ergebnisse ein weiteres Forschungsprojekt beantragt werden. Ziel ist es die Lichtfängerschächte welche in Wechselwirkung mit der Gebäudegeometrie stehen in einem ganzheitlichen Ansatz zu untersuchen. Alle bauwirtschaftlichen wie energetischen Faktoren sollen berücksichtigt werden um einen Entwurf mit minimalen Kosten und CO₂ Fußabdruck zu erhalten. Der Entwurf soll nach modernen Beurteilungsmodellen zertifiziert werden und zukunftsorientierte Ergebnisse liefern.

7 Internetquellen

[EP2013] <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/> (zuletzt abgerufen am 25.07.2013; 09:14)

[EPW2013]

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata/6_europe_wmo_region_6/AUT_Innsbruck.111200_IWEC.zip (zuletzt abgerufen am 25.07.2013; 09:12)

[OS2013] <http://openstudio.nrel.gov/> (zuletzt abgerufen am 25.07.2013; 09:17)

[RAD2013] <http://radiance-online.org/> (zuletzt abgerufen am 25.07.2013; 09:11)

8 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

8.1 Abbildungen

Abbildung 1: Nordansicht des Neubaus in Innsbruck.....	16
Abbildung 2: HDR und Falschfarben Leuchtdichtebild eines Arbeitsplatzes im OG4. Zu erkennen ist die hohe Leuchtdichte des unverschatteten Fensters im Kontrast zu der Leuchtdichte des Arbeitsplatzes.	18
Abbildung 3: Ansicht Karajangasse & Ansicht Innenhof.....	19
Abbildung 4: Grundriss des Neuentwurfs "Lichtfänger" mit Flächennutzung erstellt durch ATP Sphere	21
Abbildung 5: Gebäudeschnitt mit Lichtfängerschächten. Tageslicht wird über Öffnungen am Dach gleichmäßig im Gebäude verteilt	21
Abbildung 6: TQ-Verläufe auf den repräsentativen Berechnungsflächen im Lichtfängergebäude mit satinierten Spiegeldecken für optimale Lichtumlenkung ($\rho = 98\%$), ohne Sonnennutzraster in den Lichtschächten.	23
Abbildung 7: Beleuchtungsstärkeverteilungen auf den repräsentativen Berechnungsflächen im Lichtfängergebäude mit satinierten Spiegeldecken für klaren Himmel mit Sonne am 21.03., 12:00	24
Abbildung 8: Messfläche mit TQ-Falschfarbenbild im Raster. 1m^2 Lichtfängergrundfläche kann ca. 30m^2 Büronutzfläche mit einem TQm von $1,32\%$ versorgen.....	24
Abbildung 9: Innenhof mit lichtlenkenden Oberflächen: 1. diffuse Oberfläche (saniert), 2. Lichtlenkung mit hochglänzendem Alu, 3. Lichtlenkung mit hochglänzendem und satiniertem Alu.....	26
Abbildung 10: TQ Werte im Referenzraum	26
Abbildung 11: Sonnenflecken im Innenraum des EG durch Lichtumlenkung über die Paneele	27
Abbildung 12: Monats- und Jahresbedarf für Heizung, Kühlung und Kunstlicht des Neubaus. Bedarf gesamt $130,91\text{ kWh/m}^2$	30

Abbildung 13: Monats- und Jahresbedarf für Heizung, Kühlung und Kunstlicht im Lichtfängergebäude mit wegfuhrbarem SNR im Oberlicht. Bedarf gesamt 30,6 kWh/m ² . Entspricht 23% des Neubaus.	30
Abbildung 14: Flächenanteile an der Bruttogeschoßfläche	33
Abbildung 15: Energiebedarf laut thermischer Simulation.....	34
Abbildung 16: Der spezifische Endenergieeinsatz des Lichtfängers ist wesentlich niedriger als der das Referenzgebäudes. Die effiziente Wärmepumpe kann den Energieeinsatz für Heizen und Kühlen drastisch reduzieren wobei der Energieeinsatz des Lichts und der Lüftung gleich dem des Bedarfs ist.....	35
Abbildung 17: Eine PV Anlage kann 99,5% des Energieeinsatzes des Lichtfängergebäudes decken.	35
Abbildung 18: Ohne PV Anlage sind die spezifischen Baukosten beider Gebäude nahezu identisch.....	36
Abbildung 19: Bauwerkskosten pro Arbeitsplatz mit PV.....	36

8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Simulationsergebnisse. TQs auf den repräsentativen Berechnungsflächen im Neubau	17
Tabelle 2: Simulationsergebnisse. TQs auf den repräsentativen Berechnungsflächen im Neubau bei aktiviertem Sonnen-/Blendschutz.	17
Tabelle 3: [cDA] kontinuierliche Tageslichtautonomie zum Schwellwert von 500lx im Neubau	18
Tabelle 4: bauliche Gebäudeeigenschaften im Detail	20
Tabelle 5: Gebäudebasisdaten gesamt	20
Tabelle 6: kontinuierliche Tageslichtautonomie (cDA) je repräsentativer Berechnungsfläche zum Schwellwert 500lx im Lichtfängergebäude mit satinierten Spiegeldecken für optimale Lichtumlenkung ($\rho = 98\%$), mit schaltbarem Sonnennutzraster in den Lichtschächten.	24
Tabelle 7: TQ Messung im Modell (HRT- halbe Raumtiefe laut Norm)	26
Tabelle 8: Jährliche Kunstlichtzuschaltung im Neubau je repräsentativer Berechnungsfläche, gemittelt je Geschoß und gesamt.	28
Tabelle 9: Jährliche Kunstlichtzuschaltung im Neuentwurf (Lichtfänger) je repräsentativer Berechnungsfläche (= je Geschoß) und gesamt.....	28
Tabelle 10: Kostenschätzung Lichtfängerschächte.....	31
Tabelle 11: Errichtungskosten und Energiekosten im Detail	32
Tabelle 12: Ergebnis der lichttechnischen Simulation.....	34
Tabelle 13: wirtschaftliche Kennwerte im Vergleich	37
Tabelle 14: Vergleich saniertes Innenhof und lichttechnisch sanierter Innenhof mit vollflächiger Aluminium Verkleidung.	37