

Konzeption eines mitwachsenden Werkstättengebäudes für eine Werkstätte für behinderte Menschen in Holzbauweise mit optimierter Energieeffizienz

Abschlussbericht gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung
Umwelt

AZ 29965-25

Bearbeiter

Prof. DI Hermann Kaufmann, Architekten Hermann Kaufmann ZT GmbH
M.Eng.Dipl.-Ing.(FH) Florian Hausladen, Hausladen Ingenieurbüro GmbH
Ma.Sc. Martin Veit, Veit Energie Consult GmbH

August 2014

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	29965-25	Referat	25	Fördersumme	124.875 €
Antragstitel		Konzeption eines mitwachsenden Werkstättegebäudes für eine Werkstätte für behinderte Menschen in Holzbauweise mit optimierter Energieeffizienz			
Stichworte					
Laufzeit		Projektbeginn		Projektende	
16 Monate		13.12.2011		13.04.2013	
Zwischenberichte		nach 8 Monaten			
Bewilligungsempfänger		ISAR-WÜRM-LECH IWL - Werkstätten für behinderte Menschen gemeinnützige GmbH Rudolf-Diesel-Str. 1 86899 Landsberg am Lech		Tel 08191 / 92 41 - 25 Fax 08191 / 92 41 - 99 Projektleitung Herr Ludger Escher Bearbeiter Herr Ludger Escher	
Kooperationspartner		Architekten Hermann Kaufmann ZT GmbH - Sportplatzweg 5 A-6858 Schwarzach Ingenieurbüro Hausladen GmbH - Feldkirchner Str. 7a - 85551 Kirchheim ZINNER Ingenieure - Blumenstr. 13 - 82152 Krailling Veit Energie Consult GmbH - Pilotystraße. 4 - 80538 München			
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens Die ISAR-WÜRM-LECH IWL Werkstätten (kurz: IWL GmbH) ist eine gemeinnützige Einrichtung der beruflichen Rehabilitation für Menschen mit Behinderung. Die IWL GmbH plant, den Produktionsstandort in Landsberg am Lech auszubauen. Es ist eine schrittweise Erneuerung und damit einhergehend die Weiterentwicklung der Produktionsstätten auf dem erworbenen und bereits freigeräumten Nachbargrundstück umzusetzen. Die Entwicklung wird sich über mehrere Bauabschnitte erstrecken, somit muss bereits für die erste Planung eine Gesamtkonzeption entwickelt werden. Das gesamte Bauvorhaben sollte möglichst mit nachwachsenden Rohstoffen ausgeführt werden, ebenso sollte ein vorbildlicher Energiestandard umgesetzt werden. Für die Konzeption dieses flexiblen und mitwachsenden Holzbaus mit optimierter Energieeffizienz sind vernetzte Betrachtungsweisen sowie ein interdisziplinärer und ganzheitlicher Planungsprozess notwendig					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden Im Rahmen eines interdisziplinären Planungsprozesses soll für den Neubau der Werkstätte für behinderte Menschen der IWL in Landsberg mustergültige Lösungen zu folgenden Themen entwickelt werden: - Optimiert vorgefertigter Holzbau mit flexiblen Elementen für den mitwachsenden Holzbau - Musterlösung für eine energieverlustarme LKW-Anlieferung					

- Erarbeitung eines umfassend optimierten Energiestandards inkl. thermische Simulation
- Entscheidungsfindung anhand Lebenszykluskostenanalyse
- Untersuchung von Synergie Sprinkleranlage und Beheizung
- Masterplan Energieversorgung
- Variantenuntersuchung optimierter Beleuchtungsstandards und visualisiertes Energiemonitoring.

Die Arbeitsschritte bei den einzelnen Themen sind sehr verschieden. Grundsätzlich wird der bestehende Entwurf aus dem Wettbewerb durch Variantenstudien und deren Auswertung laufend optimiert. Die Ergebnisse werden kostenmäßig bewertet und dienen als seriöse und umfassende Entscheidungshilfe für die tatsächliche Ausführung. Methodisch ist eine interdisziplinäre Planungsphase mit den notwendigen Leistungsumfängen der einzelnen Planungsteams Voraussetzung für die erwarteten Ergebnisse.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • <http://www.dbu.de>

Ergebnisse und Diskussion

Die Vorfertigung wurde schon in der Planungsphase sehr weit durchdetailliert und fixiert. Versetzbare Elemente für den mitwachsenden Holzbau sind bereits im Gebäude realisiert und betreffen nicht nur den Holzbau sondern auch den Massivbau. Die Einfahrtstore wurden entsprechend der technischen Möglichkeiten umgesetzt. Interdisziplinär wurden die Anforderungen an die Gebäudehülle optimiert und mittels thermischer Simulation, Berechnung der Lebenszykluskosten und Wärmebrückenoptimierung überprüft. Zur Beleuchtungsanlage und Energiemonitoring wurde ein weiterführender Forschungsantrag gestellt, der noch nicht abgeschlossen ist.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Logo der DBU an der Bautafel - präsent während der Baudurchführung
Vorstellung des Projektes auf einer eigenen Pressekonferenz im Mai 2013
Bei der Eröffnung Plakate mit Erklärungen zum Forschungsprojekt

Fazit

Die Zielsetzungen wurden zum Großteil erreicht. Durch genaue Planung und ein frühes Einbinden von ausführenden Firmen, ist ein hoher Grad an Vorfertigung und die Festlegung dafür bereits im Plan möglich. Versetzbare Außenbauteile sind im Holzbau relativ leicht realisierbar, da die Elementierung schon bei der Montage eine wichtige Rolle spielt. Bei den Toren reagiert die Industrie nicht wirklich auf Anforderungen die abseits der breiten Nachfrage liegen. Hohe Preise sind das Ergebnis von Sonderlösungen die bei Nischenanbietern aber erhältlich sind. Erst wenn ein Markt für Speziallösungen erkannt wird, kann man hoffen, dass die Hersteller mit neuen Produkten reagieren.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • <http://www.dbu.de>

Abschlussbericht DBU

Inhalt

Projektkennblatt.....	2
1. Verzeichnis von Bildern Zeichnungen, Grafiken und Tabellen.....	6
2. Zusammenfassung.....	8
3. Einleitung.....	9
4. Hauptteil.....	11
4.1 Optimierung der Vorfertigung.....	11
4.1.1 Aufgabenstellung.....	11
4.1.2 Zielsetzung.....	11
4.1.3 Ergebnis.....	12
4.2 Entwicklung vorgefertigter flexibler Elemente für den mitwachsenden Holzbau.....	23
4.2.1 Aufgabenstellung.....	23
4.2.2 Zielsetzung.....	23
4.2.3 Ergebnis.....	23
4.3 Musterlösung für eine energieverlustarme LKW-Anlieferung.....	31
4.3.1 Aufgabenstellung.....	31
4.3.2 Ergebnis.....	31
4.4 Konzeptentwicklung Gebäudehülle/Gebäudetechnik und Festlegung Energiestandard.....	33
4.4.1 Aufgabenstellung.....	33
4.4.2 Zielsetzung.....	33
4.4.3 Ergebnis.....	34
4.5 Thermische Simulation.....	37
4.5.1 Aufgabenstellung.....	37
4.5.2 Zielsetzung.....	37
4.5.3 Ergebnis.....	37
4.6 Lebenszykluskosten.....	41
4.6.1 Aufgabenstellung.....	41

4.6.2	Zielsetzung.....	41
4.6.3	Ergebnis	41
4.7	Wärmebrückenoptimierung.....	42
4.7.1	Aufgabenstellung.....	42
4.7.2	Zielsetzung.....	42
4.7.3	Ergebnis	42
4.8	Synergieeffekte Gebäudeheizung über Sprinkleranlage.....	43
4.8.1	Aufgabenstellung.....	43
4.8.2	Zielsetzung.....	43
4.8.3	Ergebnis	43
4.9	Masterplan und Energieversorgung.....	45
4.9.1	Aufgabenstellung.....	45
4.9.2	Zielsetzung.....	45
4.9.3	Ergebnis	46
4.10	Beleuchtungsanlagen: Innovative Tageslicht und anwesenheitsabhängige LED-Beleuchtung in Industrieanlagen.....	47
4.10.1	Aufgabenstellung.....	47
4.10.2	Zielsetzung.....	47
4.10.3	Ergebnis	47
4.11	Energiemanagement im Spannungsfeld zwischen Mensch und Produktion Energiemonitoring mit visueller Darstellung der Energieströme innerhalb des Gebäudes	50
4.11.1	Aufgabenstellung.....	50
4.11.2	Zielsetzung.....	50
4.11.3	Ergebnis	50
5.	Fazit	53
5.1	Hochbau	53
5.2	Elektroplanung.....	52

1. Verzeichnis von Bildern Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

S. 13	Ansicht Nordfassade	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 14	Schnitt Nordfassade Montagefolge	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 15	Kopplung Fensterelemente	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 16	Schnitt Ostfassade Montagefolge	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 17	Wasserschäden Dachkonstruktion	Fotoarchiv Büro Kaufmann
S.18	Schnitt Dachkonstr. Montagefolge	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 19	Dachdraufsicht Elementteilung	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 19	Dach Obergeschoss	Fotoarchiv Büro Kaufmann
S. 20	Schnitt Dach Prod. Montagefolge	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 21	Visualisierung Dach Halle Montagef.	Büro Kaufmann
S. 21	Blicke in Produktionshalle	Fotoarchiv Büro Kaufmann
S. 22	Einheben Hallendach	Fotoarchiv Büro Kaufmann
S. 24	Detail Pfosten bei Verglasung	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 25	Skizze Pfosten-Riegel-Fassade	Skizze Fa. Gump & Maier
S. 25	Detail Pfosten-Riegel-Fassade	Werkplanung Fa. Gump & Maier
S. 26	Schnitt Fassade Süden Montagefolge	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 27	Oberer Anschluss Fassade Süden	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 28	Sockelausbildung	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 28	Ansicht Südfassade	Fotoarchiv Büro Kaufmann
S. 29	Schnitt Westfassade Montagefolge	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 30	Fassadenelemente Südfassade	Fotoarchiv Büro Kaufmann
S. 30	Elementstoß Westfassade	Fotoarchiv Büro Kaufmann
S.32	Grundriss Erdgeschoss Therm. Zonen	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 34	spez. Primärenergiebedarf	Diagramm Büro Hausladen
S. 35	spez. CO2 – Emissionen	Diagramm Büro Hausladen

S. 36	spez. CO2 – Emissionen	Diagramm Büro Hausladen
S. 38	Grundriss Erdgeschoss	Grafik Büro Hausladen
S. 39	Variantenuntersuchung Bodenplatte	Diagramm Büro Hausladen
S. 44	Schema Kombination Sprinkler / Heiz.	Grafik Büro Hausladen
S. 46	Schema Energieversorgung	Grafik Büro Hausladen
S. 48	Grafik Kunstlichtkonzept	Grafik Büro Ip5
S. 48	Foto Produktionshalle	Fotoarchiv Büro Kaufmann
S. 49	Leuchtdichtevertelung Halle	Grafik Büro Ip5
S. 51	Schema Energiedatenaufnahme	Grafik Büro Veit
S. 51	Diagramm Wärmebedarf	Grafik Büro Veit
S. 51	Diagramm Stromverbrauch	Grafik Büro Veit
S. 52	Diagramm Zählerstruktur	Grafik Büro Veit

Anlagen

- Pläne Wettbewerb A3
- Tischvorlage 3 Thermische Simulation Schreinerei
- Tischvorlage 5 Thermische Simulation Büro
- Tischvorlage 6 Thermische Simulation Montage
- Tischvorlage Sprinkler Heizung
- Tischvorlage 10 Thermische Simulation Schreinerei Ergänzung
- Tischvorlage Energieversorgung
- Tischvorlage 9 Lebenszykluskosten
- Tischvorlage 11 Anlage Gleichwertigkeitsnachweis
- Tischvorlage 11 Anlage WB Berechnungen
- Tischvorlage 11 Bericht Wärmebrücken Gleichwertigkeitsnachweis
- Tischvorlage 17 Thermische Simulation Anlieferung
- Tischvorlage 14 Sonnenschutzkonzept Endabzug
- Tischvorlage 15 SWS Endabzug
- Tischvorlage 16 EnEV Nachweis Endabzug

2. Zusammenfassung

Bei der Planung des neu zu errichtenden Werkstättengebäudes für die IWL Landsberg wurde besonderes Augenmerk auf die Entwicklung ressourcenschonender Bauteile und Produkte gelegt. Das heißt, innovative Bauteile, Baustoffe, Konstruktionen sowie technische Gebäudeausrüstungen unter den Kriterien der Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung.

Erreicht wurde dies durch einen interdisziplinären und gesamtheitlichen Planungsansatz. Schon im Vorfeld wurden sämtliche Fachplaner, aber auch zum Teil ausführende Firmen, in den Planungsprozess integriert, um diese hochgesteckten Ziele zu erreichen.

Das Gebäude ist so konzipiert, dass es in zwei Richtungen erweitert werden kann und zwar so, dass die Fassadenelemente möglichst zerstörungsfrei entfernt und wieder als Gebäudehülle verwendet werden können.

Als Baumaterial wurden zum Großteil nachwachsende Materialien verwendet.

Die Holzbauweise bietet eine gute Grundlage zur Erreichung der Ziele eines energieeffizienten Bauens. Diese Idee und die Konstruktion soll auch außen am Gebäude ablesbar sein – naturbelassenes Holz an der Fassade zeigt diese Grundhaltung in einem sonst eher durch nüchternen Funktionalismus geprägten architektonischen Umfeld.

Folgende Firmen waren an der Planung beteiligt:

Prof. DI Hermann Kaufmann, Architekten Hermann Kaufmann ZT GmbH
M.Eng.Dipl.-Ing.(FH) Florian Hausladen, Hausladen Ingenieurbüro GmbH
Herr Martin Veit, Veit Energie Consult GmbH
Herr Alexander Gumpp, Gumpp & Maier GmbH

Das Projekt wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert Az: 29965-25

3. Einleitung

Die ISAR-WÜRM-LECH IWL Werkstätten (kurz: IWL GmbH) ist eine gemeinnützige Einrichtung der beruflichen Rehabilitation für Menschen mit Behinderung. Sie beschäftigt derzeit 200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Landsberg am Lech, München und Machtlfing, sowie Garching und Unterschleißheim. Als mittelständisches Unternehmen erwirtschaftete die IWL GmbH im Jahr 2010 einen Jahresumsatz von 18,3 Mio. Euro. In Landsberg betreibt die IWL GmbH zwei Betriebe. Im Betrieb Landsberg am Lech, Rudolf-Diesel-Straße werden Menschen mit geistiger- und/oder Mehrfachbehinderung beschäftigt. Diesen Menschen bietet die IWL GmbH Teilhabe am Arbeitsleben und berufliche Qualifizierung. Die IWL GmbH plant, den Produktionsstandort in Landsberg am Lech auszubauen. Zudem soll mittelfristig der Betrieb, welcher für die Qualifizierung von psychisch erkrankten Menschen zuständig ist, auf dem eigenen Grundstück angesiedelt werden. Es ist eine schrittweise Erneuerung und damit einhergehend die Weiterentwicklung der Produktionsstätten auf dem erworbenen und bereits freigeräumten Nachbargrundstück umzusetzen. Die Entwicklung wird sich über mehrere Bauabschnitte erstrecken, somit musste bereits für die erste Planung eine Gesamtkonzeption entwickelt werden. Diese erfolgte in Form eines Wettbewerbes. Aus 5 eingereichten Vorschlägen wurde das Projekt des Büros Architekten Hermann Kaufmann ZT GmbH aus Schwarzach ausgewählt. Das Projekt soll sehr hohen ökologischen Ansprüchen entsprechen.

Bei der jetzt umgesetzten ersten Baustufe handelt es sich um das Werkstättengebäude, das die Tischlerei samt Zentrallager sowie den IWL-Laden inkl. Kommissionierschreinerei aufnimmt, im Obergeschoss sollen teilweise Büroflächen und Montageflächen entstehen. Dieser Bauteil soll modular wachsen können, was durch die vorliegende Planung aus dem Wettbewerb belegt ist.

Das gesamte Bauvorhaben soll möglichst mit nachwachsenden Rohstoffen ausgeführt werden, ebenso soll ein vorbildlicher Energiestandard umgesetzt werden. Das erfordert eine innovative Planung, für die Konzeption dieses flexiblen und mitwachsenden Holzbaus mit optimierter Energieeffizienz sind vernetzte Betrachtungsweisen sowie ein interdisziplinärer und ganzheitlicher Planungsprozess notwendig.

Folgende Zielsetzungen wurden dabei verfolgt:

- die Entwicklung eines optimierten und möglichst hohen Vorfertigungsgrades des Holzbaus
- die Entwicklung vorgefertigter flexibler Elemente für den mitwachsenden Holzbau
- Erarbeitung einer Musterlösung für eine energieverlustarme LKW-Anlieferung
- Optimierung des Projektes in energetischer Hinsicht und Festlegung eines wirtschaftlich darstellbaren Energiestandards
- spezielle thermische Simulation zur Erarbeitung der Kriterien für den optimierten Energiestandard
- Erstellung eines Energieausweises gemäß EnEV 2009
- Wärmebrückenoptimierung
- Untersuchung eines möglichen Synergieeffektes für die Gebäudeheizung über die Sprinkleranlage
- Entwicklung einer Masterplanung der Energieversorgung
- innovative Tageslicht- und anwesenheitsabhängige LED-Beleuchtung in Industrieanlagen
- Energiemonitoring mit visueller Darstellung der Energieströme innerhalb des Gebäudes

Verfolgt und erreicht wurden die Ziele durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit der einzelnen Fachplaner unter Einbeziehung auch von ausführenden Firmen. Komplexe Bauaufgaben dieser Art verlangen von allen an der Planung und Ausführung Beteiligten, eine Zusammenarbeit die über die Grenzen des eigenen Fachgebietes hinaus reicht. Die Verfolgung eines gemeinsamen Zieles, dass durch die Definition ein ressourcenschonendes im weitesten Sinn auch benutzer- und umweltfreundliches Gebäude zu erstellen ist - auch bedingt durch das Bewusstsein für einen speziellen Nutzerkreis tätig zu sein - hat dies hier aber einwandfrei ermöglicht.

4. Hauptteil

4.1 Optimierung der Vorfertigung

4.1.1 Aufgabenstellung

Der moderne Holzbau zeichnet sich aus durch weitgehende Vorfertigungsmöglichkeiten. Die Leichtigkeit des Baustoffes ermöglicht das Transportieren von großen Elementen von der Werkhalle zur Baustelle, damit findet der Bauprozess zum größten Teil im witterungsgeschützten Bereich statt. Die Montage erfolgt sehr rasch was die Schäden durch Witterungseinflüsse minimiert. Das führt zu einer Qualitätssteigerung, auch werden dadurch unnötige Energie- und Ressourcenaufwendungen wie Reparaturen, Auswechslungen oder Baustellentrocknung weitgehend vermieden, was zu einer nicht zu vernachlässigenden Ökologisierung des Bauwesens beiträgt.

Das Maß der Vorfertigung hängt sehr stark von der Planung ab. Es muss schon im Entwurf darauf Rücksicht genommen werden, besonders aber die Detailentwicklung im Hinblick auf Vorfertigungseignung ist entscheidend. Das gilt besonders für die Elementstöße und Elementverbindungen. Weil verschiedene Professionisten in der Vorfertigung zusammenarbeiten müssen, stellt sich in der Praxis immer wieder das Problem der Haftung. All das verlangt eine ganzheitliche Planung zusammen mit allen Ingenieuren unter Beiziehung von erfahrenen Ausführenden.

4.1.2 Zielsetzung

Im Rahmen eines interdisziplinären Planungsprozesses soll für den Neubau der Werkstätte für behinderte Menschen der IWL in Landsberg eine mustergültige Lösung entwickelt werden, bei der die Vorfertigung optimiert ist. Folgende Ziele sollten damit erreicht werden:

- Möglichst weitgehend vorgefertigte Gebäudehülle d.h. Fassadenelemente mit fertig eingebauten Fenstern und weitgehend fertiger Außenhaut.
- Vorgefertigte Dachelemente sowohl für die Sheddachbereiche der Werkstätten als auch für die Flachdachbereiche der Montageräume mit bereits werkseitig vorgesehener Akustikmaßnahmen sowie Befestigungselementen für Haustechnische Anlagen wie Deckenheizkörper oder Beleuchtungselemente.
- Integration möglichst aller notwendigen Haustechnikelemente in die präfabrizierten Bauteile.

- Entwicklung von montagefreundlichen, dichten und kältebrückenfreien Elementstößen

4.1.3 Ergebnis

Der übliche Ablauf bei der Planung eines Gebäudes im Hochbau sieht in der Regel nicht vor, den ausführenden Firmen Vorgaben zu machen, wie sie das gewünschte (auf Papier gebrachte) Ziel der Planer, erreichen. Selbst im Holzbau, der durch seine Komplexität sicher mehr Überlegungen in der Planungsphase benötigt, wird im Normalfall die Art und Weise wie die Bauteile von den Professionisten produziert und transportiert werden, nicht mit überlegt bzw. der Firma in der Werkplanung überlassen. Bei der Planung für das Gebäude der IWL Landsberg wurde versucht ein anderer Weg einzuschlagen. Der genau Aufbau und die Größe der Elemente wurden nicht nur mit geplant, sondern auch in den Plänen festgehalten und den Zimmereibetrieben als Vorgabe für ihre Fertigung schon in der Angebotsphase übermittelt. Um mit diesen Vorgaben auch sicher richtig zu liegen, wurde schon zu Beginn der Ausführungsplanung ein Fachbetrieb ausgewählt, der dem Planungsteam beratend zur Seite stand. Sämtliche Elementgrößen wurden im Vorfeld definiert und, da im Holzbau die Verbindungen dieser Elemente eine gewisse Herausforderung darstellen, auch diese Anschluss – und Verbindungsdetails definiert.

Die Firma Gump und Maier wurde von uns beauftragt, in Zusammenarbeit mit uns die Elementgrößen zu definieren. Dieser Aufwand wurde dem Zimmererbetrieb mit 3.000,- € vergütet. Bei mehreren Besprechungen wurde neben den Elementeinteilungen der Fassaden auch die Ausbildung der Verbindungsstöße bzw. der Anschlüsse an die anderen Bauteile definiert.

Bei der Fixierung der Elementgrößen wurde darauf geachtet, dass eine Breite von 3,0 Metern nicht überschritten wurde – damit ist es möglich, ohne aufwendigen und teuren Sondertransport die Bauteile vom Werk auf die Baustelle zu transportieren. Die Länge der Elemente war durch die maximale Fassadenhöhe von ca. 7,5 Meter unkritisch in Bezug auf den Transport. Die Elemente richten sich aber auch nach den am Markt verfügbaren Plattendimensionen. Bei unserem Projekt bestimmte die OSB-Platte auf der Innenseite mit 250/500 cm die Größe der Teilung maßgeblich mit.

Auf den folgenden Seiten ist an einigen Ansichten und Details exemplarisch dokumentiert, wie die Gebäudehülle elementiert, konstruiert und montiert wurde.

4.1.3.1 Nordfassade

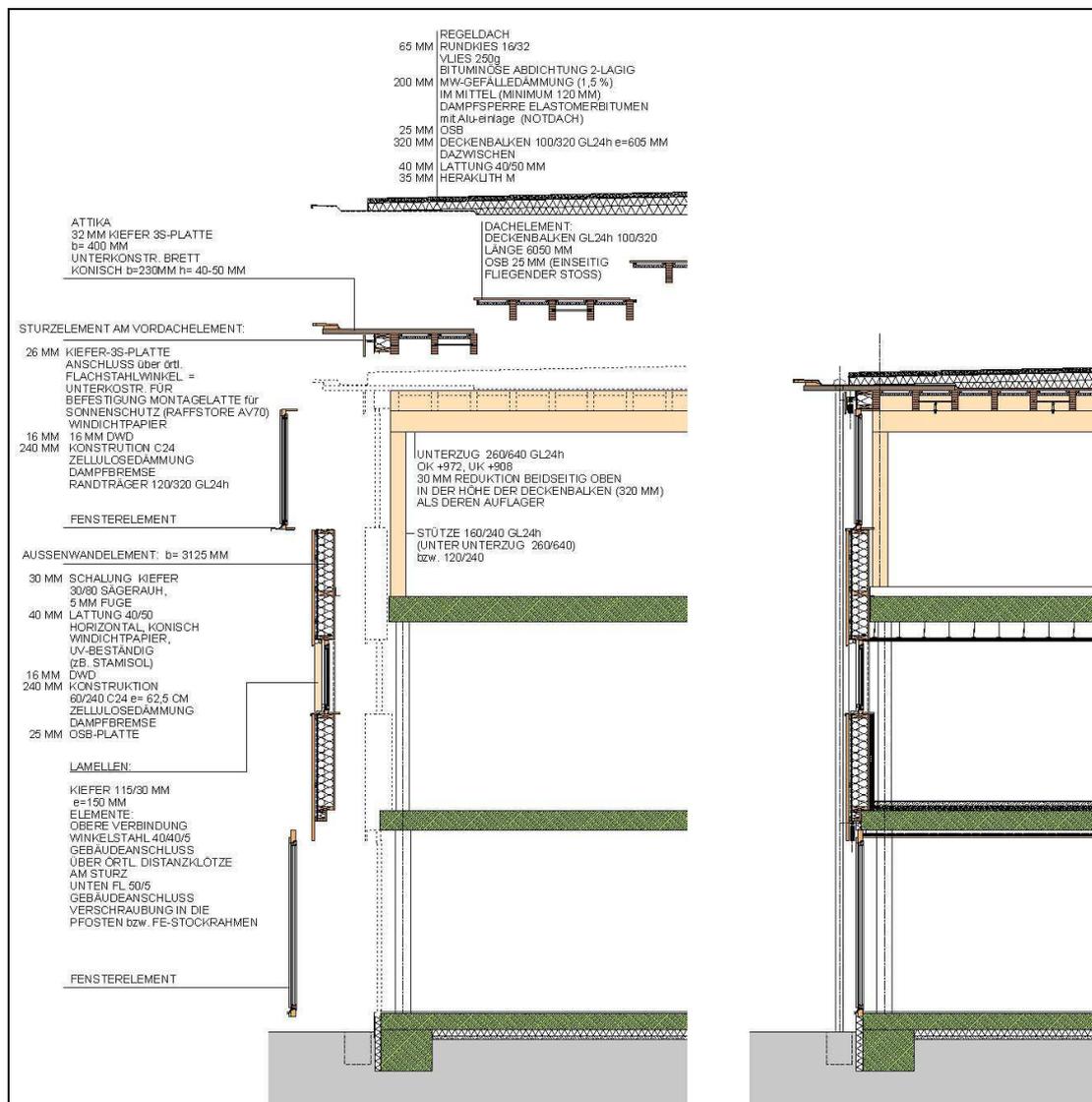
Ziel der Elementierung ist es möglichst viele Arbeitsschritte bereits im Werk zu erledigen. Je größer die Elemente gewählt werden, umso weniger Arbeit ist auch für das Versetzen der Elemente vor Ort auf der Baustelle nötig und es gibt weniger Fügepunkte in Form der Verbindungstöße. Die Größe der Elemente richtet sich neben der Möglichkeit sie zu transportieren auch nach den Gegebenheiten in der Produktionshalle.



Ansicht Nordfassade

Die Elementgröße richtet sich natürlich auch nach der Gestaltung der Fassade. Bei der Nordfassade wurde darauf verzichtet, die Fenster gleich im Werk in die Elemente zu integrieren. Auf Grund der Größe der Verglasung wäre der Aufwand dafür in keinem Verhältnis zum erzielten Zeitgewinn gestanden. Geplant war aber, die Fenster im Zwischengeschoss gleich mit der Fassade zu liefern. Diese Idee musste aber wieder verworfen werden, da die Fenster durch ihre extrem langen Lieferzeiten den gewünscht zügigen Baufortschritt behindert hätten.

Der Schnitt durch die Nordfassade verdeutlicht die Montagefolge. Zuerst wird das Dachtragwerk gestellt. Danach kommen die Dachelement und die Fassade wird montiert. Zum Schluss erfolgt das Versetzen der Fenster im Ober- und Erdgeschoss.

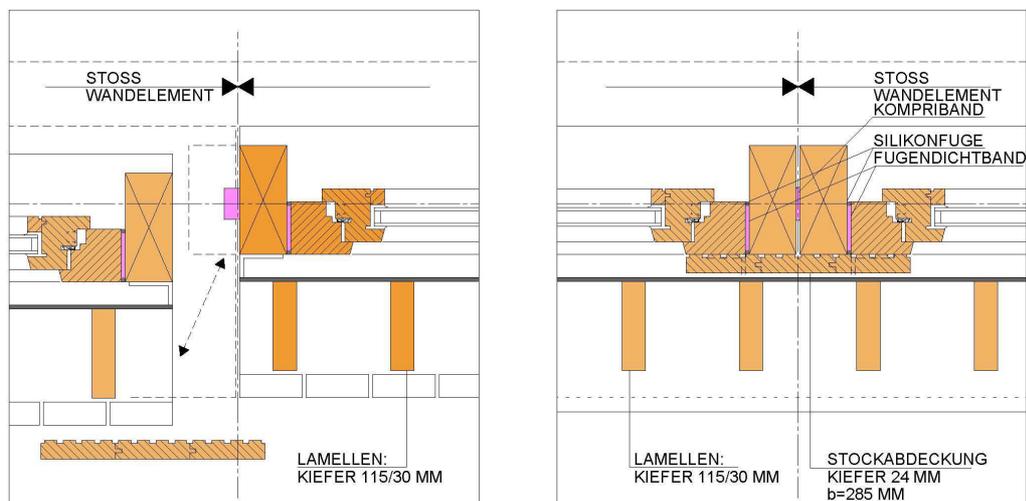


Schnitt Nordfassade Montagefolge

4.1.3.2 Ostfassade

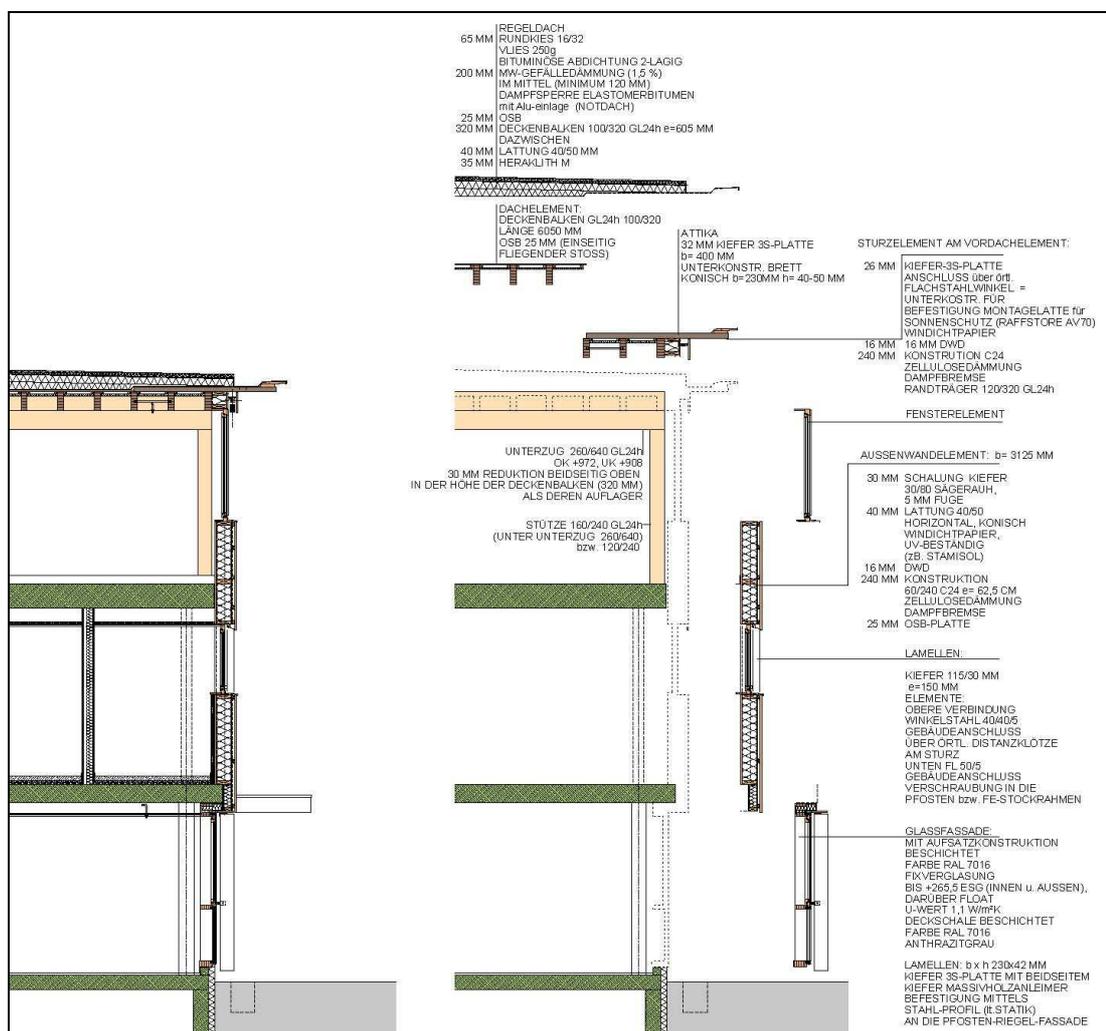
Die Montage der Ostfassade erfolgte analog der Nordfassade. Auch hier wurde die Verglasung erst nach dem Versetzen der Fassade vorgenommen. Für das Zwischengeschoss wurde ein Detail entwickelt, dass das luftdichte Koppeln der Fensterelemente am Elementstoß zulässt. Herausforderung dabei ist der luft- und dampfdichte Anschluss einerseits, aber auch die Möglichkeit die Elemente vor Ort noch etwas justieren zu können. Des Weiteren muss natürlich auch das Schwindverhalten von Holz über die Lebensdauer des Gebäudes berücksichtigt werden. Gelöst wurde das Problem indem, immer am Elementstoß ein Pfosten angeordnet wurde, welche dann mittels Kompriband luft- und dampfdicht gekoppelt wurden.

An diesem Detailpunkt ist zu sehen, wie wichtig es ist, die Elementierung bereits in der Ausführungsphase zu überlegen. Die für die Verbindung der Elemente notwendigen Pfosten müssen gestalterisch und auch technisch in die Planung integriert werden und bei der Ausschreibung berücksichtigt werden.



Kopplung Fensterelemente

Bei den Pfosten-Riegel-Fassaden im Erdgeschoss wurde darauf verzichtet, die Aufsatzkonstruktion bereits im Werk zu montieren. Die Gefahr einer Beschädigung ist dabei einfach zu groß. Erst vor Ort wurden die Holzpfosten mit den entsprechenden Aufsätzen versehen und zum Schluss das Glas eingesetzt.



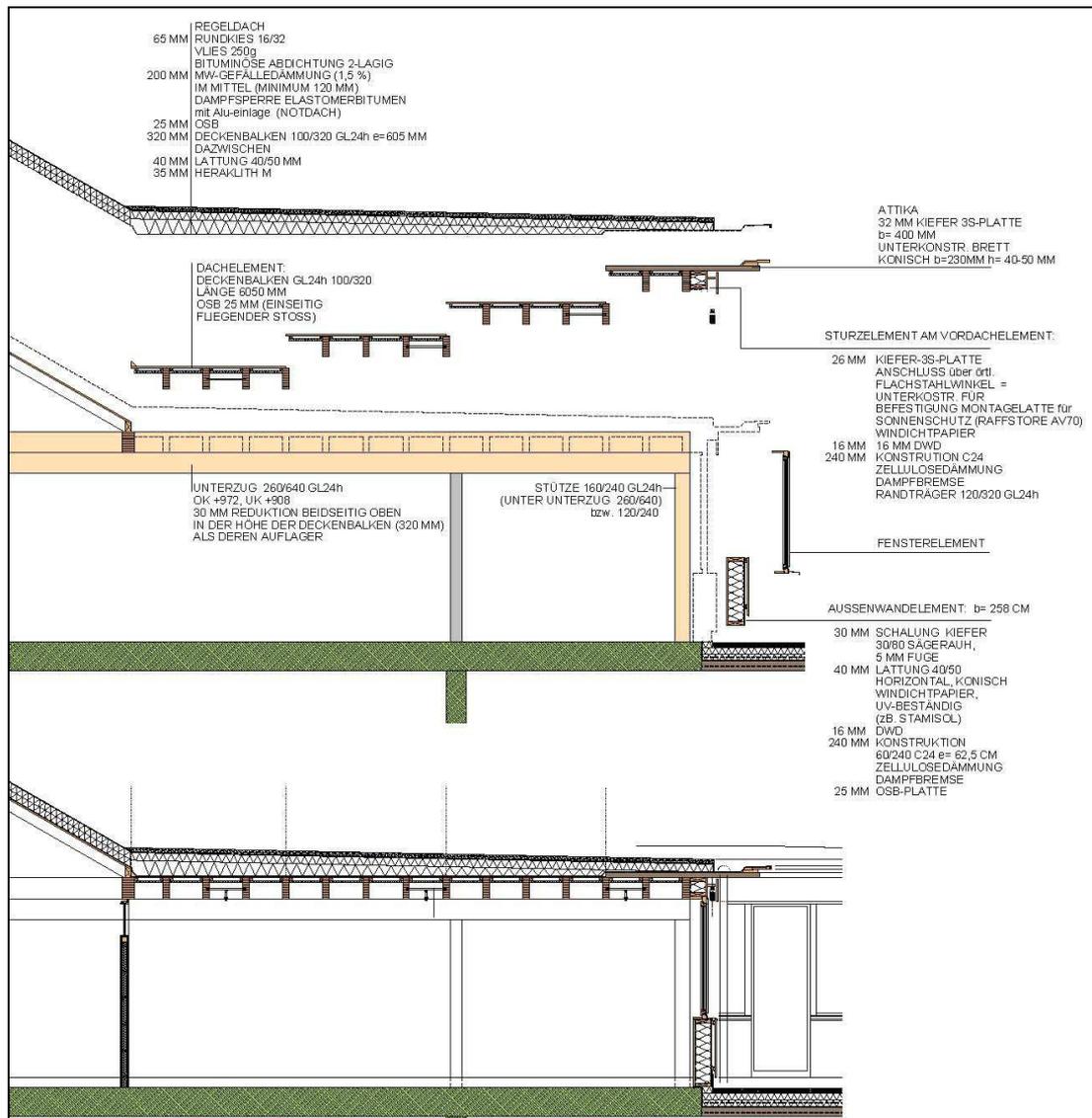
Schnitt Ostfassade Montagefolge

4.1.3.3 Dach Obergeschoss

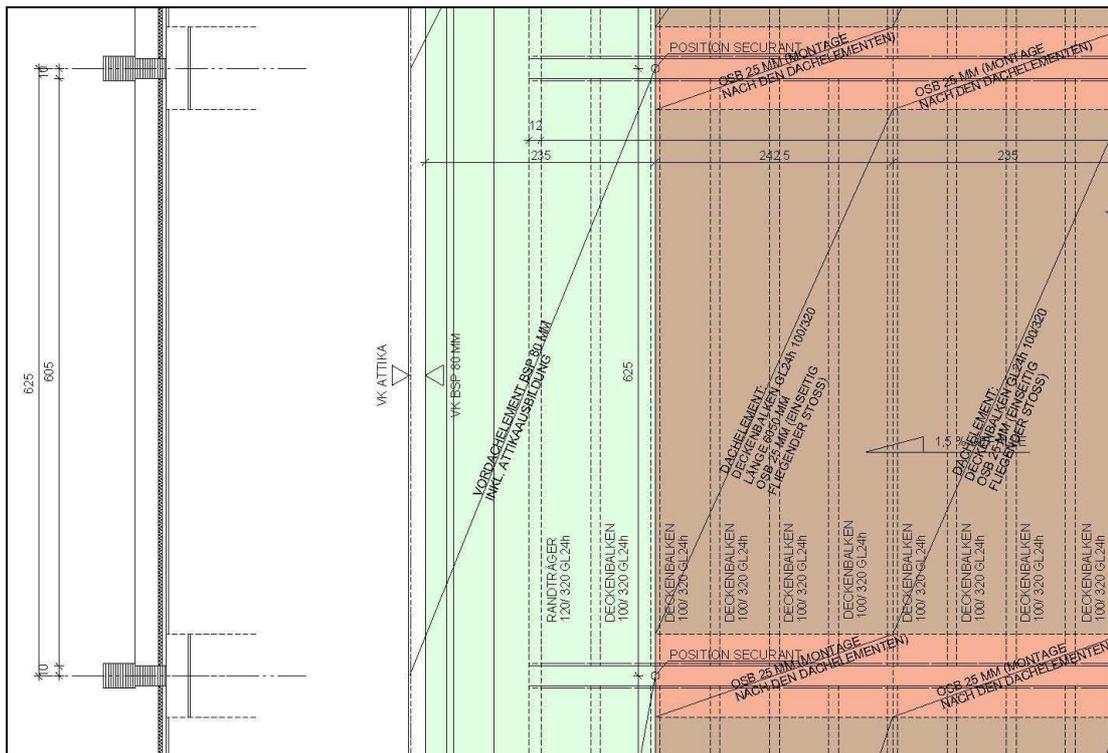
Das Dach über dem Obergeschoss besteht aus Holzstützen an der Fassade und aus darüber angeordneten Holzträgern die die gesamte Gebäudebreite überspannen. Auf diese Holzträger aufgelegt wurden fertig montierte Dachelemente bestehend aus Holzrippen mittels OSB-Platten zu einem Element verbunden und dazwischen - auch bereits im Werk aufgeschraubt - die Untersicht aus gestrichenen Holzwolleleichtbauplatten. Die Haltekonstruktion für die Sprinkleranlage wurde auch bereits im Werk zwischen die Holzrippen eingelegt. Auch diese Elementierung erfolgte bereits in der Planungsphase und ein genauer Elementplan wurde erstellt. Leider wurde darauf verzichtet die Notabdichtung bereits im Werk aufzubringen. Dadurch kam es, bedingt durch die schlechte Witterung in der Zeit des Aufrichtens, zu erheblichen Wasserschäden an der Holzkonstruktion und den Holzwolleleichtbauplatten. Der Schwarzdecker konnte mit den Abdichtungsarbeiten nicht Schritt halten, und wenn die Holzkonstruktion durchfeuchtet ist, kann darauf auch nicht mehr ohne weiteres die Dachabdichtung aufgebracht werden. Die Notabdichtung muss unbedingt im Werk aufgebracht werden, damit auf der Baustelle nur noch die Stoßverklebung erfolgen muss!



Wasserschäden an der Dachkonstruktion OG 1



Schnitt Dachkonstruktion Montagefolge



Dachdraufsicht mit der Elementteilung



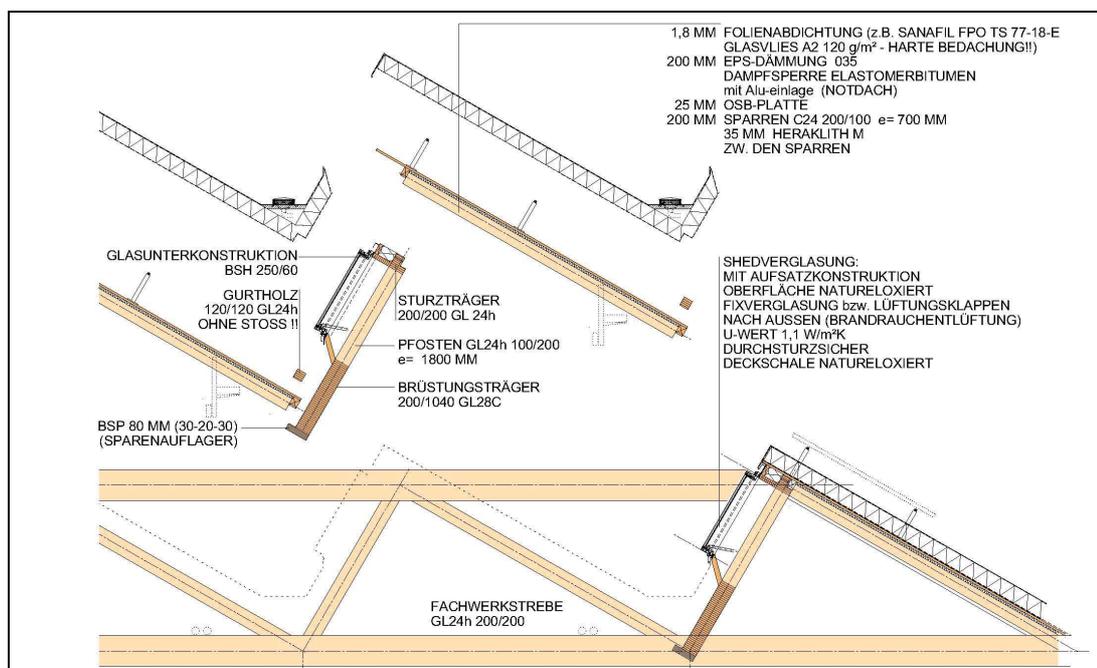
Dach Obergeschoss

4.1.3.4 Dach Produktionshalle

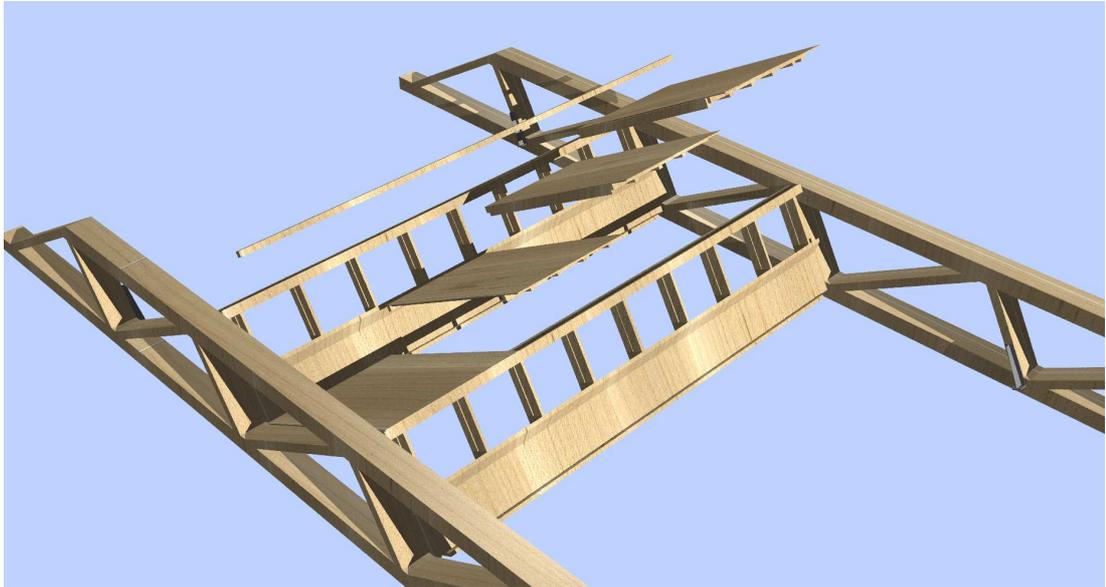
Beim Dach der Produktionshalle waren schon im Entwurf die sehr großen Spannweiten eine Herausforderung. Damit die Nutzung der Halle so wenig wie möglich eingeschränkt wird wollte der Bauherr eine möglichst stützenfreie Halle. Die Spannweite für die Hauptträger in Form des Holzfachwerkes beträgt 25 Meter. Dazwischen überbrücken Brettschichtholzträger als Sekundärkonstruktion 12,5 Meter. Diese Brettschichtholzträger folgen den Diagonalen des Fachwerkes und sind somit 60° aus der Lotrechten geneigt. Über den Trägern ist ein Fensterband eingesetzt, damit die Halle gleichmäßig auch in der Tiefe durch Licht aus Norden versorgt wird. Durch die Spannweiten ergaben sich Trägerbreiten beim Fachwerk von 60 Zentimeter. Dieser Umstand sollte in der Ausführungsphase die Montage des Daches wesentlich erleichtern.

In der Planung wurde folgender Bauablauf festgelegt:

Zuerst werden die Holzfachwerkträger auf die Betonstützen gehoben. Danach folgen die Sekundärträger – sie werden zwischen zwei Fachwerke auf ein Knotenblech aufgeschoben. Die Unterkonstruktion für die Shedverglasung ist auch hier bereits in das Element integriert – Aufsatzelement und Verglasung kommen allerdings erst später. Danach kommt das Dachelement. Es wird zwischen die Sekundärträger eingelegt. Das Dachelement kommt nicht über die gesamte Breite von 12,5 Meter, sondern ist in mehrere Teile gegliedert. Diese Elemente werden auch gleich im Werk mit der Holzwoleleichtbauplatte als Untersicht belegt. Die Dachabdichtung und Dämmung erfolgen dann im Nachgang



Schnitt Dach Produktionshalle Montagefolge



Visualisierung Dach Halle Montagefolge



Blick in die Halle mit den Fachwerkträgern und zum Teil schon versetzten Dachelementen

Der Vorschlag der ausführenden Firma in der Ausführungsphase ging aber noch einen Schritt weiter. Anstatt die Fachwerkträger auf die Stützen zu heben und dann die Sekundärträger dazwischen zu versetzen, wurde die Idee verfolgt, immer ein Feld gleich am Boden fertig zu montieren. Damit mussten die Fachwerkträger auf der Stütze nicht gegen kippen gesichert werden und natürlich ist die Montage am Boden leichter zu bewerkstelligen als in 6 Meter Höhe.



Einheben eines Feldes des Hallendaches

Diese Variante wurde ausgeführt und funktionierte auch einwandfrei. Durch die Trägerbreite von 60 Zentimeter konnten die Fachwerke geteilt werden, um erst wieder auf der Stütze nach dem Einheben verbunden zu werden. Damit wurde immer ein ganzes Feld von 25 x 12,5 Meter am Boden vormontiert, mit zwei Autokränen auf die Stützen gehoben und so konnte sehr rasch das Dach über der Halle, mit immerhin 2100 m² Grundfläche geschlossen werden.

4.2 Entwicklung vorgefertigter flexibler Elemente für den mitwachsenden Holzbau

4.2.1 Aufgabenstellung

Das Projekt zeichnet sich durch einen ganzheitlichen Planungsansatz aus, der bereits mehrere mögliche Baustufen in das Gesamtkonzept mit einbezieht. Bereits schon bei der ersten Baustufe wird starkes Augenmerk auf die Eignung der einzelnen Elemente für zu erwartende Veränderungen gelegt. Es ist zu voraussagen, dass das Wachstum in absehbaren Zeitspannen erfolgen wird und somit ist es sinnvoll, die Bauteile, die flexibel ausgeführt werden müssen, so zu konzipieren, dass sie möglichst zerstörungsfrei in ihre neuen Lagen versetzt werden können. Das gilt sowohl für die Innenwände als auch für Außenwände, die bei einer Erweiterung der Werkstätten wieder verwendet werden sollten.

4.2.2 Zielsetzung

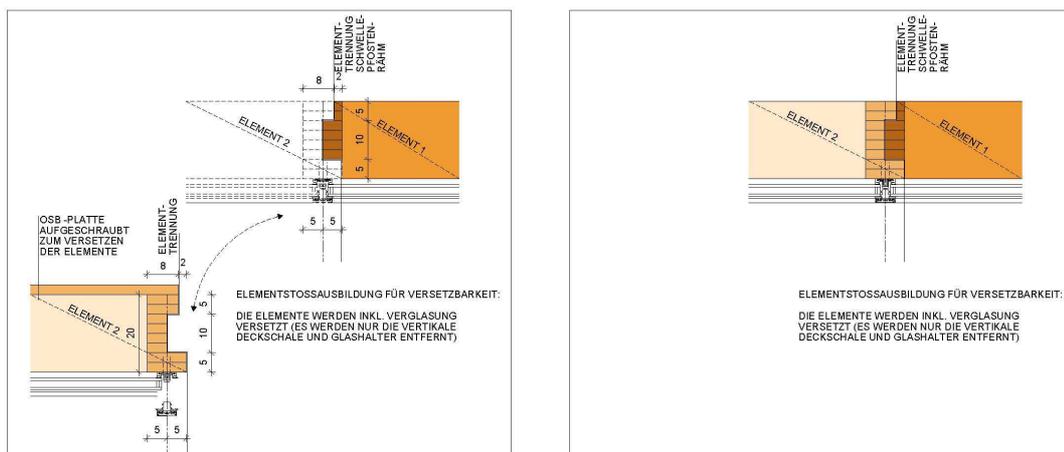
Entwicklung von flexiblen, modularen Außenwand- als auch Innenwandelemente für den Gewerbebau. Dazu gehört die Entwicklung und Erarbeitung von prototypischen Detaillösungen, die eine zerstörungsfreie Demontage von Außen- und Innenwandelementen für einen Gewerbebau ermöglichen. Ebenso müssen die einzelnen Elemente so konzipiert werden, dass sie auch beweglich bleiben, das heißt mit vertretbarem Aufwand in ihre neue Lage versetzt werden können. Dabei ist nicht beabsichtigt, eine Systemwand zu entwickeln, wie sie im Bürobau bereits als flexible Bürotrennwand angewendet wird, denn dazu sind die Anforderungen und Funktionalitäten im Gewerbebau zu unterschiedlich. Besonderes Augenmerk liegt auf prototypischen Detaillösungen, um es Handwerksbetrieben zu ermöglichen, maßgeschneiderte Lösungen umzusetzen.

4.2.3 Ergebnis

Der Holzbau eignet sich durch die Möglichkeit einer umfassenden Vorfabrikation im Werk und einem raschen Versetzten auf der Baustelle auch später hervorragend dafür, die Elemente wieder zu demontieren. Nach der Demontage können sie, bei einer entsprechenden Wahl der Verbindungsmittel, ohne größere Beeinträchtigung wieder an neuer Stelle eingebaut werden. So lag die Herausforderung für die Gestaltung von flexibel versetzbaren Elementen weniger beim Holzbau, als mehr bei den Anschlüssen an den Massivbau. Auch besteht ein Großteil der Fassade an der Südseite aus Verglasungselementen, wo der Aufwand bei der Demontage doch beträchtlich wäre. Gemeinsam mit ausführenden Firmen wurde eine Lösung gesucht, um diesen Aufwand so gering wie möglich zu halten.

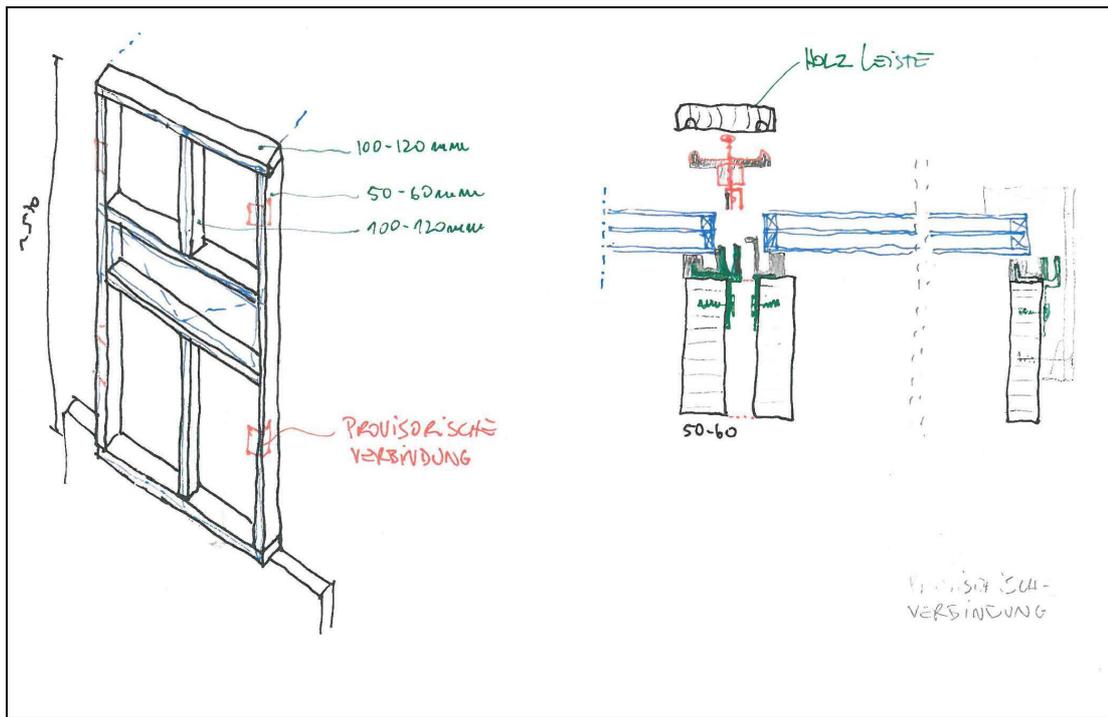
4.2.3.1 Südfassade

Der Großteil der Südfassade besteht eigentlich aus einer Pfosten-Riegel-Fassade. Beim Versetzen der Fassade könnte das Glas entfernt und die Holzkonstruktion demontiert und versetzt werden. Dabei ist aber der Arbeitsaufwand sehr groß und das Problem der Zwischenlagerung für die entfernten Glasscheiben stellt sich. Es wurde versucht ein Weg zu finden, bei dem die Glasscheiben mit der Konstruktion entfernt werden können. Dabei stellt sich das Problem, wie sonst im Elementbau auch, wie die Elementstöße ausgebildet werden. Hier gab es mehrere Entwicklungsschritte und Ideen. Der Weg führte über zwei gekoppelte Pfosten mit jeweils einem Aufsatzprofil zu der Idee den Pfosten so zu teilen, dass das Aufsatzelement am Pfosten verbleiben kann. Gehalten wird dann die Verglasung beim Versetzen nur durch die horizontalen Klemmleisten.

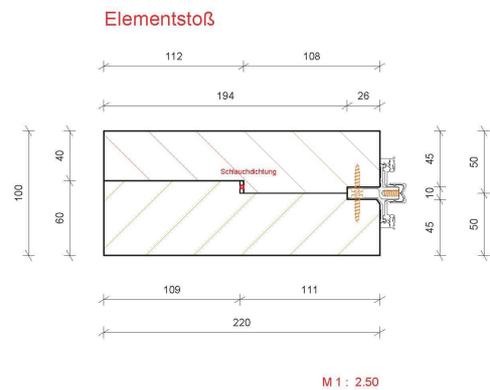


Detail Pfosten bei der Verglasung Südfassade

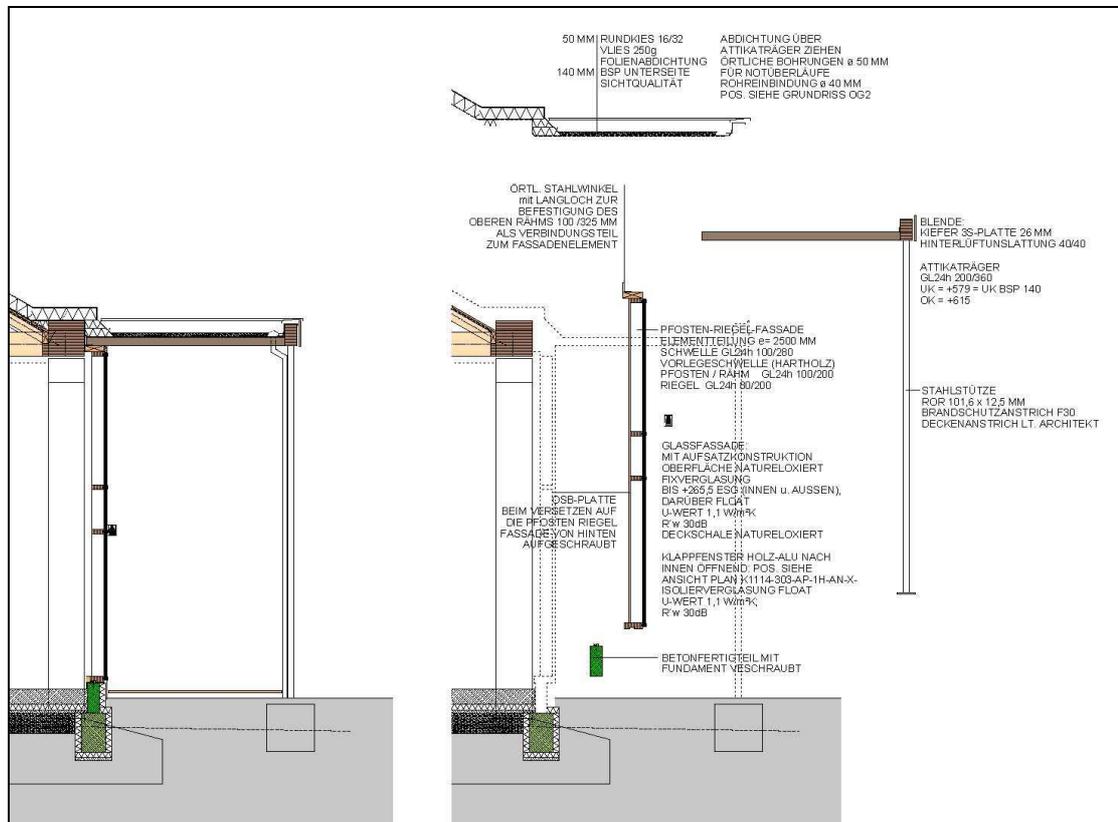
Die Idee wurde dann aber noch weiterentwickelt. Es gibt am Markt von der Firma Raico ein Aufsatzprofil, das in sich schon geteilt ist. Damit kann der Querschnitt des Pfostens etwas weniger aufwendig gestaltet werden. Ein geteilter Pfosten auf den das geteilte Aufsatzelement montiert wird bietet die optimale Lösung für die Versetzbarkeit der Elemente. Für diese Variante hat man sich dann auch in der Ausführung entschieden.



Skizze Pfosten-Riegel-Fassade Süden

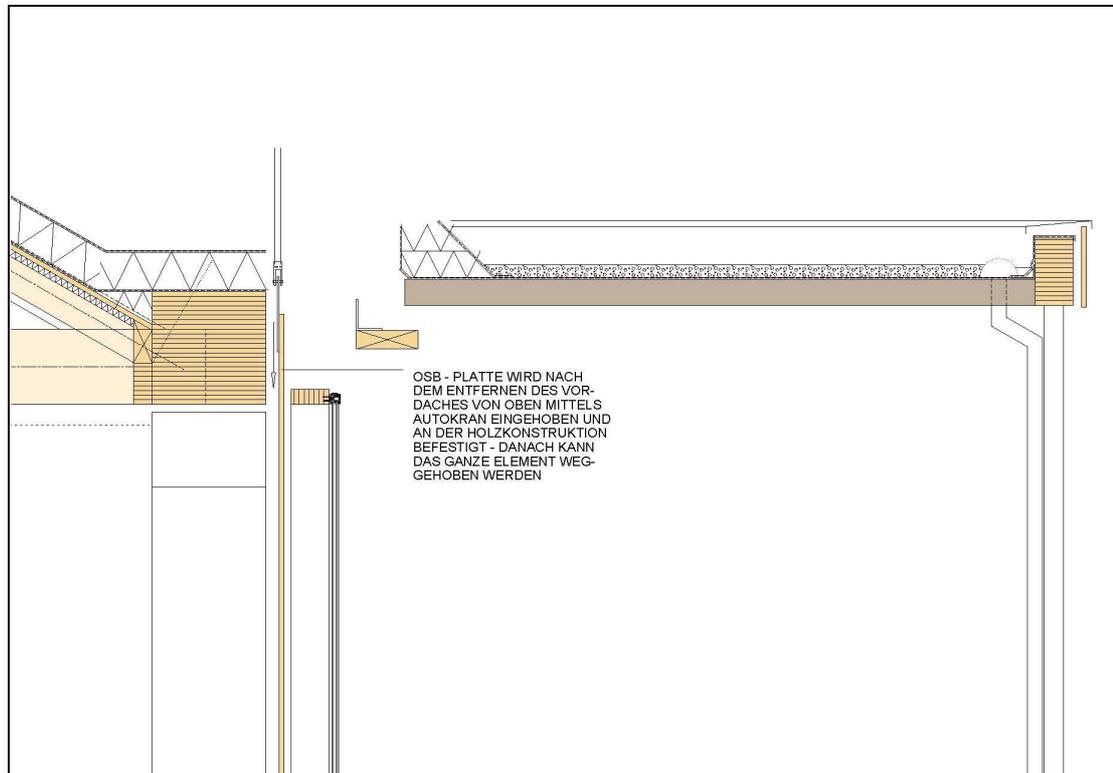


Detail Werkplanung Fa. Gump & Maier



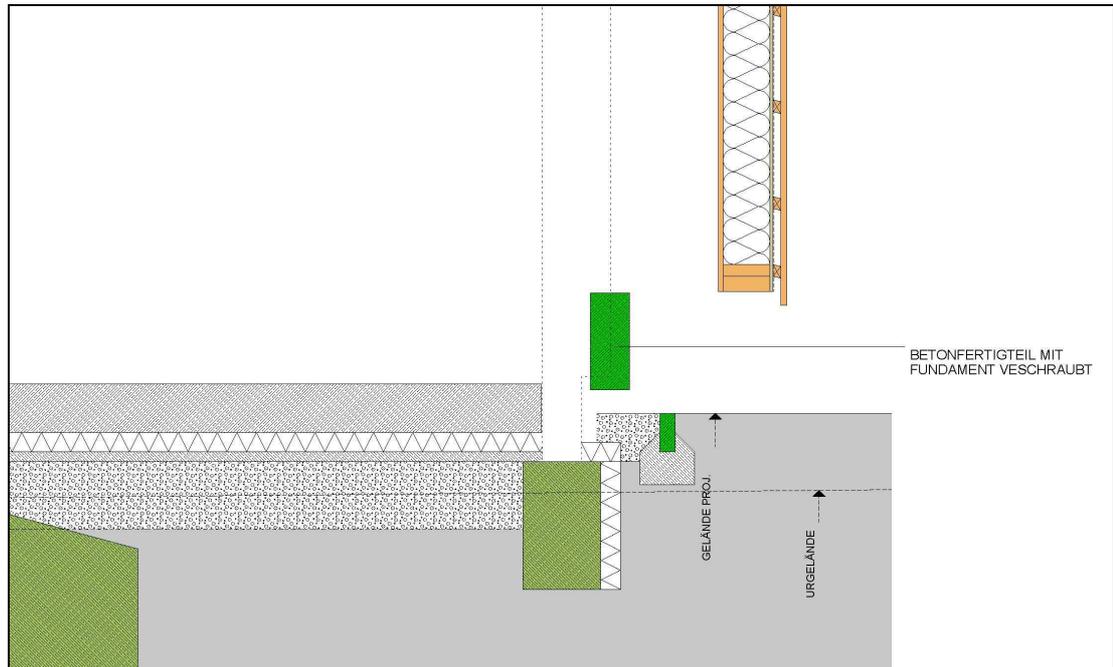
Schnitt Pfosten-Riegel-Fassade Süden Montageschritte

Damit ist es möglich das Element mit der Verglasung zu versetzen. Das Vordach wird entfernt. Der obere Anschluss ist so gestaltet, dass danach von oben über die gesamte Elementbreite eine Holzplatte nach unten eingeschoben werden kann. An dieser Holzplatte wird die Konstruktion von innen befestigt und mit dem Glas nach oben weggehoben. Nach der Zwischenlagerung können die Elemente wieder analog dem Entfernen in die Gebäudehülle integriert werden.



Oberer Anschluss Pfosten-Riegel-Fassade Süden

Die Holzelemente der Fassade und auch die Pfosten-Riegel-Fassade, stehen nicht direkt auf der Bodenplatte auf. Damit sie Spritzwasser geschützt sind und auch um der aufsteigenden Feuchtigkeit keine Möglichkeit zum Eindringen zu bieten, sind sie auf einer ca. 20 Zentimeter hohen Betonaufkantung aufgesetzt. Bei einer Erweiterung der Halle ist natürlich diese Aufkantung im Weg. Es wurde beschlossen, diesen Betonriegel nicht wie üblich aus Ortbeton herzustellen, sondern stattdessen ein Betonfertigteil zu verwenden. Dieses Fertigteil ist mittels Schrauben mit dem darunter liegenden Ortbetonstreifenfundament verbunden. So kann es leicht entfernt werden. Die neue Bodenplatte wird dann direkt an die bestehende Platte angeschlossen und die Fertigteile können wiederverwendet werden.



Sockelausbildung

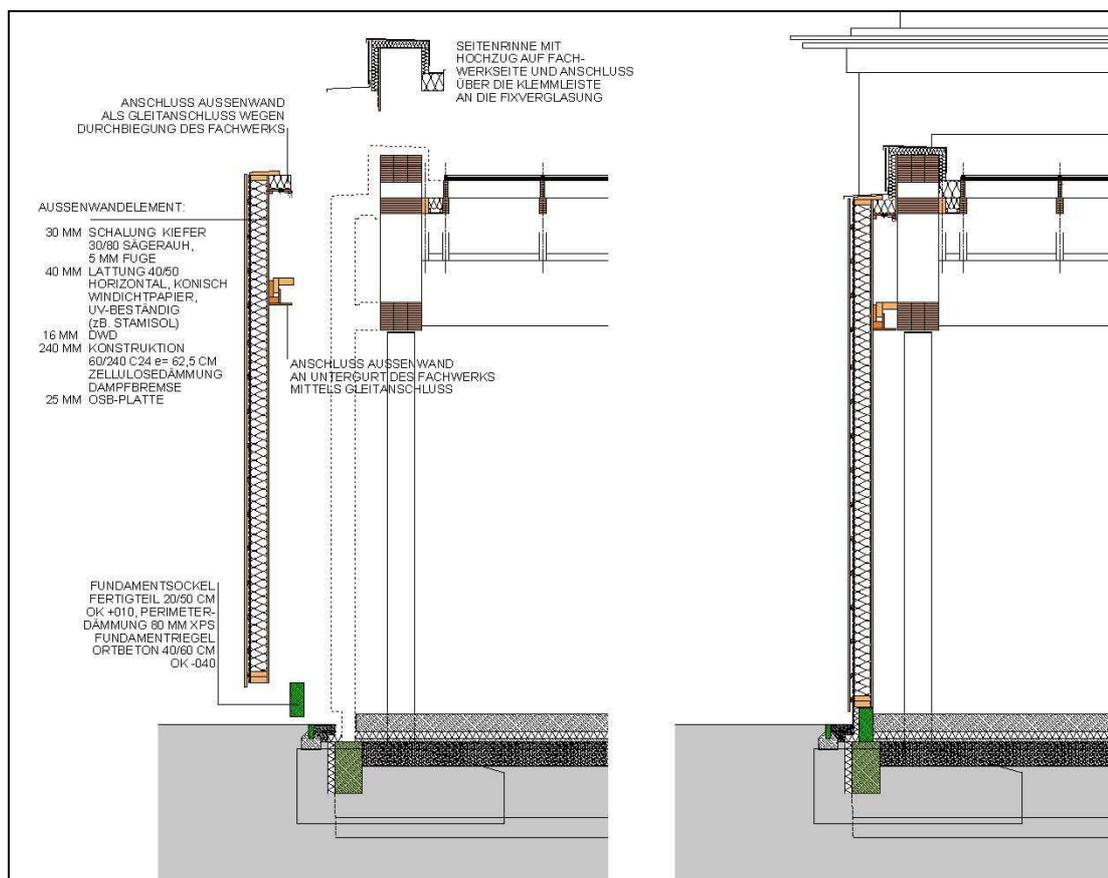


Ansicht Südfassade

4.2.3.2 Westfassade

Auch die Westfassade ist flexibel gestaltet, da das Gebäude auch in diese Richtung eine Erweiterung ermöglichen soll. Hier stellen sich die gleichen Probleme wie an der Südseite. Der untere Anschluss wurde gleich gelöst – ein verschraubtes Betonfertigteil übernimmt die Rolle der Sockelausbildung und kann bei Bedarf leicht entfernt werden.

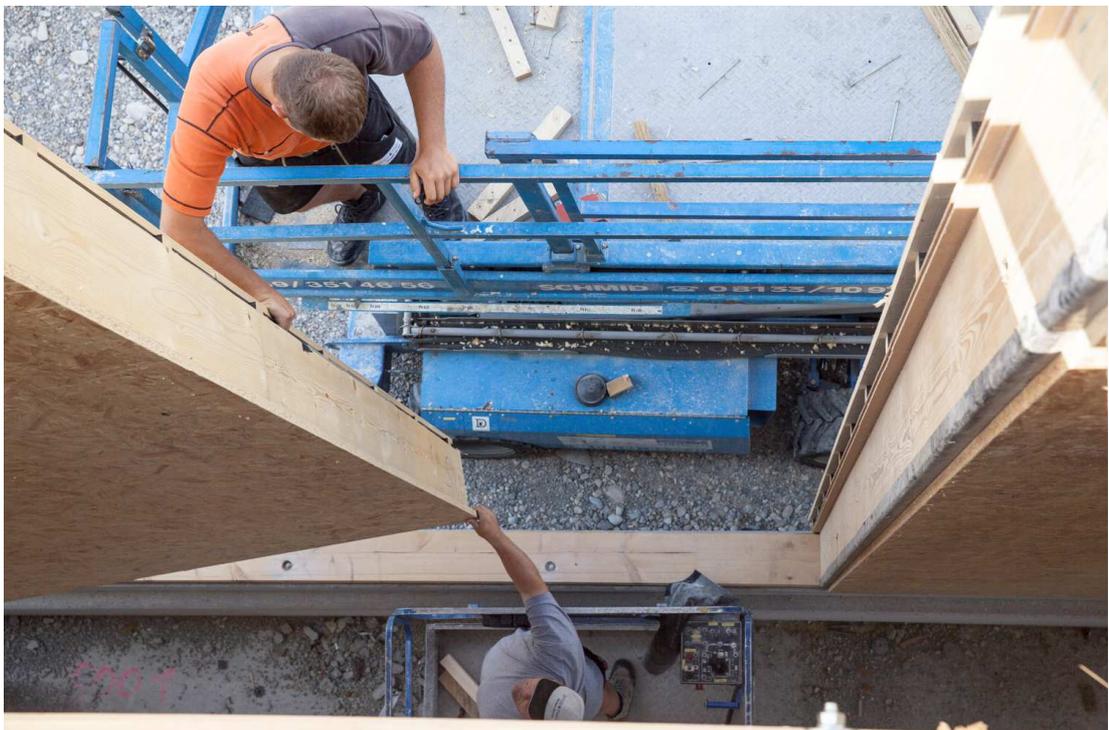
Da die Wand aber versetzbar sein muss kann sie keine Lasten aus dem Träger übernehmen. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass der Fachwerkträger an der Fassade sehr große Verformungen aufweist. Diese Verformungen können nicht in die Wandelemente eingeleitet werden und die Wandelemente können die Verformungen nicht aufnehmen. Die Einzige Möglichkeit um keine Bauschäden zu produzieren ist ein Entkoppeln von Tragwerk und Wandelement. Die Wand wurde mit einem deutlichen Abstand zum Träger errichtet und über einen Gleitanschluss horizontal an das Tragwerk angebunden.



Schnitt Westfassade Montagefolge



Fassadenelemente Südfassade



Elementstoß Westfassade

4.3 Musterlösung für eine energieverlustarme LKW-Anlieferung

4.3.1 Aufgabenstellung

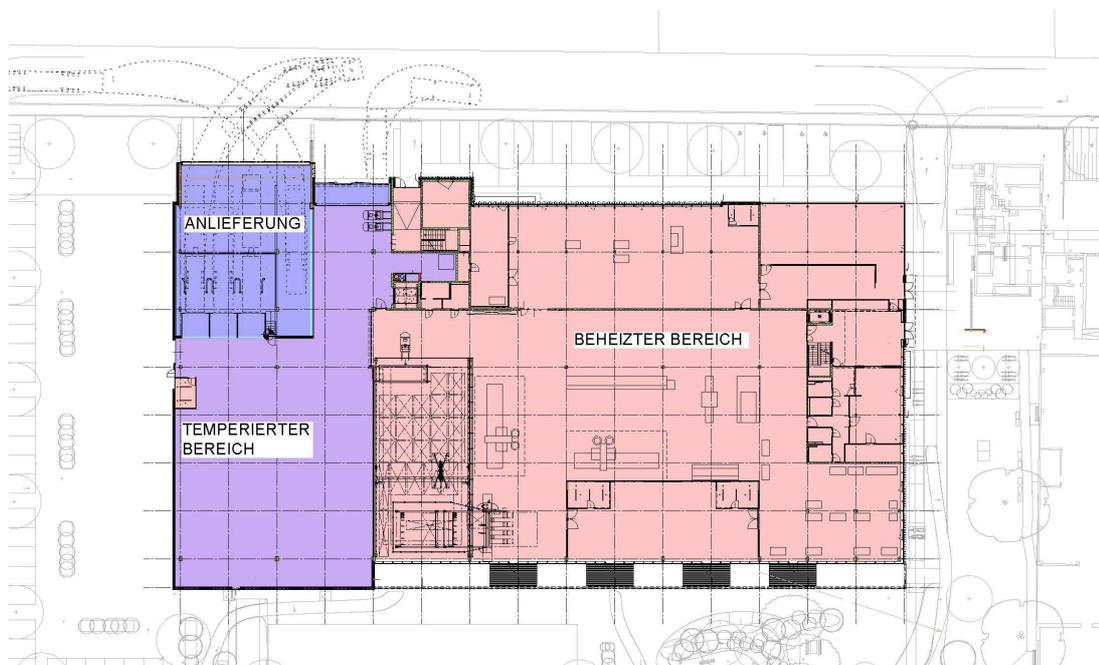
Durch die Forderung nach Einsparung von Heizenergie auch bei Gewerbebauten wird sukzessive die Gebäudehülle mit höheren U-Werten ausgeführt. Eine außerordentliche Schwachstelle stellt der Anlieferungsbereich dar. Dort sind große Tore notwendig, die weder in guter Dämmqualität erhältlich sind, noch die notwendige Luftdichtigkeit aufweisen können. Auch ist unklar, welche Energieverluste in der Anlieferungsphase auftreten, wie relevant sie im Zusammenhang mit dem Gesamtenergieverbrauch sind. Am Beispiel Werkstätte für behinderte Menschen IWL soll eine mustergültige Lösung dieses Problems bzw. eine vernünftige Vorgangsweise erarbeitet werden, die eine Quantifizierung des Problems und dazu die Entwicklung maßgeschneiderte Lösungen ermöglicht.

4.3.2 Ergebnis

Durch vom Nutzer vorgegebene Funktionsbezüge ist klar, dass die Anlieferung in Zusammenhang mit dem Zentrallager steht. Im Entwurf wurde diese Situation über einen überdachten Anlieferungshof der im Baukörper integriert ist, gelöst. Da ein Großteil der angelieferten Ware sehr großformatige Platten sind, die nur seitlich entladen werden können, wurde eine spezielle Lösung für diesen Vorgang gesucht. Bei vielen bekannten Lösungen für das seitliche Entladen fährt das Fahrzeug seitlich an das Gebäude und wird von dort über eine Toröffnung entladen. Thermisch ist das natürlich nicht ideal. Durch die von uns vorgeschlagene Lösung, dies in einen überdachten Hof zu verlegen, der dann auch noch mit einem Tor gegen die Außenluft abtrennbar ist, sollten diese Bedingungen deutlich verbessert werden. In Abstimmung mit dem Büro Hausladen wurden die thermische Hülle und die Beheizung der Räume so ausgeführt, dass es zu einer Staffelung kommt. Der Außenbereich geht über in den nicht beheizten abschließbaren Anlieferungshof. Von dort kommt man über Entladeschleusen und Tore in das nur temperierte Zentrallager. Das Zentrallager wiederum ist über Tore und Türen, die thermisch den Anforderungen von Außenbauteilen entsprechen vom restlichen beheizten Gebäudeteil getrennt. Sämtliche Tore sind wärmegeämmt und wurden wie ein Tor in der Gebäudehülle behandelt.

Im Entladehof befinden sich drei Andockschleusen für das Entladen von hinten und eine Möglichkeit für das seitliche Entladen. Damit können 4 LKW gleichzeitig in den Hof einfahren. Das bedingt ein Tor mit einer Breite von 17 Meter. Dieses Tor stellte die Hersteller vor enorme Herausforderungen. Ursprünglich war es als Rolltor angedacht. Nach Gesprächen mit den Herstellern, die zum Teil keine Lösung für diese Problem liefern konnten und explodierenden Kosten, wurde die Entscheidung zugunsten eines dreiteiligen Schiebetores ge-

fällt. Dieses Tor kann besser automatisiert werden, ist von den Kosten deutlich günstiger und konnte zur Verbesserung der thermischen Anforderungen mit Kunststoffstegplatten belegt werden. Bei der seitlichen Entladung war das Problem ähnlich gelagert – ein 16 Meter breites Tor, das das Entladen des LKWs über die ganze Länge ermöglicht. Da wir uns hier schon im Gebäudeinneren befinden und der Winddruck das Tor nicht so stark belasten kann wurde ein Rollltor eingebaut, dessen Lamellen wärmedämmend ausgeführt wurden. Die Tore waren eigentlich die letzten Bauteile, die auf der Baustelle eingebaut wurden. Es war sehr aufwendig überhaupt Firmen zu finden die diese Tore bauen können, da es sich nicht um Standardbauteile handelt. Bei den ersten Angeboten waren dann die Kosten auch so exorbitant hoch, dass, um diese Konzept halten zu können, nach weiteren alternativen Lösungen gesucht werden musste. Letztendlich wurden die Tore von der Firma Zargen Bösch geliefert; mit dieser Firma hatten wir schon in der Entwurfsphase die Möglichkeit dieses Konzeptes besprochen.



Grundriss Erdgeschoss thermische Zonen

Wie aus der thermischen Simulation abzulesen ist, hat der Einsatz der Außentore den Verzicht auf die Deckenstrahlplatten im Zentrallager ermöglicht. Bei geschlossenen Außentoren sind die Gebläseluftwärmer, die in diesem Bereich realisiert wurden, ausreichend um den Lagerbereich im Mindesttemperaturbereich zu halten.

(siehe Tischvorlage Thermische Simulation Anlieferung vom 30.05.2014)

4.4 Konzeptentwicklung Gebäudehülle/Gebäudetechnik und Festlegung Energiestandard

4.4.1 Aufgabenstellung

Heute sind Begriffe wie Nullenergiegebäude oder Plusenergiegebäude in aller Munde. Auch aufgrund der globalen Herausforderungen sind ein minimierter Energiebedarf und der Einsatz regenerativer Energieträger wünschenswert. Jedoch muss auch auf die Wirtschaftlichkeit der eingesetzten Mittel geachtet werden. Daher stellt sich die Frage, welcher energetische Standard mit dem Neubau der IWL angestrebt wird. Im Rahmen der derzeitigen Planung wird ein Gebäudedämmstandard angestrebt, welcher die Anforderungen der derzeit gültigen EnEV 2009 um 30 % unterschreitet. Anschließend wird überprüft, mit welchen zusätzlichen Dämmmaßnahmen und Techniken ein Null- bzw. Plusenergiegebäude erreicht werden kann.

4.4.2 Zielsetzung

Im Rahmen eines integralen Planungskonzeptes werden Vorschläge zur Optimierung des Gebäudes erarbeitet.

Planungsziele sind

- die Minimierung des Energiebedarfs,
- die Minimierung der Investitions- und Betriebskosten und
- die Erhöhung des Komforts und der Tageslichtnutzung

Es werden Beratungen und Berechnungen zu folgenden Themengebieten durchgeführt:

- allgemeine Fassadenkonzeptentwicklung
- Wärmedämmstandard Gebäudehülle
- natürliche Lüftung
- mechanische Lüftung
- Verglasung und Sonnenschutz
- Tageslichtnutzung
- Kunstlichtkonzept
- passive Kühlmaßnahmen
- Photovoltaik

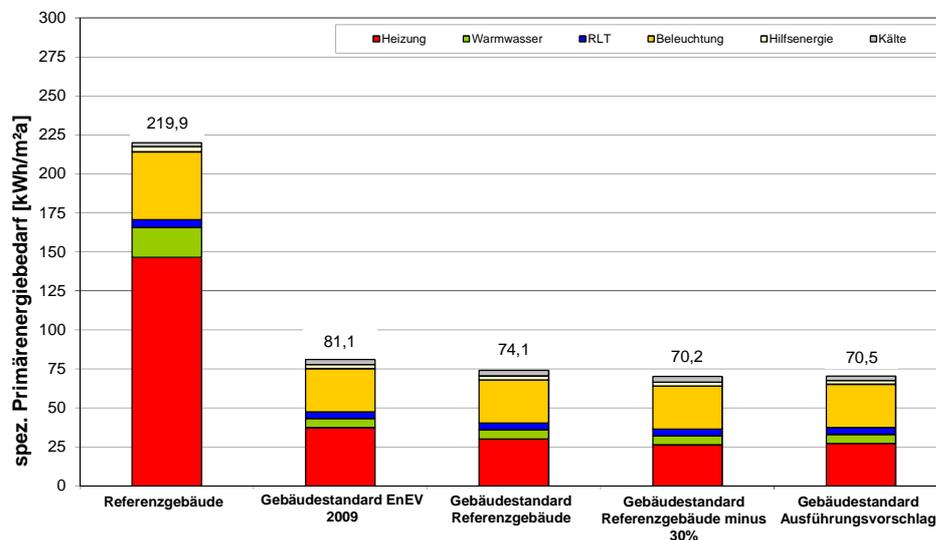
Es werden die Maßnahmenpakete aufgezeigt, mit denen ein bestimmter Energiestandard, z.B. Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen, Nullenergiegebäude, Plusenergiegebäude, erreicht werden kann. Die Berechnung des Energiebedarfs erfolgt gemäß in Anlehnung an die Berechnungsvorschriften der EnEV 2009.

Es werden projektspezifische Lösungen entwickelt, die den Entwurfsaspekt der Architekten berücksichtigen und den Anforderungen an nachhaltige Gebäude Rechnung tragen.

Die Vorschläge werden in Besprechungen dem Bauherren und dem Planungsteam vorgestellt und es wird gemeinsam ein optimiertes Gesamtkonzept entwickelt. Die Beratung erfolgt begleitend zur Vorentwurfs- und Entwurfsplanung.

4.4.3 Ergebnis

Für die Entwicklung eines optimalen Konzepts zur Minimierung des Energiebedarfs für das geplante Gebäude wurden verschiedene Dämmstandards (EnEV 2009, Standard Referenzgebäude EnEV 2009 und Referenzgebäude EnEV 2009 minus 30%) untersucht. Aus den Erkenntnissen der Untersuchung wurde die Ausführungsvariante erarbeitet.

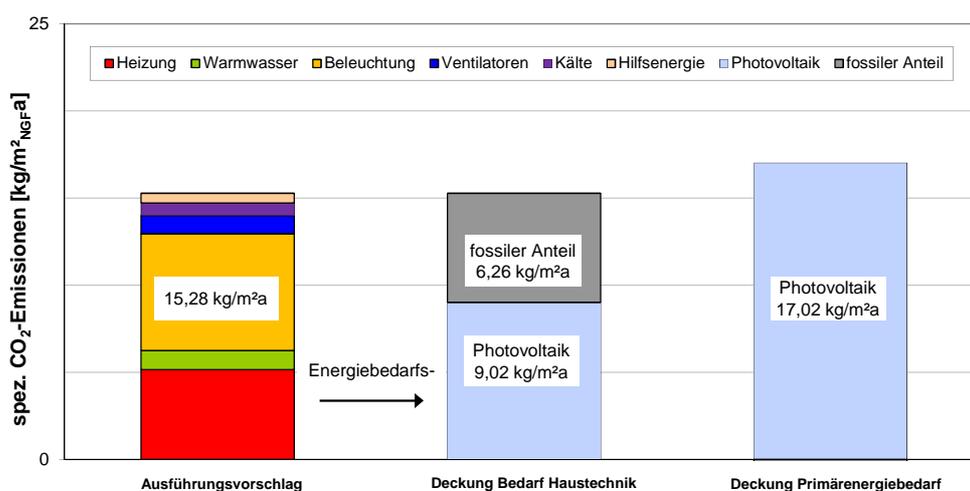


Die Ausführungsvariante stellt ein Optimum zwischen ökonomischen und ökologischen Aspekten dar. Aufgrund einer regenerativen Energieversorgung mit einem Primärenergiefaktor von 0,2 ist der Einfluss der Gebäudehülle auf den Primärenergiebedarf sehr gering. Daher wäre es aus primärenergetischer Sicht ausreichend, bei der Planung nur die vorgeschriebenen Mindestwerte der derzeit gültigen EnEV einzuhalten. Dies ist jedoch im Hinblick auf den thermischen Komfort sowie die Ressourcenschonung wenig empfehlenswert.

Es wurde allerdings bewusst auf eine unangemessen hohe Dämmung z.B. zur Erreichung eines Passiv-Hausstandards verzichtet, da die Anforderungen des Gebäudes als vorwiegend niedrigbeheizte Produktionshalle diesen Aufwand in keiner Weise rechtfertigen. Die zum Erdreich angrenzenden, untergeordneten, niedrig beheizten Bereiche, mit teilweise hoher Abwärme, wurden deshalb nur sparsam gedämmt. Dagegen wurden die Hauptaufenthaltsbereiche mit einem hohen Dämmstandard versehen. Die Dämmdicken für die Außenwände entsprechen, bedingt zum einem durch die hohen Anforderungen an den thermischen Komfort, zum anderen durch die konstruktiven Anforderungen des Holzbaus, einem Passivhausstandard. Auch die U-Werte der Dachflächen erreichen die für den Passivhausstandard notwendigen $0,15 /m^2K$.

Im Zuge der Planung wurde auch der Einsatz einer 3-Scheiben-Verglasung untersucht. Es hat sich gezeigt, dass die Heizenergieeinsparung vergleichsweise gering ist und die großen Verglasungsflächen eine 3-Scheiben-Konstruktion schwierig und kostenintensiv gestalten. Daher wird eine 2-Scheiben-Verglasung eingesetzt. Durch den gewählten Dämmstandard konnte im Vergleich zu dem gesetzlichen Mindeststandard der Endenergiebedarf für die Raumheizung um 27 % gesenkt werden.

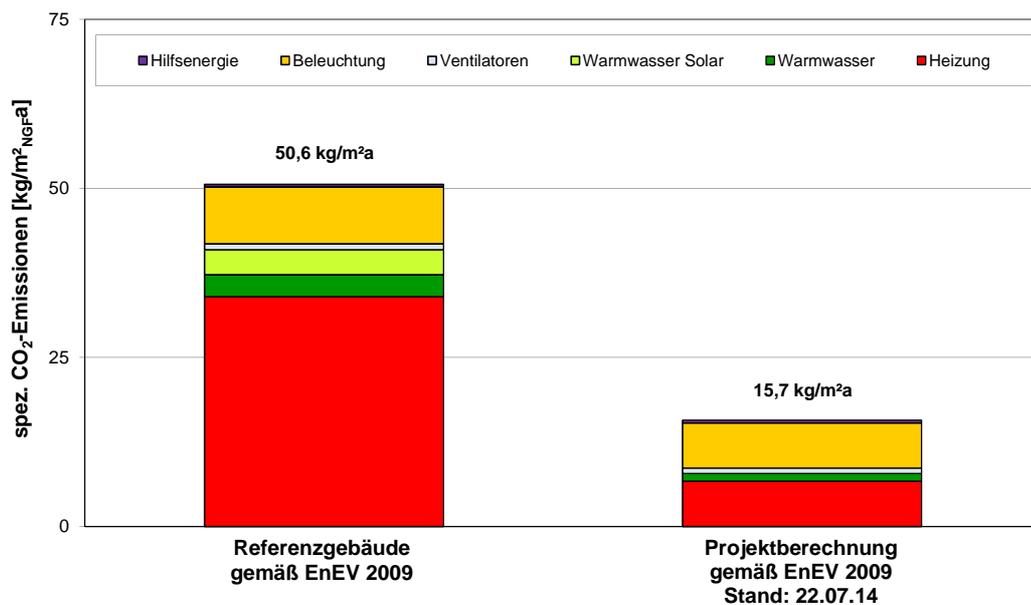
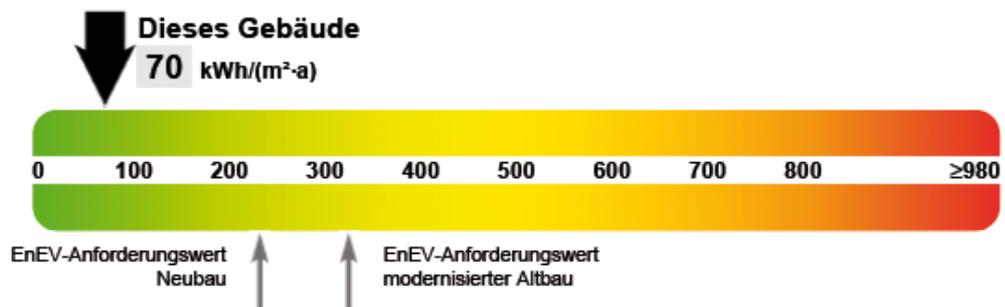
Anschließend wurde untersucht, mit welchen Mitteln ein Nullprimärenergie- und Nullemissionsgebäude erreicht werden kann. Hierzu wurden verschiedene Möglichkeiten der Belegung der Dachflächen mit Photovoltaik geprüft. Der von dieser Anlage erzeugte Strom kann als Gutschrift für den Strom gewertet werden. Ziel ist, dass der Primärenergiebedarf und die CO₂ Emissionen für Heizung, Warmwasser, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und Hilfsenergie durch die PV-Anlage bilanziell innerhalb eines Jahres gedeckt werden.



Auf den Dachflächen sind Vorrichtungen für die Anbringung einer PV-Anlage vorgesehen. Bei einer maximalen Belegung der Dachflächen mit PV Modulen kann in Abhängigkeit von der Leistung und den spezifischen Erträgen der PV-Module ein Null-

oder Plus-Energie und ein CO₂-neutrales Gebäude realisiert werden.

Eine PV-Anlage wurde zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht realisiert. Die Berechnung zum EnEV Nachweis wurde daher ohne Berücksichtigung der PV- Anlage erstellt



(siehe Tischvorlage 14, 15 und 16 vom 22.07.2014)

4.5 Thermische Simulation

4.5.1 Aufgabenstellung

Mit Hilfe der thermischen Simulationen kann das Fassaden- und Technikkonzept eines Gebäudes überprüft und optimiert werden.

4.5.2 Zielsetzung

Am Beispiel von 3 Räumen (z.B. Werkstatt, Büro, Besprechungsraum) werden die Auswirkung von Fassade, Heiz- und Kühlsystem auf den thermischen Komfort bewertet. Mit dem Simulationsprogramm TRNSYS werden der Verlauf der Raumtemperaturen und der Energiebedarf errechnet. Durch die Berechnung von verschiedenen Simulationsvarianten ist es möglich, die Auswirkungen von Änderungen an der Gebäudehülle oder Gebäudetechnik zu quantifizieren. Die Varianten werden hinsichtlich folgender Aspekte miteinander verglichen:

- Raumtemperaturen
- Regelbarkeit
- Energiebedarf

Bei der Simulation werden unterschiedliche Szenarien für die Raumbellegung und das Nutzerverhalten betrachtet.

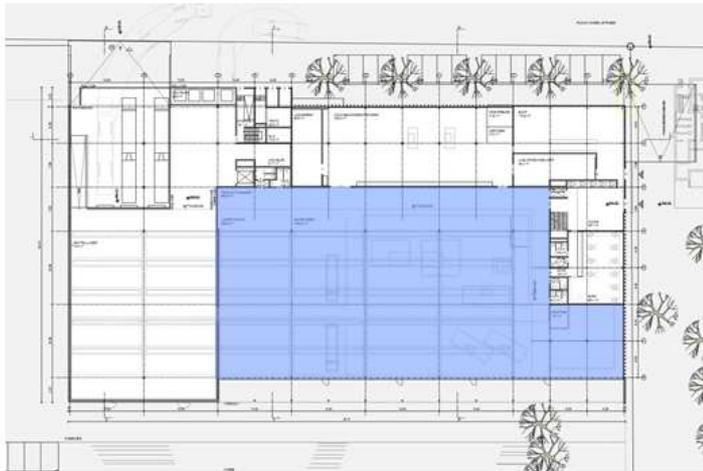
4.5.3 Ergebnis

Thermische Simulation der Schreinerei

Die Fassaden der Schreinerei sind nach Süden und Osten orientiert. Über nordorientierte Sheddächer wird die Schreinerei auch in der Raumtiefe mit Tageslicht versorgt.

Zur Minimierung der sommerlichen Überhitzung wurde bei der Shedverglasung eine neutrale Sonnenschutzverglasung mit einem g-Wert von 0,27 und einer Lichttransmission von 50 % eingesetzt wird. Zusätzlich sorgen an der Südfassade ein Vordach und außenliegende Raffstore für die Verschattung im Sommer.

Aufgrund der Maschinenabwärme ist in der Schreinerei mit hohen internen Wärmegewinnen zu rechnen. Es wurde hier von 15 W/m² während der Betriebszeit ausgegangen.



Grundriss Erdgeschoss

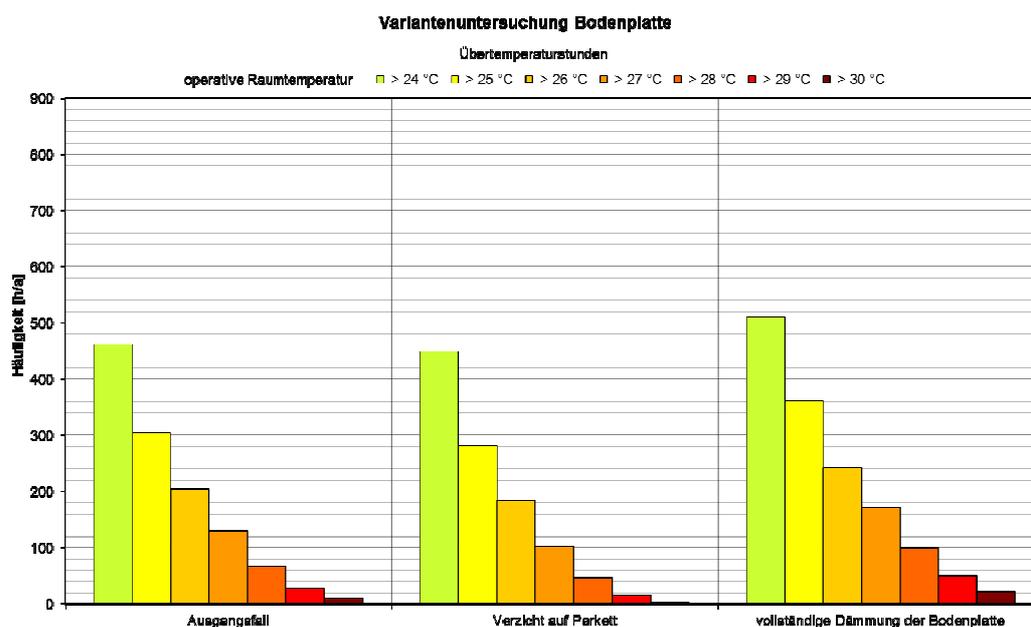


Die Lüftung in der Schreinerei erfolgt über Lüftungsklappen. In der Südfassade befinden sich Kippflügel über die die Frischluft in die Schreinerei einströmen kann. Über Lüftungsklappen in den Sheddächern strömt die Abluft wieder nach draußen. Im Winter dienen die Lüftungsklappen zur Frischluftversorgung. Im Sommer dienen die Lüftungsklappen auch zur Abfuhr der sommerlichen Übertemperaturen und zur Nachtlüftung. Es wurde im Rahmen der Konzeptfindung abgeklärt, dass geöffnete Lüftungsklappen mit den Anforderungen zur Begrenzung der Schallemissionen vereinbar sind.

Zusätzlich gibt es in der Schreinerei eine Späneabsaugung. Im Winter wird die Späneabsaugung im Umluftbetrieb betrieben. Im Sommer dient die Späneabsaugung zur Unterstützung der natürlichen Lüftung.

Im Rahmen der Konzeptentwicklung wurden für die Schreinerei thermische Simulationen durchgeführt und unterschiedliche Varianten der Gebäudehülle und Gebäudetechnik miteinander verglichen. So konnte der sommerliche Komfort verbessert werden.

Eine Fragestellung war beispielsweise, ob der Boden der Schreinerei komplett gedämmt werden soll oder nur der gemäß DIN 4108-2 geforderte Randstreifen von 5 m. Im Ausgangsfall wurde von einem 5 m breiten Randstreifen ausgegangen. Die thermischen Simulationen haben gezeigt, dass sich die vollständige Wärmedämmung im Winter kaum auf den Heizwärmebedarf auswirkt, da sich unter dem Gebäude eine Wärmeinsel bildet. Im Sommer hingegen wirkt sich die Wärmedämmung negativ auf den sommerlichen Komfort aus, da die Speichermasse des Erdreichs „abgekoppelt“ wird und nicht mehr als thermischer Speicher wirksam wird.



Grundsätzlich haben die thermischen Simulationen gezeigt, dass in der Schreinerei mit hohen Raumtemperaturen zu rechnen ist. Auf eine Kühlung wurde jedoch aus energetischen und finanziellen Gründen verzichtet.

(siehe Tischvorlage 3 vom 12.04.2012 und Tischvorlage 10 vom 27.11.2012)

Thermische Simulation Büro

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurden für die Büros die Auswirkungen des Nutzerverhaltens untersucht. An warmen Sommertagen ist es erforderlich, z.T. gantztägig die Fenster vollständig geöffnet zu lassen. Ist dies aus Schallschutzgründen (z.B. Verringerung der Schall-Immissionen aus der Schreinerei) nicht möglich und können die Fenster nur gekippt werden, erhöhen sich die Raumtemperaturen um bis zu 1K. Im gleichen Maße erhöhen sich bei der Basisvariante die Raumtemperaturen während der Nutzungszeiten, wenn keine Nachtlüftung durchgeführt wird.

Ein innenliegender Sonnenschutz (Blendschutz) kann auch bei Einsatz einer Sonnenschutzverglasung keine ausreichende Behaglichkeit für die Nutzer bieten. Es wurde daher empfohlen, wie geplant eine Wärmeschutzverglasung in Kombination mit einem variablen, außenliegenden Sonnenschutz an allen Fassaden des Obergeschosses nach Süden, Osten und Westen vorzusehen.

Es wurden ferner unterschiedliche aktive Kühlsysteme untersucht. Aufgrund ihrer begrenzten Leistung kann mit der Fußbodenkühlung nicht sichergestellt werden, dass bei einer Außentemperatur von 32°C eine maximale Raumtemperatur von 26°C unterschritten wird. Wegen der Trägheit des Systems und der Strahlungskälte herrscht aber an normalen Sommertagen ein niedrigeres Temperaturniveau als mit dem Umluftkühler, der nur eingesetzt

wird, um die Temperaturspitzen zu kappen. Daher, und weil keine Übergabe- und Regelungsverluste enthalten sind, ist der Energiebedarf für das Umluftkühlsystem geringer als für die Fußbodenkühlung. Allerdings ist für den Umluftkühler ein niedrigeres Temperaturniveau erforderlich, das bei der Kälteerzeugung energetisch unvorteilhaft ist.

Für die Behaglichkeit lässt sich zusammenfassen, dass mit allen Varianten außer V2 die Behaglichkeitskategorie 3 gemäß DIN EN 15251 eingehalten werden kann. Einzelne „Temperatúrausreißer“ sind auf die Regelung der Heizungs- und Lüftungsfreigabe zurückzuführen und können durch eine optimierte Regelung bzw. durch optimales Nutzerverhalten verhindert werden. Ist die Behaglichkeitskategorie 2 gewünscht, ist dies mit Umluftkühlsystemen möglich.

(siehe Tischvorlage 5 vom 19.09.2012)

Thermische Simulation Montage

Die Erkenntnisse hinsichtlich Nutzerverhalten, Fassadenkonzept (Verglasungsart und Sonnenschutz) und aktive Kühlung wurden von dem Büroraum auch auf den Montageaum übertragen. Bei diesem haben daneben die internen Wärmelasten entscheidenden Einfluss auf den sommerlichen Komfort. Werden sie von 15 W/m^2 auf 5 W/m^2 reduziert, ergeben sich rund 1-2 K niedrigere Raumtemperaturen an heißen Sommertagen, wenn die internen Lasten nicht über die natürliche Lüftung abgeführt werden können. Als Resultat sinken die Überhitzungsstunden deutlicher als es durch Einsatz von Sonnenschutzverglasung der Fall wäre.

(siehe Tischvorlage 6 vom 19.09.2012)

4.6 Lebenszykluskosten

4.6.1 Aufgabenstellung

Häufig werden Bauherrenentscheidungen ausschließlich anhand der Höhe der Investitionskosten getroffen und hierbei die kostengünstigeren Systeme ausgewählt. Dies ist jedoch zu kurz gedacht, da sich Investitionen in Energieeinsparmaßnahmen durch die Verringerung der Betriebskosten amortisieren können.

Daher ist es zielführender, Investitionsentscheidungen anhand der Lebenszykluskosten zu treffen. Lebenszykluskosten beinhalten sowohl die Kosten für Herstellung als auch für die Nutzung eines Gebäudes. In die Nutzungskosten fließen die Energiekosten und die Kosten für Wartung und Instandhaltung mit ein. Auch zukünftige Preissteigerungen werden berücksichtigt.

4.6.2 Zielsetzung

Als Entscheidungsgrundlage für den Bauherrn werden im Rahmen der Entwurfsplanung für unterschiedliche Varianten die Lebenszykluskosten berechnet. Die Varianten berücksichtigen unterschiedliche Dämmstandards und Technikkonzepte mit denen die gewünschten Energiestandards (z.B. Nullenergiegebäude, Plusenergiegebäude) erreicht werden können.

Die Berechnung erfolgt in Anlehnung an die Berechnungsmethode der DGNB (Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen e.V.) gemäß Steckbrief 16. Die Energiepreise und angenommene Preissteigerungsraten werden mit dem Bauherrn abgestimmt.

4.6.3 Ergebnis

Im Rahmen der Untersuchung wurden vier Szenarien (EnEV 2009 Standard, Standard Referenzgebäude EnEV 2009, Standard Referenzgebäude EnEV 2009 minus 30% und der Ausführungsfall), jeweils mit einer Holzversorgung miteinander verglichen. Zusätzlich wurde bei der Variante Ausführungsfall die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage geprüft. Ergänzend wurde außerdem der Ausführungsfall mit einer Gasversorgung untersucht.

Die Wirtschaftlichkeit der untersuchten Varianten ist, abgesehen von den Kosten für den besseren Dämmstandard, vor allem sehr stark abhängig von der Art der am Markt herrschenden Energiepreise sowie der Energiepreissteigerung. Durch den kostengünstig zur

Verfügung stehenden Brennstoff sowie die niedrigen zu erwartenden Preissteigerungen wird die Amortisation eines hohen Dämmstandards erschwert. Aus diesem Grund erscheint auf den ersten Blick der Dämmstandard des Referenzgebäudes EnEV 2009 die wirtschaftlichste Lösung zu sein. Die Untersuchung hat jedoch gezeigt, dass die höheren Kosten für einen besseren Dämmstandard durch den Einsatz einer PV-Anlage wieder eingespart werden können und die geplante Ausführungsvariante damit eine optimale Lösung, sowohl aus wirtschaftlicher als auch ökologischer Sicht darstellt.

(siehe Tischvorlage 9 vom 17.12.2012)

4.7 Wärmebrückenoptimierung

4.7.1 Aufgabenstellung

Mit zunehmender Wärmedämmung der Gebäudehülle steigt die Bedeutung der Wärmebrücken an.

4.7.2 Zielsetzung

Daher wird für die Wärmebrücken eine Ausbildung gemäß den normierten Ausführungsbeispielen der DIN 4108 Beiblatt 2 angenommen. Für alle relevanten Wärmebrückendetails wird deren Gleichwertigkeit überprüft, um den verbesserten Wärmebrückenkorrekturwert von ΔU_{WB} in Höhe von $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ ansetzen zu können.

Für alle Wärmebrücken, die nicht den Konstruktionsbeispielen gemäß DIN 4108 Beiblatt 2 entsprechen, wird ein Gleichwertigkeitsnachweis geführt. Hierfür wird über eine Wärmebrückenberechnung gemäß DIN EN ISO 10211 für die entsprechenden Details der Ψ -Wert bestimmt und mit den Vorgaben der DIN 4108 – Beiblatt 2 verglichen.

4.7.3 Ergebnis

Es wurde für alle nachzuweisenden Details der Wärmebrückennachweis geführt. Aus technischen Gründen konnte für einige Details die Gleichwertigkeit nicht nachgewiesen werden. Aus diesem Grund wurde der verbesserte Wärmebrückenzuschlag nicht angesetzt. (siehe Tischvorlage 11 inklusive Anlagen WB Berechnungen und Gleichwertigkeitsnachweis vom 15.04.2013)

4.8 Synergieeffekte Gebäudeheizung über Sprinkleranlage

4.8.1 Aufgabenstellung

Die Beheizung von Werkstattgebäuden und Industriehallen erfolgt in vielen Fällen über Deckenstrahlplatten, welche mit Warmwasser betrieben werden. Je nach baulichen, brandschutzrechtlichen Gegebenheiten kommen in diesen Bereichen ebenfalls Sprinklertechniken zum Einsatz. Beide Systeme werden in Deckennähe platziert. Durch eine Kombination Sprinkler / Heizung könnte die Installationsdichte an der Decke herabgesetzt werden und die Decke entlastet werden, dies führt zu mehr Platz und Nutzlastreserven an der Decke, zudem ist hier ein geringerer Koordinationsaufwand in der Planungs- und Bauphase zu erwarten. Im Hinblick auf diesen Sachverhalt stellt sich die Frage, inwieweit Synergieeffekte durch eine sinnvolle Kombination der Gebäudebeheizung und der Sprinklertechnik zur Anwendung kommen können.

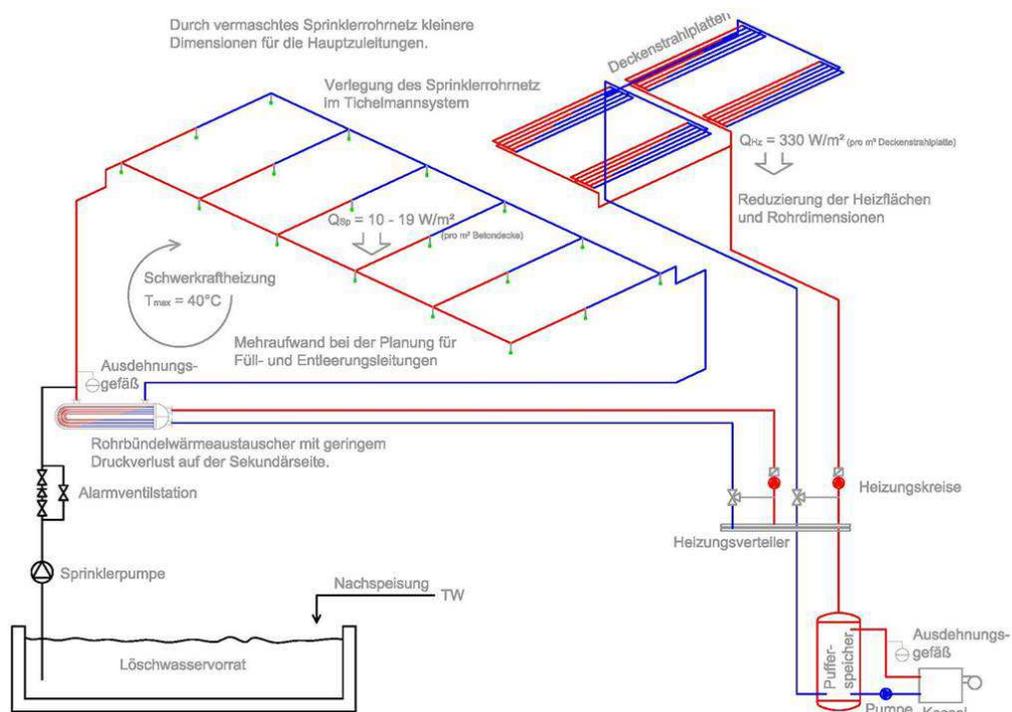
4.8.2 Zielsetzung

Es soll geprüft werden, ob eine Beheizung des Gebäudes über ein überdimensioniertes Sprinklernetz technisch möglich und sinnvoll umsetzbar ist. Hierzu wird eine Machbarkeitsstudie zur Abklärung der rechtlichen und technischen Notwendigkeiten unter Einbeziehung von Sprinklererrichter- / Herstellerfirmen, Brandschutzsachverständigen bzw. des VDS erstellt.

4.8.3 Ergebnis

Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Nutzung des Sprinklerrohrnetzes für Heizzwecke sehr gut geeignet ist um Installationsdichten im Deckenbereich zu reduzieren. Dies trifft besonders bei den IWL-Werkstätten zu, da hier große Hallen mit vergleichsweise niederen Temperaturen zu beheizen sind.

Interessanterweise hat sich gezeigt, dass gerade die Nutzung eines in die Betondecke integrierten Sprinklerrohrnetzes, welches bisher nur durch einen Hersteller für den deutschen Markt eine VdS-Zulassung hat, sich am besten umsetzen lässt. Es kann jedoch in beheizten Räumen bzw. Werkstätten oder Hallen nicht vollständig auf zusätzliche Heizflächen oder anderweitige Beheizungssysteme verzichtet werden. Die zusätzlich einzubringende Heizleistung vermindert sich jedoch in einem Bereich zwischen 20 – 40%.



Schema Kombination Sprinkler und Heizung

Für den Fall, das eine Halle „nur“ frostfrei gehalten werden muss, ist das System jedoch geeignet ohne zusätzliche weitere Heizflächen auszukommen. Für die Sprinklerrohrleitung entfällt auch eine sonst notwendige elektrische Begleitheizung einschl. der anzubringenden Isolierung, bzw. die kostenintensivere Installation einer trockenen Sprinkleranlage.

Da es bis dato kaum Komponenten aus der Heizungstechnik (z.B. Umwälzpumpen oder Ventile) gibt, die eine Zulassung für die Anwendung in Sprinkleranlagen haben, besteht derzeit die einzige Möglichkeit einer Umsetzung in einer Schwerkraftheizung. Um einen Synergieeffekt der Sprinkleranlage zur Gebäudeheizung nutzen zu können, sollte daher weitere Untersuchungen angestrebt werden. Besonders ist der Bereich des normativen Regelwerks mit den Ausschüssen und des Verbandes der Sachversicherer stärker mit einzubeziehen. Eine direkte Berücksichtigung des Heizfalls über die Sprinkleranlage in den Normen und Vorschriften sollte das Ziel sein.

(siehe Tischvorlage Sprinkler Heizung Endbericht vom 04.10.2012)

4.9 Masterplan und Energieversorgung

4.9.1 Aufgabenstellung

Industrie- und Produktionsstandorte haben sich in der Vergangenheit in einer gewissen Eigendynamik ständig verändert. Dies betrifft bauliche Strukturen, technische Einrichtungen sowie unternehmensspezifische Produktionsabläufe. Energieversorgungsstrukturen wurden in vielen Fällen im Hinblick auf Standortveränderungen ohne eine übergreifende, räumliche Gesamtkoordination ausgebaut. Eine zukunftsweisende, nachhaltige und sinnvolle Anpassung der jeweiligen Energieversorgungsstrukturen ist häufig nicht gegeben. Nachhaltigkeit ist hierbei im Sinne von Energieeinsparung, Energieeffizienz, Einsatz erneuerbarer Energien, Ökonomie und Ökologie sowie geringer Kapitalbindung zu verstehen. Anhand des Standortes der IWL soll aufgezeigt werden wie bei Veränderungs- und Umstellungsprozessen innerhalb des Standortes mit der Thematik Energieversorgung unter Berücksichtigung der oben genannten Aspekte umgegangen werden kann.

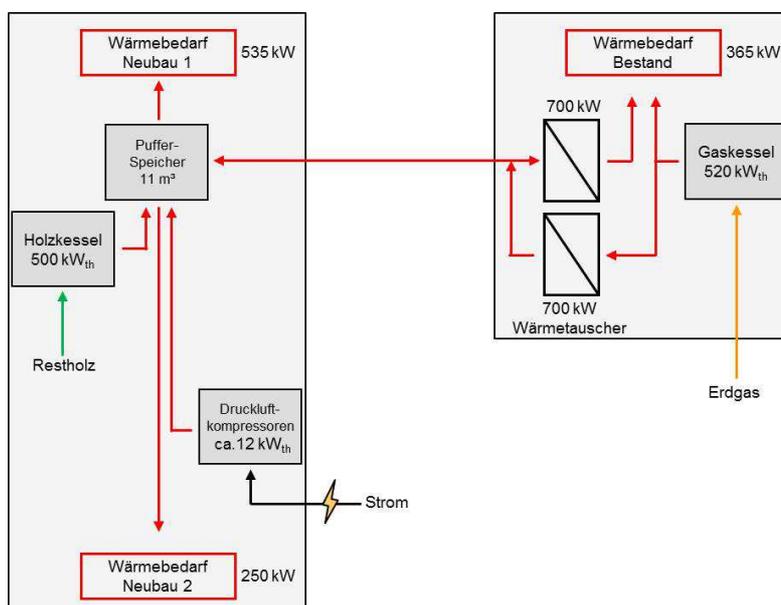
4.9.2 Zielsetzung

Konkret wird untersucht, in wieweit die am Standort bestehenden Anlagen zur Energieerzeugung in den derzeit zu planenden 1. Bauabschnitt auf dem Nachbargrundstück zur Versorgung mit eingebunden werden können. Da eine Vollversorgung des 1. BA über die bestehenden Anlagen zur Energieerzeugung nicht möglich sein wird, gilt es die neu zu errichtenden Anlagen mit den bestehenden Anlagen sinnvoll zu kombinieren, zu verschalten und regelungstechnisch zu steuern um speziell im Teillastbereich einzelner Anlagen einen hohen Wirkungsgrad zu erzielen. Es wird auch betrachtet, wie die Energieversorgung des Standortes nach Fertigstellung des 1. Bauabschnittes schrittweise modular im Hinblick auf zukünftige Bauabschnitte 2 (5+x Jahre) und 3 (10+x Jahre) erweitert werden kann mit dem Ziel, auf mittel- und langfristige Sicht den Standort über eine Energiezentrale oder einen energetisch sinnvollen Verbund von Wärmeerzeugern zu versorgen. Hierfür ist es notwendig zu betrachten, wie die schon bestehenden Aggregate unter Berücksichtigung der jeweiligen Restlaufzeit bedarfsgerecht ersetzt werden können.

4.9.3 Ergebnis

Durch einen Wärmeverbund der bestehenden Wärmeversorgungsanlagen der Bestandsgebäude können die Wärmeerzeuger im Neubau kleiner dimensioniert werden. Neben Investitionskosteneinsparungen ergibt sich somit eine bessere Auslastung der einzelnen Wärmeerzeuger. Hinzu kommt im Fall von IWL, dass der Biologische Brennstoff zukünftig nur im neuen Gebäude anfällt, was auch für eine Fokussierung der Biomasseverbrennung auf dieses Gebäude spricht.

Die Gebäude werden mittels eines Nahwärmenetzes verbunden, jedoch werden die Heizungssysteme des Neubaus und des Bestandsgebäudes durch zwei Trennwärmetauscher hydraulisch voneinander getrennt. Dies ist notwendig, da die Heizungssysteme auf unterschiedlichen Druckniveaus arbeiten. Zusätzlich wird die Versorgungssicherheit erhöht, da im Falle einer Leckage in einem der beiden Heizungsnetze das andere Gebäude während der Reparatur weiterhin beheizt werden kann. Außerdem sorgt die Trennung der Systeme dafür, dass keine Verschmutzung von einem Heizungsnetz in das andere Heizungsnetz gelangt. Durch die Verbindung können zunächst die beiden und später auch weitere Gebäude Heizungsseitig miteinander verbunden werden. Die Wärmeversorgung erfolgt je nach Bedarf und Auslastung der Wärmeerzeuger von unterschiedlichen Gebäuden.



Sollte der Bedarf der neuen Gebäude die installierte Leistung übersteigen oder wird ein bestehendes Gebäude mit Heizungszentrale durch ein neues Gebäude ersetzt, muss in dem neuen Gebäude ein entsprechend dimensionierter Wärmeerzeuger eingeplant werden. Insgesamt lässt sich durch eine vorausschauende Anordnung der Wärmeerzeuger und der Installation einer Nahwärmeverbundung die Anzahl von Wärmeversorgern sinnvoll reduzieren.

(siehe Tischvorlage Masterplanung und Energieversorgung vom 05.12.2012)

4.10 Beleuchtungsanlagen: Innovative Tageslicht und anwesenheitsabhängige LED-Beleuchtung in Industrieanlagen

4.10.1 Aufgabenstellung

Untersuchung und Definition von Beleuchtungsstandart die den Menschen in einem Produktionsgebäude ein Arbeitsumfeld bietet das die Konzentrations- und Leistungsfähigkeit erhält / erhöht und den Bedürfnissen der Mitarbeiter dauerhaft entspricht.

4.10.2 Zielsetzung

Definition von Beleuchtungsstandard die den Menschen in der Produktion und Verwaltung, ein nach Ihren physischen und psychischen Bedürfnissen optimiertes Arbeitsumfeld bietet. Am Beispiel von jeweils 3 Arbeitsplätzen in der Produktion und Verwaltung wird ein optimaler Beleuchtungsstandard mit LED definiert und bestimmt. Durch eine Variantenuntersuchung ist eine Optimierung der Position, Helligkeit, Lichtfarbe und Regelung der Beleuchtungssteuerung möglich. Um die Qualität der Beleuchtungsanlage / -steuerung inkl. Tageslichtnutzung optimieren zu können, sollen für jeweils drei exemplarische Varianten eine Beleuchtungssimulation inkl. Praxistest und Nutzerbefragung durchgeführt werden.

4.10.3 Ergebnis

Im Rahmen eines integrierten Planungsansatzes wurde ein Lichtkonzept entwickelt mit dem die Anforderungen erfüllt werden können. Betrachtet werden ausgewählte Kunstlichtvarianten die sämtlich die Anforderungen an eine normgerechte Beleuchtung von Industrieanlagen erfüllen.

Ausgangsbasis bildet eine Standardbeleuchtungsanlage auf T16 Basis Leuchtstofflampen mit besonderen Augenmerk auf niedrige Investitionskosten. Energetische Einsparungen über Steuerungs- oder Regelungsautomatik sind bei dieser Variante 1 nicht vorgesehen. In einem Folgeschritt werden Automatisations-Komponenten integriert die zu niedrigeren laufenden Betriebskosten führen (Variante 1.1). Der Technologie-Wechsel zu hochwertigen LED-Leuchten erlaubt einen höheren effektiven Nutzlichtstrom im Verhältnis zur eingesetzten elektrischen Energiemenge. Dies führt zu weiteren Einsparungen. Die in Variante 2.1 betrachtet werden. Variante 2.2 verbessert die Ergonomie der Kunstlichtlösung über die Regelung, indem das Kunstlicht mit einer „Adaptiven Kunstlichtregelung (AKL)“ anstatt der Konstantlichtregelung ausgeführt wird. Variante 3.1 dient der biologischen Aktivierung des Kunstlichts, indem Verteilung und Lichtmenge optimiert werden – zu einer circadian wirksamen und die Raumgeometrie betonenden Beleuchtungslösung. Die Anlage wird mit einer Konstantlichtregelung ausgeführt. In dieser Variante wird der Bereich des Druckriegels nicht auf circadiane Wirksamkeit hin geregelt. Die Variante 3.2 entspricht der Vorvariante, jedoch

mit einer "Adaptiven Kunstlichtregelung (AKL)" der Komponenten anstatt einer Konstantlichtregelung.

Die Variante 3.2 wurde im Rahmen einer Lichtberechnung simuliert und in ein Ausführungsdetail überführt.

Zielstellung Kunstlichtkonzept Halle (LV-Grundlage)

Werte bei 100% Lichtstrom aller Komponenten und Wartungsfaktor 0,67

Beleuchtungsstärke Horizontal H=85cm im Mittel: 821 Lux

Beleuchtungsstärke Vertikal H=150m im Mittel: 270 Lux melanopisch bewertet

Eh und Ev jeweils im Bereich Halle Sheddachversorgt

Ergebnisse Licht

1) Direktleuchte Graft

Eh 549 Lux

Ev(mel) 111 Lux

2) Indirektleuchte ScubaT16

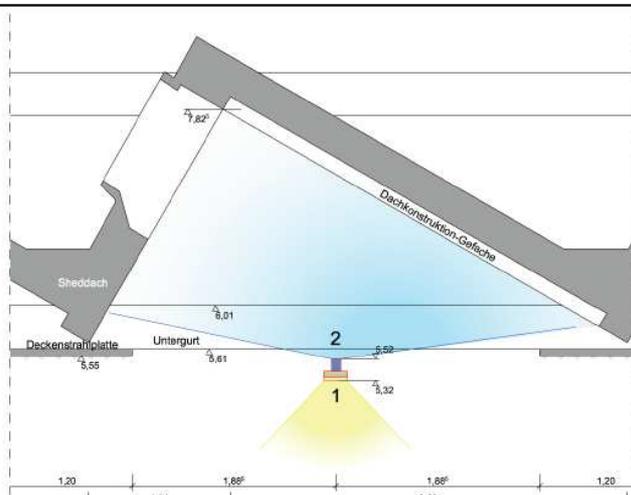
Eh 194 Lux

Ev(mel) 143 Lux

Summe Komponenten 1 und 2

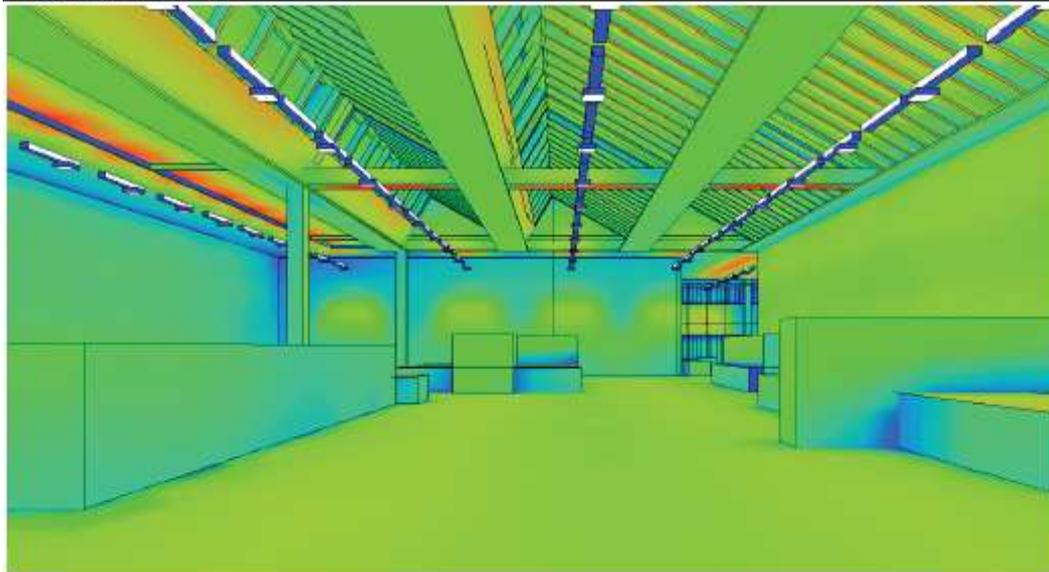
Eh 743 Lux

Ev(mel) 254 Lux

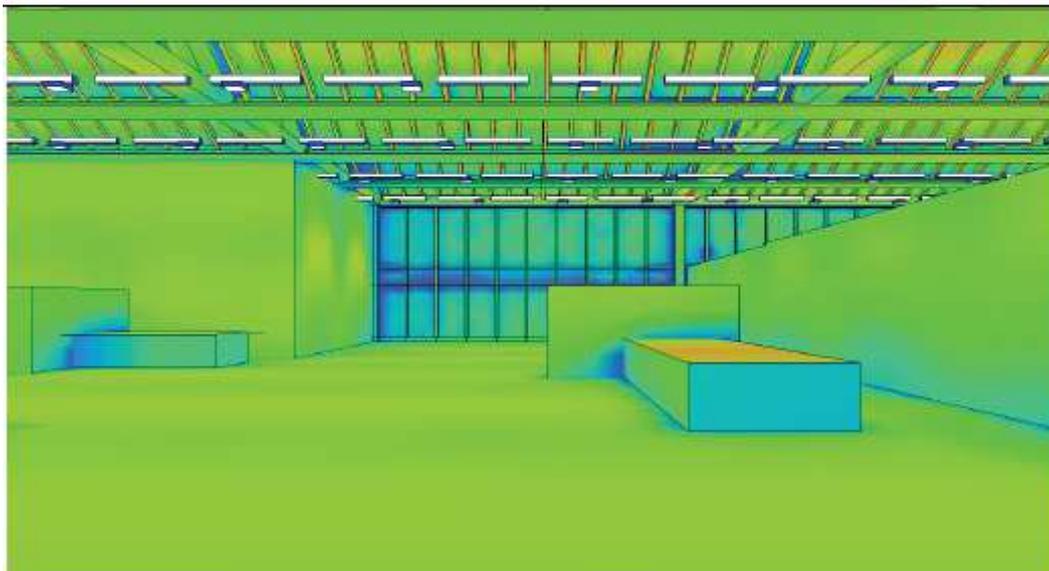


Blick in die Produktionshalle

Blick längs zur Halle



Blick Quer zur Halle



Skalierung



Leuchtdichteverteilung Produktionshalle

4.11 Energiemanagement im Spannungsfeld zwischen Mensch und Produktion Energiemonitoring mit visueller Darstellung der Energieströme innerhalb des Gebäudes

4.11.1 Aufgabenstellung

Schaffung einer visuell-grafischen Darstellung die den Energieverbrauch für Mitarbeiter in einem Produktionsbetrieb mit dessen komplexen Zusammenhängen möglichst einfach und verständlich für die Menschen im Unternehmen darstellt.

4.11.2 Zielsetzung

Die Schaffung eines intuitiv verständlichen Kommunikationsstandards führt zur nachhaltigen Änderung des Nutzerverhaltens, um dauerhaft die Energieverbräuche zu minimieren und die CO₂ Emissionen zu reduzieren.

Zusammenfassung unter dem Gesichtsfeld der Umweltrelevanz auf Klima und Arbeitskräfte:

- Energieeinsparung über 35 – 50 % bei Strom- und CO² in der Elektrotechnik möglich
- Förderung der Mitarbeitergesundheit
- Schaffung einer Wohlfühlumgebung am Arbeitsplatz
- Erhöhung der Bewusstseinsbildung für den Energieverbrauch im Betrieb
- Reduzierung der krankheitsbedingten Arbeitsausfälle

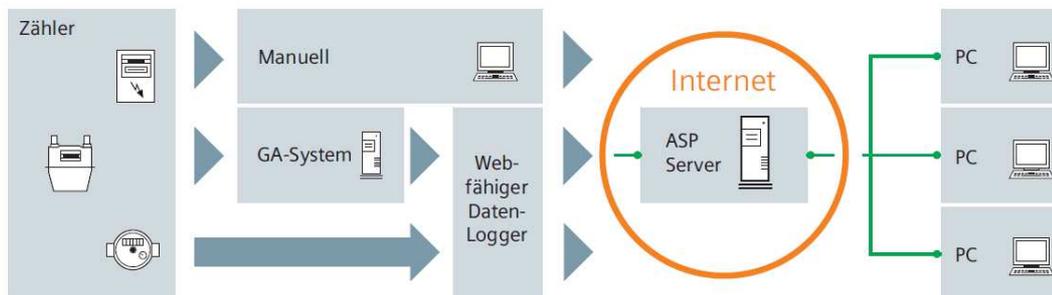
4.11.3 Ergebnis

Im Rahmen eines integrierten Planungsprozesses wurden mehrere Varianten untersucht

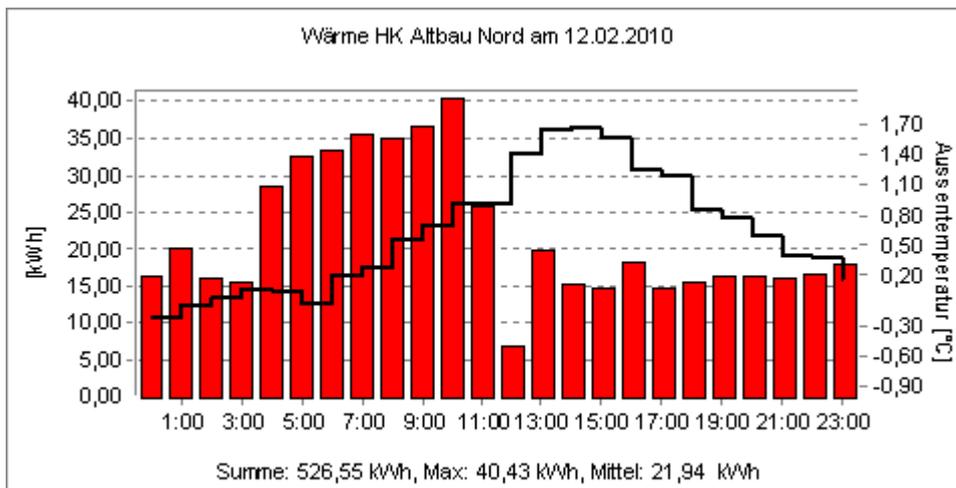
Die effektivste und dauerhaft günstigste Lösung die Energieverbräuche zu senken, bittet die Installation einer automatischen Verbrauchserfassung. Bei einem so genannten Energiezähler - Managementsystem handelt es sich um eine Kommunikationsstruktur aus einem Datensammler mit einer Übertragungseinrichtung zu einer zentralen Rechneinheit.

Dieser speichert viertelstündlich die Zählerstände und übermittelt sie einmal täglich per Telefonmodem an die Gebäudeleittechnik. Dort werden diese automatisch auf Grenzwertüberschreitungen überwacht und in einer Datenbank gespeichert. Diese Daten können online auch direkt vom jeweiligen verantwortlichen Mitarbeiter eingesehen werden.

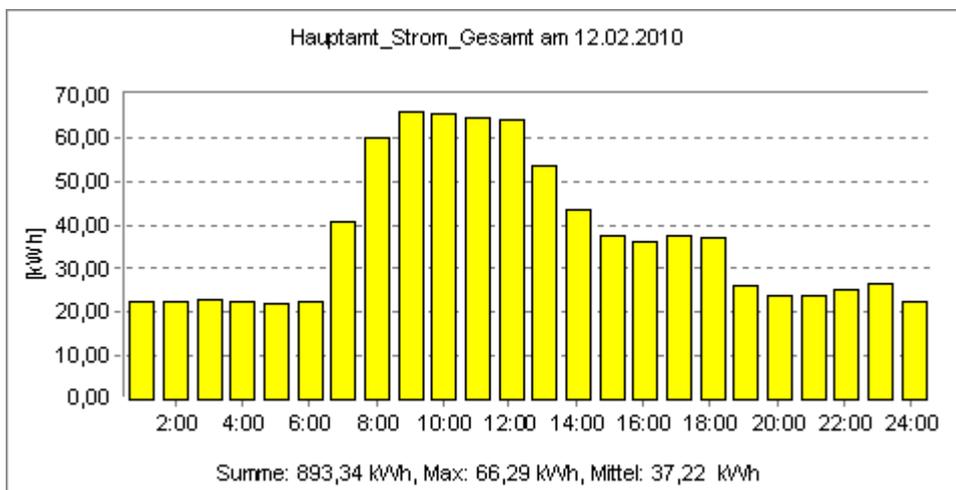
Eine schematische Darstellung der verschiedenen Energiedatenaufnahme finden Sie in der nachfolgenden Darstellung:



Beispielhaft werden nachfolgend Lastgänge des Wärme- und Stromverbrauchs der Produktionsanlage dargestellt die mittels automatischer Verbrauchserfassung generiert werden.



Wärmebedarf in kWh in Abhängigkeit von der Außentemperatur.



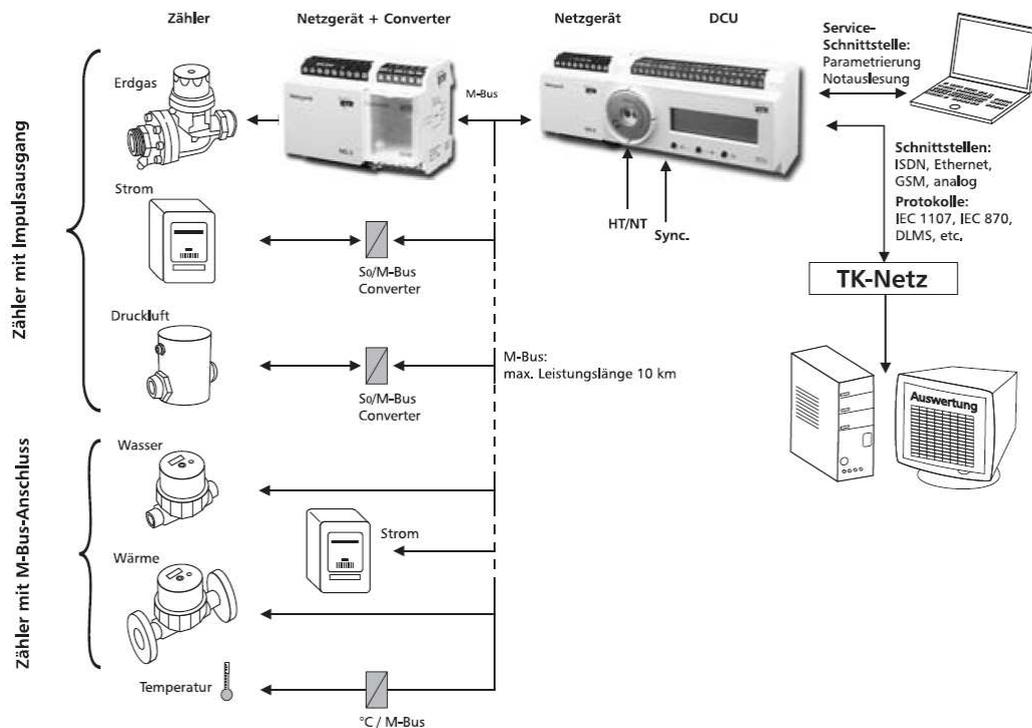
Stromverbrauch

Die Gewinnung der Verbrauchsdaten ist also auf vielfältige Weise möglich, in den meisten Fällen wird es anfänglich eine Kombination aus manuellen und automatischen Erfassungsmöglichkeiten sein. Die manuelle Ablesung sollte aber schrittweise durch eine automatische Datenerfassung ersetzt werden, da diese über einen längeren Zeitraum sicherlich die wirtschaftlichste und effektivste Methode darstellt.

Übersicht zu notwendigen Investitionen (Messtechnik, Steuerung, Datenverwaltung etc.)

Zum Aufbau einer Zählermanagementstruktur sind internetfähige Datensammler bzw. Datenlogger mit Telefonmodem in den jeweiligen Liegenschaften erforderlich die mit einer zentralen Datenbank verbunden sind. Aus dieser Datenbank werden dann diverse Auswertungen wie Lastprofile, Energiebericht, CO₂ Bilanzen usw. generiert die online ausgelesen werden können.

Der Datenlogger mit Modem wird räumlich in die Nähe der Verbrauchszähler gesetzt und ist in der Lage mehrere Zählwertsignale über mehrere Tage zu speichern, bis die Daten über eine Telefonverbindung von den Zentralrechner in die Datenbank ausgelesen werden und dort für Auswertungen zur Verfügung stehen. Ein prinzipieller technischer Aufbau eines solchen Systems ist nachfolgend schematisch dargestellt.



Aufbau Zählermanagementstruktur

5. Fazit

5.1 Hochbau

Im Bereich Hochbau, also bei der Optimierung der Vorfertigung und der Entwicklung vorgefertigter flexibler Elemente war es ein Vorteil, dass die ausführende Firma auch beratend schon in der Planung mit eingebunden war. Dadurch mussten die Ideen nicht nochmals transportiert und erklärt werden. Zugleich kann dies aber auch als Nachteil angesehen werden. Vermutlich wäre es zu mehr neuen Lösungen gekommen, wenn eine andere als die beratende Firma den Zuschlag erhalten hätte. So wurden die Lösungen nicht nochmals überprüft und kritisch betrachtet. Auch ist nicht überprüfbar, ob die Ansätze einer allgemeinen Betrachtung standhalten, oder sie speziell auf einen ausführenden Betrieb zugeschnitten sind.

- **Terminsituation**

Als Problem bei der Umsetzung stellte sich der enge Ausführungsterminplan dar. Eventuell waren die Termine zu optimistisch gesetzt. Die kalkulierten 16 Wochen für die Montage der Holzbauteile haben sich deutlich auf 24 Wochen verlängert. Durch den hohen Grad der Vorfertigung, muss natürlich auch die Werkplanung sehr detailliert ausgeführt werden und benötigt die entsprechende Vorlaufzeit. Die dafür veranschlagten 6 Wochen waren laut ausführender Firma nicht ausreichend. Ein weiteres Problem stellte die Lieferzeit der Fenster dar. Abhängig vom Hersteller muss hier mit 8 Wochen gerechnet werden. Leider war es nicht möglich, die Fenster für das Zwischengeschoss bereits im Werk zu montieren, da ansonsten die Wandelemente zu spät auf der Baustelle eingetroffen wären und den gesamten Bauablauf behindert hätten.

Als Vorteil stellte sich die Vergabe der gesamten Gebäudehülle an eine Firma heraus. Der Zimmermann hatte in seinem Gewerk auch die Dachabdichtungs- und Spenglerarbeiten, sowie alle Fenster und Verglasungen zu koordinieren. Dadurch gibt es weniger Schnittstellen auf der Baustelle und die Diskussionen, wer an Terminverzögerungen bzw. Bauschäden Schuld hat, werden deutlich reduziert.

- **Dachabdichtung / Holzoberflächen**

Ein weiteres Problem, dass im Vorfeld eventuell unterschätzt wurde, betrifft die Dachabdichtungsarbeiten. Durch den hohen Grad der Vorfertigung wurden die Elemente auf der Baustelle mit den fertigen Ansichtsflächen geliefert und versetzt. Auf ein Aufbringen der Notabdichtung im Werk wurde verzichtet – sukzessives Nacharbeiten auf der Baustelle durch den Dachdecker war gefordert und hat leider nicht geklappt. So konnte über lange Zeit Feuchtigkeit die Konstruktion durchfeuchten und die Sichtflächen der Holzträger und der Holzwolleleichtbauplatten beeinträchtigen. Besonders groß waren diese Probleme im Bereich des Daches über dem Obergeschoss. Sehr aufwändige Sanierungsmaßnahmen wurden dadurch nötig – Arbeiten die natürlich Kosten- und Zeitintensiv waren.

Allgemein muss gesagt werden, dass es oft schwierig ist, auf der Baustelle sämtlichen an der Ausführung Beteiligten zu vermitteln, dass die Holzoberflächen schon fertig und schützenswert sind und nicht durch eine Bekleidung nochmals verdeckt werden. Unbehandeltes Holz wird auf der Baustelle oft als reines Konstruktionselement angesehen.

- **Tore Anlieferung**

Ein weiteres großes Problem stellten die Tore dar. Ursprünglich, schon im Entwurf, wurden Hersteller kontaktiert, um mögliche Torgrößen zu prüfen. Mit diesen Informationen wurde dann die Planung erstellt. In der Ausführungsplanung zeigte sich, dass es sehr wenige Firmen gibt, die Tore abweichend zu den Standardgrößen herstellen können. Die Industrie ist war hier ohnehin nicht kooperationsbereit und die dann angebotenen Speziallösungen waren durch den hohen Preis wirtschaftlich nicht vertretbar. Zum Glück konnte schlussendlich ein Anbieter gefunden werden, dessen Standardlösungen eine gewisse Flexibilität zulassen und dadurch preislich auch noch im Kostenrahmen zu liegen kommen.

5.2 Elektroplanung

Die im Rahmen des Planungsprozesses definierten Zielsetzungen können Großteils mit marktüblichen Produkten realisiert werden. Durch die Kombination von gängigen Produkten können die gewünschten Ergebnisse mit vertretbarem wirtschaftlichen Aufwand realisiert werden. Eine ggf. höhere Anfangsinvestition amortisiert sich durch die geringeren Betriebskosten und höherer Arbeitsplatzqualität innerhalb kürzester Zeit.

Umsetzung eines mitwachsenden Werkstättengebäudes für eine Werkstätte für behinderte Menschen in Holzbauweise mit optimierter Energieeffizienz und Energiemonitoring

Abschlussbericht gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung
Umwelt

AZ 29965/02

Bearbeiter

Prof. DI Hermann Kaufmann, Architekten Hermann Kaufmann ZT GmbH
M.Eng.Dipl.-Ing.(FH) Florian Hausladen, Hausladen Ingenieurbüro GmbH
M.Sc. Martin Veit, Veit Energie Consult GmbH

Dezember 2016

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	29965/02	Referat		Fördersumme	€ 407.118,10
Antragstitel		Umsetzung eines mitwachsenden Werkstättengebäudes für eine Werkstätte für behinderte Menschen in Holzbauweise mit optimierter Energieeffizienz und Energiemonitoring			
Stichworte					
Laufzeit		Projektbeginn		Projektende	
2 Jahre und 11 Monate		2/2013		1/2016	
Zwischenberichte		nach 8 Monaten			
Bewilligungsempfänger		ISAR-WÜRM-LECH IWL - Werkstätten für behinderte Menschen gemeinnützige GmbH Rudolf-Diesel-Str. 1 86899 Landsberg am Lech		Tel 08191 / 92 41 - 25 Fax 08191 / 92 41 - 99 Projektleitung Herr Ludger Escher Bearbeiter Frau Regula Wolf	
Kooperationspartner		Architekten Hermann Kaufmann ZT GmbH - Sportplatzweg 5 A-6858 Schwarzach Veit Energie Consult GmbH, Energie- und Gebäudemanagement Röhrenwiesen 26, D-94051 Hauzenberg Ip5 ingenieurpartnerschaft, Bahnhofplatz 10, D-76137 Karlsruhe			
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
Die ISAR-WÜRM-LECH IWL Werkstätten (kurz: IWL GmbH) ist eine gemeinnützige Einrichtung der beruflichen Rehabilitation für Menschen mit Behinderung.					
Die IWL GmbH baut den Produktionsstandort in Landsberg am Lech aus und mittelfristig soll der gesamte Betrieb, welcher für die Qualifizierung von psychisch erkrankten Menschen zuständig ist, auf dem eigenen Grundstück angesiedelt werden.					
Die Planung für das dafür notwendige neue Produktionsgebäude hat das Architekturbüro Kaufmann, durch Gewinn des dafür ausgelobten Wettbewerbes übernommen.					
Das Projekt entspricht sehr hohen ökologischen Ansprüchen. So wird das gesamte Bauvorhaben möglichst mit nachwachsenden Rohstoffen ausgeführt.					
Auch wurde im interdisziplinären Planungsprozess ein auf das Projekt abgestimmter optimierter Energiestandard entwickelt.					
Beim Bauvorhaben handelt es sich um einen Gewerbebetrieb mit der typischen Dynamik eines solchen Gebäudes.					

Die Erarbeitung der Endausbausituation als Aufgabenstellung im Wettbewerb ermöglichte die Festlegung der Bauteile welche so konstruiert werden müssen, dass sie zerstörungsfrei auch für eine Erweiterung wieder verwendet werden können. Diese wurden zusammen mit einem Holzbaubetrieb im Detail entwickelt und ausgeschrieben.

Die Arbeitsplatzqualität ist gerade für behinderte Mitbürger entscheidend für deren Leistungsfähigkeit. So wird Wert auf hohe architektonische, akustische und thermische Qualität gelegt, ebenso auf eine optimale natürliche Belichtung der Arbeitsplätze. Entscheidend ist auch die Qualität der künstlichen Beleuchtung. Im Rahmen des Projektes soll die Wirkung von Kunstlicht im industriellen Bereich untersucht werden. Relevant ist hierbei insbesondere die Frage, ob durch wechselnden Lichtsequenzen das Wohlbefinden von Mitarbeitern und damit einhergehend die Leistungsfähigkeit gesteigert werden kann.

Es sollen die erarbeiteten Ergebnisse, das Projekt sowie die neuen Erkenntnisse nach Fertigstellung als hochwertige Publikation in Form eines Buches veröffentlicht werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Versetzbaren Fassadenelemente des mitwachsenden Holzbaus

Das Projekt zeichnet sich durch einen ganzheitlichen Planungsansatz aus, der bereits mehrere mögliche Baustufen in das Gesamtkonzept miteinbezieht. Bereits schon bei der ersten Baustufe wird starkes Augenmerk auf die Eignung der einzelnen Elemente für zu erwartende Veränderung gelegt. Es ist zu erwarten, dass das Wachstum in absehbaren Zeitspannen erfolgen wird und somit ist es sinnvoll, die Bauteile, die flexibel ausgeführt werden müssen, so zu konzipieren sind, dass sie möglichst zerstörungsfrei in ihre neuen Lagen versetzt werden können. Das gilt für Außenwände, die bei einer Erweiterung der Werkstätten wiederverwendet werden sollten. In der ersten Planungsstufe wurden diese auf Grundlage des Endausbaukonzeptes bestimmt und für diese prototypischen Detaillösungen, die eine zerstörungsfreie Demontage von Außen- und Innenwandelementen für einen Gewerbebau ermöglichen, entwickelt. Die einzelnen Elemente wurden so konzipiert, dass sie auch beweglich bleiben, das heißt mit vertretbarem Aufwand in ihre neue Lage versetzt werden können.

Die in der Planungsphase integral erarbeiteten Detaillösungen werden mit der ausführenden Firma in einem ersten Schritt auf ihre Tauglichkeit der Umsetzbarkeit überprüft. Details werden schon in der Werkplanung auf Grund von produktions- und montagetechnischen Anforderungen angepasst und überarbeitet. Die daraus resultierenden Erfahrungen sind Teil des Forschungsauftrages und werden dokumentiert. In einem nächsten Schritt werden während der Produktion und der Errichtung des Holzbaus die in der Planung angenommenen Umstände und Abläufe auf deren Richtigkeit untersucht. Diese Beobachtung der Detaillösungen wird bis ca. 24 Monate nach der Fertigstellung des Gebäudes weitergeführt, um eventuelle Wechselwirkungen der unterschiedlichen Bauteile bzw. deren Resistenz gegen äußere Einflüssen protokollieren zu können.

Tages- und Kunstlichtkonzept

Auf Basis der bereits vorliegenden Planung und der daraus resultierenden Tageslichtsituation wird gemeinsam mit den Planungsbeteiligten ein an den Bedürfnissen der Mitarbeiter(innen) und den Erfordernissen des energiege- rechten Bauens ausgerichtetes Tages- und Kunstlichtkonzept erarbeitet. Der Verlauf des Tageslichtquotienten wird im Grundriss für die relevanten Bereiche dargestellt. Daraus wird jeweils auf die Tageslichtautonomie und den Strombedarf für Beleuchtung geschlossen, der dann in die Berechnungen zum erzielbaren Primärenergiebe- darf Haustechnik einfließen kann.

Die Nutzer der Arbeitsplätze haben durch ihre individuellen Behinderungen möglicherweise von gängigen Normen und Richtlinien abweichende Bedürfnisse und Anforderungen an die Beleuchtung. In eine Voruntersuchung an den Bestandsarbeitsplätzen werden die Grundlagen für die Auslegung der Neuanlage ermittelt. Neben Gesprä- chen mit den verantwortlichen Mitarbeitern und Betreuern vor Ort werden dazu auch Messungen der Beleuch- tungsstärkeverhältnisse und der Leuchtdichtesituation an ausgewählten Arbeitsplätzen vorgenommen. Diese die- nen auch als Grundlage für eine vergleichende Bewertung alt/neu.

Diese Daten dienen auch als numerische Basis einer gesondert durchzuführenden Studie über die Nutzerakzep- tanz der kompletten Maßnahme.

Energiemanagement und Energiemonitoring

Nach Abschluss des Projektes sollen mittels Energie - Monitoring bzw. Energiemanagement die organisatorischen und technischen Abläufe sowie Verhaltensweisen im Rahmen eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses den betrieblichen Gesamtenergieverbrauch (also auch die für die Produktion erforderliche Energie) und den Ver- brauch von Grund- und Zusatzstoffen deutlich senken. Durch das Monitoringkonzept sollen neben der energeti- schen Optimierung sowohl der haustechnischen als auch Produktionsanlagen vorrangig die Fragestellung geklärt werden, welche grafisch-visuellen Schnittstellen zwischen Mensch und Maschinen in verschiedenen Produktion- sumgebungen (Metall, Holzverarbeitung, Lackiererei, Lager usw.) für einzelnen Nutzer im Produktions- und Ar- beitsumfeld am geeignetsten sind, um aktiv die Energieverbräuche in seiner Umgebung dauerhaft positiv zu be- einflussen.

Das vorgesehene energetische Monitoring umfasst auch die Beleuchtungsanlage.

Ergebnisse

Der Holzbau eignet sich durch die Möglichkeit einer umfassenden Vorfabrikation im Werk und einem raschen Ver- setzten auf der Baustelle auch später hervorragend dafür, die Elemente wieder zu demontieren. Nach der Demon- tage können sie, bei einer entsprechenden Wahl der Verbindungsmittel, ohne größere Beeinträchtigung wieder an neuer Stelle eingebaut werden.

Die in der Elektroplanung definierten Zielsetzungen können Großteils mit marktüblichen Produkten realisiert wer- den. Durch die Kombination von gängigen Produkten können die gewünschten Ergebnisse mit vertretbarem wirt- schaftlichen Aufwand realisiert werden. Eine eigens für das Projekt entwickelte Strategie des Lichtmanagements trug dem energetisch und wirtschaftlichen Betrieb ebenso Rechnung, wie der biologischen Wirksamkeit. Dies ge- lang durch die Verknüpfung der Kunstlichtkomponenten mit dem Tageslichtangebot, sinnvoller Zonierung sowie einem tageszeitabhängigen Profil der biologischen Aktivierung.

Abschlussbericht DBU

Inhalt

Projektkennblatt.....	2
1. Verzeichnis von Bildern Zeichnungen, Grafiken und Tabellen.....	7
2. Zusammenfassung.....	10
3. Einleitung	11
4. Hauptteil	13
4.1 Förderung der investiven Mehrkosten der versetzbaren Fassadenelemente des mitwachsenden Holzbaus	
4.1.1 Aufgabenstellung	13
4.1.2 Zielsetzung	13
4.1.3 Ergebnis	14
4.2 Kostenermittlung Beleuchtung	
4.2.1 Aufgabenstellung	14
4.2.2 Zielsetzung	14
4.2.3 Ergebnis	14
4.3 Kostenermittlung Monitoring	
4.3.1 Aufgabenstellung	17
4.3.2 Zielsetzung	17
4.3.2 Ergebnis	20
4.4 Abstimmen, überwachen und dokumentieren der geplanten Ausführungsdetails in der Ausführungsphase	
4.4.1 Aufgabenstellung	20
4.4.2 Zielsetzung	21
4.4.3 Ergebnis	21
4.5 Dokumentation in Buchform	
4.5.1 Aufgabenstellung	27
4.5.2 Zielsetzung	27
4.5.3 Ergebnis	27
4.6 Planung und Umsetzung einer biodynamisch wirksamen Kunstlichtanlage.....	28
4.7 Betrieb einer biodynamisch wirksamen Kunstlichtanlage	39

4.8	qualifiziertes Energiemonitoring.....	39
5.	Fazit.....	40
5.1	Förderung der investiven Mehrkosten der versetzbaren Fassadenelemente des mitwachsenden Holzbaus.....	40
5.2	Abstimmen, überwachen und dokumentieren der geplanten Ausführungsdetails in der Ausführungsphase.....	40
5.3	Elektroplanung.....	40
5.4	Planung und Umsetzung einer biodynamisch wirksamen Kunstlichtanlage.....	40
5.5	Humanbiologische Begleitforschung.....	43
5.5.1	Ziel der humanbiologischen Begleitforschung.....	43
5.5.2	Untersuchungsdesign	43
5.5.3	Zusammenfassung der Ergebnisse für das erste Untersuchungsjahr	44
5.5.4	Zusammenfassung der Ergebnisse für das zweite Untersuchungsjahr.....	45
5.5.5	Gesamtbewertung	47
5.6	Betrieb einer biodynamisch wirksamen Kunstlichtanlage.....	48
5.7	qualifiziertes Energiemonitoring.....	48

1. Verzeichnis von Bildern Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

S. 15	Ergebnis Lichtberechnung	Büro 3lpi
S. 15	Blick in die Produktionshalle	Fotoarchiv Büro 3lpi
S. 16	Leuchtdichte – Blick Längs zur Halle	Büro 3lpi
S. 16	Leuchtdichte – Blick quer zur Halle	Büro 3lpi
S. 18	Schema Energiedatenaufnahme	Büro 3lpi
S. 18	Wärmeerbrauch Produktionsanlagen	Büro 3lpi
S. 19	Stromverbrauch Produktionsanlagen	Büro 3lpi
S. 19	Schema Zählermanagementstruktur	Büro 3 lpi
S. 21	Detail Pfosten Verglasung Süd	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 22	Skizze Pfosten-Riegel-Fassade Süd	Skizze Fa. Gump & Maier
S. 22	Detail Pfosten-Riegel-Fassade	Werkplanung Fa. Gump & Maier
S. 23	Schnitt Fassade Süden Montagefolge	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 23	ob. Anschluss Pfosten-Riegel Fassade	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 24	Sockelausbildung – Montageabfolge	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 24	Ansicht Südfassade	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 25	Schnitt Westfassade Montagefolge	Ausschnitt Ausführungsplanung
S. 26	Versetzen Holzelemente Südfassade	Fotoarchiv Büro Kaufmann
S. 26	Elementstoß Westfassade	Fotoarchiv Büro Kaufmann
S. 28	Kunstlichtszene Haupthalle	Fotoarchiv Zumtobel
S. 31	Sheddach m. Fensterband Nord	Fotoarchiv Büro 3lpi
S. 32	Auszug von Iterationsschnitten Halle	Büro 3lpi
S. 33	Falschfarbenbilder d. Leuchtendichte	Büro 3lpi
S. 33	Transmissionsunterschiede Gläser	Büro 3lpi
S. 34	Transmissionsgrad Gläser	Büro 3lpi
S. 35	Tageslichtbeleuchtungsstärkeverlauf	Büro 3lpi
S. 36	Spektralverlauf Innenraum	Büro 3 lpi

S. 36	Systemschnitt Kunstlichtkomponenten	Büro 3 Ipi
S. 37	Reflexionsdaten von Anstrichen	Büro 3Ipi
S. 38	Falschfarbendarstellung Zylindrischer Beleuchtungsstärke	Büro 3Ipi
S. 39	Tageszeitabhängige Programmierung der Komponenten	Büro 3Ipi
S. 41	Messwerte Beleuchtungsstärken	Büro Veit
S. 42	Kostenvergleich Kunstlichtanlagen	Büro Veit
S. 44	Zeitl. Ablauf Begleituntersuchung	Hochschule München
S. 45	Statistik Wohlbefinden - Sommer	Hochschule München
S. 45	Statistik Wohlbefinden – Winter	Hochschule München
S. 47	Gesamtbewertung Wohlbefinden	Hochschule München

Anlagen

- Tischvorlage 1 – Schlussbericht „qualitatives Energiemonitoring“
- Tischvorlage 2 – Plausibilitätsprüfung erster Messdaten
- Tischvorlage 3 – Vergleich Kunstlichtstrombedarf mit gemessenem Verbrauch
- Tischvorlage 4 – Ergebnisse der vergleichenden Lichtmesskampagne
- Tischvorlage 5 – AV1 - qualitatives Energiemonitoring
- Tischvorlage 6 – AV2 - qualitatives Energiemonitoring
- Tischvorlage 7 – AV3 - qualitatives Energiemonitoring
- Tischvorlage 8 – Reporting Juli 2015 – Monitoring Monat 1
- Tischvorlage 9 – Reporting August 2015 – Monitoring Monat 2
- Tischvorlage 10 – Reporting September 2015 – Monitoring Monat 3
- Tischvorlage 11 – Reporting Oktober 2015 – Monitoring Monat 4
- Tischvorlage 12 – Reporting November 2015 – Monitoring Monat 5
- Tischvorlage 13 – Reporting Dezember 2015 – Monitoring Monat 6
- Tischvorlage 14 – Reporting Januar 2016 – Monitoring Monat 7
- Tischvorlage 15 – Reporting Februar 2016 – Monitoring Monat 8
- Tischvorlage 16 – Reporting März 2016 – Monitoring Monat 9
- Tischvorlage 17 – Reporting April 2016 – Monitoring Monat 10

-
- Tischvorlage 18 – Reporting Mai 2016 – Monitoring Monat 11
 - Tischvorlage 19 – Reporting Juni 2016 – Monitoring Monat 12
 - Tischvorlage 20 – kontinuierliches Energiemonitoring
 - Tischvorlage 21 – Datenblatt Helligkeits- und Temperatursensor
 - Tischvorlage 22 – Datenblatt Rogowski Spulen
 - Tischvorlage 23 – Datenblatt Stromzähler Schaltschränke
 - Tischvorlage 24 – Datenblatt Wärmehähler – Rechenwert T550-UC50
 - Tischvorlage 25 – Wärmehähler – T550-UC50 - Bedienungsanleitung

2. Zusammenfassung

Bei der Planung und Umsetzung des neuen Werkstättengebäudes für die IWL Landsberg wurde besonderes Augenmerk auf die Entwicklung ressourcenschonender Bauteile und Produkte gelegt. Das heißt, innovative Bauteile, Baustoffe, Konstruktionen sowie technische Gebäudeausrüstungen unter den Kriterien der Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung.

Erreicht wurde dies durch einen interdisziplinären und gesamtheitlichen Planungsansatz. Schon im Vorfeld wurden sämtliche Fachplaner, aber auch zum Teil ausführende Firmen, in den Planungsprozess integriert, um diese hochgesteckten Ziele zu erreichen.

Das Gebäude ist so konzipiert, dass es in zwei Richtungen erweitert werden kann und zwar so, dass die Fassadenelemente möglichst zerstörungsfrei entfernt und wieder als Gebäudehülle verwendet werden können.

Als Baumaterial wurden zum Großteil nachwachsende Materialien verwendet.

Die Holzbauweise bietet eine gute Grundlage zur Erreichung der Ziele eines energieeffizienten Bauens. Diese Idee und die Konstruktion ist auch außen am Gebäude ablesbar – naturbelassenes Holz an der Fassade zeigt diese Grundhaltung in einem sonst eher durch nüchternen Funktionalismus geprägten architektonischen Umfeld.

Folgende Firmen waren an der Planung und Monitoring beteiligt:

Prof. DI Hermann Kaufmann, Architekten Hermann Kaufmann ZT GmbH
M.Eng.Dipl.-Ing.(FH) Florian Hausladen, Hausladen Ingenieurbüro GmbH
Herr M.Sc. Martin Veit, Veit Energie Consult GmbH
Herr Alexander Gumpp, Gumpp & Maier GmbH

3. Einleitung

Die ISAR-WÜRM-LECH IWL Werkstätten (kurz: IWL GmbH) ist eine gemeinnützige Einrichtung der beruflichen Rehabilitation für Menschen mit Behinderung. Sie beschäftigt derzeit 200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Landsberg am Lech, München und Machtlfing, sowie Garching und Unterschleißheim. Als mittelständisches Unternehmen erwirtschaftete die IWL GmbH im Jahr 2010 einen Jahresumsatz von 18,3 Mio. Euro. In Landsberg betreibt die IWL GmbH zwei Betriebe. Im Betrieb Landsberg am Lech, Rudolf-Diesel-Straße werden Menschen mit geistiger- und/oder Mehrfachbehinderung beschäftigt. Diesen Menschen bietet die IWL GmbH Teilhabe am Arbeitsleben und berufliche Qualifizierung. Die IWL GmbH plant, den Produktionsstandort in Landsberg am Lech auszubauen. Zudem soll mittelfristig der Betrieb, welcher für die Qualifizierung von psychisch erkrankten Menschen zuständig ist, auf dem eigenen Grundstück angesiedelt werden. Es ist eine schrittweise Erneuerung und damit einhergehend die Weiterentwicklung der Produktionsstätten auf dem erworbenen und bereits freigeräumten Nachbargrundstück umzusetzen. Die Entwicklung wird sich über mehrere Bauabschnitte erstrecken, somit musste bereits für die erste Planung eine Gesamtkonzeption entwickelt werden. Diese erfolgte in Form eines Wettbewerbes. Aus 5 eingereichten Vorschlägen wurde das Projekt des Büros Architekten Hermann Kaufmann ZT GmbH aus Schwarzach ausgewählt. Das Projekt soll sehr hohen ökologischen Ansprüchen entsprechen.

Bei der jetzt umgesetzten ersten Baustufe handelt es sich um das Werkstättengebäude, das die Tischlerei samt Zentrallager sowie den IWL-Laden inkl. Kommissionierschreinerei aufnimmt, im Obergeschoss sollen teilweise Büroflächen und Montageflächen entstehen. Dieser Bauteil soll modular wachsen können, was durch die vorliegende Planung aus dem Wettbewerb belegt ist.

Das gesamte Bauvorhaben soll möglichst mit nachwachsenden Rohstoffen ausgeführt werden, ebenso soll ein vorbildlicher Energiestandard umgesetzt werden. Das erfordert eine innovative Planung, für die Konzeption dieses flexiblen und mitwachsenden Holzbaus mit optimierter Energieeffizienz sind vernetzte Betrachtungsweisen sowie ein interdisziplinärer und ganzheitlicher Planungsprozess notwendig.

Folgende Zielsetzungen wurden dabei verfolgt:

- die Entwicklung eines optimierten und möglichst hohen Vorfertigungsgrades des Holzbaus
- die Entwicklung vorgefertigter flexibler Elemente für den mitwachsenden Holzbau
- Erarbeitung einer Musterlösung für eine energieverlustarme LKW-Anlieferung
- Optimierung des Projektes in energetischer Hinsicht und Festlegung eines wirtschaftlich darstellbaren Energiestandards
- spezielle thermische Simulation zur Erarbeitung der Kriterien für den optimierten Energiestandard

-
- Erstellung eines Energieausweises gemäß EnEV 2009
 - Wärmebrückenoptimierung
 - Untersuchung eines möglichen Synergieeffektes für die Gebäudeheizung über die Sprinkleranlage
 - Entwicklung einer Masterplanung der Energieversorgung
 - innovative Tageslicht- und anwesenheitsabhängige LED-Beleuchtung in Industrieanlagen
 - Energiemonitoring mit visueller Darstellung der Energieströme innerhalb des Gebäudes

Verfolgt und erreicht wurden die Ziele durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit der einzelnen Fachplaner unter Einbeziehung auch von ausführenden Firmen. Komplexe Bauaufgaben dieser Art verlangen von allen an der Planung und Ausführung Beteiligten, eine Zusammenarbeit die über die Grenzen des eigenen Fachgebietes hinaus reicht. Die Verfolgung eines gemeinsamen Zieles, dass durch die Definition ein ressourcenschonendes im weitesten Sinn auch benutzer- und umweltfreundliches Gebäude zu erstellen ist - auch bedingt durch das Bewusstsein für einen speziellen Nutzerkreis tätig zu sein - hat dies hier aber einwandfrei ermöglicht.

4. Hauptteil

4.1 Förderung der investiven Mehrkosten der versetzbaren Fassadenelemente des mitwachsenden Holzbaus

4.1.1 Aufgabenstellung

Das Projekt zeichnet sich durch einen ganzheitlichen Planungsansatz aus, der bereits mehrere mögliche Baustufen in das Gesamtkonzept miteinbezieht. Bereits schon bei der ersten Baustufe wird starkes Augenmerk auf die Eignung der einzelnen Elemente für zu erwartende Veränderung gelegt. Es ist zu erwarten, dass das Wachstum in absehbaren Zeitspannen erfolgen wird und somit ist es sinnvoll, die Bauteile, die flexibel ausgeführt werden müssen, so zu konzipieren sind, dass sie möglichst zerstörungsfrei in ihre neuen Lagen versetzt werden können. Das gilt für Außenwände, die bei einer Erweiterung der Werkstätten wiederverwendet werden sollten. In der ersten Planungsstufe wurden diese auf Grundlage des Endausbaukonzeptes bestimmt und für diese prototypischen Detaillösungen, die eine zerstörungsfreie Demontage von Außen- und Innenwandelementen für einen Gewerbebau ermöglichen, entwickelt. Die einzelnen Elemente wurden so konzipiert, dass sie auch beweglich bleiben, das heißt mit vertretbarem Aufwand in ihre neue Lage versetzt werden können. Dabei wurde keine Systemwand entwickelt, wie sie im Bürobau bereits angewendet werden als flexible Bürotrennwände, denn dazu sind die Anforderungen und Funktionalitäten im Gewerbebau zu unterschiedlich. Augenmerk wurde auf prototypischen Detaillösungen gelegt

4.1.2 Zielsetzung

Die Versetzbarkeit von Fassadenelementen erfordert komplexere Konstruktionsaufbauten um sie transportabel zu halten sowie aufwendigere Anschlussdetails, die ein zerstörungsfreies demonstrieren ermöglichen.

Ebenso treten Mehrkosten in den Fundamentbereichen auf, denn auch die Sockelkonstruktionen müssen beweglich gehalten werden um sie wieder zu verwenden und um später aufwendige Rückbaumaßnahmen zu vermeiden.

Ziel soll es sein, die Kosten dieser umgesetzten flexiblen Konstruktionsaufbauten und –anschlüssen mit herkömmlichen Bauweisen und Verbindungsmitteln zu vergleichen.

4.1.3 Ergebnis

Gegenüber herkömmlichen Bauweisen und Verbindungsmitteln setzen sich die Mehrkosten für die Herstellung und Montage der flexiblen Fassadenelemente wie folgt zusammen:

Mehrkosten Fundamente:	Fassade Süd	9.225,21
	Fassade West:	6.362,21

Mehrkosten Fassadenelemente:	Glasfassade Süd:	23.240,70
	Holzfassadenelemente Süd:	1.500,00
	Vordach Süd:	5.000,00
	Holzfassadenelemente West:	3.000,00

4.2 Kostenermittlung Beleuchtung

4.2.1 Aufgabenstellung

Untersuchung und Definition von Beleuchtungsstandart die den Menschen in einem Produktionsgebäude ein Arbeitsumfeld bietet das die Konzentrations- und Leistungsfähigkeit erhält / erhöht und den Bedürfnissen der Mitarbeiter dauerhaft entspricht.

4.2.2 Zielsetzung

Definition von Beleuchtungsstandard die den Menschen in der Produktion und Verwaltung, ein nach Ihren physischen und psychischen Bedürfnissen optimiertes Arbeitsumfeld bietet. Am Beispiel von jeweils 3 Arbeitsplätzen in der Produktion und Verwaltung wird ein optimaler Beleuchtungsstandard mit LED definiert und bestimmt. Durch eine Variantenuntersuchung ist eine Optimierung der Position, Helligkeit, Lichtfarbe und Regelung der Beleuchtungssteuerung möglich. Um die Qualität der Beleuchtungsanlage / -steuerung inkl. Tageslichtnutzung optimieren zu können, sollen für jeweils drei exemplarische Varianten eine Beleuchtungssimulation inkl. Praxistest und Nutzerbefragung durchgeführt werden.

4.2.3 Ergebnis

Im Rahmen eines integrierten Planungsansatzes wurde ein Lichtkonzept entwickelt mit dem die Anforderungen erfüllt werden können. Betrachtet werden ausgewählte Kunstlichtvarianten die sämtlich die Anforderungen an eine normgerechte Beleuchtung von Industrieanlagen erfüllen. Ausgangsbasis bildet eine Standardbeleuchtungsanlage auf T16 Basis Leuchtstofflampen mit besonderen Augenmerk auf niedrige Investitionskosten. Energetische Einsparungen über Steuerungs- oder Regelungsautomatik sind bei dieser Variante 1 nicht vorgesehen. In einem Folgeschritt werden Automatisierung Komponenten integriert die zu niedrigeren laufenden Betriebskosten führen (Variante 1.1). Der Technologie-Wechsel zu hochwertigen LED-Leuchten erlaubt einen höheren effektiven Nutzlichtstrom im Verhältnis zur eingesetzten elektrischen Energiemenge. Dies führt zu weiteren Einsparungen. Die in Variante 2.1 betrachtet werden. Variante 2.2 verbessert die Ergonomie der Kunstlichtlösung über die Regelung, indem das Kunstlicht mit einer „Adaptiven Kunstlichtregelung (AKL)“ anstatt der Konstantlichtregelung ausgeführt wird. Variante 3.1 dient der biologischen Aktivierung des Kunstlichts, indem Verteilung und Lichtmenge opti-

miert werden – zu einer circadian wirksamen und die Raumgeometrie betonenden Beleuchtungslösung. Die Anlage wird mit einer Konstantlichtregelung ausgeführt. In dieser Variante wird der Bereich des Druckriegels nicht auf circadiane Wirksamkeit hin geregelt. Die Variante 3.2 entspricht der Vorvariante, jedoch mit einer “Adaptiven Kunstlichtregelung (AKL)” der Komponenten anstatt einer Konstantlichtregelung.

Die Variante 3.2 wurde im Rahmen einer Lichtberechnung simuliert und in ein Ausführungsdetail überführt.

Zielstellung Kunstlichtkonzept Halle (LV-Grundlage)

Werte bei 100% Lichtstrom aller Komponenten und Wartungsfaktor 0,67

Beleuchtungsstärke Horizontal H=85cm im Mittel: 821 Lux

Beleuchtungsstärke Vertikal H=150m im Mittel: 270 Lux melanopisch bewertet

Eh und Ev jeweils im Bereich Halle Sheddachversorgt

Ergebnisse Licht

1) Direktleuchte Graft

Eh 549 Lux

Ev(mel) 111 Lux

2) Indirektleuchte ScubaT16

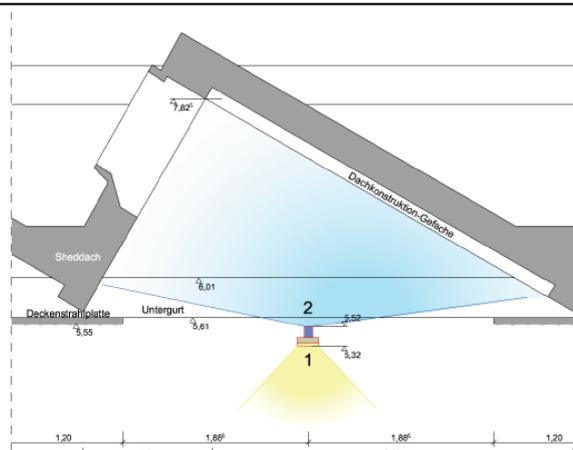
Eh 194 Lux

Ev(mel) 143 Lux

Summe Komponenten 1 und 2

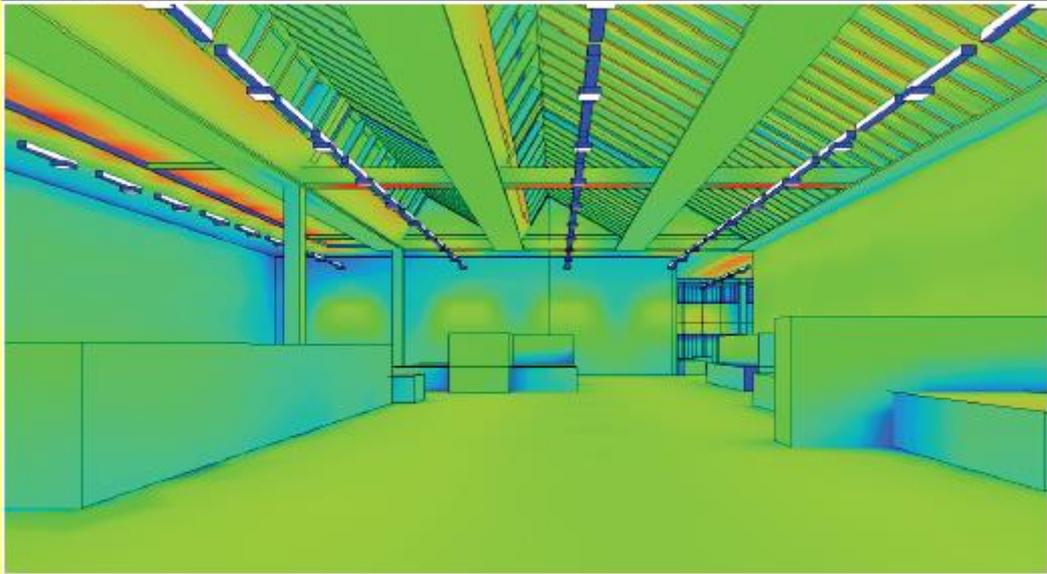
Eh 743 Lux

Ev(mel) 254 Lux

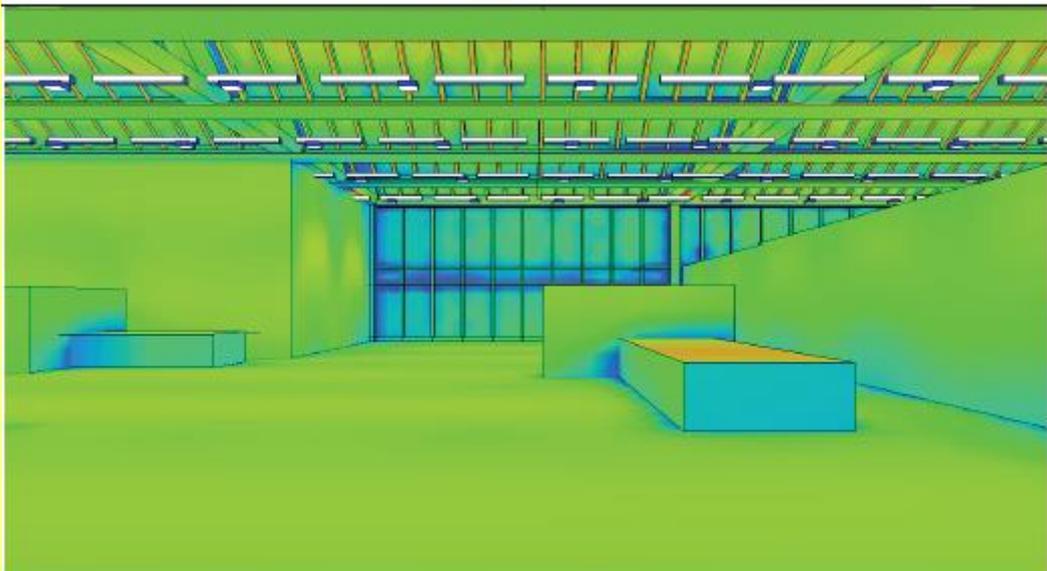


Blick in die Produktionshalle

Blick längs zur Halle



Blick Quer zur Halle



Skalierung



4.2.4 Ergebnis

Gegenüber herkömmlichen Beleuchtungsinstallation ergeben sich Mehrkosten in Höhe von 302.879,00 €

Diese Mehrkosten setzen sich wie folgt zusammen:

Mehraufwand - LED-Leuchten im Produktionsbereich	75.786,00 €
Mehrkosten Sensorik	21.325,00 €
Planungs - Mehraufwand	18.750,00 €
Inbetriebnahme, Betriebsoptimierung und Dokumentation	36.000,00 €
Mehraufwand - LED Leuchten im Bürobereich 1	46.232,00 €
Mehrkosten Sensorik	16.786,00 €
Planungs - Mehraufwand	8.750,00 €
Inbetriebnahme, Betriebsoptimierung und Dokumentation	12.000,00 €
Mehraufwand - LED Leuchten im Bürobereich 2	16.232,00 €
Mehrkosten Sensorik	5.786,00 €
Planungs - Mehraufwand	4.500,00 €
Inbetriebnahme, Betriebsoptimierung und Dokumentation	6.000,00 €
Mehraufwand - LED Leuchten im Bürobereich 3	18.232,00 €
Mehrkosten Sensorik	6.000,00 €
Planungs - Mehraufwand	4.500,00 €
Inbetriebnahme, Betriebsoptimierung und Dokumentation	6.000,00 €
	302.879,00 €

4.3 Kostenermittlung Monitoring

4.3.1 Aufgabenstellung

Schaffung einer visuell-grafischen Darstellung die den Energieverbrauch für Mitarbeiter in einem Produktionsbetrieb mit dessen komplexen Zusammenhängen möglichst einfach und verständlich für die Menschen im Unternehmen darstellt.

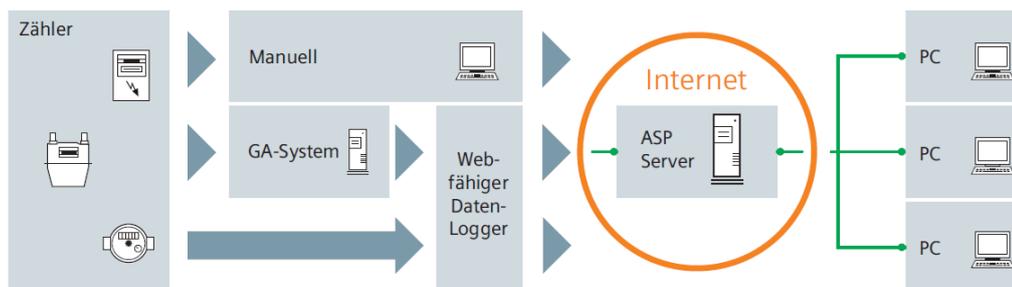
4.3.2 Ergebnis

Im Rahmen eines integrierten Planungsprozesses wurden mehrere Varianten untersucht

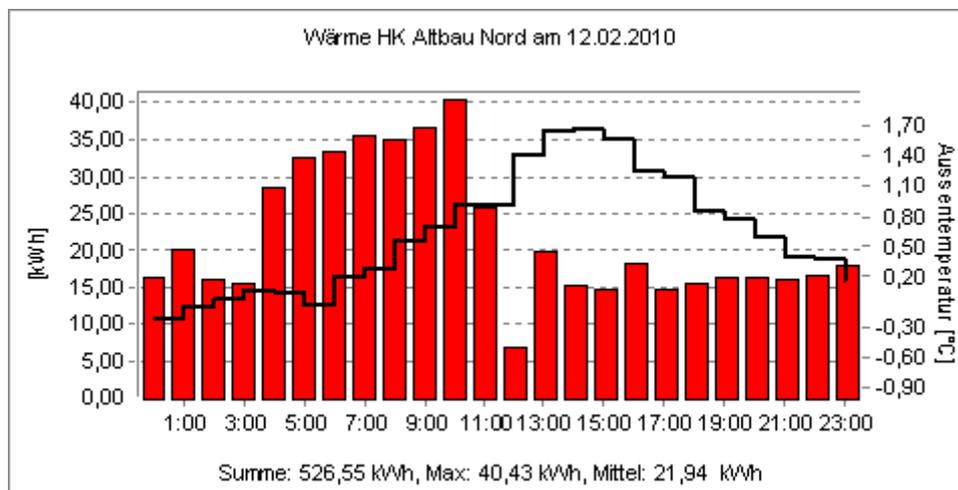
Die effektivste und dauerhaft günstigste Lösung die Energieverbräuche zu senken, bittet die Installation einer automatischen Verbrauchserfassung. Bei einen so genannten Energiezähler - Mangementsystem handelt es sich um eine Kommunikationsstruktur aus einem Datensammler mit einer Übertragungseinrichtung zu einer zentralen Rechneinheit.

Dieser speichert viertelstündlich die Zählerstände und übermittelt sie einmal täglich per Telefonmodem an Gebäudeleittechnik. Dort werden diese automatisch auf Grenzwertüberschreitungen überwacht und in einer Datenbank gespeichert. Diese Daten können online auch direkt vom jeweiligen verantwortlichen Mitarbeiter eingesehen werden.

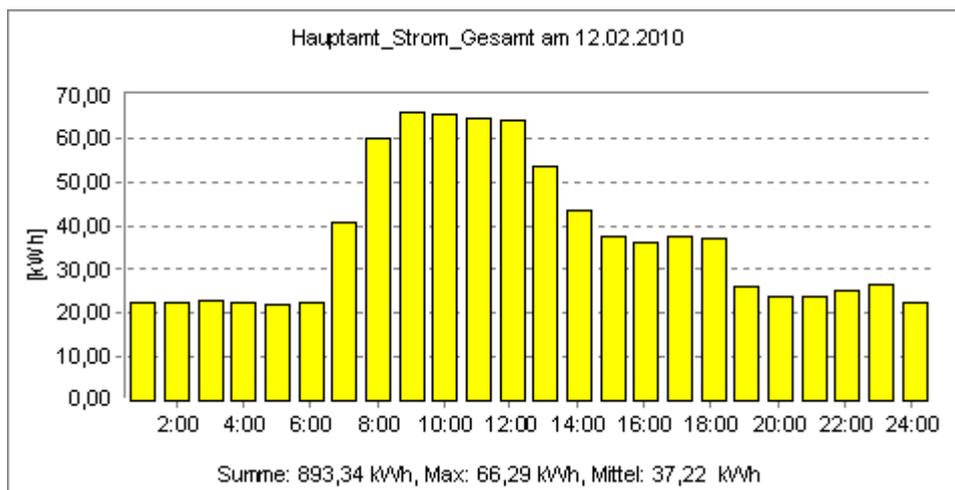
Eine schematische Darstellung der verschiedenen Energiedatenaufnahme finden Sie in der nachfolgenden Darstellung:



Beispielhaft werden nachfolgend Lastgänge des Wärme- und Stromverbrauchs Produktionsanlage dargestellt die mittels automatischer Verbrauchserfassung generiert werden.



Wärmebedarf in kWh in Abhängigkeit von der Außentemperatur.



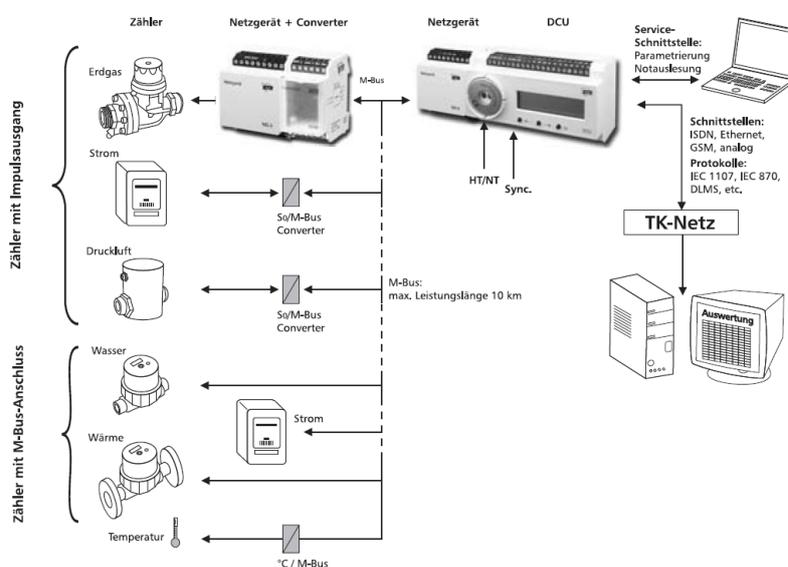
Stromverbrauch

Die Gewinnung der Verbrauchsdaten ist also auf vielfältige Weise möglich, in den meisten Fällen wird es anfänglich eine Kombination aus manuellen und automatischen Erfassungsmöglichkeiten sein. Die manuelle Ablesung sollte aber schrittweise durch eine automatische Datenerfassung ersetzt werden, da diese über einen längeren Zeitraum sicherlich die wirtschaftlichste und effektivste Methode darstellt.

Übersicht zu notwendigen Investitionen (Messtechnik, Steuerung, Datenverwaltung etc.)

Zum Aufbau einer Zählermanagementstruktur sind internetfähige Datensammler bzw. Datenlogger mit Telefonmodem in den jeweiligen Liegenschaften erforderlich die mit einer zentralen Datenbank verbunden sind. Aus dieser Datenbank werden dann diverse Auswertungen wie Lastprofile, Energiebericht, CO2 Bilanzen usw. generiert die online ausgelesen werden können.

Der Datenlogger mit Modem wird räumlich in die Nähe der Verbrauchszähler gesetzt und ist in der Lage mehrere Zählwertsignale über mehrere Tage zu speichern, bis die Daten über eine Telefonverbindung von den Zentralrechner in die Datenbank ausgelesen werden und dort für Auswertungen zur Verfügung stehen. Ein prinzipieller technischer Aufbau eines solchen Systems ist nachfolgend schematisch dargestellt.



4.3.3 Ergebnis

Die im Rahmen des Planungsprozesses definierten Zielsetzungen können mit marktüblichen Produkten realisiert werden. Durch die Kombination von gängigen Produkten können die gewünschten Ergebnisse mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand realisiert werden. Eine ggf. höhere Anfangsinvestition amortisiert sich durch die geringeren Betriebskosten, höhere Arbeitsplatzqualität innerhalb kürzester Zeit.

Gemäß Verwendungsnachweis - Detailkalkulation 10.11.2015

Kostenermittlung Monitoring	
Energiemonitoring Software - gewerkeübergreifendes Gebäudeleitsystem	25.000,00 €
Sensorik für das Gewerk Elektrotechnik	25.000,00 €
Sensorik für das Gewerk Heizung	35.000,00 €
EDV-Technische Ausstattung	18.500,00 €
Visualisierungs-Tool	15.000,00 €
Planung eines Messstellen-Konzepts	25.000,00 €
Erstellung eines Bewirtschaftungskonzepts	15.000,00 €
Erstellung eines Visualisierungskonzepts	20.000,00 €
Betriebsoptimierung Gewerk Elektrotechnik	24.000,00 €
Betriebsoptimierung Gewerk Heizung	24.000,00 €
Betriebsoptimierung Gewerk Beleuchtung	24.000,00 €
Optimierung der Betriebsstrategie	20.000,00 €
Optimierung der Energieverbrauchsvisualisierung	20.000,00 €
	290.500,00 €

4.4 Abstimmen, überwachen und dokumentieren der geplanten Ausführungsdetails in der Ausführungsphase

4.4.1 Aufgabenstellung

Die in der Planungsphase integral erarbeiteten Detaillösungen werden mit der ausführenden Firma in einem ersten Schritt auf ihre Tauglichkeit der Umsetzbarkeit überprüft. Details werden schon in der Werkplanung auf Grund von produktions- und montageteknischen Anforderungen angepasst und überarbeitet. Die daraus resultierenden Erfahrungen sind Teil des Forschungsauftrages und werden dokumentiert. In einem nächsten Schritt werden während der Produktion und der Errichtung des Holzbaus die in der Planung angenommenen Umstände und Abläufe auf deren Richtigkeit untersucht. Diese Beobachtung der Detaillösungen wird bis ca. 24 Monate nach der Fertigstellung des Gebäudes weitergeführt, um eventuelle Wechselwirkungen der unterschiedlichen Bauteile bzw. deren Resistenz gegen äußere Einflüssen protokollieren zu können.

4.4.2 Zielsetzung

Die erarbeiteten Detaillösungen sollen in Zusammenarbeit mit der ausführenden Firma optimiert und in Folge umgesetzt werden. Am Ende des Beobachtungszeitraumes werden die speziell erarbeiteten und umgesetzten Detaillösungen auf Ihre Gebrauchstauglichkeit überprüft und in Bezug auf Ihre Dauerhaftigkeit, Formstabilität undgl. beurteilt.

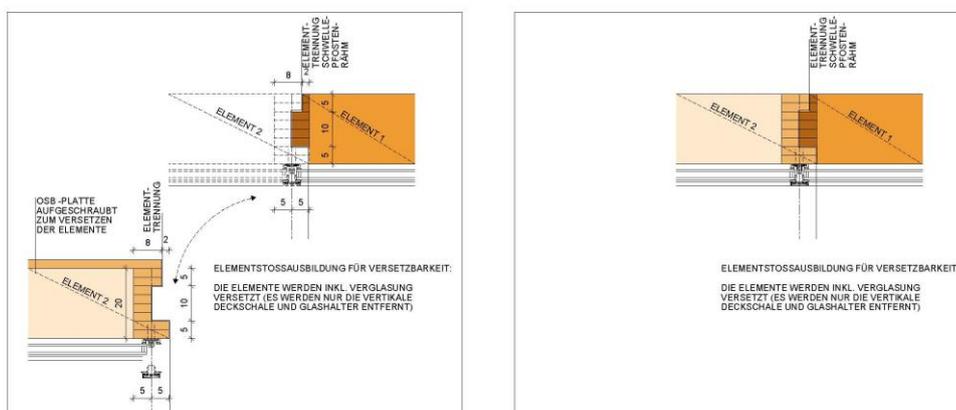
4.4.3 Ergebnis

Der Holzbau eignet sich durch die Möglichkeit einer umfassenden Vorfabrikation im Werk und einem raschen Versetzen auf der Baustelle auch später hervorragend dafür, die Elemente wieder zu demontieren. Nach der Demontage können sie, bei einer entsprechenden Wahl der Verbindungsmittel, ohne größere Beeinträchtigung wieder an neuer Stelle eingebaut werden.

Beim Ortsaugenschein vom 11.8.2016 hat sich herausgestellt, dass die Gebrauchstauglichkeit aller Detailpunkte ohne sichtbarer Veränderung im Hinblick auf Dauerhaftigkeit, Dichtheit und Formstabilität gegeben ist.

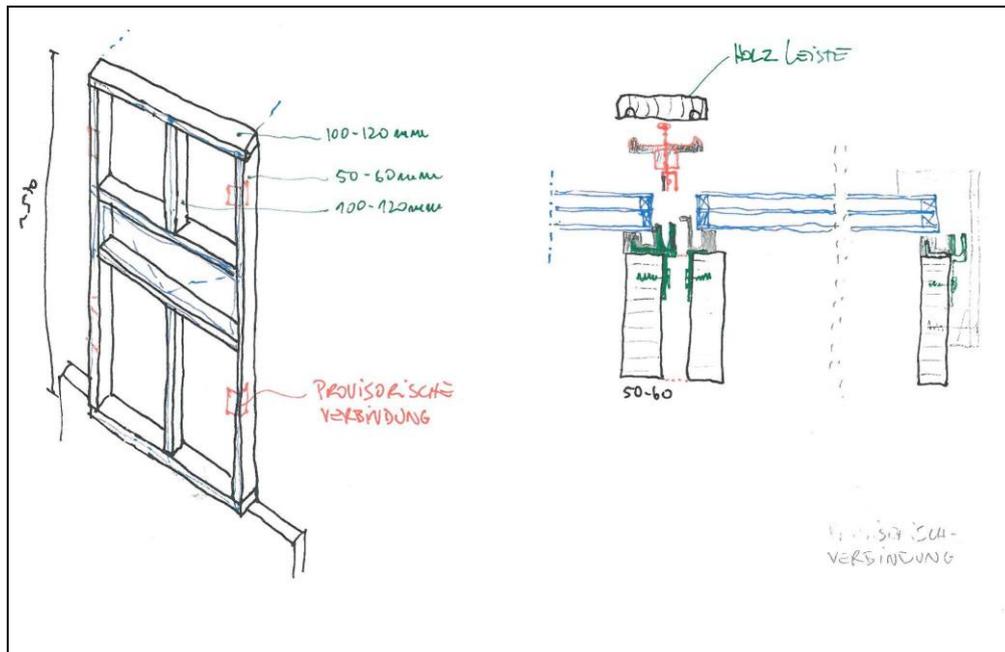
4.4.3.1 Südfassade

Der Großteil der Südfassade besteht eigentlich aus einer Pfosten-Riegel-Fassade. Beim Versetzen der Fassade könnte das Glas entfernt und die Holzkonstruktion demontiert und versetzt werden. Dabei ist aber der Arbeitsaufwand sehr groß und das Problem der Zwischenlagerung für die entfernten Glasscheiben stellt sich. Es wurde Versucht ein Weg zu finden, bei dem die Glasscheiben mit der Konstruktion entfernt werden können. Dabei stellt sich das Problem, wie sonst im Elementbau auch, wie die Elementstöße ausgebildet werden. Hier gab es mehrere Entwicklungsschritte und Ideen. Der Weg führte über zwei gekoppelte Pfosten mit jeweils einem Aufsatzprofil zu der Idee den Pfosten so zu teilen, dass das Aufsatzelement am Pfosten verbleiben kann. Gehthalten wird dann die Verglasung beim Versetzen nur durch die horizontalen Klemmleisten.

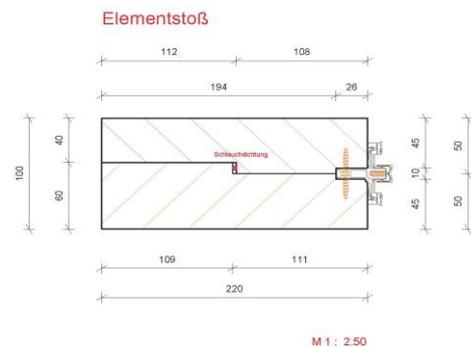


Detail Pfosten bei der Verglasung Südfassade

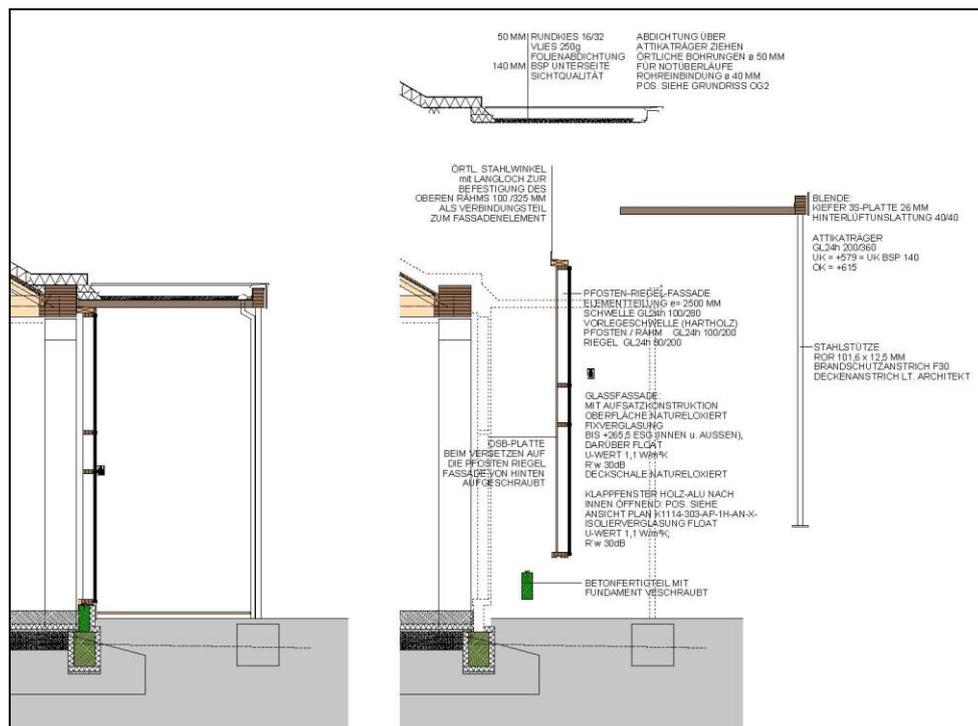
Die Idee wurde dann aber noch weiterentwickelt. Es gibt am Markt von der Firma Raico ein Aufsatzprofil, das in sich schon geteilt ist. Damit kann der Querschnitt des Pfostens etwas weniger aufwendig gestaltet werden. Ein geteilter Pfosten auf den das geteilte Aufsatzelement montiert wird bietet die optimale Lösung für die Versetzbarkeit der Elemente. Für diese Variante hat man sich dann auch in der Ausführung entschieden.



Skizze Pfosten-Riegel-Fassade Süden

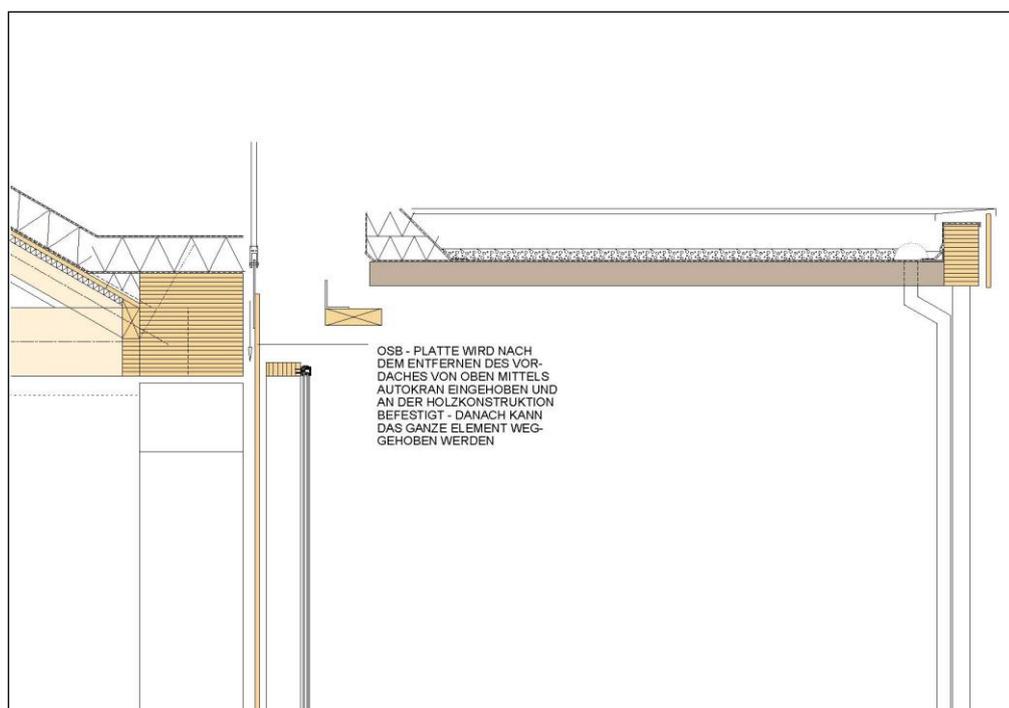


Detail Werkplanung Fa. Gump & Maier



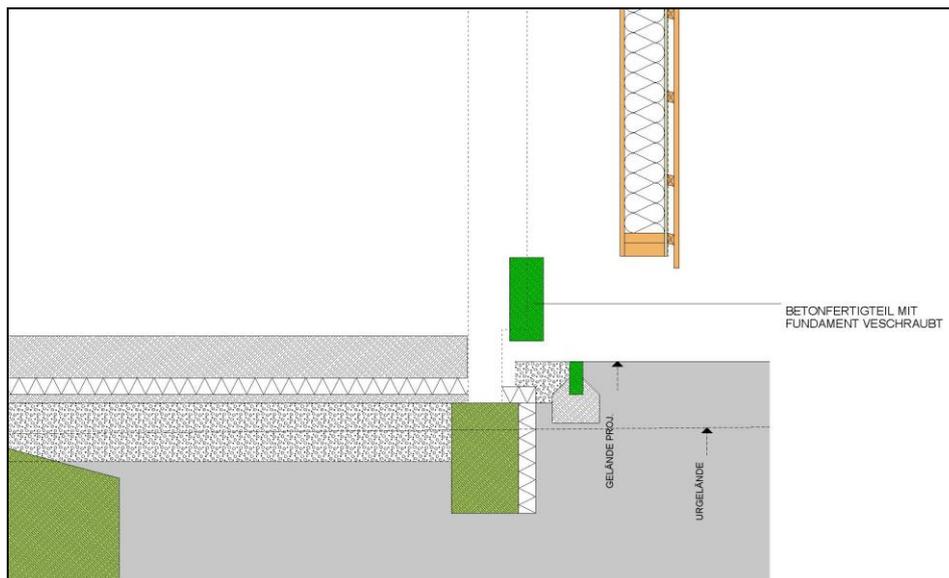
Schnitt Pfosten-Riegel-Fassade Süden Montageschritte

Damit ist es möglich das Element mit der Verglasung zu versetzen. Das Vordach wird entfernt. Der obere Anschluss ist so gestaltet, dass danach von oben über die gesamte Elementbreite eine Holzplatte nach unten eingeschoben werden kann. An dieser Holzplatte wird die Konstruktion von innen befestigt und mit dem Glas nach oben weggehoben. Nach der Zwischenlagerung können die Elemente wieder analog dem Entfernen in die Gebäudehülle integriert werden.



Oberer Anschluss Pfosten-Riegel-Fassade Süden

Die Holzelemente der Fassade und auch die Pfosten-Riegel-Fassade, stehen nicht direkt auf der Bodenplatte auf. Damit sie Spritzwasser geschützt sind und auch um der aufsteigenden Feuchtigkeit keine Möglichkeit zum Eindringen zu bieten, sind sie auf einer ca. 20 Zentimeter hohen Betonaufrichtung aufgesetzt. Bei einer Erweiterung der Halle ist natürlich diese Aufrichtung im Weg. Es wurde beschlossen, diesen Betonriegel nicht wie üblich aus Ortbeton herzustellen, sondern stattdessen ein Betonfertigteile zu verwenden. Dieses Fertigteile ist mittels Schrauben mit dem darunter liegenden Ortbetonstreifenfundament verbunden. So kann es leicht entfernt werden. Die neue Bodenplatte wird dann direkt an die bestehende Platte angeschlossen und die Fertigteile können wiederverwendet werden.



Sockelausbildung

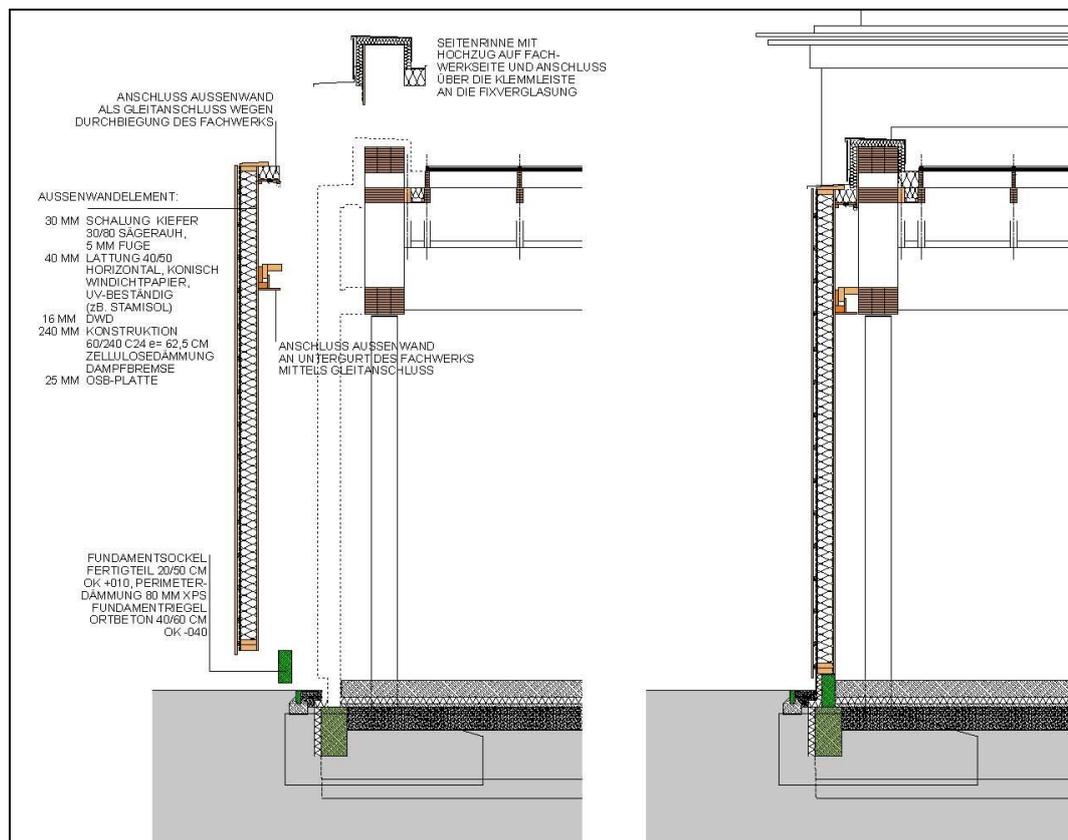


Ansicht Südfassade

4.4.3.2 Westfassade

Auch die Westfassade ist flexibel gestaltet, da das Gebäude auch in diese Richtung eine Erweiterung ermöglichen soll. Hier stellen sich die gleichen Probleme wie an der Südseite. Der untere Anschluss wurde gleich gelöst – ein verschraubtes Betonfertigteile übernimmt die Rolle der Sockelausbildung und kann bei Bedarf leicht entfernt werden.

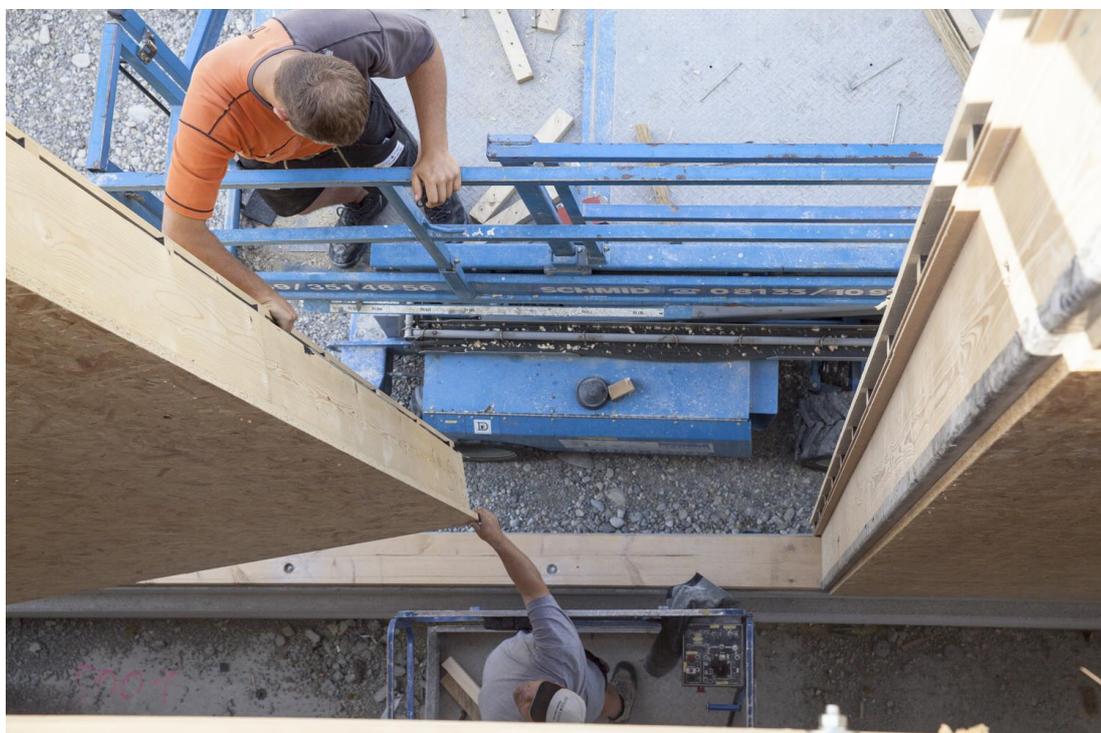
Da die Wand aber versetzbar sein muss kann sie keine Lasten aus dem Träger übernehmen. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass der Fachwerkträger an der Fassade sehr große Verformungen aufweist. Diese Verformungen können nicht in die Wandelemente eingeleitet werden und die Wandelemente können die Verformungen nicht aufnehmen. Die Einzige Möglichkeit um keine Bauschäden zu produzieren ist ein Entkoppeln von Tragwerk und Wandelement. Die Wand wurde mit einem deutlichen Abstand zum Träger errichtet und über einen Gleitanschluss horizontal an das Tragwerk angebunden.



Schnitt Westfassade Montagefolge



Fassadenelemente Südfassade



Elementstoß Westfassade

4.5 Dokumentation in Buchform

4.5.1 Aufgabenstellung

Erarbeitung einer Buchpublikation mit ca. 120 Seiten unter Einbeziehung eines Grafikers und eines Verlages.

4.5.2 Zielsetzung

Nachdem der Beobachtungszeitraum abgeschlossen ist, entsteht nun eine Monografie des neuen Werkstättengebäudes mit Darstellung sämtliche Erkenntnisse aus den beiden Forschungsprojekten.

4.5.3 Ergebnis

Noch offen

4.6 Planung und Umsetzung einer biodynamisch wirksamen Kunstlichtanlage

Überblick/Aufgabenstellung/Ausgangssituation



Abbildung 1 – Kunstlichtlichtszene in der Haupthalle (Kunstlicht-Dimmlevel bei 100%); Quelle: Zumbel

Seit der erstmaligen Beschreibung eines neu entdeckten Photorezeptors im Auge des Menschen im Jahr 2001 hat sich die Wissenschaft intensiv mit den Konsequenzen dieser Entdeckung beschäftigt. Heute ist gut belegt, dass durch Licht auch biologische Wirkungen über das Auge vermittelt werden und nicht nur der reine Sehvorgang. Biologische Effekte wie die Steuerung des Hormonhaushaltes, die Regulation des gesunden Schlafes und die Leistungsfähigkeit werden durch diesen neu entdeckten Photorezeptor über die Detektion hauptsächlich des blauen Spektralanteils von (Tages-)Licht ermöglicht.

Die klassische Lichtplanung befasst sich, von wenigen Ausnahmen abgesehen, ausschließlich mit den visuellen Wirkungen des Lichtes. Im Projekt Neubau IWL sollte über diese Anforderung hinaus eine biologisch wirksame Beleuchtungslösung konzipiert, geplant und ausgeführt werden. Will man diese Wirkungen planen und messtechnisch erfassen, müssen die bisherigen beschreibenden Parameter der Lichttechnik erweitert werden. Die $v(\lambda)$ -Kurve, die in den 1920er Jahren definiert wurde, ist für die Bewertung der nicht-visuellen Wirkungen von Licht über das Auge nicht ausreichend.

Im Jahre 2006 wurde begonnen, die wissenschaftlichen Ergebnisse aus der humanbiologischen Forschung in die Lichttechnik zu überführen. Vom Normenausschuss Lichttechnik (FNL) wurde erst eine Vornorm (DIN V 5031-100) entwickelt, die nun in der Version von 2009 verfügbar ist und weiterfüh-

rend als DIN SPEC 5031-1001 veröffentlicht ist. Dieses Dokument beschreibt die Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren zur messtechnischen Erfassung von nichtvisuellen Wirkungen. Ergänzend dazu wurde der Fachbericht DIN SPEC 67600 im Jahre 2013 veröffentlicht, der Planungsempfehlungen für circadian wirksame Beleuchtung enthält und für dieses Projekt als Basis für die biologischen Anforderungen diente.

Ist eine Planung für biologische Lichtwirkung überhaupt erforderlich? Kann bei guter Tageslichtversorgung der Innenräume oder einem hohen Kunstlichtangebot automatisch von einer biologischen Wirksamkeit ausgegangen werden? Folgende Thesen zeigen, weshalb es dies in einer dezidierten Planung zu hinterfragen gilt:

In der klassischen Kunstlichtplanung wird in der Regel ein Fokus auf horizontale Beleuchtungsstärken gelegt. Für die biologische Wirksamkeit ist die Helligkeit am Nutzerauge entscheidend. Ein gezieltes Überschreiten der biologischen Wirkschwelle ist ohne deren eigenständige Planung eher unwahrscheinlich.

Berechnungen in der Planung basieren zudem auf der Empfindlichkeit des Menschen im visuellen Spektrum. Kunstlichtquellen besitzen jedoch in vielen Fällen einen biologischen Wirkfaktor kleiner 1,0². Zudem haben die Reflektionseigenschaften von Oberflächen einen erheblichen – oftmals nachteiligen – Einfluss auf die spektrale Zusammensetzung des Lichtes wenn es letztendlich das Auge erreicht.

Besonders wirksam hat sich bei gleicher Dosis eine Verteilung der Helligkeit über einen großen Raumwinkel gezeigt. Bei vielen Anlagen wird jedoch aus energetischen Gründen ein Indirektanteil gar nicht oder nur in geringem Umfang vorgesehen.

Tageslicht, mit einem i.d.R. hohen biologischen Wirkfaktor, ist unter den richtigen Umständen ausreichend um die biologische Wirkschwelle zu erreichen. Arbeitsplätze sind aus Gründen der Blendungsbegrenzung jedoch selten direkt auf Fensterflächen ausgerichtet, sondern häufig in einem 90° Winkel zur Fassade. Dies reduziert die Helligkeit am Auge deutlich.

Biologische Aktivierung ist vor allem in den Morgenstunden erforderlich. Abhängig von der Jahreszeit ist das Tageslicht nicht ausreichend, um die gewünschte biologische Wirkung in dieser Zeit zu erreichen.

Damit biologisch wirksames Licht unter wirtschaftlichen, energetischen und ökologischen Gesichtspunkten sinnvoll umgesetzt werden kann, ist demnach eine Tages- und Kunstlichtplanung sowohl nach klassischen als auch nach circadianen Gesichtspunkten notwendig. Da die dezidierte Lichtplanung im Projekt vergleichsweise spät in der integralen Planungsphase eingebunden wurde, war der Einfluss auf Geometrie und Position Tageslichtöffnungen nur noch begrenzt möglich.

¹ DIN SPEC: Dokumente die zusätzlich zur konsensbasierten Normung vom DIN veröffentlicht werden.

² Bei einem biologischen Wirkfaktor von 1,0 entspricht 1 Lux Beleuchtungsstärke 1 Lux melanopisch bewerteter (biologisch wirksamer) Beleuchtungsstärke

Dennoch konnte die nutzbare Tageslichtmenge im Raum im Zuge der Planung erheblich erhöht und das Blendungsrisiko gleichzeitig sogar verringert werden. Die Tageslichtsituation im Raum war die Ausgangsbasis für die biologisch wirksame Beleuchtungsanlage, die das Tageslicht energetisch sinnvoll ergänzen sollte. Um dieses Angebot sowohl für die klassischen Aufgaben der Lichtplanung, als auch der biologisch wirksamen Beleuchtung zu ermitteln, wurde ein Jahresgang des Tageslichts für horizontale und vertikale Beleuchtungsstärken an wichtigen Nutzerpositionen simuliert. Neben der in der Planungspraxis geläufigen Tageslichtautonomie zur Bewertung der Tageslichtversorgung wurde erstmals eine „circadian-Autonomie“ (siehe Kapitelabschnitt „Tageslicht“) aus der Simulation ermittelt. Diese erlaubt eine vergleichbare Einschätzung im Hinblick auf die circadianen Anforderungen.

Die auch biologisch wirksame Kunstlicht-Beleuchtung wurde als Zwei-Komponenten-Anlage konzipiert, deren LED-Direktlicht die Erfüllung aller Sehaufgaben bei energetisch sehr geringem Aufwand erlaubt. Durch eine T16-basierte Indirektkomponente mit sehr hoher Farbtemperatur wird schließlich die biologische Wirkschwelle am Auge erreicht. Da biologisch wirksames Licht spektral anders bewertet wird als das sichtbare Licht, wurde eine Reihe von Holzanstrichen bzgl. ihrer spektralen Reflexion vermessen und die Ergebnisse zurück in die Planung überführt.

Mit der Berechnung von flächenaufgelösten zylindrischen Beleuchtungsstärken unter Berücksichtigung der spektralen Eigenschaften von Leuchten und Oberflächen wurde der klassische Planungsprozess konsequent erweitert.

Eine eigens für das Projekt entwickelte Strategie des Lichtmanagements trug dem energetisch und wirtschaftlichen Betrieb ebenso Rechnung, wie der biologischen Wirksamkeit. Dies gelang durch die Verknüpfung der Kunstlichtkomponenten mit dem Tageslichtangebot, sinnvoller Zonierung sowie einem tageszeitabhängigen Profil der biologischen Aktivierung. Um spektral bewertete zylindrische Beleuchtungsstärken am Nutzerauge in der Steuerung berücksichtigen zu können, mussten die Ergebnisse der Kunst- und Tageslichtplanung auf wenige verknüpfte Parameter und Korrekturfaktoren reduziert und beschrieben werden.

Der Komplexität der Planung auch in der Ausführung gerecht zu werden ist eine Herausforderung in jedem anspruchsvollen Projekt. Da es bisher keine Erfahrungswerte für die Inbetriebnahme einer derart geplanten biologisch wirksamen Kunstlichtanlage gab, gewann diese Phase im Neubau der IWL-Werkstätten eine besondere Bedeutung. Die Einregulierung der Anlage durch den Hersteller wurde von Planerseite mit umfangreicher Messtechnik begleitet und unterstützt. Klassische Beleuchtungsstärkemessungen wurde durch spektral aufgelöste Messungen ergänzt und erlaubten so erst die notwendige finale Abstimmung der Anlage auf die Anforderungen der biologischen Wirksamkeit.

Nach Kenntnisstand der Autoren wurde in diesem Projekt zum Ersten mal eine biologisch wirksame Beleuchtungsanlage dieser Größenordnung geplant und umgesetzt. Das Projekt wurde im September 2014 auf der Tagung LICHT2014 in Den Haag in einem Vortrag vorgestellt.

Tageslicht



Abbildung 2 – Sheddach mit Fensterband (Nord) und weißer Dachfolie (Süd)

Die Tageslichtuntersuchung zeigt das große Potential sowohl für biologisch wirksames Licht, als auch für ein energetisch effizientes und ansprechendes Lichtkonzept. Dieses Potential beschränkt sich nicht nur auf die Raumgeometrie sowie die Größe, Anordnung und Beschaffenheit der Tageslichtöffnungen, obgleich diese bedeutsame Planungsparameter darstellen. Auch die Oberflächengestaltung des Innen- und unmittelbaren Außenraumes bestimmen wesentlich das Tageslichtangebot. Durch Optimierung all dieser Punkte in mehreren Iterationsschritten (siehe Tabelle 1) konnte die mittlere Tageslichtmenge im Neubau der IWL gegenüber der Basis der Architekturplanung um fast 40% erhöht werden, ohne die Geometrie des architektonischen Konzeptes signifikant zu beeinflussen. Von zentraler Bedeutung für die gute Tageslichtnutzung ist dabei die Sheddach-Geometrie der Haupthalle, die ohne nennenswerte Blendefahr eine gleichmäßige Versorgung der Raumtiefe mit Tageslicht erlaubt. Bedingt durch die statische Höhe des Holzträgers sind jedoch nur ca. 50% der Shedhöhe transparent ausführbar.

Tabelle 1 – Auszug der Iterationsschritte am Beispiel des Hallenbereichs mit Sheddächern, Auswirkungen auf den mittleren Tageslichtquotienten³

Stufe	Bezeichnung	Ø TLQ	Veränderung zu Vorstufe (bzw. genannte Stufe)
D1	Geometrie + Gläser anfängliche Planung	2,55%	
D2	D1 + Strahlplatten ⁴ (=anfänglicher Planungsstand)	2,43%	-5%
D3	D2 + weiße Gefacheinsätze halbe Höhe	2,52%	+3,5%
D4	D3 + versetzte Strahlplatten ⁵	2,53%	+0,5%
D5	D2 weiße Gefacheinsätze ganz	2,54%	+4,5% (zu D2)
D6	D5 + versetzte Strahlplatten	2,60%	+2,5%
D7	D2 + weiße Innenkonstruktion	2,96%	+22% (zu D2)
D8	D7 + versetzte Strahlplatten	2,97%	+0% (zu D8)
D9	D8 + Shed-Verglasung Tvis=+11%, Südfassade Tvis= -8%	3,40%	+14% (+40% zu D2)

³ Verhältniswert der horizontalen Beleuchtungsstärke im Innenraum gegenüber der horizontalen Außenbeleuchtungsstärke bei genormt diffusem Himmel

⁴ Horizontale Wärmestrahlplatten mit einer Breite von ca. 1,20m im Bereich der Sheddächer

⁵ Verschiebung der Strahlplatten mittig unter den Sheddach-Tiefpunkt (siehe Abbildung 3)

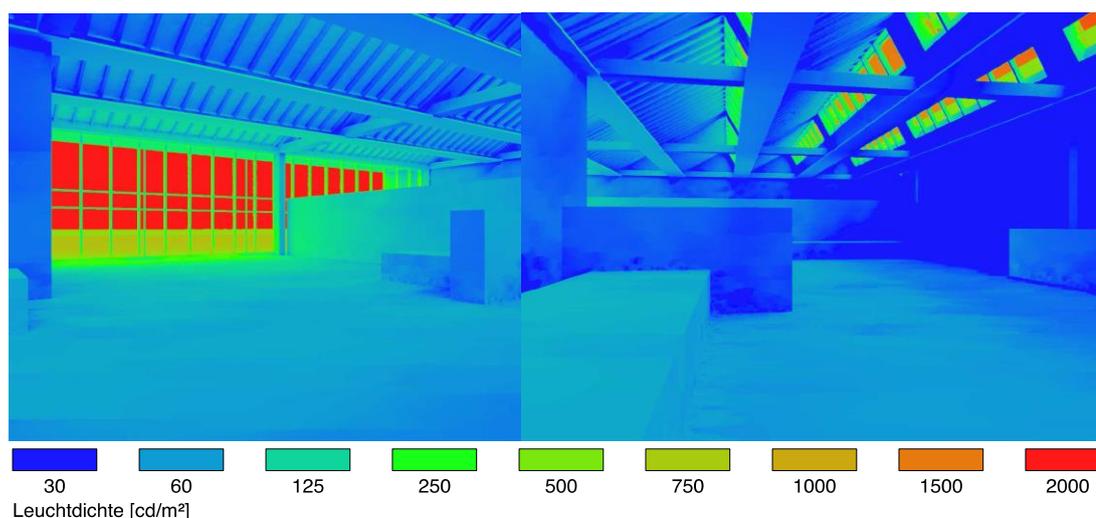


Abbildung 3 – Falschfarbenbilder der Leuchtdichte im Innenraum. Links: Blick auf die Fassade (Süden). Rechts: Blick in die Hallentiefe (Westen).

Jeder Iterationsschritt wurde von einer lichttechnischen Simulation begleitet, um die Tageslichtquotienten ausgewählter Bereiche zu ermitteln. Veränderte Reflektionseigenschaften der Raumbooberflächen wirken sich jedoch auch auf das architektonische Konzept aus. Aus diesem Grund wurden alle Schritte mit dem Architekturbüro Kaufmann abgestimmt. Ebenso wurden Konzeptänderungen, die die Transmissionseigenschaften der Fenster beeinflussen, mit dem Planungsbüro für das energetische Konzept erörtert und dort nachgeführt (Büro Hausladen). Dabei wurde insbesondere auch auf die Transmissionseigenschaften im biologisch wirksamen Bereich geachtet. Der relative Unterschied bei zwei Gläsern vergleichbarer Qualität von unterschiedlichen Hersteller in Bezug auf Lichttransmission und Gesamtenergiedurchlassgrad lag dabei bei im Wellenlängenbereich von 460nm bei 12,7% (siehe Tabelle 2). In Rücksprache mit Büro Hausladen konnte für die Sheddächer eine Verglasung mit geringfügig höherem g-Wert verwendet werden, was die Transmission im biologisch wirksamen Bereich insgesamt um 27,6% verbesserte.

Tabelle 2 – Überblick der biologisch relevanten Transmissionsunterschiede von jeweils zwei Gläsern zweier Hersteller

Sheddach-Verglasung	(U _g Vorgabe)	1,0 W/m ² K	
Bezeichnung	g-Wert	Tau _{460nm}	Verbesserung gegenüber Glas 1
Glas 1 Hersteller A	0,27	0,47	
Glas 2 Hersteller B	0,27	0,53	12,7 %
Glas 3 Hersteller A	0,32	0,54	14,9 %
Glas 4 Hersteller B	0,34	0,60	27,6 %

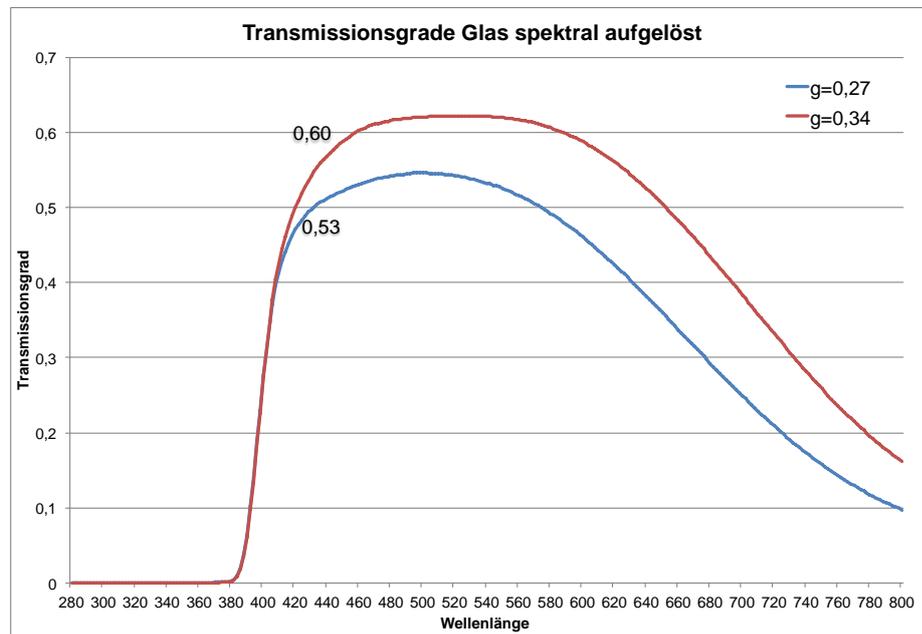


Abbildung 4 – spektral aufgelöster Transmissionsgrad zweier Gläser (Hersteller B) mit Abgriff bei 460nm

Eine grundlegende Frage der Lichtplanung ist darüber hinaus, den möglichen Beitrag des Tageslichts zur Innenraumbelichtung zu kennen. Für die biologisch wirksame Beleuchtungsplanung ist diese Frage nochmals bedeutsamer – zusätzliche Investitionskosten in eine biologisch wirksame Kunstlichtanlage können eventuell reduziert werden, wenn das verfügbare Tageslicht im Jahresverlauf weitestgehend ausreicht um die Anforderungen zu erfüllen.

Zu diesem Zweck wurde eine Simulationsstudie erstellt, in der das Tageslichtangebot sowohl horizontal auf Höhe der Arbeitsflächen, als auch vertikal/zylindrisch auf Augpunkthöhe in stündlicher Auflösung für einen Tag jeden Monats berechnet wurde (jeweils für klaren und diffusen Himmel). Anhand von meteorologischen Daten wurden diese Ergebnisse gewichtet und sowohl die klassische Tageslichtautonomie ermittelt, als auch eine Autonomie bezogen auf die Anforderungen der biologisch wirksamen Beleuchtung⁶.

Über alle Arbeitsbereiche hinweg ergibt sich eine mittlere jährliche Tageslichtautonomie von 36% und eine mittlere „Circadian-Autonomie“ von 53%. Diese Werte zeigen, dass trotz der weitreichenden Optimierung des Tageslichtangebots über weite Teile des Jahres der Einsatz von Kunstlicht zumindest ergänzend notwendig ist. Abbildung 3 zeigt einen beispielhaften Tag sowohl für die horizontale, als auch die biologisch wirksame, zylindrische Beleuchtungsstärke an zwei Standorten in der Halle.

⁶ Tageslicht-Beleuchtungsstärken aus Simulationsstudie, stündlich aufgelöst für klare und diffuse Tage jeden Monats, gewichtet anhand von Sonnenscheinwahrscheinlichkeiten für den Standort. Tageslichtautonomie ab 500 lx horizontal auf der Arbeitsfläche während der Arbeitszeit (8-17 Uhr). Autonomie für biologische Wirksamkeit ab 250 lx melanopisch bewerteter Beleuchtungsstärke vertikal auf Augpunkthöhe (8-11).

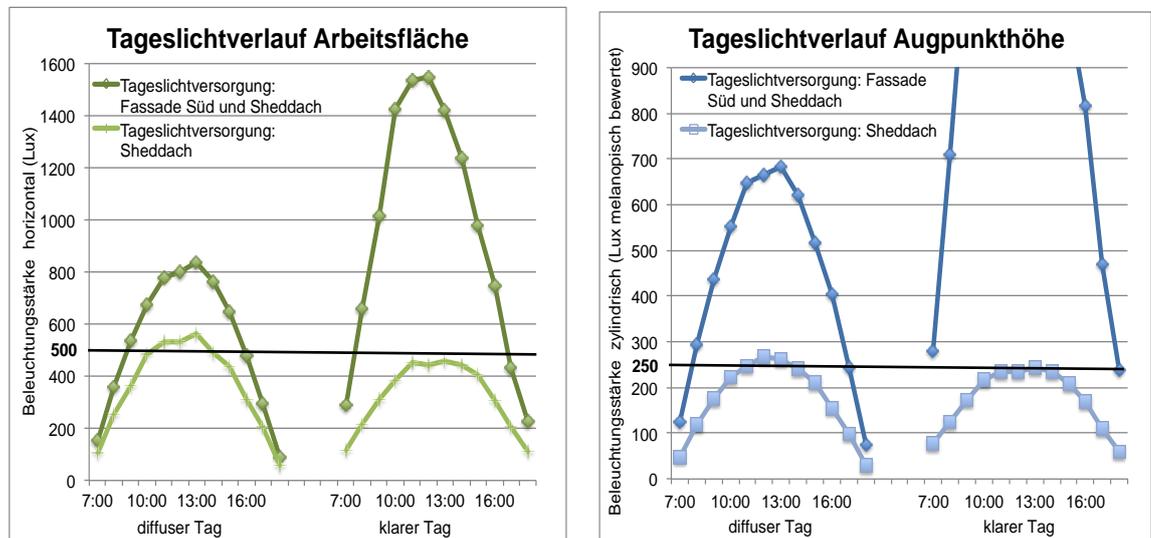


Abbildung 5 – Tageslichtbeleuchtungsstärkeverlauf ausgewählter Bereiche an einem diffusen und einem klaren Tag (21.03.)

Kunstlicht

Unabhängig von Tageslicht muss die Kunstlichtanlage folgende Anforderungen erfüllen:

- Normgerechte Beleuchtung, Wertungswert der Beleuchtungsstärke auf 85cm Höhe (Arbeitshöhe) 500 Lux
- Biologisch wirksame Beleuchtung, Wertungswert der melanopisch bewerteten Beleuchtungsstärke auf 150cm Höhe (Augpunkthöhe) 250 Lux.

Die Auswirkung von Licht auf den circadianen Rhythmus ist dabei nicht 1:1 aus der „sichtbaren Helligkeit“ abzuleiten. Es sind in erster Linie die Blauanteile, die eine biologische Wirksamkeit bestimmen. Der Zusammenhang ist in der $c(\lambda)$ -Kurve definiert. Damit kann aus der spektralen Zusammensetzung einer Lichtquelle ihr biologischer Wirkfaktor abgeleitet werden. In der Regel wird dieser auch im Verhältnis zum normalen Tageslicht mit einem biologischen Wirkfaktor von 1,0 beschrieben.

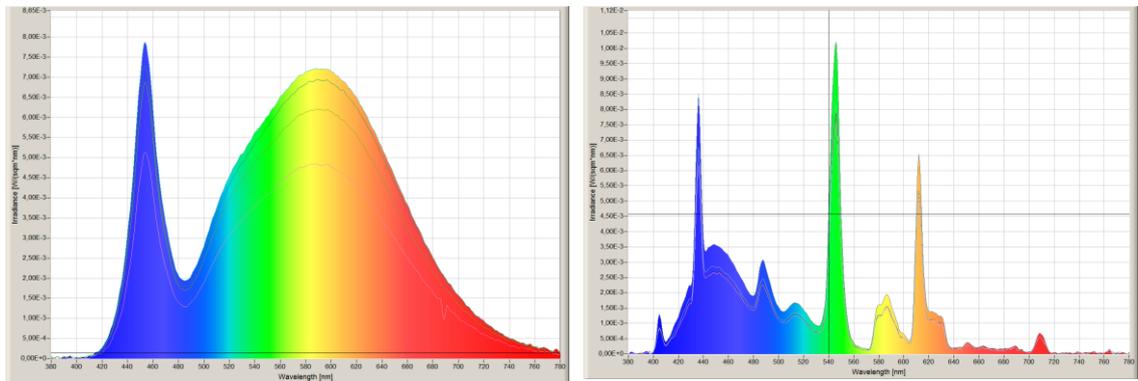


Abbildung 6 – Spektralverlauf im Innenraum, beleuchtet mit einer LED mit 4.000 K (links) bzw. einer T16 mit 17.000 K (rechts)

Neben diesen klar zu quantifizierenden Werten, bestehen auch eine Reihe von eher qualitativen Parametern. Für eine biologisch wirksame Beleuchtung ist insbesondere von Bedeutung, dass das Licht aus einem großen Raumwinkel das Nutzerauge erreicht. Durch die so möglichst großflächige Belichtung der Netzhaut wird die biologische Wirkung maximiert.

Die Umsetzung dieser Erkenntnisse in Verbindung mit der gegebenen Raumgeometrie mündete in ein Mehr-Komponenten-Konzept (Abbildung 7). Eine LED-Direktkomponente mit einer Farbtemperatur von 4.000 Kelvin stellt die Basis des Kunstlichts dar und kann die Anforderungen an eine normgerechte Beleuchtung energieeffizient erfüllen. Der biologische Wirkfaktor dieser Komponente liegt bei 0,6.

Diese Komponente allein kann die Anforderungen an eine biologisch wirksame Beleuchtung jedoch nicht oder nur sehr ineffizient erfüllen. In Ergänzung zur LED-Beleuchtung wurde eine T16-Indirektkomponente gewählt, die auf den Decken- und Sheddachbereich ausgerichtet ist, um einen möglichst großen Raumwinkel für den Nutzer auszuleuchten. Dieses Leuchtmittel hat eine Farbtemperatur von 17.000K und einen biologischen Wirkfaktor von 1,26. Damit ist diese Lichtquelle in hohem Maße biologisch wirksam.

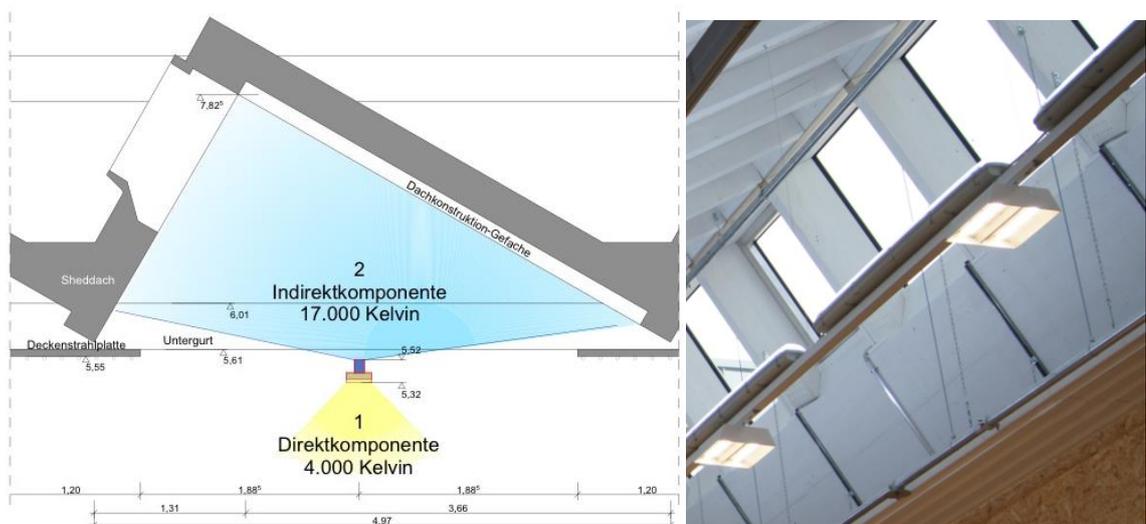


Abbildung 7 – Systemschnitt der Kunstlichtkomponenten und realisierte Anlage

Die Auslegung der Direktkomponente entspricht der gängigen Planungspraxis, da sie primär für die normgerechte Beleuchtung der Arbeitsbereiche dient. Für die Auslegung der Indirektkomponente waren hingegen die folgenden Fragestellungen zu klären:

- Wie hoch ist der Fehlbedarf zur biologischen Wirkschwelle nach Berücksichtigung des Anteils der Direktkomponente?
- Welche biologisch wirksamen Beleuchtungsstärken am Auge werden durch die Indirektkomponente erreicht?
- Ist das Reflektionsverhalten der Decke im biologisch wirksamen Bereich vergleichbar mit dem sichtbaren Bereich (=> behält das Berechnungsmodell seine Gültigkeit)?

Insbesondere die letzte Frage ist nicht einfach zu beantworten, da sie die Kenntnis der spektral aufgelösten Reflektionsdaten der Materialoberfläche erfordert. Eine umfangreiche, öffentlich zugängliche Materialdatenbank existiert nach Kenntnisstand der Autoren zum heutigen Zeitpunkt nicht. Um die Frage im Projektkontext zu beantworten wurde eine Reihe möglichen Farben und Lasuren auf das Grundmaterial Fichtenholz aufgetragen und spektral vermessen (Abbildung 8).

Die Ergebnisse dienen nicht nur als Grundlage für das Berechnungsmodell, sondern auch als konkrete Entscheidungsgrundlage für die Auswahl der Oberfläche. Aus den Messungen zeigen sich die teilweise großen Unterschiede zwischen den Materialien, sowohl was die Reflektion im biologisch wirksamen Bereich an sich betrifft, als auch bezogen auf das Verhältnis zwischen der Reflektion im Bereich um 460nm und dem gesamten sichtbaren Spektrum.

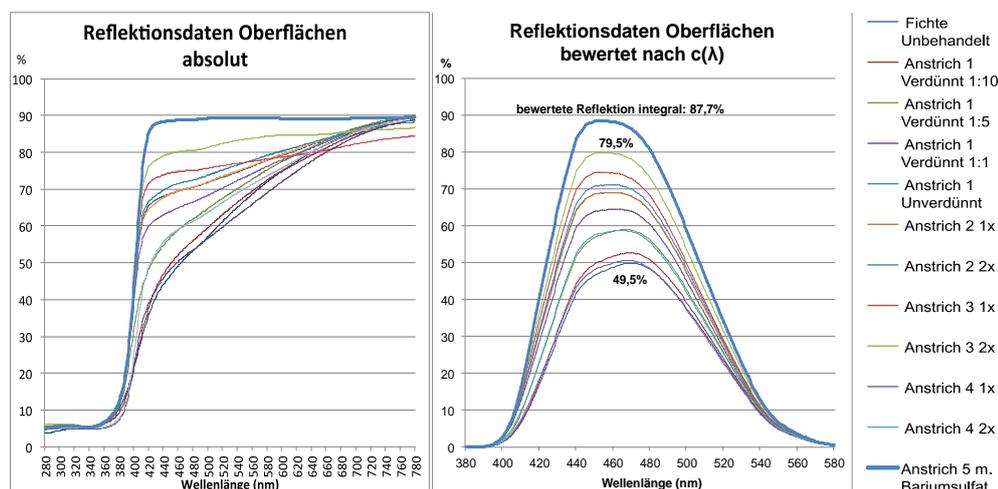


Abbildung 8 – Reflektionsdaten ausgewählter Anstriche auf Grundmaterial Fichte

Zur Beantwortung der beiden ersten Fragen muss die gängige Betrachtung der horizontalen Beleuchtungsstärke konsequent auf vertikale und zylindrische Beleuchtungsstärken ausgeweitet werden. Dazu wurden diese Größen bei der Berechnung der Kunstlichtanlage in einem Raster von 1x1m über die Arbeitsbereiche aller Hallenflächen separat für beide Kunstlichtkomponenten ermittelt (Beispiel

siehe Abbildung 9) und daraus für bestimmten Funktionen zuordenbare Teilbereiche Mittelwerte, sowie die Streuung (Standardabweichung) errechnet.

Die Trennung der Komponenten ist von Bedeutung, da die verschiedenen biologischen Wirkfaktoren jeweils separat angewendet werden müssen. Bei gemeinsamer Betrachtung der beiden so nachbewerteten Kunstlichtkomponenten konnte für jeden Hallenbereich die maximal mögliche biologisch wirksame Beleuchtungsstärke durch Kunstlicht ermittelt werden.

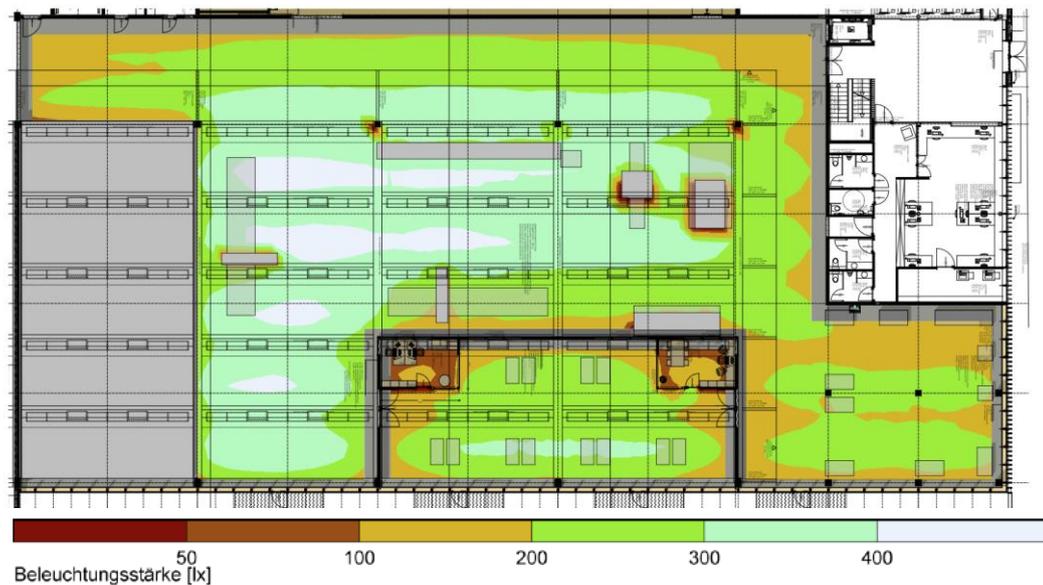


Abbildung 9 – Falschfarbendarstellung der zylindrischen Beleuchtungsstärke (H=150cm)

Lichtmanagement

Die Steuerung des Kunstlichts sollte zwei Zielstellungen folgen: Ergonomie und Energie, wobei die Zielstellung der Ergonomie Priorität gegenüber der Energie besitzt. Die Zielstellungen wurden wie folgt definiert:

Ergonomie: Über die gesamte Arbeitszeit hinweg wird ein ausreichendes Lichtangebot zur Erfüllung der Sehaufgaben zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus wird das Lichtangebot zu vorgegebenen Tageszeiten gezielt verändert um die biologische Wirkung des Lichts sicherzustellen und damit die innere Uhr der Nutzer zu unterstützen.

Energie: Wenn das Tageslichtangebot ganz oder in Teilen ausreicht um das Niveau der Sehaufgabe und zur vorgesehenen Zeit die biologische Wirkung sicherzustellen werden die Kunstlichtkomponenten gezielt gedimmt bzw. ausgeschaltet um Energie einzusparen.

Konkret bedeutet das: neben einer tageslichtabhängigen Steuerkomponente muss eine parallele, ta-

geszeitabhängige Komponente implementiert werden. Um diesen Zielstellungen gerecht zu werden, wurde eine adaptive Kunstlichtsteuerung entwickelt, die beide Komponenten entsprechend vordefinierter Randbedingungen steuert. Abbildung 10 zeigt die Systematik der beiden Steuerkomponenten separiert. Über ein Flussdiagramm, das schließlich in die Steuerung übersetzt wurde, wurden beide Elemente gekoppelt.

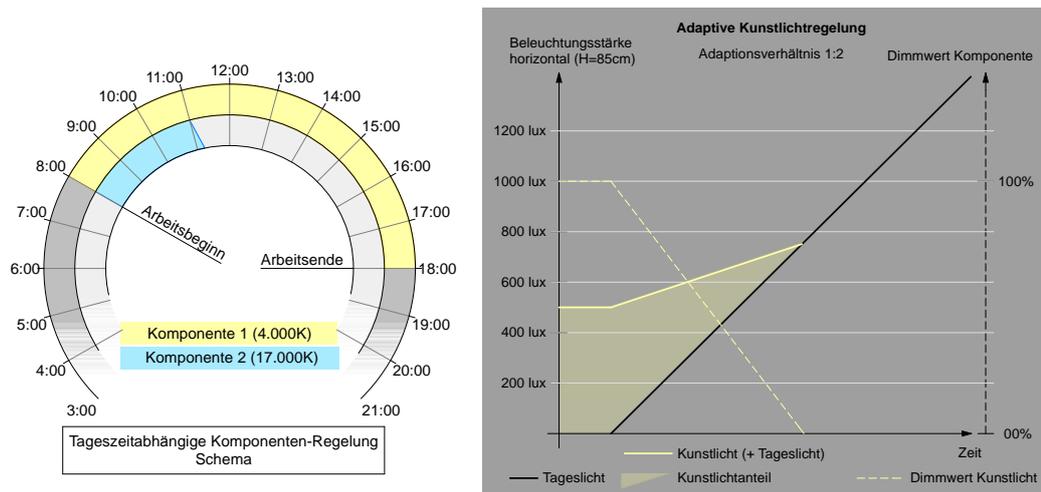


Abbildung 10 – Tageszeitabhängige Programmierung der Komponenten (links) in Kombination mit der tageslichtabhängigen adaptiven Kunstlichtsteuerung (rechts)

4.7 Betrieb einer biodynamisch wirksamen Kunstlichtanlage

Die Ergebnisse dieses Bearbeitungspunktes werden in Kapitel 5 des 3lpi Schlussberichts zum qualifizierten Energiemonitoring dargestellt. Dieser ist in Anhang A dem DBU-Bericht beiliegend.

4.8 Qualifiziertes Energiemonitoring

Die Ergebnisse dieses Bearbeitungspunktes werden in Kapitel 3 und 4 des 3lpi Schlussberichts zum qualifizierten Energiemonitoring dargestellt. Dieser ist in Anhang A dem DBU-Bericht beiliegend.

5. Fazit

5.1 Förderung der investiven Mehrkosten der versetzbaren Fassadenelemente des mitwachsenden Holzbaus

Die Mehrkosten für die Umsetzung des Projektes mit versetzbaren Fassadenelementen belaufen sich auf gesamt € 48.328,12.

Bei Baukosten (KG 200-500) von rd. € 9,0 mio sind dies lediglich Mehrkosten von rd. 0,5%.

5.2 Abstimmen, überwachen und dokumentieren der geplanten Ausführungsdetails in der Ausführungsphase

Der Holzbau eignet sich durch die Möglichkeit einer umfassenden Vorfabrikation im Werk und einem raschen Versetzen auf der Baustelle auch später hervorragend dafür, die Elemente wieder zu demontieren. Nach der Demontage können sie, bei einer entsprechenden Wahl der Verbindungsmittel, ohne größere Beeinträchtigung wieder an neuer Stelle eingebaut werden.

Beim Ortsaugenschein vom 11.8.2016 hat sich auch herausgestellt, dass die Gebrauchstauglichkeit aller Detailpunkte ohne sichtbarer Veränderung im Hinblick auf Dauerhaftigkeit, Dichtheit und Formstabilität gegeben ist.

5.3 Elektroplanung

Die im Rahmen des Planungsprozesses definierten Zielsetzungen können Großteils mit marktüblichen Produkten realisiert werden. Durch die Kombination von gängigen Produkten können die gewünschten Ergebnisse mit vertretbarem wirtschaftlichen Aufwand realisiert werden. Eine ggf. höhere Anfangsinvestition amortisiert sich durch die geringeren Betriebskosten und höherer Arbeitsplatzqualität innerhalb kürzester Zeit.

5.4 Planung und Umsetzung einer biodynamisch wirksamen Kunstlichtanlage

Inbetriebnahme

In der Inbetriebnahmephase eines Projekts zeigt sich, ob die ursprünglich formulierten Zielvorgaben umgesetzt werden konnten. Dies setzt eine entsprechende Begleitung durch Planerseite voraus. Für die Inbetriebnahme der Kunstlichtanlage wurde eine Messkampagne entwickelt, in der über einen

Zeitraum von zwei Tagen jeweils mit und ohne Tageslicht ausgewählte Szenarien an wichtigen Positionen messtechnisch erfasst wurden.

Neben der Messung horizontaler und zylindrischer Beleuchtungsstärken wurden auch Leuchtdichte-, sowie Spektralmessungen durchgeführt. Letzteres war insbesondere notwendig, um die gemessenen Beleuchtungsstärken mit einem ebenfalls in situ ermittelten circadianen Wirkfaktor zu bewerten. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Kunstlichtanlage und insbesondere auch deren Steuerung bis auf wenige, zwischenzeitlich optimierte Ausnahmefälle, den gesteigerten Anforderungen der Planung gerecht werden (Beispiel in Abbildung 11).

Die Umsetzung der konsequenten Planung biologisch wirksamer Beleuchtung ist demnach mit den verfügbaren Planungswerkzeugen möglich, wenn auch zeitintensiv. Gegenüber einer klassischen Lichtplanung hat sich in diesem Pilotprojekt der zeitliche Aufwand etwa verdreifacht, insbesondere aber auch um spektral aufgelöste Planungs- und Messdaten zu erheben, einzubinden und zu prüfen.

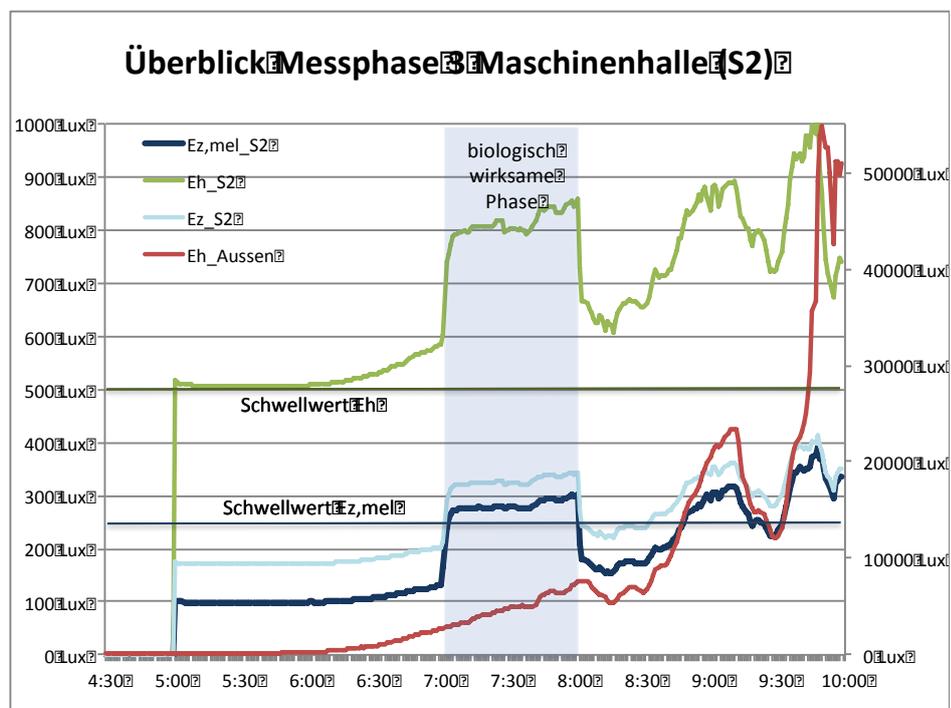


Abbildung 11 – Auszug aus den Ergebnissen der Inbetriebnahme-Messkampagne über die Beleuchtungsstärken (horizontal und zylindrisch) während eines verkürzten Morgenzyklus. Von großer Bedeutung ist die Überschreitung von 250 Lux melanopisch bewerteter Beleuchtungsstärke auf Augpunkthöhe (dunkelblaue Linie, biologische Wirkschwelle) während der biologisch wirksamen Phase (zu Testzwecken von 07:00 bis 08:00 Uhr. Parallel dazu wurde dauerhafte Überschreitung von 500 Lux horizontal (grüne Linie) erfüllt.

Wirtschaftlichkeit

Für biologisch wirksames Licht ist in der Regel immer ein energetischer Mehraufwand gegenüber einer konventionellen Anlage zu erwarten. Dieser Energieverbrauch und die daraus entstehenden Kos-

ten dürfen jedoch nicht ohne weiteres mit den Kennwerten anderer Anlagen verglichen werden. Den Mehrkosten (auch bei der Investition) steht ein erwarteter Mehrwert bei Nutzergesundheit und – Zufriedenheit gegenüber.

Eine Betrachtung ökonomischer und energetischer Aspekte muss diesen Mehraufwand im Vergleich zu klassischen Lösungen in verschiedenen Varianten zeigen. Im Projekt IWL wurden zu diesem Zweck für 6 verschiedene Anlagentypen Invest- und Energiekosten kalkuliert. Es wurden sowohl Leuchtentechnologien als auch Lichtmanagement-Szenarien variiert und in drei Kategorien unterteilt (Minimalstandard, gehobener Standard, biologisch wirksam).

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Abbildung 12 dargestellt. Bei der Angabe der Investkosten handelt es sich um marktübliche Preise. Daraus wird deutlich, dass die Errichtung einer biologisch wirksamen Anlage ohne Berücksichtigung positiver Effekte beim Nutzer nur mit einer entsprechenden Förderung realisierbar ist. Sofern sich die Erwartungen in die biologische Lichtwirkung bestätigen und als gesichert gelten dürfen, können die positiven Effekte jedoch auch verstärkt in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Eingang finden.

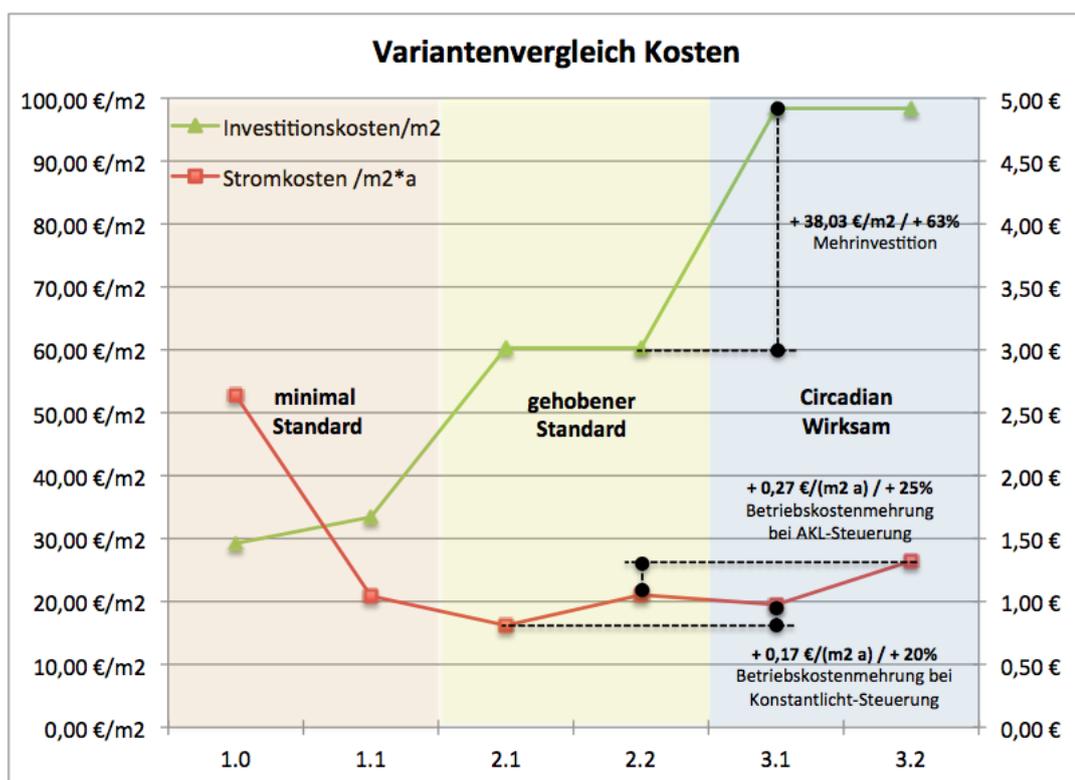


Abbildung 12 – Auszug aus der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Variantenvergleich von Investitions- und Stromkosten für 6 Kunstlichtanlagen^{7 8}

⁷ Leuchten-/Lampentechnologie :1.X: Leuchtstofflampen, Direktleuchten; 2.X: LED, Direktleuchten; 3.X LED Direktleuchten, T16 Indirektleuchten

⁸ Lichtmanagement: X.0: ohne (nur Handbetrieb); X.1:Konstantlicht; X.2 Adaptive Kunstlichtregelung (siehe Abbildung 10 rechts)

5.5. Humanbiologische Begleitforschung

5.5.1. Ziel der humanbiologischen Begleituntersuchung

Das Ziel der begleitenden humanbiologischen Forschung war, zu untersuchen, inwieweit Mitarbeiter der Werkstätte im Tagbetrieb von den Effekten dynamischer Beleuchtung (nach den Prinzipien von Human Centric Lighting, HCL) im Vergleich mit normgerechter Standardbeleuchtung profitieren können. Die Datenerhebung fand über einen Zeitraum von zwei Jahren statt. Das Interesse galt besonders potenziellen Auswirkungen des Lichtes auf die körperliche und psychische Befindlichkeit, auf die Schlafqualität und auf die Arbeitszufriedenheit. Aufgrund der Stichprobenbeschaffenheit (mehrheitlich Mitarbeiter mit besonderen Beeinträchtigungen) wurden standardisierte Testverfahren in Teilen speziell an die zu untersuchende Personengruppe adaptiert.

Eingesetzte Testverfahren:

In der humanbiologischen Begleituntersuchung kamen folgende Testinstrumente zum Einsatz:

- eine Adaption des Schlaffragebogens SF-B/R (Görtelmeyer, 2011),
- eine Adaption des Berner Fragebogens zum Wohlbefinden für Erwachsene (Grob et al., 1991),
- eine Adaption des WHO-5-Wohlbefindens-Index (Bech et al., 2003),
- eine Adaption der Stanford Sleepiness Scale (Hoddes, 1972)
- Munich ChronoType Questionnaire (Roenneberg et al., 2003),
- sowie ein von den Autoren eigens für die Untersuchung entworfener „Täglicher Fragebogen“.

Im zweiten Untersuchungsjahr (nach Feedback über die Testbelastung) konnte die Testbatterie um:

- den Pittsburgh Schlafqualitätsindex (Buysse et al., 1989)
- und die Epworth Schläfrigkeits-Skala (Johns, 1991)

erweitert werden.

5.5.2. Untersuchungsdesign

Die Untersuchung war - wie eingangs bereits erwähnt - für eine Durchführungsdauer von zwei Jahren geplant. In diesem zweijährigen Untersuchungszeitraum wurden insgesamt acht Testphasen durchgeführt. So fanden im ersten Jahr der Untersuchung die ersten beiden Testphasen im Dezember 2014 (T1) bzw. Februar/März 2015 (T2) und somit in den sonnenlichtärmeren Win-

termonaten statt, gefolgt von zwei weiteren Testphasen im Juni 2015 (T3) bzw. Juli 2015 (T4) in den sonnenlichtintensiveren Sommermonaten. Die Testphasen im zweiten Untersuchungsjahr (T5, T6, T7, T8) waren analog dazu bzw. identisch platziert. Generell waren die Testphasen in dieser Art terminiert, da im Rahmen dieser Untersuchung auch ein Interesse an den Synergieeffekten zwischen artifizierlicher dynamischer Beleuchtung sowie natürlichem Sonnenlicht bestand. In den Zeiträumen vom 03.11.2014 bis 30.01.2015, vom 26.06.2015 bis 31.07.2015, vom 01.02.2016 bis 18.03.2016 sowie vom 23.05.2016 bis 24.06.2016 wurde die künstliche dynamische Beleuchtung der Betriebsräume wunschgemäß deaktiviert (siehe Abb. 1). Somit fanden im ersten Untersuchungsjahr die Testphasen T1 und T4 bei statischen Beleuchtungsszenarien sowie die Testphasen T2 und T3 bei dynamischen Beleuchtungsszenarien statt. Im zweiten Jahr der Untersuchung waren die Versuchsbedingungen hinsichtlich der Beleuchtungsbedingungen vertauscht (Crossover-Design), so dass die Testphasen T5 und T8 bei dynamischen Beleuchtungsszenarien stattfanden sowie die Testphasen T6 und T7 bei statischen Beleuchtungsszenarien. Ohne Adjustierung für multiples Testen wurde das Niveau für den alpha-Fehler für signifikante Ergebnisse auf 5% festgelegt.

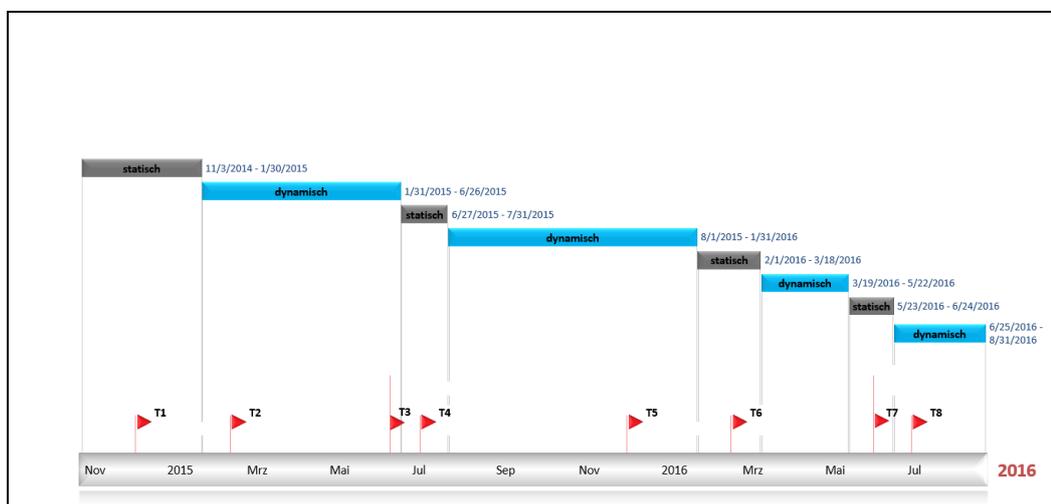


Abbildung 1: Zeitlicher Ablauf der Untersuchung

5.5.3. Zusammenfassung der Ergebnisse für das erste Untersuchungsjahr

Beim paarweisen Vergleich des erhobenen Datenmaterials der Testzeitpunkte T1 und T2 (Wintermonate) ergaben sich während der Phase des dynamischen Beleuchtungsszenarios bei der Adaption des Schlaffragebogens SF-B/R auf Itemebene signifikante Veränderungen. So zeigte sich ein verkürztes Zeitintervall zwischen dem Schlafengehen und dem tatsächlichen Einschlafen ($Z = -2,047$; $p < .05$), des Weiteren wurde seltener über Kopfschmerzen in der Frühe berichtet ($Z = -2,132$; $p < .05$). Beide Parameter waren signifikant unterschiedlich. Darüber hinaus ergaben sich hinsichtlich des Gesamtscores der Adaption des Screeningverfahrens WHO-5 signifikante Veränderungen, welche auf eine Steigerung des individuell wahrgenommenen Wohlbefindens in der Phase des dynamischen Beleuchtungsszenarios hinweisen (T1: $mean = 14,56$, T2: $mean = 18,00$ $Z = -2,077$, $p < .05$).

Beim paarweisen Vergleich des erhobenen Datenmaterials der Testzeitpunkte T3 und T4 (Sommermonate) zeigte sich nach der Deaktivierung des dynamischen Beleuchtungsszenarios eine Verschlechterung des Skalenwertes „Körperliche Beschwerden“ (aus der Adaption des Berner Fragebogens zum Wohlbefinden für Erwachsene), was eine signifikante Zunahme von körperlichen Symptomen wie beispielsweise Magenschmerzen, Appetitlosigkeit, Schwindel und starken Kopfschmerzen bedeutet (Ergebnisse siehe Tab. 1).

Sommermonate	Testphase 3 (dynamisch)			Testphase 4 (statisch)			Z-Value	P-Value
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>		
Skala KB	3,57	0,38	16	2,93	0,59	12	-2,016	.044*
Skala LF	1,83	0,51	16	2,15	0,63	12	-1,364	.172

Tabelle 1: Adaption des Berner Fragebogens zum Wohlbefinden für Erwachsene: Deskriptive Statistik und paarweiser Vergleich der Skalenwerte KB/LF aus T3 und T4

5.5.4. Zusammenfassung der Ergebnisse für das zweite Untersuchungsjahr

Beim paarweisen Vergleich des erhobenen Datenmaterials der Testzeitpunkte T5 und T6 (Wintermonate) ergab sich während der Phase des dynamischen Beleuchtungsszenarios bei der Adaption des Schlaffragebogens SF-B/R auf Itemebene eine signifikante Veränderung dergestalt, dass die Arbeitstätigkeit im Zeitraum der letzten zwei Wochen vor der Testdurchführung als signifikant weniger belastend erlebt wurde ($Z = -2,456$; $p < .05$). Darüber hinaus zeigte sich nach der Deaktivierung des dynamischen Beleuchtungsszenarios bei der Adaption des Berner Fragebogens zum Wohlbefinden für Erwachsene zum Testzeitpunkt T6 (verglichen mit T5) ein erneut reduzierterer Skalenwert „Körperliche Beschwerden“, was wieder - wie im Vorjahr - mit einer Zunahme von körperlichen Symptomen wie beispielsweise Magenschmerzen, Appetitlosigkeit, Schwindel und starken Kopfschmerzen gleichzusetzen ist (Ergebnisse siehe Tab. 2).

Wintermonate	Testphase 5 (dynamisch)			Testphase 6 (statisch)			Z-Value	P-Value
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>n</i>		
Skala KB	3,69	0,24	12	3,44	0,38	14	-2,120	0.34*
Skala LF	1,92	0,62	12	1,94	0,63	13	-0,106	.915

Tabelle 2: Adaption des Berner Fragebogens zum Wohlbefinden für Erwachsene: Deskriptive Statistik und paarweiser Vergleich der Skalenwerte KB/LF aus T1 und T2

Da die kognitiven Fähigkeiten der Untersuchungsteilnehmer durch die Erfahrungen des Testleiters bei der Durchführung der Testungen im ersten Untersuchungsjahr nun besser beurteilt werden konnten und den Teilnehmern aus dieser Perspektive weitere Verfahren (ohne eine zu erwartende Überforderung) zugemutet werden konnten, wurde die Testbatterie bei den Testzeitpunkten T5 bis T8 mit zwei weiteren Verfahren ergänzt: den Pittsburgh Schlafqualitätsindex sowie die Epworth Schläfrigkeits-Skala. Die Motivation für diese Erweiterung rührte daher, dass der eingesetzte Schlaffragebogen SF-B/R - aus Gründen der Zumutbarkeit für die Studienteilnehmer - nur auf eine Itemauswahl beschränkt war und der Vergleich der Daten somit nicht auf Skalenebene, sondern nur auf Itemebene möglich war. Diesem Manko sollte die Erweiterung der Testbatterie um zwei weitere, in der Schlafforschung gängige und in vollem Itemumfang einzusetzende und auf Skalenebene auswertbare Testverfahren entgegenwirken. Zwar zeigte die statistische Analyse der Testergebnisse der ESS weder beim Vergleich des Datenmaterials der Wintermonate (T5 und T6) noch des Datenmaterials der Sommermonate (T7 und T8) signifikante Veränderungen. Jedoch ergaben sich beim paarweisen Vergleich des mit dem PSQI erhobenen Datenmaterials der Testzeitpunkte T5 und T6 (Wintermonate) zwei signifikante Veränderungen: Erstens zeigte sich zum Zeitpunkt des statischen Beleuchtungsszenarios (T6) eine höhere Ausprägung des Gesamtscores dieses Testverfahrens, was mit einer Verschlechterung der allgemeinen Schlafqualität gleichzusetzen ist (T5: mean = 3,71; T6: mean = 5,23; $Z = -2,107$ $p < .05$). Zum Zweiten war zum Zeitpunkt T6 bei statischen Beleuchtungsbedingungen eine signifikante Zunahme der Ausprägung der Werte der Komponentenskala „Schlafstörungen“ (T5: mean = 0,93; T6: mean = 1,23; $Z = -2,000$; $p < .05$) zu beobachten, was ebenso auf eine Beeinträchtigung der Schlafqualität bei Wegfall der Exposition der dynamischen Beleuchtung hindeutet.

Ferner zeigten sich im zweiten Untersuchungsjahr bei der Analyse des Datenmaterials der von den Probanden täglich und selbstständig auszufüllenden Fragebögen statistisch signifikante Veränderungen: Beim nicht-parametrischen Vergleich der Item-Mittelwerte der Testphasen 5 und 6 zeigte sich für das Item D (welches die Stanford Sleepiness Scale verkörpert) eine statistisch bedeutsame Mittelwerterhöhung, was für eine Zunahme der Tagesschläfrigkeit bzw. eine Reduktion der Wachheit zum Zeitpunkt des Arbeitendes um 15:45 Uhr in der Untersuchungskondition mit statischer Beleuchtung spricht ($Z = -2,090$; $p < .05$). Überdies zeigte der Mittelwertvergleich des erhobenen Datenmaterials aus den Testphasen 7 und 8 für das von den Autoren dieser Untersuchung selbstformulierte Item C1 („Wie bist Du mit Deiner heutigen Arbeitsleistung zufrieden?“) unter der Bedingung der dynamischen Beleuchtung einen statistisch signifikanten Mittelwertrückgang, was mit einer Zunahme der subjektiven Zufriedenheit mit der eigenen Arbeitsleistung gleichzusetzen ist ($Z = -2,120$; $p < .05$).

5.5.5. Gesamtbewertung:

In der Gesamtschau zeigen sich im Rahmen der Auswertung des Datenmaterials sowohl im ersten wie auch im zweiten Untersuchungsjahr statistisch signifikante Veränderungen, die auf positive Auswirkungen des dynamischen Beleuchtungsszenarios gegenüber normgerechter Standardbeleuchtung auf die zu untersuchenden Bereiche hinweisen. Besonders hervorzuheben ist die Tatsache, dass sich beim Berner Fragebogen zum Wohlbefinden für Erwachsene (Grob et al., 1995) – wie in Abbildung 2 grafisch dargestellt - sowohl im ersten Untersuchungsjahr als auch im zweiten Jahr der Untersuchung während der Deaktivierung der dynamischen Beleuchtung ein Rückgang des Skalenwertes „Körperliche Beschwerden“ zeigte, welcher mit einer Zunahme von körperlichen Beschwerden ohne circadian unterstützende Beleuchtung gleichzusetzen ist. Insofern spricht dies sehr für die positiven Auswirkungen des HCL Beleuchtungsszenarios auf die Reduktion von körperlichen Symptomen wie beispielsweise Magenschmerzen, Appetitlosigkeit, Schwindel und starken Kopfschmerzen.

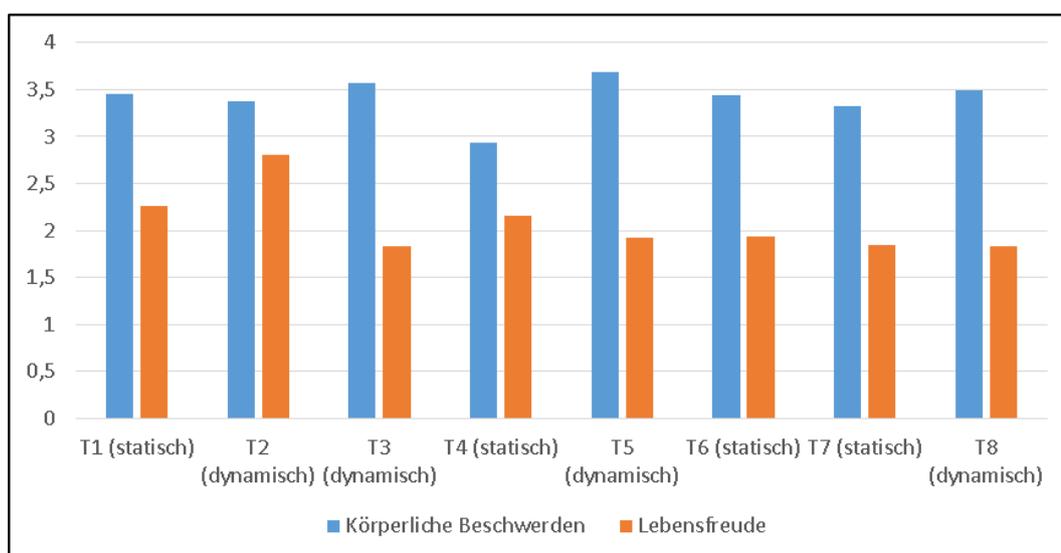


Abbildung 2: Skalenwerte der Adaption des Berner Fragebogens zum Wohlbefinden f. Erwachsene

Generell ist bei der Bewertung der Ergebnisse allerdings zu berücksichtigen, dass es sich bei dieser Untersuchung um eine kleine Stichprobe handelt (Stichprobengröße zum Studienbeginn im Herbst 2014: $n = 22$), die durch Ausfälle zu den einzelnen Testzeitpunkten zahlenmäßig noch weiter reduziert war, so dass die Aussagekraft der Ergebnisse unter diesem Vorbehalt betrachtet werden muss.

Nachdem die Betriebsräume, in denen die befragten Mitarbeiter ihre Arbeit verrichten, so konstruiert worden sind, um auch das natürliche Sonnenlicht optimal nutzen zu können, war mit „Synergieeffekten“ zwischen natürlichem Sonnenlicht und der dynamischen Beleuchtungsanlage zu rechnen. Die Beleuchtungsanlage sollte daher in den sonnenlichtärmeren Wintermonaten einen höheren Anteil an der Gesamtzusammensetzung des Hallenlichtes haben, welchem die Mitarbeiter während ihrer Arbeit ausgesetzt sind. Wenn positive Effekte auf die zu untersuchenden

Variablen überhaupt messbar sind, sollten diese Effekte mehrheitlich in den Wintermonaten auftreten. Die These eines höheren Effektes der dynamischen Beleuchtung in den dunklen Monaten bzw. möglicher „Synergieeffekte“ kann durch die vorliegenden Ergebnisse gestützt werden.

Trotz der schwierigen Randbedingungen konnte sich in dieser Untersuchung deutlich ein positiver Effekt des HCL-Beleuchtungsszenarios auf die Belegschaft ableiten.

Ein ausführlicher Bericht über die Untersuchungen des Zweijahreszeitraums mit einer detaillierten Ergebnisdarstellung befindet sich im Anhang.

5.6 Betrieb einer biodynamisch wirksamen Kunstlichtanlage

Die Ergebnisse dieses Bearbeitungspunktes werden in Kapitel 5 des 3lpi Schlussberichts zum qualifizierten Energiemonitoring dargestellt. Dieser ist in Anhang A dem DBU-Bericht beiliegend.

5.7 Qualifiziertes Energiemonitoring

Die Ergebnisse dieses Bearbeitungspunktes werden in Kapitel 3 und 4 des 3lpi Schlussberichts zum qualifizierten Energiemonitoring dargestellt. Dieser ist in Anhang A dem DBU-Bericht beiliegend.