

MASTERARBEIT



BESTANDSAUFNAHME DER ARBEITSPROZESSE IM HOLZ(RAHMEN)BAU MIT SPEZIELLEM FOKUS AUF VORFERTIGUNG, ANALYSE VON ARBEITSABLÄUFEN UND DER ERMITTLUNG VON AUFWANDSWERTEN FÜR DIE KALKULATION

Florian de Monte, BSc

Vorgelegt am
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft
Projektentwicklung und Projektmanagement

Betreuer
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck

Mitbetreuender Assistent
Dipl.-Ing. Jörg Koppelhuber

Graz am 31. März 2016

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtliche und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 31.März.2016

.....

(Unterschrift)

STATUARY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, 31-Mar-2016

.....

(signature)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck, Vorstand des Instituts für Baubetrieb und Bauwirtschaft, für die abschließende Begutachtung meiner Arbeit sowie für die interessante und praxisnahe Vermittlung des Lehrinhalts während meiner Studienzeit bedanken.

Ein großes Dankeschön gilt auch meinem Betreuer Herrn Dipl.-Ing. Jörg Koppelhuber, der durch seine grenzüberschreitende Vernetzung in die Privatwirtschaft den Grundstein für diese Arbeit gelegt hat. Neben der großartigen Unterstützung möchte ich mich auch für die hilfreichen Anregungen während der Erstellung dieser Arbeit bedanken.

Ein weiterer großer Dank geht an Herrn Dr.-Ing. Sebastian Hollermann, der mich während der gesamten Zeit meines Praktikums tatkräftig und wegweisend unterstützt hat. Seine Ideen, Anregungen und Ratschläge, aber auch fachlichen Gespräche haben ganz wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Ganz herzlich darf ich mich auch bei den Herren Dipl.-Ing. Günter Buhr und Dipl.-Ing. Christian Buhr, sowie beim gesamten Team der Zimmerei Sieveke GmbH für die herzliche Aufnahme im Unternehmen bedanken.

Der größte Dank gebührt meiner Familie wie auch meiner Freundin. Ich danke ihnen für die Unterstützung und das Vertrauen, das sie all die Jahre in mich gesetzt haben.

Graz, am 31.März.2016

Florian de Monte

Kurzfassung

Holz als führender Baustoff gewinnt nicht nur bei Architekten und Planern, sondern auch bei Bauherren und potentiellen Investoren immer mehr an Bedeutung. Dieser positive Trend kann u.a. durch die Entwicklung neuer Holzprodukte, wie auch durch die ständige Verbesserung bzw. Optimierung von Fertigungstechniken begründet werden.

Diese Masterarbeit wurde in enger Kooperation mit der Firma Zimmerei Sieveke GmbH in Deutschland durchgeführt, wobei im Zuge der Bearbeitung speziell auf die Untersuchung und Optimierung der Fertigungstechniken im Unternehmen eingegangen wurde. Konkret wurde die Vorfertigung sowie die internen Abläufe und Prozesse von typischen Holzrahmen-Fassadenelementen mit jener von verklebten Hohlkasten-Dachelementen untersucht, analysiert und gegenübergestellt. Die Auswahl der Projekte basierte dabei auf einer vorgesehenen Neugestaltung von zwei Betriebshallen, die bestmöglich für diese Art von Aufträgen ausgestattet werden sollen.

Voraussetzung für diese Untersuchung mit anschließender Analyse der Arbeitsprozesse, ist eine umfangreiche Datensammlung während der Fertigung. Die Grundlage bildet eine Multimomentaufnahme nach dem System REFA, bei der einzelne Tätigkeiten und Unterbrechungen in einem definierten Zeitintervall, getrennt nach involvierten Arbeitskräften, über einen aussagekräftigen Beobachtungszeitraum aufgezeichnet werden. Auf diese Weise können einerseits bereits vorhandene Kennzahlen der Produktionsleistungsfähigkeit, basierend auf Aufwands- und Leistungswerten, für die Herstellung von Holzrahmenelementen aktualisiert und andererseits erstmalig Kennzahlen für die Verklebung von Hohlkastenelementen ermittelt und für künftige Projekte und Produktionsprozesse aufbereitet werden. Zusätzlich werden Personal- und Materialflüsse in der Fertigung aufgezeichnet, analysiert und interpretiert, die sowohl eine unterschiedliche aber auch vergleichbare Ausgangsbasis besitzen können. Des Weiteren erfolgt eine umfangreiche Analyse der Schwachstellen und Potentiale im Produktionsablauf beider Fertigungssysteme. Letztendlich wird anhand der Auswertung aller gesammelten Daten, wie auch der Gegenüberstellung vergleichbarer Aufwands- und Leistungswerte aus der Literatur bzw. vergleichbarer Prozesse und Projekte, eine Grundlage für eine Optimierung bzw. Neugestaltung des Fertigungsablaufes gebildet, welche dem Unternehmen für künftige Entscheidungen in der Gestaltung der Arbeitsprozesse zur Verfügung steht.

Astract

Wood as a leading material in the construction industry is not only highly appreciated by architects and planners but also gaining increasing importance among builders and potential investors. This positive trend can be credited, among other things, to the development of new timber products and the continuous improvement and optimization of manufacturing methods.

The research for the master thesis in hand was carried out in close cooperation with the carpentry company Sieveke GmbH in Germany. During the course of this study, special focus was given to testing and optimizing the product engineering activities deployed by the company. In tangible terms, the prefabrication as well as the internal processes and procedures used in the production of typical wooden frame façade elements were examined, analyzed and contrasted with those of roof elements made of bonded hollow boxed roof constructions. The research project eventually aims at equipping two redesigned production plants in the best possible way for that type of orders.

Collection of accurate and reliable data during production is a prerequisite for performing such a study and carrying out a subsequent analysis of the working processes. The basis is provided by a REFA activity sampling used to record certain activities and interruptions at defined time intervals, separately for each workforce involved and over a meaningful observation period. In this way, existing performance indicators relating to production effectiveness based on working times and performance values can, on the one hand, be updated for the manufacture of wooden frame façade elements. On the other hand, it is possible for the first time to determine ratios for the bonding of hollow boxed constructions and edit them for future projects and production processes. In addition, personnel and material flows in production with potentially different and comparable starting levels are recorded, analyzed and interpreted. The study also includes an extensive analysis of the vulnerabilities and potentials in the production process of both manufacturing systems. Based on the assessment of all gathered data and the comparison of similar working times and performance values derived from reference materials or from similar processes and projects, the results eventually provide a basis for optimizing or redesigning the manufacturing sequence to help businesses organize their future working processes more efficiently.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|--|----------|
| 1. | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Motivation und Zielsetzung | 1 |
| 1.2 | Struktur der Masterarbeit | 2 |
| 2. | Grundlagen - holzbauliche Arbeitssysteme | 4 |
| 2.1 | Arbeitsprozesse im Holzbau | 4 |
| 2.1.1 | Definition Prozess | 5 |
| 2.1.2 | Merkmale von Arbeitsprozessen | 8 |
| 2.1.3 | Prozessarten | 8 |
| 2.2 | Technische und normative Grundlagen | 11 |
| 2.2.1 | Technische Grundlagen | 11 |
| 2.2.2 | Normative Grundlagen | 16 |
| 2.3 | Länderspezifische Besonderheiten | 18 |
| 2.3.1 | Baurechtliche Grundlagen in Österreich | 18 |
| 2.3.2 | Baurechtliche Grundlagen in Deutschland | 18 |
| 2.3.3 | Länderspezifische Anforderungen an den Wärmeschutz | 19 |
| 2.3.4 | Länderspezifische Anforderungen an den Feuchteschutz | 19 |
| 2.3.5 | Länderspezifische Anforderungen an den Schallschutz | 20 |
| 2.3.6 | Länderspezifische Anforderungen an den Brandschutz | 20 |
| 2.3.7 | Länderspezifische Kennzeichnung von Bauprodukten | 21 |
| 2.4 | Grundlagen zum industriellen Holzbau | 25 |
| 2.4.1 | Von den Ursprüngen bis zur industriellen Revolution | 25 |
| 2.4.2 | Aktuelle Technologien im industriellen Holzbau | 27 |
| 2.5 | Bausysteme im Holzbau | 28 |
| 2.5.1 | Rahmenbauweise | 29 |
| 2.5.2 | Skelettbauweise | 34 |
| 2.5.3 | Holz-Massivbauweise | 37 |
| 2.5.4 | Holzbauweisen und deren Anwendungsgebiet | 41 |
| 2.6 | Planung im Holzbau | 42 |
| 2.6.1 | Fertigungsplanung im Holzbau | 45 |
| 2.7 | Arbeitsvorbereitung im Holzbau | 49 |
| 2.7.1 | Ziele der Arbeitsvorbereitung im Holzbau | 50 |
| 2.7.2 | Arbeitsablaufplanung im Holzbau | 50 |
| 2.7.3 | Prozesse der Arbeitsvorbereitung im Holzbau | 52 |
| 2.7.4 | EDV-Systeme in der Arbeitsvorbereitung im Holzbau | 57 |
| 2.8 | Logistik im Holzbau | 60 |
| 2.9 | Produktion und Vorfertigung im Holzbau | 63 |
| 2.9.1 | Begriffsdefinitionen | 64 |
| 2.9.2 | Kriterien des industriellen Bauens im Holzbau | 68 |
| 2.9.3 | Sinnhaftigkeit der industriellen Vorfertigung | 69 |
| 2.9.4 | Unterschiedliche Systeme der Vorfertigung im Holzbau | 73 |
| 2.9.5 | Vorfertigungsgrade im Holzbau | 79 |
| 2.9.6 | Manuelle Vorfertigung im Holzrahmenbau | 81 |
| 2.9.7 | Maschinelle Vorfertigung im Holzrahmenbau | 84 |
| 2.9.8 | Technische Randbedingungen | 91 |
| 2.10 | Transport und Montage im Holzbau | 93 |
| 2.10.1 | Transportlogistik im Holzbau | 93 |
| 2.10.2 | Hilfsmittel zur Ladegutsicherung | 94 |
| 2.10.3 | Hebesysteme- und Hebemittel | 97 |
| 2.10.4 | Baustellenmontage | 98 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 2.11 | Grundlagen der Datenerfassung nach REFA | 101 |
| 2.11.1 | Das Arbeitssystem..... | 102 |
| 2.11.2 | Grundlagen der Datenermittlung | 103 |
| 2.11.3 | Vorgehensweise bei der Zeitdatenermittlung | 105 |
| 2.11.4 | Zeitaufnahmen..... | 110 |
| 2.11.5 | Statistische Auswertung..... | 113 |
| 2.11.6 | Aufwands- und Leistungswertermittlung im Holzbau | 116 |
| 3. | Bestandsanalyse im Unternehmen | 118 |
| 3.1 | Beschreibung des Unternehmens | 118 |
| 3.1.1 | Allgemeiner Überblick..... | 118 |
| 3.1.2 | Produkte und Bausysteme..... | 120 |
| 3.1.3 | Technische Ausstattung und Produktionssysteme | 123 |
| 3.2 | Ziel der Bestandsanalyse..... | 127 |
| 3.3 | Allgemeine Beschreibung der untersuchten Projekte | 129 |
| 3.3.1 | Projekt A..... | 129 |
| 3.3.2 | Projekt B..... | 131 |
| 3.4 | Vorfertigung im Unternehmen | 135 |
| 3.4.1 | Definition Vorfertigung im Unternehmen | 135 |
| 3.4.2 | Unternehmensziele durch Vorfertigung | 135 |
| 3.4.3 | Arbeitsvorbereitung im Rahmen der Vorfertigung..... | 136 |
| 3.4.4 | Vorfertigungsgrade in den einzelnen Unternehmensbereichen | 137 |
| 3.4.5 | Technische Randbedingungen | 139 |
| 3.4.6 | Analysierte Prozessabläufe | 140 |
| 3.5 | Vorfertigung Projekt A..... | 141 |
| 3.5.1 | Eingesetztes Fertigungssystem | 141 |
| 3.5.2 | Arbeitsvorbereitung zur Vorfertigung..... | 144 |
| 3.5.3 | Vorfertigung im Unternehmen | 147 |
| 3.6 | Vorfertigung Projekt B..... | 158 |
| 3.6.1 | Eingesetztes Fertigungssystem | 158 |
| 3.6.2 | Arbeitsvorbereitung zur Vorfertigung..... | 162 |
| 3.6.3 | Vorfertigung im Unternehmen | 167 |
| 4. | Datenerfassung und Auswertung | 177 |
| 4.1 | Datenerfassung nach der REFA-Methode | 177 |
| 4.1.1 | Unternehmensspezifische Gegebenheiten..... | 177 |
| 4.1.2 | Datenerfassungsbögen..... | 178 |
| 4.1.3 | Sammlung der Daten..... | 182 |
| 4.1.4 | Problematik der Datenerfassung..... | 182 |
| 4.1.5 | Erforderlicher Beobachtungsumfang..... | 183 |
| 4.1.6 | Besonderheiten bei der Datenermittlung | 184 |
| 4.2 | Ziele der Datenauswertung | 186 |
| 4.2.1 | Allgemeine Datenauswertung im Bauwesen | 186 |
| 4.2.2 | Projektspezifische Auswertung | 186 |
| 4.3 | Methodik der Datenauswertung | 189 |
| 4.3.1 | Datenübertragung..... | 189 |
| 4.3.2 | Klassifizierung der Daten nach Zeitarten..... | 190 |
| 4.3.3 | Klassifizierung der Daten nach Tätigkeiten und Unterbrechungen ... | 191 |
| 4.3.4 | Bestimmung der Aufwandswerte | 192 |
| 4.3.5 | Bestimmung der Leistungswerte..... | 198 |
| 4.4 | Ergebnisse der Datenauswertung | 199 |
| 4.4.1 | Auswertung der Daten nach Zeitarten..... | 199 |
| 4.4.2 | Auswertung der Daten nach Tätigkeiten und Unterbrechungen | 204 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 4.4.3 | Aufandswerte für die Kalkulation | 215 |
| 4.5 | Darstellung der ermittelten Aufandswerte | 248 |
| 4.5.1 | Projekt A..... | 248 |
| 4.5.2 | Projekt B..... | 249 |
| 4.6 | Problematik der Datenauswertung | 250 |
| 5. | Gegenüberstellung und Systemableitung | 251 |
| 5.1 | Grundlagen des Vergleiches..... | 251 |
| 5.2 | Gegenüberstellung der Unternehmensbereiche | 252 |
| 5.3 | Analyse der Vorfertigung bei Projekt A..... | 254 |
| 5.3.1 | Analyisierte Prozessabläufe | 254 |
| 5.3.2 | Technische Grundlagen und Ergebnisse | 260 |
| 5.3.3 | Ressourceneinsatz | 261 |
| 5.3.4 | Optimierungs- und Veränderungsvorschläge | 264 |
| 5.3.5 | Interpretation der Daten..... | 269 |
| 5.4 | Analyse der Vorfertigung bei Projekt B..... | 271 |
| 5.4.1 | Analyisierte Prozessabläufe | 271 |
| 5.4.2 | Technische Grundlagen und Ergebnisse | 277 |
| 5.4.3 | Ressourceneinsatz | 278 |
| 5.4.4 | Optimierungs- und Veränderungsvorschläge | 282 |
| 5.4.5 | Interpretation der Daten..... | 285 |
| 5.5 | Gesamtbetrachtung und Systemanalyse..... | 288 |
| 5.5.1 | Lösungsvorschläge zur Neugestaltung der Betriebshallen | 290 |
| 5.5.2 | Einflussgrößen für die Variantenauswahl | 294 |
| 5.6 | Ansätze als Entscheidungsgrundlage | 297 |
| 5.6.1 | Umgestaltung Wandfertigung-Betriebshalle 2 | 297 |
| 5.6.2 | Umgestaltung Deckenfertigung-Betriebshalle 3 | 299 |
| 5.6.3 | Gesamtbetrachtung | 302 |
| 6. | Potentiale und Ausblick | 305 |
| 6.1 | Zusammenfassung und Erkenntnisse | 306 |
| 6.2 | Potentiale der Datenerfassung und -auswertung..... | 308 |
| 6.3 | Potentiale des industriellen Holzbaus | 309 |
| 6.4 | Ausblick und Entwicklungen..... | 311 |
| | Glossar | 313 |
| | Literaturverzeichnis | 317 |
| | Normenverzeichnis | 322 |
| | Linkverzeichnis | 324 |
| A.1 | Anhang | 326 |
| A.1.1 | Analyse der Arbeitszeit nach Zeitartern..... | 327 |
| A.1.2 | Analyse nach Tätigkeiten und Unterbrechungen | 338 |
| A.1.3 | Ermittelte Aufandswerte | 362 |
| A.1.4 | Zusammengefasste Darstellung der Aufandswerte | 389 |
| A.1.5 | Flussdiagramme | 397 |
| A.1.6 | Neugestaltung der Betriebshallen | 398 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|-----------------|--|----|
| Abbildung 2.1: | Die klassische Prozesskette im Holzbau | 4 |
| Abbildung 2.2: | Typische Prozesse in einem Unternehmen | 5 |
| Abbildung 2.3: | Allgemeines Prozessmodell | 7 |
| Abbildung 2.4: | Arten von Prozessen..... | 8 |
| Abbildung 2.5: | Mögliche Übertragungswege des Schalls in einem Hochbau | 14 |
| Abbildung 2.6: | ÜA-Zeichen (links) und CE-Zeichen (rechts) | 21 |
| Abbildung 2.7: | Erfordernis einer ÜA-Kennzeichnung nach dem Vorfertigungsgrad | 22 |
| Abbildung 2.8: | Das Ü-Zeichen..... | 23 |
| Abbildung 2.9: | Ü-Zeichen der Zimmerei Sieveke GmbH | 23 |
| Abbildung 2.10: | Auszug aus der Bauregelliste A Teil1 (2009/2)..... | 24 |
| Abbildung 2.11: | Das erste vorgefertigte und transportierbare Haus von John Manning im Jahre 1833 | 26 |
| Abbildung 2.12: | Holzbauweisen im Wohn- und Kommunalbau | 28 |
| Abbildung 2.13: | Detaillierte Einteilung der Holzbauweisen..... | 29 |
| Abbildung 2.14: | Konstruktionsprinzip der Holzrahmenbauweise (links) und Darstellung eines Rohbauelements (rechts) | 30 |
| Abbildung 2.15: | Rippenbauweise | 32 |
| Abbildung 2.16: | Holztafelbauweise..... | 33 |
| Abbildung 2.17: | Raumzellenbauweise..... | 34 |
| Abbildung 2.18: | Grundprinzip des Skelettbaus..... | 35 |
| Abbildung 2.19: | Blockbauweise | 38 |
| Abbildung 2.20: | Brettstapelelemente genagelt (links) und gedübelt (rechts) | 39 |
| Abbildung 2.21: | Brettsperrholz-Element | 40 |
| Abbildung 2.22: | Anteil der verschiedenen Holzbauweisen | 41 |
| Abbildung 2.23: | Reihenfolge der Planungsphasen mit Beeinflussungsgrad der Kosten..... | 42 |
| Abbildung 2.24: | Zusammenhang zwischen Bauzeit und Baukosten | 43 |
| Abbildung 2.25: | Bauablauf einer konventionellen Bauweise | 46 |
| Abbildung 2.26: | Bauablauf eines industriell gefertigten Holzbauprojektes | 46 |
| Abbildung 2.27: | Systematischer Ablauf einer Produktion | 51 |
| Abbildung 2.28: | Primärprozesse der Arbeitsvorbereitung..... | 52 |
| Abbildung 2.29: | Modell der digitalen Produktion..... | 58 |
| Abbildung 2.30: | Ganzheitliche Betrachtung der Logistik nach Jünemann | 61 |
| Abbildung 2.31: | Fertigungskosten und Kostenstruktur in Abhängigkeit vom Automatisierungsgrad..... | 71 |
| Abbildung 2.32: | Arten von Bausystemen..... | 74 |
| Abbildung 2.33: | Achsraster..... | 75 |
| Abbildung 2.34: | Bandraster | 76 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 2.35: Abmessung von Beplankungs-Holzwerkstoffen und Achsrastermaß im Holzrahmenbau | 77 |
| Abbildung 2.36: Brettschichtholz links und Furnierschichtholz (rechts) | 78 |
| Abbildung 2.37: Beispielhafter Aufbau eines Elements in Holzrahmenbauweise ... | 79 |
| Abbildung 2.38: Vorfertigungstiefen entsprechend dem Holzbausystem..... | 80 |
| Abbildung 2.39: Automatische Abbundanlage vom Typ Hundegger K2i..... | 82 |
| Abbildung 2.40: Zimmerertisch (links) und Schmetterlingswender (rechts) | 83 |
| Abbildung 2.41: Multifunktionsbrücke vom Typ Weinmann WMS 120..... | 83 |
| Abbildung 2.42: Multifunktions-Bearbeitungszentrum in Portalbauweise | 85 |
| Abbildung 2.43: Fertigung einer Dachtafel bei maschineller Vorfertigung | 86 |
| Abbildung 2.44: Fertigung einer Deckentafel bei maschineller Vorfertigung..... | 87 |
| Abbildung 2.45: Vakuumbreifer zur Handhabung plattenförmiger Werkstücke (links) und stabförmiger Werkstücke (rechts)..... | 87 |
| Abbildung 2.46: Vakuumbreifer zur Handhabung stab- und plattenförmiger Werkstücke | 88 |
| Abbildung 2.47: Arbeitsablauf bei automatisierten Zuschnitt und Einbringung des Dämmmaterials | 89 |
| Abbildung 2.48: Rahmenelementfertigung mit zwei Robotern innerhalb des Portals..... | 90 |
| Abbildung 2.49: Integration eines 6-Achs-Roboters in das Portalbearbeitungszentrum..... | 91 |
| Abbildung 2.50: Schematische Darstellung der Liegend-Verladung von Holzrahmenelementen..... | 93 |
| Abbildung 2.51: Schematische Darstellung einer Stehend-Verladung von Holzrahmenelementen..... | 94 |
| Abbildung 2.52: Einteiliger (1) und Zweiteiliger (2) Spanngurt..... | 95 |
| Abbildung 2.53: Zurrkette | 96 |
| Abbildung 2.54: Montage eines Holzrahmenelementes auf der Baustelle..... | 99 |
| Abbildung 2.55: Arbeitssystem nach REFA | 102 |
| Abbildung 2.56: Gliederung der Daten in quantitative und qualitative Daten | 105 |
| Abbildung 2.57: Gliederung des gesamten Arbeitsablaufes in einzelne Ablaufarten bezüglich des Menschen laut REFA..... | 106 |
| Abbildung 2.58: Gliederung der Zeitarten bei Mensch und Betriebsmittel | 108 |
| Abbildung 3.1: Luftbild der Zimmerei Sieveke GmbH | 119 |
| Abbildung 3.2: Holztafelbaufertigung in der Zimmerei Sieveke GmbH | 120 |
| Abbildung 3.3: Hybridbauweise der Zimmerei Sieveke GmbH | 122 |
| Abbildung 3.4: Ingenieurholzbau der Firma Sieveke GmbH | 122 |
| Abbildung 3.5: Abbundmaschine K2i (Zimmerei Sieveke GmbH)..... | 123 |
| Abbildung 3.6: Plattenbearbeitungsmaschine SPM2 (Zimmerei Sieveke GmbH) | 124 |
| Abbildung 3.7: Vorfertigung von Holzrahmenelementen (Zimmerei Sieveke GmbH) | 125 |
| Abbildung 3.8: Vorfertigung von verklebten Hohlkasten-Dachelementen (Zimmerei Sieveke GmbH) | 126 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 3.9: Lageplan (Projekt A) | 129 |
| Abbildung 3.10: Außenwandaufbau (Projekt A)..... | 130 |
| Abbildung 3.11: Geplantes Erscheinungsbild (Projekt A) | 130 |
| Abbildung 3.12: vertikaler Einbau der Elemente auf der Baustelle (Projekt A) | 131 |
| Abbildung 3.13: Visualisierung Verbrauchermarkt aktiv&irma (Projekt B) | 132 |
| Abbildung 3.14: Lageplan (Projekt B) | 132 |
| Abbildung 3.15: Stahlbetonarbeiten (Projekt B)..... | 133 |
| Abbildung 3.16: 3D-Holzbauplanung der Hohlkastenelemente auf Brettschichtholzträgern (Projekt B) | 133 |
| Abbildung 3.17: Darstellung der Dachelemente (Projekt B)..... | 134 |
| Abbildung 3.18: Vorfertigungsgrad von Wandelementen bezugnehmend auf die Fertigungsstunden (Zimmerei Sieveke GmbH)..... | 137 |
| Abbildung 3.19: Vorfertigungsgrad von Wandelementen bezugnehmend auf die Materialkosten (Zimmerei Sieveke GmbH) | 138 |
| Abbildung 3.20: Vorfertigungsgrad von Hohlkastenelementen bezugnehmend auf die Fertigungsstunden (Zimmerei Sieveke GmbH) | 138 |
| Abbildung 3.21: Vorfertigungsgrad von Hohlkastenelementen bez. Materialkosten (Zimmerei Sieveke GmbH) | 139 |
| Abbildung 3.22: Fassadenaufbau mit Fensterdetail (Projekt A)..... | 141 |
| Abbildung 3.23: Schmetterlingswender (Projekt A) | 142 |
| Abbildung 3.24: Hebegerät für die Beplankung (Projekt A) | 142 |
| Abbildung 3.25: Zuschnitt der Dämmstoffbahnen (Projekt A) | 143 |
| Abbildung 3.26: Verladung Elemente (Projekt A) | 143 |
| Abbildung 3.27: Materialanlieferung (Projekt A) | 144 |
| Abbildung 3.28: Digitalisierung (Projekt A) | 144 |
| Abbildung 3.29: Bauteilbeschriftung (Projekt A) | 145 |
| Abbildung 3.30: Montageplan (Projekt A) | 145 |
| Abbildung 3.31: Transportliste (Projekt A) | 146 |
| Abbildung 3.32: Halleneinrichtungsplan (Projekt A)..... | 146 |
| Abbildung 3.33: Terminplan (Projekt A) | 147 |
| Abbildung 3.34: Einteilung der Arbeitsstationen (Projekt A) | 148 |
| Abbildung 3.35: Zusammenbau Riegelwerk (Projekt A) | 149 |
| Abbildung 3.36: Einbau Stellbretter und Querbalken (Projekt A) | 149 |
| Abbildung 3.37: Befestigung der Dampfbremse (Projekt A) | 150 |
| Abbildung 3.38: Montage der inneren Beplankung (Projekt A) | 150 |
| Abbildung 3.39: Winkelmontage (Projekt A) | 151 |
| Abbildung 3.40: Einbau der Dämmung (Projekt A) | 152 |
| Abbildung 3.41: Montage der Füllhölzer (Projekt A) | 152 |
| Abbildung 3.42: Montage der äußeren Beplankung (Projekt A)..... | 153 |
| Abbildung 3.43: Montage der Unterkonstruktion (Projekt A)..... | 154 |
| Abbildung 3.44: Vorbereitungsmaßnahmen für den Fenstereinbau (Projekt A).... | 155 |
| Abbildung 3.45: Fenstereinbau (Projekt A) | 155 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 3.46: Einbau der Faschen (Projekt A) | 156 |
| Abbildung 3.47: Zusatzmaßnahmen für den Transport (Projekt A) | 156 |
| Abbildung 3.48: Einfolierung der Ladung (Projekt A) | 157 |
| Abbildung 3.49: Aufbau Hohlkastenelemente (Projekt B) | 158 |
| Abbildung 3.50: Hohlkastenelemente mit Dachneigung (Projekt B) | 159 |
| Abbildung 3.51: Montagetische (Projekt B)..... | 159 |
| Abbildung 3.52: Presseinheit (Projekt B) | 160 |
| Abbildung 3.53: Ausrüstung für die Verklebung (Projekt B)..... | 161 |
| Abbildung 3.54: Verladung Elemente (Projekt A) | 161 |
| Abbildung 3.55: Digitalisierung (Projekt B) | 162 |
| Abbildung 3.56: Bauteilbeschriftung (Projekt B) | 162 |
| Abbildung 3.57: Montageplan (Projekt A) | 163 |
| Abbildung 3.58: Transportliste (Projekt B) | 163 |
| Abbildung 3.59: Entwurf Halleneinrichtungsplan (Projekt B)..... | 164 |
| Abbildung 3.60: Endgültiger Halleneinrichtungsplan (Projekt B)..... | 165 |
| Abbildung 3.61: Auszug Pressenliste (Projekt B) | 165 |
| Abbildung 3.62: Unterkonstruktion für Pressgestelle (Projekt B) | 166 |
| Abbildung 3.63: Pressprotokoll (Projekt B) | 166 |
| Abbildung 3.64: Terminplan (Projekt B) | 167 |
| Abbildung 3.65: Einteilung der Arbeitsstationen (Projekt B) | 168 |
| Abbildung 3.66: Auflegen der Sichtplatten (Projekt B) | 169 |
| Abbildung 3.67: Plattenzuschnitt (Projekt B)..... | 169 |
| Abbildung 3.68: Transport Sichtplatten zu Lagerbereich (Projekt B) | 170 |
| Abbildung 3.69: Zusammenbau des Riegelwerkes (Projekt B)..... | 170 |
| Abbildung 3.70: Ausrichtung des Elements (Projekt B) | 171 |
| Abbildung 3.71: Montage der Winkel (Projekt B) | 171 |
| Abbildung 3.72: Montage der oberen Beplankung (Projekt B)..... | 172 |
| Abbildung 3.73: Transport von AS2-Zwischenlager (Projekt B)..... | 172 |
| Abbildung 3.74: Ausfüllen der Pressprotokolle (Projekt B) | 173 |
| Abbildung 3.75: Klebstoffauftrag (Projekt B)..... | 174 |
| Abbildung 3.76: Pressvorbereitung Riegelwerk (Projekt B) | 174 |
| Abbildung 3.77: Anbringung der Pressgestelle (Projekt B) | 175 |
| Abbildung 3.78: Unterlagehölzer bei Presse (Projekt B)..... | 175 |
| Abbildung 3.79: Entleeren des Presstisches (Projekt B)..... | 176 |
| Abbildung 3.80: Verladung der Elemente (Projekt B) | 176 |
| Abbildung 4.1: Ausschnitt eines Datenerfassungsbogens Teil 1 (Projekt A) | 180 |
| Abbildung 4.2: Ausschnitt eines Datenerfassungsbogens Teil 2 (Projekt A) | 181 |
| Abbildung 4.3: Erforderliche Beobachtungen nach der Multimoment Hauptformel für eine statistische Sicherheit von 95%..... | 183 |
| Abbildung 4.4: Zeitarten aller AK an einem gewählten Arbeitstag (Projekt A) | 199 |

| | | |
|-----------------|---|-----|
| Abbildung 4.5: | Zeitarten aller AK an einem gewählten Arbeitstag (Projekt B) | 200 |
| Abbildung 4.6: | Zeitarten aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum (Projekt A)..... | 201 |
| Abbildung 4.7: | Zeitarten aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum (Projekt B)..... | 202 |
| Abbildung 4.8: | Beurteilung der Grundzeit aller AK (Projekt A)..... | 203 |
| Abbildung 4.9: | Beurteilung der Grundzeit aller AK (Projekt B)..... | 204 |
| Abbildung 4.10: | Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK an einem gewählten Arbeitstag auf erster Ebene (Projekt A) | 205 |
| Abbildung 4.11: | Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum auf zweiter Ebene (Projekt A)..... | 206 |
| Abbildung 4.12: | Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK an einem gewählten Arbeitstag auf erster Ebene (Projekt B) | 207 |
| Abbildung 4.13: | Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum auf zweiter Ebene (Projekt B)..... | 208 |
| Abbildung 4.14: | Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum auf erster Ebene (Projekt A) | 209 |
| Abbildung 4.15: | Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum auf zweiter Ebene (Projekt A)..... | 210 |
| Abbildung 4.16: | Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum auf erster Ebene (Projekt B) | 211 |
| Abbildung 4.17: | Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum auf zweiter Ebene (Projekt B)..... | 212 |
| Abbildung 4.18: | Beurteilung der Haupttätigkeiten aller AK (Projekt A) | 213 |
| Abbildung 4.19: | Beurteilung der Haupttätigkeiten aller AK (Projekt B) | 214 |
| Abbildung 4.20: | Tätigkeitsverteilung Zusammenbau Riegelwerk (Projekt A)..... | 217 |
| Abbildung 4.21: | Aufwandswerte Arbeitsstation 1 (Projekt A)..... | 226 |
| Abbildung 4.22: | Tätigkeitsverteilung Arbeitsstation 1 (Projekt A) | 227 |
| Abbildung 4.23: | Aufwandswerte Arbeitsstation 2 (Projekt A)..... | 228 |
| Abbildung 4.24: | Tätigkeitsverteilung Arbeitsstation 2 (Projekt A) | 228 |
| Abbildung 4.25: | Aufwandswerte Arbeitsstation 3 (Projekt A)..... | 229 |
| Abbildung 4.26: | Tätigkeitsverteilung Arbeitsstation 3 (Projekt A) | 230 |
| Abbildung 4.27: | Aufwandswerte Arbeitsstation 4 [Std/lfm] (Projekt A)..... | 230 |
| Abbildung 4.28: | Aufwandswerte Arbeitsstation 4 (Projekt A)..... | 231 |
| Abbildung 4.29: | Tätigkeitsverteilung Arbeitsstation 4 (Projekt A) | 231 |
| Abbildung 4.30: | Aufwandswerte Transport und Verladung (Projekt A) | 232 |
| Abbildung 4.31: | Tätigkeitsverteilung Transport und Verladung (Projekt A)..... | 232 |
| Abbildung 4.32: | Stations-Aufwandswerte (Projekt A) | 233 |
| Abbildung 4.33: | Gesamtaufwandswert (Projekt A) | 233 |
| Abbildung 4.34: | Tätigkeitsverteilung gesamt (Projekt A) | 234 |
| Abbildung 4.35: | Tätigkeitsverteilung Bearbeitung der Sichtplatten (Projekt B) | 236 |
| Abbildung 4.36: | Aufwandswerte Arbeitsstation 1 (Projekt B)..... | 242 |
| Abbildung 4.37: | Aufwandswerte Arbeitsstation 2 (Projekt B)..... | 243 |
| Abbildung 4.38: | Tätigkeitsverteilung Arbeitsstation 2 (Projekt B) | 243 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 4.39: Aufwandswerte Arbeitsstation 3 (Projekt B)..... | 244 |
| Abbildung 4.40: Tätigkeitsverteilung Arbeitsstation 3 (Projekt B) | 245 |
| Abbildung 4.41: Aufwandswerte Transport und Verladung (Projekt B) | 245 |
| Abbildung 4.42: Tätigkeitsverteilung Transport und Verladung (Projekt B)..... | 246 |
| Abbildung 4.43: Stations-Aufwandswerte (Projekt B) | 246 |
| Abbildung 4.44: Gesamtaufwandswert (Projekt B) | 247 |
| Abbildung 4.45: Tätigkeitsverteilung gesamt (Projekt B) | 247 |
| Abbildung 5.1: Bepfungselemente Projekt A (links) Projekt B (rechts)..... | 252 |
| Abbildung 5.2: Grundriss Betriebshalle 2 (Projekt A)..... | 254 |
| Abbildung 5.3: Materialanlieferung (Projekt A) | 255 |
| Abbildung 5.4: Materialfluss (Projekt A)..... | 256 |
| Abbildung 5.5: Personalfluss (Projekt A) | 257 |
| Abbildung 5.6: Zeitverteilung (Projekt A) | 261 |
| Abbildung 5.7: Hallenöffnungen (Projekt A)..... | 265 |
| Abbildung 5.8: Arbeitsweise zweier Hallenkrane (Projekt A) | 266 |
| Abbildung 5.9: Säulenschwenkkran für AS3 (Projekt A) | 266 |
| Abbildung 5.10: Montagegerät für den Fenstereinbau für AS4 (Projekt A) | 267 |
| Abbildung 5.11: Optimierung Funktionsweise Arbeitstische (Projekt A) | 268 |
| Abbildung 5.12: Dateninterpretation (Projekt A) | 269 |
| Abbildung 5.13: Grundriss Betriebshalle 3 (Projekt B)..... | 271 |
| Abbildung 5.14: Materialanlieferung (Projekt B) | 272 |
| Abbildung 5.15: Materialfluss (Projekt B)..... | 273 |
| Abbildung 5.16: Personalfluss (Projekt B) | 275 |
| Abbildung 5.17: Zeitverteilung (Projekt B) | 279 |
| Abbildung 5.18: Arbeitsweise zweier Hallenkrane (Projekt B) | 283 |
| Abbildung 5.19: Positionierung Telefon und PC (Projekt B) | 284 |
| Abbildung 5.20: Platzbedarf Sichtplatten-Zuschnitt (Projekt B)..... | 284 |
| Abbildung 5.21: Dateninterpretation (Projekt B) | 286 |
| Abbildung 5.22: Anordnung der Betriebshallen | 290 |
| Abbildung 5.23: Getrennte Fertigung (Variante 1) | 291 |
| Abbildung 5.24: Verbundene Fertigung (Variante 2) | 292 |
| Abbildung 5.25: Kombinierte Fertigung (Variante 3)..... | 293 |
| Abbildung 5.26: Umgestaltung Wandfertigung-Betriebshalle 2..... | 297 |
| Abbildung 5.27: Umgestaltung Deckenfertigung- Betriebshalle 3 (mit Plattenzuschnitt) | 300 |
| Abbildung 5.28: Entwurf Einhausung Presstische | 301 |
| Abbildung 5.29: Umgestaltung Deckenfertigung- Betriebshalle 3 (ohne Plattenzuschnitt) | 302 |
| Abbildung 5.30: Gesamtbetrachtung | 303 |

Formelverzeichnis

| | | |
|--------------|--|-----|
| Formel 2.1: | Berechnung der Grundzeit..... | 109 |
| Formel 2.2: | Berechnung der Erholungszeit..... | 109 |
| Formel 2.3: | Berechnung der Verteilzeit..... | 110 |
| Formel 2.4: | Berechnung des arithmetischen Mittelwertes | 114 |
| Formel 2.5: | Berechnung der Standardabweichung..... | 114 |
| Formel 2.6: | Berechnung der Variationszahl..... | 114 |
| Formel 2.7: | Berechnung des relativen Vertrauensbereiches | 115 |
| Formel 2.8: | Multimoment Hauptformel für eine statistische Sicherheit von 95%..... | 116 |
| Formel 2.9: | Berechnung des Aufwandswertes | 117 |
| Formel 2.10: | Berechnung des Leistungswertes | 117 |
| Formel 4.1: | Stichprobenumfang für eine statistische Sicherheit von 95% | 184 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|---------------|--|-----|
| Tabelle 2.1: | Fertigungsschritte von Holzbausystemen | 62 |
| Tabelle 2.2: | Vorfertigungsgrade in Bezug auf die Bauweise | 80 |
| Tabelle 2.3: | Vor- und Nachteile der aktuell verwendeten Hebesysteme für Wandelemente..... | 97 |
| Tabelle 2.4: | Vor- und Nachteile der aktuell verwendeten Hebesysteme für Decken- und Dachelemente | 98 |
| Tabelle 2.5: | Einteilung der Vorgänge eines Arbeitsablaufes nach Anlehnung an Schlagbauer..... | 108 |
| Tabelle 2.6: | Funktionswerte für die Berechnung der erzielten Genauigkeit nach dem Variationsverfahren | 115 |
| Tabelle 4.1: | MMA-Datenerfassungsbogen (Projekt A) | 179 |
| Tabelle 4.2: | Ausschnitt der Datenübertragung eines DEB (Projekt A)..... | 190 |
| Tabelle 4.3: | AW _i -Positionen (Projekt A)..... | 194 |
| Tabelle 4.4: | AW _i -Positionen (Projekt B)..... | 196 |
| Tabelle 4.5: | Aufteilungsschlüssel Unterbrechungen und nicht erkennbare Tätigkeiten für die AS1 (Projekt A)..... | 196 |
| Tabelle 4.6: | Zuteilung der Zeiten aus den DEB (Projekt A) | 197 |
| Tabelle 4.7: | Zuteilung und Summierung der Zeiten aller DEB (Projekt B)..... | 197 |
| Tabelle 4.8: | Ermittlung der Bezugsgröße von AS1 (Projekt A) | 216 |
| Tabelle 4.9: | AW: Zusammenbau des Riegelwerkes (Projekt A) | 217 |
| Tabelle 4.10: | AW: Einbau der Stellbretter (Projekt A)..... | 218 |
| Tabelle 4.11: | AW: Einbau der Querbalken (Projekt A) | 218 |
| Tabelle 4.12: | AW: Ausrichtung des Elementes (Projekt A)..... | 219 |
| Tabelle 4.13: | AW: Befestigung der Dampfbremse (Projekt A)..... | 219 |
| Tabelle 4.14: | AW: Fixierung der inneren Beplankung (Projekt A) | 220 |
| Tabelle 4.15: | AW: Verspachtelung der inneren Beplankung (Projekt A) | 220 |
| Tabelle 4.16: | AW: Befestigung der Winkel (Projekt A) | 220 |
| Tabelle 4.17: | AW: Vorbereitung der Dämmung (Projekt A) | 221 |
| Tabelle 4.18: | AW: Einbau der Dämmung (Projekt A) | 221 |
| Tabelle 4.19: | AW: Einbau der Füllhölzer (Projekt A) | 221 |
| Tabelle 4.20: | AW: Fixierung der äußeren Beplankung (Projekt A) | 222 |
| Tabelle 4.21: | AW: Abklebung der äußeren Beplankung (Projekt A) | 222 |
| Tabelle 4.22: | AW: Befestigung der Unterkonstruktion (Projekt A) | 223 |
| Tabelle 4.23: | AW: Einbau der Dichtung (Projekt A)..... | 223 |
| Tabelle 4.24: | AW: Vorbereitungsmaßnahmen Fenstereinbau (Projekt A) | 224 |
| Tabelle 4.25: | AW: Fenstereinbau (Projekt A) | 224 |
| Tabelle 4.26: | AW: Einbau der Glasleisten (Projekt A) | 224 |
| Tabelle 4.27: | AW: Einbau der Fensterfaschen (Projekt A) | 225 |
| Tabelle 4.28: | AW: Transport (Projekt A)..... | 225 |
| Tabelle 4.29: | AW: Verladung (Projekt A)..... | 226 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| Tabelle 4.30: | Ermittlung der Bezugsgröße von AS2 (Projekt B)..... | 235 |
| Tabelle 4.31: | AW: Bearbeitung der Sichtplatten (Projekt B)..... | 236 |
| Tabelle 4.32: | AW: Zusammenbau des Riegelwerkes (Projekt B)..... | 237 |
| Tabelle 4.33: | AW: Ausrichtung des Elementes (Projekt B)..... | 238 |
| Tabelle 4.34: | AW: Einbau der Hebeschlaufen (Projekt B)..... | 238 |
| Tabelle 4.35: | AW: Befestigung der Winkel (Projekt B)..... | 238 |
| Tabelle 4.36: | AW: Fixierung der oberen Beplankung (Projekt B)..... | 239 |
| Tabelle 4.37: | AW: Pressvorbereitung Sichtplatten (Projekt B)..... | 239 |
| Tabelle 4.38: | AW: Pressvorbereitung Riegelwerk (Projekt B)..... | 240 |
| Tabelle 4.39: | AW: Verklebung (Projekt B)..... | 240 |
| Tabelle 4.40: | AW: Presse schließen (Projekt B)..... | 240 |
| Tabelle 4.41: | AW: Presse öffnen (Projekt B)..... | 241 |
| Tabelle 4.42: | AW: Transport und Verladung (Projekt B)..... | 241 |
| Tabelle 4.43: | Aufwandswerte (Projekt A)..... | 249 |
| Tabelle 4.44: | Aufwandswerte (Projekt B)..... | 249 |
| Tabelle 5.1: | Gegenüberstellung der Aufwandswerte..... | 288 |
| Tabelle 5.2: | Tätigkeitsverteilungen..... | 289 |
| Tabelle 5.3: | Tätigkeiten je Arbeitsstation (Neuplanung Halle 2)..... | 298 |
| Tabelle 5.4: | Tätigkeiten je Arbeitsstation (Neuplanung Halle 3)..... | 300 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------------------------|--|
| AG | Auftraggeber |
| AK | Arbeitskraft |
| AN | Auftragnehmer |
| AS | Arbeitsstation |
| AV | Arbeitsvorbereitung |
| AW | Aufwandswert |
| AZ | Arbeitszeit |
| BIM | Building Information Modeling |
| BM | Betriebsmittel |
| BSH | Brettschichtholz |
| BSP | Brettsperrholz |
| CAD | Rechnerunterstütztes Konstruieren (englisch: Computer aided design) |
| CAM | Rechnerunterstützte Fertigung (englisch: computer aided manufacturing) |
| CE | Europäische Gemeinschaft (französisch: Communauté Européenne) |
| CIM | Computerintegrierte Produktion (englisch: computer integrated manufacturing) |
| CNC | Rechnergestützte numerische Steuerung (englisch: Computerized Numerical Control) |
| DEB | Datenerfassungsbogen |
| DIBt | Das Deutsche Institut für Bautechnik |
| DIN | Deutsche Industrienorm |
| EEB | Energiebedarf |
| EG | Europäische Gemeinschaft |
| EN | Europäische Norm |
| EnEV | Energieeinsparungsverordnung |
| EU | Europäische Union |
| EZA | Einzelzeitaufnahme |
| f_{GEE} | Gesamtenergieeffizienzfaktor |
| GKP | Gipskarton-Bauplatten |
| HBV | Holz-Beton-Verbund |
| HWB | Heizwärmebedarf |
| HOIA | Honorarordnung für Architekten und Ingenieure |
| JIT | Just-in-time |
| KB | Kühlbedarf |
| KIT | Kommunikations- und Informationstechnologie |
| KMU | Klein- und Mittelbetriebe |
| LBW | Leichtbauweise |
| LC | Lean Construction |
| LW | Leistungswert |

| | |
|--------------|--|
| MBW | Massivbauweise |
| MMA | Multimomentaufnahme |
| OIB | Österreichisches Institut für Bautechnik |
| ÖA | Österreichische Baustoffliste |
| ÖFV | Österreichischer Fertighausverband |
| ÖNORM | Österreichische Norm |
| OSB | Grobspanplatte (englisch: oriented strand board) |
| PEB | Primärenergiebedarf |
| QM | Qualitätsmanagement |
| REFA | Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung |
| RFID | Radiofrequenz-Identifikation |
| Ü | Übereinstimmungszeichen |
| ÜA | Übereinstimmungskennzeichen Österreich |
| ÜZ | Übereinstimmungszertifikat |
| V | Verladung |
| VE | Verrechnungseinheit |
| ZE | Zeiteinheit |
| ZSP | zementgebundene Spanplatte |

1. Einleitung

Durch die Neu- und Weiterentwicklung von Holzprodukten, sowie die Systematisierung neuartiger Verbindungstechniken, hat der moderne Holzbau in jüngerer Vergangenheit sowohl neue Betätigungsfelder erschließen, als auch steigende Anteile am Baumarkt erzielen können. Dabei überzeugt speziell der Holzrahmenbau nicht nur durch seine technischen und bauphysikalischen Eigenschaften, die über viele Jahre weiterentwickelt wurden, sondern vielmehr durch den immer höher werdenden Vorfertigungsgrad, der mit dieser Art von Produktion erreicht werden kann. Der Einsatzbereich des modernen Holzrahmenbaus ist in Mitteleuropa breit gefächert und reicht vom klassischen Einfamilienhaus, über den mehrgeschossigen Holzbau, bis hin zu komplexen Industrie- und Ingenieurholzbauten, welche alle die Vorzüge vorgefertigter Holzrahmenelemente in ihrer breiten Anwendung nutzen.

1.1 Motivation und Zielsetzung

Aufgrund der hohen Anforderungen durch die Bauherren und Architekten betreffend Qualität, sowie Kosten- und Terminvorgaben, werden stets neue Herausforderungen an heutige moderne Holzbaubetriebe gestellt. Dies führt unausweichlich dazu, die Produktportfolios stets den Kundenbedürfnissen anzupassen respektive erneuern zu müssen. Dadurch wird nicht nur eine große Herausforderung und Anpassungsfähigkeit an eine flexible Fertigung erforderlich, auch die zugehörigen Kalkulationsabteilungen müssen schnellstmöglich mit aktuellen Daten und Grundlagen versorgt werden.

Im Zuge eines viermonatigen Praktikums beim Unternehmen Zimmerei Sieveke GmbH wurden zwei unterschiedliche Produktionssysteme untersucht, analysiert und gegenübergestellt. Primäres Ziel dieser Arbeit war somit die Analyse zweier Fertigungsprozesse im Unternehmen mit der Gegenüberstellung beider Systeme, sowie die Ausarbeitung grundlegender Unterschiede auf Basis aufgenommener Daten während der Produktion. Aus den Ergebnissen der Datenaufnahme wurden Aufwands- und Leistungswerte mittels wissenschaftlich anerkannter Aufnahme- und Analysemethoden nach der sog. REFA-Methodik ermittelt, die als künftige Ansätze in der Kalkulation vergleichbarer Projekte und Prozesse herangezogen werden können. Die Ergebnisse aus der Gegenüberstellung wurden dabei gezielt als zusätzliche Entscheidungsgrundlage für eine geplante Neugestaltung der vorhandenen Betriebsstätten aufbereitet.

1.2 Struktur der Masterarbeit

Die vorliegende Masterarbeit ist in die folgenden Kapitel unterteilt:

- **Grundlagen - holzbauliche Arbeitssysteme**

In diesem Kapitel werden in erster Linie die Grundlagen der verschiedenen Arbeitsprozesse des modernen Holzbaus näher erläutert. Da sich der Firmensitz des Unternehmens in Lohne, DE befindet, wird zusätzlich auf nationale technische und normative Unterschiede zwischen Österreich und Deutschland eingegangen. Des Weiteren werden derzeit häufig eingesetzte Holzbausysteme mit eher technischen und bauwirtschaftlichen Grundlagen erläutert, sowie sicherheitstechnisch relevante Themen rund um die Holzbaumontage näher beschrieben. Abschließend werden die wesentlichen Grundlagen der Datenerfassung nach dem System REFA als Basis für die Untersuchung im Unternehmen vorgestellt.

- **Bestandsanalyse im Unternehmen**

Dieses Kapitel beinhaltet eine kurze Vorstellung des Unternehmens gefolgt von einer allgemeinen Darstellung der bestehenden Vorfertigung und einer Beschreibung der untersuchten Projekte in der Fertigung. Zusätzlich wird die Analyse des Fertigungsablaufes beider Projekte näher erläutert.

- **Datenerfassung und Auswertung**

Im Kapitel vier werden unternehmensspezifische Gegebenheiten und Randbedingungen, wie auch die prinzipielle Vorgehensweise der Datenerfassung nach REFA vorgestellt. Dabei kommt der Darstellung und Interpretation der Auswertungsergebnisse eine zentrale Rolle zu, um ein möglichst umfassendes Bild der bestehenden Produktion erstellen zu können. Abschließend werden die Resultate und Entscheidungsgrundlagen beider untersuchten Projekte für die weitere Bestandsaufnahme zusammengefasst abgebildet.

- **Systemableitung und Gegenüberstellung**

Zu Beginn dieses Kapitels werden die Grundlagen und die Ausgangssituation des Vergleiches näher erläutert. Anschließend erfolgt eine umfangreiche Analyse der Vorfertigung beider Projekte, welche vor Ort im Unternehmen durchgeführt wurde. Im Zuge der Gesamtbetrachtung werden unterschiedliche Anpassungs- und Optimierungsvorschläge für die bestehende Produktion erarbeitet, wobei für die Neuplanung bzw.

Umstrukturierung der Betriebsstätten eine ausgewählte Variante im Detail betrachtet wird.

- **Potentiale und Ausblick**

Neben einer Zusammenfassung wird im Kapitel fünf auf das Potential des industriellen Holzbaus und im Speziellen auf die Datenerfassung und Auswertung nach der sog. REFA-Systematik eingegangen. Abgeschlossen wird dieses Kapitel mit dem Ausblick auf moderne und flexible Fertigungstechnologien, welche den Holzbau künftig prägen werden.

- **Anhang**

Im Anhang ist die vollständige Sammlung aller aufgenommenen Daten im Unternehmen beigefügt. Diese setzt sich u.a. aus den zeit- und tätigkeitsbezogenen Analysen über den gesamten Beobachtungszeitraum, wie auch der Darstellung sämtlicher daraus ermittelter Aufwandswerte zusammen. Des Weiteren sind die Diagramme von Material- und Personalflüssen sowie konkrete Ausarbeitungen einer möglichen Optimierung bzw. Umstrukturierung der Betriebsstätten beigefügt.

2. Grundlagen - holzbauliche Arbeitssysteme

In diesem Kapitel werden in erster Linie die Grundlagen der Arbeitsprozesse im modernen Holzbau näher erläutert. Außerdem wird neben der Beschreibung von technischen und normativen Grundlagen auch eine Einführung in den industriellen Holzbau von heute gegeben. Abgeschlossen wird dieses Kapitel mit einer grundlegenden Beschreibung der Datenerfassung nach dem System REFA.

2.1 Arbeitsprozesse im Holzbau

Im Allgemeinen ist der Holzbau dadurch gekennzeichnet, dass die durchzuführenden Aufgaben in unterschiedliche Arbeitsprozesse gegliedert werden.

In der nachfolgenden Grafik ist die Prozesskette¹ der Zimmerei Sieveke GmbH, welche im Zuge dieser Arbeit im Bereich der Vorfertigung umfassend untersucht wurde, beispielhaft abgebildet. Bis auf wenige unternehmensspezifische Besonderheiten tritt diese Darstellung der Prozesskette auch bei vielen anderen Holzbaubetrieben in ähnlicher Form auf.



Abbildung 2.1: Die klassische Prozesskette im Holzbau²

Die Abbildung 2.1 zeigt die typischen Arbeitsprozesse im Holzbau, welche im Laufe dieses Kapitels näher betrachtet werden. Einleitend werden zunächst allgemeine Merkmale bzw. Arten von Prozessen näher erläutert.

¹ Die Aktivitäten und Prozesse innerhalb eines Unternehmens sind aus funktionalen Gründen im Ablauf miteinander verbunden. Diese Verbindung wird als Prozesskette bezeichnet.

² http://sieveke.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=15&Itemid=115, am 25.07.2015 um 08:56 Uhr

2.1.1 Definition Prozess

„Ein Prozess umfasst eine Reihe von Aktivitäten, die untereinander in Verbindung stehen und aus einer Reihe von Eingaben ein Ergebnis für den Prozesskunden erzeugen.“³

Entsprechend dieser Definition kann das gesamte Unternehmen als ein einziger Prozess angesehen werden, in dem Material, Personal, Kapital und Wissen eingesetzt und nach bestimmten Regeln in Produkte und Dienstleistungen umgewandelt werden. In einem Unternehmen ist diese Einteilung für die Analyse, Lenkung und Verbesserung einzelner Abläufe jedoch zu ungenau. Bei genauerer Betrachtung werden verschiedene Prozesse sichtbar, die untereinander in Wechselwirkung stehen und sich voneinander abgrenzen lassen. Symbolhaft seien hierfür der Produktentwicklungs-, der Beschaffungs- oder der Auftragsabwicklungsprozess genannt. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine umfassende, aber nicht abschließende Auflistung typischer Prozesse.⁴

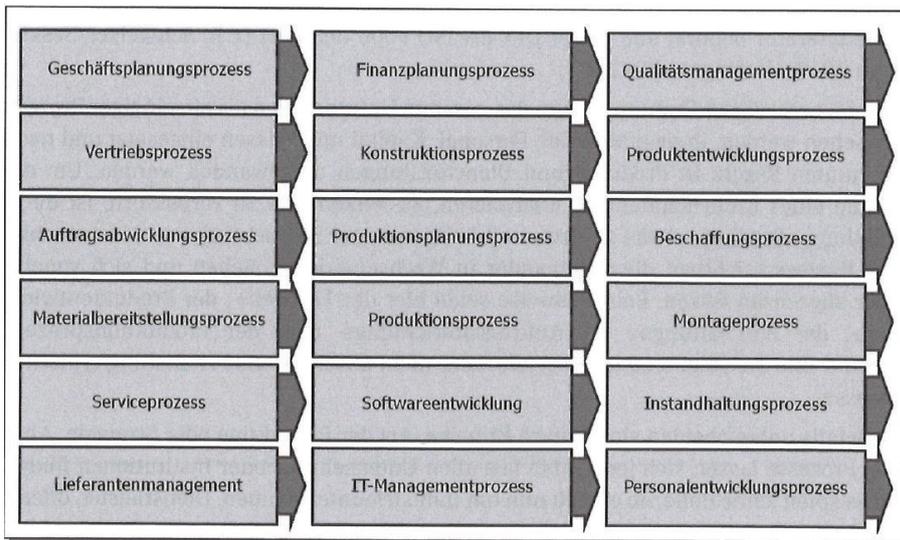


Abbildung 2.2: Typische Prozesse in einem Unternehmen⁵

Die in Abbildung 2.2 dargestellten Prozesse werden auch Hauptprozesse genannt, welche sich weiter in Teilprozesse gliedern lassen. Für die Einteilung in Haupt- und Teilprozesse sind deren Praktikabilität und eindeutige Zuordnung der handelnden Personen ausschlaggebend. Der Hauptprozess Auftragsabwicklung würde sich bspw. weiter in die Teilprozesse Auftragsmanagement, Produktions- und Materialplanung, Materialbereitstellung, Produktion, Lieferung und Fakturierung gliedern lassen. Ob nun dieser als eigenständiger Hauptprozess oder in Form meh-

³ VGL. DIN EN ISO 9000, 2005-12: Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe.

⁴ VGL. FÜERMANN, T.: Prozessmanagement kompaktes Wissen, konkrete Umsetzung, praktische Arbeitshilfen. S. 1.

⁵ VGL. a.a.O., S. 2.

rerer Teilprozesse abgebildet wird, ist nicht eindeutig geregelt bzw. mit keinem eindeutigen und nachvollziehbaren Grundverständnis verbunden. Für den Anwender sind somit einzig und allein die beiden Kriterien der Praktikabilität und der eindeutigen Verantwortung maßgebend. In den meisten Unternehmungen kommen auch mehrere Produktionsprozesse zum Einsatz, die häufig räumlich und organisatorisch voneinander abgegrenzt werden.⁶

Sämtliche der zumeist zwischen fünf und zwanzig Haupt- und teilweise über hundert Teilprozesse in einem Unternehmen stehen durch den Austausch von Materialien und Informationen untereinander in enger Verbindung. In der Praxis bedeutet das bspw., dass ein Kundenauftrag zuerst den Auftragsabwicklungsprozess durchläuft und danach erst einen Fertigungsprozess auslösen kann. Somit werden die vom Fertigungsprozess erstellten Leistungen an den sich anschließenden Distributionsprozess übergeben. Über den Auftragsabwicklungsprozess fließen Informationen vom Kunden über den Auftragsabwicklungsprozess zur Fertigungsplanung und lösen schließlich einen Fertigungsauftrag aus. Von der Fertigung gelangen wiederum Informationen in Form von Formularen oder durch das eingesetzte IT-System zu anderen betrieblichen Teilbereichen. Auf diese Weise wird der Auftrag im Planungssystem als fertig gemeldet, wodurch die Daten für das Kostenrechnungssystem und die monatliche Betriebskostenabrechnung zur Verfügung stehen. Zu diesem einfachen Beispiel wird in der nachfolgenden Abbildung 2.3 gezeigt, wie die Prozesse durch Informations- und Materialflüsse untereinander in Verbindung stehen.⁷

⁶ VGL. FÜERMANN, T.: Prozessmanagement kompaktes Wissen, konkrete Umsetzung, praktische Arbeitshilfen. S. 2-3.

⁷ VGL. a.a.O., S. 3.

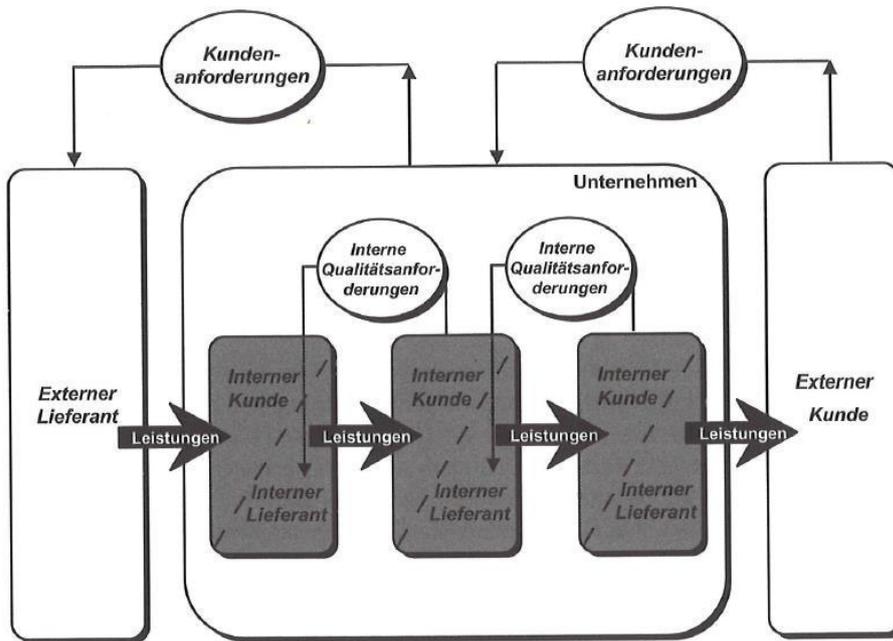


Abbildung 2.3: Allgemeines Prozessmodell⁸

In dieser modellhaften Darstellung gibt es zu jedem Prozess mindestens einen Lieferanten bzw. Kunden sowie eine messbare Eingabe und ein Ergebnis des Prozesses.

Jedem Prozess kommen dabei drei unterschiedliche Rollen zu:⁹

- Erstens ist der betrachtete Prozess der Kunde von Materialien und Informationen eines vorangegangenen Prozesses. Somit erhält dieser Leistungen, an die er gewisse Anforderungen stellen kann.
- Zweitens ist der Prozess selbst auch Verarbeiter der erhaltenen Leistungen. Auf der Grundlage der empfangenen Leistung findet an dieser Stelle die eigentliche Wertschöpfung statt.
- Drittens übernimmt der Prozess die Rolle eines Lieferanten, indem er gemäß den Anforderungen des nachfolgenden Prozesses seine Ergebnisse weitergibt.

Prozesseingaben, wie Zeichnungen, Rohstoffe, Formulare, Telefonanrufe oder Informationen aus dem IT-System können eine Kette von Tätigkeiten innerhalb eines Prozesses auslösen. Informationen oder Materialien, die aus dem Prozess ausgegeben werden, sind als Ergebnisse davon zu bezeichnen. Dabei ist es nicht von zentraler Bedeutung, ob sich

⁸ VGL. FÜERMANN, T.: Prozessmanagement kompaktes Wissen, konkrete Umsetzung, praktische Arbeitshilfen. S. 4.

⁹ VGL. a.a.O., S. 3.

der Kunde bzw. Lieferant in Form eines weiteren Prozesses innerhalb oder außerhalb des betrachteten Unternehmens befindet.¹⁰

2.1.2 Merkmale von Arbeitsprozessen

Ein Arbeitsprozess verläuft ergebnisorientiert und beinhaltet präzise definierte sowie eindeutig festgelegte Aufgaben. Er wird durch ein konkretes Ereignis ausgelöst und von einem Aktionsträger, meist Mensch oder Sachmittel, vollzogen. Anhand verknüpfter Aktivitäten kann eine Transformation von Eingangswerten in zuvor definierte Ausgangswerte erfolgen. Dazu wird mindestens eine Quelle benötigt, aus welcher der Eingangswert bzw. Auslöser stammt. Voraussetzung ist zudem mindestens ein Abnehmer, an den das Ergebnis weitergeleitet wird. Aktivitäten innerhalb des Arbeitsprozesses werden nach vorgegebenen Methoden bzw. definierten Regeln durchgeführt. Die Zwischen- oder Endergebnisse unterliegen dabei in den meisten Fällen sowohl internen als auch externen Kontrollen.¹¹

2.1.3 Prozessarten

Die nachfolgende Abbildung 2.4 zeigt, dass sich die Gesamtheit der Prozesse in unterschiedliche Arten bzw. Kategorien, entsprechend dem Objekt, der Häufigkeit, der Dimension und der Auslösung unterteilen lässt.

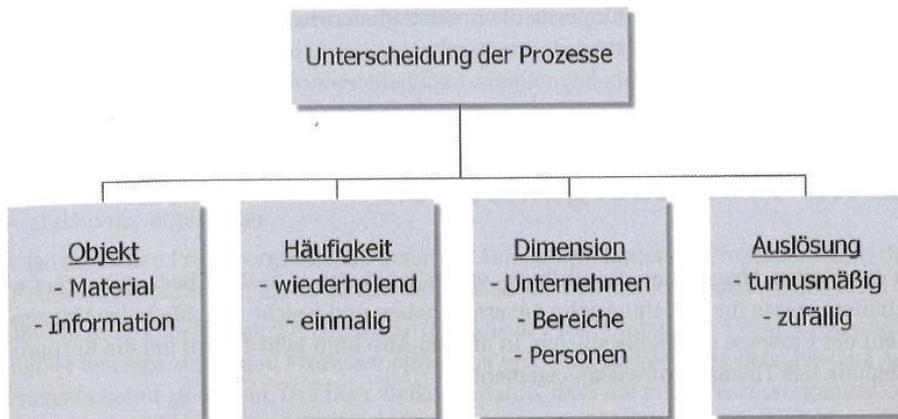


Abbildung 2.4: Arten von Prozessen¹²

Zu Beginn sollten nur Objekte betrachtet werden, die auch eindeutig durch den Prozess fließen. Solche Objekte können bspw. Materialien

¹⁰ VGL. FÜERMANN, T.: Prozessmanagement kompaktes Wissen, konkrete Umsetzung, praktische Arbeitshilfen. S. 3.

¹¹ VGL. SCHULTE-ZURHAUSEN, M.: Organisation; 4.Auflage.

¹² VGL. FÜERMANN, T.: Prozessmanagement kompaktes Wissen, konkrete Umsetzung, praktische Arbeitshilfen. S. 5.

oder Informationen sein. Aus diesen Umständen ergeben sich Abstufungen aus der alleinigen Informationsverarbeitung bis zur umfassenden Materialverarbeitung. Die meisten Prozesse sind nicht eindeutig einer Kategorie zuordenbar, sondern liegen an einer bestimmten Stelle dazwischen. Prozesse haben sowohl eine materielle als auch eine informelle Komponente. So wird bspw. der Prozess des innerbetrieblichen Transportes vordergründig auf die Bewegung von Materialien ausgerichtet, wird jedoch zusätzlich von einer Vielzahl an Formularen und somit Informationen begleitet.¹³

Des Weiteren werden Prozesse nach der Häufigkeit ihrer Auslösung eingeteilt. Wiederholend ablaufende Prozesse, wie bspw. die Gehaltsabrechnung sind durch Verfahrensanweisungen meist standardisiert, sodass bei gleicher Ausgangssituation auch ein gleichartiges Ergebnis erwartet werden kann. Der Entwicklungsprozess für ein bestimmtes Produkt läuft im Gegensatz dazu in den meisten Fällen nur einmal ab. In solchen Fällen können Verfahrensanweisungen nur einen groben Rahmen bezüglich der zu durchlaufenden Entwicklungsstufen vorgeben. Die Details müssen für jeden Einzelfall individuell festgelegt werden, wodurch viele Entscheidungsfreiräume entstehen und auftretende Probleme meist durch kreatives Verhalten gelöst werden müssen.¹⁴

Auch in der Dimension können sich Prozesse stark voneinander unterscheiden. Prinzipiell kann unterschieden werden, ob sie unternehmens-, bereichs-, oder personenübergreifend organisiert werden:¹⁵

- Unternehmensübergreifende Prozesse erstrecken sich über mindestens zwei Unternehmen. Ein Beispiel dazu ist die Just-in-time-Materialanlieferung eines Lieferanten direkt zu den Produktionsstätten des Kunden.
- Von bereichsübergreifenden Prozessen ist dann die Rede, wenn mehrere Prozesse im Unternehmen von einem einzigen Prozess betroffen sind. Ein Beispiel hierfür ist der Auftragsabwicklungsprozess, der sowohl die Vertriebsabteilung und Produktionsplanung, als auch das Controlling und die Finanzabteilung betrifft.
- Die personenübergreifenden Prozesse laufen innerhalb eines Bereiches zwischen verschiedenen Personen ab. Prozesse, wie bspw. die Materialbereitstellung oder die Kalkulation bekommen Eingaben aus anderen Prozessen und liefern ihre Ergebnisse an interne Kunden. Lediglich die notwendigen Tätigkeiten innerhalb des Prozesses sind auf eine Person konzentriert.

¹³ VGL. FÜERMANN, T.: Prozessmanagement kompaktes Wissen, konkrete Umsetzung, praktische Arbeitshilfen. S. 4.

¹⁴ VGL. a.a.O., S.5.

¹⁵ VGL. a.a.O., S.5f.

Als letztes Unterscheidungskriterium ist der Grund der Auslösung eines Prozesses zu nennen. Der Prozess der Budgeterstellung zeichnet sich bspw. durch eine turnusmäßige Durchführung aus, wohingegen eine Ersatzteillieferung eher zufällig, abhängig von Einflüssen von außen, ausgelöst wird.¹⁶

¹⁶ VGL. FÜERMANN, T.: Prozessmanagement kompaktes Wissen, konkrete Umsetzung, praktische Arbeitshilfen. S. 5f.

2.2 Technische und normative Grundlagen

Im Bauwesen existiert eine große Menge technischer Anforderungen, die an ein Bauwerk gestellt werden. Außerdem gibt es eine Vielzahl an Normen und Richtlinien, die bei der Herstellung von Bauprodukten erfüllt werden müssen. In dem folgenden Kapitel werden die Anforderungen und die bauphysikalischen Randbedingungen für die Erstellung von Gebäuden erläutert, um ein Fundament für die Untersuchung und anschließende Vergleichbarkeit in der Produktion herzustellen.

2.2.1 Technische Grundlagen

Der grundsätzliche Unterschied im Bauwesen zwischen Holzbauteilen und mineralischen Massivbauteilen kann weitestgehend in einem differierenden bauphysikalischen Verhalten der unterschiedlichen Baustoffe festgehalten werden. Ein Großteil der heutzutage gültigen Mindestanforderungen wird durch Gesetze, sog. Bauordnungen, geregelt. Eine ausführliche Erklärung zu den geltenden Rechtsvorschriften im Bauwesen mit speziellem Augenmerk auf länderspezifische Besonderheiten in Bezug auf Österreich und Deutschland können dem Kapitel 2.3 entnommen werden. Im nachfolgenden Abschnitt wird eine Auswahl technischer bzw. bauphysikalischer Anforderungen an ein Gebäude erläutert, bevor im Anschluss näher auf die normativen Grundlagen im Bauwesen eingegangen wird.

2.2.1.1 Anforderungen an den Wärmeschutz und die Energieeinsparung

Im Verlauf der letzten Jahrzehnte hat aufgrund der globalen Entwicklung zum Thema Klimaschutz vor allem die Thematik des Wärmeschutzes von Gebäuden immens an Bedeutung gewonnen. Es liegt das Hauptaugenmerk nicht mehr nur alleine beim Wärmeschutz selbst, sondern beruht auch auf anderen Faktoren, wie bspw. eingesetzte Heizungssysteme und Klimaanlage, Nutzung erneuerbarer Energieträger und der eigentlichen Konstruktionsart des Gebäudes. Heutzutage werden auch gezielt die verwendeten Materialien in die Energiebetrachtung miteinbezogen.¹⁷

Mit der europäischen Richtlinie für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (2002/91/EG)¹⁸ wurde im Jahr 2002 europaweit eine Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden beschlossen. Mit dieser Richtli-

¹⁷ VGL. SCHICKHOFER, G.; BOGENSPERGER, T. M.: BSPHandbuch Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz, S. F-1.

¹⁸ VGL. Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.

nie, welche die klimatischen Verhältnisse, somit die Anforderungen an die Gebäudenutzung und die Kostenwirksamkeit berücksichtigt, wurden vereinheitlichte Rahmenbedingungen für die Berechnung einer Gesamtenergiekennzahl, der Erstellung eines Energieausweises und der Mindestanforderungen an Gebäude eindeutig und in allen EU-Ländern gleichermaßen festgelegt. Die Gesamtenergieeffizienz ist somit die berechnete bzw. gemessene Energiemenge, die benötigt wird, um den Energiebedarf im Rahmen der üblichen Nutzung des Gebäudes (u.a. Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung) abzudecken.¹⁹

2.2.1.2 Anforderungen an den Feuchteschutz

Der Feuchteschutz umfasst im mehrgeschossigen Wohnbau u.a. den Schutz vor Niederschlagsfeuchte und vor entstehender Innenraumfeuchte. Es muss sichergestellt werden, dass eine gesunde, hygienische und einwandfreie Nutzung von Gebäuden unabhängig von der Bauweise möglich ist. Baukonstruktionen müssen vor Feuchtigkeitseinwirkung ausreichend geschützt werden, damit nachfolgend genannte Schäden nicht entstehen können:²⁰

- Schimmelpilzbefall der innenliegenden Bauteiloberfläche.
- Algenbildung auf Fassaden.
- Abplatzungen durch Frosteinwirkung.
- Tauwasserschäden im Bauteilinneren.
- Reduktion des Wärmeschutzes durch erhöhte Bauteilfeuchte.

Das Thema des Feuchteschutzes kann grundsätzlich in zwei Bereiche unterteilt werden. Einerseits in den Schutz vor Wasserdampfkondensation durch physikalische Vorgänge an den Bauteiloberflächen und andererseits in den Schutz vor direkter Wasserbelastung. Vor allem die Außenbauteile eines Gebäudes, aber auch die Bauteile im Gebäudeinneren, welche die Räume in unterschiedliche Raumklima teilen, müssen besonders beachtet werden. Die betroffenen Bauteile sollten so ausgeführt werden, dass:²¹

- Durch ausreichenden Wärmeschutz die Oberflächentemperatur bei den Bauteilen genügend hoch gehalten werden wird, um eine Wasserdampfkondensation zu verhindern.

¹⁹ VGL. TICHELMANN, K. et al.: Schwerpunkt Bauphysikalische Eigenschaften von Leichtbauweisen. Eigenschaften und Potentiale des Leichtbaus. S. 10,32.

²⁰ VGL. a.a.O., S. 34ff.

²¹ VGL. a.a.O., S. 34ff.

- Die Bauteile durch geeignete Maßnahmen, wie bspw. Fassadengestaltung oder Abdichtung vor direkter Wasserbeaufschlagung geschützt werden.
- Die Bauteile auf der warmen Seite luftdicht ausgeführt werden, damit im Inneren des Bauteils keine Wasserdampfdiffusion infolge von Konvektion auftritt.

2.2.1.3 Anforderungen an den Schallschutz

Durch die natürliche und gebaute Umwelt sind der Mensch sowie die Tierwelt ständigen Schallemissionen ausgesetzt, die als störend empfunden werden und somit als Lärm zu bezeichnen sind. Das subjektive Wohlbefinden des Menschen in einem Wohngebäude ist stark von diesem Umgebungslärm abhängig.

Anhand des sog. Schallschutzes sollte die Schallübertragung von der Schallquelle zum Empfänger verringert und im besten Fall vermieden werden. Vor allem bei Bauwerken und Gebäuden können zwar exakte Berechnungen zum Thema Schallschutz durchgeführt werden, die Gesamtwirkung der Schallschutzmaßnahmen zur Reduktion der Schallemissionen ist aber nur so gut, wie ihr schwächstes Glied. Aufgrund der zugrundeliegenden Materie und komplexer Zusammenhänge muss bereits in der Planung von Gebäuden ein den Anforderungen entsprechendes Schallschutzmaßnahmenpaket zur Erreichung einer geringeren Schallemission entwickelt werden. Eine vertiefte Beschreibung der Berechnungsvarianten ist einschlägiger Fachliteratur zum Thema Schallschutz²² zu entnehmen.

Prinzipiell gesehen gibt es zwei Arten wie sich der Schall in einem Gebäude ausbreiten kann. Einerseits geschieht dies über die Luft in Form von Luftschall oder über den Baukörper bzw. Stoff als sog. Körperschall. Ein Bauteil kann sowohl durch Luft- als auch durch Körperschall angeregt werden und damit eine Schallquelle entstehen lassen, was in den daran angrenzenden Räumen zur Abstrahlung von Luftschall führt. In einer Baukonstruktion ergeben sich somit nachfolgende Übertragungs- und Ausbreitungswege, für die bauliche Schallschutzmaßnahmen nötig sind:²³

²² VGL. WILLEMS, W. M. et al.: Lehrbuch der Bauphysik. S. 1ff.

²³ VGL. a.a.O., S.52.

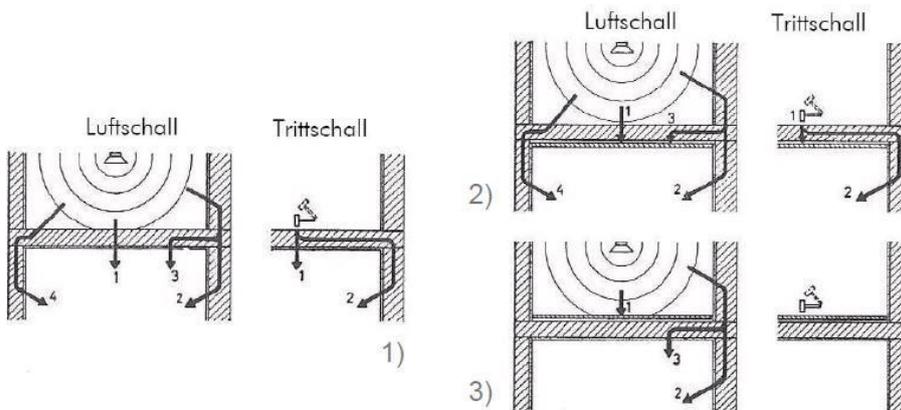


Abbildung 2.5: Mögliche Übertragungswege des Schalls in einem Hochbau²⁴

Unter Punkt 1 sind die möglichen Übertragungswege für den Schall ohne schützende, sog. Schallschutzmaßnahmen dargestellt. Wie zu erkennen ist, wandert der Schall nicht nur den direkten Weg über den hier dargestellten Trennbauteil Wand bzw. Decke, sondern kann auch über die Nebenwege der flankierenden Bauteile an den angrenzenden Raum übertragen werden. Bei Punkt 2 bzw. 3 wird die Schallübertragung durch Vorsatzschalen, wie bspw. schwimmende Estriche oder abgehängte Decken gemindert oder auch unterbunden. Die Abbildung zeigt, dass eine alleinige Beachtung der direkten Trennbauteile nicht ausreichend ist und immer alle vorhandenen Flankenübertragungswege in die Bemessung eingehen müssen. Im Unterschied zur Wärmedämmberechnung lässt sich die Schalldämmung nicht exakt berechnen, sondern kann nur über normierte Versuche ausreichend genau festgestellt werden. Es wird dabei zwischen Untersuchungen im Labor und in bereits eingebauten Konstruktionen vor Ort unterschieden.²⁵

2.2.1.4 Anforderungen an den Brandschutz

Brandschutz ist speziell im Holzbau ein sensibles Thema. In den Köpfen der Menschen ist die Brennbarkeit dieses Werkstoffes tief verankert. Dass Holz brennt ist jedem Menschen klar, aber man weiß auch wie es brennt und kann damit umgehen. Im Gegensatz zum Stahl lässt sich das Versagen im Brandfall genau berechnen, was zu einem großen Vorteil dieses Baustoffes führt. In Folge von Brandkatastrophen wurde der Einsatz von Holz in den Städten stark eingeschränkt. Heutzutage können jedoch geforderte Schutzziele mit dem richtigen Einsatz bei weitem übertroffen werden. Ein wirkungsvolles und durchdachtes Brandschutzkonzept ist für die Genehmigung eines Gebäudes von entscheidender Be-

²⁴ VGL. WILLEMS, W. M. et al.: Lehrbuch der Bauphysik. S. 52.

²⁵ VGL. a.a.O., S.52f.

deutung. Bereits in der Planung muss durch die realistische Abschätzung eines möglichen Brandverlaufs das Brandschutzkonzept so erstellt werden, dass die Anforderungen von Nutzern, Behörden, Versicherungen, etc. erfüllt werden können. Die grundlegenden Anforderungen an den Brandschutz im Wohnbau sind wie folgt definiert:²⁶

- Die Gefährdung von Leben und die Gesundheit von Personen sind durch Vorbeugung gegen Brand und Brandausbreitung zu reduzieren.
- Im Brandfall muss den Benutzern ein rasches und sicheres Verlassen des Bauwerks ermöglicht werden.
- Bei der Brandbekämpfung müssen rasche Löscharbeiten ermöglicht werden und die Sicherheit der Löschkkräfte und Rettungsmannschaften gewährleistet werden.
- Tragende Bauteile müssen über eine bestimmte Mindestdauer ihre Tragfähigkeit aufrechterhalten.
- Im Falle eines Brandes muss die Ausbreitung des Feuers und des Rauches auf ein Minimum reduziert werden, sodass durch Brandabschnitte ein Übergreifen auf die Nachbargebäude verhindert wird.

Prinzipiell kann Brandschutz in den vorbeugenden und in den abwehrenden Brandschutz unterteilt werden, wobei beim Bau von Wohnbauten der vorbeugende Brandschutz den bestimmenden Faktor darstellt. Dieser kann in folgende Basisgrößen unterteilt werden:²⁷

- Passiver (baulicher) Brandschutz
- Aktiver (technischer) Brandschutz
- Organisatorischer Brandschutz

Beim passiven Brandschutz wird lediglich auf die Beschaffenheit bzw. Struktur eines Gebäudes sowie auf Brandwiderstände einzelner Materialien zurückgegriffen. Dabei ist die Dauer, die eine Konstruktion unter der Brandeinwirkung standhält ebenso von Bedeutung, wie die Fähigkeit Wärme von der feuerabgewandten Seite fernzuhalten respektive die Verbreitung von giftigen Gasen einzuschränken. Bestandteile des passiven Brandschutzes sind:²⁸

- Unterteilung des Gebäudes in Brandabschnitte.
- Beschränkung des Feuers auf Bereiche.

²⁶ VGL. TICHELMANN, K. et al.: Schwerpunkt Bauphysikalische Eigenschaften von Leichtbauweisen. Eigenschaften und Potentiale des Leichtbaus. S. 81.

²⁷ VGL. WABL, A.: Brandschutz im mehrgeschossigen Holz-Massivbau (Masterarbeit). S.6.

²⁸ VGL. a.a.O., S.6.

- Verhinderung der Ausbreitung von Hitze und Gasen.
- Bereitstellung von Fluchtwegen.
- Stabilität des Gebäudes.
- Brennbarkeit und Brandwiderstand von Materialien.

Beim aktiven Brandschutz werden Anlagen betrachtet, die bei Ausbruch eines Feuers reagieren. Hierzu zählen Löschanlagen oder Handfeuerlöcher zum Eindämmen des Brandes, wie auch Brandmeldeanlagen, Belüftungsanlagen und das automatische Schließen von Brandabschnitten. Zum aktiven Brandschutz zählen:²⁹

- Automatische Branderkennungs- und Meldeanlagen.
- Rechtzeitige Alarmierung (akustisch, visuell) der Personen im Gebäude und der Einsatzkräfte.
- Druckanlagen zur Belüftung von Fluchtwegen.
- Kontrolliertes Öffnen von Fluchtwegen.
- Einsatz von automatischen Löschanlagen, wie Sprinkleranlagen.

Der organisatorische Brandschutz befasst sich mit der Koordination von Bewohnern und Einsatzkräften im Brandfall. Hierfür sind kurze und gut gekennzeichnete Fluchtwege sowie Brandschutzpläne eine wichtige Grundlage.³⁰

Um den bestmöglichen Brandschutz für einen Wohnbau gewährleisten zu können, müssen alle zuvor erwähnten Einzelkomponenten aufeinander abgestimmt werden und in einem umfassenden und plausiblen Brandschutzkonzept zusammengeführt werden.

2.2.2 Normative Grundlagen

Die normativen Grundlagen zur Vorfertigung von Bauteilen sind in unterschiedlichen Regelwerken verankert.

Der Mindestleistungsumfang und die generellen Begriffsbestimmungen von Fertighäusern sind bspw. in der ÖNORM B2310³¹ definiert. Diese Norm bezieht sich gleichermaßen auf Schulgebäude, Mehrzweckhallen sowie Wohn- und Bürobauten und ist zudem baustoffneutral verfasst. Mit speziellem Bezug auf Fertigteilelemente existiert eine weitaus größere

²⁹ VGL. WABL, A.: Brandschutz im mehrgeschossigen Holz-Massivbau (Masterarbeit). S.7.

³⁰ VGL. a.a.O., S.7.

³¹ VGL. ÖNORM B 2310, 2009-05-01: Fertighäuser-Benennungen und Definition sowie Mindestleistungsumfang. S. 1ff.

Anzahl an Normen und Richtlinien, die jedoch nicht immer baustoffneutral verfasst sind, trotzdem aber als gute Grundlage für den Holzbau angesehen werden können. Hierzu sollte bspw. die ÖNORM EN 13369³² genannt werden, welche die Anforderungen an Betonfertigteilen beinhaltet. In dieser Norm sind die grundlegenden Regeln und Eigenschaften von werkseitig erstellten Betonfertigteilen näher definiert. In der ÖNORM B 3328³³ sind beispielhaft die Begrifflichkeiten und Anforderungen an werksinterne Produktionskontrollen von Fertigteilen aus Beton, Stahl-, Spann- und Leichtbeton angeführt.

Weitere Normen, die unterschiedliche Grundlagen zu Beton- und Holzfertigteilen beinhalten, sind u.a. die:

- ÖNORM EN 14992³⁴, in der die funktionalen Anforderungen an vorgefertigten Wandelementen aus Beton geregelt sind.
- ÖNORM EN 14843³⁵, in der die Herstellung und Anforderungen an massiven Fertigteiltreppen aus Beton spezifiziert sind.
- ÖNORM EN 14991³⁶, welche Auskunft über die erforderlichen Leistungskriterien von Fundament-Fertigteilen aus Stahlbeton liefert.
- ÖNORM B 3260³⁷ und EN 13978-1³⁸, welche sich auf die Anforderungen an Betonfertiggaragen aus raumhohen Fertigteilen beziehen.
- ÖNORM B 3804³⁹, in der die Errichtung von Gebäuden aus vorgefertigten Holzelementen geregelt ist.

³² VGL. ÖNORM EN 13369, 2013-06-01: Allgemeine Regeln für Betonfertigteile. S. 1ff.

³³ VGL. ÖNORM B 3328, 2012-04-01: Vorgefertigte Betonerzeugnisse-Anforderungen, Prüfungen und Verfahren für den Nachweis der Normkonformität von Fertigteilen aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. S. 1ff.

³⁴ VGL. ÖNORM EN 14992, 2012-09-01: Betonfertigteile-Wandelemente. S. 1ff.

³⁵ VGL. ÖNORM EN 14991, 2007-08-01: Betonfertigteile-Treppen. S. 1ff.

³⁶ VGL. ÖNORM EN 14991, 2007-08-01: Betonfertigteile-Gründungselemente. S. 1ff.

³⁷ VGL. ÖNORM B 3260, 2009-09-01: Betonfertigteile-Betonfertiggaragen: Anforderungen an monolithische oder aus raumgroßen Einzelteilen bestehende Stahlbetongaragen. S. 1ff.

³⁸ VGL. ÖNORM EN 13978-1, 2005-08-01: Betonfertigteile-Betonfertiggaragen-Teil 1: Anforderungen an monolithische oder aus raumgroßen Einzelteilen bestehende Stahlbetongaragen. S. 1ff.

³⁹ VGL. ÖNORM B 3804, 2003-03-01: Holzschutz im Hochbau-Gebäude errichtet aus vorgefertigten Holzbauteilen-Voraussetzung für die Reduktion von chemischen Holzschutzmaßnahmen. S. 1ff.

2.3 Länderspezifische Besonderheiten

Im nachfolgenden Abschnitt wird auf technische und normative Unterschiede zwischen den Bundesrepubliken Österreich und Deutschland eingegangen, da sich der Firmensitz der Zimmerei Sieveke GmbH im letztgenannten Bundesstaat befindet. Einleitend werden die baurechtlichen Grundlagen beider Länder vorgestellt.

2.3.1 Baurechtliche Grundlagen in Österreich

In Österreich unterliegt das Bauwesen der Landesgesetzgebung. Folglich gibt es nicht nur eine, sondern neun unterschiedliche Bauordnungen. Diese technischen Bauvorschriften der Länder weisen zum Teil erhebliche Unterschiede auf. Im Jahre 2007 wurden aus diesem Grund harmonisierte Vorschriften, die sog. OIB-Richtlinien, herausgegeben. Die Abkürzung OIB steht für Österreichisches Institut für Bauwirtschaft. Die Richtlinien dienen seither als rechtliche Grundlage für das Bauen in Österreich und beinhalten eine Vielzahl an technischen Vorschriften. Die Bauordnungen sind nach wie vor Gesetzgebung. Neben den Bauordnungen und den OIB-Richtlinien gibt es noch eine große Anzahl an ÖNORMEN, die sich speziell auf den Bau von Wohnhäusern beziehen.⁴⁰

2.3.2 Baurechtliche Grundlagen in Deutschland

In Deutschland ist das öffentliche Baurecht Teilgebiet des Verwaltungsrechtes. Dieses umfasst die Gesamtheit der Rechtsvorschriften, die Zulässigkeiten und Grenzen, Ordnungen und Förderungen, Errichtung und Nutzung sowie wesentliche Veränderung und Beseitigung baulicher Anlagen betreffend.⁴¹

In Abgrenzung dazu regelt das private Baurecht, das sog. Zivilrechtliche Nachbarrecht, den Interessensausgleich privater Grundstückseigentümer und umfasst darüber hinaus das Bauvertragsrecht.⁴²

Das öffentliche Baurecht teilt sich in das Bauplanungsrecht und das Bauordnungsrecht. Diese Unterscheidung wurde insbesondere aufgrund eines Rechtsgutachtens des Bundesverfassungsgerichts geregelt (BVerfG, Beschluss vom 16. Juni 1954 - 1 PBvV 9/92 -, BVerfGE 3, 407/430 ff. und 439). Während das Bauplanungsrecht Bundessache ist,

⁴⁰ VGL. BARTA, H.: Zivilrecht - Grundriss und Einführung in das Rechtsdenken, Kapitel 8.

⁴¹ VGL. BATTIS; KRAUTZBERGER; LÖHR: Baugesetzbuch, Einleitung, Rn. 3.

⁴² VGL. a.a.O., Rn 2.

liegt das Bauordnungsrecht in der Hand der Länder. Der Vollzug des öffentlichen Baurechts erfolgt durch die Bauaufsichtsbehörde.⁴³

2.3.3 Länderspezifische Anforderungen an den Wärmeschutz

In Österreich werden die Anforderungen an den Wärmeschutz in den landesgesetzlichen Bestimmungen und der OIB-Richtlinie 6 geregelt. Dabei wird an den Neubau von Wohngebäuden ein höchstzulässiger jährlicher Heizwärmebedarf (HWB_{max}) bzw. ein höchstzulässiger jährlicher Kühlbedarf (KB_{max}) in Abhängigkeit der Gebäudegeometrie und bezogen auf das Referenzklima gefordert. Zusätzlich werden Anforderungen an den Energiebedarf (EEB_{max}) gestellt. Im Energieausweis sind darüber hinaus der Primärenergiebedarf (PEB_{max}), der Gesamtenergieeffizienzfaktor ($f_{GEE,max}$) und die Kohlendioxidemission ($CO2_{max}$) anzuführen. Die Ermittlung all dieser Kennwerte basiert auf der ÖNORM B 8110.⁴⁴

In Deutschland sind die Anforderungen an den Wärmeschutz in der DIN 4108⁴⁵ und der Energieeinsparungsverordnung (kurz: EnEV) geregelt. Der Geltungsbereich dieser Norm beinhaltet die Planung und Ausführung von Aufenthaltsräumen in Hochbauten, die ihrer Bestimmung nach auf normale Innentemperaturen $>19\text{ °C}$ beheizt werden. Die EnEV enthält wiederum Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz in Abhängigkeit vom Temperaturniveau, auf das die zu errichtenden Gebäude zu beheizen sind. Zudem werden Anforderungen bei baulichen Änderungen bestehender Gebäude berücksichtigt.⁴⁶

2.3.4 Länderspezifische Anforderungen an den Feuchteschutz

In Österreich werden sämtliche Anforderungen zum Thema Feuchteschutz in den OIB-Richtlinien 3 und 6 mit Unterstützung aller Teile der ÖNORM B-8110⁴⁷ geregelt.

In Deutschland wird der Feuchteschutz in der DIN 4108-Teil 3⁴⁸ festgehalten. In diesem Teil der Norm sind sowohl der klimabedingte Feuchteschutz als auch Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für die Planung und Ausführung definiert.

⁴³ VGL. BATTIS; KRAUTZBERGER; LÖHR: Baugesetzbuch, Einleitung. Rn. 10.

⁴⁴ VGL. TEIBINGER, M.; MATZINGER, I.: Bauen mit Brettsperrholz im Geschoßbau. S. 41.

⁴⁵ VGL. DIN 4108, 2013-02: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden.

⁴⁶ http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Daemmstoffe_DIN-4108-Waermeschutz-im-Hochbau_152334.html, am 05. 08.2015 um 11:15 Uhr.

⁴⁷ VGL. ÖNORM B 8110, 2003-07-01: Wärmeschutz im Hochbau.

⁴⁸ VGL. DIN 4108-Teil 3, 2013-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden-Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung.

2.3.5 Länderspezifische Anforderungen an den Schallschutz

Die Messung und Kennzeichnung schalltechnischer Spezifikationen ist in europaweit gültigen Regelwerken festgehalten. Die Anforderungen an den Schallschutz sind jedoch in den nationalen Gesetzgebungen verankert.

In Österreich werden die schallschutztechnischen Anforderungen an Außen- und Trennbauteile in der OIB-Richtlinie 5 und der ÖNORM B 8115-2⁴⁹ festgehalten. In der ÖNORM B 8115-5⁵⁰ sind erhöhte Schallschutzklassen angeführt, die auf freiwilliger Basis zusätzlich umgesetzt werden können.

In Deutschland werden die Anforderungen an den Schallschutz durch die DIN 4109⁵¹ geregelt. Es muss sichergestellt werden, dass die Bewohner der Gebäude keinen Schaden an Leben und Gesundheit erleiden und vor unzumutbarer Belästigung geschützt sind. Durch diese Norm werden auch die verschiedenen Nachweisverfahren für den Schallschutz im Baugenehmigungsverfahren geregelt. Zusätzlich gibt es Empfehlungen für einen erhöhten Schallschutz, Ratschläge für den eigenen Wohn- und Arbeitsbereich sowie weitere Hinweise für die Planung und Ausführung des Schallschutzes.⁵²

2.3.6 Länderspezifische Anforderungen an den Brandschutz

Das österreichische Institut für Bautechnik hat in der OIB-Richtlinie 2 Anforderungen an den Brandschutz klar definiert. Zudem wurden die Richtlinien 2.1 Brandschutz bei Betriebsbauten, die Richtlinie 2.2 Brandschutz bei Garagen, überdachten Stellplätzen und Parkdecks, sowie die Richtlinie 2.3 Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m erstellt. In den Bundesländern Burgenland, Kärnten, Steiermark, Tirol, Vorarlberg und Wien wurden diese Anforderungen bereits in die Landesbaugesetze übernommen.⁵³

In Deutschland wird der Brandschutz anhand der DIN 4102⁵⁴ geregelt. Hier wird deutlich beschrieben, wie der in den Bauordnungen geforderte Brandschutz rechtmäßig umgesetzt werden muss. Außerdem ist die Un-

⁴⁹ VGL. ÖNORM B 8115-2, 2006-09-01: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 2: Anforderungen an den Schallschutz.

⁵⁰ VGL. ÖNORM B 8115-5, 2012-04-01: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 2: Klassifizierung.

⁵¹ VGL. DIN 4109, 2013-06: Schallschutz im Hochbau.

⁵² http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Daemmstoffe_DIN-4109-Schallschutz-im-Hochbau_152330.html, am 05.08. 2015 um 12:11 Uhr

⁵³ VGL. ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Erläuterungen zu OIB-Richtlinie 2 Brandschutz, 2011. S. 1.

⁵⁴ VGL. DIN 4102, 2014-06: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen.

tersuchung des Brandverhaltens durch Normprüfungen zur Pflicht erklärt.⁵⁵

2.3.7 Länderspezifische Kennzeichnung von Bauprodukten

Bei der Kennzeichnung von Bauprodukten wird grundsätzlich zwischen den länderspezifischen Übereinstimmungszeichen und dem Europaweit gültigen CE-Kennzeichen unterschieden. Mit einem Übereinstimmungszeichen werden geregelte und nicht geregelte Bauprodukte gekennzeichnet, die mit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung, dem allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnis oder der Zustimmung im Einzelfall übereinstimmen. Das Übereinstimmungszeichen symbolisiert somit die Verwendbarkeit eines Bauproduktes im jeweiligen Staat. Für Bauprodukte im Geltungsbereich einer europäischen Norm wird das Übereinstimmungszeichen durch die CE-Kennzeichnung ersetzt.⁵⁶

Die CE-Kennzeichnung wurde im Jahre 1985 von der Europäischen Union eingeführt und stellt einen Übereinstimmungsnachweis von unterschiedlichen Produkten mit wesentlichen Anforderungen mehrerer EU-Richtlinien dar. Mit dieser Kennzeichnung wird die Konformität der Bauteile mit allen relevanten EU-Richtlinien signalisiert, wobei das CE-Zeichen keinesfalls als Qualitäts- oder Normenmerkmal verstanden werden sollte. Diese Kennzeichnung ist einzig und alleine als Markenzulassungszeichen anzusehen, das seit 2011 für alle, den europäischen Markt betreffenden Produkte zwingend erforderlich ist.⁵⁷

Für Österreich sind in diesem Zusammenhang der bundesweit gültige Übereinstimmungsnachweis, die sog. Übereinstimmung Austria (kurz: ÜA-Zeichen) sowie die CE-Kennzeichnung zu nennen.

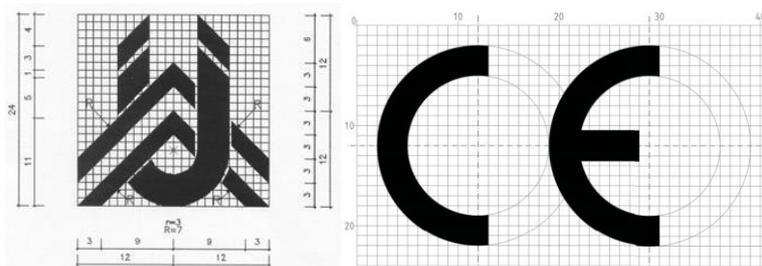


Abbildung 2.6: ÜA-Zeichen⁵⁸ (links) und CE-Zeichen⁵⁹ (rechts)

⁵⁵ http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Daemmstoffe_DIN-4102-Brandverhalten-von-Baustoffen-und-Bauteilen_152328.html, am 05.08.2015 um 12:48 Uhr

⁵⁶ VGL. LEITNER, S.; ARMBRUSTER, C.; BÖHM, A.: Bauen mit Holz in Oberösterreich. S. 12.

⁵⁷ VGL a.a.O., S. 13.

⁵⁸ <http://www.bvfs.at/baustoffliste.html>. am 04.08.2015 um 09:24 Uhr

⁵⁹ http://vh.bauwirtschaft-bw.de/files/1/15/46/2.5.1_UE_CE_Kennzeichen.pdf, S. 1., am 04.08.2015 um 09:28 Uhr

Für alle Baustoffe, die nicht der CE-Regelung unterliegen, sind in der nationalen österreichischen Baustoffliste ÖA enthalten, in der die jeweiligen Anforderungen an den Baustoff festgelegt sind.⁶⁰ Baustoffe, die diesen Anforderungen nachkommen, werden mit dem sog. ÜA-Zeichen gekennzeichnet.⁶¹

Von dieser Kennzeichnung werden gemäß der Richtlinien des Österreichischen Instituts für Bautechnik mit der Ausgabe OIB-095.3-004/08⁶² nur jene vorgefertigten Produkte erfasst, die mindestens beidseitig geschlossen sind. Beidseitig geschlossen bedeutet entweder mit Plattenwerkstoffen beplankt oder anderwärtig verkleidet. Unter diese Produkte fallen bspw. Elemente aus dem Holzrahmenbau, Deckenelemente mit eingebauter Wärmedämmung, Sparschalungen sowie Bauteile aus verleimtem Massivholz mit zusätzlichen Schichten. All diejenigen Produkte, bei denen die zweite Seite der Beplankung erst auf der Baustelle aufgebracht wird, sind von der ÜA-Kennzeichnung ausgenommen. Diese Regelung gilt bspw. auch für Halbfertigteile.⁶³

Durch spezielle Prüfungen, standardisierte Berechnungen und gutachterliche Beurteilungen werden die Nachweise für die Eignung einer ÜA-Kennzeichnung erbracht. Dazu zählt auch der bauphysikalische Nachweis der Aufbauten. Auf der Internetseite www.dataholz.com ist zur Orientierung ein geprüfter Bauteilkatalog angelegt, der laufend erweitert wird.

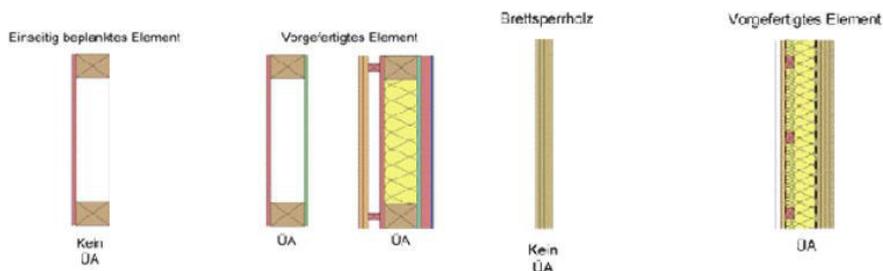


Abbildung 2.7: Erfordernis einer ÜA-Kennzeichnung nach dem Vorfertigungsgrad⁶⁴

Im Gegensatz zum ÜA-Zeichen in Österreich, ist in Deutschland das Ü-Zeichen als nationales Übereinstimmungszeichen in Gebrauch. Neben dem Ü-Zeichen ist hierzulande natürlich auch das CE-Zeichen für Bau-

⁶⁰ Laut der gültigen Fassung vom 13. Mai 2008 sind u.a. asbestfreie Faserzementplatten mit leichten mineralischen Zuschlagsstoffen, oder nichttragende Wandelemente aus Porenbeton, sowie unterschiedliche Bitumenemulsionen Beispiele dafür.

⁶¹ VGL. LEITNER, S.; ARMBRUSTER, C.; BÖHM, A.: Bauen mit Holz in Oberösterreich. S. 13.

⁶² VGL. BAUTECHNIK, Ö. I.: Checkliste, vorgefertigte Wand- und Deckenbauteile mit hölzerner Tragkonstruktion. Checkliste. S. 1ff.

⁶³ VGL a.a.O., S. 3.

⁶⁴ http://www.holzforchung.at/fileadmin/Content-Pool/PDFs/UeA_FAQ.pdf, S. 8., am 04.08.2015 um 09:45 Uhr

produkte im Geltungsbereich einer europäischen Norm anerkannt und auch in Verwendung.

Durch das Ü-Zeichen wird dokumentiert, dass die Verwendung der Bauprodukte im jeweiligen sicherheitsrelevanten Bereich zulässig ist. Es weist damit die Übereinstimmung mit einer technischen Regel bzw. einer bauaufsichtlichen Zulassung des Bauproduktes aus.⁶⁵

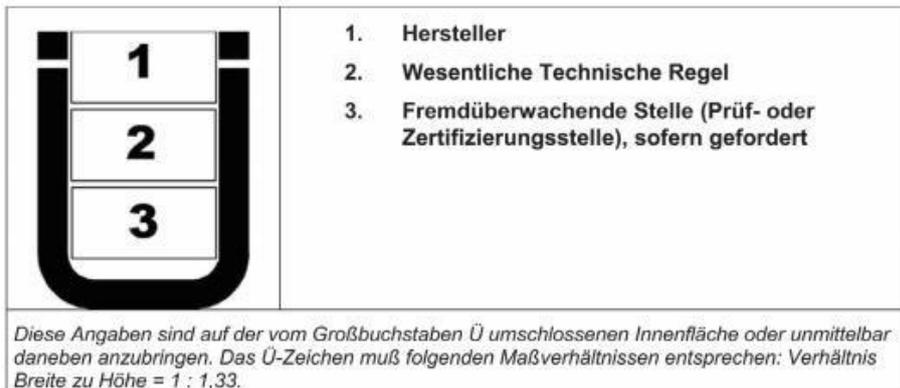


Abbildung 2.8: Das Ü-Zeichen⁶⁶

Beispielhaft sei an dieser Stelle das Ü-Zeichen der Zimmerei Sieveke GmbH angeführt.



Abbildung 2.9: Ü-Zeichen der Zimmerei Sieveke GmbH⁶⁷

Diese Art des Übereinstimmungsnachweises gilt auch für beidseitig beplankte, also geschlossene Wand-, Decken-, und Dachtafeln. Für das Ü-Zeichen ist nach Bauregelliste A, Teil 1, Ziffer 3.3.2 ein Übereinstimmungszertifikat einer anerkannten Zertifizierungsstelle auf der Grundlage einer werkseigenen Produktionskontrolle und einer regelmäßigen Fremdüberwachung vorgesehen. Die Kennzeichnung mit dem Ü-Zeichen muss an einer sichtbaren Stelle auf jedem Holztafelbau-Element erfolgen

⁶⁵ http://vh.bauwirtschaft-bw.de/files/1/15/46/2.5.1_UE_CE_Kennzeichen.pdf, S.8., am 04.08.2015 um 10:02 Uhr

⁶⁶ http://vh.bauwirtschaft-bw.de/files/1/15/46/2.5.1_UE_CE_Kennzeichen.pdf, am 04.08.2015 um 09:52 Uhr

⁶⁷ Zimmerei Sieveke GmbH.

und neben der Nennung des Herstellwerks auch die DIN 1052 Teil 1 bis 3 als Bezugsnorm enthalten.⁶⁸

| 3. Bauprodukte für den Holzbau | | | | |
|---|--|--|--------------------------|---|
| Lfd. Nr. | Bauprodukt | Technische Regel | Übereinstimmungsnachweis | Verwendbarkeitsnachweis bei wesentl. Abweichung von den techn. Regeln |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3.3.2.2 | Beidseitig bekleidete oder beplankte Wand-, Decken- und Dachelemente; z.B. Tafелеlemente für Holzhäuser in Tafelbauart | DIN 1052: 2008-12 Zusätzlich gilt sinngemäß: Richtlinie für die Überwachung von Wand-, Decken- und Dachtafeln für Holzhäuser in Tafelbauart nach DIN 1052 Teil 1 bis Teil 3 (1992-06) Je nach Bauprodukt gilt: DIN 4102-4:1994-03 und DIN 4102-4/A1:2004-11 und DIN 4102-22:2004-11 in Verbindung mit Anlage 0.1.1 | ÜZ | Z |
| ÜH — Übereinstimmungserklärung des Herstellers ÜHP — Übereinstimmungserklärung des Herstellers nach vorheriger Prüfung des Bauprodukts durch eine anerkannte Prüfstelle ÜZ — Übereinstimmungszertifikat durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle Z — Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung P — Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis | | | | |

Abbildung 2.10: Auszug aus der Bauregelliste A Teil1 (2009/2)⁶⁹

In jedem Betrieb muss eine durchgängige Eigenüberwachung vom Materialeinsatz bis zum fertigen Gebäude durchgeführt werden. Dabei sind die Wareneingangskontrolle, der Fertigungs- und der Montageablauf sorgfältig zu dokumentieren und die Aufzeichnungen mindestens sieben Jahre aufzubewahren.⁷⁰

Zum Zeitpunkt der Fremdüberwachung müssen sich die Bauteile in der Fertigung befinden und alle dafür erforderlichen Nachweise und Unterlagen im Betrieb vollständig vorliegen. Dazu zählen u.a. Nachweise zur Statik, Berechnungen zum Wärme- und Feuchteschutz und falls erforderlich Brand- und Schallschutz-Nachweise sowie Zulassungen und entsprechende Fertigungsunterlagen.⁷¹

⁶⁸ http://vh.bauwirtschaft-bw.de/files/1/15/46/2.5.1_UE_CE_Kennzeichen.pdf, S. 7., am 04.08.2015 um 10:08 Uhr

⁶⁹ http://vh.bauwirtschaft-bw.de/files/1/15/46/2.5.1_UE_CE_Kennzeichen.pdf, S.5., am 04.08.2015 um 10:13 Uhr

⁷⁰ http://vh.bauwirtschaft-bw.de/files/1/15/46/2.5.1_UE_CE_Kennzeichen.pdf, S.10., am 04.08.2015 um 10:15 Uhr

⁷¹ http://vh.bauwirtschaft-bw.de/files/1/15/46/2.5.1_UE_CE_Kennzeichen.pdf, S. 11., am 04.08.2015 um 10:31 Uhr

2.4 Grundlagen zum industriellen Holzbau

Die Anfänge des industriellen Holzbaus bzw. der industriellen Vorfertigung reichen bis zu den Ursprüngen des Bauens zurück. Vorkonfektionierte Stäbe zur Errichtung von demontierbaren Unterkünften wurden bereits vor mehreren Tausenden von Jahren hergestellt.⁷²

Im Laufe der Jahrhunderte änderte sich mit der Entwicklung neuer technischer Voraussetzungen nicht nur die Produktionsmöglichkeit in der Bauindustrie sondern auch die Sprache der Baukunst. Aufgrund der damals vorherrschenden Wirtschaftsverhältnisse und den neuen industriellen Möglichkeiten entstand laut Ansicht vieler Kritiker eine massenhafte und meist eintönige Architektur. Die Möglichkeiten der industriellen Vorfertigung änderten sich erst mit der Einführung neuer Informationstechnologien. Das 2004 entworfene Palais Quartier in Frankfurt ist hierzu ein modernes Beispiel. Erstmals wurde mit Hilfe von 3D-Programmen die zweifach gekrümmte Geometrie der Dach- und Fassadenflächen in ausführbare und optimierte Grundeinheiten zerlegt.⁷³

2.4.1 Von den Ursprüngen bis zur industriellen Revolution

Bereits vor 400.000 Jahren wurden vorkonfektionierte und demontierbare hölzerne Stabkonstruktionen von den Nomadenvölkern hergestellt, welche in Nordeuropa, Asien und dem nördlichen Afrika zum Einsatz kamen. Mit der Entwicklung des Ziegels entstand erstmals ein in Massen produzierbarer Baustoff, mit dem komplette Städte industriell gefertigt werden konnten. Die Abmessung und Form der Ziegel richtete sich einerseits an die Produktionsmöglichkeiten und andererseits an die spätere Montage vor Ort. So entstand ein kleinteiliges Element aus Ton, das eine flexible Gestaltung von Bauwerken zulässt und bis heute nicht aus der Bauwirtschaft wegzudenken ist.⁷⁴

Vorwiegend in Griechenland wurden neben künstlich produzierten Mauersteinen zusätzlich auch Natursteine verarbeitet. Die großformatigen Steinblöcke wurden weit weg von der eigentlichen Baustelle verarbeitet und vor Ort mit Metalldübeln zu tragfähigen Konstruktionen verbunden.⁷⁵

Auch im Mittelalter wurde ähnlich vorgefertigt. Die Holzkonstruktionen der damals errichteten Fachwerkhäuser wurden aus Platzmangel nicht

⁷² VGL. STAIB, D.R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien, S. 14.

⁷³ VGL. a.a.O., S. 211ff.

⁷⁴ VGL. a.a.O., S. 14ff.

⁷⁵ VGL. a.a.O., S. 14ff.

auf der Baustelle, sondern auf speziell dafür freigehaltenen Plätzen außerhalb der Stadt gefertigt.⁷⁶

Erst durch die britische Kolonialisierung und Besiedlung der nordamerikanischen Prärie, erlangte die Vorfertigung rund 300 Jahre später einen neuen Aufschwung. Vor allem in England wurden Wohngebäude in einer mit Holz-Skelett ähnlichen Bauweise seriell vorgefertigt. Das Manning-Cottage ist hierfür ein berühmtes Beispiel, welches wiederholt demontier- und transportierbar ist. Für den Transport dieses Wohnhauses wurden die damals neuentwickelten Transportmittel der Eisenbahn verwendet.⁷⁷

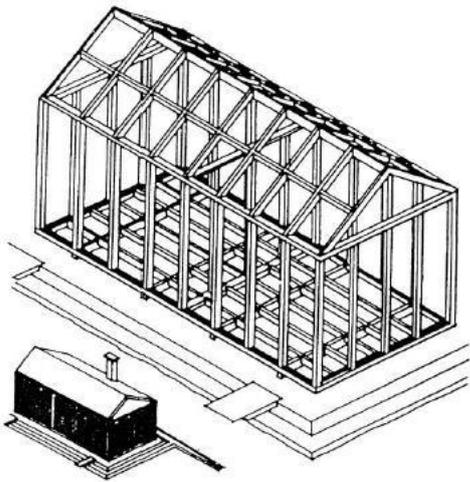


Abbildung 2.11: Das erste vorgefertigte und transportierbare Haus von John Manning im Jahre 1833⁷⁸

Die Verbreitung dieses Gebäudes führte gar so weit, dass Ende des 19. Jahrhunderts ganze Städte, vorwiegend in britischen Koloniestaaten, aus dieser Art von Bauwerk entstanden.⁷⁹

Mit der industriellen Revolution in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts gewann schließlich der Baustoff Eisen, vor allem der daraus entwickelte Baustoff Stahl, besonders an Bedeutung. Speziell bei weitgespannten Tragwerken wurde auf ein System mit vorgefertigten Elementen zurückgegriffen.⁸⁰

Die Standardisierung von einzelnen Bauteilen war mit Sicherheit keine Erfindung der klassischen Moderne im 19. Jahrhundert, da eine gewisse Normierung einzelner Elemente bereits ab der chinesischen Klassik, der römischen Antike und dem fünften Jahrhundert v. Chr. stattfand.

⁷⁶ VGL. SCHNITTICH, C.: Editorial. In: Detail Zeitschrift für Architektur + Baudetail; Vorfertigung, 8/2012. S. 586

⁷⁷ VGL. HANNEMANN, C.: Die Platte, industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. S. 29.

⁷⁸ VGL. a.a.O., S. 29.

⁷⁹ VGL. a.a.O., S. 29.

⁸⁰ VGL. STAIB, D.R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 18f.

2.4.2 Aktuelle Technologien im industriellen Holzbau

Bereits in der Vergangenheit wurde die Idee der industriellen Vorfertigung mehrfach erprobt und umgesetzt. Die Vorteile der Vorfabrikation haben sich nicht nur in der stationären Industrie, sondern mittlerweile auch ansatzweise in der Bauindustrie durchgesetzt.⁸¹

Verglichen mit der Automobilindustrie sind die Methoden und technischen Möglichkeiten im industriellen Holzbau bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Speziell im Bauwesen bleibt Spielraum für weitere Entwicklungen.⁸²

In der Fachliteratur wird ein Gebäude immer wieder als Produkt gesehen, welches in dezentralen bzw. externen Produktionsstätten unter Anwendung der Prinzipien der Lean Construction hergestellt wird. Unter Lean Construction wird ein integraler Ansatz für die Gestaltung und Ausführung von Bauprojekten verstanden. Dabei betrachtet Lean Construction den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks von der Planung über Bauausführung und Nutzung bis zu Umwidmung und Rückbau.⁸³

Durch die Integration der Ansätze von Lean Construction kann bspw. eine Reduktion der Durchlaufzeiten, eine Erleichterung in der Wartung und Qualitätsüberprüfungen wie auch ein funktionierendes Just-in-time-Management im industriellen Holzbau umgesetzt werden.⁸⁴

⁸¹ VGL. MARTIN LENNARTSSON, A. B.: Step by Step Modularity – A Roadmap for Building Service Development. In: Development Lean Construction Journal, 2010. S. 1ff.

⁸² VGL. a.a.O., S. 1ff.

⁸³ VGL. BALLARD, G.; HOWELL, G.: Lean production Management. In: Building Research & Information 31 (2), 2003. S. 119-133.

⁸⁴ VGL. MARTIN LENNARTSSON, A. B.: Step by Step Modularity – A Roadmap for Building Service Development. In: Development Lean Construction Journal, 2010. S. 3.

2.5 Bausysteme im Holzbau

Die Möglichkeiten zur Errichtung von Bauwerken aus Holz sind vielfältig. Eine grundlegende Einteilung der Holzbauweisen erfolgt über die Gliederung in die sog. Holz-Leichtbauweise und die sog. Holz-Massivbauweise. Bei der Holz-Leichtbauweise erfolgt die Lastabtragung stabförmig, wohingegen die Lasten bei der Holz-Massivbauweise flächenförmig abgetragen werden. Neben der Lastabtragung liegt der wesentlichste Unterschied dieser beiden Bauweisen in der Lage der eingesetzten Dämmebene. Bei der Holz-Massivbauweise findet eine klare Trennung zwischen Tragelement und Dämmebene statt. Durch die stabförmige Anordnung der Holzelemente bietet sich hingegen bei der Holz-Leichtbauweise die Möglichkeit, die Dämmebene innerhalb der Tragsstruktur anzuordnen. Bezüglich technischer Anforderungen, wie Wärme- und Brandschutz, sind beide Systeme durchaus vergleichbar.⁸⁵

In der nachfolgenden Abbildung sind die wesentlichsten Unterschiede der Holz- Massivbauweise und der Holz-Leichtbauweise schematisch dargestellt.

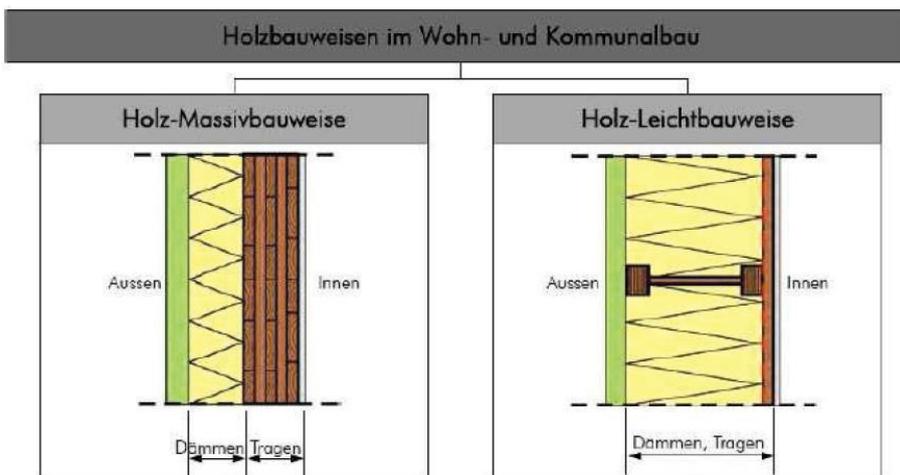
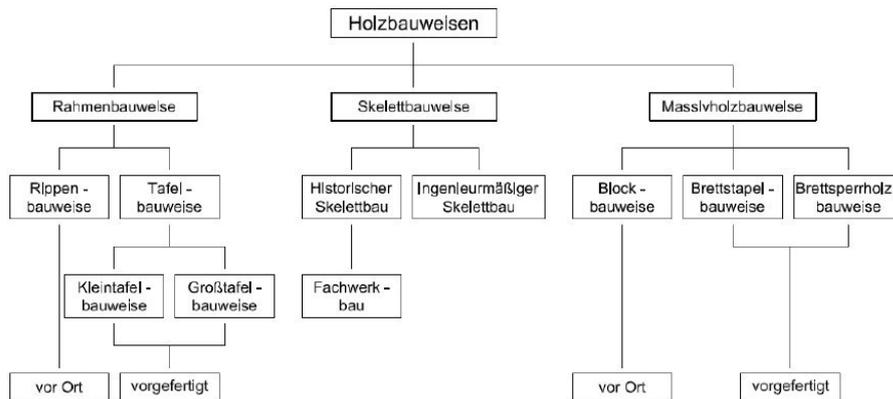


Abbildung 2.12: Holzbauweisen im Wohn- und Kommunalbau⁸⁶

Eine detaillierte Einteilung der Holzbauweisen ist in Abbildung 2.13 enthalten.

⁸⁵ VGL. HOLZFORSCHUNG AUSTRIA: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise. S. 111.

⁸⁶ VGL. SCHICKHOFER, G. et al.: BSPHandbuch, Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz. S. A-7.

Abbildung 2.13: Detaillierte Einteilung der Holzbauweisen⁸⁷

2.5.1 Rahmenbauweise

Vor allem aufgrund der großen Gestaltungsfreiheit im Grundriss wie auch bei den Elementen selbst, hat sich die Rahmenbauweise bis heute zu einer der vorherrschenden Bauweisen in Europa etabliert. Dank der geringen Wandstärken ist diese Bauweise besonders platzsparend. Außerdem können mehrgeschossige Gebäude relativ einfach realisiert werden.⁸⁸

Das Grundprinzip der Konstruktion wird durch einen Holzrahmen gebildet, der aus einer liegenden Schwelle, stehenden Ständern und einem obenliegendem Rähm⁸⁹ zusammengesetzt wird. Die Beplankung besteht i.d.R. aus Spanplatten⁹⁰, wie bspw. Grobspanplatten⁹¹, oder aus Sperrholzplatten⁹². Es können jedoch auch Gipskarton-Bauplatten⁹³ (kurz: GKP) zum Einsatz kommen. Die Beplankung wird abhängig von den statischen, konstruktiven, haustechnischen und bauphysikalischen Anforderungen ausgewählt. Beim Holzrahmenbau erfolgt die vertikale Lastabtragung anhand von sog. Rippen und sog. Schwellen. Die Aussteifung und somit horizontale Lastabtragung wird von der Beplankung über-

⁸⁷ VGL. TEIBINGER, M.; MATZINGER, I.: Bauen mit Brettsperrholz im Geschoßbau, Fokus Bauphysik. S. 2.

⁸⁸ VGL. HOLZFORSCHUNG AUSTRIA: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise. S. 5.

⁸⁹ Der Rähm bildet den oberen Abschluss der Holzrahmenkonstruktion und übernimmt die Aufgabe des Längsverbandes (Aufnahme und Ableitung der auftretenden horizontalen Schubkräfte).

⁹⁰ Spanplatten sind Holzwerkstoffe aus Holzspänen, die mit der Zugabe von Klebstoffen unter Wärme und Druck hergestellt werden.

⁹¹ Grobspanplatten (kurz: OSB engl.: oriented strand board) sind Holzwerkstoffe, die aus langen, schlanken, sowie ausgerichteten Spänen hergestellt werden.

⁹² Die Sperrholzplatte, auch als Tischlerplatte und Furnierplatte bekannt, setzt sich aus einer geraden oder ungeraden Anzahl an verleimten Holzwerkstoffen zusammen.

⁹³ Gipskarton-Bauplatten sind Plattenbaustoffe bestehend aus Gips mit einem beidseitigen Bezug aus Kartonage.

nommen. In der nachfolgenden Abbildung ist der prinzipielle Aufbau des Holzrahmenbaus schematisch dargestellt.⁹⁴

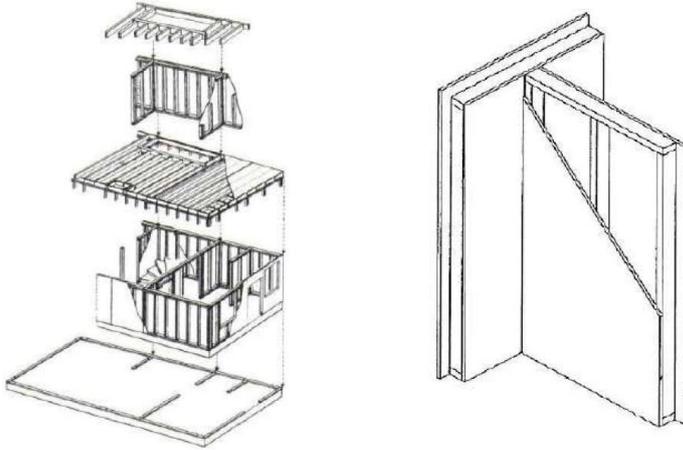


Abbildung 2.14: Konstruktionsprinzip der Holzrahmenbauweise (links) und Darstellung eines Rohbauelements (rechts)⁹⁵

Da die Dämmung innerhalb der Konstruktionsebene angebracht ist, lässt diese Bauweise einen durchaus schlanken Konstruktionsaufbau zu. Der Schichtaufbau muss immer exakt an die bauphysikalischen Anforderungen bez. Feuchte-, Brand-, und Schallschutz angepasst werden. Hierzu sind eine genaue Planung, eine umfangreiche bauphysikalische Betrachtung sowie eine exakte Ausführung der Elemente in der Vorfertigung nötig. Aufgrund der einfachen Ausführung der Einzelbauteile ist ein hoher Grad der Vorfertigung möglich. Dieser ist wiederum durch die haustechnischen und bauphysikalischen Anforderungen sowie durch Einschränkungen im Transport begrenzt. Der Vorfertigungsgrad reicht somit von der eher seltenen Baustellenfertigung bis hin zu vollständig vorgefertigten Wand- und Deckenelementen, die vor allem im mitteleuropäischen Raum den Standard darstellen. Eine bis dato noch junge Art der Vorfertigung stellt die Modulbauweise dar, welche bisher noch eher selten zum Einsatz kommt, aber eine steigende Tendenz erkennen lässt. Zumeist werden im Holzrahmenbau bereits sämtliche Elektro- und Wasserinstallationsleitungen sowie die Innenbeplankung im Werk angebracht.⁹⁶

⁹⁴ VGL. HOLZFORSCHUNG AUSTRIA: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise. S. 5ff.

⁹⁵ VGL. a.a.O., S. 5.

⁹⁶ VGL. a.a.O., S. 5ff.

Vorteile:

- + Geringe Herstellkosten durch eine einfache Bauweise.
- + Je nach Anforderungen an den zu erfüllenden Wärmeschutz kann die Wandstärke beliebig variiert werden.
- + Standardisierte Lösung für Knotenpunkte zur Vermeidung von Wärmebrücken.

Nachteile:

- Bedingt durch die Feuchteinwirkung kann es bei geschossweiser Ausführung im Knotenpunkt Wand-Decke-Wand zu Dimensionsänderungen und somit Klaffungen und Setzungen kommen.
- Durch die relativ geringe Festigkeit des Holzes quer zur Faserichtung können Verformungen des Rahmens im Bereich der Stiele zur Kopf- bzw. Fußschwelle eintreten.
- Aufgrund der relativ hohen Schlankheit dieser Bauweise und des geringen Wandgewichts ist bei der Verankerung der Holzwände mit dem Fundament oder Keller mit erhöhten Windlasten zu rechnen. Die vorhandenen Zugkräfte sind durch eine entsprechende Ausführung der Verankerungsdetails zu übertragen.

▪ Rippenbauweise

Obwohl sich die Rahmenbauweise ursprünglich aus der Rippenbauweise entwickelt hat, stellt diese für den europäischen Holzbau nur eine Untergruppe dar. Als Grund dafür kann der enge Rasterabstand der Rippen zwischen 30-40 cm und der daraus resultierend hohe Holzverbrauch genannt werden. Der durchaus zeitaufwändige und wetterabhängige Abbund erfolgt meist vor Ort, wodurch häufig Probleme mit der zulässigen Einbaufeuchte, welche i.d.R. zwischen 12 und 18 % liegt, auftreten. Die daraus entstehenden Zeitplanänderungen und Bauzeitverzögerungen führen wiederum zu einem erhöhten Kostenaufwand. Die Vorteile dieser Bauweise liegen eindeutig bei einem geringen technischen Fertigungsaufwand und der hohen Gestaltungsfreiheit im Innenraum sowie der Gestaltung der Öffnungsformen und -größen von Fenstern und Türen.⁹⁷

⁹⁷ VGL. HOLZFORSCHUNG AUSTRIA: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise. S. 5ff.

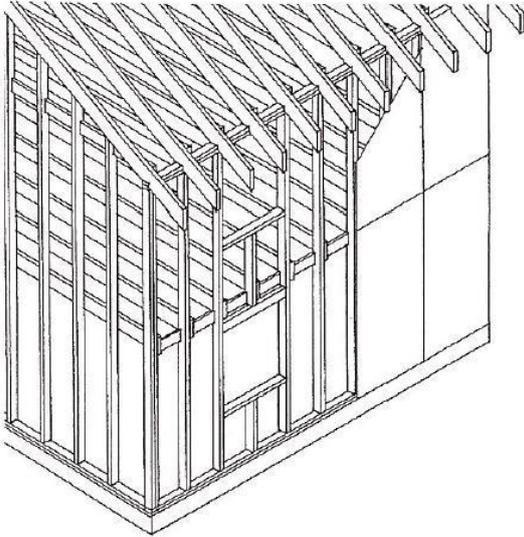


Abbildung 2.15: Rippenbauweise⁹⁸

Vorteile:

- + Geringer Fertigungsaufwand
- + Variable Gestaltung der Tür- und Fensteröffnungen
- + Gestaltungsfreiheit des Innenraums

Nachteile:

- Montage vor Ort: Wetterabhängigkeit und hoher Zeitaufwand
- Erhöhter Holzverbrauch
- Geringe Baukostensicherheit

▪ **Tafelbauweise**

Bei der Tafelbauweise werden zum Großteil vorgefertigte Rohbauelemente im Werk hergestellt und als geschosshohe Bauteile vor Ort eingebaut. Die Holztafelelemente bestehen aus einem Holzrahmen mit dazwischenliegender Dämmung, darin eingebauter Wasser-, Heizungs-, und Elektroinstallation wie auch innen- und außenliegender Beplankung. Die Elementgrößen werden in den meisten Fällen an die Abmessungen eines Standard-LKW's angepasst und betragen somit max. 2,5 mal 13 m. Aufgrund des hohen Vorfertigungsgrades werden Maßtoleranzen und Einbaufeuchten im Unterschied zur Rippenbauweise exakt eingehalten.

⁹⁸ VGL. HOLZFORSCHUNG AUSTRIA: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise. S. 5.

Kurze Montagezeiten führen außerdem zu einer deutlichen Reduktion der Baukosten.⁹⁹

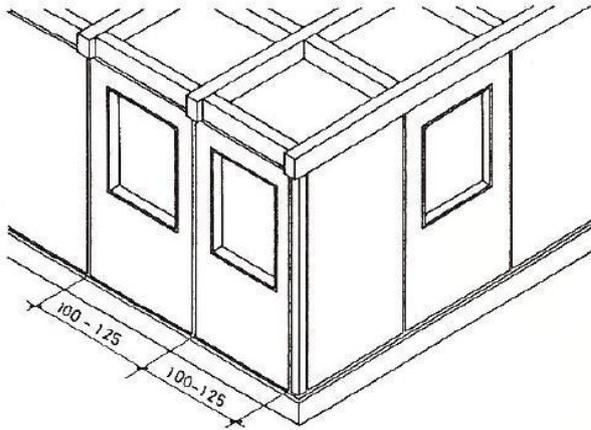


Abbildung 2.16: Holztafelbauweise¹⁰⁰

Vorteile:

- + Hoher Vorfertigungsgrad
- + Kurze Bauzeit
- + Reduktion der Herstellungskosten durch hohen Vorfertigungsgrad

Nachteile:

- Geringe Maßtoleranzen
- Einhaltung der vorgegebenen Einbaufeuchte

▪ **Raumzellen- bzw. Modulbauweise**

Das Prinzip einer Raumzelle bzw. eines Moduls beruht auf dem Prinzip der Tafelbauweise mit einem erhöhten Vorfertigungsgrad. Raumzellen bestehen grundsätzlich aus dem Boden sowie den Wänden und der Decke, die kraftschlüssig miteinander verbunden sind. Bereits im Werk besteht die Möglichkeit, Komponenten, wie die Nasszelle, die Einrichtung oder auch den Boden zu verbauen. Die Größe der Raumzellen ist jedoch durch die vorgegebenen Transportbedingungen stark eingeschränkt. Auf der Baustelle werden die Module mittels Kran versetzt und meist durch Verschraubung miteinander verbunden. Diese Bauweise beschränkt sich nicht nur auf den Rahmenbau, sondern bildet auch für jüngere Holzbau-

⁹⁹ VGL. HOLZFORSCHUNG AUSTRIA: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise. S. 5ff..

¹⁰⁰ VGL. a.a.O., S. 5ff.

weisen, wie der Brettsperrholzbauweise, ein interessantes Anwendungsspektrum.¹⁰¹



Abbildung 2.17: Raumzellenbauweise¹⁰²

Vorteile:

- + Sehr hoher Vorfertigungsgrad
- + Kurze Montagezeiten
- + Sofortige Benutzung möglich

Nachteile:

- Größeneinschränkung durch Transportbedingungen
- Formgebundene Gestaltung

2.5.2 Skelettbauweise

Die Holzskelettbauweise ist grundsätzlich durch eine im Raster angeordnete Tragstruktur und durch nichttragende und raumabschließende Beplankungen gekennzeichnet.¹⁰³

Zur Aufnahme der vertikalen Lasten werden die aus Vollholz bestehenden Stützen herangezogen. Um die horizontalen Kräfte in der Konstruktion aufzunehmen, werden Gebäudeaussteifungen in Form von Diago-

¹⁰¹ VGL. HOLZFORSCHUNG AUSTRIA: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise. S. 5ff..

¹⁰² <http://www.detail-online.com/inspiration/hotel-near-reutte-106094.html>, am 10.08.2015 um 12:11 Uhr

¹⁰³ VGL. HOLZFORSCHUNG AUSTRIA: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise. S. 7ff.

nalverbänden eingebaut. Die Kombination aus Brettschichtholzstützen mit hochbelastbaren Verbindungsmittel ermöglicht eine Ausdehnung der Stützenweite auf bis zu zwölf Metern und mehr. Im Unterschied zur Holzrahmenbauweise erfüllt die Beplankung bei der Skelettbauweise keine lastabtragende oder aussteifende Wirkung.¹⁰⁴

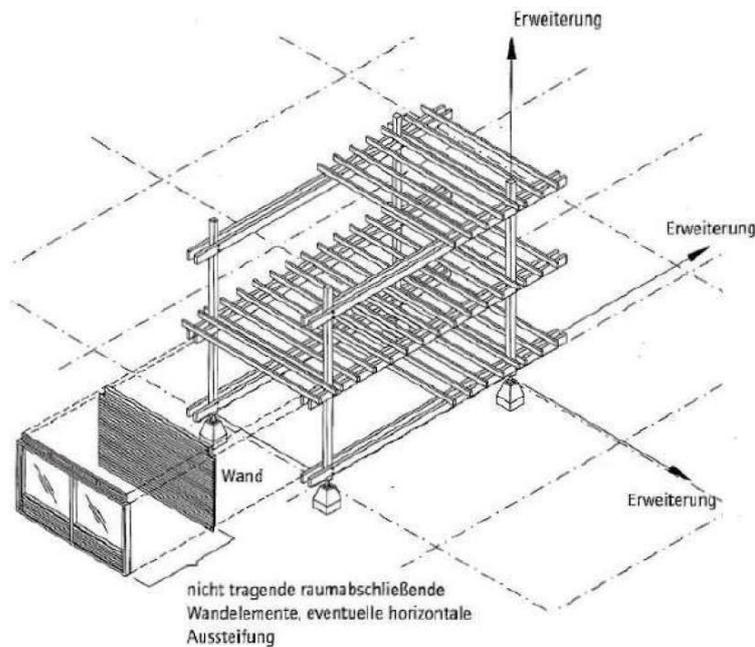


Abbildung 2.18: Grundprinzip des Skelettbaus¹⁰⁵

Die Kombination von tragenden Stützen und Trägern mit nicht tragenden raumabschließenden Elementen führt zu einer großen Anzahl an Fugen. Durch diesen Umstand wird eine große Herausforderung an die Bauphysik des Gebäudes gestellt. Bei der Ausbildung von Fugen sollte ein besonderes Augenmerk auf den Wärme-, Feuchte- und Schallschutz gelegt werden. Eine sorgfältige Ausführung der Anschlussdetails von Tragskelett, Wand und Decke gewährleistet ein langlebiges Gebäude. Da die einzelnen Bauteile bereits im Werk abgebunden und vorgefertigt werden, kann mit dieser Bauweise ein überaus hoher Vorfertigungsgrad erzielt werden.¹⁰⁶

¹⁰⁴ VGL. HOLZFORSCHUNG AUSTRIA: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise, S. 7ff.

¹⁰⁵ VGL. a.a.O., S.54.

¹⁰⁶ VGL. a.a.O., S. 7ff.

Vorteile:

- + Anpassbarer Vorfertigungsgrad
- + Beliebig erweiterbar
- + Gestaltungsfreiheit durch variable Raster- und Modulanordnung
- + Veränderbare Grundrissgestaltung durch einfach versetzbare, nichttragende Zwischenwände
- + Einsatz von großen transparenten Außenflächen durch offene Tragstruktur
- + Lastabtragung über Einzelfundamente (geringer Aushub, wenige Fundamente)

Nachteile:

- Aufwändige Knotenpunktgestaltung
- Besonderes Augenmerk auf die Fugenausbildung
- Längere Bauzeit gegenüber dem Holzrahmenbau
- Im Brandfall vollflächiger Abbrand (Querschnitte müssen deshalb größer dimensioniert werden)
- Unterschiedliches Schwind- und Quellverhalten einzelner Bauteile
- Witterungsabhängige Baustellenmontage

Aufgrund einiger hier genannter Nachteile und der Vielzahl an anderen Holzbauweisen, die zudem in der Lage sind die aussteifende und raumabschließende Funktionen zu vereinen, wird diese Bauweise heutzutage nur vereinzelt realisiert.¹⁰⁷

¹⁰⁷ VGL. HOLZFORSCHUNG AUSTRIA: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise. S. 7ff.

2.5.3 Holz-Massivbauweise

Die Holz-Massivbauweise zählt mit ihren großformatigen tafelförmigen Elementen zur modernsten Form des Holzbaus. Bei dieser Bauweise werden Bretter als Grundmaterial verwendet, die mehrlagig parallel oder gekreuzt miteinander verbunden sind. Anhand dieser Aufbauten können Produkte, wie Brettschichtholz (kurz: BSH) oder Brettsperrholz (kurz: BSP) erzeugt werden. Das Grundprinzip der Holz-Massivbauweise beruht auf den großformatigen Holzbauteilen. Das Besondere an diesen Elementen ist die Fähigkeit, nicht nur die vertikale Lastabtragung zu gewährleisten, sondern auch eine aussteifende Wirkung zu besitzen. Im Gegensatz zur Holzrahmenbauweise findet hier eine Trennung der Trag- und Dämmebene statt. Der Brand- und Wärmeschutz stellt in der Regel keine besondere Herausforderung dar. Lediglich im Schallschutz sind ausreichende Vorkehrungen zu treffen. Ein weiteres Kriterium dieser Bauweise ist die Verbindungs- und Fugentechnik einzelner Elemente, wobei die aussteifende Wirkung durch Dichtheit und entsprechende Anschlussdetails einfach erreicht werden kann.¹⁰⁸

Im nachfolgenden Abschnitt werden einige Holz-Massivbauweisen detaillierter vorgestellt.

▪ Blockbauweise

Bei der Blockbauweise übernehmen die Blockwandprofile nicht nur die tragende bzw. aussteifende Wirkung sondern bilden gleichzeitig auch den Raumabschluss. Die guten wärmetechnischen Eigenschaften des Holzes kommen hier bestens zur Geltung. Im Vergleich zu einer Steinwand weist eine Blockwand die vierfach besseren wärmetechnischen Eigenschaften auf. Aufgrund der Fugen, die durch das Quell- und Schwindverhalten des Holzes resultieren, werden heutzutage weitestgehend zweischalige Systeme mit innenliegender Dämmung angeboten. Die Herstellung einer Blockbauwand reduziert sich auf das Übereinanderschichten von horizontal liegenden Blockholzbohlen, welche als Kantholz, Rundholz, Profilholz oder Konstruktionsholz ausgebildet sein können. Neben der Berücksichtigung des Quell- und Schwindverhaltens des Holzes, ist auch die Gestaltung der Eckpunkte ein wesentliches Qualitätsmerkmal für eine fachgerechte Ausführung dieser Bauweise. Resultierend aus langjähriger Erfahrung gibt es hierzu eine Vielzahl an funktionierenden Detaillösungen. Jedoch drängen der geringe Grad der Vorfertigung, die lange Bauzeit und der hohe Holzverbrauch den klassischen Blockhausbau immer mehr ins Abseits. Mittels moderner Maschinen und den Einsatz von verklebten Holzwerkstoffen kann wiederum

¹⁰⁸ VGL. HOLZFORSCHUNG AUSTRIA: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise. S. 8ff.

eine maßgenaue Vorfertigung und eine Verkürzung der Bauzeit erreicht werden.¹⁰⁹

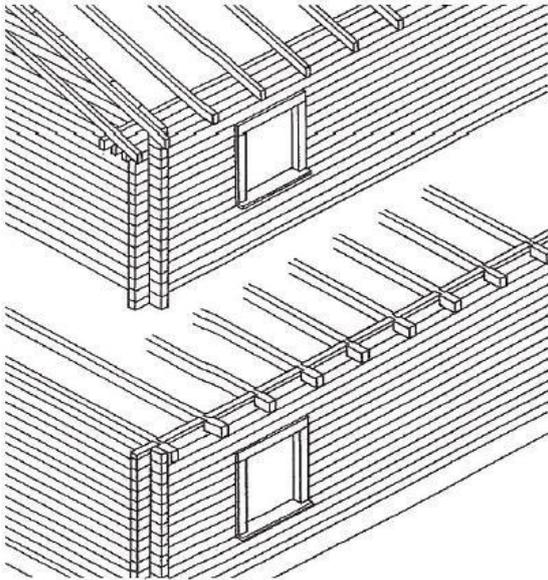


Abbildung 2.19: Blockbauweise¹¹⁰

Vorteile:

- + Einfache Herstellung
- + Gute wärmetechnische Eigenschaften
- + Raumabschließende Funktion

Nachteile:

- Hoher Holzverbrauch
- Geringer Vorfertigungsgrad
- Lange Bauzeit
- Hohes Quell- und Schindverhalten des Vollholzes

▪ **Brettstapelbauweise**

Bei der Herstellung von Brettstapelementen werden einzelne Bretter oder Bohlen hochkant aneinander gereiht und anschließend kraftschlüssig miteinander verbunden. Diese Verbindung wird zumeist durch Nägel oder Dübel hergestellt. Da bei Brettstapelementen erst durch aufwendige Maßnahmen eine Scheibenwirkung hergestellt werden kann,

¹⁰⁹ VGL. HOLZFORSCHUNG AUSTRIA: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise. S. 8ff.

¹¹⁰ VGL. a.a.O., S. 8ff.

gilt der Einsatz von Brettschichtholz oder Brettsperrholz im Deckenbereich als sinnvolle Alternative. Die Bretter, die zur Produktion von Brettstapelelementen eingesetzt werden, weisen meist eine Stärke zwischen 24 und 60 mm auf. Die Elementabmessungen sind von Hersteller zu Hersteller verschieden, richten sich jedoch stark an die Abmessungen eines Standard-LKW und betragen somit maximal 2,5 mal 13 m. Aufgrund des großen Schwindverhaltens quer zur Spannrichtung betragen die Elementbreiten i.d.R. nicht mehr als 65 cm.¹¹¹

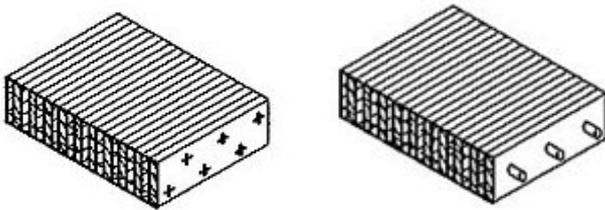


Abbildung 2.20: Brettstapelelemente genagelt (links) und gedübelt (rechts)¹¹²

Vorteile:

- + Einfache Herstellung
- + Gut kombinierbar mit anderen Bauweisen
- + Funktion des Raumabschlusses
- + Bildung einer relativ hohen Speichermasse

Nachteile:

- Ungünstiges Schwindverhalten
- Feuchtebedingte Dimensionsänderung einzelner Brettlagen
- Ohne Aussteifung nur einseitig belastbar

▪ **Brettsperrholzbauweise**

Bei der Herstellung von Brettsperrholz (kurz: BSP) werden kreuzweise übereinander gestapelte Brettlamellen unter Pressdruck zu großformatigen Massivholzelementen verleimt. Durch die kreuzweise Anordnung der Längs- und Querlamellen wird das Quellen und Schwinden des Holzes in der Plattenebene auf ein unbedeutendes Minimum reduziert und die statische Belastbarkeit sowie die Formstabilität beträchtlich erhöht. Vor dem Pressvorgang werden die Brettlamellen auf die gewünschte Länge

¹¹¹ VGL. HOLZFORSCHUNG AUSTRIA: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise. S. 8ff.

¹¹² <http://www.arch-forum.ch/dictionary/details/de/195>, am 11.08.2015 um 18:34 Uhr

keilgezinkt und je nach eingesetzter Produktionstechnologie zu massiven Einschichtplatten schmalseitenverklebt. Eingesetzt werden diese Elemente vorwiegend im mehrgeschossigen Holzbau, haben vereinzelt aber auch im Brückenbau ihre Berechtigung. Aufgrund der Vollflächigkeit von Brettsperrholz wird neben der statischen Funktion auch jene des Raumabschlusses gebildet. Der Vorfertigungsgrad dieser Bauweise kann als hoch betrachtet werden, da bereits im Werk Bauteile, wie die Dämmung, Kabelleitungen sowie Fenster und Türen eingebaut werden können. Die Bauteile werden unabhängig vom Vorfertigungsgrad auf die Baustelle gebracht und mittels Hebwerkzeugen versetzt und montiert. Nicht nur anhand der Holzqualität lässt sich die Qualität dieser Bauweise bestimmen, auch Faktoren wie Verbindungs- und Fügechnik spielen eine wesentliche Rolle. Die Abmessungen der Elemente sind je nach Hersteller unterschiedlich, aber auch hier wieder an die Abmessungen eines Standard-LKW angepasst. Das maximale Format von Brettsperrholz-Platten beträgt 4 mal 18 m. Die Stärke reicht von 57 bis 500 mm.¹¹³

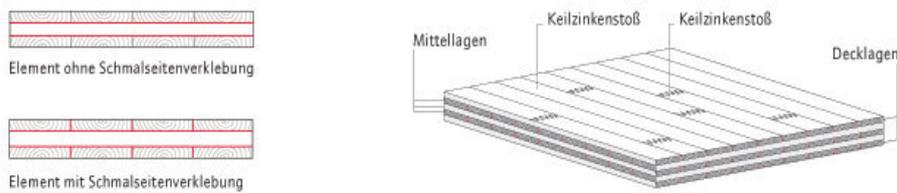


Abbildung 2.21: Brettsperrholz-Element¹¹⁴

Vorteile:

- + Hoher Grad der Vorfertigung
- + Homogenisierung der mechanischen und bauphysikalischen Eigenschaften
- + Kurze Bauzeit
- + Platten- und Scheibentragwirkung

Nachteile:

- Einschränkungen beim Transport (Plattendimensionen)
- Relativ hohe Kosten des Ausgangsmaterials (Rohware)

¹¹³ VGL. HOLZFORSCHUNG AUSTRIA: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise. S. 8ff.

¹¹⁴ <http://www.proholz.at/zuschnitt/31/brettsperrholz/>, am 12.08.2015 um 20:03 Uhr

2.5.4 Holzbauweisen und deren Anwendungsgebiet

Im deutschsprachigen Raum findet vor allem die Holzrahmenbauweise in der klassischen Fertighausindustrie ihr Hauptanwendungsgebiet. Durch den hohen Eigenfertigungsanteil wird diese Bauweise von vielen Zimmer- und Holzbaubetrieben bevorzugt und in den unterschiedlichsten Varianten und Ausprägungen hergestellt. Der nachfolgenden Datenerhebung der Holzforschung Austria kann der prozentuelle Anteil verschiedener Bausysteme bei ausgewählten Neubauten entnommen werden.¹¹⁵

| Systeme (in %) | Skelett- bau | Blockbau | Holzrah- menbau | Holzmas- sivbau (BSP) |
|-----------------------------------|-----------------|----------|--------------------|-----------------------------|
| Einfamilienhäuser | 1 | 10 | 84 | 4 |
| Mehrfamilienhäuser | 0 | 1 | 94 | 5 |
| Um- und Zubauten (z. B. Carports) | 62 | 10 | 26 | 2 |
| Öffentliche Bauten | 37 | 3 | 55 | 5 |
| Gewerbe- und Industriebauten | 16 | 6 | 73 | 5 |
| Landwirtschaftliche Zweckbauten | 26 | 3 | 70 | 1 |

Abbildung 2.22: Anteil der verschiedenen Holzbauweisen¹¹⁶

Es kann festgehalten werden, dass heutzutage in Mitteleuropa die sog. Holz-Tafelbauweise eher im Einfamilienhausbau Verwendung findet, wohingegen die sog. Holz-Massivbauweise vor allem im mehrgeschossigen Wohnbau eingesetzt wird. Die Skelettbauweise nimmt im Wohnungsbau eine eher unterordnete Rolle ein.¹¹⁷

Mischformen jener Systeme, aber auch die Kombination mit mineralischen Baustoffen besitzen ebenfalls großes Potential. In der sog. Schottenbauweise¹¹⁸ werden die lastabtragenden Bauteile aus Brettsperrholz und die bauphysikalischen sowie wärmeschutztechnischen Anforderungen durch den Einsatz von Rahmenelementen erfüllt.¹¹⁹

¹¹⁵ VGL. SCHOBER, P.: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise, In: Zuschnitt 50- Konfektionen in Holz, 50/2013. S. 12.

¹¹⁶ VGL. a.a.O., S. 12.

¹¹⁷ VGL. TEIBINGER, M.; MATZINGER, I.: Bauen mit Brettsperrholz im Geschoßbau, Fokus Bauphysik. S. 2.

¹¹⁸ Bei der Schottenbauweise werden tragende Wände in Querrichtung angeordnet, um die Lasten der Geschosdecken und des Daches über die Schotten (Scheibe) abtragen zu können.

¹¹⁹ VGL. TEIBINGER, M.; MATZINGER, I.: Bauen mit Brettsperrholz im Geschoßbau, Fokus Bauphysik. S. 2.

2.6 Planung im Holzbau

Unter dem Begriff der Planung wird das vorausschauende und systematische Erkennen und Beschreiben von Alternativen verstanden, um die vorgegebenen Ziele mit den zur Verfügung stehenden Mitteln erfüllen zu können.¹²⁰

Die Planung wird im deutschsprachigen Raum auf Grundlage der Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (kurz: HOIA) in neun Phasen gegliedert, wobei die Phasen als Zeitabschnitte angesehen werden und in jedem dieser Abschnitte bestimmte Leistungen vom Planer erbracht werden müssen.¹²¹

Neben den neun Planungsphasen wird anhand der folgenden Abbildung gezeigt, dass speziell zu Beginn von Bauprojekten der Großteil der Kosten anfällt. Mit dem Übergang von der Vorbereitungsphase zur Ausführungsphase sind i.d.R. nur mehr max. 25% der Kosten beeinflussbar.¹²²

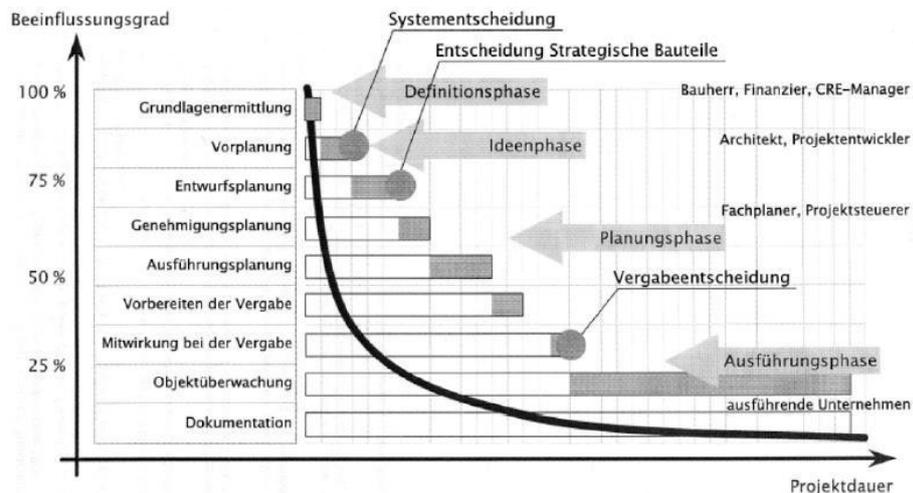


Abbildung 2.23: Reihenfolge der Planungsphasen mit Beeinflussungsgrad der Kosten¹²³

Wie der Abbildung 2.23 entnommen werden kann, sollte sich das Hauptaugenmerk in der Vorplanung bereits auf die Kostensicherheit und die Kostensteuerung richten. Risiken, die aufgrund unklarer Kostenverhältnisse entstehen können, nehmen im Laufe des Projektfortschrittes stark zu. Fehler die frühzeitig, wenn möglich noch vor der Ausführungsphase, erkannt werden, können relativ günstig behoben werden. Eine teure

¹²⁰ VGL. HUBER, U.; WEISSENBÖCK, S.: Projektentwicklung im Bauwesen. S. 1-2.

¹²¹ VGL. MATHOI, T.: Ablauf der Planung. S. 35.

¹²² VGL. HOLZCLUSTER STEIERMARK: Innovativer Holzbau in der Steiermark – eine wirtschaftliche Bewertung entlang der Wertschöpfungskette. Forschungsprojekt. S. 20.

¹²³ VGL. a.a.O., S. 20.

Fehlerbehebung durch die Projektbeteiligten während oder nach der Ausführungsphase sollte vermieden werden.¹²⁴

Damit die bautechnische Aufgabenstellung möglichst termin- und kostenoptimal erfolgen kann, muss nach technisch-wirtschaftlich optimalen Lösungen gesucht werden. Besonders in der Planung sollte bereits die wirtschaftlich günstigste Bauzeit festgelegt werden. Dies kann zwar zu einem hohen technischen Optimierungsaufwand führen, kann aber die späteren Baukosten auf ein Optimum senken.¹²⁵

Die nachfolgende Grafik zeigt den Zusammenhang zwischen den zu erwartenden Kosten und der angesetzten Bauzeit.

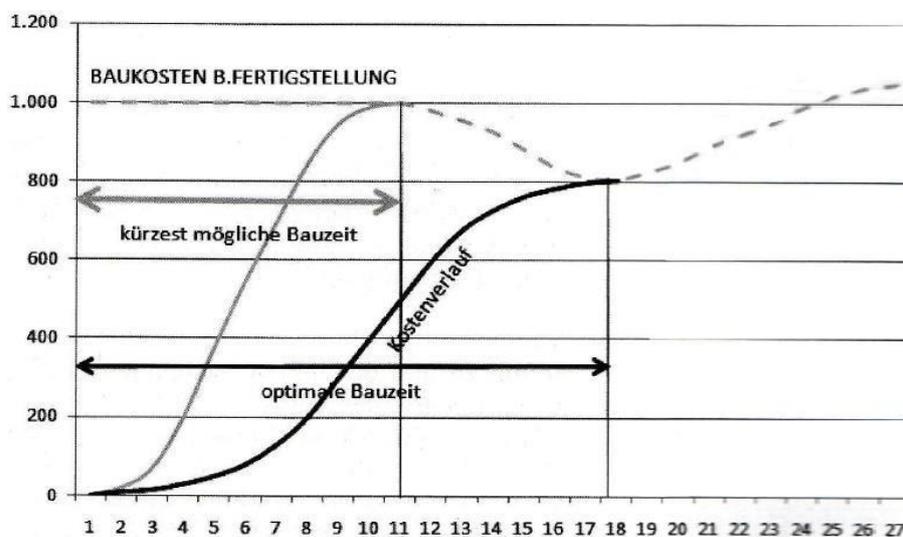


Abbildung 2.24: Zusammenhang zwischen Bauzeit und Baukosten¹²⁶

Die Grafik zeigt, dass nicht immer durch die technisch kürzest mögliche Bauzeit auch die geringsten Kosten entstehen. Bei zu langen Bauzeiten nehmen die Kosten durch zeitgebundene Aufwände und Gebühren weiter zu. Der Ermittlung von minimalen Baukosten liegt ein iterativer Planungsprozess zu Grunde, dessen Eingangsgrößen hohen Einfluss auf das Endergebnis haben.¹²⁷

Die holzbauspezifische Planung unterscheidet sich im Gegensatz zur konventionellen Bauplanungen durch die nötige Planungstiefe in der Projektvorbereitungsphase. Sämtliche objektbezogene Details müssen vorab geklärt werden, damit eine genaue Konstruktionsplanung und eine zugehörige Kostenplanung überhaupt möglich ist. Als Beispiel sind hier

¹²⁴ VGL. HOLZCLUSTER STEIERMARK: Innovativer Holzbau in der Steiermark – eine wirtschaftliche Bewertung entlang der Wertschöpfungskette. Forschungsprojekt. S. 20.

¹²⁵ VGL. DUSCHEL, M.; PLETTENBACHER, W.: Handbuch Arbeitsvorbereitung im Baubetrieb. S. 21.

¹²⁶ VGL. a.a.O., S. 21.

¹²⁷ VGL. a.a.O., S. 22.

einige Grundsätze für eine Kostenoptimierung von Bauobjekten angeführt, die bereits in der Planungsphase Beachtung finden sollten.¹²⁸

- Verwendung von vorhandenen und lokalen Holzarten, um eine effektive Nutzung der Ressourcen zu erlangen.
- Erstellung eines Konzeptes mit einheitlichen strukturellen Regeln für die Gestaltung von regelmäßigen Grund- und Aufrissen.
- Sekundärtragwerke, wie bspw. Balkonzubauten sollten austauschbar und witterungsbeständig ausgeführt werden.
- Dem Bauplaner muss das interdisziplinäre Denken und Handeln in mehreren Bauphasen möglich sein. D.h. die Planung ist nicht mit dem Rohbau abgeschlossen.

Zu Beginn der Planung steht der Planungsentwurf, welcher in Zusammenarbeit zwischen Architekten und Ingenieur entsteht. Aus dem Planungsentwurf entwickelt sich die Ausschreibungsplanung. In dieser Phase wird eine ausführende Holzbaufirma bestimmt, die firmenintern oder durch eine externe Vergabe an unabhängige Ingenieure die Tragwerksplanung durchführt. Damit es zu keinen Überschneidungen kommt, fordert diese Planungsstruktur eine genaue Definition der Kompetenzen aller Planungsbeteiligten.¹²⁹

In Österreich wird zur Gliederung der Planungsleistung im Holzbau die ÖNORM B 2215¹³⁰ angewandt, welche in die Planungsschritte Konstruktions- und Werkstattplanung unterteilt ist. Zur weiteren Bestimmung der Planungstiefen im Holzbau wird zurzeit am Entwurf der ÖNORM B 4115¹³¹ gearbeitet, die als Qualitätssicherungsnorm im Holzbau erscheinen wird.^{132,133}

¹²⁸ VGL. RINGHOFER, A.; SCHICKHOFER, G.: Timber-in-Town – current examples for residential buildings in CLT and tasks for the future. Tagungsbericht. S. 19.

¹²⁹ VGL. WÖRLE, P.: Kosten- und Qualitätssicherung in der Planung von Ingenieur(holz)bauten. Tagungsband: Internationales Holzbau-Forum-Garmisch Patenkirchen. S. 1-11.

¹³⁰ VGL. ÖNORM B 2215, 2009-07-15; Holzbauarbeiten – Werkvertragsnorm.

¹³¹ VGL. ÖNORM B 4115, im Entwurf, Ausführung von Holzbauwerken.

¹³² VGL. WÖRLE, P.: Kosten- und Qualitätssicherung in der Planung von Ingenieur(holz)bauten. Tagungsband: Internationales Holzbau-Forum-Garmisch Patenkirchen. S. 1-11.

¹³³ VGL. PFEMETER, C.: timber-online.net – Nachrichten-Holzbau/Bauelemente; gute Auftragslage – Zimmermannszukunft bleibt optimistisch; <https://www.timber-online.net/?id=2500,4366093>, am 14.08.2015 um 16:20 Uhr.

Die Grundsätze und Grundlagen der Planung wie auch der Arbeitsvorbereitung (kurz: AV) können in folgende Bereiche gegliedert werden:¹³⁴

- Unternehmensspezifische Grundlagen, wie die Qualifikation der einzelnen Arbeitskräfte (kurz: AK), die Geräteausstattung, die Leistungsansätze, usw.
- Projektbezogene Grundlagen, wie die vom Auftraggeber geforderte Bauzeit, die Geometrie, das Leistungsverzeichnis, die Örtlichkeit, die Infrastruktur, usw.
- Überbetrieblich einzuhaltende Grundlagen und Vorgaben, wie die Gesetze, die Verordnungen, die Normen, die Kollektivverträge, usw.

All diese Grundlagen stellen das Fundament einer gut durchdachten Planung dar. Die Einflüsse und Aufgaben müssen in der Planungsphase eines Bauprojektes vom jeweiligen Partner eingefordert und zu Beginn der Planung festgelegt werden. Nur so ist eine wirtschaftliche und technisch kostengünstige Planung überhaupt erst möglich.¹³⁵

2.6.1 Fertigungsplanung im Holzbau

Großvolumige und komplexe Bauprojekte in Holzbauweise benötigen i.d.R. eine längere Vorlaufzeit in der Planung als vergleichbare Projekte in traditioneller Bauweise. Zudem sollten aufgrund der hohen Fertigungstiefe alle wichtigen Entscheidungen im Vorfeld der Produktion getroffen werden, da eine baubegleitende Ausführungsplanung im Falle einer industriellen Bauweise zu großen Problemen führen könnte. Die insgesamt länger andauernde Planungszeit im Holzbau kann jedoch durch eine schnellere Montage ausgeglichen werden. In den beiden nachfolgenden Grafiken wird der zeitliche Ablauf einer konventionell gefertigten Baustelle mit einem industriell gefertigten Holzbau gegenübergestellt.¹³⁶

¹³⁴ VGL. DUSCHEL, M.; PLETTENBACHER, W.: Handbuch Arbeitsvorbereitung im Baubetrieb. S. 22.

¹³⁵ VGL. a.a.O., S. 22.

¹³⁶ VGL. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 68.

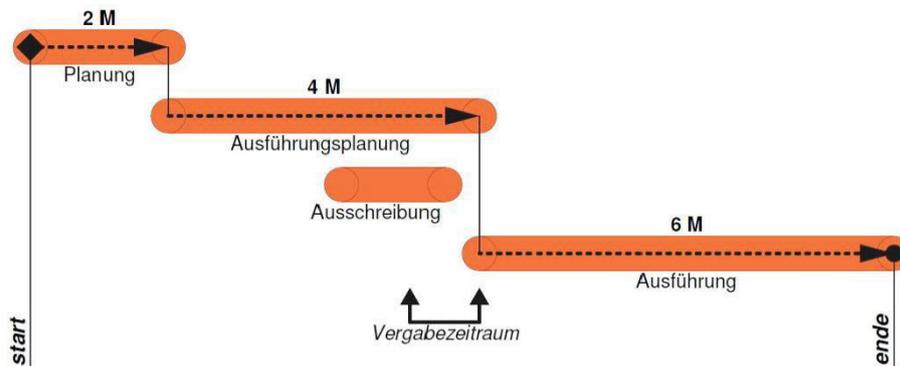


Abbildung 2.25: Bauablauf einer konventionellen Bauweise¹³⁷

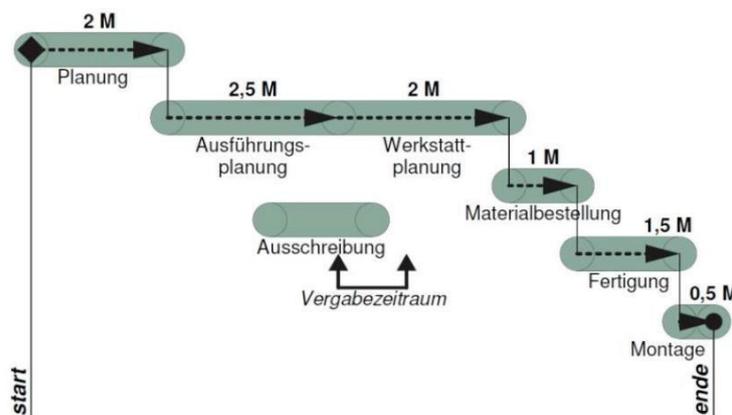


Abbildung 2.26: Bauablauf eines industriell gefertigten Holzbauprojektes¹³⁸

Konventionelle Bauweisen beinhalten mit einer baubegleitenden Ausführungsplanung einige Risiken. Mit einer parallel verlaufenden Planungs- und Ausführungstätigkeit wird zudem der Kommunikations- und Koordinationsaufwand zwischen den Fachplanern und ausführenden Unternehmen deutlich erhöht. Des Weiteren besteht die Gefahr, dass alte bzw. nicht mehr aktuelle Planunterlagen als Ausführungsbasis verwendet werden. Eine laufende, präzise Kontrolle und Bauüberwachung ist daher zwingend nötig. Trotz der Tatsache, dass die Ausführungs- und Werkstättenplanung einer vorgefertigten Bauweise länger dauert, kann durch die Optimierung des Fertigungs- und Montageablaufes eine in Summe kürzere Ausführungszeit erzielt werden.¹³⁹

Das interdisziplinäre Streben individuelle Produkte zu ähnlichen Konditionen wie bei der klassischen Serienproduktion anbieten zu können, steht seit einiger Zeit im Mittelpunkt der betriebswirtschaftlichen und ingeni-

¹³⁷ VGL. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 68.

¹³⁸ VGL. a.a.O., S. 68.

¹³⁹ VGL. a.a.O., S. 69.

eurwissenschaftlichen Forschung. Hierbei werden besonders hohe Ansprüche an die Prozessentwicklung der Werkplanung gestellt.¹⁴⁰

Die Erweiterbarkeit der Planungsaufgaben, die flexible Integrationsfähigkeit von neuen Aufgaben und die konstante Lernfähigkeit der entwickelten Planungsprozesse sind für die Umsetzung einer individualisierten und dennoch günstigen Produktion drei wichtige Basiseigenschaften. Bei geänderten Voraussetzungen sollten die entwickelten Prozesse auf vergleichbare Problemlösungen zurückgreifen und diese entsprechend der gegenwärtigen Problemstellung modifizieren können.¹⁴¹

Die Anforderungen an die Werkplanung von individuellen Bauteilen sind um einiges komplexer als jene einer standardisierten Produktion, da sich Aufgaben aus der Produktentwicklung in die Ebene der Auftragsabwicklung verschieben. Hierzu gehören bspw. eine kundenspezifische Produktionsplanung sowie eine individuelle Erarbeitung von Fertigungsunterlagen. Da bei kundenindividuellen Einzelfertigungen solche Aufgaben viel häufiger durchgeführt werden müssen, wird versucht eine gewisse Standardisierung und auch Automatisierung zu erreichen.¹⁴²

Zeitlich betrachtet ist die Arbeits- bzw. Werkplanung zwischen der Entwurfs-, der Konstruktions-, der Werkstätten- und der Montageplanung angeordnet. Die zuvor beschriebene Basisaufgabe der Integrationsfähigkeit bezieht sich in diesem Zusammenhang auf die Möglichkeit, das System als Schnittstelle zwischen den beiden Aufgaben zu installieren. Hierfür werden zumeist CAD-Systeme eingesetzt, die eine erweiterungsfähige Kommunikationstechnologie besitzen. Anhand einer kontinuierlichen Ergänzung, der im Programm integrierten Datensätze wird der Faktor der Lernfähigkeit umgesetzt. Die Grundlage stellen dabei die aus der Fertigung gewonnenen Informationen dar.¹⁴³

Erst durch die Verknüpfung mehrerer Teilbereiche wird das primäre Ziel der Werkplanung sowie die Produktion und Absetzung industrieller Güter erreicht. Die Materialbeschaffung, die Durchführung der Produktion und der Vertrieb der angefertigten Bauteile sind in diesem Zusammenhang die wichtigsten Faktoren. Die Produktion selbst stellt dabei den zentralen Bereich eines industriell orientierten Unternehmens dar. Die bereits entworfenen Bauteile oder Produkte sollten stets nach einem zuvor bestimmten Bedarf und einem festgelegten Terminplan wirtschaftlich gefertigt werden. Die Beschaffungslogistik und der Vertrieb sind der Produktion vor- bzw. nachgelagert und stehen mit der Umwelt des Unterneh-

¹⁴⁰ VGL. LINDEMANN, U.; REICHENWALD, R.; ZÄH, M. F.. Individualisierte Projekte, Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. S. V.

¹⁴¹ VGL. a.a.O., S. 64.

¹⁴² VGL. a.a.O. S. 71.

¹⁴³ VGL. a.a.O., S. 72.

mens in direkter Verbindung. Sowohl die Beschaffung als auch die Produktion und der Vertrieb sind in weitere Subsysteme unterteilt. Bezogen auf die Produktion sind das die Bereiche der Arbeitsvorbereitung, der Fertigung und der Montage, welche noch im weiteren Verlauf dieser Arbeit ausführlich beschrieben werden.¹⁴⁴

¹⁴⁴ VGL. LINDEMANN, U.; REICHENWALD, R.; ZÄH, M. F.. Individualisierte Projekte, Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. S. 72.

2.7 Arbeitsvorbereitung im Holzbau

Zu Beginn dieses Kapitels befindet sich eine allgemeine Definition des Begriffes Arbeitsvorbereitung.

„Die Arbeitsvorbereitung versteht die Planung der Bauausführung im engeren Sinn mit dem Ziel eines geordneten und flüssigen Ablaufs der Baustelle unter der Berücksichtigung der technisch-wirtschaftlich optimalen Lösung. Sie beinhaltet auf jeden Fall die Baustellenorganisatin sowie die Terminplanung, Einsatzmittel- und Baustelleneinrichtungsplanung.“¹⁴⁵

Im Gegensatz zur stationären Industrie bzw. Fließbandfertigung mit immer ähnlich wiederkehrenden Randeinflüssen, muss sich der Planer eines Bauprojektes mit unterschiedlichen Randbedingungen auseinandersetzen.¹⁴⁶

- Beinahe jedes Bauobjekt ist ein Prototyp.
- Die Umwelteinflüsse variieren je nach Standort.
- Die Kalkulation der Leistung und der daraus ermittelten Kosten beruhen meist auf einem unfertigen Planstand.
- Die Preisgestaltung hängt stark von einer sich ständig wechselnden Marktsituation ab.
- Es herrschen meist schlecht vorhersehbare Rahmenbedingungen, speziell Baugrund und Witterung betreffend.

Aufgrund dieser durchaus komplexen Anforderungen ist es wichtig, einen auszuführenden Bauauftrag als gesamten Prozess zu betrachten. Im Baubetrieb wird diesbezüglich zwischen dem sog. Primär- und dem sog. Sekundärprozessen unterschieden. Primärprozesse dienen grundsätzlich der Existenzsicherung eines Unternehmens, wohingegen Sekundärprozesse als unterstützende Maßnahmen ihren Beitrag zum Unternehmenserfolg beisteuern. Die Arbeitsvorbereitung wird trotz der eigentlichen Planungsaufgaben, wie Kosten- und Terminplanung, Produktionsplanung, Baustelleneinrichtungsplanung, usw. als Primärprozess angesehen, da hohe finanzielle Einbußen im Bauablauf existenzgefährdend sein können.¹⁴⁷

Die Arbeitsvorbereitung besteht grundsätzlich aus sechs Primärprozessen, welche im Kapitel 2.7.3 näher beschrieben sind.

¹⁴⁵ VGL. DUSCHEL, M.; PLETTENBACHER, W.: Handbuch Arbeitsvorbereitung im Baubetrieb. S. 21.

¹⁴⁶ VGL. a.a.O., S. 21.

¹⁴⁷ VGL. a.a.O., S. 24.

2.7.1 Ziele der Arbeitsvorbereitung im Holzbau

Mit der steigenden Automatisierung des Bauablaufes im Holzbau steigt auch die Notwendigkeit einer detaillierten Arbeitsvorbereitung im Unternehmen.¹⁴⁸

Daher wird sowohl eine vorrausschauende Planung, als auch die Koordination der eigentlichen Fertigungsprozesse vorausgesetzt. Für die erfolgreiche Umsetzung einer industriellen Produktion ist neben einer hohen Mechanisierung auch eine standardisierte und prozessorientierte Arbeitsvorbereitung wesentlich. Es reicht dabei nicht aus, die Arbeitsschritte auf der Baustelle oder im Werk so weit zu rationalisieren, dass ein bestmöglicher Wirtschaftserfolg erzielt werden kann. Erst durch die Automatisierung der Arbeitsvorbereitung wird eine effiziente Vorfertigung ermöglicht.¹⁴⁹

Speziell beim Bauen mit Fertigteilen und der Verwendung von automatisch ablaufenden Arbeitsschritten wird eine systematische und eindeutig durchdachte Planung des eigentlichen Bauwerkes erforderlich bzw. vorausgesetzt. Hierfür muss sowohl die Produktion im Werk, als auch der Transport zur Baustelle inkl. der Montage vor Ort berücksichtigt werden. Da speziell eine Verzögerung der Lieferungen einen Stillstand der gesamten Baustelle verursachen kann, wird gezielt auf die Umsetzung einer Just-in-time Anlieferung geachtet. Fachexperten teilen sich die Ansicht, dass nicht nur die Wahl des Liefersystems Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit hat, sondern auch die Wahl des verwendeten Fertigungsverfahrens. Vor allem sollte eine kontinuierliche Auslastung der eingesetzten Produktionsmittel sichergestellt werden. Um dies zu erreichen, wird der Arbeitsablauf in einzelne Schritte unterteilt, die zeitlich aufeinander abgestimmt werden. Durch unterschiedliche Kontrollmechanismen kann dabei die geplante Bauzeit kontrolliert und auf Bauzeitverzögerungen rasch reagiert werden.¹⁵⁰

2.7.2 Arbeitsablaufplanung im Holzbau

Das System der Arbeitsvorbereitung ist in die Bereiche der Arbeitsplanung und der Arbeitssteuerung unterteilt. Dabei befasst sich die Arbeitsplanung mit einmalig auftretenden Planungsaufgaben unter ständiger Berücksichtigung einer wirtschaftlich optimalen Fertigungsstrategie. Sowohl längerfristige Aufgaben, wie bspw. die Koordination der Lager- und Transportplanung, als auch kurzfristige Problemstellungen, wie die Erstellung von Stücklisten für die Produktion, fallen in den Zuständigkeits-

¹⁴⁸ VGL. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 533.

¹⁴⁹ VGL. a.a.O., S. 529ff.

¹⁵⁰ VGL. a.a.O., S. 529ff.

bereich der Arbeitsplanung. Die Arbeitssteuerung behandelt hingegen all jene Aspekte, die für die Durchführung einer erfolgreichen Arbeitsplanung notwendig sind. Dazu gehören bspw. die Ermittlung des Anteiles an Eigenfertigung bzw. die Koordination der Fremdbezugsplanung.¹⁵¹

In der nachfolgenden Grafik wird der Ablauf einer Produktion beginnend mit der Arbeitsvorbereitung über die Fertigung bis hin zur Montage schematisch abgebildet.

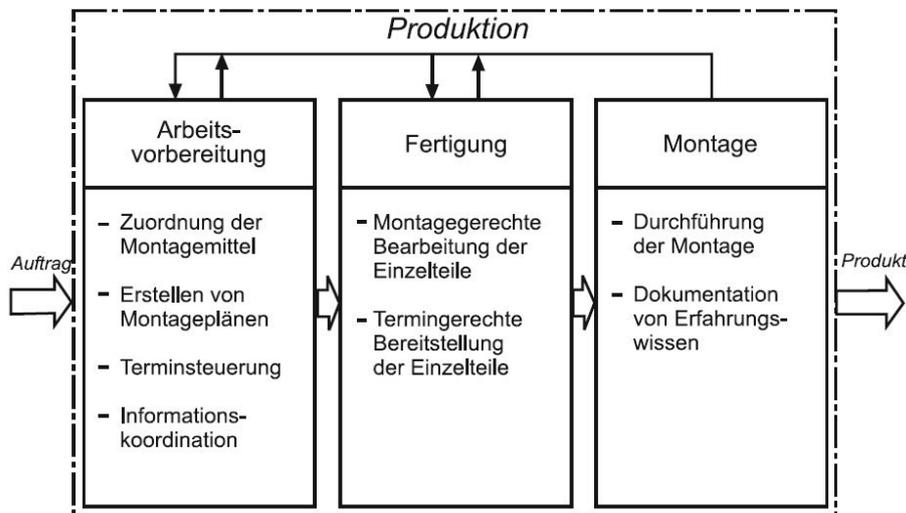


Abbildung 2.27: Systematischer Ablauf einer Produktion¹⁵²

Vor allem bei kundenindividuellen Produktionen sind fertigungsnahe Bedarfsermittlungen und -steuerungen wichtige Voraussetzungen bzw. Randbedingungen in der Arbeitsablaufplanung. Dabei ist eine umfassende und zielgerichtete Ausarbeitung der auftragsabhängigen Fertigungsunterlagen wesentlich. Zudem nimmt aufgrund des sich je Auftrag ändernden Leistungszieles auch die Bedeutung des Informationsgehaltes der Fertigungspläne stark zu. Da die zu errichtenden Projekte meist unterschiedlich gestaltet sind, müssen sich die Mitarbeiter in der Fertigung stets auf die ihnen zur Verfügung stehenden Unterlagen verlassen können, da sie nur bedingt auf Erfahrungswerte zurückgreifen können. Dieser Umstand führt unweigerlich zu einem Mehraufwand in der Arbeitsablauf- bzw. Fertigungsplanung. Meist wird dabei die Anzahl der Planungsaufgaben erhöht, um eine konstant gute Qualität sicherstellen zu können. Diese Maßnahme führt aber gleichzeitig zu höheren Kosten in der Planungsphase. Durch die Entwicklung eines geeigneten Systems kann diesem Kostenanstieg auf einfache Weise entgegengewirkt wer-

¹⁵¹ VGL. LINDEMANN, U.; REICHENWALD, R.; ZÄH, M. F.: Individualisierte Produkte, Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. S. 74.

¹⁵² VGL. a.a.O., S. 74.

den. So wird die Fertigungsplanung bspw. in partielle Teile untergliedert, welche parallel oder aber auch nacheinander ablaufen können.¹⁵³

Auch die Steuerung des tatsächlichen Materialflusses muss flexibel auf die Anforderungen der Kundenwünsche angepasst werden, um individualisierte Bauteile herstellen zu können. Daher erscheint es zielführend sog. Fördergut-, Layout- sowie Durchlaufflexibilitäten herzustellen. Die Fördergutflexibilität beschreibt in diesem Zusammenhang all jene Möglichkeiten, unterschiedliche Produkte unabhängig von deren Abmessungen oder Eigengewicht im vorhandenen System transportieren zu können. Durch die Layoutflexibilität wird eine rasche Reaktionszeit des Materialflusses innerhalb der gesamten Werkhalle beschrieben. Die Durchlaufflexibilität beschreibt schließlich die Möglichkeit eines Systems auf unvorhersehbare Einflüsse rasch reagieren zu können. Da in den meisten Fällen nicht alle drei Faktoren gleichermaßen umgesetzt werden können, muss in jedem Unternehmen ein geeignetes Mittelmaß gefunden werden.¹⁵⁴

Nach wie vor werden in einer Fertigung vor allem manuelle Materialflüsse, wie bspw. Hubsysteme eingesetzt. Diese zeichnen sich zwar durch geringe Investitionskosten bei hoher Wandelbarkeit aus, die Produktivität bei automatisch ablaufenden Systemen ist jedoch deutlich höher. Allerdings gelten automatisierte Lösungsansätze bis dato oftmals als zu starr und ungeeignet für die kundenindividuelle Produktion.¹⁵⁵

2.7.3 Prozesse der Arbeitsvorbereitung im Holzbau

Wie bereits im Kapitel 2.7.1 erwähnt, setzt sich die Arbeitsvorbereitung aus Primär- und Sekundärprozessen zusammen, wobei erstere zur Existenzhaltung eines Unternehmens beitragen und letztere als unterstützende Maßnahmen angesehen werden können.



Abbildung 2.28: Primärprozesse der Arbeitsvorbereitung¹⁵⁶

Die in Abbildung 2.28 dargestellten Primärprozesse einer Arbeitsvorbereitung werden im nachfolgenden Abschnitt genauer beschrieben.

¹⁵³ VGL. LINDEMANN, U.; REICHENWALD, R.; ZÄH, M. F.: Individualisierte Produkte, Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. S. 75.

¹⁵⁴ VGL. a.a.O., S. 78.

¹⁵⁵ VGL. a.a.O., S. 80.

¹⁵⁶ VGL. DUSCHEL, M.; PLETTENBACHER, W.: Handbuch der Arbeitsvorbereitung im Baubetrieb. S. 24.

▪ Fertigungsverfahren:

„Unter einem Fertigungsverfahren versteht man die Methode zur Herstellung von Baustoffen oder Bauteilen im Rahmen der Errichtung eines Bauwerkes.“¹⁵⁷

Je nach Bauweise kann heutzutage im modernen Holzbau bereits ein sehr hoher Grad an Vorfertigung erzielt werden. Entsprechend der durchzuführenden Arbeitsvorbereitung sollte grundlegend zwischen der Fließfertigung und der Taktfertigung unterschieden werden. Die klassische Taktfertigung, auch Serienfertigung genannt, findet bspw. in den Werkshallen eines Zimmereibetriebes statt. Hier werden die einzelnen Elemente, die sich mehrheitlich aus denselben Arbeitsschritten zusammensetzen, nacheinander abgearbeitet und für die Verladung vorbereitet. Das eingesetzte Personal führt im Prinzip wiederholende Tätigkeiten aus, was im Falle einer umfangreichen Arbeitsvorbereitung und professioneller Umsetzung die Fertigungszeiten auf ein Minimum sinken lässt. Bei einer Baustellenmontage wird nicht von einer Fließfertigung gesprochen, da die Arbeitskräfte mehrere unabhängig voneinander, teilweise zeitgleich ablaufende Tätigkeiten ausführen. Durch den damit als höher einzuschätzenden Aufwand des Personals wird auf der Baustelle eine Taktfertigung angestrebt, die zu einer Beschleunigung des Arbeitsprozesses beiträgt. In der Arbeitsvorbereitung wird grundlegend zwischen der sog. Stunden-, Tages- oder Wochentaktung unterschieden.¹⁵⁸

Aus dieser Beschreibung geht hervor, dass im modernen Holzbau das Erzielen eines hohen Vorfertigungsgrades erstrebenswert ist. Um optimale Bedingungen für die werkseitige Vorfertigung bzw. Produktion von Elementen zu schaffen, müssen sämtliche Fragen bezüglich Statik, Konstruktion, Bauphysik, objektbezogene Details, Elementabmessungen, usw. bereits im Vorfeld umfassend geklärt sein. Dies verlangt wiederum eine umfangreiche Aufgabendarstellung und Leistungsbeschreibung vom ausführenden Architekten und Tragwerksplaner.¹⁵⁹

Leistungen des Architekten können dabei wie folgt verstanden werden:¹⁶⁰

- Die Klärung der Aufgabenstellung bzgl. des Raumprogrammes und der Randbedingungen aus der Funktion der projektspezifischen Bauvorschriften.
- Die Konzepterarbeitung mit besonderem Augenmerk auf die Funktion, der Energiethemen und der Gestalt des Holzbaubauobjektes.

¹⁵⁷ VGL. DUSCHEL, M.; PLETTENBACHER, W.: Handbuch der Arbeitsvorbereitung im Baubetrieb. S. 35.

¹⁵⁸ VGL. a.a.O., S. 35ff.

¹⁵⁹ VGL. a.a.O., S. 35ff.

¹⁶⁰ VGL. HERZOG, T. et al.: Holzbau Atlas. S. 78.

- Die Koordination der an der Planung beteiligten Projektmitarbeiter und die Einarbeitung der erarbeiteten Beiträge.
- Die Durchführung und die Erstellung der Kostenschätzung. (In Österreich nach der ÖNORM B 1801¹⁶¹)
- Die Erarbeitung von Vorschlägen bezüglich der Gebäudegeometrie mit laufender Optimierung des Konzeptes.
- Die Ermittlung der zu verbauenden Massen mit anschließender, umfassender Leistungsbeschreibung.
- Die Einholung von Angeboten mit anschließender Prüfung.
- Die Verhandlung mit Bietern und Mitwirkenden in der Vergabe.
- Die abschließende Erstellung des Kostenvoranschlages.

Die Leistungen des Tragwerkplaners können des Weiteren wie folgt aussehen:¹⁶²

- Die Klärung der Aufgabenstellung bzgl. der Randbedingungen für das Tragwerk betreffend Lastannahmen, Voraussetzungen für Gründungen, usw.
- Die Erstellung des Nutzungsplanes mit der Angabe der Einwirkungen auf das Tragwerk, wie Schneelast, Windlast, Erdbebenlast, usw.
- Die Erstellung einer oder mehrerer Tragwerkskonzepte und des Sicherheitskonzeptes, die gemäß geltender Bauvorschriften erforderlich sind.
- Die Einbringung von Vorschlägen zur Gebäudegeometrie und einsetzbarer Baustoffe.
- Die Erstellung einer Tragwerkslösung mit der Angabe der Hauptabmessungen des Tragwerks und seiner Bestandteile.
- Die Erstellung einer Tragwerksbeschreibung bzw. Mitwirkung in der Kostenberechnung.
- Die Mitwirkung in den Verhandlungen, wobei aufgrund zeitlicher Engpässe evtl. die Ausschreibung des Tragwerks vor der eigentlichen Projektausschreibung erfolgen kann.
- Die Erstellung von Ausführungsplänen des Tragwerkes und dessen Details mit zugehörigen Stücklisten.
- Die Ermittlung von Tragwerksmassen mit den zugehörigen Verbindungsmitteln.

¹⁶¹ VGL. ÖNORM 1801-1, 2009-03-01: Kosten im Hoch- und Tiefbau – Kostengliederung.

¹⁶² VGL. HERZOG, T. et al.: Holzbau Atlas. S. 78f..

▪ **Termin- und Ablaufplanung:**

In einem Terminplan sind die End- bzw. Anfangszeitpunkte aller Vorgänge und Tätigkeiten eines Bauvorhabens meist detailliert mit einem Datum und der Uhrzeit aufgezeichnet. Von der örtlichen Bauaufsicht, die unmittelbare Vertretung des Bauherrn, wird in vielen Fällen die Existenz des Terminplanes überprüft und auf Widersprüche hingewiesen, da Terminpläne meist auch Vertragsbestandteile darstellen. Termin- und Ablaufpläne sind stets auf deren Vollständigkeit und Eignung für die jeweilige Bauausführung zu prüfen.¹⁶³

Bereits in der Planungsphase und während der Arbeitsvorbereitung muss ein Terminplan sorgfältig erarbeitet werden, da eine Vielzahl an möglichen Konfliktpunkten, wie zu wenig Personal aufgrund von Urlaubs- oder Krankenständen, auftretendes Schlechtwetter, usw. frühzeitig bedacht und vermieden werden kann. Ein Terminplan wird aus den technischen Vorgaben der umzusetzenden Konstruktion, dem dafür vorgesehenen Bauverfahren, den Überlegungen zur Arbeitsvorbereitung und dem Bedarf ablauftechnischer Parameter erstellt.¹⁶⁴

Speziell in der Montage von Holzbauten ist eine detaillierte Ausarbeitung des Terminplanes unumgänglich, da zumeist vorgesehen wird, die angelieferten Materialien direkt vom LKW zu montieren. Diese Art der Anlieferung wird als sog. Just-in-time Anlieferung bezeichnet. Nachdem die erste Terminplanung abgeschlossen ist, erfolgt der Übergang von der Planungs- in die Ausführungsphase.

▪ **Baustelleneinrichtung:**

Unter dem Begriff einer Baustelleneinrichtung werden alle Maßnahmen und Einrichtungen verstanden, die zur Errichtung eines Bauwerkes auf der Baustelle benötigt werden.¹⁶⁵

U.a. werden folgende Aufgaben zur Baustelleneinrichtung gezählt:¹⁶⁶

- Der An- und Abtransport aller erforderlichen Geräte, Werkzeuge und zu verarbeitenden Materialien.
- Der An- und Abtransport aller erforderlichen Einrichtungen, wie Unterkünfte für das Personal, usw.
- Die Herstellung der Infrastruktur, wie Strom-, Wasser-, Gas- und evtl. Internetanschlüsse.

¹⁶³ VGL. DUSCHEL, M.; PLETTENBACHER, W.: Handbuch Arbeitsvorbereitung im Baubetrieb. S. 53.

¹⁶⁴ VGL. a.a.O., S. 94.

¹⁶⁵ VGL. OBERNDORFER, W.; JODL, H.G.: Handwörterbuch der Bauwirtschaft. S. 62.

¹⁶⁶ VGL. DUSCHEL, M.; PLETTENBACHER, W.: Handbuch Arbeitsvorbereitung im Baubetrieb. S. 30.

- Die Errichtung ordnungsgemäßer An- und Abfahrtswege sowie Baustraßen für die Versorgung der Baustelle.
- Der Aufbau sonstiger Anlagen, wie Abfallsammelstellen, Lagerplätze, usw.

Diese Punkte sollten bereits in der Baustelleneinrichtungsplanung ausführlich betrachtet werden, damit die Baustelle während der gesamten Bauzeit mit allen notwendigen Betriebsmitteln und Betriebsstoffen versorgt ist. Grundsätzlich zeichnet sich eine gut funktionierende Baustelleneinrichtung dadurch aus, dass all diese Faktoren zur rechten Zeit, am rechten Ort, in genauer Menge und Qualität, zu möglichst geringen Kosten zur Verfügung stehen bzw. gestellt werden.¹⁶⁷

▪ **Ressourcenplanung:**

Die Ressourcenplanung hat zur Aufgabe während der Bauzeit immer eine ausreichende Auswahl an Ressourcen, wie Arbeitskräfte und Personal, Geräte und Maschinen, Materialien, usw. zur Erreichung des Projektzieles zur Verfügung zu haben. Hier kann es speziell beim einsetzbaren Personal und den vorhandenen Betriebsmitteln zu Engpässen kommen, da sich i.d.R. nicht alle angebotenen Projekte mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen eines Unternehmens bewerkstelligen lassen. Daraus folgt, dass die Termin- und Ressourcenplanung immer exakt aufeinander abgestimmt sein sollte.¹⁶⁸

▪ **Arbeitskalkulation:**

Die zu erbringende Bauleistung wird in Form einer speziellen, die aktuelle Situation des Bauvorhabens wiedergebende Kalkulation, eine sog. Arbeitskalkulation errechnet und mit dem Bauverfahren entsprechenden Aufwands- und Leistungswerten sowie marktangepassten Lohn-, Geräte- und Materialkosten laufend bewertet. Aufgrund der optimierten Kombination der eingesetzten Produktionsfaktoren und den detaillierten Informationen über die tatsächlichen Baustellenverhältnisse kann die Arbeitskalkulation teilweise stark von der Auftrags- bzw. Angebotskalkulation abweichen, jedoch die Realität damit widerspiegeln.¹⁶⁹

¹⁶⁷ VGL. DUSCHEL, M.; PLETTENBACHER, W.: Handbuch Arbeitsvorbereitung im Baubetrieb. S. 93.

¹⁶⁸ VGL. a.a.O., S. 149.

¹⁶⁹ VGL. a.a.O., S. 305.

2.7.4 EDV-Systeme in der Arbeitsvorbereitung im Holzbau

Leistungsstarke Rechnersysteme bilden nicht nur in der Bauwirtschaft, sondern auch in der stationären Industrie die Grundlage einer effizienten Vorfertigung von Bauteilen und Produkten. Die Produktion ist dabei stets die am stärksten von der Entwicklung neuer Kommunikationstechnologien betroffene Einflussgröße.¹⁷⁰

Moderne Informations- und Datenverarbeitungssysteme sind in der heutigen Zeit kaum noch vom Arbeitsplatz wegzudenken. Die Produktion unterschiedlicher Güter wird heutzutage mit exakten, meist ausschließlich digitalen Hilfsmitteln zur Arbeitsvorbereitung abgewickelt. Dabei werden nicht nur die Produkte, sondern auch die erforderlichen Fertigungshallen und Maschinen gänzlich digital nachgebildet. Durch diese Digitalisierung der Arbeitsumgebungen können verschiedene Arbeitsprozesse optimiert werden. In der Fachliteratur wird diese Vorgehensweise oftmals auch als digitale Produktion bzw. digitales Bauen bezeichnet.¹⁷¹

Bis vor kurzem blieb die Auslieferung an den Kunden und eine weitere Bearbeitung der Güter beim sog. digitalen Bauen unberücksichtigt. Hier entsteht jedoch derzeit ein sehr breites Feld der Weiterentwicklung, welches unter dem Begriff Industrie 4.0 sowie Building Information Modeling (kurz: BIM) zusammengefasst werden kann und künftig das Bauen digital revolutionieren wird. Durch die neu entwickelten Möglichkeiten der globalen Kommunikation sowie dem steigenden Wettbewerbsdruck wird dieser Anwendungsbereich auch den gesamten Lebenszyklus der Gebäude betreffen.¹⁷²

Der Wertschöpfungsprozess wird durch diese modernen Methoden des digitalen Bauens weiter optimiert, indem die Produktion von Elementen beinahe gänzlich innerhalb der Fabrik durchgeführt wird. Die Produktion selbst wird dabei als Prozess der Transformation von Materialien und Gütern zur Generierung einer Wertschöpfung angesehen. Durch die Nutzung von neuesten IT-Programmen wird eine möglichst schnelle Reaktion auf externe Einflüsse sichergestellt. Der Datenzugriff für jeden Beteiligten ist dabei von enormer Bedeutung. Da auf die entstandenen und erarbeiteten Daten jederzeit und überall zugegriffen werden kann und diese auch erweiterbar sein müssen, werden hier hohe Ansprüche an das verwendete Datensystem gestellt.¹⁷³

Außerdem muss durch die vielseitige Verwendung einer digitalen Fabrik eine einheitliche Software und eine genormte bzw. durchgängige Daten-

¹⁷⁰ VGL. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 92.

¹⁷¹ VGL. WESTKÄMPER, E. et al.: Digitale Produktion. S. 11.

¹⁷² VLG. a.a.O., S. 11.

¹⁷³ VLG. a.a.O., S. 11.

struktur erstellt und zugrunde gelegt werden. Dies kann bspw. durch eine sog. dynamische Interaktion¹⁷⁴ aller Beteiligten ermöglicht werden.¹⁷⁵

Abbildung 2.29 zeigt schematisch, wie das Modell einer digitalen Produktion aussehen kann.



Abbildung 2.29: Modell der digitalen Produktion¹⁷⁶

Durch die digitale Nachbildung der Produktionsflüsse der Produkte und Gegebenheiten in den Fertigungshallen kann eine rasche Reaktion auf geänderte Marktanforderungen sowie auch Kundenwünsche erfolgen.¹⁷⁷

Im Zusammenhang mit der digitalen Produktion ist auch der Begriff des sog. Building Information Modeling (kurz: BIM) zu nennen. Das Building Information Modeling dient zur digitalen Planung und Dokumentation von Gebäuden und wird in der fachlichen Literatur als Weiterentwicklung aber auch als Revolutionierung der bestehenden CAD-Systeme verstanden und als eine gänzlich neue Art der Gestaltung eines Bauprozesses angesehen. Im Unterschied zur CAD-Planung wird mittels BIM nicht nur die Planungsphase, sondern vielmehr die Umsetzungsphase und der gesamte Objekt-Lebenszyklus betrachtet. Bei der Bearbeitung eines Projektes mittels BIM ist allerdings nicht die digitale Weitergabe des zu realisierenden Projektes ein wesentlicher Aspekt, sondern die Verknüpfung der Gebäudebestandteile mit weiteren Informationen und spezifischen Eigenschaften. Dabei arbeiten alle beteiligten Fachplaner und Unternehmer an nur einem digitalen Modell des Gebäudes. Die Möglichkeit einer gewerkeübergreifenden Bearbeitung des Gebäudemodells ist

¹⁷⁴ Unter dem Begriff der dynamischen Interaktion wird in diesem Zusammenhang die Möglichkeit des Zugriffs aller Beteiligten auf digitale Informationen verstanden, die zur Ausführung der Prozesse benötigt werden. Der Datenzugriff sollte dabei jederzeit und an jedem Ort möglich sein.

¹⁷⁵ VGL. WESTKÄMPER, E. et al.: Digitale Produktion. S. 15.

¹⁷⁶ VGL. a.a.O., S. 16.

¹⁷⁷ VGL. a.a.O., S. 16.

bei dieser Methode grundsätzlich die wesentliche Voraussetzung für eine effiziente Nutzung. Das dabei verwendete Programm sollte anders als die meisten CAD-Systeme nicht nur von einer einzelnen Planungsdisziplin bearbeitet werden können, sondern ein zeitgleiches interdisziplinäres Arbeiten ermöglichen.¹⁷⁸

Durch die Einführung eines BIM-Systems sollte demnach eine bessere Koordination von Planungsleistungen erzielt und Schnittstellen bzw. Kollisionen vermieden werden. Die Gesamtkosten eines Bauprojektes können gemäß Fachliteratur durch die Vermeidung von diversen Datenverlusten während des gesamten Gebäudelebenszyklus um bis zu ca. 3% gesenkt werden. Weiter Ziele von BIM sind:

- Die Verbesserung der Koordination von Planungsaufgaben.
- Die Erhöhung der Produktivität durch die Möglichkeit eines schnelleren Datenzugriffes.
- Die Möglichkeit zur schnelleren Visualisierung von konstruktiven Zusammenhängen.
- Die Vermeidung von Datenverlusten und Mehrfachnutzung von gleichen oder ähnlichen Informationen.

Anhand der Umsetzung dieser Ziele wird eine bessere und effizientere Kommunikation, respektive Informationsweitergabe zwischen den am Bau beschäftigten Personen und dem Unternehmen selbst sichergestellt.¹⁷⁹

Die Ausbreitung der BIM-Technologie verläuft in Mitteleuropa derzeit eher träge, während sich BIM in den skandinavischen Ländern, in England oder in den USA bereits etablieren konnte. Hierzulande wird diese Technologie speziell von der planenden Seite noch nicht wahrgenommen. Dabei versprechen die Ergebnisse einiger bereits umgesetzter Pilotprojekte eine deutliche Reduktion der Planungs- und Ausführungszeit um bis zu 50% mit gleichzeitiger Verringerung der Planungsfehler und Optimierung des Materialverbrauches. Trotzdem hält nach wie vor die Mehrzahl der Architektur- und Ingenieurbüros an den bestehenden Zeichenprogrammen und CAD-Systemen fest.¹⁸⁰

¹⁷⁸ VGL. MAY, M.: CAFM-Handbuch IT im Facility Management erfolgreich einsetzen. S. 237ff.

¹⁷⁹ VGL. a.a.O., S. 83ff.

¹⁸⁰ VGL. KOCH, V.; KINDESVATER, A.: BIM-Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan. Forschungsbericht. S. 1ff.

2.8 Logistik im Holzbau

Neben einer Vielzahl an Definitionen zum Thema Logistik wird an dieser Stelle jene von Reinhardt Jünemann wiedergegeben:

„Logistik ist die wissenschaftliche Lehre von der Planung, Steuerung und Überwachung von Material-, Personal-, Energie-, und Informationsflüssen im System.“¹⁸¹

Verkürzt kann Logistik auch als sog. 4-R-Aufgabe bezeichnet werden:

„Die richtigen Produkte im richtigen Zustand zur richtigen Zeit am richtigen Ort.“¹⁸²

In der Fachliteratur werden diese Begriffe häufig durch weitere Begriffe, wie richtige Menge, richtige Qualität und richtiger Preis ergänzt.¹⁸³

Bis zum Jahre 1945 wurde der Begriff der Logistik ausschließlich im militärischen Zusammenhang verwendet. Die logistischen Planungsteams des amerikanischen Militärs legten im Zweiten Weltkrieg einerseits die Grundlage für das sog. Operations Research¹⁸⁴ als mathematische Planungswissenschaft, als auch die Grundlage der wissenschaftlichen Betrachtung des Themas Logistik.¹⁸⁵

Seit Beginn der 1960er Jahre wird der Begriff auch in der Wirtschaft verwendet, wobei in den 1970er Jahren bereits die Auslastung der Produktion und die Produktionsverfahren in der Industrie im Vordergrund standen. Zunehmend wurde das Rationalisierungspotenzial durch die ganzheitliche Betrachtung des Themas der Beschaffung, der Produktion, der Lagerung und der Distribution erkannt.¹⁸⁶

¹⁸¹ VGL. JÜNEMANN, R.; BEYER, A.: Steuerung von Materialfluss- und Logistiksystemen.

¹⁸² VGL. PFOHL, H. C.: Logistiksysteme.

¹⁸³ VGL. a.a.O.

¹⁸⁴ Unter Operations Research US-engl.: operations research oder GB-engl.: Operational Research, kurz OR, im deutschen gelegentlich auch Unternehmensforschung genannt, wird die Entwicklung und der Einsatz quantitativer Modelle und Methoden zur Entscheidungsunterstützung verstanden. Operations Research ist geprägt durch die Zusammenarbeit von angewandter Mathematik, Wirtschaftswissenschaften und Informatik.

¹⁸⁵ VGL. BAUMGARTEN, H.; WALTER, S.: Stand und Entwicklung der Logistik. In: Logistik-Management, Strategien, Konzepte, Praxisbeispiele. Band 1.

¹⁸⁶ VGL. KRAMPE, H.; LUCKE, H. J.: Einführung in die Logistik. In: Grundlagen der Logistik. S. 15ff.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Definition der Unternehmenslogistik nach Jünemann.

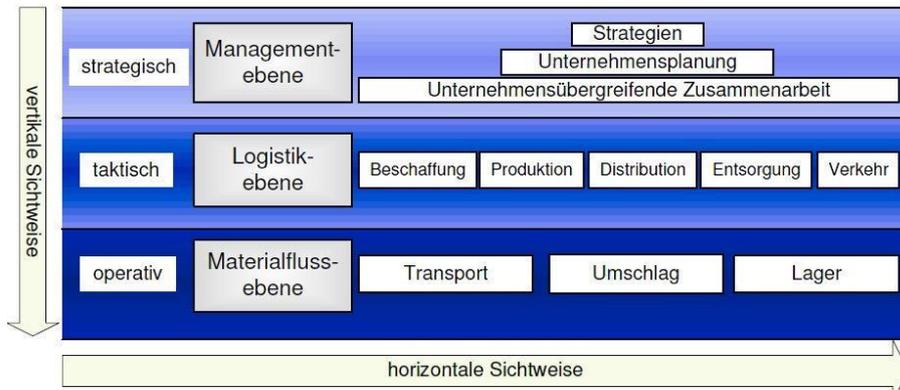


Abbildung 2.30: Ganzheitliche Betrachtung der Logistik nach Jünemann¹⁸⁷

Wie anhand dieser Grafik zu erkennen ist, wird die Unternehmenslogistik in eine horizontale und vertikale Sichtweise unterteilt. Während sich die horizontale Ebene aus den genannten Themen, wie Beschaffung, Produktion, Lagerung, usw. zusammensetzt, bezieht sich die vertikale Gliederung der Unternehmenslogistik auf die drei Ebenen Management, Logistik und Materialfluss. Dabei wird das bereichsorientierte Denken durch ein flussorientiertes Prozessdenken ersetzt.¹⁸⁸

Der moderne Holzbau und die dabei zum Einsatz kommenden Holzbauweisen zeigen, dass sich die Arbeiten des heutigen Holzbaubetriebes im Gegensatz zum klassischen Zimmermann immer mehr von der Baustelle in die Vorfertigung verlagern. Mit den sich verändernden Fertigungsprozessen und eingesetzten Materialien wie auch den höheren technischen Anforderungen und Leistungsumfängen in einem Projekt, ändert sich nicht nur die Rolle des ausführenden Holzbauunternehmens, es kommt auch zu einer zeitlich gesehen nach vorne verlagerten Schnittstelle zwischen Planungs- und Ausführungsphase.¹⁸⁹

In Tabelle 2.1 wird veranschaulicht, welche Fertigungsstationen unterschiedliche Bausysteme nach dem aktuellen Stand der Technik durchlaufen müssen, bis sie möglichst auf der Baustelle eingebaut werden können. Damit dies reibungslos passieren kann, muss ein besonderes Augenmerk auf eine funktionierende Logistik gelegt werden.

¹⁸⁷ VGL. JÜNEMANN, R.; BEYER, A.: Steuerung von Materialfluss- und Logistiksystemen.

¹⁸⁸ VGL. a.a.O.

¹⁸⁹ VGL. SCHÖBER, P.: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise. In: Zuschnitt 50-Konfektionen in Holz, 50/2013. S. 12ff.

| Systeme | Skelettbau / trad. Holzbau | Holzrahmenbau | Holzmassivbau (BSP) |
|------------------------------------|---|--|--|
| Im Produktionswerk/ Im Sägewerk | Herstellen der Balken, Bretter, Platten | Herstellen der Balken, Platten | Herstellen und Konfektionieren der Platten |
| Beim Holzbauunternehmen | Abbinden der Balken | Abbinden der Balken, Zuschneiden der Platten, Zusammenbau zu Elementen | |
| Auf der Baustelle | Zusammenbau der Einzelteile | Montage der Elemente | Zusammenbau der Platten |

Tabelle 2.1: Fertigungsschritte von Holzbausystemen¹⁹⁰

Im modernen Holzbau wird zwar durch den gezielt hohen Vorfertigungsgrad die Planungszeit erhöht, die Montagezeit auf der Baustelle mit den direkt beeinflussbaren Kosten kann jedoch um ein Vielfaches reduziert werden. Neben der Produktionsplanung muss auch die Planung des Transportmittels, des Transportweges und der Hebewerkzeuge auf der Baustelle im Vorfeld exakt abgeklärt werden. Oftmals sind die Montageorte nur über schwierige, teils enge Straßen sowie beschränkte Zufahrtswege erreichbar. Anhand dieser Umstände wird in vielen Fällen die maximale Bauteilabmessung vorgegeben, was wiederum eine genaue Abstimmung zwischen Produktionsplanung und Transportlogistik voraussetzt. Durch lange Transportwege oder das Ansuchen um Sondergenehmigungen kann der Logistikaufwand im Holzbau mit hohem Vorfertigungsgrad umfangreich werden, was wiederum zu hohen Kosten führt und die Frage der Wirtschaftlichkeit in den Vordergrund rücken kann.¹⁹¹

¹⁹⁰ VGL. SCHOBER, P.: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich – Holzskelett- und Holzmassivbauweise. In: Zuschnitt 50-Konfektionen in Holz, 50/2013. S. 13.

¹⁹¹ VGL. a.a.O. 12ff.

2.9 Produktion und Vorfertigung im Holzbau

Einer der Ursprünge der Vorfertigung liegt in der Erzeugung von Stahlteilen im Zuge der industriellen Revolution im 19. Jhd. In dieser Zeit wurden u.a. die ersten vorgefertigten Bausysteme im Bereich des Stahlskelettbbaus entwickelt. Die Herstellung von standardisierten Bauprodukten wird durch die Vorfertigung von Bauelementen unter Einhaltung industrieller Standards, wie Normen und Zulassungen ermöglicht. Um ein vorgefertigtes Bauelement herzustellen, werden unterschiedliche Rohstoffe verarbeitet und in einem vorher festgelegten Schema kombiniert. Der entscheidende Vorteil gegenüber der konventionellen Herstellung vor Ort liegt hauptsächlich in der witterungsunabhängigen Herstellung von Bauelementen. Die gleichbleibenden Bedingungen in den Produktionshallen ermöglichen eine bessere Kontrolle, eine erhöhte Arbeitsplatzqualität und die Erreichung eines hohen Qualitätsstandards, der jedem produzierten Element eindeutig zugeordnet werden kann. Im Vergleich zur Errichtung vor Ort entstehen bei der Vorfertigung von Bauelementen jedoch höhere Kosten in der Produktion. Unter optimalen Bedingungen, d.h. Verkürzung der Bauzeit durch einen erhöhten Vorfertigungsgrad, kann in Summe gesehen ein entscheidender Kostenvorteil entstehen. Dies sollte bestenfalls bereits bei der Planung berücksichtigt werden. Eine weitere Komponente in Bezug auf den Einsatz von vorgefertigten Elementen ist die Auswahl des Produktionsstandortes. Da sich dieser meist nicht zwingend in der direkten Umgebung einer Baustelle befindet, müssen die hergestellten, meist größeren Bauteile über weitere Entfernungen transportiert werden. Da die Elementgrößen durch den Transport jedoch eingeschränkt sind bzw. durch die Verwendung von Sondertransporten erhöhte Kosten entstehen, kann es dadurch zur Ablehnung von vorgefertigten Bauteilen kommen. Aus diesem Grund werden mancherorts mobile Produktionsstätten als Alternative angedacht.¹⁹²

Durch die Entwicklung neuer plattenförmiger Holzwerkstoffe werden u.a. auch neue Anwendungsbereiche für den Holzbau erschlossen, die bis vor wenigen Jahren ausschließlich dem Stahl- bzw. Stahlbetonbau zugeordnet wurden. Durch diese technischen Möglichkeiten der Herstellung und Verarbeitung, aber auch durch die angepassten Vorschriften an die Konstruktion und Bauphysik, erscheint der Holzbau heutzutage in einem anderen Bild als noch vor einigen Jahren.¹⁹³

Obwohl vor allem bei kleineren Bauvorhaben bis dato ein eher handwerklich dominierter Produktionsprozess zum Einsatz kommt, werden großvolumige Projekte heutzutage immer häufiger aus vorgefertigten

¹⁹² VGL. STAIB, G.; DÖRRHÖFER, A.; ROSENTHAL, M.: Elemente und Systeme: Modulares Bauen: Entwurf, Konstruktion, neue Technologien. Edition Detail 1.

¹⁹³ VGL. MAYERHOFER, S.: Holzbauweisen im verdichteten Wohnungsbau. In: Detail, Zeitschrift für Architektur & Bauteil; Bauen mit Holz, 10/2012. S. 1088.

Elementen hergestellt. Der Vorfertigungsgrad reicht dabei von elementierten 2D-Wand- und Deckeneinheiten, welche vor Ort zusammgebaut und finalisiert werden, bis hin zu schlüsselfertigen 3D-Raumzellen.¹⁹⁴

Gleichzeitig lassen eine konstante Optimierung in technischer Hinsicht sowie die Weiterentwicklung der Werkzeuge zur planerischen Vielfalt und Formgebungsmöglichkeiten immer komplexer werdende Raumstrukturen zu. Die Koppelung von Entwurfs- und Fertigungstechnologien ermöglicht zudem die Realisierung von geometrisch komplexeren Strukturen aus Holz, die in traditioneller Bauweise kaum durchführbar wären. Die Steuerung der Abbundanlagen mittels Computercodes ermöglicht außerdem eine halb- bis vollautomatisierte Produktion von individuell gestaltbaren Holzbauteilen und lässt somit eine industrielle Produktion der Details ohne Zwang zur Serie zu. Eine möglichst rasche Fertigung von Bauteilen ohne Unterbrechungen und Zeitverluste wird mit Hilfe eines durchgängigen Informationsflusses von parametrisierbaren Entwurfprogrammen bis hin zu den Steuerungsprogrammen der Produktionsmaschinen ermöglicht.¹⁹⁵

2.9.1 Begriffsdefinitionen

Die angeführten Begrifflichkeiten sind grundsätzlich sowohl in der stationären Industrie, als auch in der Bauwirtschaft gebräuchlich. Der Vollständigkeit halber sei angemerkt, dass selbst die beiden Begriffe Produktion und Fertigung teils unterschiedliche Bedeutungen aufweisen.

In der Fachliteratur wird unter dem Begriff der Produktion bspw. ein „*effizientes Zusammenwirken von Gütern und Dienstleistungen in einem Prozess zur Erstellung einer bestimmten Menge von Gütern*“¹⁹⁶ beschrieben. Das Prinzip einer Produktion beruht dabei auf einer stetigen Wiederholung von Tätigkeiten mit dem Ziel, die so produzierten Artikel zu verkaufen oder innerbetrieblich weiter zu verwenden. Obwohl sich die Produktion meist auf Sachgüter bezieht, ist sie offenkundig untrennbar mit der Entwicklung von begleitenden Dienstleistungen verbunden. Besonders durch die Entstehung neuer Kommunikationstechnologien kommt diesem Verhältnis von industrieller Produktion und komplementären Hilfsleistungen eine große Bedeutung zu. Der Begriff der Fertigung wird in der einschlägigen Literatur zum Thema Produktion hingegen als jener Teilbereich der Gesamtproduktion angesehen, der sich ausschließ-

¹⁹⁴ VGL. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung-Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur & Baudetail, Vorfertigung, 6/2012. S. 588.

¹⁹⁵ VGL. HERMANN KAUFMANN, W. N.: Bauen mit Holz, Wege in die Zukunft. S. 58ff.

¹⁹⁶ VGL. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 8.

lich auf die Erzeugung von Sachgütern, nicht aber auf die Erstellung von Dienstleistungen bezieht.¹⁹⁷

▪ Vorfertigung

Der Begriff der Vorfertigung wird heutzutage meist pauschal für das Fertigen in Serie bzw. für elementiertes, modulares Bauen verwendet. In Anlehnung an die Literatur wird unter diesem Ausdruck aber strenggenommen nur das Fertigen einzelner Elemente an einem wettergeschützten Ort verstanden. Dabei ist im Vorfeld irrelevant, ob die Vorfertigung maschinell oder manuell durchgeführt wird. Auch der Grad der Vorfertigung ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht näher definiert.^{198,199}

Hingegen wird das Bauen mit standardisierten oder individualisierbaren Komponenten eher mit dem Begriff der Modularisierung bezeichnet. Die Elemente bzw. Module sind dabei zumeist austauschbar und weisen einen erheblich höheren Grad der Vormontage als bei der herkömmlichen Vorfertigung im Holzbau auf.²⁰⁰

Zu den wesentlichen Eigenschaften einer Modularisierung zählen die Eigenständigkeit der einzelnen Elemente sowie deren Kompatibilität untereinander. Je geringer die Anzahl der sich unterscheidenden Module, desto geringer fallen in Summe die Fertigungskosten aus.²⁰¹

Anders als die allgemeine Modularisierung beschreibt das serielle Bauen oder das Bauen im System eine typische Homogenisierung der jeweiligen Grundkomponenten. Bereits zum Ende der 1960er Jahre wurden die verarbeiteten Bauteile mancherorts standardisiert und in hohen Stückzahlen produziert, um auf diese Weise einen wirtschaftlichen Vorteil zu erzielen. Durch eine Vereinheitlichung der Elemente ist es aber so gut wie unmöglich, individuell angepasste Bauvorhaben zu verwirklichen. Bei vielen Architekten und Bauherren herrscht daher durch diese Form der Vorfertigung und die daraus entstehenden baulichen Konsequenzen in Form von monoton wirkenden Bauten, bis heute ein enormer Vorbehalt zu diesem Thema vor.^{202,203}

Trotz dieser Bedenken und unabhängig von der Art des Bauvorhabens bzw. eingesetzten Bausystems, werden mittlerweile rund 50 bis 60%

¹⁹⁷ VGL. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 8.

¹⁹⁸ VGL. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologie. S. 40.

¹⁹⁹ VGL. SCHNITTICH, C.: Editorial. In: Detail Zeitschrift für Architektur & Baudetail; Vorfertigung, 6/2012. S. 589.

²⁰⁰ VGL. MARTIN LENNARTSSON, A. B.: Step by Step Modularity – A Roadmap for Building Service Development. In: Development Lean Construction Journal, 2010. S. 21.

²⁰¹ VGL. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 197.

²⁰² VGL. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologie. S. 5., S. 42.

²⁰³ VGL. HERMANN KAUFMANN, W. N.: Bauen mit Holz, Wege in die Zukunft. S. 57.

aller Gebäudekomponenten im Werk erstellt, also sozusagen vorgefertigt.²⁰⁴

Den Vorteilen einer Produktion im Werk, wie bspw. die Sicherstellung einer konstanten Bauteilqualität, die erhöhte Arbeitsplatzqualität, die Verkürzung der Bauzeit vor Ort sowie die Reduktion der allgemeinen Baustellengemeinkosten, stehen jedoch höheren Anforderungen an die Logistik und dem allgemeinen Planungsaufwand gegenüber. Besonders die zusätzlichen Kosten für den Transport und die Anforderung an stärkere Hebezeuge aufgrund des höheren Eigengewichtes bereits kombinierter Materialien müssen in der Kalkulation gesondert berücksichtigt werden.²⁰⁵

Wie zu Beginn des Kapitels 2.9 erwähnt, kommen bei einigen Großprojekten bereits vereinzelt mobile Produktionsstätten zum Einsatz, um die hohen Transportkosten zu reduzieren. Derartige Produktionsstätten werden auch in Form von temporären Werkshallen in unmittelbarer Baustellennähe errichtet.²⁰⁶

▪ Industrielles Bauen

Die Produktionsmöglichkeiten der stationären Industrie wie auch der Bauindustrie haben sich mit dem Beginn der Industrialisierung im 19. Jhd. erheblich geändert. In dieser Zeit wurden vor allem durch die neuen technischen Möglichkeiten die seriellen Bausysteme entscheidend weiterentwickelt. Der Begriff des industriellen Bauens bzw. der industriellen Vorfertigung bezeichnet dabei die Produktion von Bauteilen mit industriellen Methoden.²⁰⁷

Die Rationalisierung von Arbeitsprozessen mit dem Ziel eine höhere Kosteneffizienz und Qualität zu erreichen, steht dabei im Mittelpunkt. So sollten bspw. manuelle Arbeiten mit immer wiederkehrenden Abläufen durch automatisierte Prozesse ersetzt werden.²⁰⁸

Obwohl sich die Möglichkeiten der Vorfertigung in den letzten Jahrzehnten neuerlich deutlich erweitert haben, sind die Voraussetzungen zur Industrialisierung im Bauwesen gleich geblieben. Eine industrielle Produktion kann durch eine prozessorientierte Arbeitsvorbereitung und/oder Automatisierung der Geräte relativ rasch umgesetzt werden. Neben der Standardisierung und der Rationalisierung reichen die Merkmale des industriellen Bauens bis hin zur eigentlichen Flexibilisierung der Ergeb-

²⁰⁴ VGL. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologie. S. 5., S. 40.

²⁰⁵ VGL. WOLFGANG WINTER, H.S.: Holzbauweisen im verdichteten Wohnungsbau. S. 21.

²⁰⁶ VGL. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologie. S. 5., S. 41.

²⁰⁷ VGL. a.a.O., S. 5., S. 40.

²⁰⁸ VGL. C. T.: New Perspective in Industrialization in Construction – A State of the Art Report. S. 31.

nisse des Outputs. Die Umsetzung dieser Leitgedanken setzt jedoch eine starke interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Planern, Produzierenden und Ausführenden voraus. Zudem müssen für eine erfolgreiche Implementierung die Prozesse der Arbeitsvorbereitung standardisiert und die Prozesse auf der Baustelle stark rationalisiert werden.²⁰⁹

Dies kann entweder durch das Bauen mit Elementen, welche einen sehr hohen Vorfertigungsgrad aufweisen, oder durch die Automatisierung der Baustellenproduktion erreicht werden. In Japan gibt es bereits seit einigen Jahren Fertigungsanlagen, mit denen Hochhäuser anhand von vollautomatischen Montagesystemen errichtet werden können. Diese Systeme bestehen meist aus hydraulisch verschiebbaren Arbeitsplattformen, auf denen computergesteuerte Krane und Bauroboter installiert sind. Durch das automatische Versetzen und Montieren der vorgefertigten Bauelemente resultiert ein rascher Bauablauf innerhalb der Produktion. Eine besondere Anforderung wird dabei allerdings an die Logistik und Koordination der anzuliefernden Bauteile gestellt.²¹⁰

▪ **Kundenindividuelle Massenproduktion und Modern Manufacturing**

In den Betriebsstrukturen moderner industrieller Produktionsstätten ermöglicht die Integration neuer Kommunikations- und Informationstechnologien (kurz: KIT) die Verbindung bislang entgegengesetzt wirkender Prinzipien der Massenproduktion und der kundenindividuellen Fertigung. Die Begriffe kundenindividuelle Massenproduktion und Modern Manufacturing beschreiben dabei weiterentwickelte Fertigungsmethoden, durch die eine Massenproduktion von individuell gestalteten Gütern auf einem ähnlichen Kostenniveau, wie jene einer Fließbandfertigung ermöglicht wird.²¹¹

Diese beiden Bezeichnungen werden in der betriebswirtschaftlichen Fachliteratur meist als neue Evolutionsstufe der Fabrikation angesehen. Nach der ursprünglich eher handwerklich dominierten Produktion und der darauffolgenden seriellen Fertigung im industriellen Zeitalter, lässt eine flexible Herstellung einer kundenindividuellen Massenfertigung von heute eine rasche Reaktion auf Kundenwünsche mit einer einhergehenden Individualisierung zu. Dadurch kann erstmals auch auf die immer komplexer werdenden Nachfrage- und Wettbewerbsbedingungen des Marktes eingegangen werden.²¹²

²⁰⁹ VGL. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 529ff.

²¹⁰ VGL. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologie. S. 5., S. 41.

²¹¹ VGL. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 4.

²¹² VGL. a.a.O., S. 4., S. 152ff.

Auch die Komplexität und Dynamik in der Unternehmenswelt von heute wird durch die Weiterentwicklung der Informationstechnologie erheblich gesteigert. Durch eine größere Anzahl an Mitbewerbern und die meist große Innovationsdynamik wird der Druck am Markt nochmals vergrößert. Durch eine verbesserte Informationsbeschaffung und -verteilung kann dieser Druck jedoch gewissermaßen gesenkt werden.²¹³

2.9.2 Kriterien des industriellen Bauens im Holzbau

Beim industriellen Bauen werden großteils industrielle Arbeitsweisen aus der stationären Industrie auf die dezentrale Bauproduktion übertragen. Wie bereits erwähnt, ist dabei die Rationalisierung der einzelnen Arbeitsabläufe zur Effizienzsteigerung und gleichzeitigen Kostenreduktion ein wesentliches Merkmal und auch Voraussetzung für die Anwendung des industriellen Bauens. Gleichzeitig sollte eine höhere Produktivität bei gleichbleibend hoher Qualität gesichert werden.²¹⁴

In der Bauwirtschaft erfolgt die Umsetzung der Industrialisierung entweder durch eine prozessorientierte Arbeitsvorbereitung oder durch eine Automatisierung der Maschinen zur Vorfertigung von Bauelementen. Der alleinige Wechsel von manueller zu maschineller Vorfertigung bedeutet jedoch noch lange keine erfolgreiche Industrialisierung im Bauwesen. Erst durch eine kontinuierliche Überarbeitung aller erforderlichen Arbeitsprozesse zur Herstellung eines Produktes lassen sich die unterschiedlichen Leitgedanken der Vorfertigung und Industrialisierung innerhalb eines Unternehmens umsetzen. Die Standardisierung einzelner Arbeitsschritte und Produkte, die Systematisierung der Ablaufplanung sowie die Ermöglichung von Flexibilität in der Produktion bei gleichzeitiger Produktvielfalt zählen zu den wesentlichsten Merkmalen und Kriterien.²¹⁵

Ein weiteres Kriterium des industriellen Bauens ist die Spezialisierung auf bestimmte Marktnischen einerseits, aber auch die enge Kooperation von Technikern und Ausführenden andererseits. Laut Ansicht zahlreicher Experten in diesem Bereich sollte zusätzlich ein Marketingunternehmen zur Unterstützung des Vertriebes für eine erfolgreiche Umsetzung engagiert werden.²¹⁶

Die Managementansätze der industriellen Vorfertigung zielen meist unabhängig von der angebotenen Leistung auf eine Kostenführerschaft

²¹³ VGL. PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. S. 53ff.

²¹⁴ VGL. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 529.

²¹⁵ VGL. a.a.O., S. 529.

²¹⁶ VGL. a.a.O., S. 530.

oder Nischenstrategie am Markt ab. Gemäß Gabler Wirtschaftslexikon²¹⁷ ist die Kostenführerschaft als Wettbewerbsstrategie zu verstehen, welche die Ermöglichung der billigsten Kostenstruktur einer Branche verfolgt. Die Nischenstrategie hingegen konzentriert sich auf die Produktion von eingegrenzten Marktsegmenten, bei denen kaum mit Konkurrenz zu rechnen ist.²¹⁸

Nachfolgend sind einige Denkansätze aufgelistet, um die Strategien des industriellen Bauens zu verwirklichen:

- In Anlehnung an das System von Lean Construction²¹⁹ sollen nicht wertschöpfende Tätigkeiten innerhalb des Produktionsprozesses durch bestimmte Kontrollinstrumente reduziert werden. Die größten Potentiale dieses Ansatzes liegen lt. Fachliteratur in der Optimierung des Produktionsflusses und der Logistik.
- Zur Steigerung der Kosteneffizienz ist eine enge Zusammenarbeit zwischen den Planern und den eigentlichen Produktionsunternehmen wünschenswert. Werden die standardisierten Elemente und Detailanschlüsse bereits in der Planung berücksichtigt, könnten die Entwurfspläne mehr oder weniger direkt auf die Fertigungsanlage übertragen werden.
- Der Einsatz von vollautomatischen Fertigungsanlagen wird durch eine detaillierte Strukturierung der Arbeitsabläufe sowohl in der sog. On-Site²²⁰, als auch in der sog. Off-Site-Produktion²²¹ erleichtert. Lohnintensive Arbeiten auf der Baustelle können dadurch um ein Vielfaches reduziert werden.²²²

2.9.3 Sinnhaftigkeit der industriellen Vorfertigung

Obwohl die Sinnhaftigkeit industrieller Bauprodukte und die damit zusammenhängende Vorfertigung immer wieder in Frage gestellt werden, sehen Experten gerade im Wohnbau bei wiederkehrender Geometrie bzw. starker Ähnlichkeit der Elemente ein großes Potential im Bauwesen. Zur erfolgreichen Integration des industriellen Bauens in einem re-

²¹⁷ <http://wirtschaftslexikon.gabler.de>, am 01.09.2015 um 21:34 Uhr

²¹⁸ <http://wirtschaftslexikon.gabler.de>, am 01.09.2015 um 21:39 Uhr

²¹⁹ Unter Lean Construction versteht man einen integralen Ansatz für die Gestaltung und Ausführung von Bauprojekten. Dabei betrachtet Lean Construction den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks von der Planung über Bauausführung und Nutzung bis zu Umwidmung und Rückbau.

²²⁰ Unter On-Site-Produktion versteht man die Produktion bzw. Fertigung von Bauteilen unmittelbar am Einbauort.

²²¹ Unter Off-Site-Produktion versteht man die Produktion bzw. Fertigung von Bauteilen nicht unmittelbar am Einbauort, d.h. in einem stationären Herstellwerk.

²²² VGL. GIRMSCHIED, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. S. 530.

gulären Bauablauf muss aber eine grundlegende Umgestaltung der Bauwirtschaft erfolgen.²²³

Das Potential industrieller Automatisierung von Holzkonstruktionen zeigt eine im Jahr 2005 durchgeführte Studie²²⁴. In dieser Studie wurden einzelne Prozessschritte innerhalb der Fertigung anhand der Eigenschaften der eingesetzten Holzwerkstoffe analysiert und hinsichtlich eines technisch sinnvollen Automatisierungsgrades bewertet. Aus dem Ergebnis dieser Studie geht hervor, dass sich lediglich rund 17% aller Tätigkeiten eines Bauvorhabens im Holzbau nicht zur automatisierten Vorfertigung eignen. Darunter fallen bspw. das Einlegen der Elektroleitungen, das Befestigen der Gurtschlaufen oder das Einbringen von Dampfbremsen in die Konstruktion. Aufgrund der geringen Biegefestigkeit ist das Spannen und Befestigen dieses Materials kaum zur maschinellen Vorfertigung geeignet.²²⁵

Des Weiteren wird in der Studie unterstrichen, dass die Höhe des Automatisierungsgrades zugleich einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Gesamtkosten eines Bauwerkes ausübt. In dieser Studie wurden neben der vergleichenden Betrachtung unterschiedlicher Fertigungskonzepte mit einem variablen Automatisierungsgrad, auch die Einflüsse des Planungsprozesses auf die Baukosten dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass sich die Art der Planungsabwicklung direkt auf die Länge der Produktions- und somit Durchlaufzeit eines Produktes auswirkt. Es wurde u.a. festgestellt, dass bei der Herstellung eines Einfamilienhauses durch eine optimierte Planung in Summe eine große Zeitersparnis erreicht werden kann.²²⁶

Das Ausmaß des Einsparungspotentials, das durch die Erhöhung des Automatisierungsgrades erreicht werden kann, ist in der nachfolgenden Grafik anhand mehrerer Varianten dargestellt.

²²³ VGL. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung-Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur und Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. 588.

²²⁴ VGL. KESSEL, M. et al.: Innovativer Holzsystembau durch optimierte Fertigungs- und integrierte Planungsmethoden. Endbericht. S. 1ff.

²²⁵ VGL. a.a.O., S. 20.

²²⁶ VGL. a.a.O., S. 29.

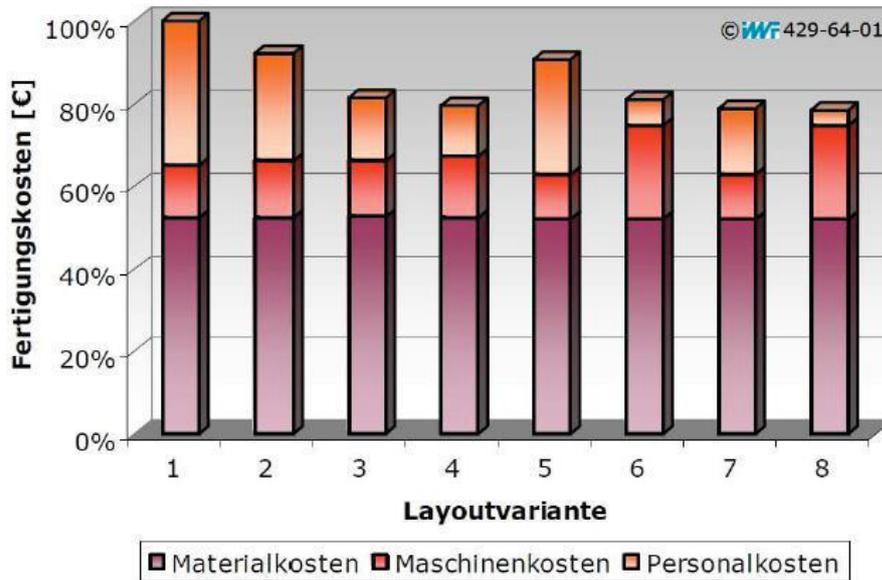


Abbildung 2.31: Fertigungskosten und Kostenstruktur in Abhängigkeit vom Automatisierungsgrad²²⁷

Die einzelnen hier aufgezeigten Produktionsvarianten beziehen sich dabei auf unterschiedliche Fertigungsabläufe.

Variante 1 zeigt die Zusammensetzung der Fertigungskosten durch hauptsächlich manuelle Montagevorgänge mit einer klaren Arbeitstrennung zwischen Planung und Fertigung, was den aktuellen Stand der Technik im Holzbau entspricht. Dieses System wird für die nachfolgenden Varianten als Basisbezug angesehen.

Produktionsvariante 2 ist ebenfalls durch manuelle Montageabläufe gekennzeichnet, die Aufträge zwischen Planung und Fertigung sind hier allerdings miteinander verbunden. Aufgrund dieser engen Zusammenarbeit zwischen Planung und Montage, kann der Faktor der Personalkosten um etwa 10% gesenkt werden.

Bei Variante 3 wird eine automatisierte Fertigung starrer Bauteile, wie bspw. Brettsperrholzplatten bei einer klaren Auftragstrennung vorgesehen. Durch diese Art der Automatisierung können die Personalkosten gegenüber der Fertigungsvariante 1 um knapp die Hälfte reduziert werden.

Fertigungsvariante 4 sieht ebenfalls eine automatisierte Produktion starrer Bauteile vor. Im Gegensatz zu Variante 3 wird hier aber eine Verbindung zwischen Planung und Fertigung hergestellt, wodurch der Faktor der Personalkosten weiter reduziert wird.

²²⁷ VGL. KESSEL, M. et al.: Innovativer Holzsystembau durch optimierte Fertigungs- und integrierte Planungsmethoden. Endbericht, S. 31.

Bei Variante 5 wird eine Durchlauffertigung mit manuellen Montagevorgängen vorgesehen. Durch den hohen Grad der manuellen Montagevorgänge kann zwar der Faktor der Maschinenkosten erheblich gesenkt werden, gleichzeitig werden jedoch die Personalkosten deutlich erhöht.

Bei einer vollautomatisierten Durchlauffertigung, wie im Falle von Variante 6, erhöht sich im Gegensatz zur Variante 5 der Anteil der Maschinenkosten um fast das Doppelte. Durch den hohen Grad der Automatisierung verringert sich jedoch der Anteil der Personalkosten nochmals erheblich.

Bei Variante 7 können zwar die Maschinenkosten durch den Einsatz manueller Montagevorgänge gesenkt werden, wodurch aber wiederum eine deutliche Erhöhung der anfallenden Personalkosten verursacht wird.

Bei der Fertigungsvariante 8 wird das Potential einer vollautomatisierten Durchlauffertigung im Zwei-Schichtbetrieb dargestellt. Trotz einer deutlichen Senkung der Personalkosten fallen laut Experten in Summe deutlich höhere Maschinenkosten an.²²⁸

Anhand dieser Ergebnisse ist zu erkennen, dass eine Automatisierung in der Vorfertigung durchaus Vorteile mit einigen wenigen Nachteilen sich bringen kann. Es stellt sich jedoch für jeden Betrieb die Frage bis zu welchem Grad eine werksseitige Vorfertigung im Endeffekt baubetrieblich und bauwirtschaftlich sinnvoll erscheint.

An dieser Stelle seien nun einige Vor- und Nachteile zur Vorfertigung im Werk genannt, welche sich in der Literatur zwar auf die Herstellung von Betonbauteilen beziehen, aber auch für den Holzbau herangezogen werden können.²²⁹

Qualitätsverbesserung

- + Bessere Arbeitsbedingungen mit höherer Arbeitsleistung.
- + Witterungsunabhängige Fertigung.
- + Möglichkeit variabler Oberflächengestaltung (Einfärben, usw.).
- + Realisierung eines effizienteren Qualitätsmanagements mit einer standardisierten und prozessorientierten Qualitätskontrolle.

Verringerung der Herstellkosten

- + Verringerung der nicht wertschöpfenden Arbeitszeit durch repetitive und logistikunterstützende Herstellprozesse im Werk.

²²⁸ VGL. KESSEL, M. et al.: Innovativer Holzsystembau durch optimierte Fertigungs- und integrierte Planungsmethoden. Endbericht. S. 31.

²²⁹ VGL. GIRMSCHIED, G.: Industrielles Bauen. S.25.

- + Verminderung der Arbeitsstunden durch erhöhte Effizienz in der Vorfertigung.
- + Materialersparnis: keine witterungs- und ordnungsbedingten Verluste.
- + Indirekte Preisvorteile: Einhaltung der kalkulierten Kosten durch Festpreise.
- + Geringe Finanzierungskosten durch Verkürzung der Bauzeit.
- + Frühzeitigere Nutzungserträge bei Vermietung/Verkauf.

Verkürzung der Bauzeit

- + Weitestgehend witterungsunabhängige Produktion und Montage, die auch bei Schlechtwetter erfolgen kann.
- + Gleichzeitige Produktion von Wand- und Deckenelementen im Werk bei parallel laufender Fundamentherstellung.
- + Keine aufwändige Baustelleneinrichtung.
- + Rohbau bereits trocken und sofort belastbar.
- + Verkürzte Planungszeit und Vorbereitungsarbeiten bei möglichem Rückgriff auf typisierte Element- bzw. Modulformate.
- + Möglichkeit der Zwischenlagerung und Lieferung bei Abruf (Just-in-time).

Als Nachteile der Werksfertigung können hingegen folgende Punkte aufgelistet werden.²³⁰

- Höhere Transportkosten bei großen Bauteilen bzw. Einschränkung des Auslieferungsradius.
- Montage benötigt leistungsfähigere Mobilkrane mit großem Platzbedarf, erhöhter Standsicherheit und höheren Kosten.
- Hoher Fixkostenanteil durch hohe Mechanisierung in der Produktion.
- Bei Einzellösungen höherer Planungsaufwand.

2.9.4 Unterschiedliche Systeme der Vorfertigung im Holzbau

Die Systeme der Vorfertigung im Holzbau werden in sog. geschlossene und sog. offene Bausysteme eingeteilt. Diese können wiederum in sog. Halbzeuge bzw. Halbfertigteile bis hin zu sog. schlüsselfertigen Modu-

²³⁰ VGL. GIRMSCHIED, G.: Industrielles Bauen. S.26.

leinheiten untergliedert werden. In Abbildung 2.32 ist die Einteilung dieser Bausysteme schematisch dargestellt.²³¹

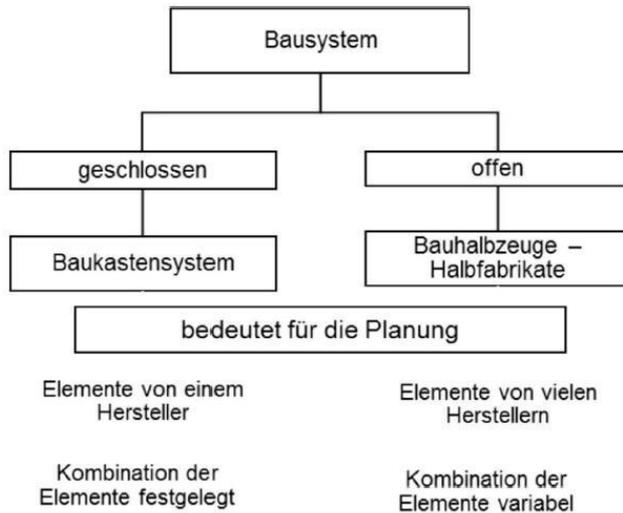


Abbildung 2.32: Arten von Bausystemen²³²

Im Falle geschlossener Systeme werden sämtliche Elemente und Bauteile von einem einzigen Hersteller produziert. Die Elemente werden dabei präzise aufeinander abgestimmt und können nicht ausgewechselt werden. Bei geschlossenen Systemen bleibt die Gestaltungsfreiheit einzelner Elemente durch diese meist strenge Festlegung der Bauelemente eher gering.²³³

Das Bauen mit offenen Systemen bietet im Gegenzug dazu die Möglichkeit, mehrere Produkte verschiedener Hersteller miteinander zu verbinden. Der Vorteil hierbei ist, dass die Systeme nicht zwingend einem einzigen Gebäude zuordenbar sind, sondern beliebig kombiniert und damit leichter eingesetzt werden können. Die Herausforderung liegt dabei in einer klaren Maßkoordination und Zuordnung der vorgefertigten Elemente.²³⁴

Aus diesem Grund sollte die Lage der Elemente bereits durch ein im Vorhinein bestimmtes Raster eindeutig definiert werden. Dieser Raster wird aus einzelnen Maßlinien gebildet und stellt oftmals ein dreidimensionales Netz aus rechteckigen oder quadratischen Grundformen dar. Durch die auf diese Weise entwickelte Rasterung wird nicht nur die Grundlage eines Entwurfes, sondern auch die Basis für die spätere Herstellung und Montage auf der Baustelle gebildet.²³⁵

²³¹ VGL. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 42.

²³² VGL. a.a.O., S. 43.

²³³ VGL. a.a.O., S. 44.

²³⁴ VGL. a.a.O., S. 43.

²³⁵ VGL. a.a.O., S. 43.

Unabhängig davon, ob eine Elemente- oder gar Modulbauweise umgesetzt wird, können verschiedene Arten der Rasterung miteinander kombiniert werden. Das geometrische Grundprinzip der Maßlinien darf hierbei jedoch nicht gestört werden. Durch die Führung der Maßlinien entsteht eine Grundordnung, die einen wesentlichen Bezugspunkt sowie die Gesamtkoordination einer Gestaltung bildet.²³⁶

Prinzipiell wird dabei zwischen einem sog. Achs- oder einem sog. Bandraster unterschieden.

Abbildung 2.33 zeigt eine schematische Darstellung eines in der Praxis häufig verwendeten Achsrasters. Da jedoch bei diesem Raster die Bauteilstärke nicht abgebildet wird, entstehen in der Darstellung von Überschneidungspunkten häufig Fehler. Um diese Fehler zu vermeiden, müssen bei den Verbindungspunkten einzelne Sonderelemente konstruiert werden, welche nur die halbe Bauteilstärke aufweisen.²³⁷

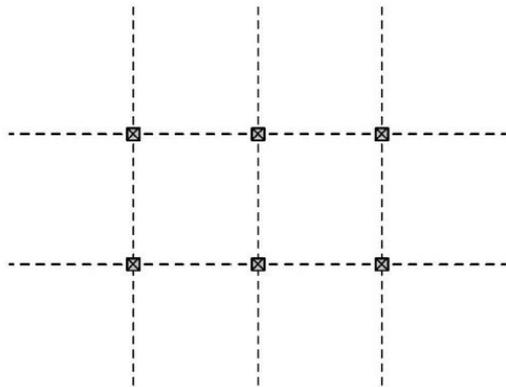


Abbildung 2.33: Achsraster²³⁸

Im Unterschied dazu wird beim Bandraster die Lage der Elemente in ihrer tatsächlichen Dimension eindeutig dargestellt. Das Rastermaß wird meist mithilfe der lichten Abstände zwischen den unterschiedlichen Tragstrukturen bestimmt. In der nachfolgenden Abbildung ist die Darstellung eines Bandrasters enthalten.

²³⁶ VGL. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 44.

²³⁷ VGL. a.a.O., S. 44ff.

²³⁸ VGL. LEITNER, S.; ARMBRUSTER, C.; BÖHM, A.: Bauen mit Holz in Österreich. S. 10.

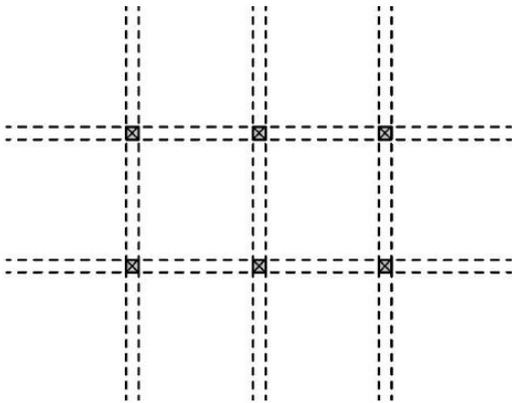


Abbildung 2.34: Bandraster²³⁹

Neben den hier beschriebenen Rasterarten gibt es noch den Konstruktionsraster, der die Lage aller tragenden Bauteile festlegt. Zudem wird mit dem sog. Ausbauraster die Lage der raumabschließenden Elemente eindeutig bestimmt. Mit sog. Installationsrastern kann u.a. die Lage des technischen Aufbaus präzise bestimmt werden. Diese Rasterart kommt aber meist bei komplexen Bauvorhaben zum Einsatz.²⁴⁰

Rasterabstände werden anhand von statischen und wirtschaftlichen Überlegungen, aber auch bezüglich der maximal zulässigen Transportabmessungen festgelegt. Eine Vergrößerung des Achsabstandes verursacht zwar in erster Linie einen erhöhten Materialverbrauch, senkt aber zugleich die Anzahl der ingenieurmäßigen Knoten und trägt somit zur Senkung der Bauwerkskosten bei.²⁴¹

Speziell im Holzrahmenbau richtet sich das Rastermaß meist nach den Abmessungen der eingesetzten Beplankungselemente, um möglichst wenig Verschnitt zu erzeugen.²⁴²

In der nachfolgenden Abbildung sind einige gängige Materialien von Beplankungstafeln im Holzrahmenbau inkl. deren Abmessungen aufgelistet. Die Achsrasterung wird grundsätzlich von den Abmessungen dieser Materialien bestimmt.

²³⁹ VGL. LEITNER, S.; ARMBRUSTER, C.; BÖHM, A.: Bauen mit Holz in Österreich. S. 10.

²⁴⁰ VGL. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 45.

²⁴¹ VGL. LEITNER, S.; ARMBRUSTER, C.; BÖHM, A.: Bauen mit Holz in Österreich. S. 10.

²⁴² VGL. a.a.O., S. 10.

| Material | OSB Oriented Strand Board | GKF Gipskarton Feuerschutzplatte oder Gipsfaserplatte | MDF Mitteldichte Faserplatte für den Einsatzbereich Wand |
|------------------|---------------------------|---|--|
| Dimension | 250 x 500 cm | | 125 x 250 cm |
| | 125 x 500 cm | 125 x 200 – | 125 x 280 cm |
| | 125 x 280 cm | 300 cm | 125 x 300 cm |
| | 125 x 250 cm | | 67,5 x 250 cm |
| Achsraster in cm | 62,5 cm (125/2) | 62,5 cm (125/2) | 62,5 cm (125/2) |

Abbildung 2.35: Abmessung von Beplankungs-Holzwerkstoffen und Achsrastermaß im Holzrahmenbau²⁴³

Wie bereits erwähnt, werden die Bausysteme im Holzbau u.a. in sog. Halbzeuge bzw. Halbfertigteile, bis hin zu schlüsselfertigen Moduleinheiten untergliedert. Abschließend werden an dieser Stelle die für den Holzbau wichtigsten Systeme näher erläutert.

▪ Rohbauelemente

Rohbauelemente werden im Allgemeinen als im Werk vorgefertigte Teilstücke eines Bauwerkes bezeichnet.²⁴⁴

Im Vergleich zu Halbfertigteilen werden Rohbauelemente in Halbfertig-Rohbauelemente und Fertig-Rohbauelemente unterteilt. Zu der Gruppe der Halbfertig-Rohbauelemente kann bspw. Brettsperrholz gezählt werden.²⁴⁵

▪ Halbfertigelemente

Halbfertigelemente, oft auch als Halbzeuge bezeichnet, sind industriell angefertigte Produkte und Rohmaterialien, wie Bauschnitthölzer, die einen eher geringen Vorfertigungsgrad aufweisen und zum überwiegenden Anteil erst auf der Baustelle weiterverarbeitet werden.²⁴⁶

Unabhängig von einem konkreten Bauvorhaben werden diese Produkte auf Vorrat gefertigt und erst vor Ort zu komplexeren Strukturen zusammengefügt.²⁴⁷

²⁴³ VGL. LEITNER, S.; ARMBRUSTER, C.; BÖHM, A.: Bauen mit Holz in Österreich. S. 10.

²⁴⁴ VGL. ISOPP, A.: Editorial. In: Zuschnitt, 50/2013. S. 12ff.

²⁴⁵ Die Beschreibung der Brettsperrholzbauweise kann dem Kapitel 2.5.3 entnommen werden.

²⁴⁶ VGL. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 43.

²⁴⁷ VGL. MORO, J. L.: Baukonstruktion vom Prinzip zum Detail. S. 34.

Neben den genannten Bauschnitthölzern können bspw. auch Brettschichtholz, Furnierschichtholz, wie auch Gipskarton- oder OSB-Plattenwerkstoffe zur Gruppe der sog. Halbfabrikate gezählt werden.²⁴⁸



Abbildung 2.36: Brettschichtholz²⁴⁹ links und Furnierschichtholz²⁵⁰ (rechts)

▪ Fertigelemente

Unter Fertigelemente werden funktionsfertige sowie industriell hergestellte Elemente verstanden, die zur Baustelle transportiert und vor Ort zu komplexeren Strukturen zusammengeschlossen werden.²⁵¹

Der Holzrahmenbau stellt in diesem Zusammenhang eine Weiterentwicklung des sog. Fachwerkbau dar. Im Gegensatz zur Skelettbauweise wird das Rahmenelement als tragendes Wandelement eingesetzt. Aber erst durch die beidseitige Beplankung der Rahmen mit flächenförmigen Holzwerkstoffen wird die komplette Tragwirkung erreicht.²⁵²

In Abbildung 2.37 ist ein exemplarischer Aufbau eines Holzrahmenelementes mit all seinen Bestandteilen dargestellt.

²⁴⁸ VGL. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 43.

²⁴⁹ <https://www.timber-online.net/?id=2500%2C5271934%2C%2C>, am 07.09.2015 um 14:06 Uhr

²⁵⁰ <http://www.fh-finnholz.com/produkte/kerto-furnierschichtholz.html>, am 07.09.2015 um 14:09 Uhr

²⁵¹ VGL. C. T.: New Perspective in Industrialisation in Construction - A State of the Art Report. S. 7ff.

²⁵² VGL. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 110ff.

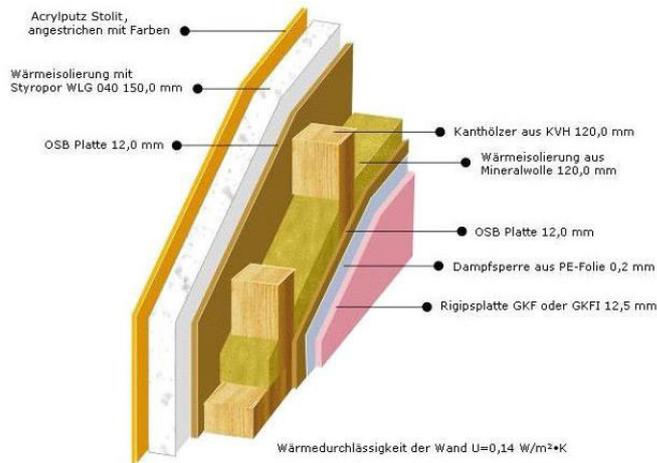


Abbildung 2.37: Beispielhafter Aufbau eines Elements in Holzrahmenbauweise²⁵³

2.9.5 Vorfertigungsgrade im Holzbau

Der moderne Holzbau ist u.a. durch die Entwicklung neuer technischer Verarbeitungsmöglichkeiten geprägt. Zum einen ermöglichen immer schneller und präziser werdende Computerprogramme zukunftsweisende Möglichkeiten in der Industriellen Vorfertigung, zum anderen werden durch neu entwickelte Holzwerkstoffe neue Anwendungsfelder erschlossen.²⁵⁴

Heutzutage wird beinahe jedes Gebäude unabhängig vom Baustoff bis zu einem gewissen Grad aus vorgefertigten Elementen bzw. Halbfertigteilen hergestellt.²⁵⁵

Im Holzbau reichen die Einsatzmöglichkeiten der Vorfertigung von einfach abgeordneten Tragwerkelementen bis hin zu vollständig vorgefertigten Raumzellen. Inwieweit sich ein Bauvorhaben vorfertigen lässt, ist u.a. von der Art des gewählten Bausystems abhängig. Unabhängig davon gilt, je einheitlicher der Produktionsablauf der Bauteile ist, desto wirtschaftlicher wird auch das System ausfallen. Während bei einem Fertigteilbau ein Vorfertigungsgrad von rund 40-60% erreicht wird, werden bei der Raumzellenbauweise Vorfertigungsgrade bis zu 90% erreicht.²⁵⁶

In der nachfolgenden Tabelle sind die Vorfertigungsgrade verschiedener Bauweisen aufgelistet.

²⁵³ <http://www.hortusfertighaus.de/projekty-domow/technologie/14.html>, am 07.09.2015 um 15:10 Uhr

²⁵⁴ VGL. LENNARTSSON, M.: Modularity in Industrialized Timber Housing. S. 3ff.

²⁵⁵ VGL. SCHNITTICH, C.: Vorfertigung -Hightech und Arbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur & Bauteil, Vorfertigung, 6/2012. S. 594ff.

²⁵⁶ VGL. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 40ff.

| Bereich des Bauens | Vorfertigungsgrad[%] |
|--|----------------------|
| Rationalisierter Wohnungsbau | 25-35 |
| Industrielle Baustellenverfahren | 20-30 |
| Marktüblicher Fertigbau (Stahlbeton, Stahl, Holz) | 40-60 |
| Fertighäuser (Holzgroßtafeln) | 50-80 |
| Raumzellen, Sanitärzellen (Stahlbeton, Stahl, Holz) | 80-90 |
| Mobile Raumzellen (Stahl, Holz) | 95-100 |
| PKW-Fertigung (zum Vergleich) | 100 |

Tabelle 2.2: Vorfertigungsgrade in Bezug auf die Bauweise²⁵⁷

Abbildung 2.38 zeigt eine bildliche Darstellung gängiger Holzbauweisen, gereiht nach dem erzielbaren Vorfertigungsgrad.

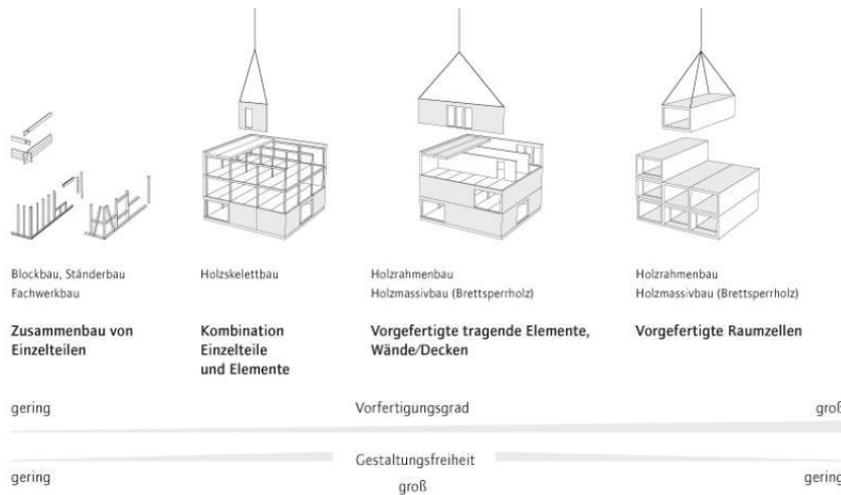


Abbildung 2.38: Vorfertigungstiefen entsprechend dem Holzbausystem²⁵⁸

Wie der Abbildung entnommen werden kann, ist beim Block-, bzw. Fachwerkbau sowohl der Vorfertigungsgrad, als auch die Gestaltungsfreiheit sehr gering. Hingegen kann beim Holzskelett- und Holzrahmenbau der Vorfertigungsgrad und die Gestaltungsfreiheit deutlich ausgeprägter gestaltet werden. Die Modulbauweise in Form vom Holzrahmen- und Holzmassivbau zeichnet sich schließlich durch einen hohen Grad

²⁵⁷ VGL. STAIB, D. R.: Elemente und Systeme, modulares Bauen, Entwurf Konstruktion neue Technologien. S. 40.

²⁵⁸ VGL. PIRCHNER, E.: In dreifacher Ausführung: Bürogebäude für Österreich, Rumänien und Deutschland. In: Zuschnitt, 50/2013. S. 12.

der Vorfertigung aus. Die Gestaltungsfreiheit ist jedoch aufgrund des vorgegebenen Rastermaßes stark begrenzt.²⁵⁹

2.9.6 Manuelle Vorfertigung im Holzrahmenbau

Der Holzbau ist im Allgemeinen durch seine Vielzahl an Klein- und Mittelunternehmen (kurz: KMU) gekennzeichnet. Aufgrund dieser Firmenstruktur ist es naheliegend, dass deren Fertigung größtenteils durch manuelle Tätigkeiten charakterisiert ist. Dies hat aber keineswegs zu bedeuten, dass maschinelle Fertigungsanlagen nur in Großbetrieben Einsatz finden. Bereits viele KMU's sind bspw. mit hochmodernen Abbundanlagen für die Bauteilefertigung ausgestattet. Diese Maschinen müssen jedoch im Gegensatz zur vollautomatisierten Vorfertigung mit manuellen Tätigkeiten unterstützt werden. I.d.R. ist die manuelle Vorfertigung, in diesem Fall speziell für den Bau von Holzrahmenelementen, in mehrere Stationen unterteilt.²⁶⁰

Diese Stationen werden im nachfolgenden Abschnitt näher erläutert.

▪ Bauteilefertigung

Im Zuge der Bauteilefertigung werden sämtliche Bauteile als Einzelteile hergestellt. Die dem Holzrahmenbau zugehörigen sog. Rippen werden dabei entweder manuell oder mit Hilfe CNC gesteuerter Werkzeugmaschinen gefertigt. Durch den Einsatz dieser Maschinen wird vor allem eine schnelle Bearbeitung bei gleichbleibender Qualität ermöglicht. Die Balken werden auf sog. Abbundanlagen zunächst auf die gewünschte Länge gesägt und können in weiterer Folge mit Bohrungen, Sägeschnitten oder auch Fräsungen optional bearbeitet werden. Die Maschinen sind in der Lage Bretter, Balken, Rund- oder auch Profilhölzer in jeglicher Form zu bearbeiten. Obwohl bei solchen Fertigungsstraßen die manuellen Tätigkeiten deutlich überwiegen, sind die Abläufe einer Abbundanlage vollständig automatisiert. Die Maschine bearbeitet die Werkstücke anhand von eingelesenen CAD-Daten, sodass die Werkstücke lediglich einzulegen und nach der Bearbeitung wieder zu entnehmen sind.²⁶¹

In der nachfolgenden Abbildung 2.39 ist eine automatisierte Abbundanlage vom Typ Hundegger K2i exemplarisch dargestellt.

²⁵⁹ VGL. PIRCHNER, E.: In dreifacher Ausführung: Bürogebäude für Österreich, Rumänien und Deutschland. In: Zuschnitt, 50/2013. S. 12ff.

²⁶⁰ VGL. BUNDESVERBAND DEUTSCHER FERTIGBAU e.V.: Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise, 2001.

²⁶¹ VGL. M. H. KESSEL, H.H.: Ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und Fertigungsoptimierter Produktionsprozesse. Schlussbericht. S. 22.



Abbildung 2.39: Automatische Abbundanlage vom Typ Hundegger K2i²⁶²

Die Vorbereitung von flächigen Bauteilen, wie Holzwerkstoffplatten oder Gipskartonplatten beschränkt sich i.d.R. auf den Zuschnitt. Hierzu werden Standard-Zuschnittanlagen bestehend aus einer Vertikal- oder Horizontalplattensäge mit zugehöriger Werkstückversorgung eingesetzt.²⁶³

▪ Tafelfertigung

Bei der Tafelfertigung werden die Bauteile aus dem Zuschnitt, der sog. Bauteilefertigung, zu einer Tafel zusammengesetzt. Einbauteile, wie Elektro-, Sanitär- oder Dämmmaterialien können dabei zusätzlich eingebracht werden. Des Weiteren werden Bearbeitungen, wie die Fixierung der Beplankungstafeln, das Aussägen von Fenster-, Türöffnungen sowie die Bohrungen von Wandanschlüssen und Elektroboxen an der gesamten Tafel vorgenommen.²⁶⁴

Üblicherweise ist die Tafelfertigung in mehrere Arbeitsschritte aufgeteilt, die jeweils unterschiedliche Maschinen benötigt. In der nachfolgenden Abbildung wird ein sog. Zimmerer-Arbeitstisch dargestellt. Auf diesem Tisch werden zunächst die Rippen des Rahmens zu einem Riegelwerk aufgelegt und entsprechend ausgerichtet. Anschließend werden flächige Bauteile, wie Platten, Folien, usw. mit dem Riegelwerk kraftschlüssig verbunden. Das Auflegen der Bauteile erfolgt zumeist manuell, bei grö-

²⁶² <http://www.hundegger.de/de/maschinenbau/produkte/abbundmaschinen/abbundmaschine-k2i.html?mobile=%271>, am 08.09.2015 um 11:10 Uhr

²⁶³ VGL. M. H. KESSEL, H.H.: Ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und Fertigungsoptimierter Produktionsprozesse. Schlussbericht. S. 22.

²⁶⁴ VGL. a.a.O., S. 23.

Beren Bauhölzern oder Bauteilen wird jedoch eine Hebevorrichtung, wie bspw. ein Hallenkran zur Hilfe genommen.²⁶⁵

Da bei der Vorfertigung von Holzrahmenelementen der Zugang zu beiden Elementseiten erforderlich ist, werden die Arbeitstische in den meisten Fällen als sog. Schmetterlingswender²⁶⁶ ausgeführt.



Abbildung 2.40: Zimmerertisch (links) und Schmetterlingswender (rechts)²⁶⁷

I.d.R. setzen sich die Verbindungsmittel aus Schrauben, Nägel oder Klammern zusammen. Die Verbindungsmittel können aber auch mittels sog. Multifunktions- oder Nagelbrücken am Bauteil fixiert werden. In Abbildung 2.41 ist eine sog. Multifunktionsbrücke in Verbindung mit einem Arbeitstisch dargestellt. Durch den Einsatz dieser Maschinen können auch weitere Bearbeitungen, wie das Sägen, Fräsen, Verputzen, usw. direkt am Tisch durchgeführt werden.²⁶⁸



Abbildung 2.41: Multifunktionsbrücke vom Typ Weinmann WMS 120²⁶⁹

²⁶⁵ VGL. M. H. KESSEL, H.H.: Ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und Fertigungsoptimierter Produktionsprozesse. Schlussbericht. S. 23.

²⁶⁶ Der Schmetterlingswender besteht aus zwei Montagetischen, dem Geber- und dem Nehmertisch. Diese beiden Montagetische wenden automatisch das Element zur Bearbeitung beider Elementseiten.

²⁶⁷ Weinmann Holzbausystemtechnik GmbH, <http://www.weinmann-partner.de>

²⁶⁸ VGL. M. H. KESSEL, H.H.: Ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und Fertigungsoptimierter Produktionsprozesse. Schlussbericht. S. 23.

²⁶⁹ <http://www.weinmann-partner.com/de-de/products/productdatabase/weinmann/Seiten/MultifunktionsbrueckeWMS120>, am 08.092015 um 11:47 Uhr

▪ Baugruppenfertigung

Bauteile, wie Balkone, Erker, Wintergärten, usw. werden in der sog. Baugruppenfertigung errichtet. Auch Fenster und Türen können auf diese Weise gefertigt werden, sofern sie nicht zugekauft werden. Grundsätzlich ist die Baugruppenfertigung als Werkstatt- oder Inselfertigung strukturiert, da eine hohe Flexibilität von den herzustellenden Bauteilen gefordert wird. In Summe machen die Bestandteile der Baugruppenfertigung meist nur einen geringen Anteil an der Gesamtzahl aller Bauteile aus.²⁷⁰

▪ Transportsysteme und Lager

Die Lager werden speziell für eine reibungslose Versorgung der einzelnen Fertigungsbereiche benötigt. Die Bauteile müssen bei der Vorfertigung von Holzrahmenelementen so gelagert werden, dass sie auch zum richtigen Zeitpunkt ausgelagert werden können. Aufgrund ihrer Abmessungen und des Gewichts werden Holzrahmenelemente üblicherweise mit Kranen oder Rollbahnen bewegt. Rollbahnen kommen dann verstärkt zum Einsatz, wenn die Fertigung in einer Linienform aufgebaut ist und die Tafeln eine feste Reihenfolge besitzen, in der sie die Station durchlaufen. Anhand von verfahrbaren Zimmerertischen besteht die Möglichkeit die Elemente direkt von einem auf den anderen Tisch zu befördern, ohne den Kran dafür zu benötigen. Einzelteile, wie Rippen, Platten, u.dgl. können ebenfalls mittels Krane, Gabelstapler oder Rollenbahnen weitertransportiert werden. Da Bauteile an gewissen Arbeitsstationen unterschiedliche Zielorte erhalten können, müssen die Transportwege flexibel gestaltet werden. Daher können auch andere Lösungen, wie ein fahrerloses Transportsystem oder Hängebahnen für den Transport angedacht werden.²⁷¹

2.9.7 Maschinelle Vorfertigung im Holzrahmenbau

Die maschinelle Vorfertigung ist durch eine vollständig automatisierte Produktion gekennzeichnet. Mit dem Ziel eine möglichst hohe Wirtschaftlichkeit zu erzielen, wurde zunächst eine kompakte wie auch multifunktionale Anlage konzipiert, mit der auch kleinere Stückzahlen wirtschaftlich gefertigt werden können. Zudem besteht die Möglichkeit, komplette Wand-, Dach- und Deckenelemente auf derselben Anlage herzustellen.

²⁷⁰ VGL. M. H. KESSEL, H.H.: Ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und Fertigungsoptimierter Produktionsprozesse. Schlussbericht. S. 24.

²⁷¹ VGL. a.a.O., S. 24.

Durch diese Flexibilität können sowohl die Investitionskosten, als auch sog. Stillzeiten deutlich reduziert werden.²⁷²

In Abbildung 2.42 sind die wesentlichen Bestandteile einer automatisierten Fertigung von Wandelementen für den Holzrahmenbau schematisch dargestellt.

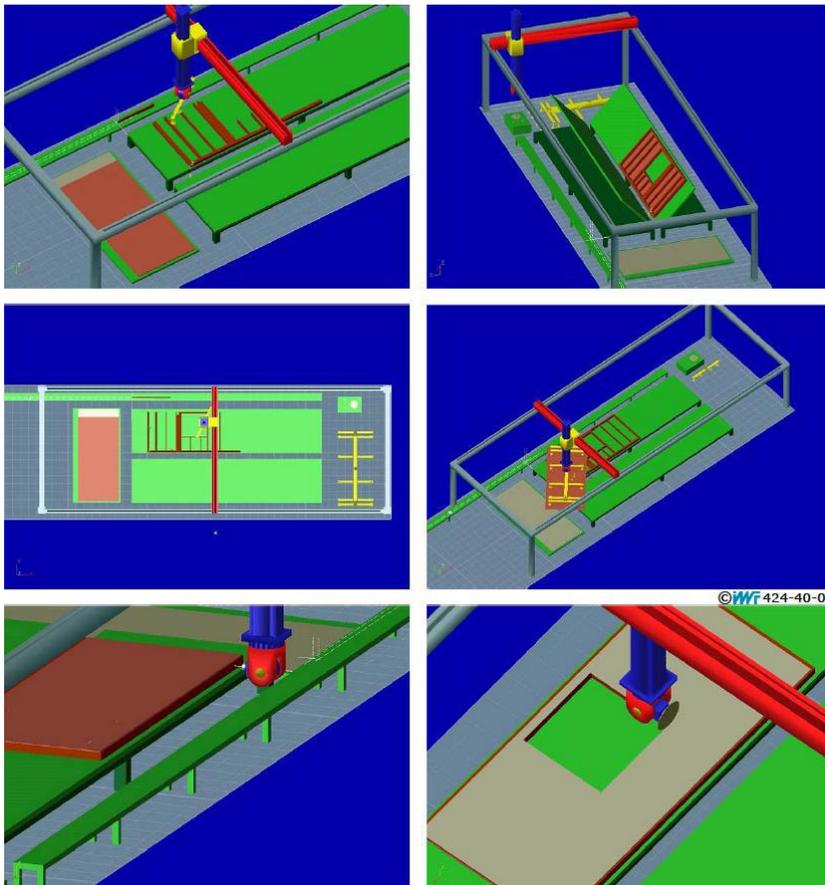


Abbildung 2.42: Multifunktions-Bearbeitungszentrum in Portalbauweise²⁷³

Der ersten und den beiden mittleren Abbildungen ist zu entnehmen, dass die einzelnen Bauteile von einem Portalroboter vollautomatisch auf die vorgesehenen Positionen aufgelegt werden können. Anhand eines Schmetterlingwenders, Abbildung rechts oben, wird der Zugang zu beiden Elementseiten hergestellt. Der Zusammenbau und die Bearbeitung der Bauteile erfolgt mittels 5-Achs gesteuerten Bearbeitungszentrums, welches in den beiden unteren Grafiken dargestellt ist. Die Materialbereitstellung kann entweder über lokale Puffer oder vollautomatisch über Förderbänder erfolgen.²⁷⁴

²⁷² VGL. M. H. KESSEL, H.H.: Ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und Fertigungsoptimierter Produktionsprozesse. Schlussbericht. S. 49.

²⁷³ VGL. a.a.O., S. 50.

²⁷⁴ VGL. a.a.O., S. 49.

Im Unterschied zur Fertigung von Wandelementen, konzentriert sich die maschinelle Bauteilbearbeitung bei der Herstellung von Dachtafeln auf die vorgeschaltete Abbundanlage. An dieser Maschine werden sowohl die Säge- als auch Fräsoperationen an den Rippen des Dachstuhls durchgeführt. Das Portalbearbeitungszentrum übernimmt bei Dachelementen vorwiegend die Aufgabe der Elemente-Handhabung und Positionierung. Des Weiteren werden an dieser Station Nägel oder Klammern als Verbindungsmittel eingebracht sowie der Zuschnitt der Platten und auch Lattung vorgenommen.²⁷⁵

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Fertigung einer Dachtafel mit Hilfe eines Multifunktionsportals.

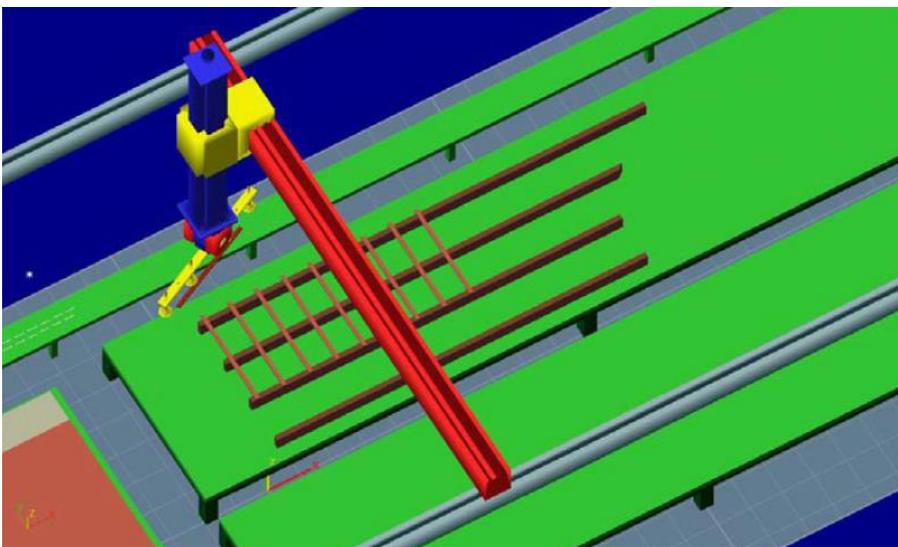


Abbildung 2.43: Fertigung einer Dachtafel bei maschineller Vorfertigung²⁷⁶

Zwischen der Fertigung von Wand- und Deckentafeln sind durchaus Parallelen zu erkennen. Bei der Fertigung von Deckentafeln ist neben der Nagelung bzw. Klammerung von Rippen- und Plattenbauteilen eindeutig das Setzen von Bohrungen der Hauptbearbeitungsprozess. Ähnlich wie bei der Wand- und Deckentafelfertigung werden solche Arbeitsvorgänge direkt vom Portalroboter übernommen.²⁷⁷

In Abbildung 2.44 ist die maschinelle Vorfertigung einer Deckentafel schematisch dargestellt.

²⁷⁵ VGL. M. H. KESSEL, H.H.: Ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und Fertigungsoptimierter Produktionsprozesse. Schlussbericht. S. 51.

²⁷⁶ VGL. a.a.O., S. 51.

²⁷⁷ VGL. a.a.O., S. 51.

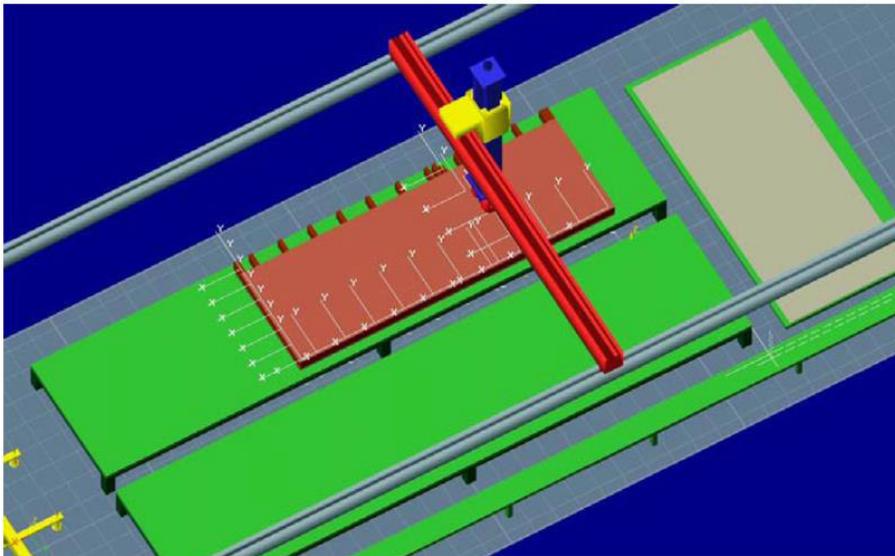


Abbildung 2.44: Fertigung einer Deckentafel bei maschineller Vorfertigung²⁷⁸

Die Transporteinrichtungen für die Bereitstellung der Baustoffe sind bei diesen Fertigungsanlagen zumeist in den Arbeitsraum des Multifunktionsportals integriert. Die Abnahme erfolgt anhand von sog. automatisierten Greifersystemen. Dabei können bspw. sog. Liniengreifer zur Handhabung der stabförmigen Bauteile und Flächengreifer für die den Transport plattenförmiger Werkstücke eingesetzt werden. Bei den meisten Flächengreifern besteht zudem die Möglichkeit, den Saugbereich durch das Ausfahren zweier Zylinder weiter zu vergrößern.²⁷⁹

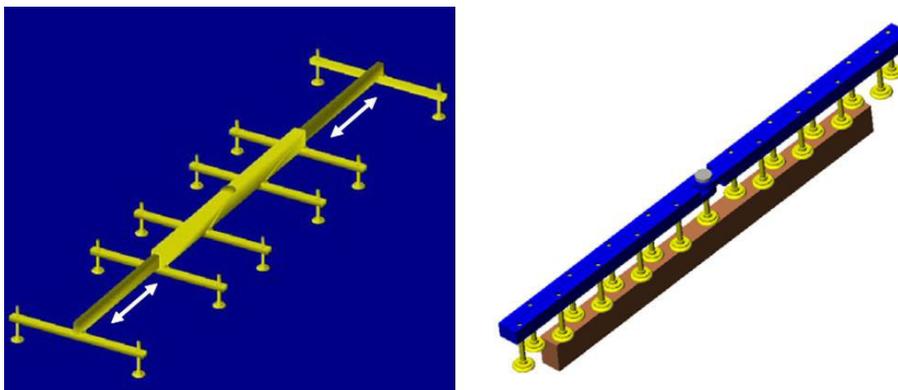


Abbildung 2.45: Vakuumgreifer zur Handhabung plattenförmiger Werkstücke (links) und stabförmiger Werkstücke (rechts)²⁸⁰

Die Verwendung getrennter Greifer zur Handhabung von platten- und stabförmigen Bauteilen würde jedoch häufig zum Wechsel des Greif-

²⁷⁸ VGL. M. H. KESSEL, H.H.: Ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und Fertigungsoptimierter Produktionsprozesse. Schlussbericht. S. 51.

²⁷⁹ VGL. a.a.O., S. 44.

²⁸⁰ VGL. a.a.O., S. 44.

werkzeuges führen. Dies würde einerseits die Nebenzeiten und andererseits den Platzbedarf innerhalb der Fertigungszelle erhöhen. Aus diesem Grund wurde ein universeller Vakuumgreifer entwickelt, der stab- und plattenförmige Werkstoffe aufnehmen kann.²⁸¹

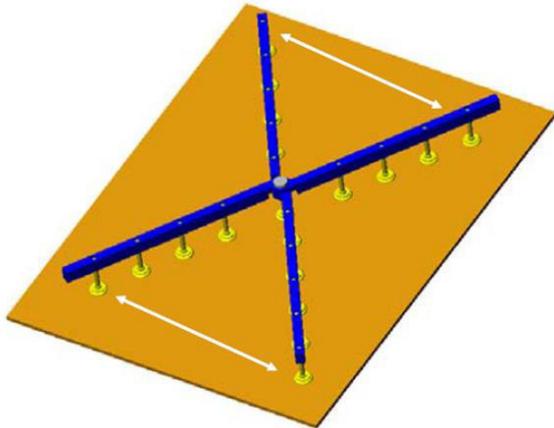


Abbildung 2.46: Vakuumgreifer zur Handhabung stab- und plattenförmiger Werkstücke²⁸²

Im Vergleich zur Handhabung der stab- und flächenförmigen Baustoffe stellt die Einbringung von biegeweichen Dämmstoffen eine viel größere Herausforderung dar. Aufgrund der Faserstruktur der Materialien Mineralwolle, Hanf oder auch Flachs, ist dieser Baustoff nicht mit konventioneller Vakuumtechnik einbringbar. Aus diesem Grund wurde ein spezielles Greifersystem entwickelt, das in Verbindung mit einem Portalroboter den Zuschnitt und die Einbringung der Dämmung kombiniert.²⁸³

In der nachfolgenden Abbildung ist der entsprechende Arbeitsablauf einer vollautomatisierten Greifereinheit zur Einbringung des Dämmmaterials dargestellt.

²⁸¹ VGL. M. H. KESSEL, H.H.: Ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und Fertigungsoptimierter Produktionsprozesse. Schlussbericht. S. 45.

²⁸² VGL. a.a.O., S. 45.

²⁸³ VGL. a.a.O., S. 45.

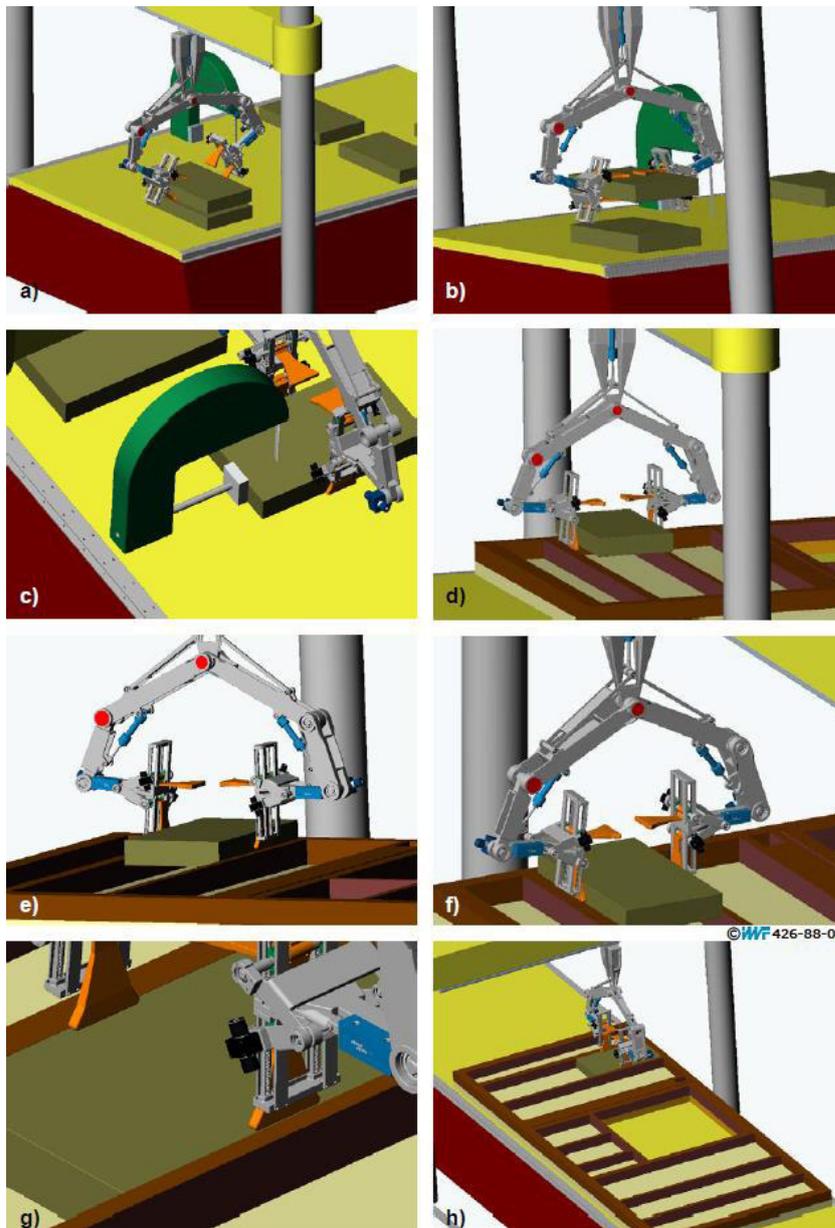


Abbildung 2.47: Arbeitsablauf bei automatisiertem Zuschnitt und Einbringung des Dämmmaterials²⁸⁴

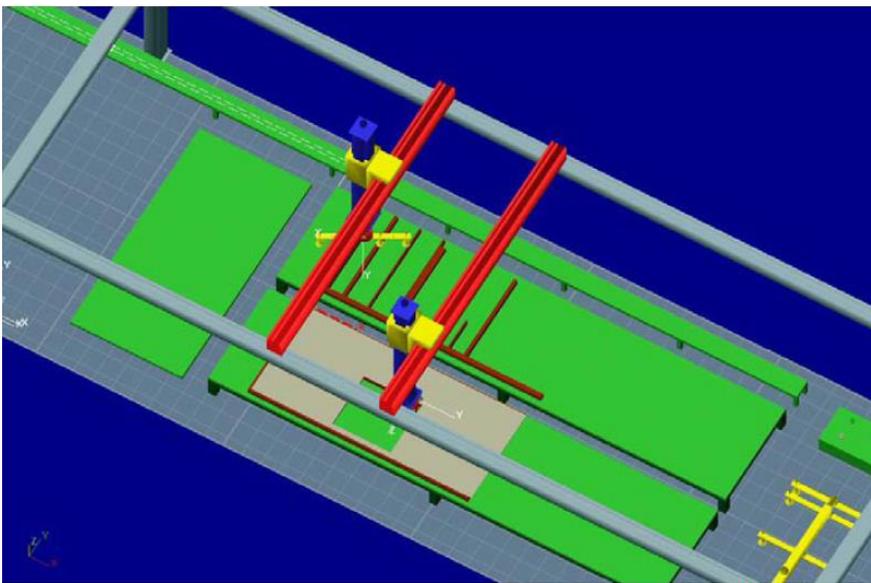
Wie in Abbildung 2.47 ersichtlich, wird die Dämmplatte mit Hilfe sog. Greifzangen an den Schmalseiten erfasst (a)). Anschließend wird die Dämmstoffmatte zur Zuschnitt-Einheit weitertransportiert (b)). Dort wird das Material bspw. mittels Bandsäge auf die gewünschte Länge zugeschnitten (c)). Im Anschluss daran erfolgt der Transport zur vorgesehenen Position innerhalb der Wandtafel (d)). Für den Einpressvorgang wird

²⁸⁴ VGL. M. H. KESSEL, H.H.: Ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und Fertigungsoptimierter Produktionsprozesse. Schlussbericht. S. 45.

der Dämmstoff leicht zusammengedrückt (e),f)). Dafür werden die unteren Zangen der Greifer verwendet (g)). Nach der Einbringung wird die Bereitstellungsfläche des Dämmmaterials erneut angefahren und der Zyklus beginnt von neuem (h)).²⁸⁵

Das Layout einer Fertigungszelle kann unterschiedlich gestaltet werden. Eine Studie hat ergeben, dass grundsätzlich der Einsatz von zwei Robotern auf einem Portal möglich ist. Dabei werden die Roboter so gesteuert, dass die Arbeiten an einem Bauteil auf beide Maschinen aufgeteilt sind. Erst wenn die Bearbeitung fertig ist, beginnen die Arbeiten am nächsten Bauteil. Als sinnvoll würde sich jedoch auch eine Spezialisierung der Roboter erweisen. So wäre bspw. ein Roboter für die Positionierung der benötigten Werkstücke zuständig, während der andere Roboter die eigentlichen Bearbeitungsprozesse durchführt. Auf diese Weise könnte auch der Wechsel zwischen Greifer und Werkzeug erspart bleiben. Jedoch besteht bei solchen Systemen die Gefahr, dass sich die Roboter gegenseitig behindern und die Produktivität sinkt.²⁸⁶

In Abbildung 48 ist die Fertigung eines Holzrahmenelements mit dem Einsatz von zwei getrennt arbeitenden Robotern exemplarisch dargestellt.



© WVF 424-30-01

Abbildung 2.48: Rahmenelementfertigung mit zwei Robotern innerhalb des Portals²⁸⁷

²⁸⁵ VGL. M. H. KESSEL, H.H.: Ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und Fertigungsoptimierter Produktionsprozesse. Schlussbericht. S. 47.

²⁸⁶ VGL. a.a.O., S.52.

²⁸⁷ VGL. a.a.O., S.51.

Einen weiteren Ansatz in Richtung vollständig automatisierter Fertigung stellt die Integration eines 6-Achs-Roboters dar.²⁸⁸



© Wf 424-30-03

Abbildung 2.49: Integration eines 6-Achs-Roboters in das Portalbearbeitungszentrum²⁸⁹

Während das Portal weiterhin für die Werkstückpositionierung und die Bearbeitungsprozesse, wie Sägen, Fräsen und Bohren zuständig ist, führt der 6-Achs-Roboter parallel dazu Befestigungsarbeiten in Form von Nagelung oder Klammerung am Bauteil durch. Auch hier besteht ein gewisses Gefahrenpotential in Bezug auf den Zusammenprall beider Maschinen. Um eine Kollision zu vermeiden, ist eine sorgfältige Planung der Roboterbewegung bspw. mittels 3D-Simulation hilfreich.

2.9.8 Technische Randbedingungen

Damit sich sowohl bei der manuellen, als auch bei der maschinellen Vorfertigung die notwendigen Fertigungsabläufe realisieren lassen und das gesamte Bauteilspektrum der hochindividuellen Tafelherstellung abgedeckt werden kann, muss ein gewisser Grad an Flexibilität ermöglicht werden. Dazu müssen die Achsen der Bearbeitungs- und Montageeinrichtungen u.a. die erforderlichen Freiheitsgrade und Reichweiten aufweisen, um alle in Frage kommenden Positionen auf der Tafel anfahren zu können. Des Weiteren ist es notwendig, dass die Maschinensteuerung mit den jeweiligen Teilprogrammen angesprochen wird und keine fixen, einmalig festgelegten Programme ablaufen lässt. Ein schneller

²⁸⁸ VGL. M. H. KESSEL, H.H.: Ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und Fertigungsoptimierter Produktionsprozesse. Schlussbericht. S. 53.

²⁸⁹ VGL. a.a.O., S. 53.

Austausch der Werkzeuge und Greifersysteme sollte ebenfalls ohne Eingriff durch den Maschinenbediener möglich sein. Werkzeuge müssen mit einem Minimum an Aufwand hinzugefügt oder entfernt werden können. Maschinenintegrierte Handhabungssysteme minimieren zusätzlich die Zahl der Eingriffe und erlauben darüber hinaus autonomes Arbeiten. Neben der Maschinenteknik ist es auch wichtig, die Fördergänge und somit auch den Materialfluss zu optimieren. Um dies zu ermöglichen, müssen zusätzliche Anforderungen an den Fertigungsablauf gestellt werden.²⁹⁰

- Die Bauteile sollten geradlinig und strömungsgünstig gebaut werden. Jede komplizierte Führung des Materialstroms bedeutet Raumverlust und Kostenerhöhung.
- Aufeinanderfolgende Arbeitsbereiche sollten möglichst dicht beieinander liegen. Fördervorgänge sind weitgehend zu vermeiden.
- Transporteinheiten und Förderhilfsmittel müssen an die Bauteile angepasst werden.
- Reststoffe müssen miteinbezogen werden. Ausgeschnittene Teile müssen entfernt, Späne abtransportiert und nicht mehr benötigte Fertigungshilfsmittel/Vorrichtungen rückgeführt werden.

Für den Fall der Einbindung von Industrierobotern werden weitere Randbedingungen an die Fertigungsstrategie gestellt:²⁹¹

- Bereitstellereinrichtungen und Bearbeitungsmaschinen müssen so ausgelegt werden, dass der Roboter die Werkstücke geometrieabhängig und immer an denselben Positionen aufnehmen kann. Die Aufnahme bzw. Bearbeitung der Bauteile kann durch in den Roboter integrierte Sensorik, wie Kamerasysteme oder Kraftmesseinrichtungen, unterstützt werden.
- Anhand einer Werkstückidentifizierung ähnlich den Barcodes sollte sichergestellt werden, dass tatsächlich das zum jeweiligen Zeitpunkt benötigte Bauteil vorliegt.

Anhand dieser Maßnahmen kann die Sicherheit des Produktionsablaufs zunehmend erhöht und eine gleichbleibende Fertigungsqualität garantiert werden. Das Ziel ist klar und deutlich eine Steigerung der Maschinenauslastungen und die Verringerung der Haupt-, Rüst- und Nebenzeiten.²⁹²

²⁹⁰ VGL. M. H. KESSEL, H.H.: Ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und Fertigungsoptimierter Produktionsprozesse. Schlussbericht. S. 32.

²⁹¹ VGL. a.a.O., S. 33.

²⁹² VGL. a.a.O., S. 33.

2.10 Transport und Montage im Holzbau

Speziell im Holzbau sind die Arbeitsprozesse des Transportes und der Montage wesentliche Faktoren innerhalb einer erfolgreichen Bauausführung. Neben einer gut geplanten Logistik und einer ausreichenden Ladegutsicherung, muss bereits im Vorfeld an die Auswahl der Hebesysteme und -mittel gedacht werden.

2.10.1 Transportlogistik im Holzbau

Wie bereits erwähnt, wird für eine reibungslose Montage eine detaillierte Planung der Transportlogistik vorausgesetzt, da die im Werk vorgefertigten Elemente üblicherweise gleich direkt vom Transportmittel ohne Zwischenlagerung verbaut werden. Um Stehzeiten zu vermeiden, muss bereits in der Arbeitsvorbereitung die Verladereihenfolge gründlich durchdacht werden.

Generell kann im Holzbau zwischen einer sog. Liegend-Verladung und einer sog. Stehend-Verladung unterschieden werden.

▪ Liegend-Verladung

Bei der Liegend-Verladung werden die Holzelemente horizontal am Transportmittel befördert. Gerade bei dieser Art der Verladung ist eine richtige Verladereihenfolge wesentlich. Um die Elemente nicht zu beschädigen bzw. während der Fahrt gegen Verrutschen zu sichern, werden meist Unterlagehölzer bzw. Antirutsch-Beläge auf die Ladefläche des LKW wie auch zwischen den einzelnen Ladegütern angebracht. Für die Ladegutsicherung werden zum überwiegenden Anteil sog. Verzurrgurte eingesetzt. Der gesamte Transport wird zumeist mit einer LKW-Plane oder einer Folie gegen Witterung und Transportverschmutzung geschützt. In Abbildung 2.50 ist eine schematische Darstellung einer Liegend-Verladung von Holzrahmenelementen zu sehen.

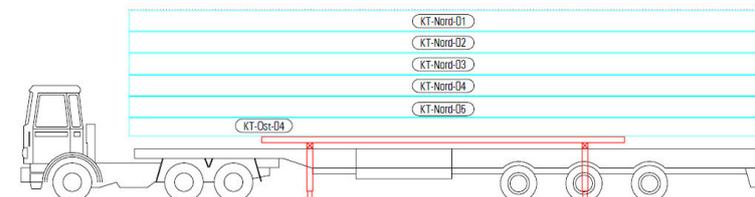


Abbildung 2.50: Schematische Darstellung der Liegend-Verladung von Holzrahmenelementen²⁹³

²⁹³ Zimmerei Sieveke GmbH; Transportplanung Projekt MJS-München.

▪ Stehend-Verladung

Bei der Stehend-Verladung werden die Elemente stehend, also vertikal verladen und transportiert. Je nach Holzbausystem werden unterschiedliche Arten der Ladgutsicherung eingesetzt. Im Holzrahmenbau werden die Elemente aufgrund ihrer meist großen Bauteilstärke vertikal nebeneinander auf das Transportmittel gestellt und mittels Zurrgurte gesichert.

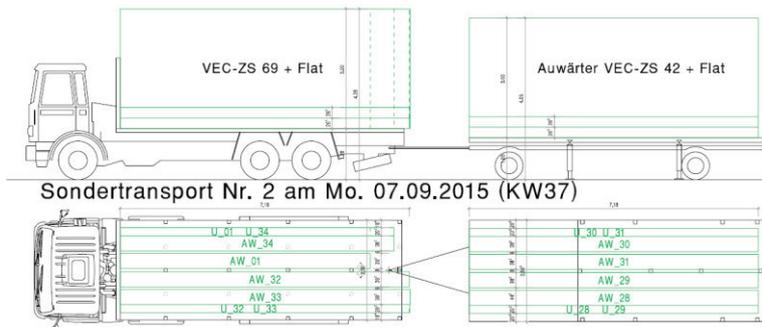


Abbildung 2.51: Schematische Darstellung einer Stehend-Verladung von Holzrahmenelementen²⁹⁴

Unabhängig von der Art der Verladung sollten folgende Punkte in der Transportlogistik beachtet werden:

- Sowohl der Anfahrtsweg auf öffentlichen Straßen, als auch der Zufahrtsweg zur Abladestelle muss für das gewählte Transportmittel befahrbar sein.
- In den späten Herbstmonaten kann es bereits vorkommen, dass ein sicheres Befahren von höhergelegenen Bergstraßen mit dem gewählten Transportmittel nicht mehr gewährleistet werden kann.

2.10.2 Hilfsmittel zur Ladegutsicherung

Generell sind beim Transport von Holzwerkstoffen, Baumaterialien und Hilfsstoffen die geltenden gesetzlichen Vorschriften einzuhalten. Speziell das Kraftfahrgesetz²⁹⁵ und zugehörige Normen, wie bspw. die ÖNORM EN 12195 (Teil 1 bis 4)^{296,297,298,299}, sind in diesem Fall zu nennen. Es

²⁹⁴ Zimmerei Sieveke GmbH; Transportplanung Projekt KTI Mainz.

²⁹⁵ VGL. Kraftfahrgesetz 1967, Fassung vom 26.11.2014; StF: BGBl. Nr. 267/1967 (NR: GP XI RV 186 AB 576 S. 61. BR: S. 256.)

²⁹⁶ VGL. ÖNORM EN 12195-1, 2014-04-15; Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen-Sicherheit-Teil 1: Berechnung von Sicherungskraften (konsolidierte Fassung).

²⁹⁷ VGL. ÖNORM EN 12195-2, 2001-03-01; Ladungssicherungseinrichtungen auf Straßenfahrzeugen-Sicherheit-Teil 2: Zurrgurte aus Chemiefasern.

²⁹⁸ VGL. ÖNORM EN 12195-3, 2001-11-01; Ladungssicherungseinrichtungen auf Straßenfahrzeugen-Sicherheit-Teil 3: Zurrketten.

²⁹⁹ VGL. ÖNORM EN 12195-4, 2004-04-01; Ladungssicherungseinrichtungen auf Straßenfahrzeugen-Sicherheit-Teil 4: Zurrdrahtseite.

existiert dabei eine Vielzahl an Sicherungssystemen für das Transportwesen. Im Holzbau beschränkt sich die Auswahl bis auf wenigen Ausnahmen aufgrund der möglichen Beschädigungen an den Bauteilkanten beinahe ausschließlich auf Zurrgurte und Zurrketten.

▪ Zurrgurte

Zurrgurte sind sowohl in einteiliger als auch zweiteiliger Ausführung erhältlich. Einteilige Gurte werden vorzugsweise zur Bündelung von Ladegutteilen verwendet. Dem Einsatzbereich der zweiteiligen Ausführung sind kaum Grenzen gesetzt. Zweiteilige Zurrgurte bestehen aus dem sog. Losende, einem bis zu 8 m langen Gurtband und dem sog. Festende. An diesem Ende, das aus einem kurzen, nicht verstellbaren Gurtband besteht, sind die sog. Ratsche, also die Spanneinrichtung und ein Haken als Verbindungselement, angebracht.³⁰⁰

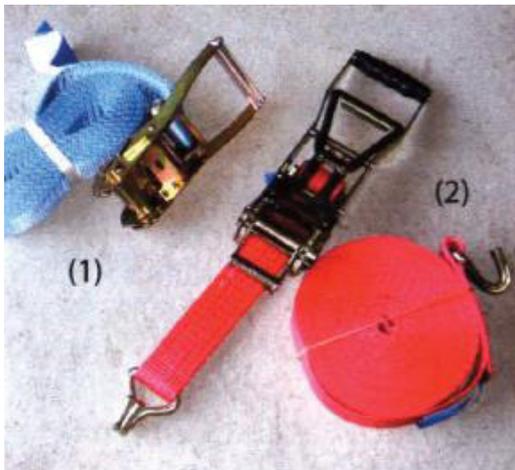


Abbildung 2.52: Einteiliger (1) und Zweiteiliger (2) Spanngurt³⁰¹

Sind Zurrgurte für eine Mehrfachverwendung ausgelegt, werden diese mit einem Etikett gemäß ÖNORM EN 12195-2 gekennzeichnet. Auf diesem Etikett sind die Angaben zur Zurrkraft, zur Handzugkraft und zur Vorspannkraft aufgedruckt.³⁰²

Nachfolgend sind einige wesentliche Hinweise zur Verwendung von Zurrgurten aufgelistet.³⁰³

- Schutz der Gurte vor Reibung bzw. Abrieb, sowie vor scharfen Kanten mittels sog. Kantenschoner.

³⁰⁰ VGL. BLIEWEIS, P. et al.: Praxishandbuch Ladegutsicherung, S. 27.

³⁰¹ VGL. a.a.O., S. 27.

³⁰² VGL. a.a.O., S. 28.

³⁰³ VGL. a.a.O., S. 29ff.

- Keine zweckentfremdete Verwendung, wie zum Heben von Lasten und Verknotungen.
- Die Verwendung von mechanischen Hilfsmitteln, die nicht zum eigentlichen Spannmittel gehören, ist nicht erlaubt.
- Beim Spannen sind für einen festen Sitz des Zurrgurtes mindestens 1,5 Windungen auf der Wickelwelle notwendig, um ein Herausziehen zu verhindern, wobei nicht mehr als 3 Gurtlagen aufgewickelt werden sollten.
- Beim Öffnen des Funktionsschiebers wird die Vorspannkraft schlagartig freigegeben.

▪ Zurrketten

Zurrketten werden vor allem aufgrund ihrer Robustheit und hohen Festigkeit für die Sicherung von schweren Gütern eingesetzt. Sie werden hauptsächlich zum Diagonal- und Schrägzurren, weniger zum Niederzurren verwendet. Im Gegensatz zu den Zurrgurten können höhere Zug- und Spannkraft erreicht werden. Die Grundlagen für den Einsatz von Zurrketten sind in der ÖNORM EN 12195-3 definiert.³⁰⁴

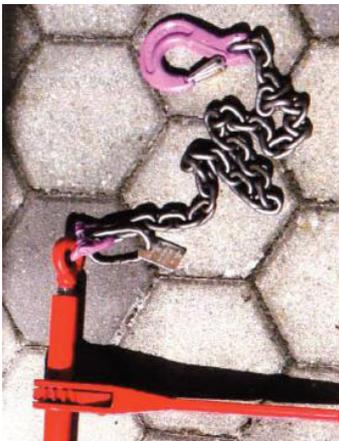


Abbildung 2.53: Zurrkette³⁰⁵

Wichtige Hinweise zur Verwendung von Zurrketten.³⁰⁶

- Es dürfen nur unbeschädigte Zurrketten verwendet werden.
- Spannkraften, welche die zulässige Zugkraft übersteigen, sind verboten.

³⁰⁴ VGL. BLIEWEIS, P. et al.: Praxishandbuch Ladegutsicherung. S. 35.

³⁰⁵ VGL. a.a.O., S. 35.

³⁰⁶ VGL. a.a.O., S. 35.

- Die Ketten müssen mittels Kantenschoner vor scharfen Kanten geschützt werden.
- Eingesetzte Verbindungselemente, wie Zurrhaken, usw. müssen mit der zulässigen Zugkraft der eingesetzten Zurrkette übereinstimmen.
- Die Ratschenspanner müssen regelmäßig gewartet werden.

2.10.3 Hebesysteme- und Hebemittel

Besonders bei vorgefertigten Holzelementen ist der Einsatz von leistungsfähigen und unkomplizierten Hebesystemen und Hebemitteln eine grundlegende Voraussetzung für eine rasche Montage. Je nach Art der Verladung werden unterschiedliche Anforderungen an die Verbindungsmittel gestellt. Speziell beim Anheben aus der liegenden Position muss besonders darauf geachtet werden, dass die Elemente nicht im geschwächten Bereich von Fenster- und Türausschnitten beschädigt werden.³⁰⁷

Tabelle 2.3 zeigt die in der Praxis am häufigsten verwendeten Hebesysteme und -mittel für Wandelemente inkl. einiger Vor- und Nachteile:

| Art des Hebesystems | Vorteile | Nachteile |
|---|--|--|
| Hebeschlaufen durch Bohrung in Wand | <ul style="list-style-type: none"> ▪ einfache Herstellung ▪ schnelle Handhabung auf der Baustelle ▪ relativ hohe Lasten | <ul style="list-style-type: none"> ▪ nur bei Nicht-Sicht-Elementen möglich ▪ Löcher nachträglich verschließen ▪ Luftdichtigkeit beeinflusst ▪ Einweg-Hebeschlaufen |
| Verdeckt in Wand eingebaute Hebeschlaufen | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sichtqualität nur einseitig beeinflusst ▪ schnelle und einfache Handhabung auf der Baustelle ▪ relativ hohe Lasten | <ul style="list-style-type: none"> ▪ aufwendige Herstellung ▪ Bohrung zu verschließen ▪ Luftdichtigkeit beeinflusst ▪ Einweg-Hebeschlaufen ▪ Querkzugbeanspruchung beim Aufkippen |
| Holzschrauben mit Transportanker | <ul style="list-style-type: none"> ▪ einfach und schnell bei der Montage ▪ Sichtqualität nicht beeinflusst | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Querkzugbeanspruchung beim Aufkippen ▪ 0° zur Faser |

Tabelle 2.3: Vor- und Nachteile der aktuell verwendeten Hebesysteme für Wandelemente³⁰⁸

Für Decken- und Dachelemente kommen hingegen vorwiegend folgende Hebesysteme und -mittel zum Einsatz:

³⁰⁷ VGL. TIMBORY; HAAS FERTIGBAU BMBH: Profihandbuch für Brettsperrholz. S. 68ff.

³⁰⁸ VGL. THIEL, A.: Hebesysteme für BSP. Forschungsbericht. S. 29.

| Art des Hebeseystems | Vorteile | Nachteile |
|----------------------------------|--|--|
| Hebeschlaufen | <ul style="list-style-type: none"> ▪ einfache Handhabung ▪ kostengünstig | <ul style="list-style-type: none"> ▪ evtl. erst auf der Baustelle zu montieren, da beim Transport störend ▪ nur bei Nicht-Sicht-Elementen möglich ▪ Einwegprodukt |
| Holzschrauben mit Transportanker | <ul style="list-style-type: none"> ▪ einfach und schnell bei der Montage ▪ kostengünstig | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schrauben sind Einwegprodukt ▪ zu hebende Lasten nicht sehr hoch |
| Sacklochverbindung | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Übertragung hoher Lasten möglich ▪ Anpassung der Tragfähigkeit durch Variation des Stabdübeldurchmessers | <ul style="list-style-type: none"> ▪ aufwendig in der Herstellung ▪ Stabdübel und Hebeschlaufen sind Einwegprodukt ▪ kostenintensiv |
| Stahlschlaufen | <ul style="list-style-type: none"> ▪ wiederverwendbar | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Montage und Demontage auf der Baustelle ▪ Rücktransport notwendig |
| RAMPA-Muffen | <ul style="list-style-type: none"> ▪ werkseitiger Einbau ▪ vollständig integriert / nicht vorstehend ▪ Übertragung relativ hoher Lasten möglich | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Muffe Einwegprodukt |
| ZimmererLift® | <ul style="list-style-type: none"> ▪ einfach und schnell in der Montage ▪ wiederverwendbar | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Rücklaufsystem erforderlich ▪ zu hebende Lasten nicht sehr hoch |

Tabelle 2.4: Vor- und Nachteile der aktuell verwendeten Hebeseysteme für Decken- und Dachelemente³⁰⁹

2.10.4 Baustellenmontage

Die Montagearbeiten von vorgefertigten Holzelementen bestehen aus dem Heben, Positionieren, Justieren, Verbinden und Abdichten der einzelnen Komponenten. Da sich durch die Vorfertigung der Prozess der Fertigung von der Baustelle ins Werk verschiebt, beschränken sich die Arbeiten vor Ort ausschließlich auf die Montage einzelner kleinerer oder größerer Elemente. Die Schwierigkeit bzw. Herausforderung der Errichtung liegt meist nicht im Aufbau einzelner Schichten bzw. des gesamten Gebäudes, sondern vielmehr in einer effizienten Verbindungstechnik, um eine einfache, sichere und vor allem rasche Montage bewerkstelligen zu können.³¹⁰

Die Errichtung eines Gebäudes erfolgt meist in horizontalen Montageabschnitten und ist offenkundig geschossweise organisiert. Gerade im

³⁰⁹ VGL. THIEL, A.: Hebeseysteme für BSP. Forschungsbericht. S. 28.

³¹⁰ VGL. WELLER, K.: Industrielles Bauen 1. Grundlagen und Entwicklung des industriellen, energie- und rohstoffsparenden Bauens. S. 96ff.

Holzelementbau ist eine umfassende zeitliche Koordination der Transporte und der einhergehenden Montagearbeiten unerlässlich, um den Vorteil einer kurzen Errichtungsdauer tatsächlich nutzen zu können. Zusätzlich ist es erforderlich, die Positionen der Bauteile während des Montageablaufes bereits im Vorfeld zu bestimmen, da ungewollte Stehzeiten entstehen können.³¹¹

Damit die einzelnen Bauteile richtig positioniert und montiert werden können, müssen vor allem die unter Punkt 2.10.3 aufgelisteten Hebesysteme und Hebemittel der Größe und dem Gewicht der Elemente entsprechen. Die Abbildung 2.54 zeigt die Montage großflächig vorgefertigter Wandelemente.³¹²



Abbildung 2.54: Montage eines Holzrahmenelementes auf der Baustelle³¹³

Um die Positionierung der einzelnen Bauteile zu erleichtern bzw. eventuelles Nachjustieren größtenteils zu vermeiden, können die Bauteile mit sog. Bezugs-³¹⁴ und Passflächen³¹⁵ versehen werden. Auf diese Weise können die Bauteile in einem Arbeitsgang angehoben und versetzt werden. Einzelne stehende Stützen oder Wände werden bis zum Erreichen der nötigen Standsicherheit in den meisten Fällen mit schräg stehenden sog. Hilfs- oder Justierstützen gesichert.³¹⁶

³¹¹ VGL. WELLER, K.: Industrielles Bauen 1. Grundlagen und Entwicklung des industriellen, energie- und rohstoffsparenden Bauens. S. 96ff.

³¹² VGL. a.a.O. S. 96ff.

³¹³ <http://www.holzbau-wiegand.de>, am 05.09.2015 um 15:41 Uhr

³¹⁴ Als Bezugs- bzw. Referenzflächen werden Flächen bezeichnet, auf die sich konkrete Berechnungen oder Messungen aus der Planung beziehen.

³¹⁵ Passflächen sind Funktionsflächen, die zur Aufnahme von aufgesetzten Teilen dienen.

³¹⁶ VGL. WELLER, K.: Industrielles Bauen 1. Grundlagen und Entwicklung des industriellen, energie- und rohstoffsparenden Bauens. S. 96ff.

Aufgrund des Einsatzes großformatiger Elemente mit hohem Vorfertigungsgrad beträgt die Rohbaumontage eines Einfamilienhauses aus Holz nach Angabe verschiedener Hersteller oft nur wenige Stunden bis hin zu wenigen Tagen.³¹⁷

³¹⁷ VGL. WELLER, K.: Industrielles Bauen 1. Grundlagen und Entwicklung des industriellen, energie- und rohstoffsparenden Bauens. S. 96ff.

2.11 Grundlagen der Datenerfassung nach REFA

Wie viele Branchen wird vor allem die Bauwirtschaft von ständigem Kosten- und Termindruck begleitet. Die Mehrheit der kleinen und mittelständischen Unternehmen im Speziellen scheut den Aufwand der Erstellung und Aufrechterhaltung einer ständigen und hinreichend genauen Datenbasis für Ihre Kalkulation wie auch einer umfassenden Angebotsbearbeitung und greift stattdessen lieber auf Erfahrungs- und Schätzwerte zurück. Aufgrund der Tatsache, dass Bauvorhaben wegen ihrer Projektspezifika selten vergleichbar sind, treten des Öfteren Fehleinschätzungen in der Kalkulation mit falscher bzw. unzureichender Kostenermittlung in der Bauvorbereitung und Störungshäufungen im Bauablauf auf.³¹⁸

Technische Rationalisierungsmaßnahmen führen meist zu einer Steigerung der Produktionssicherheit. Die Kosten in Bezug auf personengebundene Faktoren werden jedoch des Öfteren unzureichend analysiert, stellen aber dennoch einen wesentlichen Teil innerhalb der Herstellkosten dar.³¹⁹

Für die Ermittlung der Herstellkosten, die durch einen bestimmten Zeitaufwand in der Fertigung oder auf der Baustelle definiert sind, stellt die Analyse des Arbeitsstudiums nach der REFA-Systematik eine Möglichkeit dar, umfassende Daten in Bezug auf die eigentlichen Leistungen zu erhalten. Der REFA-Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung, original Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung, ist Deutschlands älteste Organisation für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung. Durch REFA entwickelte Methoden bieten Hilfestellung für betriebliche Datenermittlung und zum Management. Er ist internationaler Anbieter für betriebliche Weiterbildung mit dem Verbandszweck eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit durch Ausbildung zu erreichen.³²⁰

Im nachfolgenden Abschnitt werden die theoretischen Grundlagen dieses Arbeitsstudiums näher beschrieben, auf denen die durchgeführten Fertigungsanalysen aufbauen.

³¹⁸ VGL. RIEDINGER, H.G.; STEINMETZGER, R.: Rationalisierung im Baubetrieb - Möglichkeiten der REFA-Methodenlehre. In: Thesis, Wissenschaftliche Zeitschrift der Bauhaus- Universität Weimar, 1/2000. S. 1.

³¹⁹ VGL. a.a.O., S. 2f.

³²⁰ <http://www.refa.de>, am 07.09.2016 um 07:05 Uhr.

2.11.1 Das Arbeitssystem

Ein Arbeitssystem dient der Erfüllung von Arbeitsaufgaben, welche das Zusammenwirken des Menschen, der Betriebsmittel und der Eingabe unter Umwelteinflüssen darstellen.³²¹

Bei REFA werden folgende sieben Systembegriffe definiert:³²²

1. Die Arbeitsaufgabe
2. Der Arbeitsablauf
3. Die Eingabe
4. Die Ausgabe
5. Der Mensch
6. Die Betriebsmittel
7. Die Umwelteinflüsse

Abbildung 2.55 zeigt eine schematische Darstellung eines Arbeitssystems nach REFA:

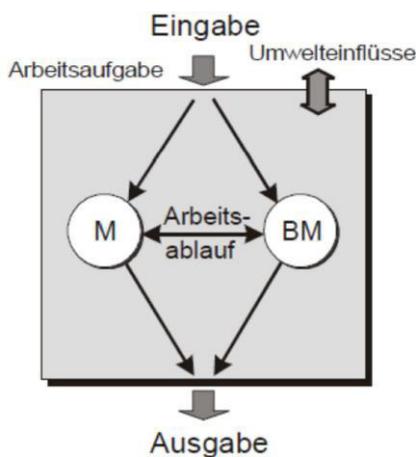


Abbildung 2.55: Arbeitssystem nach REFA³²³

Die Arbeitsaufgabe beschreibt den Zweck des Systems und wird als Aufforderung an den Menschen verstanden, eine Tätigkeit zu verrichten. Auf diese Weise sollten gesteckte Ziele, wie z.B. die Fertigung von Wandelementen, erfüllt werden. Anhand des Arbeitsablaufes wird das Auftretende durch die Erfüllung der Arbeitsaufgabe beschrieben. Darunter fällt bspw. die Vorbereitung des Materials oder auch die Säuberung von Anschlussstellen. Die Eingabe oder auch Input genannt, besteht aus Ar-

³²¹ VGL. RIEDINGER, H.G.; STEINMETZGER, R.: Rationalisierung im Baubetrieb - Möglichkeiten der REFA-Methodenlehre. In: Thesis, Wissenschaftliche Zeitschrift der Bauhaus-Universität Weimar, 1/2000. S. 5.

³²² VGL. a.a.O., S. 5.

³²³ VGL. a.a.O., S. 5.

beitsgegenständen, wie Menschen, Informationen und Energien, die zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe allerdings in ihrem Zustand, ihrer Form oder ihrer Lage veränderbar sind. Dies können bspw. Arbeitskräfte, Maschinen, Material, Pläne, usw. sein. Die Ausgabe bzw. der Output besteht aus den veränderten Arbeitsgegenständen, wie Menschen, Informationen und Energien, die zur Arbeitsaufgabenerfüllung modifiziert wurden. Arbeitsmittel, wie der Mensch (kurz: M) und die Betriebsmittel (kurz: BM) stellen die Kapazitäten eines Arbeitssystems dar, die zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe dienen und die Eingabe in die Ausgabe umwandeln. Zusätzliche Umwelteinflüsse können bspw. physikalische, chemische, biologische, organisatorische und soziale Einflüsse sein. Umstände und Nebenwirkungen eines funktionierenden Systems, wie Witterung, Arbeitsklima, Organisation, usw. werden durch diese genannten Einflüsse charakterisiert.³²⁴

Eine genauere Betrachtung des Sachverhaltes eines Arbeitssystems wird durch die Unterscheidung in ein Makro- bzw. Mikro-System ermöglicht. Dabei beschreibt das Makro-System die gesamte Fertigung bzw. Baustellenmontage, wohingegen beim Mikro-System der Fokus auf einzelne Arbeitsplätze gelegt wird.³²⁵

Fertigungsarbeiten im Holzbau, welche die gesamte Arbeitsaufgabe beschreiben, werden prinzipiell von mehreren Arbeitskräften verrichtet, welche nach REFA als Gruppenarbeit zu verstehen sind.³²⁶

2.11.2 Grundlagen der Datenermittlung

Wird in einem Arbeitsstudium von Daten gesprochen, so sind meist folgende Punkte darunter zu verstehen:³²⁷

- Einflussgrößen, von denen die ermittelten Zeiten abhängen.
- Zeiten für die Ablaufschritte.
- Bezugsmengen, auf welche sich die ermittelten Zeiten beziehen.
- Daten der Rand- und Arbeitsbedingungen.

Die gemessene Zeit einzelner Tätigkeiten kann somit als Funktion unterschiedlicher Einflussgrößen betrachtet werden. Es ist dabei keinesfalls ausreichend, die Zeit ausschließlich mit der Stoppuhr festzuhalten. Unterstützend sollte eine Bewertung der Einflussgrößen erfolgen, unter

³²⁴ VGL. RIEDINGER, H.G.; STEINMETZGER, R.: Rationalisierung im Baubetrieb - Möglichkeiten der REFA-Methodenlehre. In: Thesis, Wissenschaftliche Zeitschrift der Bauhaus-Universität Weimar, 1/2000. S. 5.

³²⁵ VGL. a.a.O., S. 96.

³²⁶ VGL. a.a.O., S. 116.

³²⁷ VGL. a.a.O., S. 10.

welcher die Arbeitsaufgabe vollbracht wird. Die Einflussgrößen sollten dabei eindeutig und nachvollziehbar quantifiziert werden können.³²⁸

In der Produktion eines Wandelementes reicht es bspw. nicht aus, die benötigte Zeit der tatsächlichen Fertigung festzuhalten. Es müssen auch sämtliche auftretende Störeinflüsse in ihrer Größe aufgezeichnet und beschrieben werden.

Bei der Datenermittlung ist auf den Verwendungszweck und die Reproduzierbarkeit zu achten. Je nach Zweck muss eine ausreichende Anzahl an Daten mit einer statistischen Wahrscheinlichkeit umfassend und exakt erfasst werden. Bei einem Arbeitsstudium wird u.a. zwischen Daten für Planungszwecke, Daten für Steuerungszwecke, Daten für Kontrollzwecke und Daten für die Entlohnung unterschieden. Unter Daten für Planungszwecke fallen bspw. Daten für die Kalkulation bzw. Daten für einen Vergleich von Arbeitsverfahren. Daten für Steuerungszwecke können einer künftigen Terminsteuerung zugrunde gelegt werden. Unter Daten für Kontrollzwecke fallen all jene Daten, die für die Nachkalkulation erforderlich sind. Daten für die Entlohnung können bspw. Akkordlöhne oder Prämien sein.³²⁹

Damit die gesammelten Daten auch unabhängig von den durchgeführten Aufnahmen herangezogen werden können, müssen diese auf deren Wiederverwendbarkeit und Reproduzierbarkeit geprüft werden. Folgende Voraussetzungen müssen daher geschaffen sein:³³⁰

- Der den Daten zu Grunde liegende Arbeitsablauf muss eindeutig und hinreichend beschrieben sein.
- Alle Arbeits- und Randbedingungen müssen gänzlich bekannt sein.
- Die erfassten Daten müssen den statistischen Anforderungen genügen.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Möglichkeit einer weiteren Unterscheidung in quantitative und qualitative Daten schematisch dargestellt.

³²⁸ VGL. REFA - VERBAND FÜR ARBEITSSTUDIEN UND BETRIEBSORGANISATION E.V.: Methodenlehre des Arbeitsstudiums - Teil 2 - Datenermittlung, S. 10.

³²⁹ VGL. a.a.O., S. 12.

³³⁰ VGL. a.a.O., S. 12f.

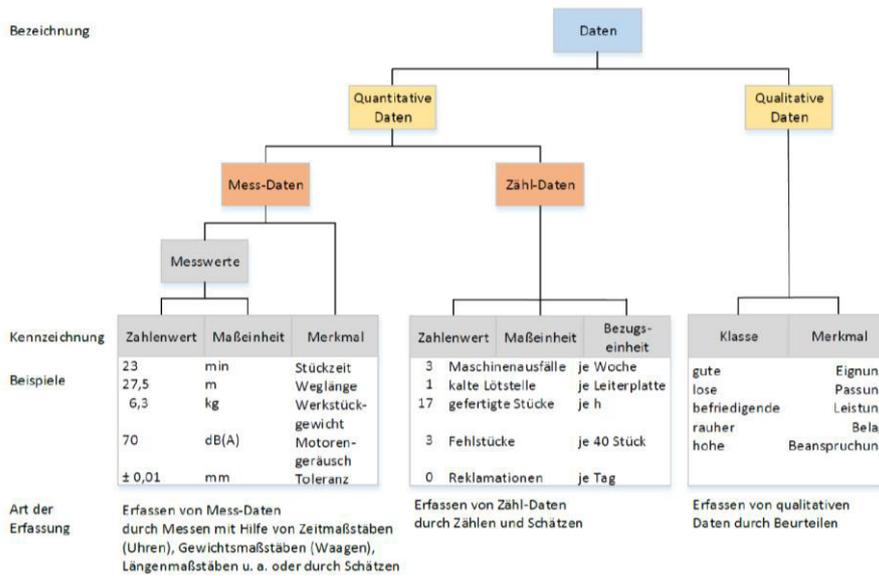


Abbildung 2.56: Gliederung der Daten in quantitative und qualitative Daten³³¹

Wie anhand der dargestellten Abbildung zu erkennen ist, werden Mess- sowie Zähl-daten den quantitativen Daten zugezählt, welchen eine eindeutig definierte Messeinheit zu Grunde gelegt wird. Qualitative Daten können hingegen ausschließlich verbal beschrieben werden.³³²

Des Weiteren kann noch zwischen absoluten und bezogenen Daten unterschieden werden. Als absolute Daten, auch Urdaten genannt, werden all jene Zahlen ohne eine direkte Bezugsgröße bezeichnet, wie bspw. 10 Stück oder 40 min. Bezogene Daten, wie bspw. 10 Stk./h, beziehen sich hingegen auf eine eindeutige Bezugseinheit.³³³

2.11.3 Vorgehensweise bei der Zeitdatenermittlung

Noch vor Durchführung der Zeitaufnahmen in der Fertigung oder auf der Baustelle muss das Arbeitssystem hinreichend genau definiert und beschrieben werden. Dazu wird bereits im Vorfeld der gesamte Arbeitsablauf in einzelne Ablaufarten gegliedert.³³⁴

In Abbildung 2.57 ist die Gliederung des gesamten Arbeitsablaufes in einzelne Ablaufarten nach der REFA-Systematik schematisch dargestellt.

³³¹ VGL. REFA - VERBAND FÜR ARBEITSSUDIEN UND BETRIEBSORGANISATION E.V.: Methodenlehre des Arbeitsstudiums - Teil 2 - Datenermittlung. S. 15.

³³² VGL. a.a.O., S. 15ff.

³³³ VGL. a.a.O., S. 13ff.

³³⁴ VGL. RIEDINGER, H.G.; STEINMETZGER, R.: Rationalisierung im Baubetrieb - Möglichkeiten der REFA-Methodenlehre. In: Thesis, Wissenschaftliche Zeitschrift der Bauhaus-Universität Weimar, 1/2000. S. 6.

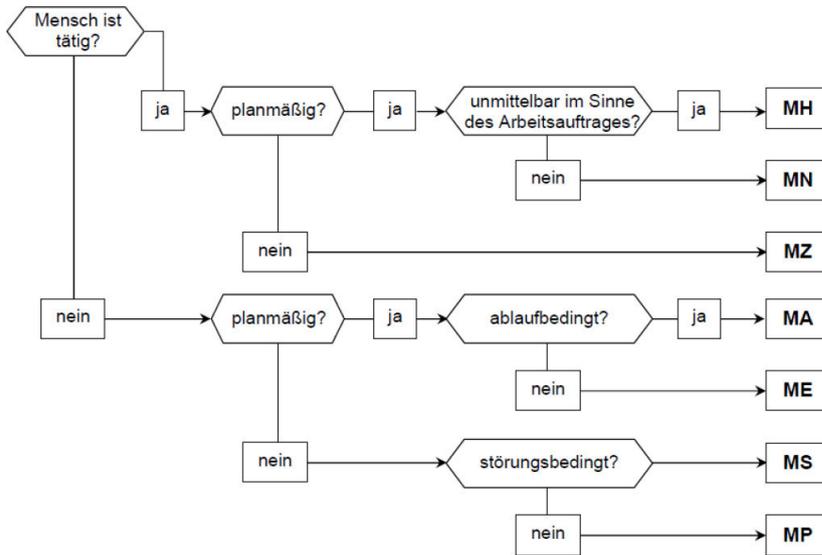


Abbildung 2.57: Gliederung des gesamten Arbeitsablaufes in einzelne Ablaufarten bezüglich des Menschen laut REFA³³⁵

An dieser Stelle seien zur Vollständigkeit noch die Abkürzungen, die der Abbildung zu entnehmen sind, angeführt:

- MH... Haupttätigkeit
- MN... Nebentätigkeit
- MZ... Zusätzliche Tätigkeit
- MA... ablaufbedingte Unterbrechung
- ME... erholungsbedingte Unterbrechung
- MS... störungsbedingte Unterbrechung
- MP... persönlich bedingte Unterbrechung

Bei der sog. modifizierten bzw. weiterentwickelten Darstellung des REFA-Arbeitsablaufes nach Schlagbauer³³⁶ werden die Arbeitsabläufe weiters in zwei Kategorien gliedert.

Zum einen in die sog. Hauptkategorie, welche die Aktivitäten der sog. ersten Ebene beinhaltet. Diese umfasst die Summe aller Tätigkeiten, aller Unterbrechungen sowie aller nicht erkennbaren Tätigkeiten.

Zum anderen in die sog. Unterkategorie, welche die Aktivitäten der sog. zweiten Ebene beinhaltet. Diese besteht aus der Haupttätigkeit, der Ne-

³³⁵ VGL. RIEDINGER, H.G.; STEINMETZGER, R.: Rationalisierung im Baubetrieb - Möglichkeiten der REFA-Methodenlehre. In: Thesis, Wissenschaftliche Zeitschrift der Bauhaus-Universität Weimar, 1/2000. S. 6.

³³⁶ VGL. SCHLAGBAUER, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung. Dissertation.

bentätigkeit, der zusätzlichen Tätigkeit, den ablaufbedingten, störungsbedingten, erholungsbedingten sowie den persönlich bedingten Unterbrechungen.

An dieser Stelle werden Auszüge aus der Fachliteratur angeführt, welche die korrekte Definition all dieser Begrifflichkeiten beinhalten.

„Die Kategorie Tätigkeit umfasst alle durchgeführten Arbeiten, die mit der Leistungserbringung direkt oder indirekt in Verbindung stehen.“³³⁷

„Unter Haupttätigkeit werden alle erhobenen Tätigkeiten zusammengefasst, die der Leistungserbringung einer direkt abrechenbaren Position dienen.“³³⁸

„Im Gegenzug zu Haupttätigkeiten können Nebentätigkeiten nicht direkt abgerechnet werden, sondern sind zur Erbringung von Haupttätigkeiten notwendig.“³³⁹

„Die Unterkategorie zusätzliche Tätigkeiten umfasst Haupt- und Nebentätigkeiten, die nicht dem eigentlichen Arbeitsauftrag der beobachteten Person entsprechen.“³⁴⁰

„Störungsbedingte Unterbrechungen entstehen durch äußere Einwirkungen auf den Bauablauf, wodurch dieser unterbrochen wird.“³⁴¹

„Erholungsbedingte Unterbrechungen sind Pausen, die der Bauarbeiter infolge anstrengender Tätigkeiten selbstständig einlegt, einschließlich der vom Arbeitgeber vorgegebenen Vormittags- und Mittagspausen.“³⁴²

„Persönlich bedingte Unterbrechungen entstehen infolge der persönlichen Bedürfnisse des Bauarbeiters, z.B. Rauchen, Toilettengang, Trinken, u.ä.“³⁴³

„In der Kategorie „Nicht erkennbar“ werden jene Beobachtungen eingetragen, bei denen zum Beobachtungszeitpunkt der zu beobachtende Arbeiter nicht im Sichtbereich des Beobachters war und daher keine genaue Aussage über seine verrichtete Tätigkeit gemacht werden konnte.“³⁴⁴

Die aufgelisteten Definitionen bzw. Erklärungen sind in weiterer Folge als Unterstützung zur eindeutigen Zuordnung und Erläuterung in der durchgeführten Studie zu verstehen.

In der nachfolgenden Abbildung wird eine mögliche Gliederung des Arbeitsablaufes für die Vorfertigung von Holzrahmenelementen mit Bei-

³³⁷ VGL. RIEDINGER, H.G.; STEINMETZGER, R.: Rationalisierung im Baubetrieb - Möglichkeiten der REFA-Methodenlehre. In: Thesis, Wissenschaftliche Zeitschrift der Bauhaus-Universität Weimar, 1/2000. S. 6.

³³⁸ VGL. SCHLAGBAUER, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung. Dissertation. S. 49.

³³⁹ VGL. a.a.O., S. 49.

³⁴⁰ VGL. a.a.O., S. 49.

³⁴¹ VGL. a.a.O., S. 49.

³⁴² VGL. a.a.O., S. 49.

³⁴³ VGL. a.a.O., S. 49.

³⁴⁴ VGL. a.a.O., S. 49.

spielen und der Zuordnung zu den einzelnen Kategorien im Überblick dargestellt.

| Kategorie Erste Ebene | Untergeordnete Kategorie Zweite Ebene | Beispiele |
|----------------------------|--|--|
| Tätigkeit | Haupttätigkeit | Zusammenbau des Riegelwerkes |
| | | Einbau der Dämmung |
| | | Fixierung der Beplankung |
| | | Befestigung der Unterkonstruktion |
| | | Einbau der Dichtung |
| | | Einbau der Fenster |
| | Nebentätigkeit | Kran fahren |
| | | Stapler fahren |
| | | Arbeitsplatz reinigen |
| Zusätzliche Tätigkeit | Sortierung von Holzpaketen | |
| | Sortierung von Fensterbauteilen | |
| Unterbrechung | Ablaufbedingte Unterbrechung | Plan lesen |
| | | Diskussion |
| | | Kranstehzeit |
| | Störungsbedingte Unterbrechung | Ungenauere Planung |
| | | Materialbeschaffung |
| | | Werkzeugbeschaffung |
| | Erholungsbedingte Unterbrechung | Fehlende Teile herstellen |
| | | Wartezeit |
| | Persönlich bedingte Unterbrechung | eigene Verpflegung (z.B. Wasser trinken) |
| | | Eigene Pause |
| Nicht erkennbare Tätigkeit | | Abwesenheit |
| | | Tätigkeiten, die sich nicht im Sichtbereich des Beobachters befinden |

Tabelle 2.5: Einteilung der Vorgänge eines Arbeitsablaufes nach Anlehnung an Schlagbauer³⁴⁵

Der gesamte Arbeitsablauf resultiert aus der Summe einzelner Ablaufarten, wobei diese auch prozentual zum gesamten Ablauf dargestellt werden.

Die einzelnen Ablaufarten lassen sich darüber hinaus in die sog. resultierenden Zeitarten überführen.

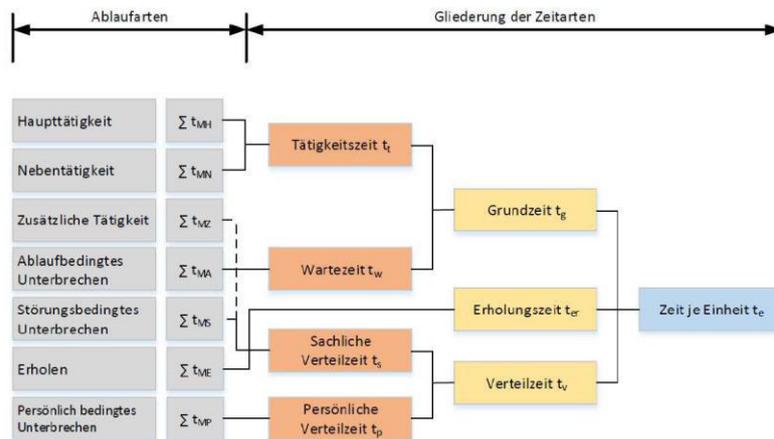


Abbildung 2.58: Gliederung der Zeitarten bei Mensch und Betriebsmittel³⁴⁶

³⁴⁵ VGL. SCHLAGBAUER, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung. Dissertation. S. 49.

³⁴⁶ VGL. REFA - VERBAND FÜR ARBEITSSTUDIEN UND BETRIEBSORGANISATION E.V.: Methodenlehre des Arbeitsstudiums - Teil 2 - Datenermittlung. S. 47.

Im nachfolgenden Abschnitt werden sämtliche in der vorigen Abbildung 2.58 aufgelisteten Zeitartern näher erläutert.

2.11.3.1 Grundzeit

Die Grundzeit setzt sich aus der Summe aller Zeiten für Haupttätigkeiten, Nebentätigkeiten und den ablaufbedingten Unterbrechungen zusammen. Prinzipiell ist davon auszugehen, dass die Grundzeit den größten Anteil der Gesamtzeit in Anspruch nimmt.³⁴⁷

Für die Berechnung der Grundzeit gilt folgende Formel:

$$t_g = \sum t_{MH} + \sum t_{MN} + \sum t_{MA}$$

t_g ... Grundzeit
 t_{MH} ... Zeit der Haupttätigkeit
 t_{MN} ... Zeit der Nebentätigkeit
 t_{MA} ... Zeit der ablaufbedingten Unterbrechungen

Formel 2.1: Berechnung der Grundzeit³⁴⁸

2.11.3.2 Erholungszeit

Die Erholungszeit resultiert aus der notwendigen Erholung des Menschen während der Arbeitszeit und hängt vor allem von der Intensität der durchgeführten Tätigkeiten ab. Laut der REFA-Systematik sollte der Anteil an der Gesamtarbeitszeit nicht mehr als 5% ausmachen.³⁴⁹

Die Erholungszeit lässt sich nach folgender Formel berechnen:

$$t_{er} = \sum t_{ME}$$

t_{er} ... Erholungszeit
 t_{ME} ... Zeit für erholungsbedingte Unterbrechungen

Formel 2.2: Berechnung der Erholungszeit³⁵⁰

2.11.3.3 Verteilzeit

Wie der nachfolgenden Formel 2.3 zu entnehmen ist, setzt sich die Verteilzeit aus der Summe der Zeiten von zusätzlichen Tätigkeiten sowie störungs- und persönlich bedingten Unterbrechungen zusammen. Durch

³⁴⁷ VGL. REFA - VERBAND FÜR ARBEITSSUDIEN UND BETRIEBSORGANISATION E.V.: Methodenlehre des Arbeitsstudiums - Teil 2 - Datenermittlung. S. 46.

³⁴⁸ VGL. a.a.O., S. 46.

³⁴⁹ VGL. RIEDINGER, H.G.; STEINMETZGER, R.: Rationalisierung im Baubetrieb - Möglichkeiten der REFA-Methodenlehre. In: Thesis, Wissenschaftliche Zeitschrift der Bauhaus-Universität Weimar, 1/2000. S. 10.

³⁵⁰ VGL. REFA - VERBAND FÜR ARBEITSSUDIEN UND BETRIEBSORGANISATION E.V.: Methodenlehre des Arbeitsstudiums - Teil 2 - Datenermittlung. S. 51.

die Verteilzeit wird die Summe all jener Zeiten beschrieben, die einerseits für die Erfüllung einer Arbeitsaufgabe anfallen, andererseits jedoch in keinem direkten Zusammenhang mit der eigentlichen Arbeitsaufgabe stehen.³⁵¹

Gemäß Fachliteratur darf die Verteilzeit einen Wert von bis zu 25% der Gesamtzeit annehmen.³⁵²

Für die Berechnung der Verteilzeit wird folgende Formel zur Hilfe genommen:

$$t_v = \sum t_{MZ} + \sum t_{MS} + \sum t_{MP}$$

t_v ... Verteilzeit

t_{MZ} ... Zeit für zusätzliche Tätigkeiten

t_{MS} ... Zeit für störungsbedingte Unterbrechungen

t_{MP} ... Zeit für persönlich bedingte Unterbrechungen

Formel 2.3: Berechnung der Verteilzeit³⁵³

2.11.4 Zeitaufnahmen

Zeitaufnahmen unterschiedlicher Art und Ausprägung werden vor allem für die Beschreibung eines Arbeitssystems oder Arbeitsverfahrens wie auch zur Ermittlung von Ist-Daten eingesetzt. Diese sog. Ist-Daten charakterisieren die tatsächlich benötigte Zeit, die zur Verrichtung einer Tätigkeit erforderlich wird. Diese Daten können in weiterer Folge als sog. Soll-Zeiten für bestimmte, sich wiederholende Arbeitsschritte eingesetzt werden. Für die Aufnahme dieser Zeiten gibt es einerseits die sog. Einzelzeitaufnahme (kurz: EZA) und andererseits die sog. Multimomentaufnahme (kurz: MMA).³⁵⁴

Im Zuge der Untersuchung der Fertigungssysteme wurde ausschließlich mit der Multimomentaufnahme gearbeitet, da sie nach ausführlicher Analyse aufgrund ihres Umfangs am besten und zweckmäßigsten erschien. Im folgenden Abschnitt werden jedoch beide Arten der Zeitaufnahme näher beschrieben.

³⁵¹ VGL. REFA - VERBAND FÜR ARBEITSSUDIEN UND BETRIEBSORGANISATION E.V.: Methodenlehre des Arbeitsstudiums - Teil 2 - Datenermittlung. S. 109.

³⁵² VGL. LANG, A.: Ein Verfahren zur Bewertung von Bauablaufstörungen und zur Projektsteuerung. S. 109.

³⁵³ VGL. REFA - VERBAND FÜR ARBEITSSUDIEN UND BETRIEBSORGANISATION E.V.: Methodenlehre des Arbeitsstudiums - Teil 2 - Datenermittlung. S. 50.

³⁵⁴ VGL. a.a.O., S. 51.

2.11.4.1 Einzelzeitaufnahme

Einzelzeitaufnahmen (kurz: EZA) dienen der gesonderten Betrachtung einzelner Ablaufschritte mit der Aufnahme der gesamten Zeitdauer. Dies kann bspw. mit einer herkömmlichen Stoppuhr und einem Notizblock erfolgen. Da auf Baustellen bzw. in Fertigungsprozessen meist mehrere Arbeitskräfte gleichzeitig beschäftigt sind, muss dafür gesorgt werden, dass Messsysteme zum Einsatz kommen, die mehrere Personen und ihre Tätigkeiten gleichzeitig messen und aufzeichnen können.³⁵⁵

An dieser Stelle werden der Vollständigkeit halber einige Vor- und Nachteile der Einzelzeitaufnahme angeführt.³⁵⁶

Vorteile:

- + Geringe Fehlerquote, da die Errechnung der Einzelzeiten einzelner Abläufe nicht nötig ist.
- + Zahlenwerte sind meist klein und überschaubar.
- + Die Streuung von Messwerten ist aufgrund von Unregelmäßigkeiten sofort erkennbar.

Nachteile:

- Anhand der Kenntnis der Ablaufabschnittsdauer ist eine Beeinflussung des Leistungsgradurteiles³⁵⁷ möglich.
- Eine kleine Zeitverzögerung aufgrund der Anwendung einer händischen Schaltung der Zeitmessgeräte kann durchaus eintreten.
- Die Messung der Gesamtzeit muss separat erfolgen.
- Höhere Anschaffungskosten, da mehrere Messgeräte angeschafft werden müssen.

2.11.4.2 Multimomentaufnahme

Die Multimomentaufnahme (kurz: MMA) beschreibt einen eher klassischen Zählvorgang. Bereits vor Beobachtungsbeginn müssen fixe Zeitabschnitte festgelegt und statistisch überprüft werden, innerhalb welcher die Aufnahme der Arbeitsabläufe stattfinden wird. Um eine qualifizierte und nachvollziehbare Aussage über die ermittelten Ergebnisse treffen zu können, müssen der Beobachtungsumfang und die Anzahl einzelner

³⁵⁵ VGL. REFA - VERBAND FÜR ARBEITSSUDIEN UND BETRIEBSORGANISATION E.V.: Methodenlehre des Arbeitsstudiums - Teil 2 - Datenermittlung. S. 87.

³⁵⁶ VGL. a.a.O., S. 87.

³⁵⁷ Die Abgabe eines Leistungsgradurteiles entspricht der Beurteilung einer Leistung vom Beobachter. Dazu werden die beobachteten Leistungen objektiv beurteilt, um ausreichende Näherungswerte des Leistungsgrades zu gewinnen.

Beobachtungen in Bezug auf die Gesamtbeobachtung groß genug sein..³⁵⁸

Nachfolgend wird die klassische Vorgehensweise einer MMA nach REFA chronologisch aufgelistet.³⁵⁹

- Festlegung des Zieles
- Beschreibung und Festlegung der Ablaufarten
- Festlegung des Rundganges auf der Baustelle / in der Fertigung
- Festlegung des erforderlichen Beobachtungsumfanges
- Bestimmung der Zeitpunkte für geplante Rundgänge
- Durchführung der ersten Beobachtung
- Durchführung einer Zwischenauswertung
- Durchführung von weiteren Beobachtungen
- Erstellung der Endauswertung

Wie bereits bei der Einzelzeitaufnahme, werden auch an dieser Stelle einige Vor- und Nachteile der Multimomentaufnahme aufgelistet.³⁶⁰

Vorteile:

- + Es werden keine aufwändigen Messgeräte benötigt.
- + Die MMA ermöglicht die Beobachtung der Tätigkeiten von nahezu beliebig vielen Arbeitsplätzen.
- + Die MMA erstreckt sich meist über einen längeren Zeitraum, wodurch ein gesichertes Abbild des durchschnittlichen Ist-Ablaufes erfasst werden kann.
- + Die MMA kann gegebenenfalls unterbrochen und wieder aufgenommen werden.

Nachteile:

- Einzelne Aufnahmen bzw. Notizen können nur schlecht bis gar nicht auf ihre sachliche Richtigkeit überprüft werden, da es sich um einmalige und selten wiederkehrende Vorgänge handelt.
- Die Multimomentaufnahme lässt nur bedingt Rückschlüsse auf die Gestaltung von Arbeitsplätzen zu.

³⁵⁸ VGL. GERHARD, K.: REFA in der Baupraxis - Teil 2 - Datenermittlung. S. 65ff.

³⁵⁹ VGL. REFA - VERBAND FÜR ARBEITSSUDIEN UND BETRIEBSORGANISATION E.V.: Methodenlehre des Arbeitsstudiums - Teil 2 - Datenermittlung. S. 236ff.

³⁶⁰ VGL. a.a.O., S.263f.

- Bei Ablaufarten, die weniger als 1% aller Notizen ausmachen, können keine qualitativen Aussagen getroffen werden.
- Die Einflussnahme vom Beobachter auf die MMA kann nur schwer bis gar nicht erkannt werden.
- Die Ursachenfeststellungen für Unterbrechungen sind schwierig.

Darüber hinaus wird zwischen der klassischen MMA und der systematischen MMA unterschieden. In der klassischen MMA unterliegen die Beobachtungszeitpunkte dem Zufallsprinzip, wobei in der systematischen MMA die Arbeitsgruppe stets im Blickfeld des Beobachters liegt und die Beobachtungszeitpunkte durch zeitlich gleichmäßige Intervalle eindeutig geregelt sind.³⁶¹

Im Zuge der Fertigungsanalyse im Unternehmen wurde die systematische Multimomentaufnahme eingesetzt.

2.11.5 Statistische Auswertung

Besonders die Aussagekraft von Zeitaufnahmen ist für den künftigen Einsatz in der Kalkulation eines Unternehmens von entscheidender Bedeutung, da es sich bei den aufgenommenen Daten immer um sog. Stichproben³⁶² einer sog. Grundgesamtheit³⁶³ handelt. Zu diesem Zweck kommen statistische Methoden zum Einsatz, durch die eine qualitative Aussage der berechneten quantitativen Ergebnisse überprüft wird.

Je nachdem welche Art der zuvor beschriebenen Zeitaufnahmen zum Einsatz kommt, werden auch verschiedene Parameter für die statistische Auswertung ermittelt und überprüft. Im Falle der statistischen Auswertung einer Einzelzeitaufnahme wird das Variationszahlverfahren angewendet, welches im Folgenden kurz beschrieben wird.

2.11.5.1 Arithmetischer Mittelwert

Der arithmetische Mittelwert errechnet sich aus dem Verhältnis der Summe aller gemessenen Größen je Stichprobe und dem Stichprobenumfang und gehört zudem zu den statistischen Größen der sog. Lageparameter³⁶⁴.

³⁶¹ VGL. GERHARD, K.: REFA in der Baupraxis - Teil 2 - Datenermittlung, S. 84.

³⁶² Unter einer Stichprobe wird eine Teilmenge einer Grundgesamtheit, die unter bestimmten Voraussetzungen gewählt wurde, verstanden.

³⁶³ Die Grundgesamtheit wird in der Statik als die Menge aller statistischen Einheiten (z.B. Personen, Tiere, Pflanzen, Werkstücke) bezeichnet, die übereinstimmende Identifikationskriterien (z.B. zur selben Zeit) aufweisen.

³⁶⁴ Die Lageparameter beschreiben die Lage der Stichproben einer Grundgesamtheit in Bezug auf eine Messskala.

Folgende Formel wird für die Ermittlung des arithmetischen Mittelwertes herangezogen:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i$$

- \bar{x} ... arithmetischer Mittelwert
- n ... Stichprobenumfang
- i ... Anzahl der Größen
- x_i ... Größe der Stichprobe

Formel 2.4: Berechnung des arithmetischen Mittelwertes³⁶⁵

2.11.5.2 Standardabweichung

Mit der Standardabweichung wird einerseits das Maß für die Abweichung jeder einzelnen Messung vom arithmetischen Mittelwert und andererseits das Maß für die Abweichung der einzelnen Messungen untereinander beschrieben. Grundsätzlich wird die Standardabweichung zu den statistischen Größen der sog. Streuungsparameter³⁶⁶ gezählt.

Für die Berechnung der Standardabweichung wird folgende Formel angewandt:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

- s ... Standardabweichung
- n ... Stichprobenumfang
- i ... Anzahl der Größen
- $x_i - \bar{x}$... Abweichung der Einzelgrößen vom arithmetischen Mittelwert

Formel 2.5: Berechnung der Standardabweichung³⁶⁷

2.11.5.3 Variationszahl

Die sog. Variationszahl errechnet sich aus dem Quotienten der Standardabweichung und dem arithmetischen Mittelwert.

Für die Berechnung der Variationszahl gilt folgende Formel:

$$v [\%] = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$$

- v ... Variationszahl
- s ... Standardabweichung
- \bar{x} ... arithmetischer Mittelwert

Formel 2.6: Berechnung der Variationszahl³⁶⁸

³⁶⁵ VGL. GERHARD, K.: REFA in der Baupraxis - Teil 2 - Datenermittlung. S. 59.

³⁶⁶ Streuungsparameter sind Kennziffern, durch deren Ermittlung eine Aussage über die Verteilung einer Grundgesamtheit um den Mittelpunkt getroffen werden kann.

³⁶⁷ VGL. GERHARD, K.: REFA in der Baupraxis - Teil 2 - Datenermittlung. S. 59.

³⁶⁸ VGL. a.a.O., S. 60.

2.11.5.4 Relativer Vertrauensbereich

Anhand des relativen Vertrauensbereiches wird ausgedrückt, um welches Maß der Mittelwert einer Stichprobe vom wahrscheinlichen Mittelwert der Grundgesamtheit abweicht.

Dieser lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$\varepsilon = \frac{t(S;f)}{\sqrt{n}} \cdot v$$

- ε... relativer Vertrauensbereich
- t(S;f)... Funktionswert aus der Tabelle
- n... Stichprobenumfang
- v... Variationszahl

Formel 2.7: Berechnung des relativen Vertrauensbereiches³⁶⁹

Beispielhaft wird an dieser Stelle die Tabelle mit dem Funktionswert t(S;f) und f (f=f-1) mit einer statistischen Sicherheit von 95% angeführt.

| f | t(S;f) | f | t(S;f) | f | t(S;f) | f | t(S;f) |
|----|--------|----|--------|----|--------|-----|-----------------|
| 1 | 12,71 | 11 | 2,201 | 21 | 2,080 | 40 | 2,021 |
| 2 | 4,303 | 12 | 2,179 | 22 | 2,074 | 50 | 2,009 |
| 3 | 3,182 | 13 | 2,160 | 23 | 2,069 | 60 | 2,000 |
| 4 | 2,776 | 14 | 2,145 | 24 | 2,064 | 80 | 1,990 |
| 5 | 2,571 | 15 | 2,131 | 25 | 2,060 | 100 | 1,984 |
| 6 | 2,447 | 16 | 2,120 | 26 | 2,056 | 200 | 1,972 |
| 7 | 2,365 | 17 | 2,110 | 27 | 2,052 | 500 | 1,965 |
| 8 | 2,306 | 18 | 2,101 | 28 | 2,048 | ∞ | 1,960 = u(S) |
| 9 | 2,262 | 19 | 2,093 | 29 | 2,045 | | |
| 10 | 2,228 | 20 | 2,086 | 30 | 2,042 | | |

Tabelle 2.6: Funktionswerte für die Berechnung der erzielten Genauigkeit nach dem Variationsverfahren³⁷⁰

Für die statistische Auswertung der Multimomentaufnahme muss im Gegensatz zu den bereits beschriebenen Faktoren im Rahmen der Einzelaufnahme, die sog. Multimoment-Hauptformel mit einer statistischen Sicherheit erfüllt werden.

2.11.5.5 Multimoment Hauptformel

Aus dieser Formel lässt sich grundsätzlich die untere und obere Grenze der Anzahl an erforderlichen Beobachtungen errechnen, durch die der vorgegebene Vertrauensbereich tatsächlich erfüllt wird. Die Auswertung erfolgt auf Basis eines Vertrauensbereiches, einer statistischen Sicherheit von 95% und der Anzahl der durchgeführten Beobachtungen.

³⁶⁹ VGL. GERHARD, K.: REFA in der Baupraxis - Teil 2 - Datenermittlung. S. 60.

³⁷⁰ VGL. a.a.O., S. 60.

Für die Berechnung wird folgende Formel herangezogen:

$$f = \pm 1,96 \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}}$$

- f... absoluter Vertrauensbereich
 p... prozentualer Anteil der Ablaufart
 am Gesamtablauf
 n... Stichprobenumfang

Formel 2.8: Multimoment Hauptformel für eine statistische Sicherheit von 95%³⁷¹

Mit Hilfe der beschriebenen Methodenlehre des Arbeitsstudiums nach REFA kann eine detaillierte Zeiterfassung verschiedener Ablaufarten durchgeführt werden. Sowohl mittels Einzelzeit-, als auch Multimomentaufnahmen ist es möglich, nicht nur die eigentliche Arbeitszeit zu erfassen und zu beurteilen, es besteht vielmehr die Möglichkeit, direkt daraus Kalkulationsansätze in Form von Aufwands- und Leistungswerten zu ermitteln.

2.11.6 Aufwands- und Leistungswertermittlung im Holzbau

Aufwandswerte (kurz: AW) werden grundsätzlich aus dem Quotienten der Summe eingesetzter Lohnstunden [Std] und der dabei erzeugten Produktionsmenge bzw. Verrechnungseinheit (kurz: VE) bestimmt.³⁷²

Die Anzahl der Lohnstunden lässt sich aus dem Produkt der Anzahl der Arbeitskräfte und der Anzahl der Arbeitsstunden (Zeitstunden) bestimmen. Eine einzelne Arbeitskraft [AK] leistet in einer Zeitstunde [h] eine Lohnstunde [Std]. Eine Zeitstunde kann aber auch mehrere Lohnstunden beinhalten. Sind bspw. zehn Arbeitskräfte gleichzeitig beschäftigt, resultieren daraus zehn Lohnstunden je Zeitstunde [Std/h].³⁷³

Um aussagekräftige Aufwandswerte ermitteln zu können, müssen alle zu erbringenden Leistungen zeitlich wie auch tätigkeitsbezogen eindeutig abgegrenzt werden.

³⁷¹ VGL. GERHARD, K.: REFA in der Baupraxis - Teil 2 - Datenermittlung. S. 67.

³⁷² VGL. HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. S. 19f.

³⁷³ VGL. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb. S.523.

Der Aufwandswert lässt sich mit Hilfe folgender Formel berechnen:

$$AW_i = \frac{\sum L_{Std}}{VE}$$

AW_i... Aufwandswert [Std/VE]

ΣL_{Std}... Lohnstunden [Std]

VE... Verrechnungseinheit [m², lfm, Stk]

Formel 2.9: Berechnung des Aufwandswertes³⁷⁴

Aufwandswerte haben vor allem aufgrund ihres Einflusses auf die Arbeitsleistung, die Planung des Bauablaufes, die Baustelleneinrichtung und die Baulogistik großen Stellenwert in der Baukalkulation. In der Angebotsphase bilden sie u.a. die Grundlage für die Bauzeit- und die Kostenberechnung. In der Planungsphase wie auch während der Arbeitsvorbereitung werden sie zur Bestimmung des Zeitaufwandes einzelner Tätigkeiten bzw. des gesamten Arbeitsablaufes herangezogen.³⁷⁵

Ein Aufwandswert ist natürlich gerade im Bauwesen keinesfalls als starre Größe anzusehen, da eine Vielzahl von Einflussgrößen existiert, die direkt auf die Leistung und somit auf den Aufwandswert Einfluss haben. Grundsätzlich ist es in jedem Stadium eines Projektes empfehlenswert, das Zusammenspiel der vielen Faktoren einem permanenten Monitoring zu unterziehen, um einen wirtschaftlichen oder auch unprofitablen Aufwandswert und somit einen positiven respektive negativen Projektabschluss erahnen zu können.³⁷⁶

In der Errichtung eines Bauwerkes wird hingegen durch den Leistungswert beschrieben, welche Produktionsmenge bzw. Verrechnungseinheit (kurz: VE) in einer bestimmten ausgewählten Zeiteinheit (kurz: ZE) erzeugt bzw. hergestellt wird.³⁷⁷

Der Leistungswert lässt sich aus dem Quotienten der Anzahl der Arbeitskräfte multipliziert mit der Arbeitszeit und dem spezifischen Aufwandswert ermitteln.³⁷⁸

$$L_i = \frac{AK_{eing} \cdot AZ}{AW}$$

L_i... Leistungswert [VE/ZE]

AK_{eing}... Eingesetzte Arbeitskräfte [Std/h]

AZ... Arbeitszeit [h/ZE]

AW... Aufwandswert [Std/VE]

Formel 2.10: Berechnung des Leistungswertes³⁷⁹

³⁷⁴ VGL. HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. S. 20.

³⁷⁵ VGL. HOFSTADLER, C.: Schalarbeiten-Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation. S. 301ff.

³⁷⁶ VGL. HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. S. 20.

³⁷⁷ VGL. a.a.O., S.18.

³⁷⁸ VGL. a.a.O., S.19.

³⁷⁹ VGL. a.a.O., S.19.

3. Bestandsanalyse im Unternehmen

Dieses Kapitel beginnt mit einer kurzen Vorstellung des untersuchten Unternehmens. Nach einer allgemeinen Darstellung der Vorfertigung wird mit der Beschreibung der betrachteten und analysierten Projekte fortgefahren. Abschließend wird auf die Untersuchung und Auswertung des Fertigungsablaufes beider Bauprojekte näher eingegangen.

3.1 Beschreibung des Unternehmens

Die Zimmerei Sieveke wurde im Jahre 1912 gegründet und hat sich im Laufe der Jahre mit derzeit mehr als 75 Mitarbeitern zu einem der größten Holzbauunternehmen in Deutschland weiterentwickelt.³⁸⁰ Der Sitz des Unternehmens befindet sich in Lohne, einer Stadt im westlichen Niedersachsen.

3.1.1 Allgemeiner Überblick

Als Basis für die Umsetzung komplexer Bauprojekte mit dem Baustoff Holz steht dem Unternehmen neben einer Vielzahl an erfahrenen Mitarbeitern eine Fertigung mit moderner Maschinenausstattung zur Verfügung. Des Weiteren gehört ein eigenständiges Ingenieurbüro zum Unternehmen, welches unterstützend für die Tragwerksplanung diverser Bauvorhaben eingesetzt wird. Durch ständige bauliche und anlagentechnische Erweiterungen, technische Entwicklungen und Innovationen konnte sich der Betrieb über die Jahre hinweg immer wieder erfolgreich an die jeweilige Marktsituation, vor allem in Deutschland, anpassen.³⁸¹

Insbesondere die enge und direkte Zusammenarbeit mit Architekten und Bauherren tragen wesentlich zum Erfolg des Unternehmens Sieveke bei. Das Ergebnis dieser guten und konstruktiven Kooperation sind immer wieder innovative und materialsparende Holzbaulösungen, die nicht nur ästhetische Ansprüche erfüllen, sondern auch den aktuellen technischen Anforderungen entsprechen.³⁸²

Eine weitere große Stärke des Unternehmens liegt in der klaren firmeninternen Strukturierung sowie der gut strukturierten Abarbeitung interner Unternehmensprozesse. Bereits in der Planung des Architekten wird versucht, die vorhandene hausinterne Holzbaustatik-Kompetenz zielge-

³⁸⁰ http://www.sieveke.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=8&Itemid=138, am 28.10.2015 um 10:08 Uhr.

³⁸¹ http://www.sieveke.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=8&Itemid=138, am 28.10.2015 um 10:15 Uhr.

³⁸² http://www.sieveke.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=13&Itemid=149, am 28.10.2015 um 10:22 Uhr

richtet einzubringen. Bereits in der Arbeitsvorbereitung werden mittels modernster 3D-unterstützter Software die zur Konstruktionsplanung zugehörigen Materialflüsse sowie eine detaillierte Termin- und Ablaufplanung erstellt. Aus den digitalisierten Bauwerksplänen des Holzbaus werden auf einfache Weise sog. Werk- und Detailpläne erstellt, welche eine wichtige Grundlage für die Vorfertigung im Werk darstellen. Anhand des hohen Vorfertigungsgrades und der ablaufoptimierten Logistikplanung im Unternehmen erfolgt eine rasche Montage und Abnahme durch erfahrenes Fachpersonal.³⁸³

Der nachfolgenden Abbildung kann ein Luftbild des Holzbaubetriebes entnommen werden.



Abbildung 3.1: Luftbild der Zimmerei Sieveke GmbH³⁸⁴

Wie zu erkennen ist, teilt sich die Fertigung in insgesamt drei Gebäude auf, wobei die längste Fertigungshalle, rechts im Bild (Nr. 3 und Nr. 4), durch eine Trennwand in zwei separate Betriebshallen geteilt ist. Während in den soeben genannten Betriebshallen wie auch in Halle Nr. 2 eine reine Bauteilfertigung abgewickelt wird, findet in Halle Nr. 1 die ge-

³⁸³ http://www.sieveke.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=15&Itemid=115, am 28.10.2015 um 10:32 Uhr

³⁸⁴ http://www.sieveke.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=8&Itemid=102, am 28.10.2015 um 10:33 Uhr.

samte Bauteilvorbereitung statt. Rechts im Bild ist der Bürokomplex abgebildet, in dem auch das bereits genannte Ingenieurbüro untergebracht ist.

3.1.2 Produkte und Bausysteme

Neben den klassischen Produkten im Holzbau, wie dem Holzrahmenbau, der in Deutschland und in dieser Arbeit weiterhin als Holztafelbau benannt wird, zeichnet sich das Unternehmen im Besonderen durch spezielles Know-how im Fassadenbau oder der Errichtung von komplexen Ingenieurholzbauten aus.³⁸⁵

Der nachfolgende Abschnitt beinhaltet eine Beschreibung jener eingesetzten Holzbausysteme und Lösungen, die neben einer geringen Anzahl an Sonderlösungen zum überwiegenden Anteil gefertigt und montiert werden.

3.1.2.1 Holztafelbau

Eine allgemeine technische Beschreibung dieser Bauweise ist dem Kapitel 2.5.1 zu entnehmen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt exemplarisch ein Holztafelelement, das gerade die Vorfertigung des Unternehmens durchläuft.



Abbildung 3.2: Holztafelbaufertigung in der Zimmerei Sieveke GmbH³⁸⁶

³⁸⁵ http://www.sieveke.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=18&Itemid=103, am 28.10.2015 um 10:40 Uhr.

³⁸⁶ http://www.sieveke.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=18&Itemid=103, am 28.10.2015 um 10:47 Uhr.

3.1.2.2 Pfosten-Riegel-Fassaden

Pfosten-Riegel-Konstruktionen bestehen abhängig vom Baustoff vor allem durch ihre äußere filigrane sowie großflächigen Glasfassadenelemente. Die Lastabtragung erfolgt dabei über senkrecht angeordnete sog. Pfosten, an die horizontal positionierte sog. Riegel angeschlossen sind. Die meist aus Glas oder auch Metallpanelen bestehenden Füllungselemente werden durch horizontale und vertikale Pressleisten an der Unterkonstruktion fixiert, die gleichzeitig mit den Pfosten und Riegeln verschraubt sind. Zusätzlich kann durch die Holz- oder auch Stahlkonstruktion vor Bewitterung geschützt und in einigen Fällen die Aussteifung der Elemente übernommen werden.³⁸⁷

3.1.2.3 Hybridbauweise

Ein eher junges Anwendungsspektrum der Zimmerei Sieveke GmbH liegt in der Errichtung von einigen Sonderlösungen, wie bspw. Hybridbauweisen in Form von Holz-Beton-Verbundelementen (kurz: HBV). Durch die Kombination von Holz und Beton werden gezielt die Stärken beider Technologien und Werkstoffe miteinander verbunden. Die Stärke des Unternehmens liegt darin, diese Hybridtechnologie im Zusammenhang mit bereits bewährter Elementbauweise anzubieten, wodurch der Vorfertigungsgrad des Gesamtelements deutlich steigt und die Montagezeiten reduziert werden.³⁸⁸

Abbildung 3.3 zeigt exemplarisch die Bauaufnahme einer Hybridbauweise aus Holz und Beton.

³⁸⁷ http://www.sieveke.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=20&Itemid=119, am 28.10.2015 um 10:55 Uhr.

³⁸⁸ http://www.sieveke.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=22&Itemid=121, am 28.10.2015 um 11:15 Uhr.



Abbildung 3.3: Hybridbauweise der Zimmerei Sieveke GmbH³⁸⁹

3.1.2.4 Ingenieurholzbau

Der klassische Ingenieurholzbau mit all seiner Komplexität zählt seit vielen Jahren zu den besonderen Stärken der Zimmerei Sieveke. Dabei werden die über die Jahre entwickelten und vielfach erprobten Details dieser Bauweise ebenso eingesetzt, wie laufend Erneuerungen und technische Entwicklungen am Objekt erprobt.

Die Komplexität dieser Bauwerke aus Holz ist beispielhaft der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen.



Abbildung 3.4: Ingenieurholzbau der Firma Sieveke GmbH³⁹⁰

³⁸⁹ http://www.sieveke.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=22&Itemid=121, am 28.10.2015 um 11:30 Uhr

³⁹⁰ http://www.sieveke.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=23&Itemid=122, am 28.10.2015 um 11:55 Uhr.

3.1.3 Technische Ausstattung und Produktionssysteme

Für eine reibungslose Abwicklung der genannten Holzbausysteme mit hoher Qualität des Endprodukts wird nicht nur eine große Menge an technischen Fachkenntnissen und Erfahrungen aller Mitarbeiter vorausgesetzt, sondern es müssen vor allem die Produktionssysteme optimal an die zu errichtenden Bauvorhaben und konstruktiven Lösungen abgestimmt sein.

An dieser Stelle sei erneut darauf hingewiesen, dass die Produktionssysteme zur Vorfertigung von Holzrahmenelementen und von verklebten Hohlkasten-Dachelementen im Verlauf dieses Kapitels ausführlicher beschrieben werden. In diesem ersten Abschnitt wird primär darauf Wertgelegt, einen groben Überblick über die vorhandene technische Ausstattung in der Fertigung zu geben. Zudem werden die zugrunde liegenden Produktionssysteme, die sich daraus ableiten lassen und auch ständig Einsatz finden, näher beschrieben.

Im nun folgenden Absatz wird der Produktionsablauf in Teilschritten beschrieben. Wie der Abbildung 3.5 zu entnommen werden kann, ist zu Beginn der Fertigung eine nahezu vollautomatisch arbeitende Zuschnittanlage angeordnet.



Abbildung 3.5: Abbundmaschine K2i (Zimmerei Sieveke GmbH)³⁹¹

Mit dieser Anlage werden alle nachlaufenden Fertigungssysteme mit exakt zugeschnittener Rohware versorgt. Sämtliche Querschnitte mit Abmessungen beginnend von 20x50 mm bis 300x1250 mm in Längen

³⁹¹ http://www.sieveke.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=10&Itemid=111, am 29.10.2015 um 10:09 Uhr.

bis zu max. 14 m können mit Verschnitt optimierten Säge-, Fräs-, Schlitz- und Bohraggregaten millimetergenau bearbeitet werden. Die Informationen zur Ansteuerung der im Holzbau üblichen, sog. Abbundanlage können direkt aus der 3D-Planung der Arbeitsvorbereitung entnommen werden. Durch die direkte Übertragung der Daten aus der vorangegangenen Werkstättenplanung wird ein millimetergenauer Zuschnitt der Rohwaren mit möglichst geringem Fehlerpotential ermöglicht.³⁹²

Auch der Zuschnitt und die Vorbereitung aller erforderlichen Plattenwerkstoffe erfolgt mit einer nahezu vollautomatisch arbeitenden CNC-Anlage, wie es in zahlreichen holzverarbeitenden Unternehmen üblich ist.



Abbildung 3.6: Plattenbearbeitungsmaschine SPM2 (Zimmerei Sieveke GmbH)

Mit Hilfe dieser Plattenbearbeitungsmaschine können die meisten Holzwerkstoffe, wie OSB-³⁹³, Span-, Sperrholz- und Mehrschichtplatten, aber zusätzlich auch Gipskarton-, Gipsfaserplatten und Eternittafeln bis zu einer Stärke von 40 mm bearbeitet werden. Zudem können ebenso Dämmplatten, wie MDF-³⁹⁴, HDF-³⁹⁵ und Holzweichfaserplatten bis 120 mm Stärke mit dieser Anlage zugeschnitten werden. Das maximal zu bearbeitende Plattenformat ist mit 266 mal 6000 mm durch die Größe des Bearbeitungstisches eingeschränkt. Die Beschickung dieser Anlage erfolgt über ein vollautomatisches Flächenlager, oberhalb der Maschine. Die erforderlichen Zuschnittdaten kommen wiederum aus der hausinternen 3D-Planung inklusive sämtlicher erforderlicher Bearbeitungen, wie bspw. Ausklinkungen oder Bohrungen. Zu guter Letzt erhält jede Platte eine aufgedruckte Positionsnummer, damit für den weiteren Verlauf in-

³⁹² http://www.sieveke.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=10&Itemid=111, am 29.10.2015 um 10:22 Uhr.

³⁹³ OSB-Platten (engl.: oriented strand board), sind Holzwerkstoffe, die aus langen, schlanken Spänen hergestellt werden.

³⁹⁴ Die mitteldichte Holzfaserverplatte oder mitteldichte Faserplatte, kurz MDF-Platte, ist ein Holzwerkstoff bzw. eine Faserplatte.

³⁹⁵ Als hochdichte Faserplatte, kurz HDF (engl.: high density fiberboard) wird ein Holzwerkstoff bezeichnet, der aus unter Druck und Hitze verpressten und mit Klebstoff getränkten Holzfasern besteht und dabei besonders hoch verdichtet wurde (Dichte über 800 kg/m³).

nerhalb der Vorfertigung eine eindeutige Zuordnung der Bauteile ermöglicht wird.³⁹⁶

Nachdem die Vorbereitung und Formatierung der stabförmigen und flächenförmigen Bauteile abgeschlossen ist, erfolgt im nächsten Schritt die tatsächliche Vorfertigung der Elemente. Je nachdem, welche Bauweise realisiert wird, kommen unterschiedliche Produktionssysteme zum Einsatz.

Die Fertigung von klassischen, im Holzbau seit Jahrzehnten üblichen, Holzrahmen- bzw. Holztafelelementen, welche vorwiegend als Wand- bzw. Fassadenelementen eingesetzt werden, erfolgt mittels üblicher Anordnung mehrerer, in direkter Verbindung stehender, Arbeitstische. Für den Transport der flächigen Beplankungswerkstoffe steht ein stationärer sog. Vakuumheber zur Verfügung. Die Befestigung erfolgt je nach Plattenwerkstoff mittels Schrauben, Nägeln oder Klammern. Die Einbringung der Dämmstoffe in den Riegelzwischenräumen wird entweder mit eigenen Zellulose-Einblasgeräten oder bei Mineralwolle klassisch per Hand durchgeführt. Die Fertigungsanlage ist so konzipiert, dass der Weitertransport der Elemente von einer Station zur nächsten mittels Rollbahnen bzw. sog. Schmetterlingswendern durchgeführt werden kann.

Abbildung 3.7 zeigt einen Überblick des Fertigungssystems für die Vorfertigung von Holzrahmenelementen im Unternehmen Sieveke.



Abbildung 3.7: Vorfertigung von Holzrahmenelementen (Zimmerei Sieveke GmbH)

Für die Fertigung von verklebten Hohlkasten-Dachelementen stehen zusätzlich zwei im Holzbau typische pneumatische Pressvorrichtungen der Fa. Woodtec Fankhauser³⁹⁷ zu Verfügung. Die Vorfertigung und An-

³⁹⁶ http://www.sieveke.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=10&Itemid=111, am 29.10.2015 um 11:09 Uhr.

³⁹⁷ <http://www.woodtec.ch/>, am 29.10.2015 um 13:24 Uhr.

ordnung der Riegelwerke erfolgt ähnlich wie bei der Vorfertigung von Holzrahmenelementen auf Montagetischen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt das System der Vorfertigung von verklebten Hohlkastenelementen.



Abbildung 3.8: Vorfertigung von verklebten Hohlkasten-Dachelementen (Zimmerei Sieveke GmbH)

Wie bereits zu Beginn dieses Abschnittes erwähnt, erfolgt eine genauere Beschreibung der vorgestellten Produktionssysteme im weiteren Verlauf dieses Kapitels.

3.2 Ziel der Bestandsanalyse

Wie zu Beginn des vorigen Kapitels am Luftbild des Unternehmens zu erkennen ist, setzt sich die Fertigung aus drei getrennten Betriebsgebäuden in Form von klassischen Produktionshallen zusammen, wobei die längste Halle durch eine Zwischenwand in zwei separate Arbeitsbereiche geteilt ist. Aufgrund des über die Jahre vollzogenen kontinuierlichen Firmenwachstums am ursprünglichen Standort konnte die Anordnung der Betriebshallen nicht gemäß einem optimalen Produktionsfluss erfolgen, sondern musste sich primär an die vorhandenen Platzverhältnisse orientieren.

Erschwerend kommt für das Holzbauunternehmen Sieveke hinzu, dass im Laufe der Jahre immer höhere Anforderungen durch die Bauherren bzw. Architekten, bspw. durch technische Entwicklungen im Holzbau, gestellt werden, die einen ständigen Wechsel der Fertigungsprozesse sowie laufende Flexibilität in der Fertigung verlangen.

Um einen Überblick zu bekommen, inwieweit der Markt mit den vorhandenen Anlagen und Gebäuden weiterhin bestmöglich bedient werden kann, werden im Zuge dieser Masterarbeit zwei unterschiedliche Projekte anhand ihrer zugrunde liegenden Produktionssysteme wirtschaftlich untersucht, analysiert und gegenübergestellt.

Im Speziellen wird die Fertigung von klassischen Holzrahmen-Fassadenelementen mit jener Fertigung von verklebten Hohlkasten-Dachelementen gegenübergestellt. Die Auswahl der untersuchten Projekte basiert auf einer vorgesehenen Neugestaltung von zwei Betriebshallen, die zukünftig bestmöglich für diese Art von Aufträgen ausgestattet werden sollen.

Voraussetzung für eine derartige Untersuchung ist eine umfangreiche Datensammlung während der Fertigung. Da es sich um zwei grundlegend verschiedene Produktionssysteme handelt, müssen bereits im Vorfeld ähnlich ablaufende Tätigkeiten und Aktivitäten kombiniert bzw. zusammengefasst werden, sodass ein späterer Vergleich möglich ist. Aus diesen gesammelten Daten lassen sich im Anschluss, vor allem für die Kalkulationsabteilung grundlegende, sog. Aufwandswerte ermitteln, die einerseits für die spätere Gegenüberstellung beider Systeme von entscheidender Bedeutung sind, andererseits für die Kalkulation ähnlicher Projekte künftig die Datenbasis bilden. Die Ergebnisse werden so aufbereitet, dass nicht nur ein direkter Vergleich ermöglicht wird, sondern auch Schwachstellen und Potentiale im Fertigungsprozess, wie bspw. in Form von Tätigkeits- oder Zeitkurven, angezeigt werden. Für die eigentliche Analyse des Fertigungsablaufes werden u.a. Personal- sowie Materialflüsse und Geräteeinsätze während der Fertigung systematisiert und auf einer wissenschaftlich anerkannten Methode aufbauend erhoben, durch welche Unterschiede und Ähnlichkeiten, aber auch Schwachstellen und vorhandene Potentiale im Arbeitsprozess aufgezeigt werden. Anhand

der gesammelten Daten und Ergebnisse aus der Gegenüberstellung sollen Lösungsvorschläge für die Optimierung bzw. Neugestaltung der Betriebshallen durch Umorganisation ausgearbeitet werden, die einen optimierten Prozessablauf der untersuchten Fertigungssysteme abbilden.

3.3 Allgemeine Beschreibung der untersuchten Projekte

In Summe wurden zwei gänzlich verschiedene Projekte mit unterschiedlichen zugrunde liegenden Produktionssystemen untersucht.

Das Projekt A beinhaltet die Fertigung und Montage von Holzrahmen-Fassadenelementen für einen Schulerweiterungsbau in München.

Das Projekt B besteht aus der Errichtung einer Dachfläche mit verklebten Hohlkastenelementen für einen neu zu errichtenden Verbrauchermarkt in Oldenburg, Niedersachsen.

3.3.1 Projekt A

Das Projekt A umfasst den Zubau eines bestehenden Schulgebäudes mit einer mittelgroßen Aula, einer Bibliothek, einem Mehrzweckraum, sowie Fachklassen für Physik, Biologie und Chemie an einem musikalischen Gymnasium in München.

Insgesamt wurden rund 500 m² Außenwand-Fassadenelementen für die Aula und weitere 1600 m² für den gesamten Klassentrakt durch das Unternehmen Sieveke gefertigt und montiert.

In der nachfolgenden Darstellung im Lageplan ist das Gesamtausmaß der Schulerweiterung gekennzeichnet.

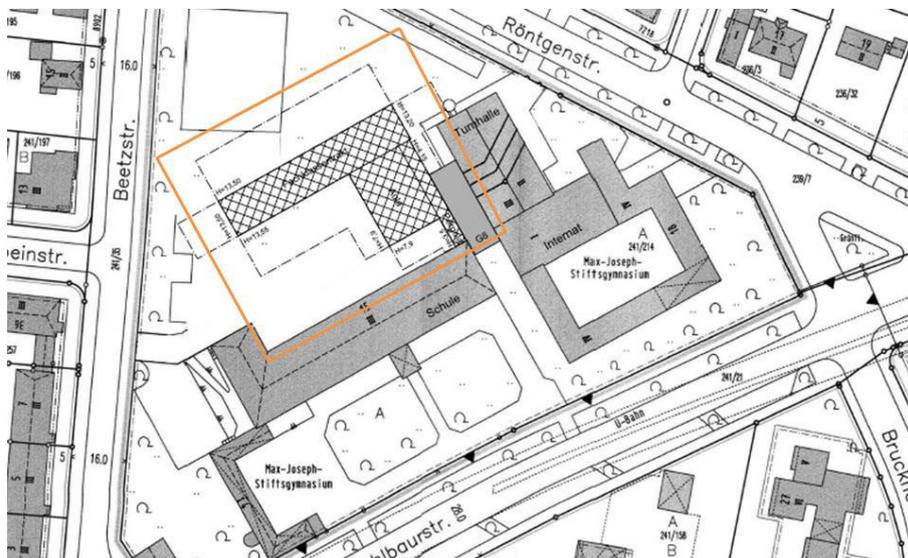


Abbildung 3.9: Lageplan (Projekt A)³⁹⁸

Wie bereits erwähnt, wurden die Fassadenelemente mit hohem Vorfertigungsgrad im Werk in Lohn hergestellt und anschließend im rund 700

³⁹⁸ Diezinger Architekten GmbH.

km entfernten München montiert. Der Querschnittsaufbau dieser Bauteile richtet sich nach den gesetzlichen bauphysikalischen Vorgaben von Bayern und kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

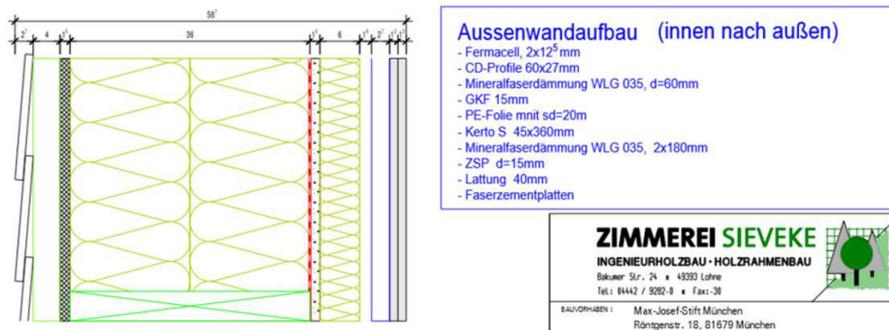


Abbildung 3.10: Außenwandaufbau (Projekt A)³⁹⁹

An dieser Stelle sei ergänzt, dass sich der Aufbau der Bauteile an unterschiedlichen Stellen im Gebäude geringfügig ändert bzw. den vorliegenden Gegebenheiten angepasst wurde. Dies betrifft vor allem die Stärke des Dämmstoffs und die Ausrichtung der außenliegenden Fassadenschicht.

In der nachfolgenden Abbildung ist zu erkennen, dass eine sog. Stülp-schalung aus Faserzementplatten lediglich in den oberen beiden Geschossen eingesetzt wurde. Im Erdgeschoss wurden die Fassadenplatten liegend verbaut.



Abbildung 3.11: Geplantes Erscheinungsbild (Projekt A)⁴⁰⁰

³⁹⁹ Diezinger Architekten GmbH; Zimmerei Sieveke GmbH.

⁴⁰⁰ Diezinger Architekten GmbH.

Eine firmenspezifische Besonderheit besteht darin, die Elemente nicht wie sonst üblich geschossweise horizontal, sondern über die gesamte Bauwerkshöhe in vertikaler Anordnung einzubauen. Durch dieses System ergeben sich vor allem Vorteile in der Transportlogistik, die zu einer Beschleunigung der Montagezeit führen.

Abbildung 3.12 zeigt die Montage der vertikal angeordneten, bauwerks-hohen Fassadenelemente vor Ort.



Abbildung 3.12: vertikaler Einbau der Elemente auf der Baustelle (Projekt A)⁴⁰¹

3.3.2 Projekt B

Im Falle des Projektes B handelt es sich um den Neubau eines unkonventionellen Verbrauchermarktes des Unternehmens aktiv&irma⁴⁰². In Summe weist das Projekt eine Gesamtnutzfläche von 3400 m² auf, wobei rund 2300 m² direkt für den Verkauf von Waren bestimmt sind. Abbildung 3.13 zeigt eine Visualisierung der zukünftigen Hauptansicht des Verbrauchermarktes in Kreyenbrück, DE.

⁴⁰¹ Zimmerei Sieveke GmbH.

⁴⁰² www.aktiv-irma.de, am 29.10.2015 um 18:04 Uhr.



Abbildung 3.13: Visualisierung Verbrauchermarkt aktiv&irma (Projekt B)⁴⁰³

Das Ausmaß des Bauvorhabens kann dem Lageplan der nachfolgenden Abbildung 3.14 entnommen werden.

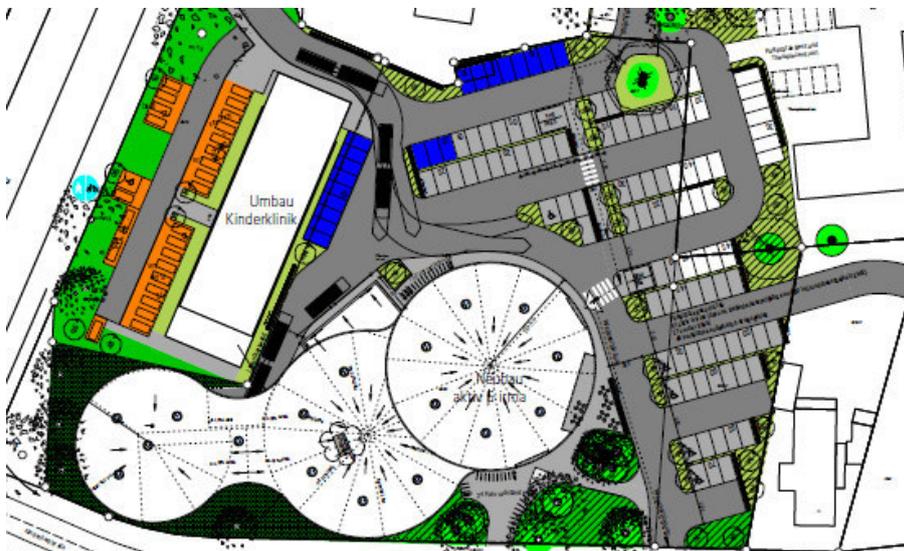


Abbildung 3.14: Lageplan (Projekt B)⁴⁰⁴

Bei der Umsetzung dieses Projektes kommen zwei unterschiedliche Bauweisen zum Einsatz. Die tragenden und durchgehend gekrümmten Wandscheiben werden aus massivem Stahlbeton hergestellt, wie der Abbildung 3.15 zu entnehmen ist.

⁴⁰³ neun grad architektur gmbh.

⁴⁰⁴ neun grad architektur gmbh.



Abbildung 3.15: Stahlbetonarbeiten (Projekt B)⁴⁰⁵

Die Dachkonstruktion setzt sich hingegen aus tragenden Brett-schicht-holzträgern in Kombination mit verklebten Hohlkastenelementen zusammen. Der Aufbau dieser eher speziellen Konstruktion kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

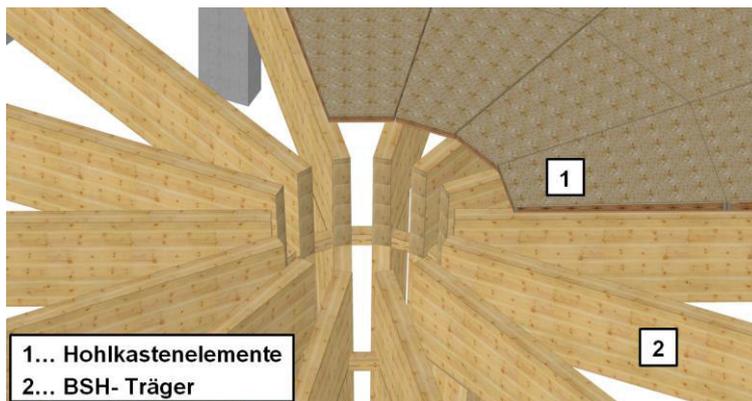


Abbildung 3.16: 3D-Holzbauplanung der Hohlkastenelemente auf Brett-schicht-holzträgern (Projekt B)⁴⁰⁶

Die in Abbildung 3.16 dargestellten Hohlkastenelemente wurden zur Gänze von der Zimmerei Sieveke gefertigt. Eine grundlegende Anforderung bestand darin, die Unterseite der Elemente in Form einer durchgängigen sichtbaren Holzoberfläche zu gestalten. Aus diesem Grund konnte nicht wie des Öfteren bei derartigen Konstruktionen üblich, auf im Holzbau typischerweise eingesetzte Verbindungsmittel, wie Schrauben, Nägel oder Klammern zurückgegriffen werden. Zur Befestigung der Sichtplatten musste ein geprüftes Klebstoffsystem eingesetzt werden, das eine kraftschlüssige Verbindung der Elemente gewährleistet. Insgesamt wurden auf diese Weise rund 2400 m² Dachelemente erzeugt.

⁴⁰⁵ <http://www.luftbildblogger.de/12883/gelände-kinderklinik-kreyenbruck-aktiv-irma/>, am 29.10.2015 um 18:23 Uhr

⁴⁰⁶ Zimmerei Sieveke GmbH.

Aufgrund der speziellen Geometrie der Dachfläche müssen die einzelnen Hohlkastenelemente mit unterschiedlichen Abmessungen trapezförmig gefertigt werden. Zusätzlich kommt noch durch die vorgesehene Regenwasserableitung von der Dachfläche erschwerend hinzu, dass die Bauteilhöhen der Dachelemente von außen nach innen hin abnehmen. In der nachfolgenden 3D-Darstellung werden die beschriebenen Besonderheiten grafisch dargestellt. Zur besseren Übersichtlichkeit wurde eines dieser untersuchten Hohlkastenelemente fett umrandet.

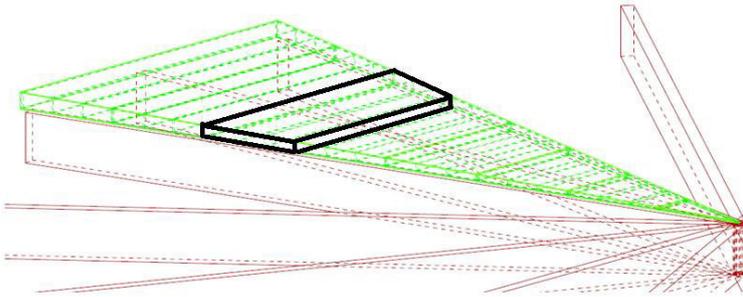


Abbildung 3.17: Darstellung der Dachelemente (Projekt B)⁴⁰⁷

⁴⁰⁷ Zimmerei Sieveke GmbH.

3.4 Vorfertigung im Unternehmen

Dem nachfolgenden Abschnitt ist das allgemeine Verständnis bzw. die unternehmensspezifische Sichtweise von Vorfertigung zu entnehmen.

3.4.1 Definition Vorfertigung im Unternehmen

Grundlegend wird unter dem Begriff der Vorfertigung die Errichtung von großformatigen, beidseitig geschlossenen Elementen mit optionaler Ausstattung verstanden. Hinter dem Begriff der Ausstattung verbergen sich neben Grundelementen, wie bspw. Dämmstoffen oder auch Innen- und Außenbeplankungen, vor allem diejenigen Komponenten, die den Fenster- bzw. Fassadeneinbau betreffen oder aber auch Elemente, die mit Wasser-, Abwasser-, Elektro- sowie Lüftungsanlagen in Verbindung gebracht werden können.

Für die Zimmerei Sieveke bedeutet Vorfertigung zudem, dass durch die Herstellung und Vorkonfektionierung der Bauteile im Werk der Großteil der Wertschöpfung im eigenen Unternehmen und somit auch in der Region bleibt.

3.4.2 Unternehmensziele durch Vorfertigung

Das primäre Unternehmensziel im Zusammenhang mit der Vorfertigung besteht eindeutig in der Erreichung eines möglichst hohen Vorfertigungsgrades. Dieser trägt nicht nur zur Verkürzung der Bauzeit bei, zusätzlich entsteht ein großes Potential in Bezug auf die entstehenden Kosten bzw. einer möglichen Reduktion dieser. Durch den Einsatz von teil- bis vollautomatisierten Produktionsanlagen können Bauteile präzise und verschnittoptimiert gefertigt werden. Dies führt auch zur Erreichung einer optimalen Qualität der Endprodukte. Außerdem besteht durch die Vorfertigung geringes unvorhersehbares Wetterisiko. In der Montage kann zudem eine höhere Arbeitssicherheit ermöglicht werden, da gefährlich einzustufende Arbeiten unter kontrollierten Bedingungen bereits in der Produktion durchgeführt werden. Anhand der Vorfertigung im Werk kann der Wert einer einzelnen LKW-Ladung gesteigert werden. Gleichzeitig wird auf der Baustelle weniger Platz zur Lagerung zahlreicher Bau- und Hilfsstoffe in Anspruch genommen. Je höher der Vorfertigungsgrad im Unternehmen ausfällt, umso geringer ist auch die Logistik an der Einbaustelle. Dies kann bspw. anhand der Montage der Fassadenebene erklärt werden:

Im Werk können die Bestandteile einer Fassade meist liegend ohne großen Aufwand an der vorgesehenen Arbeitsstation angebracht werden. Auf der Baustelle hingegen kann dieser gleiche Arbeitsschritt jedoch nur unter aufwändiger Logistik mit unterschiedlichen Hebezeugen durchge-

führt werden, was deutlich höhere Lohn- und Gerätekosten erzeugt sowie höhere Sicherheitsmaßnahmen erfordert.

Abschließend sei erwähnt, dass durch die Vorfertigung der Elemente im Werk die Baustellengemeinkosten aufgrund der kürzeren Bauzeit und der geringeren Einrichtung deutlich gesenkt werden können. Durch den Vorteil einer schnelleren Montage werden nicht nur die direkten Lohnstunden auf der Baustelle geringer, sondern auch Kosten, die bspw. durch den Einsatz von Kranen, Containern, Magazine im Rahmen der allgemeinen Baustelleneinrichtung anfallen.

3.4.3 Arbeitsvorbereitung im Rahmen der Vorfertigung

In der Zimmerei Sieveke wird viel Wert auf eine ausführliche, umfangreiche und bis ins Detail durchüberlegte Arbeitsvorbereitung gelegt. Vor dem tatsächlichen Beginn der Bauarbeiten erfolgt eine gänzlich digitale, dreidimensionale Darstellung des herzustellenden Objektes. Anhand dieser digitalen Gebäudemodellierung können bereits vor Baubeginn mögliche Unklarheiten aufgezeigt und in weiterer Folge frühzeitig beseitigt werden. Der nächste Schritt der Arbeitsvorbereitung besteht in der Erstellung eines detaillierten Terminplanes mit der einhergehenden Planung der eigentlichen Vorfertigung. An dieser Stelle wird bereits die Produktionshalle am Firmenareal festgelegt, in der die Vorfertigung stattfinden wird. Außerdem werden zu diesem Zeitpunkt Überlegungen zur Anzahl der Arbeitskräfte sowie zur Taktung der einzelnen Arbeitsschritte angestellt, die an die vorhandene Halleneinrichtung anzupassen sind. In einzelnen Fällen muss daher die Halleneinrichtung an die Umstände bzw. Besonderheiten des Projektes angepasst und teilweise auch umgebaut werden. Die tatsächliche Vorfertigung der einzelnen Elemente wird mit den Fertigungsaufträgen aus dem digitalen Produktionsmodell abgewickelt. Diese Fertigungsaufträge beinhalten zum einen die gesamten Werk- und Detailpläne zur Ansteuerung der CNC-Anlagen und zum anderen eine Vielzahl an Plänen für den Zusammenbau der Elemente. Zudem werden bereits im Vorfeld Verladelisten und Montagepläne für einen reibungslosen Bauablauf erstellt.

Abschließend sei erwähnt, dass konsequenterweise auch die Montageplanung in gewisser Weise Einfluss auf die Fertigung der Elemente in der Produktion nimmt. Hierbei wird besonders darauf Bedacht genommen, dass die Anschlagmittel zum Versetzen der Elemente auf der Baustelle im Zuge der Vorfertigung den Platzverhältnissen bzw. den Montagemöglichkeiten angepasst werden.

3.4.4 Vorfertigungsgrade in den einzelnen Unternehmensbereichen

Die Vorfertigungsgrade im Unternehmen sind stark vom eingesetzten Produktionssystem abhängig. Da im Zuge dieser Arbeit einerseits die Vorfertigung von Fassaden-Wandbauteilen und andererseits die Fertigung von verklebten Hohlkasten-Dachelementen untersucht wird, sind im folgenden Abschnitt die Vorfertigungsgrade dieser beiden Bausysteme im Speziellen näher beschrieben.

Grundlegend wird der Vorfertigungsgrad in Form einer Prozentzahl ausgegeben. Als Bezugsgrößen können hierfür sowohl Fertigungsstunden, als auch Materialkosten definiert werden.

In der Fertigung von Wandelementen hängt der Vorfertigungsgrad primär davon ab, ob die letzte Fassadenschicht, also die Schichtebene Hülle, im Werk oder vor Ort eingebaut wird. Dies lässt sich dadurch begründen, da der Aufbau einzelner Elemente weitestgehend standardisiert ist.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Bandbreite der Vorfertigungsgrade des Unternehmens Sieveke bezugnehmend auf die Gesamtheit der anfallenden Fertigungsstunden angeführt.

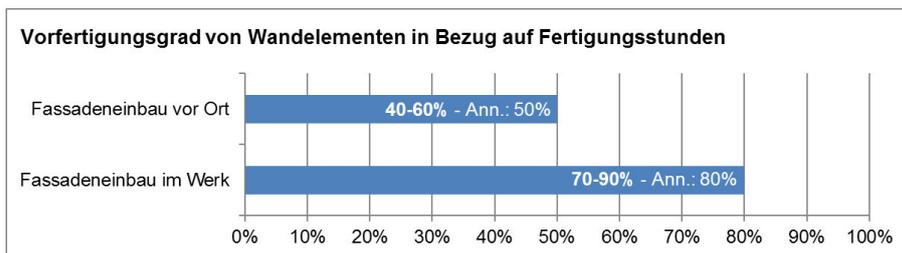


Abbildung 3.18: Vorfertigungsgrad von Wandelementen bezugnehmend auf die Fertigungsstunden (Zimmerei Sieveke GmbH)⁴⁰⁸

Wie der Abbildung 3.18 zu entnehmen ist, liegt der Vorfertigungsgrad lediglich zwischen 40-60%, wenn die letzte Schicht der Fassade erst auf der Baustelle angebracht wird. Wird die Fassade jedoch bereits im Werk vormontiert, kann der Vorfertigungsgrad auf bis zu 90% gesteigert werden.

Wie bereits erwähnt, können dem Vorfertigungsgrad neben den Fertigungsstunden auch die anfallenden Materialkosten zu Grunde gelegt werden.

⁴⁰⁸ Zimmerei Sieveke GmbH; Dr.-Ing. Sebastian Hollermann.

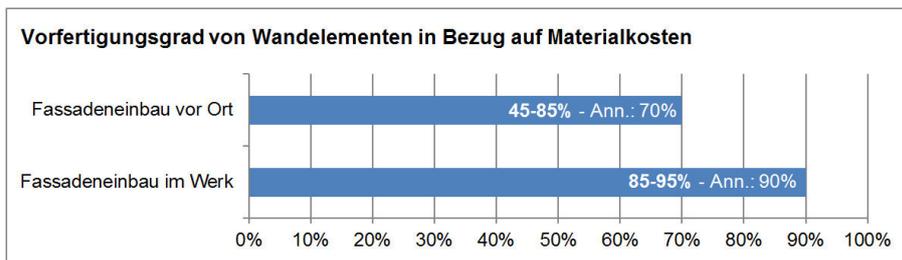


Abbildung 3.19: Vorfertigungsgrad von Wandelementen bezugnehmend auf die Materialkosten (Zimmerei Sieveke GmbH)⁴⁰⁹

In Abbildung 3.19 ist ersichtlich, dass der Vorfertigungsgrad beim Einbau vor Ort stark variieren kann, was auf den eigentlichen Wert der Materialien in der Fassadenebene zurückzuführen ist. Handelt es sich um eine kostspielige, aufwändige Fassade mit teuren Materialien, wie bspw. Kupfer, Lochblech, etc. ist der Vorfertigungsgrad der Gesamtelemente im Werk eher niedrig und beträgt max. 45%. Bei günstigen Fassadenmaterialien, wie bspw. Putzträgersysteme liegt dieser deutlich höher und kann bis zu 85% betragen. Bei einem Einbau im Werk ist somit die Bandbreite des Vorfertigungsgrades deutlich geringer, weil die Fassadenebene im Werk aufgebracht wird.

Im Falle des zweiten betrachteten Fertigungssystems handelt es sich um die Vorfertigung von Hohlkasten-Dachelementen. Wiederum werden dem Vorfertigungsgrad sowohl die Fertigungsstunden, als auch die Materialkosten zu Grunde gelegt.

Im Unterschied zur Fertigung der Wandelemente handelt es sich bei der Vorfertigung von Hohlkastenelementen immer um den gleichen Aufbau der Elemente, welche aus dem Tragsystem mit innen- und außenliegender Beplankung bestehen. Eine Unterscheidung in Bezug auf den Einbau einer Ebene vor Ort bzw. im Werk gibt es bei dieser Bauweise nicht.

Abschließend werden in den nachfolgenden Grafiken die Vorfertigungsgrade bezogen auf Fertigungsstunden und Materialkosten dargestellt.

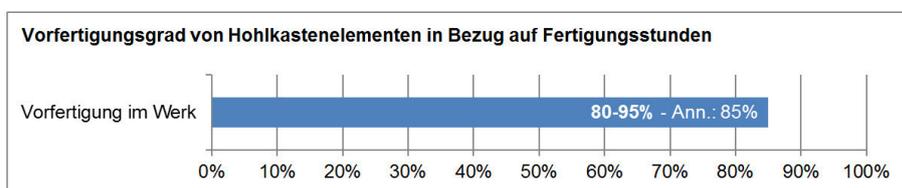


Abbildung 3.20: Vorfertigungsgrad von Hohlkastenelementen bezugnehmend auf die Fertigungsstunden (Zimmerei Sieveke GmbH)⁴¹⁰

⁴⁰⁹ Zimmerei Sieveke GmbH; Dr.-Ing. Sebastian Hollermann.

⁴¹⁰ Zimmerei Sieveke GmbH; Dr.-Ing. Sebastian Hollermann.

Wie anhand von Abbildung 3.20 erkennbar ist, beträgt der Vorfertigungsgrad im Falle der Herstellung von Hohlkastenelementen bezogen auf die Fertigungsstunden bis zu 95%.

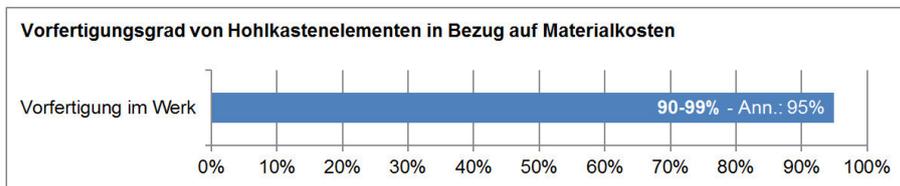


Abbildung 3.21: Vorfertigungsgrad von Hohlkastenelementen bez. Materialkosten (Zimmerei Sieveke GmbH)⁴¹¹

Abbildung 3.21 zeigt, dass der Vorfertigungsgrad von Hohlkastenelementen in Bezug auf die Materialkosten sogar bis auf 99% ansteigen kann, da auf der Baustelle lediglich Verbindungsmittel zur Befestigung der Elemente auf der Unterkonstruktion hinzukommen.

3.4.5 Technische Randbedingungen

Eine optimale Vorfertigung im Werk ist hauptsächlich durch die Einhaltung einer Vielzahl an technischen Randbedingungen geprägt.

Dazu zählt bspw. die Schaffung eines optimalen Arbeitsumfeldes in der Produktion. Durch den Einsatz von softwareunterstützten Fertigungsanlagen bzw. der Vernetzung dieser Anlagen untereinander kann sowohl die Fertigungsgenauigkeit, als auch die zugrunde liegende Produktivität in der Vorfertigung deutlich erhöht werden.

Als durchschnittliche Normal-Produktivität wird die menschliche Arbeitsproduktivität bezeichnet, die von jeder hinreichend geeigneten Arbeitskraft nach ausreichender Einübung und Einarbeitung ohne Gesundheitschädigung auf Dauer im Durchschnitt erreicht bzw. erwartet werden kann, wenn die vorgegebenen Zeiten für persönliche und ggf. erholungsbedingte Bedürfnisse eingehalten werden.⁴¹²

Zudem muss dafür gesorgt werden, dass die einzelnen Arbeitsplätze mit der richtigen Auswahl und der ausreichenden Anzahl an Werkzeugen ausgestattet sind. In den Produktionsstätten muss außerdem auf die Abmessungen der erforderlichen und vorhandenen Arbeitsräume bzw. Krankkapazitäten Acht gegeben werden. Dies gilt sowohl im Falle der unformatierten Rohmaterialien, als auch für die maximalen Endformate einzelner Elemente. Nicht nur die Größe der eigenen Betriebshallen ist für die maximalen Formate der endgültigen Elemente ausschlaggebend.

⁴¹¹ Zimmerei Sieveke GmbH; Dr.-Ing. Sebastian Hollermann.

⁴¹² VGL. HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb. S. 524.

Diese werden vor allem durch die geltende Straßenverkehrsordnung bzw. den vorhandenen Transportmöglichkeiten vorgegeben.

Für eine gut funktionierende und kostensparende Vorfertigung im Werk sei abschließend die Wichtigkeit einer fundierten Ausbildung bzw. Qualifikation der eigenen Mitarbeiter und Fachkräfte genannt. Das handwerkliche Geschick oder auch die Fähigkeit Pläne richtig lesen und verstehen zu können beeinflussen den Arbeitsablauf maßgebend.

3.4.6 Analysierte Prozessabläufe

Im Wesentlichen setzt sich der Prozess der Vorfertigung in der Zimmerei Sieveke aus drei unterschiedlichen Teilprozessen zusammen:⁴¹³

- Vorbereitungsprozess der Rohmaterialien
- Montageprozess bis zum fertigen Element
- Verladeprozess auf das Transportmittel

Der Vorbereitungsprozess der Rohmaterialien beinhaltet den projektspezifischen Zuschnitt der Rohmaterialien für den nachfolgenden Montage- oder auch Herstellungsprozess. Im Gegensatz zum Vorbereitungsprozess wird der Montageprozess immer der jeweiligen Bauweise, respektive den individuellen Projektbesonderheiten angepasst. Dieser beinhaltet im Wesentlichen den Zusammenbau aller Einzelbauteile aus dem Vorbereitungsprozess. Im Zuge dieser Arbeit werden der Zusammenbau von Fassadenelementen sowie die Fertigung von Hohlkastenelementen näher untersucht. Hierbei gilt es u.a. die Schwachstellen bzw. Potentiale in den vorliegenden Produktionsabläufen zu finden. Eine genaue Beschreibung des Vorfertigungsprozesses beider Bausysteme erfolgt im weiteren Verlauf dieses Kapitels. Den Abschluss des Vorfertigungsprozesses bildet die Verladung der Elemente auf das gewählte Transportmittel. Als nachfolgende Prozesse können der Prozess der Baustellenmontage und der Prozess der Abnahme genannt werden.

⁴¹³ Zimmerei Sieveke GmbH; Dr.-Ing. Sebastian Hollermann.

3.5 Vorfertigung Projekt A

Wie bereits in Kapitel 3.4.1 erwähnt, umfasst das Projekt A die Schulerweiterung eines musikalischen Gymnasiums in München. Insgesamt wurde dafür rund eine Fläche von 2100 m² an Fassadenelementen vorgefertigt und montiert.

Im nachfolgenden Abschnitt wird detailliert auf die Vorfertigung dieser Elemente im Unternehmen eingegangen.

3.5.1 Eingesetztes Fertigungssystem

Das eingesetzte Fertigungssystem setzt sich beim vorliegenden Projekt A aus mehreren Komponenten zusammen. Die Aufteilung der einzelnen Arbeitsstationen bzw. die Abfolge der Arbeitsschritte entsprechen in erster Linie dem Aufbau der Elemente. Dieser besteht im Wesentlichen aus einer Tragkonstruktion aus Holz mit zwischenliegender Dämmung, einer oberen und unteren Beplankung sowie einer Unterkonstruktion für eine hinterlüftete Fassade. Die Herausforderung besteht darin, sowohl den Einbau der Fenster, der Umrahmung, sog. Fensterfaschen⁴¹⁴ wie auch die Montage der Rollkästen im Werk unterzubringen. Der Aufbau dieser Elemente inkl. der Darstellung des Fensterdetails mit allen Anschlüssen kann der nachfolgenden Darstellung des Bauteilschnittes entnommen werden.

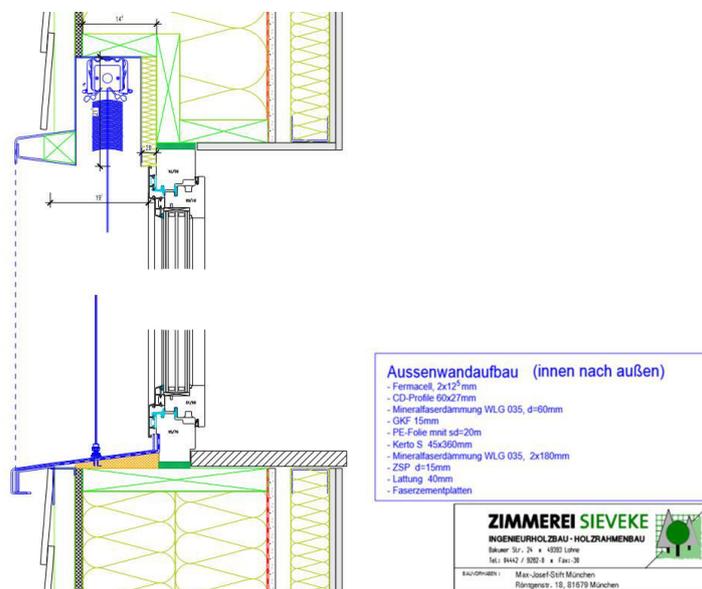


Abbildung 3.22: Fassadenaufbau mit Fensterdetail (Projekt A)⁴¹⁵

⁴¹⁴ Als Fensterfaschen werden Fensterumrahmungen in der Außenfassade bezeichnet. Diese Fassadenprofile werden um das Fenster herum angebracht und dienen zum vielseitigen Schutz der darunter befindlichen Baustoffe.

⁴¹⁵ Zimmerei Sieveke GmbH.

Prinzipiell handelt es sich beim verwendeten Fertigungssystem um eine im Holzbau als klassisch zu bezeichnende Fertigungsstraße für den Holzrahmenbau. Der Ablauf setzt sich im Wesentlichen aus der Anordnung von Arbeitstischen im speziellen Bezug untereinander zusammen. Mittels sog. Schmetterlingswender kann auf einfache Weise der Zugang zu beiden Elementseiten hergestellt werden.



Abbildung 3.23: Schmetterlingswender (Projekt A)

Für das Auflegen der inneren Beplankung steht ein stationärer Vakuumheber zur Verfügung. Aufgrund dieser Vorrichtung wird keine zusätzliche Kranbindung durch diesen häufig anfallenden Arbeitsschritt verursacht.

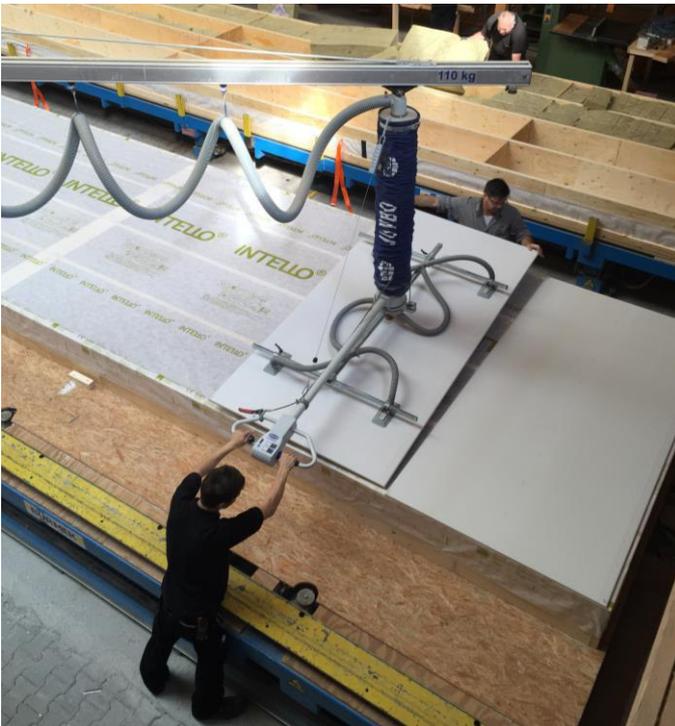


Abbildung 3.24: Hebergerät für die Beplankung (Projekt A)

Die Einbringung der Dämmstoffbahnen erfolgt per Hand. Der Längenzuschnitt dieser Materialien wird mit einer entsprechenden Zuschnittvorrichtung abgewickelt.



Abbildung 3.25: Zuschnitt der Dämmstoffbahnen (Projekt A)

Sowohl die Aufbringung der äußeren Beplankung, als auch der Einbau der Fenster wird kranunterstützt durchgeführt. Das Versetzen der Einzelteile erfolgt in beiden Fällen mittels mobiler Saugereinheit in Form eines Kranaufsatzes.

Für die endgültige Verladung der Elemente ist ebenso der Hallenkran als Arbeitsinstrument vorgesehen. Wie anhand von Abbildung 3.26 erkennbar ist, werden die Elemente auf einer speziellen Wechselladevorrichtung, einem sog. Flat⁴¹⁶, zwischengelagert. Die Besonderheit dieser Flats besteht darin, dass die Elemente bereits auf jener Höhe und Position gelagert werden, in der sie in späterer Folge direkt vom Transportmittel aufgenommen werden können.

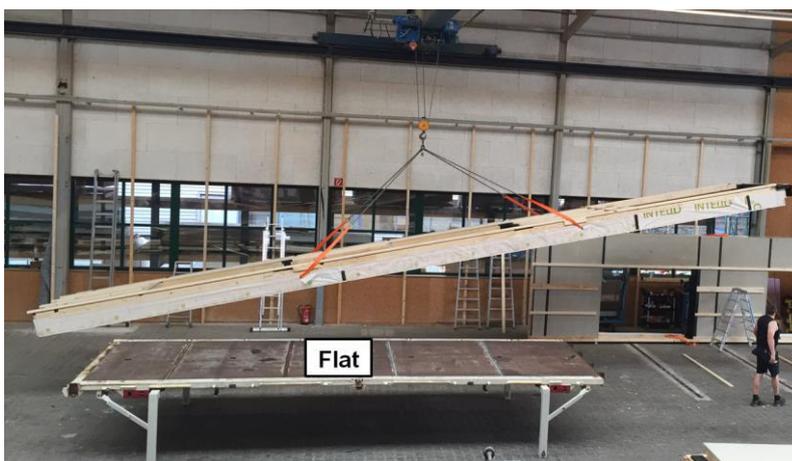


Abbildung 3.26: Verladung Elemente (Projekt A)

⁴¹⁶ Als Flat wird eine spezielle Wechselladeeinrichtung ohne Seitenwände bezeichnet, welche zur Lagerung bzw. zum Transport von Gütern eingesetzt wird.

Die Materialanlieferungen werden aufgrund der unterschiedlichen Anordnung und räumlichen Distanz zwischen den vorhandenen Betriebs-hallen überwiegend mit mobilen Hubgeräten oder im Falle von Kleinteilen mittels Schubkarren durchgeführt.



Abbildung 3.27: Materialanlieferung (Projekt A)

3.5.2 Arbeitsvorbereitung zur Vorfertigung

Wie bereits im Kapitel 3.4.3 erwähnt, wird jedes Projekt intensiv und detailliert vorgeplant sowie virtuell errichtet, um im Anschluss real errichtet werden zu können. Auch bei diesem Projekt wurde noch vor dem tatsächlichen Beginn der Ausführungsarbeiten eine zwei- bzw. dreidimensionale Planung in digitaler Form erstellt.



Abbildung 3.28: Digitalisierung (Projekt A)⁴¹⁷

⁴¹⁷ Diezinger Architekten GmbH.

Aus den Inhalten des digitalen Gebäudemodells können u.a. jene Grundlagen erstellt werden, die für die Ansteuerung der CNC-Maschinen als Programme notwendig sind. Während dieses Arbeitsschrittes wird außerdem jedes Element mit der zugehörigen Nummer aus der Planung versehen, um in weiterer Folge eine klar strukturierte und schnelle Fertigung der Bauteile zu ermöglichen.



Abbildung 3.29: Bauteilbeschriftung (Projekt A)

Zusätzlich werden aus dem digitalen Modell auch die für die Baustelle notwendigen Montagepläne erstellt, die einen systematischen Aufbau der Elemente beinhalten.

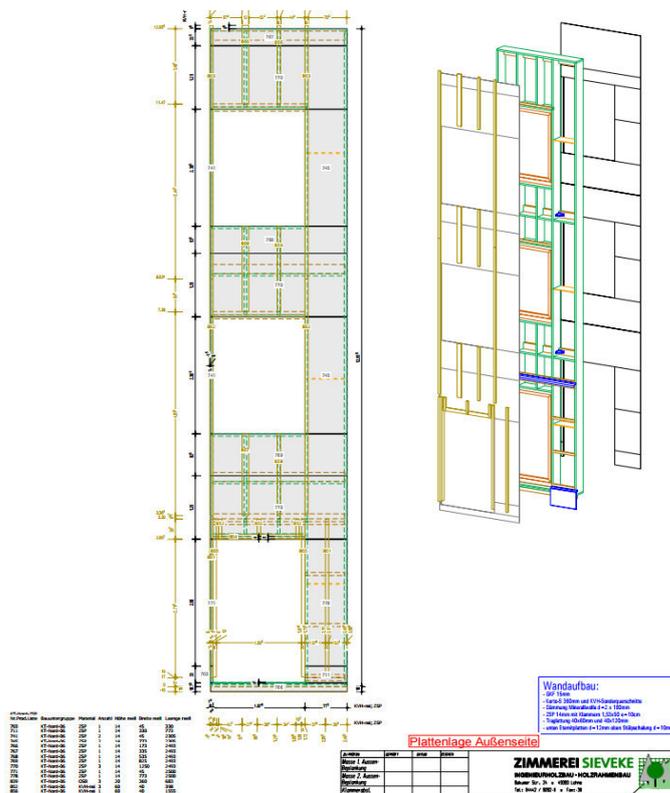
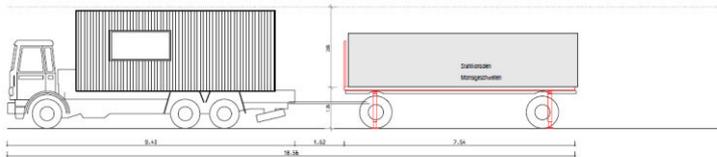


Abbildung 3.30: Montageplan (Projekt A)⁴¹⁸

⁴¹⁸ Zimmerei Sieveke GmbH.

Gleichzeitig werden bereits im Vorfeld zur Fertigung die Transportlisten erstellt, welche eine genaue Reihenfolge der Elemente samt Verladeanordnung beinhalten. In der nachfolgenden Abbildung ist beispielhaft der Verladeumfang der ersten beiden Transporte dargestellt.

Transport Nr.1: Container und Erstmaterial am 24.08.2015 auf Baustelle



Transport Nr.2: Wandelemente Klassentrakt am2015 auf Baustelle

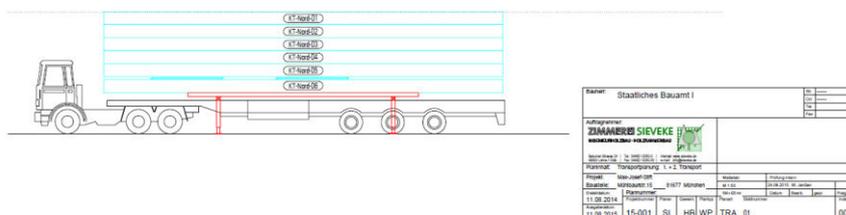


Abbildung 3.31: Transportliste (Projekt A)⁴¹⁹

Zusätzlich wird die geeignete Betriebshalle definiert und der Arbeitsablauf an die vorhandenen Maschinen angepasst. In diesem Schritt werden bereits frühzeitig Überlegungen zur Anzahl der Mitarbeiter sowie zur Taktung der einzelnen Arbeitsschritte angestellt.

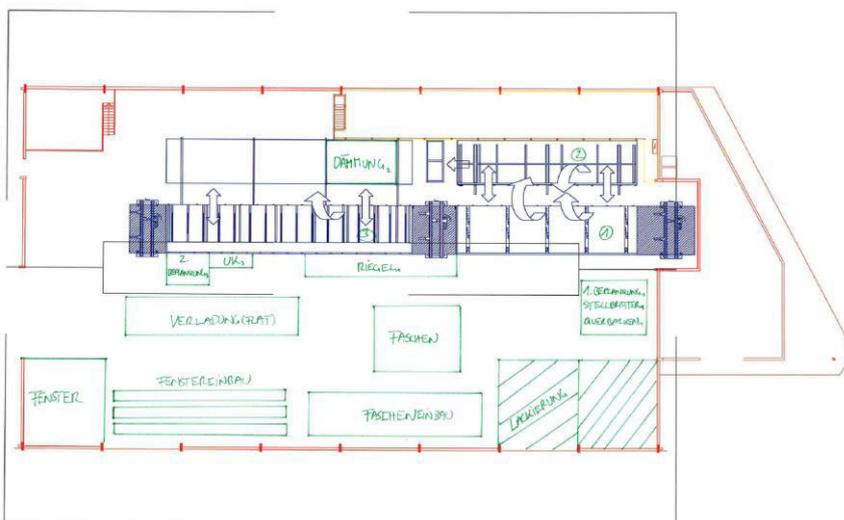


Abbildung 3.32: Halleinrichtungsplan (Projekt A)⁴²⁰

⁴¹⁹ Zimmerei Sieveke GmbH.

⁴²⁰ Zimmerei Sieveke GmbH.

Eine detaillierte Beschreibung des Fertigungsablaufes mit bildlicher Darstellung aller einzelnen Arbeitsschritte erfolgt im nachfolgenden Kapitel 3.5.3.

Abschließend wird in der Arbeitsvorbereitung ein detaillierter Terminplan der gesamten Projektdauer erstellt, welcher vor allem für die Planung und Durchführung der Vorfertigung von entscheidender Bedeutung ist. Der nachfolgenden Abbildung kann das Ausmaß des Gesamtterminplanes vom Projekt A entnommen werden, welcher jedoch nicht näher erläutert wird.

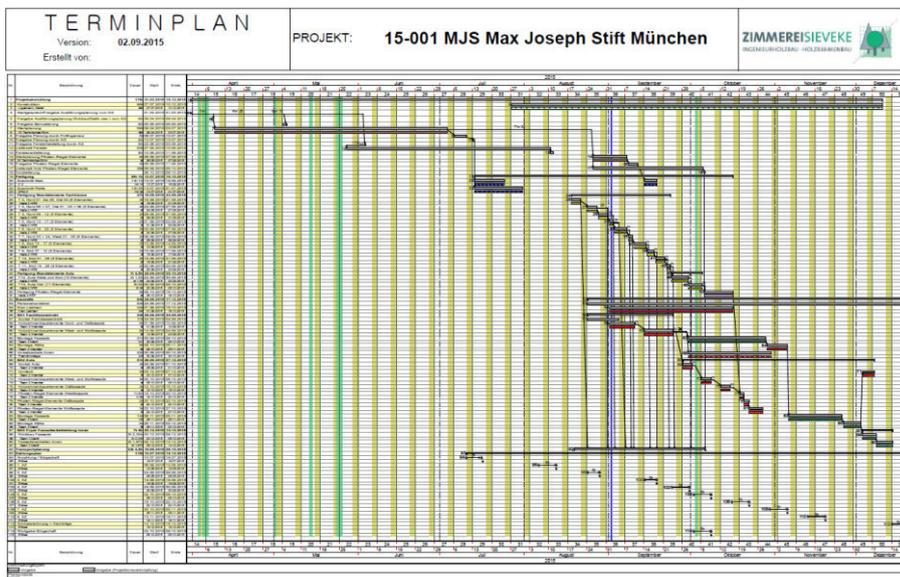


Abbildung 3.33: Terminplan (Projekt A)⁴²¹

3.5.3 Vorfertigung im Unternehmen

Der Gesamtprozess der Vorfertigung erstreckt sich über mehrere Unternehmensbereiche. Die Vorbereitung der Riegelwerke sowie der Zuschnitt der Beplankungselemente werden bereits vor dem Zusammenbau der Elemente in separaten Betriebshallen abgewickelt. Im Zuge dieser Arbeit wird intensiv auf die Untersuchung des eigentlichen Montageprozesses der vorbereiteten Einzelteile eingegangen. Die gesammelten Daten bilden in weiterer Folge sowohl die Grundlage für die Ermittlung der tatsächlichen Aufwands- und Leistungswerte, als auch das Fundament zur Analyse der Schwachstellen und Potentiale im vorliegenden Fertigungsprozess.

Wie der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen ist, wird die Bauteilfertigung in insgesamt vier Arbeitsstationen (kurz: AS) eingeteilt, wobei der

⁴²¹ Zimmerei Sieveke GmbH.

Bereich der Verladung (kurz: V) als zusätzliche Arbeitsstation betrachtet werden kann.



Abbildung 3.34: Einteilung der Arbeitsstationen (Projekt A)

Um im Falle eines getakteten, in Reihe geschalteten Arbeitssystems ein Optimum an Produktivität erreichen zu können, sollten die Arbeitszeiten je Arbeitsstation, also die Verteilzeiten, annähernd gleich sein. Aus diesem Grund wurden bereits im Zuge der Arbeitsvorbereitung Überlegungen zur Aufteilung der Tätigkeiten auf die einzelnen Stationen angestellt.

Folgende Tätigkeiten wurden an Arbeitsstation 1 verrichtet, an der in Summe zwei Arbeitskräfte im Rahmen des betrachteten Projektes eingeplant wurden:

- Zusammenbau des Riegelwerkes
- Einbau der Stellbretter
- Einbau der Querbalken
- Ausrichtung des Elementes
- Befestigung der Dampfbremse
- Fixierung der inneren Beplankung
- Verputzen der inneren Beplankung

Der Zusammenbau des Riegelwerkes beinhaltet die Positionierung und Verschraubung der bereits zugeschnittenen Holzteile am Arbeitstisch. Zudem wurden auch die Hebeschlaufen für den weiteren Transport der Elemente an den dafür vorgesehenen Stellen befestigt. Die Riegelemente selbst bestehen aus Furnierschichthölzern⁴²², da sich diese aufgrund der großen Bauteilbreiten am besten für den Bau dieser großformatigen Elemente eignen. Für das Auflegen der Einzelteile wurde je nach Länge und Gewicht der Hallenkran als Unterstützungsmittel eingesetzt. Der Lagerbereich für das Rohmaterial wurde unmittelbar neben dem Arbeitstisch vorgesehen.

⁴²² Furnierschichtholz (kurz: FSH bzw. LVL engl.: laminated veneer lumber) ist ein Holzwerkstoff, der sich aus der Verklebung von ca. 3 mm starken Schäl furnieren zusammensetzt. Vorwiegend wird dafür die Holzart Fichte verwendet. Eingesetzt wird es bspw. zur Herstellung von Trägern und Balken, sowie Platten und Scheiben in Form ebener Flächentragwerke.



Abbildung 3.35: Zusammenbau Riegelwerk (Projekt A)

Für den Einbau der Stellbretter wie auch den Einbau der Querbalken wurden bereits während des Abbundes Einfräsungen bzw. Ausnehmungen in den Hölzern vorgesehen, die den Montagevorgang um ein Vielfaches verkürzen. Anhand der eingesetzten Stellbretter sollte im Falle eines vertikalen Einbaus der Fassadenelemente verhindert werden, dass die Dämmung infolge des Eigengewichtes mit der Zeit nachsitzt bzw. einsinkt. Die Querbalken wurden dabei als konstruktive Unterstützungsmaßnahme quer zur ersten Riegellage eingebaut. Zumeist wurden sowohl die Stellbretter, als auch die Querbalken mittels Schubkarren angeliefert und den vorhandenen Platzverhältnissen entsprechend zwischengelagert.

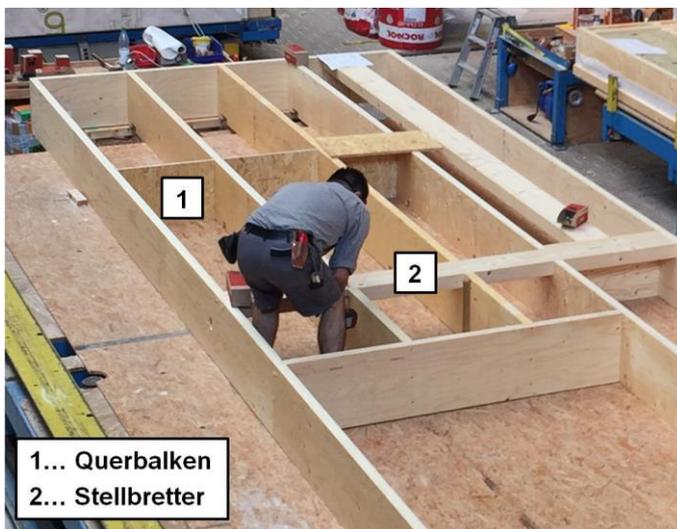


Abbildung 3.36: Einbau Stellbretter und Querbalken (Projekt A)

Vor dem Beginn der Beplankungsarbeiten wurde das Element erstmals per Hand ausgerichtet. Dieser Arbeitsschritt beinhaltete im Wesentlichen den Abgleich mit den Elemente-Diagonalen aus den Planunterlagen

Der nächste Arbeitsschritt bestand in der Aufbringung der Dampfbremse. Diese Schicht verhindert das Eindringen von Feuchtigkeit in die Dämm-

stoffebene, welche in der Innenraumluft auftritt. Sie wurde mittels Klammerung an der Holzkonstruktion befestigt.



Abbildung 3.37: Befestigung der Dampfbremse (Projekt A)

Abschließend erfolgte die Fixierung der inneren Beplankung. Diese besteht aus brandschutztechnischen Gründen aus einer Gipskartonbauplatte (kurz: GKB). Die Aufbringung dieses Baustoffes wurde mit Hilfe einer stationären Hebeeinrichtung in Form eines Vakuumsaugers abgewickelt. Aufgrund des eingeschränkten Heberadius wurden die Beplankungstafeln unmittelbar neben der Kranstütze gelagert. Die Befestigung der Platten am Element erfolgte durch den Einsatz von Holzbauschrauben.



Abbildung 3.38: Montage der inneren Beplankung (Projekt A)

Um den Vorfertigungsgrad weiter zu erhöhen, wurde auch die Verspachtelung der Plattenstöße bereits im Werk durchgeführt. Nachdem die Arbeiten an der Arbeitsstation fertiggestellt waren, erfolgt der Weitertransport zur Arbeitsstation 2 mittels Hallenkran.

Folgende Tätigkeiten wurden an der Arbeitsstation 2 durchgeführt, an der wiederum zwei Arbeitskräften beschäftigt waren:

- Befestigung der Winkel
- Vorbereitung der Dämmung

- Einbau der Dämmung
- Einbau der Füllhölzer

Der Einbau der Winkel dient in erster Linie zur Anbindung der Elemente an die Stahlbetondecken vor Ort. Zusätzlich wurden Winkel zur Aussteifung angebracht. Die Einbringung erfolgte vorzugsweise mittels druckluftunterstützter Nagelpistolen, in Ausnahmefällen wurde ein Hammer zur Hilfe genommen.



Abbildung 3.39: Winkelmontage (Projekt A)

Nach Fertigstellung der Winkelmontage konnte mit der Vorbereitung bzw. Einbringung der Dämmstoffebene fortgefahren werden. Aus brandschutztechnischen Gründen wurde Mineralwolle⁴²³ verwendet. Die Anlieferung erfolgte in Form von ausrollbaren Dämmstoffbahnen gleicher Länge. Prinzipiell war eine Arbeitskraft mit dem Zuschnitt der Dämmstoffbahnen beschäftigt, während die andere Arbeitskraft den eigentlichen Einbau abwickelte. Da ein großes Element eine entsprechend große Anzahl an Dämmstoffbahnen benötigte, wurde bereits in der Arbeitsvorbereitung entschieden, den Lagerbereich unmittelbar vor bzw. neben dem Arbeitstisch einzurichten. Auf diese Weise konnten einerseits die Laufwege minimiert und andererseits die Produktivität an dieser Station gesteigert werden.

⁴²³ Mineralwolle bezeichnet einen weichen Werkstoff aus künstlich hergestellten mineralischen Fasern. Mineralwolle wird vorwiegend als nichtbrennbarer Dämmstoff für die Wärmedämmung von Gebäuden eingesetzt.



Abbildung 3.40: Einbau der Dämmung (Projekt A)

Abschließend wurden an dieser Arbeitsstation auch die zwischenliegenden Füllhölzer eingebaut, die zur Befestigung der zweiten Beplankung dienen. Die Lagerung erfolgte wie bei den Stellbrettern und Querbalken in Schubkarren, deren Position den vorhandenen Platzverhältnissen angepasst werden konnte.

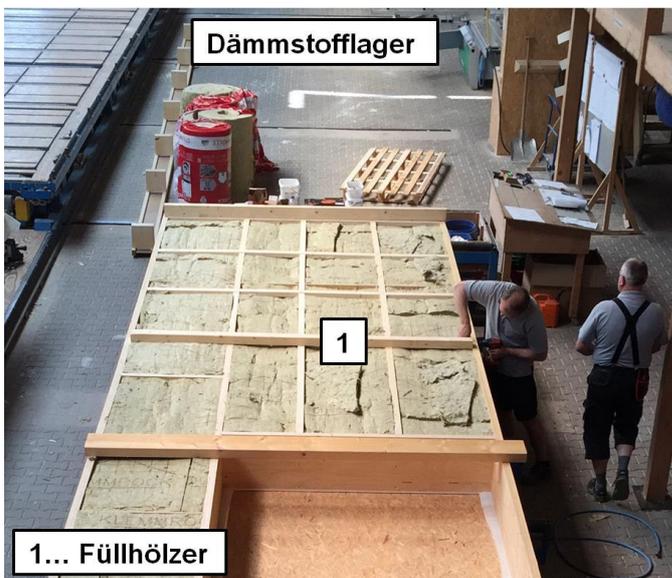


Abbildung 3.41: Montage der Füllhölzer (Projekt A)

Unmittelbar nach dem Einbau der Füllhölzer erfolgt der Transport weiter zur Arbeitsstation 3. Dieser musste aufgrund der eingeschränkten Platzverhältnisse und des Gewichts der Elemente mittels Hallenkran durchgeführt werden.

Die Arbeitsstation 3 wurde erneut von zwei Arbeitskräften belegt, wobei folgende Tätigkeiten zu verrichten waren:

- Fixierung der äußeren Beplankung
- Ablabung der äußeren Beplankung

- Befestigung der Unterkonstruktion
- Einbau der Dichtung

Die Fixierung der äußeren Beplankung bestand im Wesentlichen aus dem Auflegen und der konstruktiven Verbindung zementgebundener Spanplatten⁴²⁴ (kurz: ZSP). Als Hebewerkzeug wurde der Hallenkran mit mobiler Saugereinheit verwendet. Die Verbindung der Platten erfolgte durch Klammern, welche druckluftunterstützt eingebracht wurden. Um kurze Transportwege zu erhalten, wurden die Platten direkt neben dem Arbeitstisch paketweise gelagert.



Abbildung 3.42: Montage der äußeren Beplankung (Projekt A)

Der nächste Arbeitsschritt beinhaltete die Abklebung der Plattenstöße. Auf diese Weise wurde die darunterliegende Dämmstoffebene gezielt gegen Wassereintrag geschützt. Im Anschluss daran erfolgte die Montage der Unterkonstruktion. Diese wurde zumeist gemeinsam mit der zweiten Beplankung angeliefert und auch direkt neben dieser zwischengelagert.

⁴²⁴ Zementgebundene Spanplatten werden durch Pressen eines Gemisches aus Holzspänen, Zement und Hydratationszusätzen hergestellt. Zementgebundene Spanplatten werden als nicht brennbarer Baustoff eingestuft. Sie eignen sich ideal für spezielle Klimabedingungen.

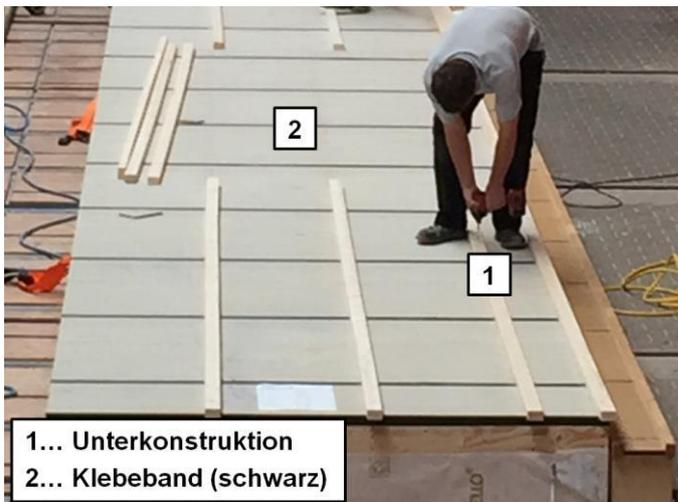


Abbildung 3.43: Montage der Unterkonstruktion (Projekt A)

Als zusätzlichen Schutz gegen Wassereintritte wurde letztendlich ein Dichtungsband an der Elementlängsseite angebracht.

Die geschlossenen Elemente wurden an dieser Stelle fertiggestellt und für die Verladung vorbereitet. Jene Elemente mit einer Fensteröffnung wurden hingegen zur Arbeitsstation 4 weiterbefördert.

Die Arbeitsstation 4 wurde erneut mit durchschnittlich zwei Arbeitskräften besetzt und umfasste folgende Tätigkeiten:

- Vorbereitungsmaßnahmen für den Fenstereinbau
- Fenstereinbau
- Einbau der Glasleisten
- Einbau der Fensterfaschen

Die Vorbereitungsmaßnahmen für den Fenstereinbau setzten sich aus der Befestigung von zugeschnittenen Holzklötzen als Anschlag für die Verschraubung, wie auch der Anbringung eines speziellen Multifunktionsbandes als Wind- und Wasserabdichtung zusammen.

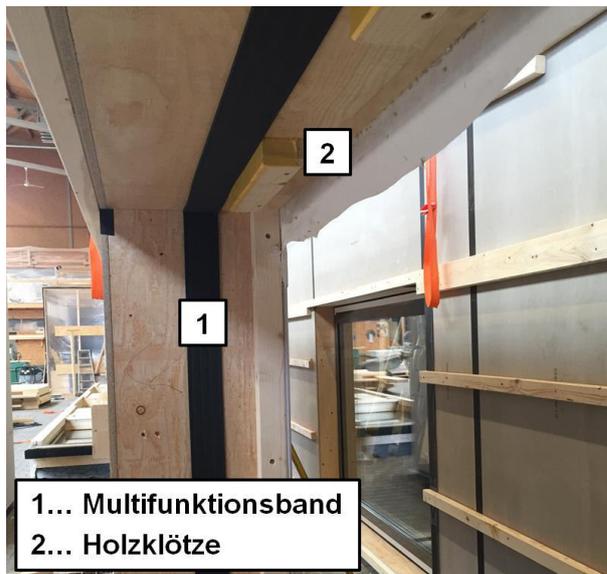


Abbildung 3.44: Vorbereitungsmaßnahmen für den Fenstereinbau (Projekt A)

Anschließend wurde mit dem Einbau der eigentlichen Fensterelemente begonnen. Dazu wurde erneut der Hallenkran mit der mobilen Saugereinheit als Hebezeug eingesetzt. Die Verschraubung erfolgte mittels Vollgewindeschrauben, welche direkt in die Rahmenelemente eingebracht wurden.



Abbildung 3.45: Fenstereinbau (Projekt A)

Nach dem Einbau der Fenster wurden als Abschluss die Glasleisten angebracht. Da es sich um ein Klicksystem handelte, waren lediglich ein Gummihammer sowie eine Schutzabdeckung für die Glasleisten erforderlich.

Die Einbauarbeiten der sog. Fensterfaschen bzw. Rollläden wurden am liegenden Element durchgeführt. Hierfür wurde eine Arbeitskraft vorgesehen. Die Montage setzte sich im Wesentlichen aus dem Einbau einer

Dämmschicht sowie aus der Verschraubung der Faschenbauteile zusammen. Gelagert wurden die Faschen unmittelbar neben dem liegenden Holzrahmenelement. Da die Bauteile aufgrund von unterschiedlichen Abmessungen auch sortiert werden mussten, wurde besonders viel Platz für die Lagerung vorgesehen.

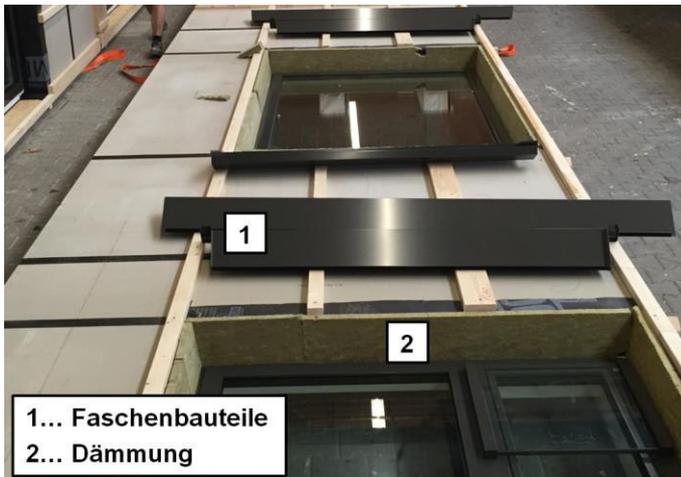


Abbildung 3.46: Einbau der Faschen (Projekt A)

Nach Fertigstellung der Vorfertigungsarbeiten mussten auch entsprechende Zusatz- und Vorbereitungsarbeiten für den Transport der Elemente durchgeführt werden. Die Zusatzarbeiten setzten sich aus den Tätigkeiten zusammen, die für einen sicheren Transport der Elemente erforderlich sind. Hierzu zählte bspw. der Zusammenbau von Einlegelatten mit entsprechender Höhe, um eine Beschädigung der überstehenden Faschen bzw. Rollläden während des Transportes zu verhindern. Des Weiteren wurden Antirutschmatten aufgelegt, die ein Verrutschen der Elemente während der Fahrt verhindern sollten.



Abbildung 3.47: Zusatzmaßnahmen für den Transport (Projekt A)

Zu guter Letzt erfolgte der eigentliche Schutz der gesamten Ladung. Hierzu wurde eine entsprechend lange Folie über die Ladung gezogen und anschließend verschweißt.



Abbildung 3.48: Einfolierung der Ladung (Projekt A)

Die in Abbildung 3.48 dargestellten Ladungen bildeten den grundsätzlichen Leistungsumfang in der Vorfertigung. Während den Beobachtungen wurden rund fünf solcher Ladungen vorgefertigt und auf die Baustelle ausgeliefert.

3.6 Vorfertigung Projekt B

Wie bereits in Kapitel 3.4.2 erwähnt, umfasst das Projekt B die Neuerrichtung eines Verbrauchermarktes in Oldenburg, DE. Der Auftrag bestand in der Fertigung und Montage von rund 2400 m² verklebter Hohlkastenelemente für die zu errichtende Dachkonstruktion.

Der nachfolgende Abschnitt beinhaltet ähnlich wie bei Projekt A eine detaillierte Beschreibung der Vorfertigung dieser Elemente im Unternehmen.

3.6.1 Eingesetztes Fertigungssystem

Auch bei diesem Projekt setzte sich das Fertigungssystem aus mehreren Komponenten zusammen, welche entsprechend dem Aufbau der Elemente einzelne Arbeitsschritte bildeten. Die vorgefertigten Dachelemente bestehen aus einer mittleren Tragkonstruktion sowie einer oberen und unteren Beplankung. Aufgrund von optischen Anforderungen seitens des Bauherrn bzw. Architekten musste die untere Beplankungslage mit einem geprüften Klebstoffsystem mit der Tragkonstruktion verbunden werden, um keinerlei optische Beeinträchtigungen durch die Verschraubung zu erhalten. In der nachfolgenden Abbildung ist der Aufbau eines herzustellenden Dachelementes beispielhaft dargestellt.

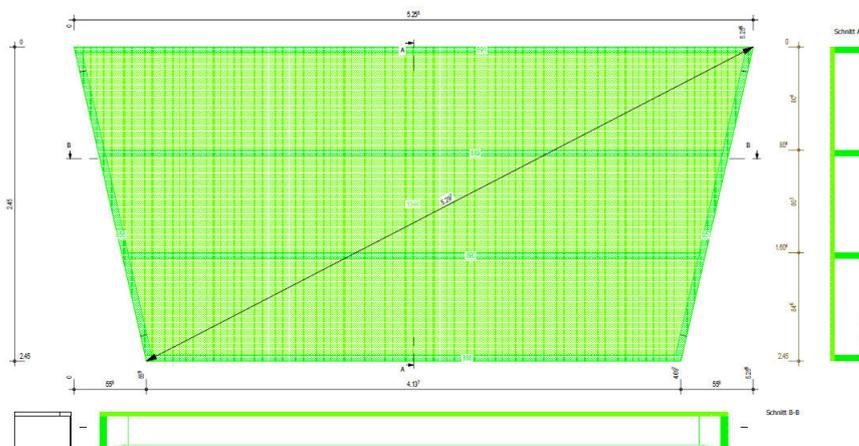


Abbildung 3.49: Aufbau Hohlkastenelemente (Projekt B)⁴²⁵

Wie aus Abbildung 3.49 zu entnehmen ist, besteht die geometrische Grundform eines Dachelementes aus einem Trapez. Erschwerend kam hinzu, dass die Elemente aufgrund der Entwässerung des Regenwassers ins Gebäudeinnere mit vorgeschriebener Dachneigung gefertigt

⁴²⁵ Zimmerei Sieveke GmbH.

werden mussten. Das Ausmaß dieser Dachneigung kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden-

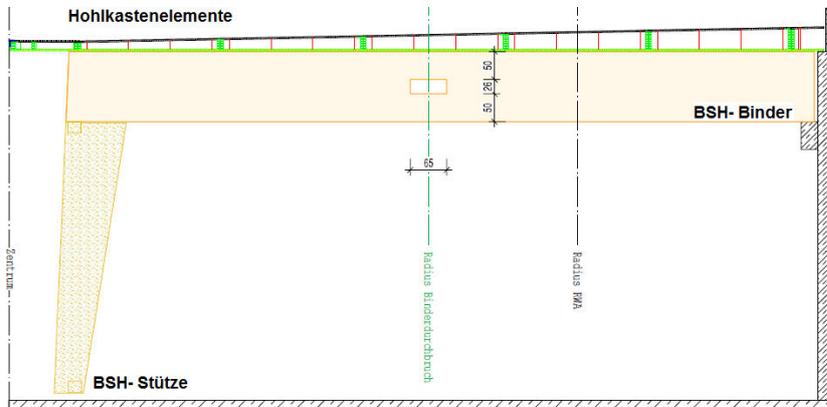


Abbildung 3.50: Hohlkastenelemente mit Dachneigung (Projekt B)⁴²⁶

Prinzipiell setzt sich das Fertigungssystem aus den Arbeitsstationen für die Bearbeitung der Sichtplatten, dem Zusammenbau der Riegelwerke und der Verklebung der Bauteile zusammen.

Für den Plattenzuschnitt stand eine Lagerfläche für das Rohmaterial wie auch ein Arbeitsbereich zur Bearbeitung einzelner Platten zur Verfügung. Der Transport vom Rohwarenlager bis zum jeweiligen Arbeitstisch erfolgte mittels Hallenkran und mobilem Vakuumheber als Hebeeinrichtung. Der Plattenzuschnitt wurde mit herkömmlichen Handkreissägen durchgeführt. Für die Reinigung der Platten wurde zudem ein Industriestaubsauger bereitgestellt.

Für den Zusammenbau der Riegelwerke standen zwei, speziell für diesen Auftrag konstruierte Montagetische zur Verfügung. Die Beschickung der Materialien erfolgte wiederum mittels Hallenkran.



Abbildung 3.51: Montagetische (Projekt B)

⁴²⁶ Zimmerei Sieveke GmbH.

Für die Verklebung standen zwei pneumatische Presseeinheiten zur Verfügung, die sich grundsätzlich aus einem Presstisch sowie einer variablen Anzahl von sog. Pressgestellen zusammensetzten. Die Aufbringung des Pressdruckes erfolgte mittels Druckluft über Luftschläuche, die im Inneren der Pressgestelle angebracht sind. Durch seitlich angebrachte Gewindestangen sind die Gestelle gegen Abheben gesichert. Der Druck kann somit direkt auf das Element eingeleitet werden. Sowohl das Einheben der Bauteilkomponenten, als auch die Platzierung der Pressgestelle wurden mit Hilfe des Hallenkrans abgewickelt.



Abbildung 3.52: Presseinheit (Projekt B)

Da es sich um ein Zweikomponenten-Klebstoffsystem⁴²⁷ handelte, standen diverse Hilfsmittel, wie eine Waage bzw. ein Taschenrechner zur Ermittlung des richtigen Verhältnisses zwischen Klebstoff und Härter, oder auch Behälter für das Anrühren und Befüllen des Klebstoffauftrages zur Verfügung.

⁴²⁷ Zweikomponenten-Klebstoffe, auch 2K-Klebstoffe genannt, bestehen einerseits aus dem Klebstoff und andererseits aus einem Härter. Durch das Vermischen der beiden Komponenten unmittelbar vor der Anwendung wird meist bereits bei Raumtemperatur die Aushärte-Reaktion gestartet. Zweikomponenten-Systeme härten durch eine chemische Reaktion wie Polyaddition, Polykondensation und Polymerisation, aus.



Abbildung 3.53: Ausrüstung für die Verklebung (Projekt B)

Die Verladung der vorgefertigten Hohlkastenelemente wurde erneut mit Hilfe des Hallenkrans durchgeführt. Wie bereits bei Projekt A, wurden auch hier die Elemente auf sog. Flats zwischengelagert. Aufgrund der sichtbaren Oberfläche wurde zusätzlich eine Folie als Schutzmaßnahme aufgelegt.



Abbildung 3.54: Verladung Elemente (Projekt A)

Ähnlich wie beim Projekt A musste auch hier die Materialanlieferungen aufgrund der getrennten Anordnung der vorhandenen Betriebshallen überwiegend mit mobilen Hubgeräten oder im Falle von Kleinteilen mittels Schubkarren durchgeführt werden.

3.6.2 Arbeitsvorbereitung zur Vorfertigung

Der Grundstein der Arbeitsvorbereitung liegt in einer sorgfältigen und gut durchdachten Planung des Bauwerkes. Diese bestand im vorliegenden Fall neuerlich aus einer umfangreichen zwei- bzw. dreidimensionalen Darstellung des gesamten Bauwerkes.

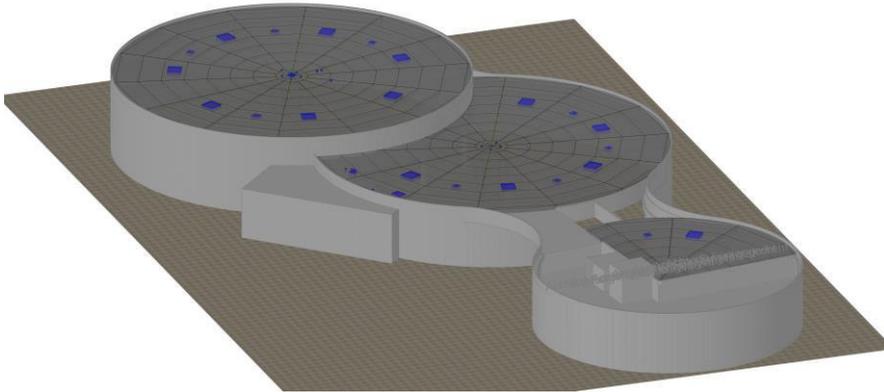


Abbildung 3.55: Digitalisierung (Projekt B)⁴²⁸

Die für den Zuschnitt der Rohwaren notwendigen Ansteuerungsprogramme für die CNC-Maschinen können u.a. aus den Inhalten des digitalen Gebäudemodells erstellt werden. Während des Zuschnittvorgangs wurde den Elementen die entsprechende Bezeichnung aus der Planung zugewiesen, um in weiterer Folge eine zeitsparende Fertigung zu ermöglichen.



Abbildung 3.56: Bauteilbeschriftung (Projekt B)

Zudem wurden aus dem digitalen Modell wiederum Montagepläne erstellt, die einen klar strukturierten Aufbau der Elemente beinhalteten.

⁴²⁸ Zimmerei Sieveke GmbH.

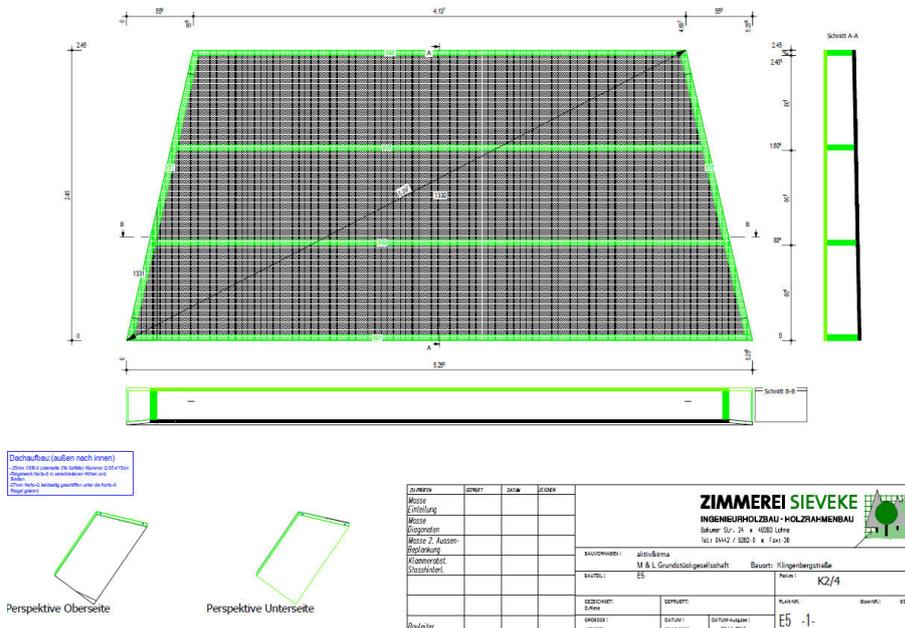


Abbildung 3.57: Montageplan (Projekt A)⁴²⁹

Vor Beginn der Montagearbeiten wurden die erforderlichen Transportlisten erstellt, die eine genaue Reihenfolge der Elemente samt Verladeanordnung beinhalten. In der nachfolgenden Abbildung ist der Ladeumfang der ersten beiden Transporte beispielhaft dargestellt.

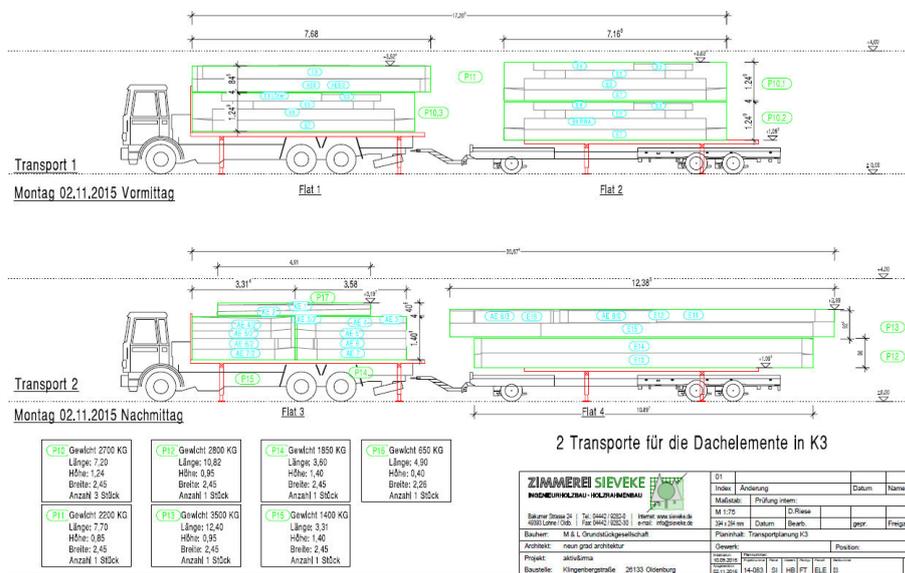


Abbildung 3.58: Transportliste (Projekt B)⁴³⁰

⁴²⁹ Zimmererei Sieveke GmbH.

⁴³⁰ Zimmererei Sieveke GmbH.

Zudem wurden bereits im Vorfeld Überlegungen zu den Arbeitsabläufen, zur Taktung der Arbeitsschritte, zur Anzahl der Arbeitskräfte, aber auch zur optimalen Gestaltung der Halleneinrichtung angestellt. Diese konnte ohne Einschränkungen optimal an das vorliegende Projekt angepasst werden, da die gesamte Maschinenausrüstung, die sich in der Halle befand, abgebaut und ausgelagert wurde. Im Ersten Schritt wurden die benötigten Einrichtungskomponenten auf Papierform gebracht und rückseitig mit Magneten versehen. Zugleich wurde ein ausgedruckter Hallengrundriss auf der zugehörigen Magnettafel angebracht. Auf diese Weise konnten die Komponenten mit ihren maßstabsgetreuen Abmessungen optimal in die vorhandene Betriebshalle eingefügt werden, bis daraus ein zufriedenstellender Ablauf resultierte.

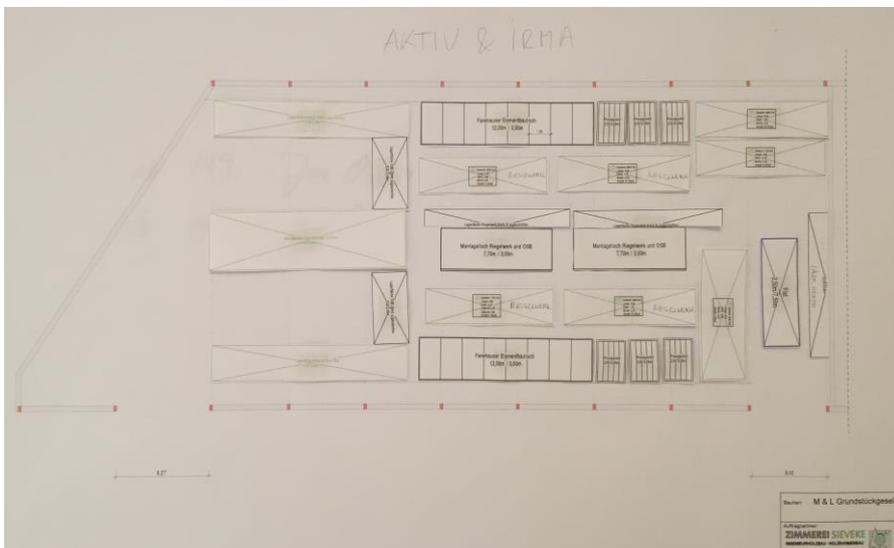


Abbildung 3.59: Entwurf Halleneinrichtungsplan (Projekt B)⁴³¹

Dieser wurde noch vor der Umsetzung mit den beteiligten Arbeitskräften und Verantwortlichen aus der Fertigung besprochen. Nach geringfügigen Änderungen konnte dieser, wie in Abbildung 3.60 dargestellt, in die Realität umgesetzt werden.

⁴³¹ Zimmerei Sieveke GmbH.

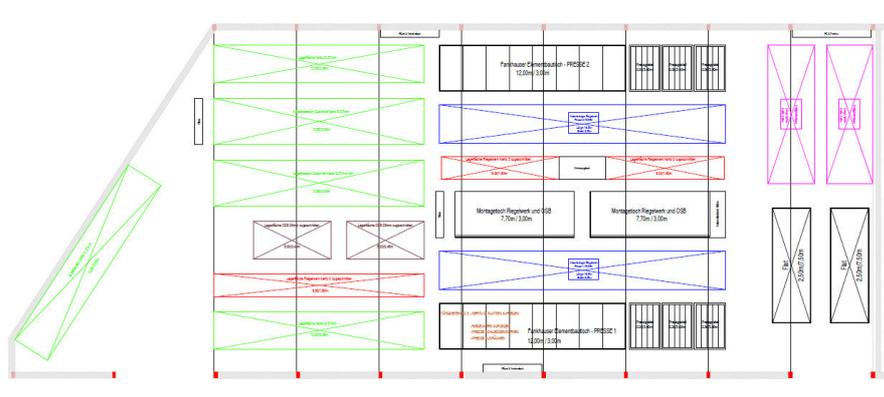


Abbildung 3.60: Endgültiger Halleneinrichtungsplan (Projekt B)⁴³²

Eine detaillierte Beschreibung des Fertigungsablaufes mit bildlicher Darstellung aller einzelnen Arbeitsschritte erfolgt im nachfolgenden Kapitel 3.6.3.

Neben der Planung des Fertigungsablaufes wurden zudem sog. Pressenlisten, also Elementzusammenstellungen je Pressgang, erstellt, die exakt an den Ablauf der Baustellenmontage angepasst wurden. Außerdem wurde besonders auf eine maximale Auslastung der einzelnen Pressstische geachtet.

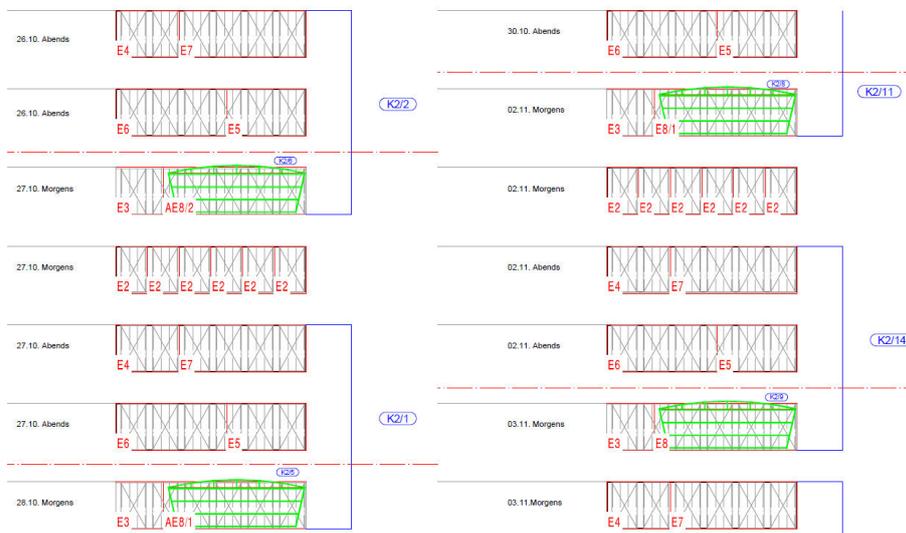


Abbildung 3.61: Auszug Pressenliste (Projekt B)⁴³³

Jedes dieser in Abbildung 3.61 dargestellten Rechtecke zeigt die in der Arbeitsvorbereitung geplante Zusammensetzung der Hohlkastenelemente innerhalb eines Pressvorganges. Die Schwierigkeit bestand in den unterschiedlichen Höhen der Elemente, die aus der vorgeschriebenen

⁴³² Zimmerei Sieveke GmbH.

⁴³³ Zimmerei Sieveke GmbH.

Dachneigung resultierten. Aus diesem Grund durften keine Überlappungsbereiche einzelner Pressgestelle auftreten. Die Vorbereitung der Pressgestelle musste somit an die Neigung der Dachelemente angepasst werden. Aus diesem Grund wurden die Konstruktionshölzer an der Unterseite angebracht, um einerseits das Gefälle auszugleichen und andererseits eine optimale Kräfteinleitung entlang der Holzrippen bzw. Klebefläche zu erzielen.



Abbildung 3.62: Unterkonstruktion für Pressgestelle (Projekt B)

Im Zuge der Arbeitsvorbereitung mussten zudem entsprechende Pressprotokolle erstellt werden, die eine genaue Dokumentation der Verklebung beinhalten. Wie anhand von Abbildung 3.62 zu sehen ist, werden durch ein Pressprotokoll die exakten Verarbeitungsbedingungen, die Holzfeuchtigkeit und die wesentlichsten Parameter der Verklebung dokumentiert.

| Allgemeine Angaben | | | | | | |
|---|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------|---------|---------|---------|
| BV / Kunde | 14-083 M & L Grundstockgesellschaft | | | | | |
| Element-Nr. | E5 | | | | | |
| Datum der Verklebung | ..... |  |  |  |  |  |
| Tischnummer | Tisch 1 <input type="checkbox"/> | Tisch 2 <input type="checkbox"/> | | | | |
| Verarbeitungsbedingungen | | | | | | |
| Halleninnentemperatur | °C | | | | | |
| Luftfeuchtigkeit | % | | | | | |
| Dokumentation der Rippen | | | | | | |
| | Rippe 1 | Rippe 2 | Rippe 3 | Rippe 4 | Rippe 5 | Rippe 6 |
| Pos.-Nr. | | | | | | |
| Holzfeuchte (%) | | | | | | |
| Dokumentation der Beplankung | | | | | | |
| Platte unten | ..... |  |  |  |  |  |
| Pos.-Nr. | ..... |  |  |  |  |  |
| Holzfeuchte (%) | ..... |  |  |  |  |  |
| Dokumentation des Klebstoffes | | | | | | |
| Lot-Nr. | Typ | Produktions Datum | | | | |
| Lern | ..... | ..... |  |  |  |  |
| Fällzeit | ..... | ..... |  |  |  |  |
| Dokumentation der Verklebung | | | | | | |
| Beginn Klebstoffmischung | Uhr | | | | | |
| Beginn Auftrag des Klebstoffes | Uhr | | | | | |
| Beginn der Pressung / Pressdruck | Uhr | bar | | | | |
| Ende der Pressung | Uhr | | | | | |
| Verantwortlicher: | ..... |  |  |  |  |  |
| ZIMMEREI SIEVEKE INGENIEURBÜRO FÜR HOLZBAU- UND ZIMMEREI Seiner Str. 24 • 8035 Lams Tel. 03642 / 820-0 • Fax 03642 / 820-10 | | | | | | |
| Informations: | anforderung | M & L Grundstockgesellschaft | Bauort: Tübingenstraße | | | |
| Material: | E5 | Plan-Nr. | K2/4 | | | |
| Gezeichnet: | ..... | Gezeichnet: | ..... |  |  |  |
| Geprüft: | ..... | Geprüft: | ..... |  |  |  |
| | | | | | | |
| E5 - Protokoll | | | | | | |

Abbildung 3.63: Pressprotokoll (Projekt B)⁴³⁴

⁴³⁴ Zimmerei Sieveke GmbH.

Da die Fertigung dieser Hohlkastenelemente im Zweischichtbetrieb geplant war, wurden auch Überlegungen zur optimalen Gestaltung des Schichtmodells angestellt. Eine Erklärung des Schichtmodells erfolgt im weiteren Verlauf dieses Kapitels.

Zusätzlich wurde bereits im Vorfeld ein Terminplan über die gesamte Projektdauer erstellt, der vor allem für die Planung und Durchführung der Vorfertigung von entscheidender Bedeutung war. Der nachfolgenden Abbildung kann das Ausmaß des Gesamtterminplanes vom Projekt B entnommen werden, wobei an dieser Stelle nicht näher auf die Erläuterung eingegangen wird.

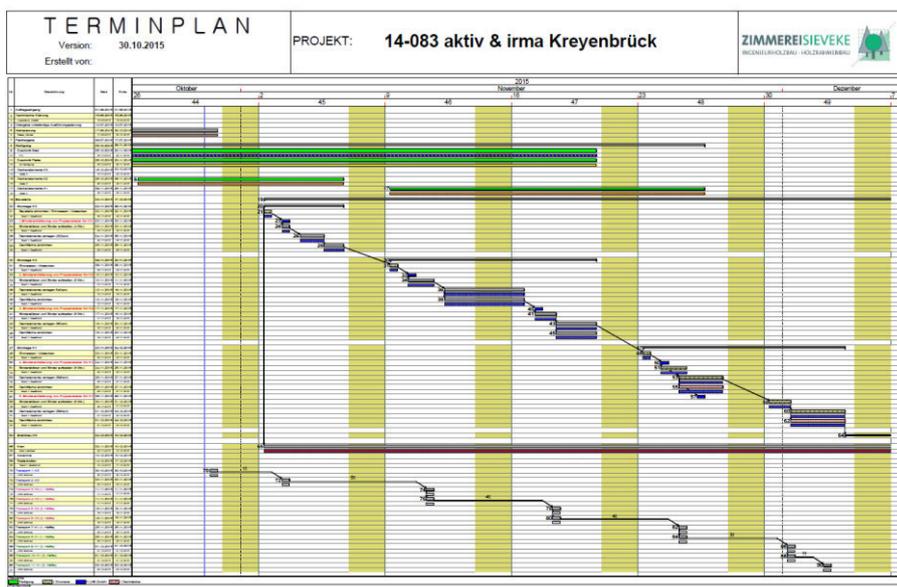


Abbildung 3.64: Terminplan (Projekt B)⁴³⁵

3.6.3 Vorfertigung im Unternehmen

Die Vorbereitung der einzelnen Bauteile zur Erstellung der Elemente, wie auch der Zuschnitt der Platten für die obere Beplankungsebene wurde bereits vor dem Zusammenbau in separaten Betriebshallen durchgeführt. Lediglich die Sichtbauteile konnten aufgrund der großen Plattenabmessungen nicht auf diese Weise bearbeitet werden. Aus diesem Grund musste der Zuschnitt zeitgleich mit dem Bau der Elemente abgewickelt werden.

In der nachfolgenden Abbildung wird ersichtlich, dass die Fertigung der Hohlkastenelemente in insgesamt drei Arbeitsstationen unterteilt war,

⁴³⁵ Zimmerei Sieveke GmbH.

wobei der Bereich der Verladung als zusätzliche Station betrachtet werden kann.

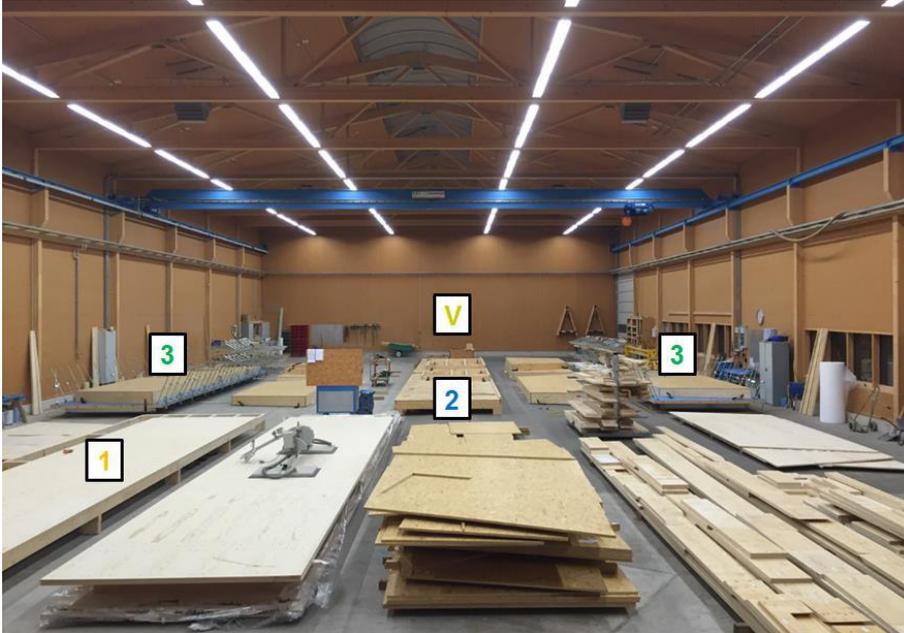


Abbildung 3.65: Einteilung der Arbeitsstationen (Projekt B)

Die Einteilung der Tätigkeiten je Arbeitsstation wurde bereits im Vorfeld an das zugrunde liegende Arbeitsmodell aus der Arbeitsvorbereitung angepasst. Grundlegend wurde darauf abgezielt, dass an jedem Arbeitstag in Summe vier Pressgänge realisiert werden, jeweils zwei in der Vormittagsschicht und zwei in der Nachmittagsschicht. Eine höhere Anzahl war aufgrund der bis zu acht Stunden andauernden Press- und Aushärtezeit des verwendeten Klebstoffes nicht möglich. Die angestrebten acht Stunden konnten allerdings nur bei einer Umgebungstemperatur von rund 28°C erreicht werden. Im Allgemeinen gilt, dass je geringer die Temperatur ist, desto länger die Presszeit beträgt, wobei unbedingt für ein stabiles Temperaturniveau in der Umgebung gesorgt werden muss. Jedenfalls wurden für die Abwicklung der gesamten Tätigkeiten in Summe vier Arbeitskräfte pro Schicht vorgesehen. In dieser Zeit waren zwei Arbeitskräfte mit dem Zuschnitt der Sichtplatten beschäftigt, während die anderen beiden Arbeitskräfte für den Zusammenbau der Riegelwerke eingeteilt wurden. Das Schichtmodell war zudem so gestaltet, dass sich beide Schichten in einem Zeitraum von rund drei Stunden überschneiden. Auf diese Weise konnten Tätigkeiten, wie die Anlieferung des Materials, oder auch die Verladung der Elemente durch die erhöhte Mannstärke zusätzlich abgewickelt werden.

Folgende Tätigkeiten wurden an Arbeitsstation 1 verrichtet:

- Auflegen der Sichtplatten
- Zuschnitt der Sichtplatten

- Anbringung von Markierungen für den Klebstoffauftrag

Für das Auflegen der Sichtplatten wurde der Hallenkran mit mobilem Vakuumheber als Hebeeinrichtung verwendet. Wie der Abbildung 3.66 entnommen werden kann, wurde der Lagerbereich der Rohplatten unmittelbar neben dem Arbeitsbereich der Plattenbearbeitung angeordnet.



Abbildung 3.66: Auflegen der Sichtplatten (Projekt B)

Anschließend wurden die Platten mit Handkreissägen entsprechend den Vorgaben aus den Plänen auf das gewünschte Format zugeschnitten. Zudem wurde die Oberfläche aufgrund der späteren Verklebung mittels Industriestaubsauger gereinigt, auf Fehlstellen untersucht und diese gegebenenfalls ausgebessert.



Abbildung 3.67: Plattenzuschnitt (Projekt B)

Nachdem auch die Markierungen für den Klebstoffauftrag angebracht waren, konnte mit dem Transport zum vorgesehenen Zwischenlager fortgefahren werden. Diese waren aus Gründen der Logistik direkt hinter den

Pressen angeordnet. Der Transportvorgang zum Zwischenlager wurde wiederum mittels Hallenkran und mobilem Vakuumheber durchgeführt.



Abbildung 3.68: Transport Sichtplatten zu Lagerbereich (Projekt B)

Zwischenzeitlich konnten folgende Tätigkeiten an Arbeitsstation 2 verrichtet werden:

- Zusammenbau des Riegelwerkes
- Einbau der Hebeschlaufen
- Ausrichtung des Elementes
- Befestigung der Winkel
- Fixierung der oberen Beplankung

Der Zusammenbau des Riegelwerkes setzte sich im Wesentlichen aus der Positionierung und Verschraubung der vorbereiteten Furnierschicht-hölzer zusammen. Aus Platzgründen musste der Großteil der Hölzer im Bereich des Sichtplattenzuschnittes gelagert werden. Zur Minimierung der Kranbelegungszeiten sowie zur Schaffung kurzer Transportwege wurde auch ein kleinerer Lagerbereich unmittelbar neben den Arbeitstischen eingerichtet, wie der Abbildung 3.69 zu entnehmen ist.



Abbildung 3.69: Zusammenbau des Riegelwerkes (Projekt B)

Für den Weitertransport der Elemente wurden im Anschluss Hebeschlaufen an den dafür vorgesehenen Stellen angebracht und befestigt. Im Anschluss daran konnte mit der Ausrichtung der Tragkonstruktion fortgefahren werden. Dabei wurden die Diagonalmaße aus den Plänen mit den tatsächlichen Maßen verglichen bzw. an diese angepasst.



Abbildung 3.70: Ausrichtung des Elements (Projekt B)

Nachfolgend wurde mit dem Einbau von speziellen Stahlwinkeln als konstruktive Unterstützungsmaßnahme fortgefahren. Um den Arbeitsvorgang zu beschleunigen, erfolgte die Einbringung der Nägel mittels Druckluftunterstützung.



Abbildung 3.71: Montage der Winkel (Projekt B)

Nach dem Einbau der Winkel konnte mit der Befestigung der oberen Beplankung fortgefahren werden. Diese Platten wurden bereits fertig zugeschnitten angeliefert, konnten jedoch aus Platzgründen nicht unmittelbar neben den Montagetischen gelagert werden. Der Plattentransport vom Lager erfolgte je nach Größe entweder per Hand oder mittels Halbkran. Abschließend wurden die OSB-Platten mit einer druckluftunterstützten Klammermaschine am eigentlichen Element befestigt.



Abbildung 3.72: Montage der oberen Beplankung (Projekt B)

Nach Fertigstellung der Montagearbeiten wurden die Elemente direkt zwischen den einzelnen Montagetischen bzw. Pressen zwischengelagert. Die genaue Position musste jedoch ständig mit der zu Grunde liegenden Pressenliste übereinstimmen. Aus Auslastungsgründen wurde bereits im Vorfeld jedem Element der jeweilige Presstisch zugewiesen.



Abbildung 3.73: Transport von AS2-Zwischenlager (Projekt B)

Nachdem sämtliche Vorbereitungsarbeiten an den ersten beiden Arbeitsstationen erfolgten, konnte mit den Arbeiten an Station 3 fortgefahren werden. Diese setzten sich aus folgenden Tätigkeiten zusammen und wurden von allen vier Arbeitskräften gemeinsam verrichtet:

- Pressvorbereitung Sichtplatten
- Verklebung
- Pressvorbereitung Riegelwerk
- Presse schließen
- Presse öffnen

Die Pressvorbereitung der Sichtplatten beinhaltete die genaue Positionierung der Platten am Presstisch. Hierbei musste vor allem auf die unterschiedlichen Höhen der einzelnen Hohlkastenelemente und auch auf die Teilung der Pressgestelle Acht genommen werden. Zusätzlich wurden Anschlagshölzer aufgelegt, die ein Verrutschen des darauf liegenden Riegelwerkes verhindern sollen.

Bereits während dieser Tätigkeiten war eine Arbeitskraft mit dem Ausfüllen der Pressprotokolle beschäftigt. Diese Tätigkeit bestand im Wesentlichen aus der Erfassung der Verarbeitungsbedingung, der Holzfeuchtemessung sämtlicher Bauteile und Elemente sowie der Dokumentation des eigentlichen Verklebungsprozesses zur Qualitätssicherung.



Abbildung 3.74: Ausfüllen der Pressprotokolle (Projekt B)

Anschließend konnte mit der Berechnung für die Klebstoffmischung und dem Anrühren der Komponenten begonnen werden. Der Auftrag des Klebstoffes musste von zwei Arbeitskräften durchgeführt werden, wobei einer mit der Benetzung der Klebeflächen und der andere mit dem Nachfüllen des Auftragsbehältnisses beschäftigt war.



Abbildung 3.75: Klebstoffauftrag (Projekt B)

Nachdem die vorgesehenen Flächen mit Klebstoff benetzt waren, konnte mit der Vorbereitung des Riegelwerkes fortgefahren werden. Diese Tätigkeit beinhaltet die Positionierung des Riegelwerkes auf die mit Klebstoff benetzten Sichtplatten. Beim Absenken wurden zur genauen Führung mindestens drei Arbeitskräfte eingesetzt, da ein Verrücken der Elemente auch eine Verschiebung des Klebstoffes zur Folge gehabt hätte.



Abbildung 3.76: Pressvorbereitung Riegelwerk (Projekt B)

Zu guter Letzt erfolgte der Schließvorgang der Pressen. Dieser Vorgang beinhaltet die Anbringung der Pressgestelle sowie die Aufbringung des erforderlichen Pressdruckes von ungefähr $0,04 \text{ N/mm}^2$. Die Pressgestelle wurden aus logistischen Gründen unmittelbar vor dem Presstisch positioniert. Für das Anheben und Verfahren der Einheiten wurde der Hallen-

kran zur Hilfe genommen. Die Verbindung zum Presstisch wurde letztendlich durch die am Tisch angebrachten Gewindestangen hergestellt.



Abbildung 3.77: Anbringung der Pressgestelle (Projekt B)

Da die Elemente aufgrund der vorgegebenen Gebäudegeometrie durchaus komplexe Formen annahmen, wurde nur in manchen Fällen der gesamte Presstisch mit Elementen ausgefüllt. Für die vorhandenen Freiräume mussten entsprechende Unterlagehölzer vorbereitet werden, damit über die gesamte Tischbreite gleichmäßiger Pressdruck aufgebaut werden konnte und das Element dabei nicht beschädigt wurde.

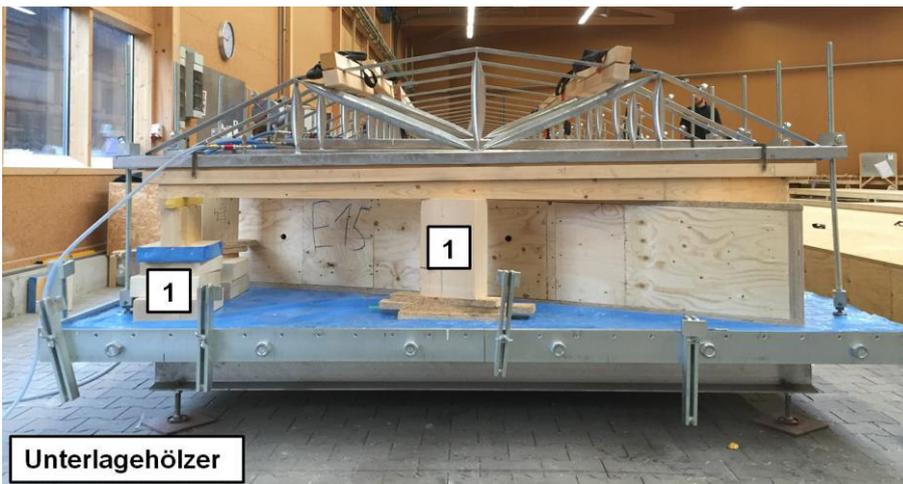


Abbildung 3.78: Unterlagehölzer bei Presse (Projekt B)

Nachdem die vorgegebene Presszeit von rund acht Stunden vergangen war, konnte mit dem Rückbau der Pressgestelle und dem Entleeren des Tisches begonnen werden.



Abbildung 3.79: Entleeren des Presstisches (Projekt B)

Die Entleerung konnte auf zwei unterschiedliche Arten durchgeführt werden. Zum einen wurden Lagerflächen in der Halle vorgesehen, zum anderen standen wiederum Flats zur direkten Verladung der Elemente bereit. Die Lagerfläche innerhalb der Halle wurde jedoch als reine Pufferzone vorgesehen, falls bspw. Elemente aufgrund der höheren Pressenauslastung vorgezogen werden mussten. Für den Transport mussten einige Zusatzarbeiten durchgeführt werden, die vor allem zum Schutz der Elemente dienten. Hierzu zählte u.a. der Zuschnitt von Einlegelatten, die Anbringung von Antirutschmatten oder auch die Verpackung der gesamten Ladung zum Schutz vor Witterung bzw. Verschmutzung. Zudem wurde als zusätzlicher Schutz der Sichtoberfläche eine spezielle Folie zwischen den einzelnen Elementen positioniert.



Abbildung 3.80: Verladung der Elemente (Projekt B)

Mit diesem Kapitel wurde ein Überblick über die unternehmensspezifischen Prozesse der betrachteten Projekte innerhalb der Vorfertigung vermittelt, um die weiteren technischen Grundlagen für eine wirtschaftliche Analyse und den Vergleich der Prozesse und Systeme liefern zu können. Diese werden nun im anschließenden Kapitel eingehend betrachtet und zu einem Gesamtergebnis verarbeitet.

4. Datenerfassung und Auswertung

Zu Beginn dieses Kapitels wird die Vorgehensweise der Datenerfassung in der Produktion des Unternehmens Sieveke nach dem System REFA vorgestellt. Im Anschluss daran erfolgt die Auswertung und Analyse der aufgezeichneten Messgrößen.

4.1 Datenerfassung nach der REFA-Methode

Die Grundlage eines jeden Bauprojektes stellt eine grundlegende und umfangreiche Kalkulation der entstehenden Herstellkosten dar. Neben den Materialkosten und der Summe der Gemeinkosten, sind es vor allem die Fertigungskosten, die das Ergebnis wesentlich beeinflussen. Für eine umfassende Abschätzung dieser Kosten können u.a. Mittellohnen aus der Fachliteratur herangezogen werden, die mittels ausreichender Erfahrung zu ableitbaren Zeitanätzen für die Berechnung der Herstellkosten führen. Es besteht aber auch die Möglichkeit, unternehmensspezifische sog. Aufwands- und Leistungswerte nach dem System REFA zu bestimmen.

Voraussetzung für eine derartige Bestimmung von Werten ist eine strukturierte Datenerfassung während der Fertigung, welche im nachfolgenden Abschnitt detailliert beschrieben wird.

4.1.1 Unternehmensspezifische Gegebenheiten

Der Prozess der Vorfertigung wird von zahlreichen, unternehmensspezifischen Randbedingungen beeinflusst. Im Rahmen dieser Arbeit konnten im Zuge der Beobachtungen folgende Gegebenheiten aufgezeichnet werden:

- **Einflussgrößen durch die Materiallogistik**

Der Materialfluss bzw. die Lagerung von Materialien muss optimal an die vorhandenen teils beengten Platzverhältnisse angepasst werden. Aufgrund des Platzmangels kann in vielen Fällen nur wenig Rohmaterial zwischengelagert werden. Dadurch wird zwar ein rascher Montagefortschritt mit kleinen Lagerflächen ermöglicht, der Logistikaufwand zur Erreichung der Terminvorgaben steigt jedoch deutlich an.

- **Einflussgrößen durch die Arbeitsvorbereitung**

Vor allem die Qualität der Planunterlagen ist eine wichtige Grundvoraussetzung für eine gut funktionierende Vorfertigung im Werk. Fehler in der

Planung können einerseits unvorhergesehene Mehrarbeiten verursachen und andererseits zu einer Qualitätsreduktion bei den Bauteilen führen.

- **Einflussgrößen durch die Personalauswahl**

Die Anzahl der Arbeitskräfte bzw. deren Zusammensetzung im Team wird bereits im Zuge der Arbeitsvorbereitung festgelegt. Teilweise kann es jedoch während der Fertigung zu Änderungen in der Teamzusammensetzung kommen, was großen Einfluss auf die Leistung der Mannschaft und somit Produktivität der Fertigung hat. Weiters ist auch die Qualifikation und Motivation der eingesetzten Arbeitskräfte als wesentliche Einflussgröße zu nennen.

- **Einflussgrößen durch die gewählten Betriebsmittel**

Die Vorfertigung beider untersuchten Projekte wird in unterschiedlichen Betriebshallen abgewickelt. In beiden Hallen steht jeweils ein Portalkran zur Verfügung. Aufgrund von vielen kranintensiven Tätigkeiten ist es somit unumgänglich, die Abfolge gewisser Tätigkeiten so zu organisieren, dass möglichst wenige Kranwartezeiten die Folge sind.

4.1.2 Datenerfassungsbögen

Der Datenerfassungsbogen (kurz: DEB) bildet das Fundament einer Studie nach dem System REFA, wie dies bereits im Kapitel 2.11 beschrieben wird. Noch vor dem Beginn der Beobachtungen wird mit dem Projektverantwortlichen der Fertigungsablauf im Detail besprochen und definiert, welcher in weiterer Folge in den Datenerfassungsbogen in Form von Arbeitsstationen und Tätigkeiten abgebildet wird. Die Gestaltung der Bögen erfolgt in Anlehnung an die von REFA veröffentlichten Aufnahmebögen für Multimomentaufnahmen (kurz: MMA).

In der nachfolgenden Abbildung 4.1 wird beispielhaft der Aufbau des MMA-Datenerfassungsbogen von Projekt A mit all seinen Komponenten dargestellt. Dieser setzt sich im Wesentlichen aus den Grunddaten, einer Grundkategorie und einer Unterkategorie zusammen. Die Grunddaten beinhalten die Bezeichnung des Fertigungsauftrages, das Datum der Beobachtung und die Abkürzung jeder Arbeitskraft (AK-Kurzzeichen). In der Grundkategorie wird zwischen Tätigkeiten, Unterbrechungen und nicht erkennbaren Tätigkeiten gemäß dem System REFA unterschieden. Die Unterkategorie beinhaltet eine wesentlich detailliertere Unterteilung all dieser Bereiche.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--|---------|-----|---|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| Fertigung | | Projekt A (Max-Josef-Stift München) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| AK-Kürzel | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Datum | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Uhrzeit | | 6 | | | | | | | | | | | 7 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Minute | | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | | |
| Tätigkeit | Haupt-tätigkeit | Zusammenbau Riegelwerk: | | AS1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Einbau Stellbretter | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Einbau Querbalken | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Befestigung Dampfbrücke | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Montage 1. Beplankung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Verputzen der 1. Beplankung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Rahmenelement ausrichten/positionieren | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Transport zu AS 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Winkelmontage | | | | AS2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Vorbereitung Dämmung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Einbau Dämmung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Einbau Füllholz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Transport zu AS 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Uhrzeit | | 6 | | | | | | | | | | | 7 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Minute | | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | |
| | Haupt-tätigkeit | Montage 2. Beplankung | | AS3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Klebeband | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Montage Unterkonstruktion | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Einbau Dichtung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Transport zu AS4 | | | | AS4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vorbereitungsmaßnahmen für Fenstereimbau | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fenstereimbau | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Einbau Glasleisten | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Einbau Faszchen | | Verl. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Transport Element von stehend in liegend | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Transport zum FLAT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Zusatzarbeiten für den Transport | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Einlegebretter und Antirutschmatten aufbringen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Leiten bei Fensterelement anschrauben | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LKW einweisen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Schutzmaßnahmen für den Transport | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ladung einfolieren | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Folie verschweißen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kantenschutz für Gurte aufbringen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Neben-tätigkeit | Kran fahren - leer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Stapler fahren - leer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Müll / Aufräumen manuell und maschinell | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| zusätzl. Tätigkeit | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Unterbrechung | ablaufbedingt | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | störungsbedingt | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | erholungsbedingt | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | persönlich bedingt | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | nicht erkennbar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Uhrzeit | | 6 | | | | | | | | | | | 7 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Minute | | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | |

Grunddaten

Grundkategorie (erste Ebene)

Unterkategorie (zweite Ebene)

Tabelle 4.1: MMA-Datenerfassungsbogen (Projekt A)

Die Eintragung der Daten erfolgt in einem bereits zuvor definierten Zeitintervall, das für beide Projekte im Vorfeld mit fünf Minuten festgelegt wurde. Dieses Zeitintervall wurde als ausreichend und für den Beobachter auch als handhabbar angesehen. Grundlegend wurde an jedem Beobachtungstag für jede Arbeitskraft ein eigener Datenerfassungsbogen ausgefüllt. Auf diese Weise wurden sämtliche Tätigkeiten eingetragen, die von jeder einzelnen Arbeitskraft im betrachteten Zeitraum verrichtet wurden. Im Zuge der Erfassung wurde jeder AK eine Abkürzung zugeteilt, um einerseits Neutralität in der Betrachtung herstellen zu können und andererseits das Vertrauen der Probanden zu erlangen. Zudem wurden die mitwirkenden Arbeitskräfte bereits vor Beginn der Studie über den Inhalt, die geplanten Beobachtungen und Erfassungen aufgeklärt.

In den folgenden Abbildungen ist ein ausgefüllter Datenerhebungsbogen einer Arbeitskraft exemplarisch dargestellt. Es ist gut ersichtlich, dass neben der Dateneingabe zusätzliche handschriftliche Notizen gemacht wurden, die zur Nachvollziehbarkeit und besseren Interpretation der Ergebnisse dienen.

Abbildung 4.2: Ausschnitt eines Datenerfassungsbogens Teil 2 (Projekt A)

In den Abbildungen ist in Summe lediglich der Beobachtungszeitraum eines Vormittages von einer einzelnen Arbeitskraft dargestellt. Für den Nachmittag wurde erneut ein DEB in ähnlicher Form ausgefüllt.

Wie bereits erwähnt, wurden laufend Notizen angefügt. Diese beinhalten zumeist Anmerkungen zu länger andauernden Unterbrechungen. Im oberen Teil des Datenerhebungsbogens wurde zusätzlich der Fertigungsbeginn neuer Elemente vermerkt. Auf diese Weise konnten die Bezugsgrößen für die Aufwandswertermittlung einfacher bestimmt werden.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit wird die Aufnahme nach der REFA-Methode üblicherweise zusätzlich mittels Videokamera unterstützt. Aufgrund der guten Einsicht in alle Arbeitsbereiche und der durchgängigen Anwesenheit des Beobachters, konnte in diesem Fall auf eine digitale Datenerfassung verzichtet werden.

4.1.3 Sammlung der Daten

Bei Projekt A wurde die Aufnahme vom 20.August.2015 bis 02.September.2015 über einen Zeitraum von zehn Werktagen durchgeführt. Im Durchschnitt waren rund sieben Mitarbeiter mit der Vorfertigung beschäftigt. Die dabei gesammelte Datenmenge umfasst je Arbeitskraft und Arbeitstag zwei DIN A3-Multimoment-Aufnahmeblätter. In Summe konnten somit 160 Datenblätter für das Projekt A ausgewertet werden.

Während der Aufnahme von Projekt B waren im Durchschnitt vier Arbeitskräfte beschäftigt, wobei aufgrund des eingesetzten Schichtmodells an einigen Tagen weitere drei Arbeitskräfte über eine Dauer von drei Stunden zusätzlich beobachtet werden konnten. Der Beobachtungszeitraum vom 14.Oktober.2015 bis 23.Oktober.2015 beinhaltete in Summe acht Werktage. Auch hier umfasste die gesammelte Datenmenge je Arbeitskraft und Arbeitstag zwei DIN A3-Multimoment-Aufnahmeblätter. In Summe konnten somit 64 Datenblätter für das Projekt B gesammelt werden, wobei die Beobachtungen der zweiten Schicht hierbei nicht mitberücksichtigt sind.

4.1.4 Problematik der Datenerfassung

Prinzipiell wurde bereits im Zuge der Vorbereitung für die REFA-Untersuchung ein gut durchdachter Datenerhebungsbogen in Zusammenarbeit mit dem Projektleiter erstellt. Um den geplanten Beobachtungsstart ohne Komplikationen starten zu können, wurden im Vorfeld zwei sog. Pre-Tests von je einer Stunde durchgeführt, die einer Optimierung des Datenerhebungsbogens dienten. Zur erleichterten Umsetzung der Aufnahme wurde für die Fixierung der Aufnahmebögen ein Klemmbrett in A3-Größe aus Holz gefertigt, das mit einem Gurt zu einer mobilen Tragemöglichkeit umgerüstet werden konnte.

Da die gesamte Vorfertigung beider beobachteten Projekte in gänzlich abgeschlossenen Betriebshallen stattfand, konnte der Beobachter stets in alle Tätigkeitsbereiche zugleich einsehen. Eine der beiden Fertigungshallen besitzt eine sog. Galerie als Lagerfläche, von der aus ein sehr guter Einblick in alle Tätigkeitsbereiche möglich war.

Die Datenaufnahme beider Projekte konnte zügig und problemlos durchgeführt werden.

4.1.5 Erforderlicher Beobachtungsumfang

Für die Bestimmung des erforderlichen Beobachtungsumfanges muss bereits im Vorfeld bekannt sein wie hoch der prozentuelle Anteil der einzelnen Ablaufarten am Gesamtablauf sein muss. Dieser Anteil ist jedoch vor Beginn der Datenaufnahme unbekannt und muss vom Beobachter definiert werden.

Im konkreten Fall wurde für beide Projektauswertungen ein Vertrauensbereich⁴³⁶ von 5% angestrebt. Das bedeutet, dass die Ergebnisse mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% unter einer möglichen Abweichung von +/-5% zutreffen.

In der nachfolgenden Grafik ist eine Vielzahl von Kurven dargestellt, die den Zusammenhang zwischen dem Stichprobenumfang, dem prozentualen Anteil der einzelnen Ablaufart am Gesamtablauf und dem absoluten Vertrauensbereich zeigen.

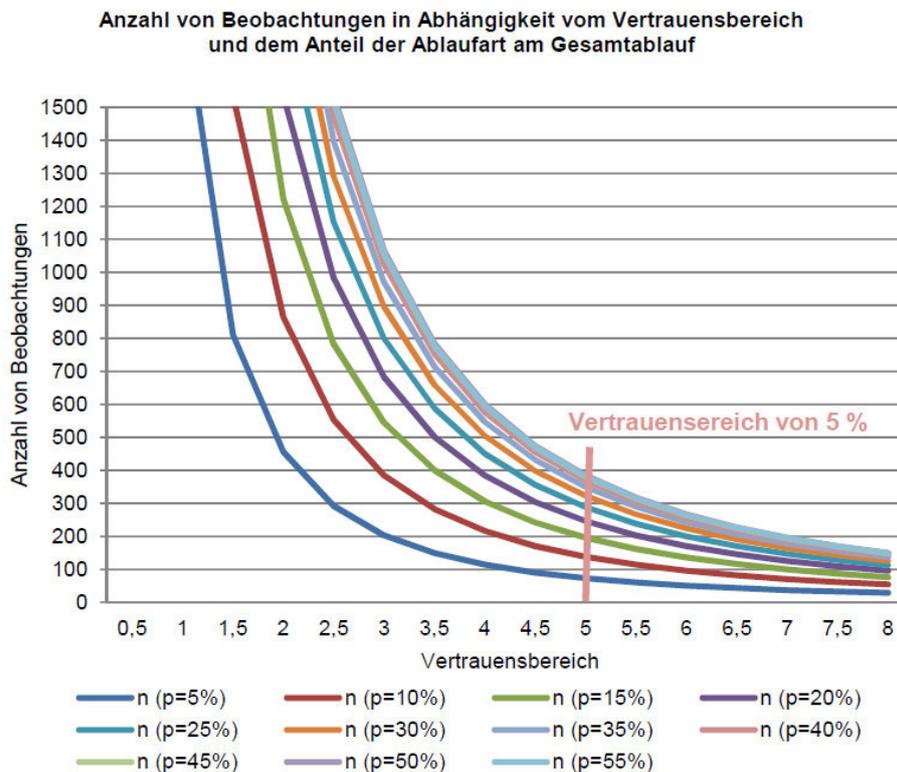


Abbildung 4.3: Erforderliche Beobachtungen nach der Multimoment Hauptformel für eine statistische Sicherheit von 95%⁴³⁷

⁴³⁶ Der Vertrauensbereich ist jener Bereich, der den wahren Parameter der Grundgesamtheit mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit einschließt.

⁴³⁷ VGL. GERHARD, K.: REFA in der Baupraxis - Teil 2 - Datenermittlung, S. 67.

Wie dieser Abbildung zu entnehmen ist, müssen bei einem geforderten Vertrauensbereich von fünf Prozent, zwischen 73 und 384 Beobachtungen notiert werden, um eine korrekte, wissenschaftlich eindeutige und nachvollziehbare Aussage treffen zu können.

Grundlage für diese Darstellung ist die Multimoment-Hauptformel nach dem System REFA für eine statistische Sicherheit von 95%.

Der erforderliche Stichprobenumfang lässt sich nach Umformung der Hauptformel wie folgt berechnen:

$$n = \frac{1,96^2 \cdot p \cdot (100 - p)}{f^2}$$

n... Stichprobenumfang

p... prozentualer Anteil der Ablaufart am Gesamtablauf

f... absoluter Vertrauensbereich

Formel 4.1: Stichprobenumfang für eine statistische Sicherheit von 95%⁴³⁸

Das Zeitintervall wurde bei beiden Projekten mit fünf Minuten festgelegt. Bei einer festgelegten Arbeitsdauer von neun Stunden pro Tag konnten auf diese Weise 108 Stichproben pro Arbeitskraft und Arbeitstag aufgenommen werden.

Die Vorfertigung im Falle des Projektes A wurde durchschnittlich von rund sieben Arbeitskräften abgewickelt, die Aufnahme der Daten erstreckte sich über insgesamt zehn Werkzeuge was in Summe zu 7650 Stichproben führte.

Bei Projekt B wurden hingegen durchschnittlich vier Arbeitskräfte in der Vorfertigung eingesetzt. Die Aufnahme erstreckte sich in Summe über acht Werkzeuge, was in Summe zu 3456 Daten führte. Dazu konnten noch einige Stichproben von den Arbeitskräften aus der Spätschicht hinzugezählt werden.

Aus den Aufzeichnungen der Beobachtungen d.h. der Summe der Stichproben wird klar ersichtlich, dass der Umfang der aufgenommenen Einzelereignisse für eine eindeutige Aussage gemäß dem System REFA als ausreichend betrachtet werden kann.

4.1.6 Besonderheiten bei der Datenermittlung

Die Besonderheit bestand in der Beobachtung von zwei grundlegend unterschiedlichen Fertigungssystemen. Bei Projekt A wurde die Vorfertigung von Holzrahmenelementen und bei Projekt B die Vorfertigung von verklebten Hohlkastenelementen beobachtet. Folglich musste auch für jedes Projekt ein geeigneter Datenerfassungsbogen erstellt werden.

⁴³⁸ VGL. GERHARD, K.: REFA in der Baupraxis - Teil 2 - Datenermittlung, S. 67.

Die Fertigung von Projekt A wurde im Wesentlichen an die vorhandenen Zimmerer-Arbeitstische angepasst, wobei das Thema der Verklebung ein neues Anwendungsspektrum im Unternehmen darstellte.

Aufgrund des vorgeschriebenen Klebstoff-Systems mit einer Presszeit von rund acht Stunden und der Vorgabe von vier Pressgängen auf zwei Presstischen pro Tag, musste bei Projekt B eine zweite Arbeitsschicht eingeführt werden. Die Überschneidung beider Schichten in einem Zeitraum von rund drei Stunden führte zu einer Verdoppelung der Aufzeichnungsdaten innerhalb dieser Zeitspanne.

Schlussendlich konnte für beide Projekte eine ausreichende Anzahl an Daten gesammelt werden, die in weiterer Folge die Grundlage für die Auswertung bzw. Aufwandswernermittlung bildeten.

4.2 Ziele der Datenauswertung

Der wirtschaftliche Erfolg eines Unternehmens im Bauwesen beruht auf einer positiven und vor allem gewinnbringenden Auftragsabwicklung. Grundsätzlich wird eine ausgeschriebene Leistung meist von mehreren, zueinander im Wettbewerb stehenden Unternehmen angeboten. Um einerseits den Zuschlag für einen Auftrag zu erhalten, andererseits aber auch die definierten Unternehmensziele erreichen und die anfallenden Gemeinkosten decken zu können, muss vor allem die Kalkulationsabteilung laufend mit aktuellen Datensätzen aus den verschiedenen Unternehmensbereichen versorgt werden.

Das Ziel dieser Datenauswertung ist einerseits die Bestimmung bzw. Aktualisierung der tatsächlichen Aufwandswerte für den Bau von vorgefertigten Holzrahmenelementen und andererseits die erstmalige Erfassung dieser Kennwerte für die Fertigung verklebter Hohlkastenelemente.

4.2.1 Allgemeine Datenauswertung im Bauwesen

Aus einer derartigen Datenauswertung heraus resultieren Kennzahlen für Projekte, die sich in der Fertigung befinden. Aufgrund der Tatsache, dass im Bauwesen beinahe jedes Projekt ein Unikat darstellt, sollten diese Kennzahlen zukünftig lediglich als Richtwerte und nicht als feste Eingangsgrößen angesehen werden.

4.2.2 Projektspezifische Auswertung

Neben einzelnen projektspezifischen Gegebenheiten gibt es jedoch eine Vielzahl an Tätigkeiten, die sich aufgrund des standardisierten Elementaufbaus immer wieder auf die nahezu gleiche Art und Weise wiederholen. Bereits im Vorfeld wurden jene Tätigkeiten so zusammengefasst, dass ein Vergleich mit zukünftigen Projekten angestellt werden kann.

Für die Errichtung von vorgefertigten Holzrahmenelementen werden daher für das Projekt A folgende Kennwerte in Form von Aufwandswerten ermittelt:

- Aufwandswert für den Zusammenbau des Riegelwerkes
- Aufwandswert für den Einbau der Stellbretter
- Aufwandswert für den Einbau der Querbalken
- Aufwandswert für die Ausrichtung des Rahmenelementes
- Aufwandswert für die Befestigung der Dampfbremse
- Aufwandswert für die Fixierung der inneren Beplankung
- Aufwandswert für die Verspachtelung der inneren Beplankung

- Aufwandswert für die Befestigung der Winkel
- Aufwandswert für die Vorbereitung der Dämmstoffbahnen
- Aufwandswert für den Einbau der Dämmstoffbahnen
- Aufwandswert für den Einbau der Füllhölzer
- Aufwandswert für die Fixierung der äußeren Beplankung
- Aufwandswert für die Abklebung der äußeren Beplankung
- Aufwandswert für die Befestigung der Unterkonstruktion
- Aufwandswert für den Einbau der Dichtung
- Aufwandswert für die Vorbereitungsmaßnahmen zum Einbau der Fenster
- Aufwandswert für den Einbau der Fenster
- Aufwandswert für den Einbau der Glasleisten
- Aufwandswert für den Einbau der Fensterfaschen
- Aufwandswert für den Elementtransport innerhalb der Arbeitsstationen
- Aufwandswert für die Verladung

Zusätzlich wurden die Aufwandswerte sämtlicher Arbeitsstationen zusammengefasst dargestellt und der Gesamtaufwandswert aller Stationen einschließlich der Verladung auf das Transportmittel abgebildet:

- Gesamtaufwandswert für die Arbeitsstation 1
- Gesamtaufwandswert für die Arbeitsstation 2
- Gesamtaufwandswert für die Arbeitsstation 3
- Gesamtaufwandswert für die Arbeitsstation 4
- Gesamtaufwandswert für den Elementtransport und die Verladung
- Gesamtaufwandswert für die Vorfertigung von Projekt A

Die gleiche Vorgehensweise wurde auch für die Vorfertigung der verklebten Hohlkastenelemente vom Projekt B angewandt. Dazu wurden folgende Kennwerte in Form von Aufwandswerten ermittelt:

- Aufwandswert für die Bearbeitung der unteren, sichtbaren Beplankungsebene
- Aufwandswert für den Zusammenbau des Riegelwerkes
- Aufwandswert für die Ausrichtung des Rahmenelementes
- Aufwandswert für den Einbau der Hebeschlaufen
- Aufwandswert für die Befestigung der Winkel

- Aufwandswert für die Fixierung der oberen Beplankung
- Aufwandswert für die Pressvorbereitung der unteren, sichtbaren Beplankungsebene
- Aufwandswert für die Pressvorbereitung des Riegelwerkes
- Aufwandswert für die Verklebung
- Aufwandswert für das Schließen der Presse
- Aufwandswert für das Öffnen der Presse
- Aufwandswert für den Elementetransport und die Verladung

Wiederum erfolgte eine Zusammenfassung verschiedener Tätigkeiten zu Aufwandswerten einzelner Arbeitsstationen, wie auch die Darstellung des Gesamtaufwandswertes inkl. der Verladung.

- Gesamtaufwandswert für die Arbeitsstation 1
- Gesamtaufwandswert für die Arbeitsstation 2
- Gesamtaufwandswert für die Arbeitsstation 3
- Gesamtaufwandswert für den Elementetransport und die Verladung
- Gesamtaufwandswert für die Vorfertigung von Projekt B

All diese Werte werden in den folgenden Kapiteln im Detail dargestellt.

4.3 Methodik der Datenauswertung

Die Methodik der Datenauswertung nach dem System REFA kann in mehrere Schritte unterteilt werden. Allem voran steht die Digitalisierung der händisch aufgenommenen Daten während der Bestandsanalyse im Unternehmen. Anschließend erfolgt die Analyse der Fertigung nach Zeitarten sowie nach Tätigkeiten und Unterbrechungen. Zu guter Letzt wird die Auswertung der Daten mit der Bestimmung von Aufwandswerten abgeschlossen. Diese Vorgehensweise wird sowohl bei Projekt A, als auch bei Projekt B in der gleichen Reihenfolge durchgeführt.

4.3.1 Datenübertragung

Die Übertragung der Daten besteht im Wesentlichen aus der Digitalisierung aller im Werk ausgefüllten Datenerhebungsbögen. Dabei werden die handschriftlich erfassten Beobachtungen je Arbeitskraft in ein Tabellenkalkulationsprogramm übertragen und für die weitere Auswertung aufbereitet. Wie bereits im Kapitel 4.1.2 erwähnt, kann ein Datenerhebungsbogen grundsätzlich in die Bereiche der Grund- und Unterkategorie gliedert werden.

Dabei setzt sich die Grundkategorie aus folgenden Bereichen zusammen:

- Tätigkeit
- Unterbrechung
- Nicht erkennbare Tätigkeit

Die Unterteilung der Grundkategorie in die weiteren Unterkategorien sieht anschließend folgendermaßen aus:

- Haupttätigkeit
- Nebentätigkeit
- Zusätzliche Tätigkeit
- Ablaufbedingte Unterbrechung
- Störungsbedingte Unterbrechung
- Erholungsbedingte Unterbrechung
- Persönlich bedingte Unterbrechung
- Nicht erkennbare Tätigkeit

Eine Beschreibung dieser Begrifflichkeiten ist dem Kapitel 2.11.3 zu entnehmen.

In der nachfolgenden Tabelle ist exemplarisch ein Ausschnitt eines bereits digitalisierten Datenerhebungsbogens einer ausgewählten Arbeitskraft bei Projekt A dargestellt.

| Fertigung | | Projekt A (Max-Josef-Stift München) | | N10 | | | | | | | | | | | | N09 | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------------|-------------------------------------|--------|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| AK-Kürzel | | AK1 - 27.08.2015 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Datum | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tätigkeit | Haupt-tätigkeit | Uhrzeit | 6 | | | | | | | | | | | | 7 | | | | | | | | | | | | |
| | | | Stunde | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| | | Minute | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | | AS1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | AS2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | AS3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | AS4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Verl. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Uhrzeit | | 6 | | | | | | | | | | | | 7 | | | | | | | | | | | |
| | | Minute | | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
| Nebentätigkeit | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| zusätzl. Tätigkeit | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ablaufbedingt | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| störungsbedingt | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| erholungsbedingt | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| persönlich bedingt | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| nicht erkennbar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| WBGT | Wärmestr. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Luftgeschw. rel Luftf. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Temp. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Uhrzeit | Stunde | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | |
| Minute | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabelle 4.2: Ausschnitt der Datenübertragung eines DEB (Projekt A)

Wie der Tabelle 4.2 zu entnehmen ist, werden die Beobachtungen eines jeden Zeitintervalls elektronisch mit der Zahl „1“ versehen. Hintergrund dafür ist eine für die Auswertung notwendige Summenbildung einzelner Tätigkeiten. Die Systematik der Datenübertragung wiederholt sich für jede Arbeitskraft und jeden Arbeitstag auf die gleiche Weise. Nachdem die Übertragung abgeschlossen ist, wird im Anschluss mit der Analyse nach den sog. Zeitarten und den sog. Tätigkeiten und Unterbrechungen fortgesetzt.

4.3.2 Klassifizierung der Daten nach Zeitarten

Die Klassifizierung der Daten nach Zeitarten ermöglicht eine gesonderte Betrachtung verschiedener Zeitarten bezüglich der Gesamtarbeitszeit. Dabei können folgende Zeitarten unterschieden werden:

- Grundzeit
- Verteilzeit

- Erholungszeit

Die Zusammensetzung und die Beschreibung dieser Begrifflichkeiten kann dem Kapitel 2.11.3 entnommen werden.

Die Darstellung nach den Zeitartern beinhaltet die Verteilung aller Arbeitskräfte an einem bestimmten Arbeitstag, wie auch über die Gesamtarbeitszeit⁴³⁹.

Zusätzlich kann eine weitere Klassifizierung der Ergebnisse vorgenommen werden. Diese Klassifizierung beschränkt sich im Wesentlichen auf den prozentuellen Anteil der Grundzeit an der Gesamtarbeitszeit, wobei sich die Grundzeit aus den Zeiten für Haupttätigkeiten, Nebentätigkeiten und den ablaufbedingten Unterbrechungen zusammensetzt.

Folgende Klassifizierungen wurden in Kooperation mit der Zimmerei Sieveke definiert und im Zuge der Datenauswertung unterschieden:⁴⁴⁰

- Gut: 80% < Anteil der Grundzeit < 100%
- Mittel: 60% < Anteil der Grundzeit < 80%
- Schlecht: Anteil der Grundzeit < 60%

Neben der möglichen Betrachtung und Klassifizierung der Gesamtarbeitszeit kann auch eine Untergliederung in einzelne Tage angestellt werden. Auf diese Weise ist ersichtlich, welche Tage als „gut“, welche als „mittel“ und welche als „schlecht“ einzustufen sind, um auch die Gründe dafür im Detail analysieren zu können.

4.3.3 Klassifizierung der Daten nach Tätigkeiten und Unterbrechungen

Die Klassifizierung der Daten ermöglicht eine detailliertere Betrachtung aller Tätigkeiten und Unterbrechungen auf der sog. zweiten Ebene.

Dabei fallen folgende Begrifflichkeiten unter die Kategorie der Tätigkeiten:

- Haupttätigkeiten
- Nebentätigkeiten
- Zusätzliche Tätigkeiten

Der Bereich der Unterbrechungen lässt sich wie folgt untergliedern:

- Ablaufbedingte Unterbrechungen

⁴³⁹ Die Gesamtarbeitszeit ist die Summe der, in den Datenerhebungsbögen, erhobenen Zeiten aller Arbeitskräfte und Arbeitstage.

⁴⁴⁰ Die Prozentsätze der Klassifizierungen entsprechen in erster Linie den Anforderungen der Zimmerei Sieveke GmbH, richten sich jedoch an die fach einschlägige Literatur. Die Grundzeit sollte prinzipiell zwischen 70% und 100% liegen.

- Störungsbedingte Unterbrechungen
- Erholungsbedingte Unterbrechungen
- Persönlich bedingte Unterbrechungen

Als letzte Kategorie seien an dieser Stelle noch die nicht erkennbaren Tätigkeiten genannt. Aufgrund der guten Einsicht in alle Tätigkeitsbereiche der Fertigung kann diese Kategorie in den meisten Fällen unberücksichtigt bleiben.

Die Datenauswertung besteht grundsätzlich aus der Darstellung der Verteilung aller Arbeitskräfte an einem Arbeitstag, wie auch über den gesamten Beobachtungszeitraum.

Des Weiteren wird auch in der Analyse nach Tätigkeiten und Unterbrechungen eine Klassifizierung der Arbeitszeit in unterschiedliche Kategorien vorgenommen. In dieser Betrachtung wird der prozentuelle Anteil der Haupttätigkeit, gemessen an der Gesamtarbeitszeit, bewertet.

Dabei wurden folgende Klassifizierungsgrenzen definiert:⁴⁴¹

- Gut: 40% < Anteil der Grundzeit < 100%
- Mittel: 30% < Anteil der Grundzeit < 40%
- Schlecht: Anteil der Grundzeit < 30%

Die Untergliederung nach Tätigkeiten und Unterbrechungen bildet letztendlich die Möglichkeit, eine Unterscheidung in den sog. Bruttoaufwandswert⁴⁴² (kurz: AW_{brutto}) und den sog. Nettoaufwandswert⁴⁴³ (kurz: AW_{netto}) vorzunehmen. Des Weiteren kann eine detaillierte Betrachtung aller unterschiedlichen Arten von Tätigkeiten und Unterbrechungen inkl. deren Anteil an der Gesamtarbeitszeit vorgenommen werden.

4.3.4 Bestimmung der Aufwandswerte

Die Bestimmung der Aufwandswerte kann auf eine detaillierte Zusammenstellung der Ergebnisse aus der Multimomentaufnahme zurückgeführt werden. Dazu wird die gesammelte Datenmenge anhand einer bestimmten Grundstruktur in den Datenerhebungsbögen auf einfache Weise den zu ermittelnden Aufwandswerten zugeteilt. Zeiten, wie bspw. gesetzlich vorgeschriebene Pausen, die zwar im Zuge der Datenaufnahme

⁴⁴¹ Die Prozentsätze der Klassifizierungen entsprechen in erster Linie den Anforderungen der Zimmerei Sieveke GmbH, richten sich jedoch an die fach einschlägige Literatur. Die Grundzeit (u.a. bestehend aus den Zeiten der Haupttätigkeit) sollte zwischen 70% und 100% liegen.

⁴⁴² Der Bruttoaufwandswert (AW_{brutto}) bezieht sich auf die Summe der Gesamtarbeitszeit, d.h. auf die Summe der Zeiten von Tätigkeiten und Unterbrechungen.

⁴⁴³ Der Nettoaufwandswert (AW_{netto}) bezieht sich ausschließlich auf die Zeiten der Haupttätigkeiten.

aufgezeichnet werden, mit der eigentlichen Fertigung jedoch nichts zu tun haben, können unberücksichtigt bleiben.

In den nachfolgenden Tabellen ist eine Auflistung sämtlicher ermittelter Aufwandswertpositionen (kurz: AW_i-Positionen) beider Projekte aufgelistet. Zudem ist jeder Position eine kurze Beschreibung der angefallenen Tätigkeiten zugewiesen.

Folgende AW_i-Positionen⁴⁴⁴ können der Vorfertigung der Holzrahmenelemente im Projekt A zugeordnet werden:

| AS | AWi-Position | Beschreibung |
|---------------------------------------|----------------------------------|---|
| Arbeitsstation 1 | Zusammenbau des Riegelwerkes | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch |
| | | Positionierung der Hölzer |
| | | Verschraubung der Hölzer |
| | | Einbau der Hebeschlaufen |
| | Einbau der Stellbretter | Holvorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch |
| | | Einbau der Stellbretter |
| | | Evtl. Nachbearbeitung der Stellbretter |
| | Einbau der Querbalken | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch |
| | | Positionierung der Hölzer |
| | | Verschraubung der Hölzer |
| | Ausrichtung des Rahmenelementes | Befestigung der Lotschnur |
| | | Ausmessung der Diagonalen |
| | | Ausrichtung des Elements |
| | Befestigung der Dampfbremse | Aufbringung der Folie |
| | | Befestigung der Folie |
| | | Evtl. Zuschnitt der Folie bei Öffnungen |
| | Fixierung der inneren Beplankung | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch |
| | | Positionierung der Platten |
| | | Verschraubung der Platten |
| | | Evtl. Bearbeitung der Platten |
| Verspachtelung der inneren Beplankung | Verspachtelung der Plattenstöße | |

⁴⁴⁴ Die aufgelisteten AW_i-Positionen stehen sowohl für Brutto-, als auch Nettoaufwandswerte.

| | | |
|------------------|--------------------------------------|---|
| Arbeitsstation 2 | Befestigung der Winkel | Positionierung der Winkel |
| | | Verschraubung der Winkel |
| | Vorbereitung der Dämmung | Holvorgang vom Lagerbereich zur Arbeitsstation |
| | | Zuschnitt der Dämmstoffbahnen |
| | | Positionierung der Dämmstoffbahnen am Element |
| | Einbau der Dämmung | Einbau der Dämmstoffbahnen |
| | | Evtl. Bearbeitung der Dämmstoffbahnen |
| | Einbau der Füllhölzer | Holvorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch |
| | | Positionierung der Hölzer |
| | | Verschraubung der Hölzer |
| Arbeitsstation 3 | Fixierung der äußeren Beplankung | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch |
| | | Positionierung der Platten |
| | | Verschraubung der Platten |
| | | Evtl. Bearbeitung der Platten |
| | Ablebung der äußeren Beplankung | Anbringung der Klebestreifen an den Plattenstößen |
| | Befestigung der Unterkonstruktion | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch |
| | | Positionierung der Hölzer |
| | | Verschraubung der Hölzer |
| | Einbau der Dichtung | Evtl. Bearbeitung der Hölzer |
| | | Anbringung des Dichtungsbandes |
| Arbeitsstation 4 | Vorbereitungsmaßnahmen Fenstereinbau | Einbau von Holzklötzen |
| | | Einbau des Multifunktionsbandes |
| | Fenstereinbau | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Element |
| | | Positionierung des Fensters |
| | | Verschraubung des Fensters mit dem Element |
| | | Evtl. Sicherungsmaßnahmen für den Transport |
| | Einbau der Glasleisten | Holvorgang vom Lagerbereich zum Element |
| | | Befestigung der Glasleisten am Fenster |
| | | Evtl. Bearbeitung der Glasleisten |
| | Einbau der Fensterfaschen | Holvorgang vom Lagerbereich zum Element |
| | | Einbau der Dämmstreifen |
| | | Positionierung der Faschen |
| | | Verschraubung der Faschen |
| | | Evtl. Bearbeitung der Faschen |

Tabelle 4.3: AW_i-Positionen (Projekt A)

Die AW_i-Positionen der Vorfertigung von verklebten Hohlkastenelementen bei Projekt B können der im Anschluss dargestellten Tabelle 4.4 entnommen werden.

| AS | AWi-Position | Beschreibung | |
|-------------------------------|---------------------------------|---|---|
| Arbeitsstation 1 | Bearbeitung der Sichtplatten | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch | |
| | | Positionierung der Platten | |
| | | Anzeichnen der Schnitte | |
| | | Anzeichnen der Klebstoffflächen | |
| | | Zuschnitt der Platten | |
| | | Abtransport der Verschnittplatten | |
| | | Reinigung der Platten | |
| Arbeitsstation 2 | Zusammenbau des Riegelwerks | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch | |
| | | Positionierung der Hölzer | |
| | | Verschraubung der Hölzer | |
| | Ausrichtung des Elementes | Befestigung der Lotschnur | |
| | | Ausmessung der Diagonalen | |
| | | Ausrichtung des Elementes | |
| | Einbau der Hebeschlaufen | Positionierung der Hebeschlaufen | |
| | | Verschraubung der Hebeschlaufen | |
| | Befestigung der Winkel | Positionierung der Winkel | |
| | | Verschraubung der Winkel | |
| | Fixierung der oberen Beplankung | Fixierung der oberen Beplankung | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch |
| | | | Positionierung der Platten |
| | | | Verschraubung der Platten |
| Evtl. Bearbeitung der Platten | | | |
| Arbeitsstation 3 | Pressvorbereitung Sichtplatten | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Presstisch | |
| | | Ausrichtung der Platten | |
| | | Reinigung der Platten | |
| | Pressvorbereitung Riegelwerk | Pressvorbereitung Riegelwerk | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Presstisch |
| | | | Ausrichtung des Elementes |
| | Verklebung | Verklebung | Ausfüllen der Pressprotokolle |
| | | | Messung der Holzfeuchtigkeit |
| | | | Messung des Umgebungsklimas |
| | | | Mischung von Klebstoff und Härter |
| | | | Auftrag des Klebstoffes auf den Sichtplatten |
| | Presse schließen | Presse schließen | Einbau von Holzklötzen zum Höhenausgleich |
| | | | Aufbringung der Pressgestelle |
| | | | Verbindung der Pressgestelle mit dem Presstisch |
| | | | Aufbringung des Pressdruckes |
| | | | Entfernung von überschüssigem Klebstoff |

| | | |
|--|---------------|---|
| | Presse öffnen | Lösung des Pressdruckes |
| | | Entfernung der Pressgestelle |
| | | Entleerung der Presse |
| | | Entfernung von überschüssigem Klebstoff |
| | | Kantenbearbeitung der Sichtplatten |

Tabelle 4.4: AW_i-Positionen (Projekt B)

Wie den abgebildeten Tabellen zu entnehmen ist, wird einer jeden AW_i-Position eine unterschiedliche Anzahl von erforderlichen Einzeltätigkeiten zugeteilt. Für die endgültige Ermittlung der Aufwandswerte müssen weiters auch die auftretenden Unterbrechungen und die zusätzlichen Tätigkeiten entsprechend aufgeteilt werden. Da nicht immer eine eindeutige Zuordnung zu den Aufwandswert-Positionen möglich ist, wurde in den meisten Fällen ein vorgegebener Aufteilungsschlüssel erstellt.

Bei Projekt A wurde dieser Schlüssel bspw. für jede einzelne Arbeitsstation individuell angepasst, da die Arbeitskräfte aufgrund der Taktfertigung jeder Station eindeutig zugeordnet werden konnten.

In der nachfolgenden Tabelle ist der Aufteilungsschlüssel der Unterbrechungen und nicht erkennbaren Tätigkeiten von Arbeitsstation 1 für das Projekt A exemplarisch abgebildet.

| | | Zusammenbau Riegelwerk | Einbau Stielbreiter | Einbau Querbalken | Befestigung Dampfbremse | Montage 1 Beplankung | Verputzen der 1. Beplankung | Rahmenelement ausrichten | Transport zu AS2 |
|--------------------|---|---|---------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------|
| Nebentätigkeit | Kran fahren - leer | 50,0% | | | | 50,0% | | | 50,0% |
| | Stapler fahren - leer | 50,0% | | | | | | | |
| zusätzl. Tätigkeit | Müll / Aufräumen manuell und maschinell | 30,0% | | 20,0% | | 40,0% | 10,0% | | |
| | | | | | | | | | |
| Unterbrechung | Ablaufbedingt | Plan lesen, Diskussionen, Arbeitsvort. Klären | 60,0% | 10,0% | 10,0% | 20,0% | | | |
| | | Warten, Kranstehzeit, LKW fährt ein | 5,0% | 5,0% | 5,0% | 5,0% | 10,0% | 25,0% | 40,0% |
| | Störungsbedingt | fehlende Doku., ungenaue Planung | 40,0% | 20,0% | 20,0% | 20,0% | | | |
| | | Werkzeug holen, Material holen | 30,0% | 20,0% | 20,0% | 10,0% | 20,0% | 10,0% | |
| | | fehlende Arbeitskraft (weil wegbestellt) | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% |
| | | ungenaue Ausführung der Vorarbeiten | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% |
| | Reparatur | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | |
| Fehler in der AV | 40,0% | 20,0% | 20,0% | 20,0% | | | | | |
| Erholungsbedingt | stehen, zuschauen, nichts tun | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | |
| | Teambesprechung über Hindernisse | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | |
| | Wasser / Kaffee trinken | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | |
| Persönlich bedingt | eigene Pause | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | |
| | vorgegebene Pause | | | | | | | | |
| | Abwesenheit | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 12,5% | |
| Nicht erkennbar | | | | | | | | | |

Tabelle 4.5: Aufteilungsschlüssel Unterbrechungen und nicht erkennbare Tätigkeiten für die AS1 (Projekt A)

Der Aufteilungsschlüssel von Projekt B konnte im Vergleich dazu nicht eindeutig den einzelnen Arbeitsstationen zugeordnet werden, da keine fixe Zuteilung der AK bestand. Aus diesem Grund wurde versucht, einen allgemein gültigen Aufteilungsschlüssel, der alle AW_i-Positionen beinhaltet, zu erstellen und anzuwenden.

Die zusätzlichen Tätigkeiten wurden in diesen Tabellen vorerst nicht mit fixen Prozentsätzen aufgeteilt, da sie zumeist als Ganzes einer einzelnen Position zugerechnet werden konnten.



Nach der Aufteilung von Unterbrechungen und nicht erkennbaren Tätigkeiten erfolgt die Summierung der Zeiten aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum. Der nachfolgenden Tabelle können die aufsummierten Zeitwerte aller Tätigkeiten und Unterbrechungen für das Projekt A entnommen werden.

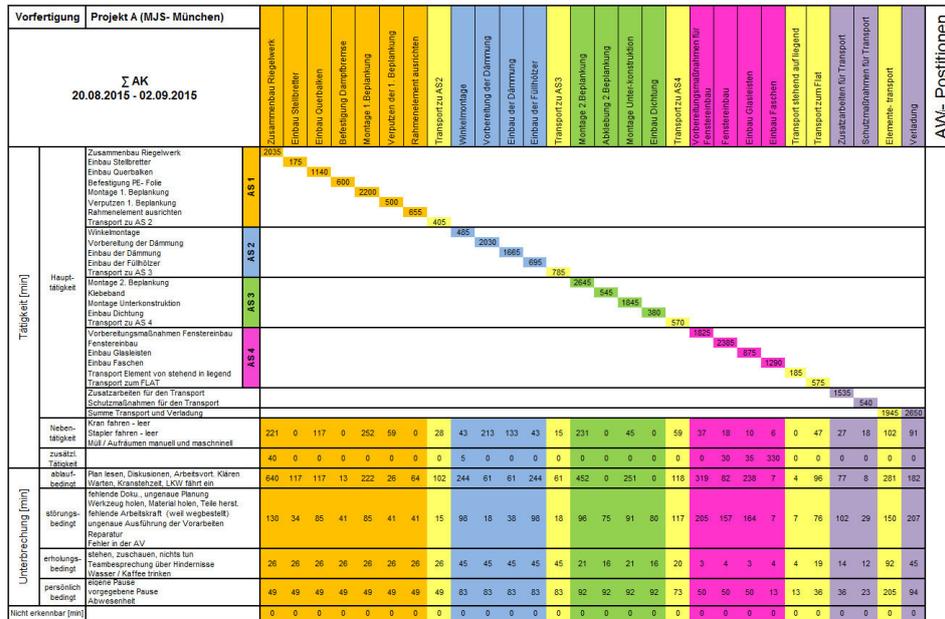


Tabelle 4.6: Zuteilung der Zeiten aus den DEB (Projekt A)

Die aufsummierten Zeitwerte aller Tätigkeiten und Unterbrechungen für das Projekt B sind in Tabelle 4.7 dargestellt.

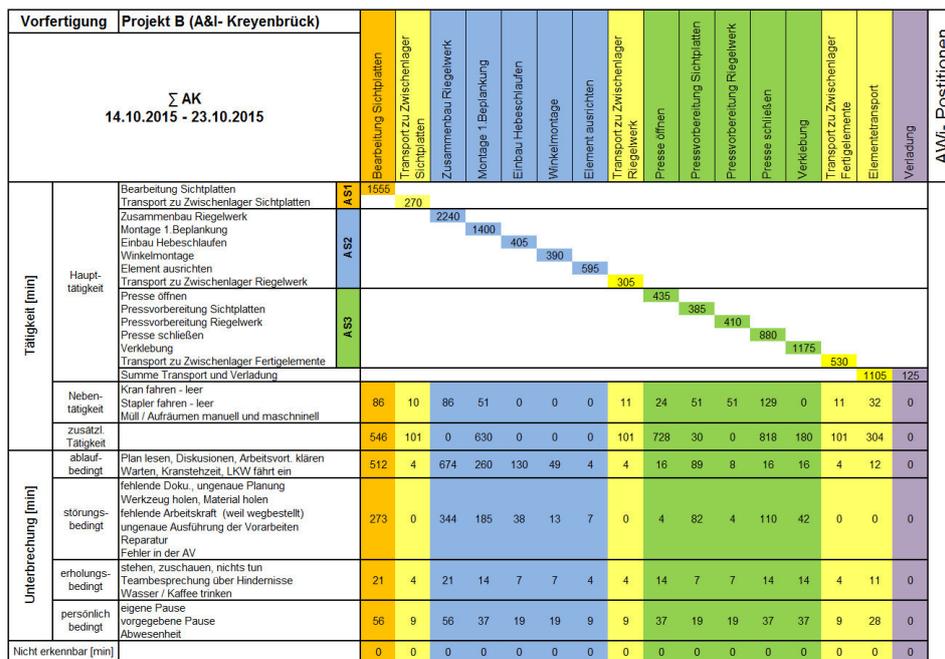


Tabelle 4.7: Zuteilung und Summierung der Zeiten aller DEB (Projekt B)

Wie den vorangegangenen Abbildungen entnommen werden kann, sind für sämtliche AW_i -Positionen die aufsummierten Zeiten aller Tätigkeiten und Unterbrechungen dargestellt, welche letztlich die Grundlage für die Ermittlung der Aufwandswerte bildeten. Auf diese Weise konnten für das Projekt A in Summe 19 Aufwandswerte, und für das Projekt B insgesamt 11 Aufwandswerte ermittelt werden. Zusätzlich wurde für jedes Projekt ein eigener Aufwandswert für den Transport der Elemente innerhalb der Arbeitsstationen und für die Tätigkeiten der Verladung bestimmt.

4.3.5 Bestimmung der Leistungswerte

Auf die Bestimmung der sog. Leistungswerte, also jene Werte, welche für maschinenintensive Tätigkeiten entstehen, wurde im Zuge dieser Auswertung gezielt verzichtet, da die Vorfertigung von Holzrahmenelementen für das Projekt A, wie auch die Vorfertigung von verklebten Hohlkastenelementen für das Projekt B überwiegend durch Lohnkosten beeinflusst wird. Die Ermittlung der Durchlaufzeiten aller eingesetzten Maschinenanlagen ist nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

4.4 Ergebnisse der Datenauswertung

Die Auswertung der Daten beinhaltet sowohl die Darstellung der Ergebnisse nach den Zeitarten, als auch nach den Tätigkeiten und Unterbrechungen. Zudem werden im folgenden Abschnitt die Aufwandswerte aller AW_i-Positionen, getrennt nach AW_{brutto} und AW_{netto}, detailliert dargestellt und grundlegend erläutert.

4.4.1 Auswertung der Daten nach Zeitarten

Die Auswertung der Daten nach den Zeitarten dient der Analyse der Verteilung der Zeiten einzelner Arbeitskräfte über einen gewissen Beobachtungszeitraum. Dabei können die Anzahl der Arbeitskräfte und die Summe der Beobachtungstage beliebig untergliedert werden. Die Ergebnisse eines einzelnen Arbeitstages, wie auch der Summe aller Arbeitstage werden dabei getrennt nach Projekten dargestellt und erläutert. Zudem wird die Beurteilung der Grundzeit über den gesamten Beobachtungszeitraum abgebildet und analysiert. Die Darstellung der Zeitarten bezieht sich in sämtlichen Fällen auf die Summe aller beobachteten Arbeitskräfte.

4.4.1.1 Zeitarten aller Arbeitskräfte an einem bestimmten Arbeitstag (Projekt A)

Die nachfolgende Abbildung beinhaltet die Klassifizierung der Zeitarten aller AK am Donnerstag, den 20.08.2015. Die Ergebnisse beziehen sich im vorliegenden Fall ausschließlich auf das Projekt A.

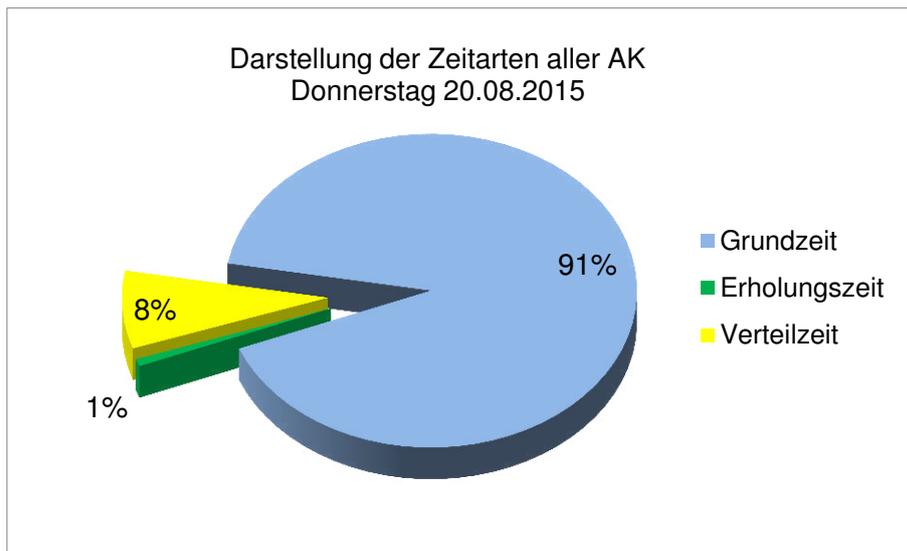


Abbildung 4.4: Zeitarten aller AK an einem gewählten Arbeitstag (Projekt A)

Der Abbildung 4.4 kann entnommen werden, dass der Anteil der Grundzeit am ausgewählten Arbeitstag bei 91% liegt, wodurch eine hohe Pro-

duktivität am untersuchten Arbeitstag abgeleitet werden kann. Laut einschlägiger Literatur sollte der Anteil der Verteilzeit nicht mehr als 25% und der Anteil der Erholungszeit nicht mehr als 10% an der Gesamtzeit betragen. In diesem Fall liegen sowohl der Anteil der Verteilzeit mit 8%, als auch der Anteil der Erholungszeit mit 1% deutlich darunter

Neben der Darstellung der Zeitarten wird zusätzlich eine Überprüfung der statistischen Sicherheit mit der Multimoment-Hauptformel gemäß Kapitel 2.11.5.5 durchgeführt.

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{91 \cdot (100 - 91)}{648}} = \pm 2,20 \text{ [%]}$$

Mit der ermittelten statistischen Sicherheit von 2,20% wird ausgedrückt, dass der Anteil der Grundzeit mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% und einer möglichen Abweichung von $\pm 2,20\%$ beim errechneten Wert von 91% liegt.

4.4.1.2 Zeitarten aller Arbeitskräfte an einem bestimmten Arbeitstag (Projekt B)

Die in der nachfolgenden Abbildung exemplarisch dargestellte Gliederung der Zeitarten aller AK für das Projekt B bezieht sich auf Dienstag, den 20.10.2015.

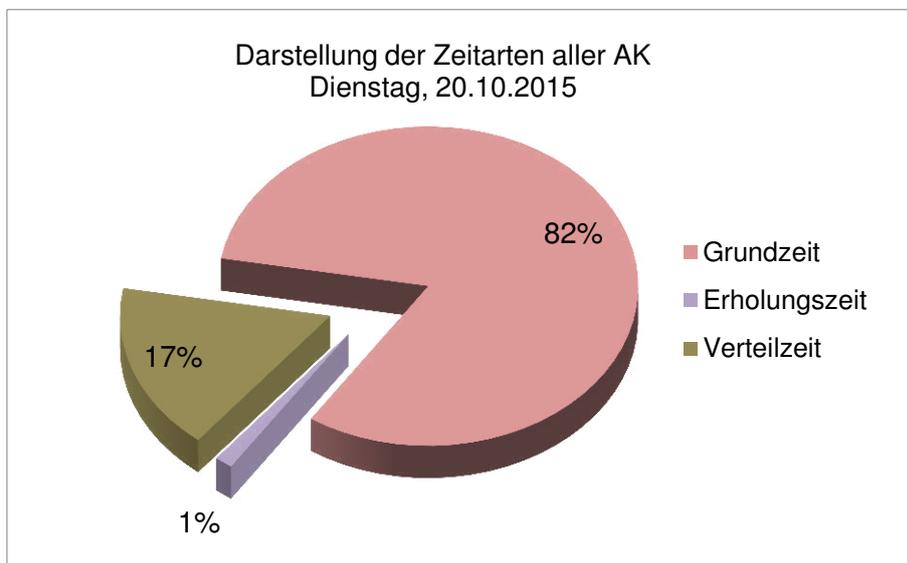


Abbildung 4.5: Zeitarten aller AK an einem gewählten Arbeitstag (Projekt B)

Wie der Abbildung zu entnehmen ist, liegt der Anteil der Grundzeit am ausgewählten Arbeitstag bei 82%, wodurch eine mittlere bis hohe Produktivität an diesem Arbeitstag nachgewiesen werden kann. Auch der Anteil der Verteilzeit mit 17%, wie auch der Anteil der Erholungszeit mit 1% liegen unter den definierten Obergrenzen von 25% bzw. 10%.

Die Überprüfung der statistischen Sicherheit führt zu folgendem Ergebnis:

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{82 \cdot (100 - 82)}{501}} = \pm 3,36 [\%]$$

Wiederum wird mit der ermittelten statistischen Sicherheit ausgedrückt, dass die Grundzeit mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% und einer möglichen Abweichung von $\pm 3,36\%$ beim errechneten Wert von 82% liegt.

4.4.1.3 Zeitarten aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum (Projekt A)

In der nachfolgenden Abbildung sind die Zeitarten aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum von Projekt A dargestellt.

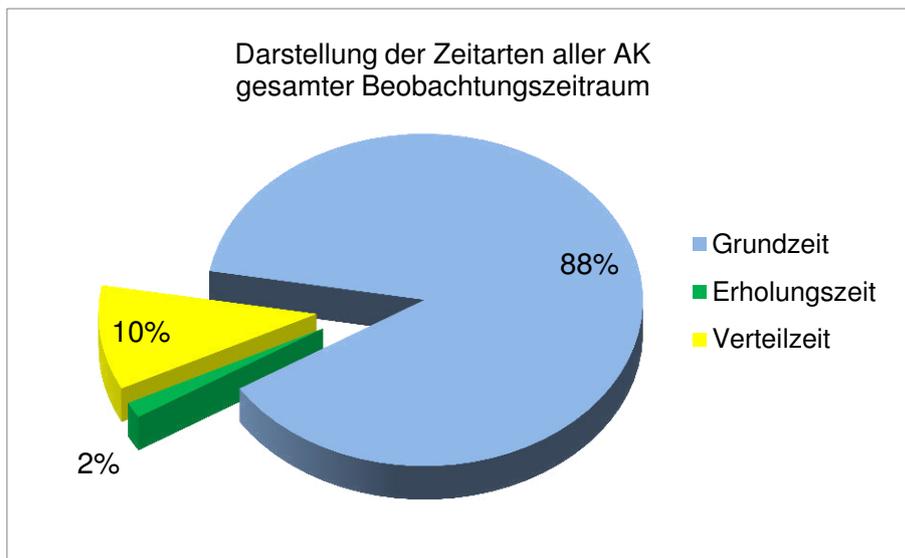


Abbildung 4.6: Zeitarten aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum (Projekt A)

Wie der Abbildung 4.6 zu entnehmen ist, wird bei Projekt A von allen Arbeitskräften eine Grundzeit von 88% über den gesamten Beobachtungszeitraum erreicht. Dieses Ergebnis lässt auf eine hohe Produktivität schließen. Die Anteile der Verteilzeit mit 10% und der Erholungszeit mit 2% liegen auch hier deutlich unter den Grenzwerten aus der Fachliteratur.

Die Überprüfung der statistischen Sicherheit lässt sich wiederum anhand folgender Formel berechnen:

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{88 \cdot (100 - 88)}{7658}} = \pm 0,73 [\%]$$

Das Ergebnis der Berechnung besagt, dass der Anteil der Grundzeit mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% und einer möglichen Abweichung von $\pm 0,73\%$ beim errechneten Wert von 88% liegt.

4.4.1.4 Darstellung der Zeitarten aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum (Projekt B)

Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über die Verteilung der Zeitarten aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum bei Projekt B.

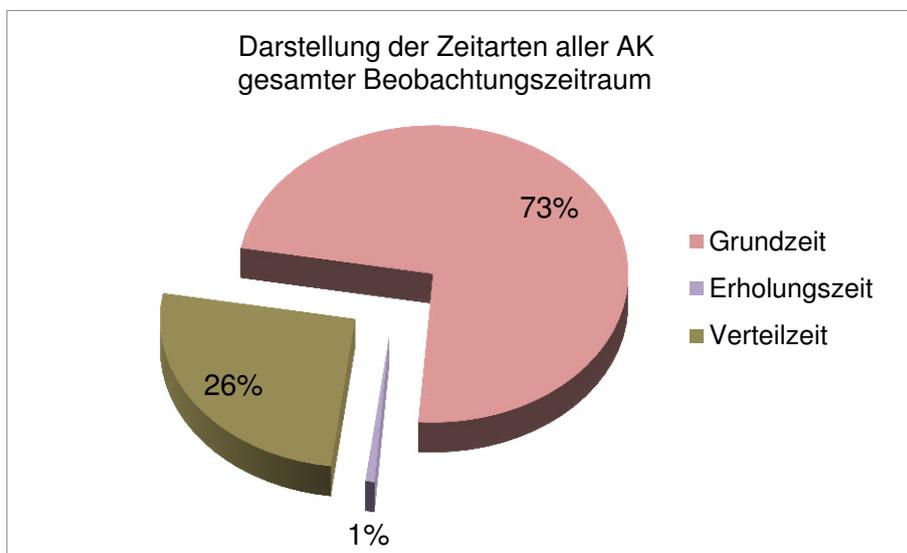


Abbildung 4.7: Zeitarten aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum (Projekt B)

Der Abbildung 4.7 kann entnommen werden, dass 73% der Gesamtzeit als Grundzeit auftreten und daher die Produktivität bei Projekt B als eher mäßig einzustufen ist. Neben dem sehr geringen Anteil an Erholungszeit mit 1%, fallen insgesamt 26% an Verteilzeit an. Dieser Anteil übersteigt den laut Fachliteratur vorgeschlagenen Grenzwert von 25%. Das Ergebnis lässt sich vor allem darauf zurückführen, dass während der Beobachtung von Projekt B eine Vielzahl an zusätzlichen Nebentätigkeiten aufgrund des erstmaligen Einsatzes des Fertigungssystems abgewickelt werden mussten.

Die Überprüfung der statistischen Sicherheit liefert folgendes Ergebnis:

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{73 \cdot (100 - 73)}{3648}} = \pm 1,44 [\%]$$

Anhand dieses Ergebnisses wird ausgedrückt, dass der Anteil der Grundzeit mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% und einer möglichen Abweichung von $\pm 1,44\%$ beim errechneten Wert von 73% liegt.

4.4.1.5 Beurteilung der Grundzeit aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum (Projekt A)

In der nachfolgenden Abbildung ist die Darstellung der Grundzeit aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum von Projekt A abgebildet.

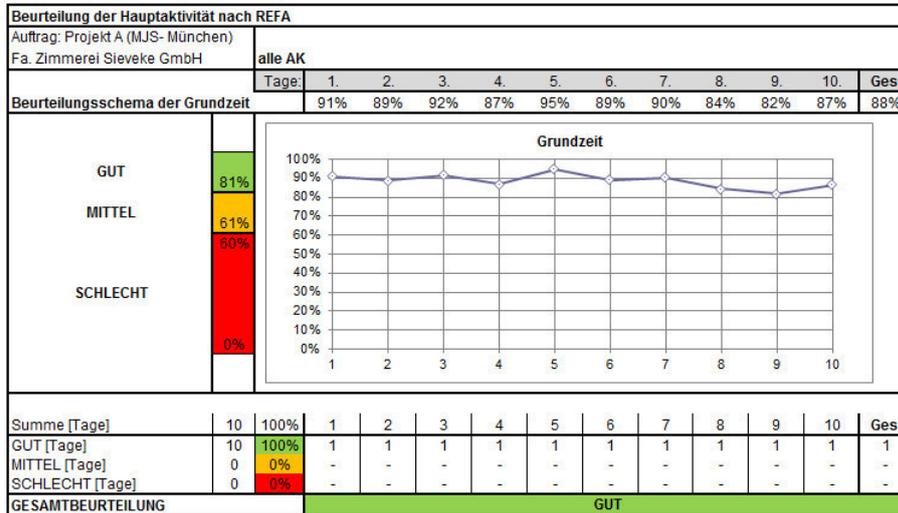


Abbildung 4.8: Beurteilung der Grundzeit aller AK (Projekt A)

Wie der Abbildung 4.8 entnommen werden kann, liegt der Anteil der Grundzeit bei Projekt A an allen Arbeitstagen deutlich über dem in Kapitel 4.3.2 definierten Grenzwert von 81%. Dies lässt vor allem auf einen gut funktionierenden Arbeitsablauf, auf eine erfahrene Teamzusammensetzung, aber auch auf die Tatsache schließen, dass die Beobachtungen rund zwei Wochen nach dem Fertigungsstart begonnen wurden und die Einarbeitungseffekte⁴⁴⁵ somit großteils abgeschlossen waren. Nach dem zuvor definierten Beurteilungsschema wird somit eine Gesamtbeurteilung von „Gut“ erreicht. Zudem kann eine konstante Verteilung über den gesamten Beobachtungszeitraum festgestellt werden. Dies lässt auf einen weitestgehend störungsfreien bzw. unterbrechungsarmen Beobachtungszeitraum schließen.

4.4.1.6 Beurteilung der Grundzeit aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum (Projekt B)

Die Darstellung der Grundzeit aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum bei Projekt B kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

⁴⁴⁵ Unter dem Einarbeitungseffekt wird der Leistungszuwachs aufgrund der ständigen Durchführung gleicher Arbeitsschritte verstanden, was zum überwiegenden Anteil auf das menschliche Lernvermögen zurück zu schließen ist.

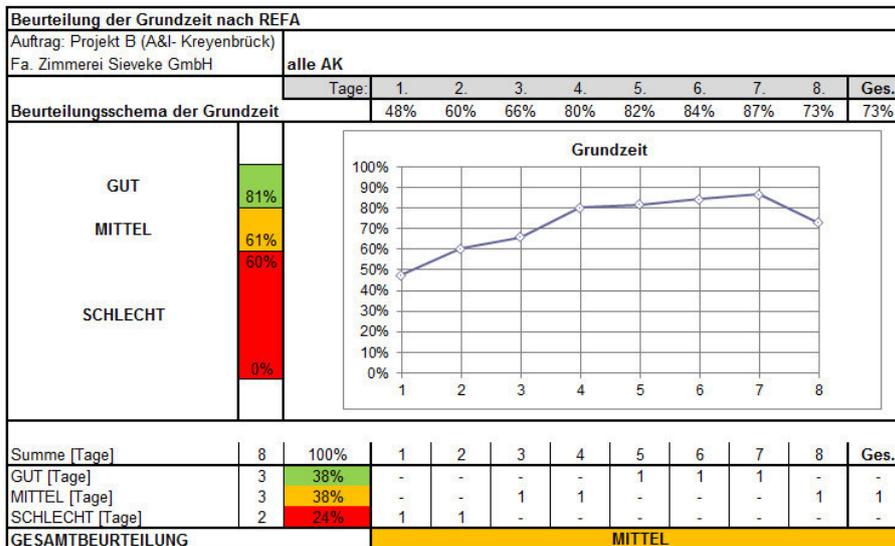


Abbildung 4.9: Beurteilung der Grundzeit aller AK (Projekt B)

Wie zu sehen ist, liegt der Anteil der Grundzeit zu Beginn des Beobachtungszeitraumes deutlich unter dem angestrebten Grenzwert von 81%. Wie bereits erwähnt, kann dies auf die vielen zusätzlichen Tätigkeiten zurückgeführt werden, die aufgrund des erstmaligen Einsatzes dieser Produktionsmethode zu Beginn der Fertigung abgearbeitet werden mussten. Trotzdem ist ein positiver Trend nach oben erkennbar. Dieser Trend lässt einerseits auf die Reduktion dieser zusätzlichen Tätigkeiten schließen, andererseits spielt aber auch der Einarbeitungseffekt der Arbeitskräfte eine wesentliche Rolle. Ab dem vierten Produktionstag konnte der angestrebte Mindestanteil von 81% fortan überschritten werden. Am achten Tag ist jedoch ein Abfall der Kurve zu beobachten. Dies kann wiederum direkt mit der Ausführung von zusätzlichen Tätigkeiten in Verbindung gebracht werden. Im konkreten Fall wurde an diesem Tag mit der Verladung der ersten Elemente begonnen. Da die Verladung aufgrund der Sichtbauteile äußerst sorgsam erfolgen musste, wurden an diesem Tag spezielle Schutzmaßnahmen für die weiteren Transporte vorgesehen. In Summe ist die Grundzeit bei Projekt B als „Mittel“ zu bewerten.

4.4.2 Auswertung der Daten nach Tätigkeiten und Unterbrechungen

Die Auswertung der Daten nach Tätigkeiten und Unterbrechungen erfolgt getrennt nach Ebenen, wobei die Arbeitsabläufe grundlegend in zwei Kategorien gegliedert werden. Zum einen in die sog. Hauptkategorie, welche die Aktivitäten der ersten Ebene beinhaltet. Diese umfasst die Summe der Tätigkeiten, der Unterbrechungen sowie nicht erkennbare Tätigkeiten. Zum anderen in die sog. Unterkategorie, welche die Aktivitäten der zweiten Ebene beinhaltet, bestehend aus der Haupttätigkeit, der

Nebentätigkeit, der zusätzlichen Tätigkeit, den ablaufbedingten, störungsbedingten, erholungsbedingten sowie den persönlich bedingten Unterbrechungen. Eine detailliertere Beschreibung kann dem Kapitel 2.11.3 entnommen werden. Die Ergebnisse werden im Weiteren getrennt nach Projekt A und B dargestellt und beziehen sich erneut auf einen exemplarisch ausgewählten Arbeitstag sowie der Summe aller Arbeitstage. Abschließend wird die Beurteilung der Tätigkeiten und Unterbrechungen über den gesamten Beobachtungszeitraum abgebildet und erläutert.

4.4.2.1 Tätigkeiten und Unterbrechungen aller Arbeitskräfte an einem bestimmten Arbeitstag (Projekt A)

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK an einem ausgewählten Arbeitstag bei Projekt A dargestellt. Die vorliegende Darstellung bezieht sich ausschließlich auf die erste Ebene.

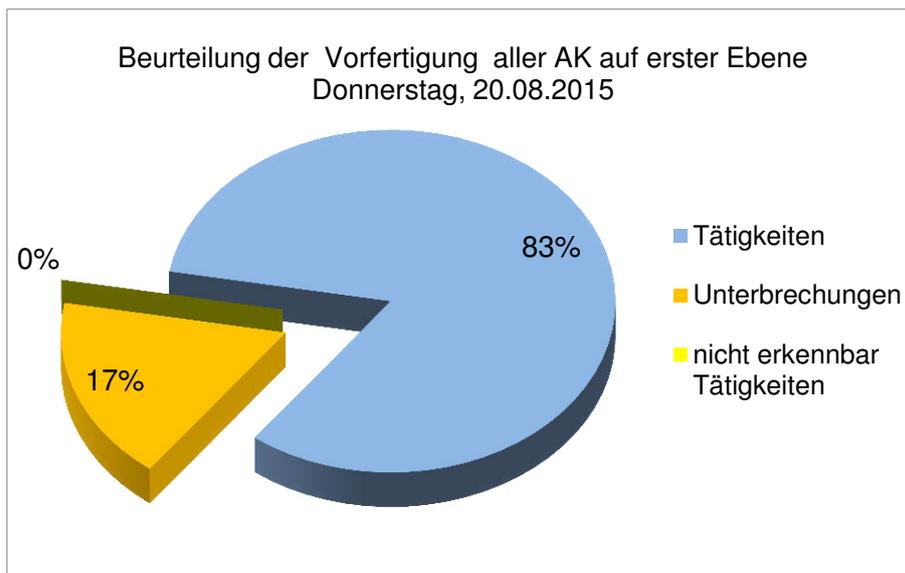


Abbildung 4.10: Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK an einem gewählten Arbeitstag auf erster Ebene (Projekt A)

Der Abbildung 4.10 kann entnommen werden, dass sich am 20.08.2015 rund 83% der Gesamtarbeitszeit aus Tätigkeiten und der restliche Anteil von 17% aus Unterbrechungen zusammensetzt. Aufgrund der guten Übersicht in der Fertigung beträgt der Anteil an nicht erkennbaren Tätigkeiten an diesem Tag 0%.

Wiederum wird eine Überprüfung der statistischen Sicherheit nach der Multimoment Hauptformel durchgeführt.

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{83 \cdot (100 - 83)}{648}} = \pm 2,89 [\%]$$

Das Ergebnis der Berechnung besagt, dass der Anteil der Tätigkeiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% und einer möglichen Abweichung von $\pm 2,89\%$ beim errechneten Wert von 83% liegt.

Eine detaillierte Aufschlüsselung der Tätigkeiten und Unterbrechungen kann im nächsten Schritt mit Hilfe der Darstellung auf zweiter Ebene angezeigt werden.

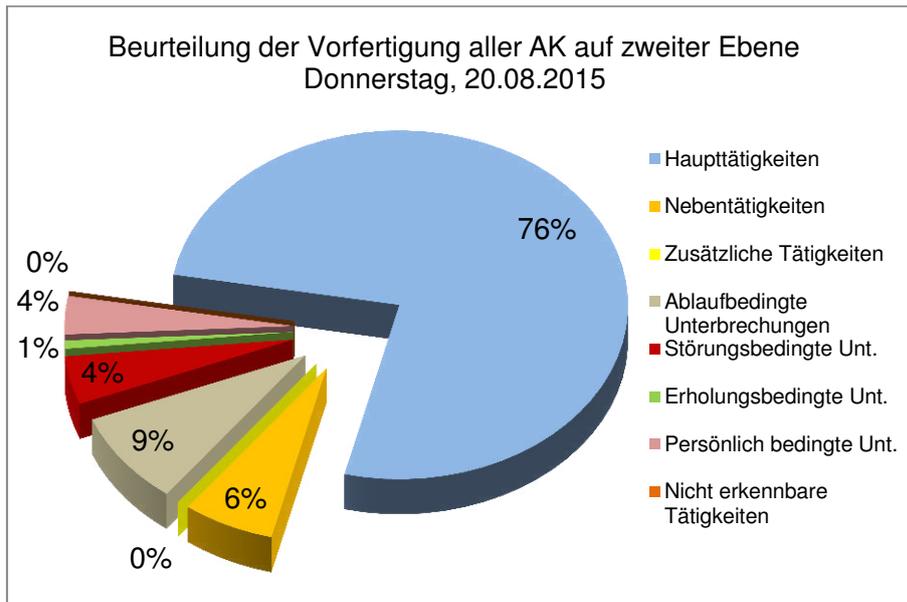


Abbildung 4.11: Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum auf zweiter Ebene (Projekt A)

Wie der vorliegenden Abbildung zu entnehmen ist, setzen sich die Tätigkeiten der ersten Ebene mit einem Anteil von rund 82% in Summe aus den Haupttätigkeiten mit 76%, den Nebentätigkeiten mit 6% und den zusätzlichen Tätigkeiten mit 0% zusammen. Der weitere Anteil stellen Unterbrechungen dar, die sich aus den ablaufbedingten Unterbrechungen mit 9%, den störungsbedingten Unterbrechungen mit 4%, den erholungsbedingten Unterbrechungen mit 1% und letztlich den persönlich bedingten Unterbrechungen mit 4% zusammensetzen.

Die Überprüfung der statistischen Sicherheit führt zu folgendem Ergebnis:

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{76 \cdot (100 - 76)}{648}} = \pm 3,29 \text{ [%]}$$

Wiederum ergibt das Ergebnis der Berechnung, dass der Anteil der Haupttätigkeiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% und einer möglichen Abweichung von $\pm 3,29\%$ beim errechneten Wert von 76% liegt.

4.4.2.2 Tätigkeiten und Unterbrechungen aller Arbeitskräfte an einem bestimmten Arbeitstag (Projekt B)

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Verteilung der Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK an einem exemplarisch ausgewählten Arbeitstag bei Projekt B. Die vorliegende Darstellung bezieht sich wiederum auf die erste Ebene.

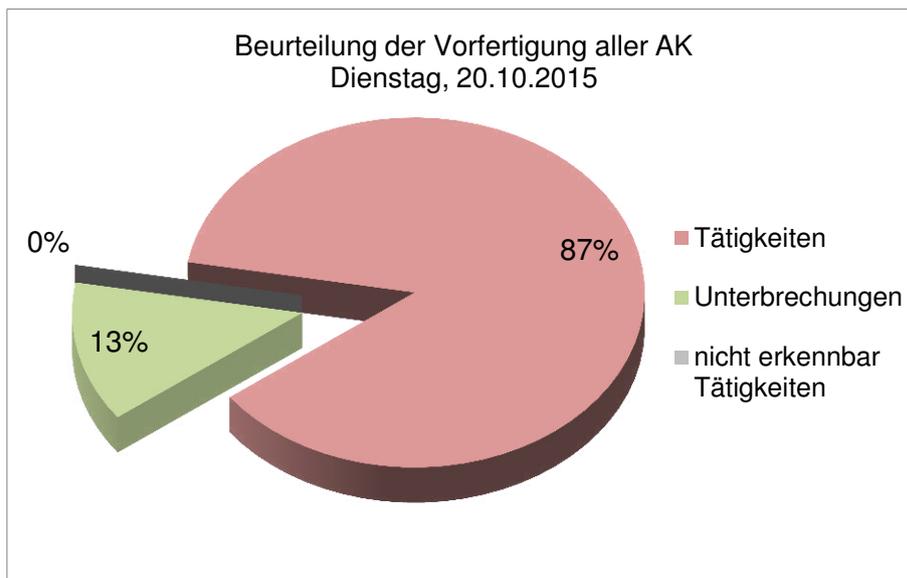


Abbildung 4.12: Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK an einem gewählten Arbeitstag auf erster Ebene (Projekt B)

Wie der Abbildung 4.12 entnommen werden kann, setzt sich die Verteilung am dargestellten Beobachtungstag aus auftretenden Tätigkeiten mit einem Anteil von 87% und Unterbrechungen mit einem Anteil von 13% zusammen. Wie bereits bei Projekt A konnte auch beim Projekt B der Anteil an nicht erkennbaren Tätigkeiten mit 0% festgestellt werden. Dies resultiert vor allem aufgrund der guten Einsicht in sämtliche Tätigkeitsbereiche in der Fertigung.

Wiederum wird an dieser Stelle die Überprüfung der statistischen Sicherheit durchgeführt, welche zu folgendem Ergebnis führt:

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{87 \cdot (100 - 87)}{501}} = \pm 2,94 [\%]$$

Dem Ergebnis der Berechnung kann entnommen werden, dass der Anteil der Tätigkeiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% und einer möglichen Abweichung von $\pm 2,94\%$ beim errechneten Wert von 87% liegt.

Eine detaillierte Aufschlüsselung der Ergebnisse kann neuerlich anhand der Darstellung auf der zweiten Ebene aufgezeigt werden.

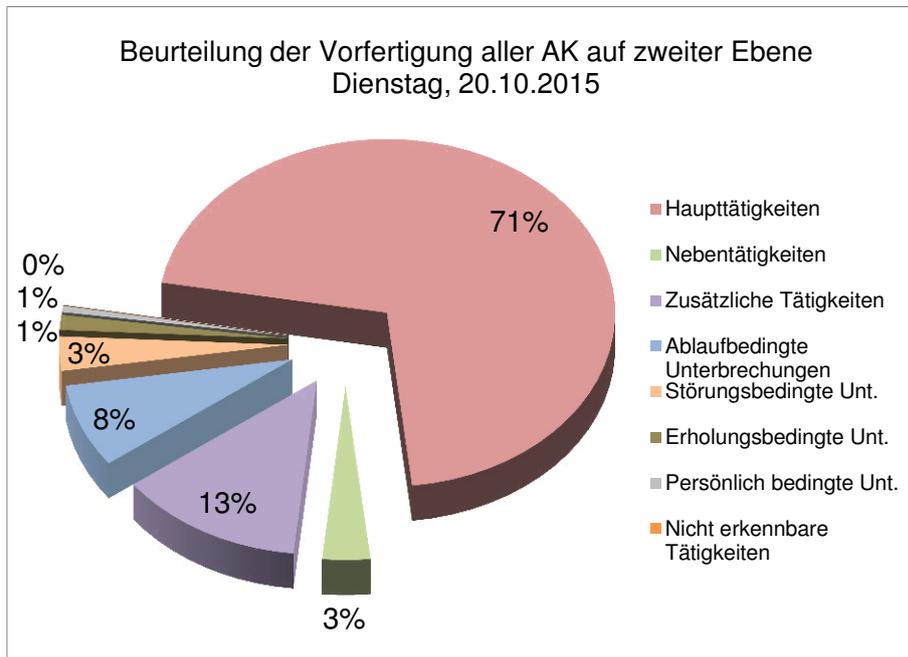


Abbildung 4.13: Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum auf zweiter Ebene (Projekt B)

Wie erkennbar wird, setzen sich die Tätigkeiten der ersten Ebene mit einem Anteil von rund 87% in Summe aus den Haupttätigkeiten mit 71%, den Nebentätigkeiten mit 3% und den zusätzlichen Tätigkeiten mit 13% zusammen. Der verbleibende Anteil von 13% stellen Unterbrechungen dar, die zu 8% aus ablaufbedingten, zu 3% aus störungsbedingten sowie zu je 1% aus persönlich und erholungsbedingten Unterbrechungen bestehen.

Die Überprüfung der statistischen Sicherheit führt zu folgendem Ergebnis:

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{71 \cdot (100 - 71)}{501}} = \pm 3,97 [\%]$$

Das Ergebnis der Berechnung besagt, dass der Anteil der Haupttätigkeiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% und einer möglichen Abweichung von $\pm 3,97\%$ beim errechneten Wert von 71% liegt.

4.4.2.3 Tätigkeiten und Unterbrechungen aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum (Projekt A)

In der nachfolgenden Abbildung wird die Verteilung der Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum bei Projekt A dargestellt. Wiederum werden zu Beginn die Ergebnisse auf erster Ebene abgebildet.

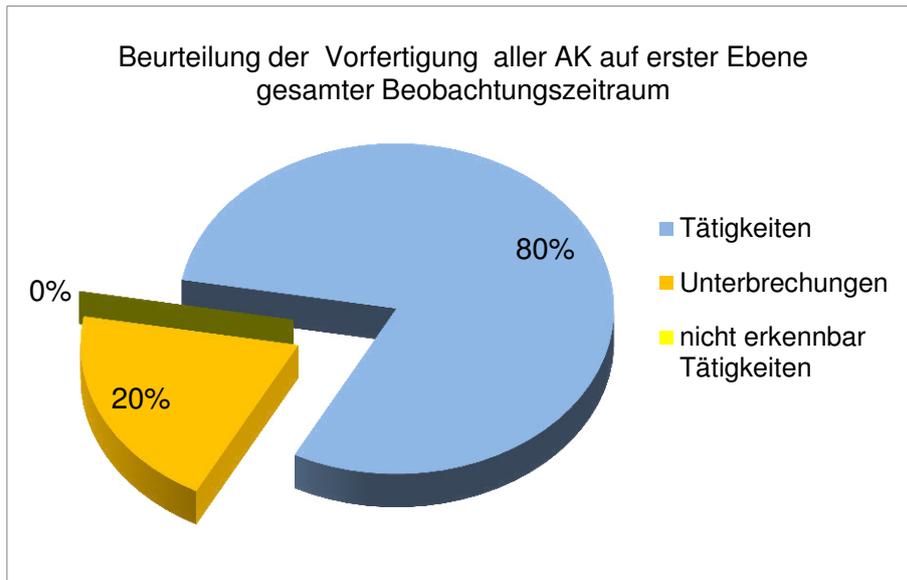


Abbildung 4.14: Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum auf erster Ebene (Projekt A)

Abbildung 4.14 zeigt, dass 80% der Arbeitszeit über den gesamten Beobachtungszeitraum den Tätigkeiten zugeteilt werden kann, wohingegen die restlichen 20% als Unterbrechungen einzustufen sind. Wiederum beträgt der Anteil an nicht erkennbaren Tätigkeiten 0%.

Die Überprüfung der statistischen Sicherheit führt zu folgendem Ergebnis:

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{80 \cdot (100 - 80)}{7658}} = \pm 0,90 [\%]$$

Das Ergebnis dieser Berechnung besagt, dass der Anteil der Tätigkeiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% und einer möglichen Abweichung von $\pm 0,90\%$ beim errechneten Wert von 80% liegt.

Eine detaillierte Auflistung aller Tätigkeiten und Unterbrechungen kann wiederum anhand der Aufschlüsselung auf der zweiten Ebene dargestellt werden.

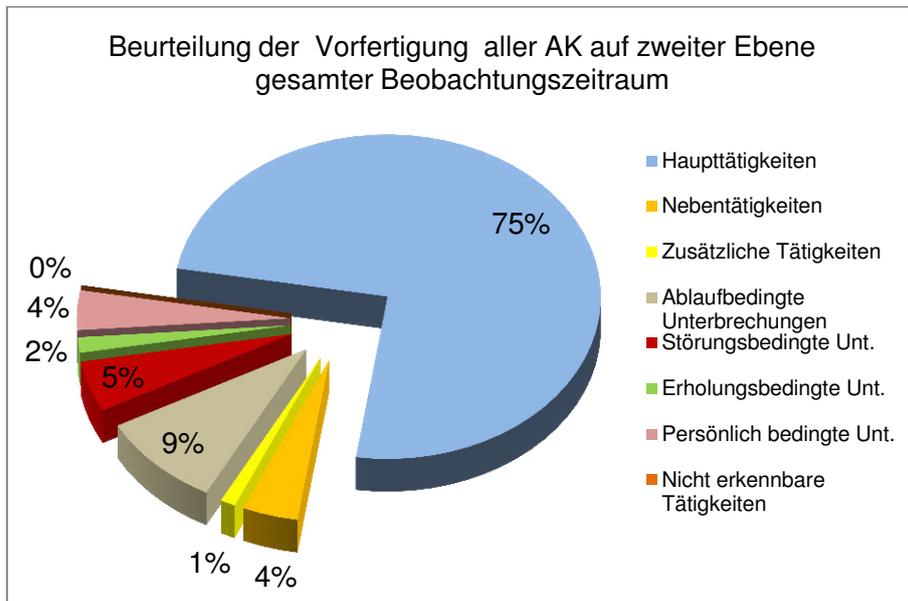


Abbildung 4.15: Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum auf zweiter Ebene (Projekt A)

Wie der Abbildung 4.15 entnommen werden kann, setzen sich die Tätigkeiten auf erster Ebene mit rund 80% aus dem Anteil der Haupttätigkeiten mit 75%, den Nebentätigkeiten mit 4% und den zusätzlichen Tätigkeiten mit 1% zusammen. Die Unterbrechungen bestehen in Summe aus den ablaufbedingten Unterbrechungen mit 9%, den störungsbedingten Unterbrechungen mit 5%, den erholungsbedingten Unterbrechungen mit 2% und den persönlich bedingten Unterbrechungen mit 4%.

Wiederum wird die Überprüfung der statistischen Sicherheit durchgeführt, welche zu folgendem Ergebnis führt:

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{75 \cdot (100 - 75)}{7658}} = \pm 0,97 \text{ [%]}$$

Durch das Ergebnis der Berechnung wird wiederum ausgesagt, dass der Anteil der Haupttätigkeiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% und einer möglichen Abweichung von $\pm 0,97\%$ beim errechneten Wert von 75% liegt.

4.4.2.4 Tätigkeiten und Unterbrechungen aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum (Projekt B)

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Verteilung der Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum bei Projekt B. Wiederum werden zu Beginn die Ergebnisse auf erster Ebene abgebildet.

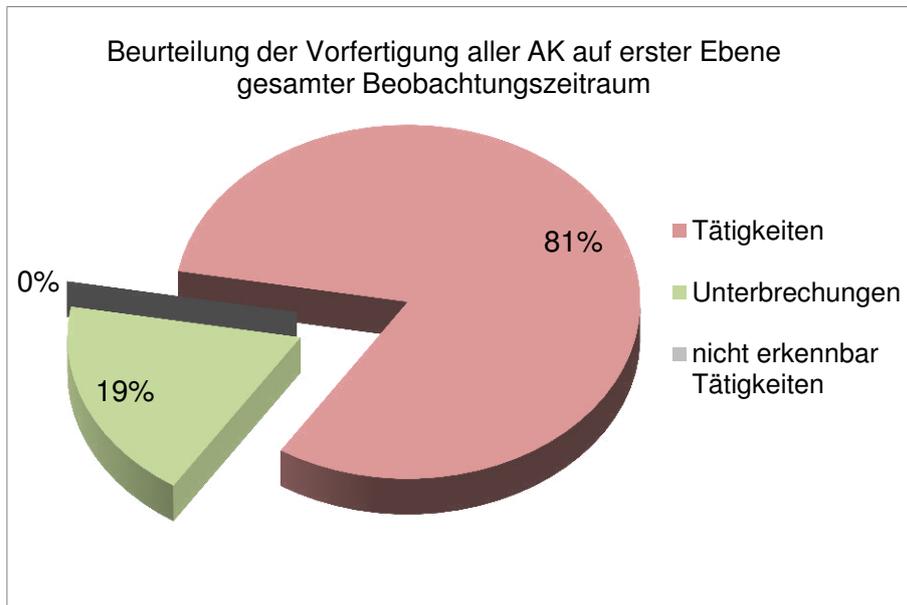


Abbildung 4.16: Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum auf erster Ebene (Projekt B)

Wie in Abbildung 4.16 dargestellt, setzen sich der Anteil der Tätigkeiten aus rund 81% und der Anteil der Unterbrechungen aus den restlichen 19% zusammen. Der Anteil der nicht erkennbaren Tätigkeiten beträgt wiederum 0%, da in alle Tätigkeitsbereiche gut eingesehen werden konnte.

Die Überprüfung der statistischen Sicherheit liefert folgendes Ergebnis:

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{81 \cdot (100 - 81)}{3648}} = \pm 1,27 \text{ [%]}$$

Anhand dieses Ergebnisses kann ausgesagt werden, dass der Anteil der Tätigkeiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% und einer möglichen Abweichung von $\pm 1,27\%$ beim errechneten Wert von 81% liegt.

Die detaillierte Aufschlüsselung der Tätigkeiten und Unterbrechungen kann wiederum mit Hilfe der Darstellung auf zweiter Ebene abgebildet werden.

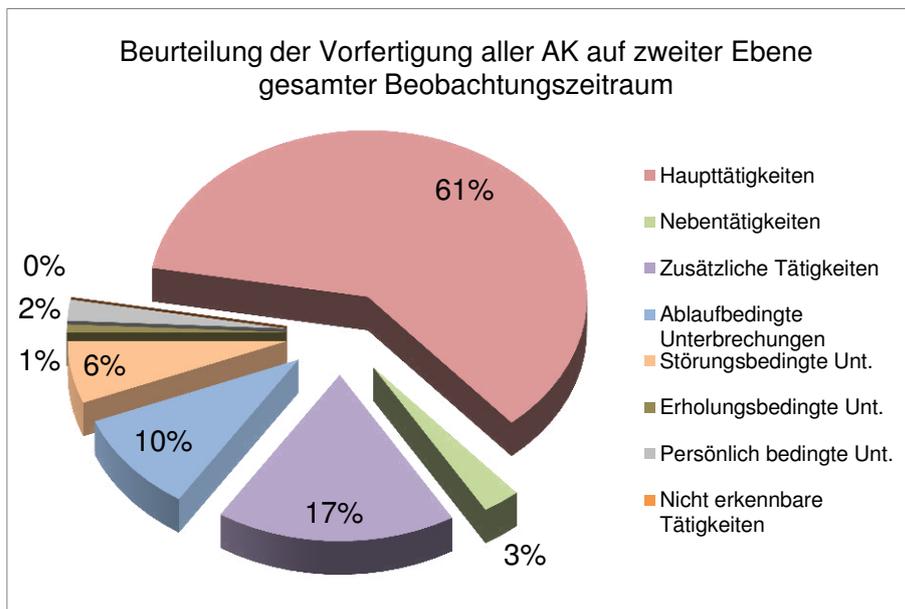


Abbildung 4.17: Tätigkeiten und Unterbrechungen aller AK über den gesamten Beobachtungszeitraum auf zweiter Ebene (Projekt B)

Die Tätigkeiten der ersten Ebene mit einem Anteil von rund 81% setzen sich aus den Haupttätigkeiten mit einem Anteil von 61%, den Nebentätigkeiten mit einem Anteil von 3% sowie den zusätzlichen Tätigkeiten mit einem Anteil von 17% zusammen. Die Unterbrechungen bestehen hingegen aus dem Anteil der ablaufbedingten Unterbrechungen mit 10%, den störungsbedingten Unterbrechungen mit 6%, wie auch den persönlich und erholungsbedingten Unterbrechungen mit einem Anteil von 2% bzw. 1%.

Wiederum wird die Überprüfung der statistischen Sicherheit durchgeführt, welche zu folgendem Ergebnis führt:

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{61 \cdot (100 - 61)}{3648}} = \pm 1,58 [\%]$$

Das Ergebnis der Berechnung besagt, dass der Anteil der Haupttätigkeiten mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% und einer möglichen Abweichung von $\pm 1,58\%$ beim errechneten Wert von 61% liegt.

4.4.2.5 Beurteilung der Haupttätigkeit aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum (Projekt A)

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Haupttätigkeit aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum bei Projekt A dargestellt.

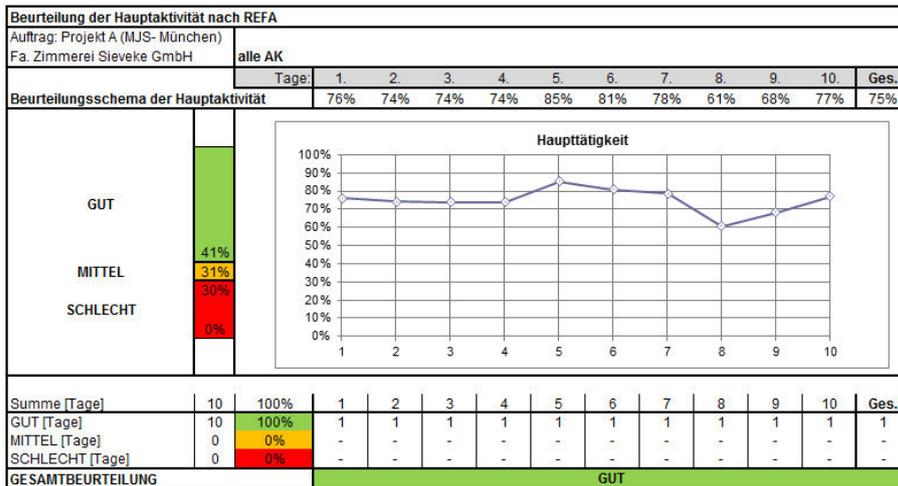


Abbildung 4.18: Beurteilung der Haupttätigkeiten aller AK (Projekt A)

Wie der Abbildung 4.18 zu entnehmen ist, liegt der Anteil der Haupttätigkeit an allen Arbeitstagen deutlich über der gemäß Kapitel 4.3.3 definierten Klassifizierungsgrenze von 41%. Aus diesem Grund kann die Fertigung insgesamt als „Gut“ eingestuft werden. Des Weiteren ist zu erkennen, dass der Anteil der Haupttätigkeiten über den gesamten Beobachtungszeitraum weitestgehend konstant verläuft. Der Knick am achten Arbeitstag kann auf die Anlieferung der Fenster und den Montagebeginn der Fensterfaschen zurückgeführt werden. An diesem Tag musste viel Zeit in die Sortierung der Materialien investiert werden, damit ein möglichst effizienter und vor allem korrekter Einbau der Bauteile fortgeführt werden konnte. Ansonsten wurden keine weiteren Störungen und Unterbrechungen aufgezeichnet.

4.4.2.6 Beurteilung der Haupttätigkeit aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum (Projekt B)

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Verteilung der Haupttätigkeit aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum bei Projekt B.

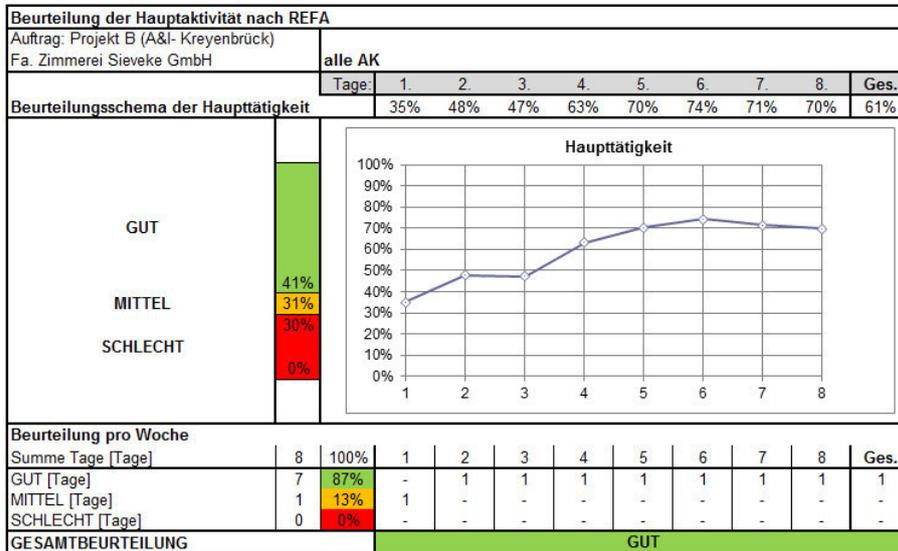


Abbildung 4.19: Beurteilung der Haupttätigkeiten aller AK (Projekt B)

Wie dem Verlauf der Haupttätigkeit zu entnehmen ist, liegt der Anteil der Haupttätigkeiten an beinahe allen Arbeitstagen über dem angestrebten Grenzwert von 41%. Lediglich am ersten Tag der Beobachtungen wird dieser Wert unterschritten. Dies lässt sich vor allem auf die Vielzahl an zusätzlichen Tätigkeiten aufgrund des neu eingesetzten Fertigungssystems zurückführen, die während der ersten Tage abgewickelt werden mussten und somit die Ausübung einer Haupttätigkeit verhinderten. Es kann jedoch ein durchwegs positiver Trend festgestellt werden. Der leichte Abfall zum Ende hin kann wiederum durch zusätzliche Nebentätigkeiten begründet werden, die als Zusatzarbeiten im Rahmen des Transportes angefallen sind. In Summe kann die Fertigung mit einem durchschnittlichen Anteil der Haupttätigkeit von 61% ebenso wie bei Projekt A als „Gut“ eingestuft werden. Da viele zusätzliche Tätigkeiten nur einmal angefallen sind und mit einem gewissen Einarbeitungseffekt der Arbeitskräfte zu rechnen ist, kann von einem deutlichen Anstieg dieses Anteils mit fortlaufender Projektdauer gerechnet werden.

4.4.3 Aufwandswerte für die Kalkulation

Den Abschluss der Datenauswertung bildet letztendlich die Ermittlung der eigentlichen Aufwandswerte für die Kalkulation. Wie bereits erwähnt, lassen sich diese Aufwandswerte grundlegend in den AW_{netto} und den AW_{brutto} unterteilen, wobei sich der Nettoaufwandswert ausschließlich auf die Haupttätigkeiten bezieht. Der Bruttoaufwandswert bezieht sich hingegen auch auf den Anteil der Nebentätigkeiten, den Unterbrechungen sowie nicht erkennbaren Tätigkeiten.

Auf diese Weise werden die Aufwandswerte aller AW_i -Positionen im Einzelnen, aber auch zusammengefasst den Arbeitsstationen folgend berechnet. Abschließend wird ein Gesamtaufwandswert über die komplette Vorfertigung gebildet. Die soeben beschriebene Vorgehensweise wird für beide Projekte in getrennter Form angewandt, wobei mit der Ergebnisaufbereitung von Projekt A begonnen wird.

4.4.3.1 Detaillierte Darstellung der Aufwandswerte (Projekt A)

Die detaillierte Darstellung der Aufwandswerte von Projekt A umfasst eine Auflistung der Zeitangaben auf der zweiten Ebene, wobei sich die Zeiten auf den gesamten Beobachtungszeitraum beziehen. Zur endgültigen Ermittlung der Aufwandswerte muss zudem eine entsprechende Bezugseinheit (kurz: BE) zugrunde gelegt werden. Diese Bezugseinheit setzt sich aus den Flächen der gefertigten Elemente zusammen. Nachdem die Fertigung in mehrere Bereiche aufgeteilt ist, wird für jede Arbeitsstation eine separate Bezugsgröße bestimmt.

In der nachfolgenden Tabelle ist die Ermittlung der Bezugsgröße von Arbeitsstation 1 bei Projekt A exemplarisch dargestellt.

| Arbeitsstation1 | | | |
|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| <i>Element [Nr.]</i> | <i>Fläche Brutto [m²]</i> | <i>Fläche Fenster [m²]</i> | <i>Fläche Netto [m²]</i> |
| KT - Nord - 01 | 28,91 | 0,00 | 28,91 |
| KT - Nord - 02 | 32,65 | 0,00 | 32,65 |
| KT - Nord - 03 | 32,65 | 0,00 | 32,65 |
| KT - Nord - 06 | 32,55 | 7,72 | 20,02 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 07 | 32,29 | 7,72 | 24,57 |
| KT - Nord - 08 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 09 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 10 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 11 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 12 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |

| | | | |
|----------------------|-------|------|-----------------------------|
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 13 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 14 | 32,42 | 7,72 | 24,70 |
| KT - Nord - 15 | 23,05 | 7,72 | 10,51 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 16 | 30,96 | 0,00 | 30,96 |
| KT - Nord - 17 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 19 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 20 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 21 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 22 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Ost - 01 | 28,10 | 7,91 | 15,38 |
| | | 4,81 | |
| KT - Ost - 02 | 32,65 | 0,00 | 32,65 |
| KT - Ost - 03 | 32,65 | 0,00 | 32,65 |
| KT - Ost - 05 | 14,69 | 0,00 | 14,69 |
| ∑ Nettofläche | | | 519,06 m² |

Tabelle 4.8: Ermittlung der Bezugsgröße von AS1 (Projekt A)

Wie der Tabelle 4.8 zu entnehmen ist, setzt sich die Bezugsgröße von Arbeitsstation 1 aus der Nettofläche, also der Bruttofläche abzüglich der Fensterflächen, aller Elemente zusammen, die auf dieser Arbeitsstation bearbeitet wurden. Die Ermittlung der Bezugsgrößen aller anderen Arbeitsstationen erfolgt auf ähnliche Art und Weise.

Nachfolgend werden die einzelnen Aufwandswerte aller AW_i -Positionen vom Projekt A dargestellt. In den Ergebnissen sind zudem die Prozentsätze der Verteilung auf zweiter Ebene enthalten. Auf diese Weise kann jede Position einzeln betrachtet und analysiert werden. Der Vollständigkeit halber werden die einzelnen Tätigkeiten kurz erläutert, wobei auf eine detaillierte Beschreibung im Kapitel 3.5 hingewiesen wird.

Arbeitsstation 1:

▪ **Zusammenbau des Riegelwerkes [Std/m²]**

Der Zusammenbau des Riegelwerkes setzt sich aus der Positionierung und Verschraubung der Hölzer auf dem Arbeitstisch zusammen. Zudem ist auch der Einbau der Hebeschlaufen in dieser Position enthalten.

| Beurteilung nach REFA | | BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | |
|---|------------------------------|------------------------------|-------|------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| Tätigkeit: Zusammenbau des Riegelwerkes | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
| | | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| Haupttätigkeit + | 2035 | 33.92 | 65% | 519.06 | AW netto | 0.065 | |
| Nebentätigkeit + | 221 | 3.68 | 7% | | | | |
| Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 40 | 0.67 | 1% | | | | |
| Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 640 | 10.66 | 20% | | | | |
| Störungsbedingte Unterbrechungen + | 130 | 2.16 | 4% | | | | |
| Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 26 | 0.44 | 1% | | | | |
| Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 49 | 0.81 | 2% | | | | |
| Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | | |
| Σ [min] | 1105 | 18.41 | 35% | 519.06 | AW zusätzl. | 0.035 | |
| Σ [min] | Zusammenbau des Riegelwerkes | 3140 | 52.33 | | | AW brutto | 0.101 |

Tabelle 4.9: AW: Zusammenbau des Riegelwerkes (Projekt A)

Wie der Tabelle 4.9 zu entnehmen ist, beträgt der errechnete Nettoaufwandswert für den Zusammenbau des Riegelwerkes 0,065 Std/m². Diese Aufwandswerte werden ausschließlich den Zeiten der Haupttätigkeiten zugrunde gelegt. Werden auch die Zeiten der Nebentätigkeiten, der zusätzlichen Tätigkeiten, wie auch aller Unterbrechungen und nicht erkennbarer Tätigkeiten berücksichtigt, kommen weitere 0,035 Std/m² für den Zusammenbau des Riegelwerkes hinzu. Aus der Summe dieser beiden Werte resultiert der Bruttoaufwandswert AW_{brutto} , in diesem Fall mit 0,101 Std/m². Da sich die Darstellungsform dieser Tabelle für alle im Rahmen dieser Untersuchung betrachteten Arbeitsschritte nicht grundlegend ändert, wird im Weiteren auf die genauere Erläuterung der Ergebnisse verzichtet

Neben der Berechnung der Aufwandswerte kann auch die Zeitverteilung jeder einzelnen AW_i -Position auf der zweiten Ebene grafisch dargestellt werden.

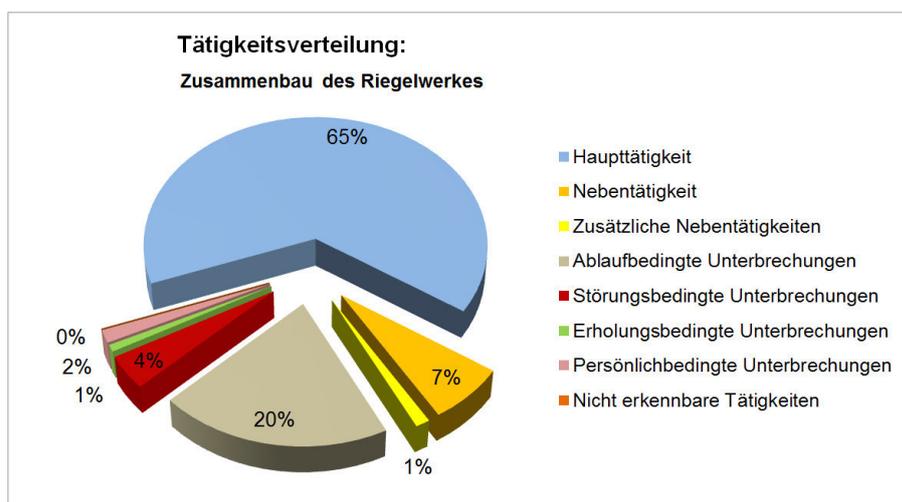


Abbildung 4.20: Tätigkeitsverteilung Zusammenbau Riegelwerk (Projekt A)

In Abbildung 4.20 ist die detaillierte Auflistung aller Tätigkeiten und Unterbrechungen für den Zusammenbau der Riegelwerke dargestellt.

Wie zu sehen ist, liegt der Anteil der Haupttätigkeiten lediglich bei 65%, wobei der Anteil der ablaufbedingten Unterbrechungen 20% ausmacht,

was im ersten Moment als sehr hoch erscheint. Dies kann vor allem auf die Tatsache zurückgeführt werden, dass vor allem an Arbeitsstation 1 sehr viel Zeit für das Studium der Planunterlagen aufgewendet werden musste. Weitere Beispiele zu den einzelnen Tätigkeiten und Unterbrechungen können dem Kapitel 2.11.3 entnommen werden.

Nachdem die Anteile dieser Verteilung ebenso in der Tabelle der Aufwandswertberechnung enthalten sind, wird im weiteren Verlauf der Ergebnisdarstellung auf die Abbildung dieser Grafik verzichtet.

▪ Einbau der Stellbretter [Std/m²]

Der Einbau der Stellbretter beinhaltet die Positionierung der einzelnen Hölzer an den dafür vorgesehenen Stellen am Element.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Einbau der Stellbretter | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| AS1 | Haupttätigkeit + | 175 | 2,92 | 44% | 519,06 | AW netto | 0,006 |
| | Nebentätigkeit + | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 117 | 1,95 | 29% | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 34 | 0,57 | 8% | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 26 | 0,44 | 7% | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 49 | 0,81 | 12% | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 226 | 3,77 | 56% | 519,06 | AW zusätzl. | 0,007 |
| | Σ [min] Einbau der Stellbretter | 401 | 6,69 | | | AW brutto | 0,013 |

Tabelle 4.10: AW: Einbau der Stellbretter (Projekt A)

▪ Einbau der Querbalken [Std/m²]

Der Einbau der Querbalken beinhaltet wiederum die Positionierung der Hölzer an den vorgesehenen Stellen sowie die Verschraubung der Bauteile mit dem Riegelwerk.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Einbau der Querbalken | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| AS1 | Haupttätigkeit + | 1140 | 19,00 | 74% | 519,06 | AW netto | 0,037 |
| | Nebentätigkeit + | 117 | 1,95 | 8% | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 117 | 1,95 | 8% | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 85 | 1,42 | 6% | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 26 | 0,44 | 2% | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 49 | 0,81 | 3% | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 394 | 6,57 | 26% | 519,06 | AW zusätzl. | 0,013 |
| | Σ [min] Einbau der Querbalken | 1534 | 25,57 | | | AW brutto | 0,049 |

Tabelle 4.11: AW: Einbau der Querbalken (Projekt A)

- **Ausrichtung des Elementes [Std/m²]**

Die Ausrichtung des Elementes setzt sich aus der Befestigung der Lot-schnur, dem Ausmessen der Diagonalen sowie der manuellen Ausrich-tung des Elementes selbst zusammen.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|-------|-------|------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Ausrichtung des Elementes | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
| | | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| ASI | Haupttätigkeit + | 655 | 10,92 | 79% | 519,06 | AW netto | 0,021 |
| | Nebentätigkeit + | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 64 | 1,06 | 8% | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 41 | 0,68 | 5% | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 26 | 0,44 | 3% | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 49 | 0,81 | 6% | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 179 | 2,99 | 21% | 519,06 | AW zusätzl. | 0,006 |
| | Σ [min] Ausrichtung des Elementes | 834 | 13,90 | | | AW brutto | 0,027 |

Tabelle 4.12: AW: Ausrichtung des Elementes (Projekt A)

- **Befestigung der Dampfbremse [Std/m²]**

Die Befestigung der Dampfbremse enthält die Aufbringung, die Befesti-gung sowie den Zuschnitt der Folie am Element.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|-------|-------|------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Befestigung der Dampfbremse | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
| | | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| ASI | Haupttätigkeit + | 600 | 10,00 | 82% | 519,06 | AW netto | 0,019 |
| | Nebentätigkeit + | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 13 | 0,21 | 2% | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 41 | 0,68 | 6% | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 26 | 0,44 | 4% | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 49 | 0,81 | 7% | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 128 | 2,14 | 18% | 519,06 | AW zusätzl. | 0,004 |
| | Σ [min] Befestigung der Dampfbremse | 728 | 12,14 | | | AW brutto | 0,023 |

Tabelle 4.13: AW: Befestigung der Dampfbremse (Projekt A)

- **Fixierung der inneren Beplankung [Std/m²]**

Die Fixierung der inneren Beplankung setzt aus der Positionierung und Befestigung der Gipskartonplatten am Element zusammen.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|------------------------------|--|-------|-------|------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
| | Tätigkeit: Fixierung der inneren Beplankung | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| AS1 | Haupttätigkeit + | 2200 | 36.67 | 78% | 519.06 | AW netto | 0.071 |
| | Nebentätigkeit + | 252 | 4.19 | 9% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 222 | 3.70 | 8% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 85 | 1.42 | 3% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 26 | 0.44 | 1% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 49 | 0.81 | 2% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 633 | 10.55 | 22% | 519.06 | AW zusätzl. | 0.020 |
| | Σ [min] Fixierung der inneren Beplankung | 2833 | 47.22 | | | AW brutto | 0.091 |

Tabelle 4.14: AW: Fixierung der inneren Beplankung (Projekt A)

▪ Verspachtelung der inneren Beplankung [Std/m²]

Die Verspachtelung der inneren Beplankung besteht aus der Bearbeitung der Plattenstöße.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|------------------------------|---|-------|-------|------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
| | Tätigkeit: Verspachtelung der inneren Beplankung | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| AS1 | Haupttätigkeit + | 500 | 8.33 | 71% | 519.06 | AW netto | 0.016 |
| | Nebentätigkeit + | 59 | 0.98 | 8% | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 26 | 0.43 | 4% | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 41 | 0.68 | 6% | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 26 | 0.44 | 4% | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 49 | 0.81 | 7% | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 200 | 3.33 | 29% | 519.06 | AW zusätzl. | 0.006 |
| | Σ [min] Verspachtelung der inneren Beplankung | 700 | 11.66 | | | AW brutto | 0.022 |

Tabelle 4.15: AW: Verspachtelung der inneren Beplankung (Projekt A)

Arbeitsstation 2:

Die nachfolgenden Aufwandswerte beziehen sich auf die Arbeitsstation 2. Die Bezugsgröße wird wiederum aus der Nettofläche, aller auf dieser Station bearbeiteten Elemente, gebildet.

▪ Befestigung der Winkel [Std/m²]

Die Befestigung der Winkel besteht aus der Positionierung und Verschraubung dieser Stahlbauteile am Element.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|------------------------------|--|-------|-------|------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
| | Tätigkeit: Befestigung der Winkel | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| AS2 | Haupttätigkeit + | 485 | 8.08 | 48% | 531.82 | AW netto | 0.015 |
| | Nebentätigkeit + | 43 | 0.71 | 4% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 5 | 0.08 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 244 | 4.06 | 24% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 98 | 1.63 | 10% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 45 | 0.75 | 4% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 83 | 1.38 | 8% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 517 | 8.62 | 52% | 531.82 | AW zusätzl. | 0.016 |
| | Σ [min] Befestigung der Winkel | 1002 | 16.70 | | | AW brutto | 0.031 |

Tabelle 4.16: AW: Befestigung der Winkel (Projekt A)

▪ Vorbereitung der Dämmung [Std/m²]

Die Vorbereitung der Dämmung beinhaltet den Zuschnitt und die Positionierung der einzelnen Dämmstoffbahnen am Element.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|------------------------------|--|-------|-------|------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
| | | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| AS2 | Tätigkeit: Vorbereitung der Dämmung | | | | | | |
| | Haupttätigkeit + | 2030 | 33,83 | 83% | 531,82 | AW netto | 0,064 |
| | Nebentätigkeit + | 213 | 3,54 | 9% | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 61 | 1,02 | 2% | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 18 | 0,30 | 1% | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 45 | 0,75 | 2% | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 83 | 1,38 | 3% | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 420 | 6,99 | 17% | 531,82 | AW zusätzl. | 0,013 |
| Σ [min] | Vorbereitung der Dämmung | 2450 | 40,83 | | | AW brutto | 0,077 |

Tabelle 4.17: AW: Vorbereitung der Dämmung (Projekt A)

▪ Einbau der Dämmung [Std/m²]

Der Einbau der Dämmung setzt sich aus der Einbringung sowie einer eventuellen Bearbeitung der Dämmstoffbahnen zusammen.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
| | | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| AS2 | Tätigkeit: Einbau der Dämmung | | | | | | |
| | Haupttätigkeit + | 1665 | 27,75 | 82% | 531,82 | AW netto | 0,052 |
| | Nebentätigkeit + | 133 | 2,21 | 7% | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 61 | 1,02 | 3% | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 38 | 0,63 | 2% | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 45 | 0,75 | 2% | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 83 | 1,38 | 4% | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 360 | 5,99 | 18% | 531,82 | AW zusätzl. | 0,011 |
| Σ [min] | Einbau der Dämmung | 2025 | 33,74 | | | AW brutto | 0,063 |

Tabelle 4.18: AW: Einbau der Dämmung (Projekt A)

▪ Einbau der Füllhölzer [Std/m²]

Der Einbau der Füllhölzer beinhaltet die Positionierung und Verschraubung der Hölzer an den vorgesehenen Stellen am Element.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|------------------------------|---|-------|-------|------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
| | | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| AS2 | Tätigkeit: Einbau der Füllhölzer | | | | | | |
| | Haupttätigkeit + | 695 | 11,58 | 58% | 531,82 | AW netto | 0,022 |
| | Nebentätigkeit + | 43 | 0,71 | 4% | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 244 | 4,06 | 20% | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 98 | 1,63 | 8% | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 45 | 0,75 | 4% | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 83 | 1,38 | 7% | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 512 | 8,53 | 42% | 531,82 | AW zusätzl. | 0,016 |
| Σ [min] | Einbau der Füllhölzer | 1207 | 20,12 | | | AW brutto | 0,038 |

Tabelle 4.19: AW: Einbau der Füllhölzer (Projekt A)

Arbeitsstation 3:

Die weiteren Aufwandswerte entstanden durch die Beobachtungen von Arbeitsstation 3. Die Bezugsgröße setzt sich erneut aus der Nettofläche, aller auf dieser Station bearbeiteten Elemente, zusammen.

- **Fixierung der äußeren Beplankung [Std/m²]**

Die Fixierung der äußeren Beplankung beinhaltet die Positionierung, die Verschraubung sowie eine eventuelle Bearbeitung dieser Platten am Element.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|---|----------------------------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Fixierung der äußeren Beplankung | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| Haupttätigkeit + | | 2645 | 44.08 | 75% | 544.58 | AW netto | 0,081 |
| Nebentätigkeit + | | 231 | 3.84 | 7% | | | |
| Zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 452 | 7.53 | 13% | | | |
| Störungsbedingte Unterbrechungen + | | 96 | 1.59 | 3% | | | |
| Erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 21 | 0.35 | 1% | | | |
| Persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 92 | 1.53 | 3% | | | |
| Nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Σ [min] | | 891 | 14.84 | 25% | 544.58 | AW zusätzl. | 0.027 |
| Σ [min] | Fixierung der äußeren Beplankung | 3536 | 58.93 | | | AW brutto | 0,108 |

Tabelle 4.20: AW: Fixierung der äußeren Beplankung (Projekt A)

- **Ablebung der äußeren Beplankung [Std/m²]**

Die Ablebung der äußeren Beplankung besteht aus der Positionierung von Klebstoffstreifen an den Plattenstößen.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--|---------------------------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Ablebung der äußeren Beplankung | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| Haupttätigkeit + | | 545 | 9.08 | 75% | 544,58 | AW netto | 0,017 |
| Nebentätigkeit + | | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| störungsbedingte Unterbrechungen + | | 75 | 1,25 | 10% | | | |
| erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 16 | 0,27 | 2% | | | |
| persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 92 | 1,53 | 13% | | | |
| nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| Σ [min] | | 183 | 3,05 | 25% | 544,58 | AW zusätzl. | 0,006 |
| Σ [min] | Ablebung der äußeren Beplankung | 728 | 12,13 | | | AW brutto | 0,022 |

Tabelle 4.21: AW: Ablebung der äußeren Beplankung (Projekt A)

- **Befestigung der Unterkonstruktion [Std/m²]**

Die Befestigung der Unterkonstruktion beinhaltet die Positionierung, Verschraubung sowie eine eventuelle Bearbeitung der Hölzer am Element.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|------------------|-----------------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Befestigung der Unterkonstruktion | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| Haupttätigkeit + | | 1845 | 30.75 | 79% | 544.58 | AW netto | 0,056 |
| Nebentätigkeit + | | 45 | 0.74 | 2% | | | |
| Zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 251 | 4.18 | 11% | | | |
| Störungsbedingte Unterbrechungen + | | 91 | 1.51 | 4% | | | |
| Erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 21 | 0.35 | 1% | | | |
| Persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 92 | 1.53 | 4% | | | |
| Nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Σ [min] | | 499 | 8.31 | 21% | 544.58 | AW zusätzl. | 0.015 |
| Σ [min] | Befestigung der Unterkonstruktion | 2344 | 39.06 | | | AW brutto | 0,072 |

Tabelle 4.22: AW: Befestigung der Unterkonstruktion (Projekt A)

▪ Einbau der Dichtung [Std/m²]

Der Einbau der Dichtung besteht aus der Anbringung und Befestigung dieser Bestandteile am Element.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|------------------|-----------------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Einbau der Dichtung | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| Haupttätigkeit + | | 380 | 6,33 | 67% | 544,58 | AW netto | 0,012 |
| Nebentätigkeit + | | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| störungsbedingte Unterbrechungen + | | 80 | 1,33 | 14% | | | |
| erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 16 | 0,27 | 3% | | | |
| persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 92 | 1,53 | 16% | | | |
| nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| Σ [min] | | 188 | 3,13 | 33% | 544,58 | AW zusätzl. | 0,006 |
| Σ [min] | Einbau der Dichtung | 568 | 9,46 | | | AW brutto | 0,017 |

Tabelle 4.23: AW: Einbau der Dichtung (Projekt A)

Arbeitsstation 4:

Die nachfolgenden Aufwandswerte hängen ausschließlich mit verrichteten Tätigkeiten an Arbeitsstation 4 zusammen. Die Bezugsgröße setzt sich aufgrund der Arbeiten an den Fenstern aus den Umfängen der Elementöffnungen zusammen. Für die Ermittlung eines Gesamtaufwandswertes werden diese Kennzahlen auch bezogen auf die Nettofläche, aller auf dieser Station bearbeiteten Elemente, wiedergegeben.

▪ Vorbereitungsmaßnahmen Fenstereinbau [Std/lfm]

Die Vorbereitungsmaßnahmen für den Fenstereinbau bestehen aus der Anbringung eines Multifunktionsbandes zur Abdichtung und dem Einbau von Holzklötzen als Anschlag für die Verschraubung.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | | |
|------------------------------|--|--------------------------------------|----------|------------|--------|-----------------|------------------|-----------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | | |
| | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW | AW |
| | | [min] | [Std] | [%] | [lfm] | | [Std/lfm] | [Std/m ²] |
| AS4 | Tätigkeit: Vorbereitungsmaßnahmen Fenstereinbau | 1825 | 30,42 | 75% | 307,22 | AW netto | 0,099 | 0,106 |
| | Haupttätigkeit + | | | | | | | |
| | Nebentätigkeit + | 37 | 0,61 | 2% | | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0,00 | 0% | | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 319 | 5,32 | 13% | | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 205 | 3,42 | 8% | | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 3 | 0,04 | 0% | | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 50 | 0,83 | 2% | | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | | |
| | Σ [min] | 613 | 10,22 | 25% | 307,22 | AW zusätzl. | 0,033 | 0,036 |
| | Σ [min] | Vorbereitungsmaßnahmen Fenstereinbau | 2438 | 40,64 | | | AW brutto | 0,132 | 0,142 |

Tabelle 4.24: AW: Vorbereitungsmaßnahmen Fenstereinbau (Projekt A)

▪ Fenstereinbau [Std/lfm]

Der Einbau der Fenster beinhaltet die Positionierung des Fensters im Element, die Verschraubung sowie eventuelle Sicherheitsmaßnahmen für den Transport.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|--------------------|----------|------------|--------|-----------------|------------------|-----------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | | |
| | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW | AW |
| | | [min] | [Std] | [%] | [lfm] | | [Std/lfm] | [Std/m ²] |
| AS4 | Tätigkeit: Einbau der Fenster | 2385 | 39,75 | 88% | 307,22 | AW netto | 0,129 | 0,139 |
| | Haupttätigkeit + | | | | | | | |
| | Nebentätigkeit + | 18 | 0,29 | 1% | | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 30 | 0,50 | 1% | | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 82 | 1,36 | 3% | | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 157 | 2,62 | 6% | | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 4 | 0,06 | 0% | | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 50 | 0,83 | 2% | | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | | |
| | Σ [min] | 340 | 5,66 | 12% | 307,22 | AW zusätzl. | 0,018 | 0,020 |
| | Σ [min] | Einbau der Fenster | 2725 | 45,41 | | | AW brutto | 0,148 | 0,158 |

Tabelle 4.25: AW: Fenstereinbau (Projekt A)

▪ Einbau der Glasleisten [Std/lfm]

Der Einbau der Glasleisten setzt sich aus der Befestigung dieser Bauteile am Fenster sowie eventuellen Nachbesserungsmaßnahmen zusammen.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | | |
|------------------------------|--|------------------------|----------|------------|--------|-----------------|------------------|-----------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | | |
| | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW | AW |
| | | [min] | [Std] | [%] | [lfm] | | [Std/lfm] | [Std/m ²] |
| AS4 | Tätigkeit: Einbau der Glasleisten | 875 | 14,58 | 64% | 307,22 | AW netto | 0,047 | 0,051 |
| | Haupttätigkeit + | | | | | | | |
| | Nebentätigkeit + | 10 | 0,17 | 1% | | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 35 | 0,58 | 3% | | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 238 | 3,96 | 17% | | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 164 | 2,73 | 12% | | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 3 | 0,04 | 0% | | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 50 | 0,83 | 4% | | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | | |
| | Σ [min] | 499 | 8,32 | 36% | 307,22 | AW zusätzl. | 0,027 | 0,029 |
| | Σ [min] | Einbau der Glasleisten | 1374 | 22,90 | | | AW brutto | 0,075 | 0,080 |

Tabelle 4.26: AW: Einbau der Glasleisten (Projekt A)

▪ Einbau der Fensterfaschen [Std/lfm]

Der Einbau der Fensterfaschen beinhaltet den Einbau von Dämmstreifen unmittelbar hinter den Faschenbauteilen, die Positionierung der Bauteile am Element, die Verschraubung sowie kleinere nachträgliche Bearbeitungen.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------|---------|---------|----------------|----------|------------------|--------------|--------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | | |
| Tätigkeit: Einbau der Fensterfaschen | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [lfm] | AW | AW [Std/lfm] | AW [Std/m²] |
| Haupttätigkeit + | | 1290 | 21,50 | 78% | 307,22 | AW netto | 0,070 | 0,075 |
| Nebentätigkeit + | | 6 | 0,10 | 0% | | | | |
| zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 330 | 5,50 | 20% | | | | |
| ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 7 | 0,12 | 0% | | | | |
| störungsbedingte Unterbrechungen + | | 7 | 0,12 | 0% | | | | |
| erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 4 | 0,06 | 0% | | | | |
| persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 13 | 0,21 | 1% | | | | |
| nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0,00 | 0% | | | | |
| Σ [min] | | 366 | 6,10 | 22% | 307,22 | AW zusätzl. | 0,020 | 0,021 |
| Σ [min] | Einbau der Fensterfaschen | 1656 | 27,60 | | | AW brutto | 0,090 | 0,096 |

Tabelle 4.27: AW: Einbau der Fensterfaschen (Projekt A)

Transport und Verladung:

Für den Transport der Elemente innerhalb der Arbeitsstationen und die Verladung auf das endgültige Transportmittel inkl. aller Zusatzarbeiten wurden gesonderte Aufwandswerte ermittelt. Als Bezugsgröße wurde die Summe aller fertiggestellten Elementflächen verwendet.

▪ Transport [Std/m²]

Der Transport besteht aus der Beförderung der Elemente innerhalb der Arbeitsstationen.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|---------|---------|----------------|---------|------------------|--------------|--|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | | |
| Tätigkeit: Elementtransport innerhalb der AS | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m²] | AW | AW [Std/m²] | |
| Haupttätigkeit + | | 1945 | 32,42 | 70% | 584,35 | AW netto | 0,055 | |
| Nebentätigkeit + | | 102 | 1,70 | 4% | | | | |
| Zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 0 | 0,00 | 0% | | | | |
| Ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 281 | 4,68 | 10% | | | | |
| Störungsbedingte Unterbrechungen + | | 150 | 2,50 | 5% | | | | |
| Erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 92 | 1,53 | 3% | | | | |
| Persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 205 | 3,41 | 7% | | | | |
| Nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0,00 | 0% | | | | |
| Σ [min] | | 829 | 13,82 | 30% | 584,35 | AW zusätzl. | 0,024 | |
| Σ [min] | Elementtransport innerhalb der AS | 2774 | 46,24 | | | AW brutto | 0,079 | |

Tabelle 4.28: AW: Transport (Projekt A)

▪ Verladung [Std/m²]

Die Verladung beinhaltet hingegen den Transport der Elemente von der letzten Arbeitsstation auf die Flats. Zudem sind in diesem Aufwandswert auch sämtliche Sicherungs- und Schutzmaßnahmen für die Ladung enthalten.

| Beurteilung nach REFA | | BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | |
|-----------------------|--------------------------------------|------------------------------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| Tätigkeit: Verladung | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| Verladung | Haupttätigkeit + | 2650 | 44.17 | 81% | 584.35 | AW netto | 0.076 |
| | Nebentätigkeit + | 91 | 1.51 | 3% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 182 | 3.03 | 6% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 207 | 3.45 | 6% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 45 | 0.74 | 1% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 94 | 1.57 | 3% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 618 | 10.30 | 19% | 584.35 | AW zusätzl. | 0.018 |
| | Σ [min] Verladung | 3268 | 54.46 | | | AW brutto | 0.093 |

Tabelle 4.29: AW: Verladung (Projekt A)

4.4.3.2 Zusammengefasste Darstellung der AW (Projekt A)

Im nachfolgenden Abschnitt werden die einzelnen Aufwandswerte den jeweiligen Arbeitsstationen zugewiesen und in weiterer Folge als Gesamtaufandswert je AS dargestellt. Die Summierung dieser Aufwandswerte ergibt schlussendlich den Gesamtaufandswert der Vorfertigung von Projekt A. Die Darstellung erfolgt getrennt nach AW_{netto} und AW_{brutto} .

▪ Arbeitsstation 1 [Std/m²]

In der nachfolgenden Abbildung sind die Aufwandswerte sämtlicher AW_i -Positionen von Arbeitsstation 1 zusammengefasst dargestellt.

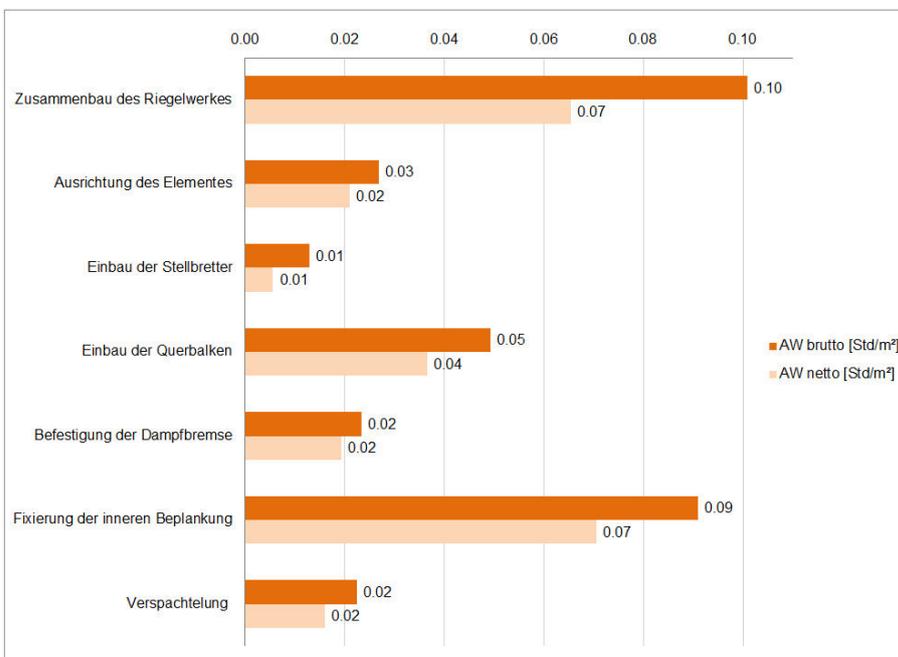


Abbildung 4.21: Aufwandswerte Arbeitsstation 1 (Projekt A)

Wie in Abbildung 4.21 zu sehen ist, erfolgt die Darstellung der Aufwandswerte auf zwei Nachkommastellen genau. Aufgrund der Rundungungenauigkeit kann es vorkommen, dass bei geringen Unterschieden

den sowohl der Brutto-, als auch Nettoaufwandswert mit dem gleichen Zahlenwert dargestellt wird. In diesen Fällen ist jedoch eine Orientierung an den grafischen Balken sinnvoll, um die zumeist minimale Abweichung erkennen zu können.

Aus der vorliegenden Abbildung geht hervor, dass sich die Tätigkeiten an der ersten Arbeitsstation aus insgesamt sieben Haupttätigkeiten zusammensetzen. Der Gesamtaufwandswert wird von zwei maßgebenden Tätigkeiten gebildet, wobei rund ein Drittel des Gesamtaufwandswertes aus der Summe aller anderen Tätigkeiten gebildet wird. Das Verhältnis zwischen AW_{brutto} und AW_{netto} ist bei allen Positionen annähernd gleich, was eine störungsarme Fertigung in allen Bereichen dieser Station vermuten lässt.

Die detaillierte Zeitverteilung aller Tätigkeiten und Unterbrechungen auf der zweiten Ebene kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

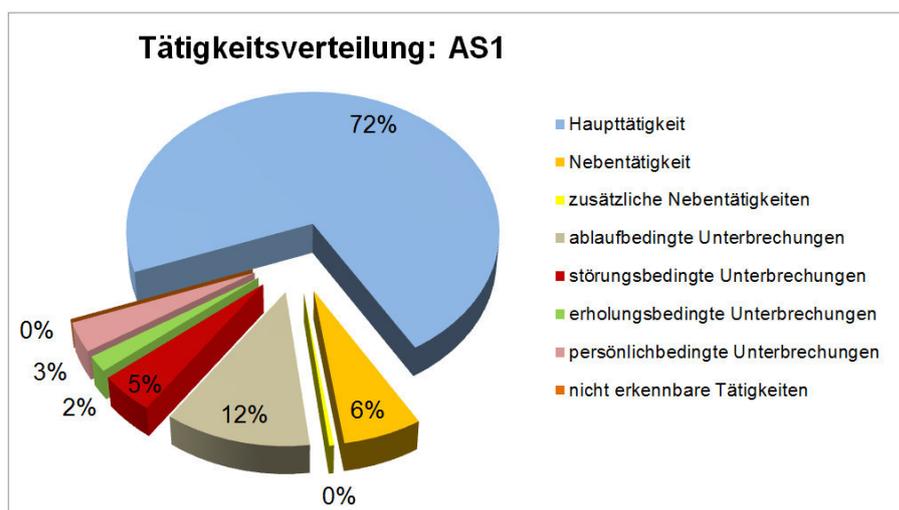


Abbildung 4.22: Tätigkeitsverteilung Arbeitsstation 1 (Projekt A)

Konkrete Beispiele zu den Tätigkeiten und Unterbrechungen können im Kapitel 2.11.3 nachgelesen werden, wobei die Haupttätigkeiten mit den AW_i -Positionen von Arbeitsstation 1 gleichzusetzen sind. In Abbildung 4.22 ist zu sehen, dass der Anteil der Haupttätigkeiten in Summe bei rund 72% liegt, was auf eine hohe Produktivität mit wenigen Störeinflüssen schließen lässt.

▪ **Arbeitsstation 2 [Std/m²]**

Die Aufwandswerte von Arbeitsstation 2 können der Abbildung 4.23 entnommen werden.

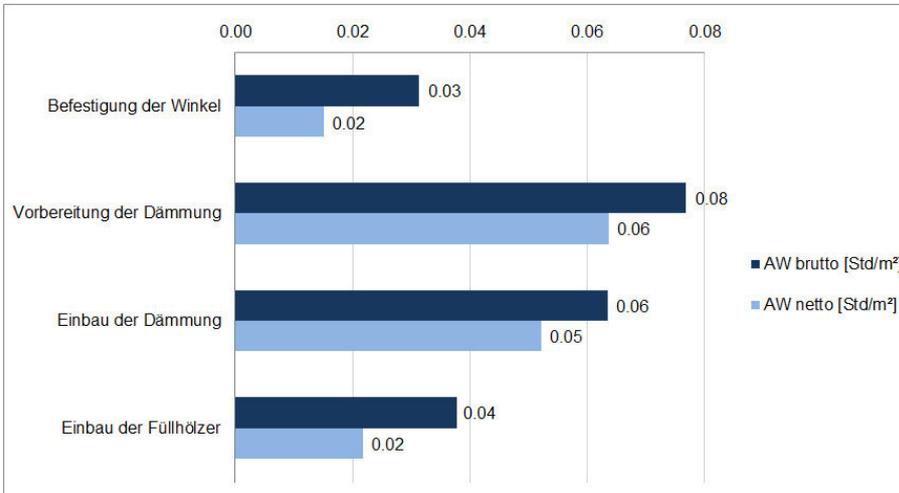


Abbildung 4.23: Aufwandswerte Arbeitsstation 2 (Projekt A)

In der vorliegenden Abbildung 4.23 wird ersichtlich, dass der Aufwandswert für die Arbeiten an Station 2 aus insgesamt vier Haupttätigkeiten besteht, wobei die Vorbereitung bzw. der Einbau der Dämmung den zeitlich größten Anteil einnehmen. Die restlichen beiden Einzelwerte machen in Summe ein Drittel des Gesamtaufwandswertes an dieser Station aus. Das Verhältnis von Netto- zu Bruttoaufwandswert ist bei nahezu allen Positionen konstant, was wiederum auf einen störungsfreien Ablauf schließen lässt.

Nachfolgend ist die detaillierte Zeitverteilung aller Tätigkeiten und Unterbrechungen von Arbeitsstation 2 dargestellt.

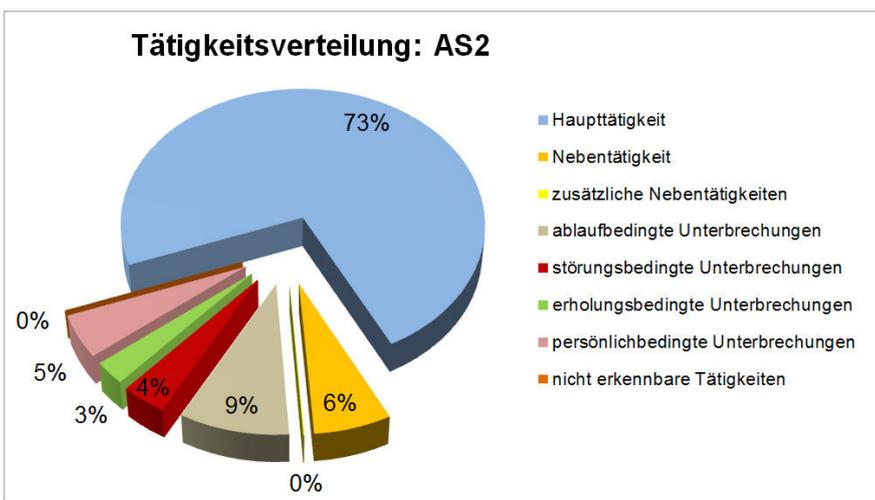


Abbildung 4.24: Tätigkeitsverteilung Arbeitsstation 2 (Projekt A)

Konkrete Beispiele zu den Tätigkeiten und Unterbrechungen können wiederum dem Kapitel 2.11.3 entnommen werden, wobei die Haupttätigkeiten mit den AW_i -Positionen von Arbeitsstation 2 gleichzusetzen sind. Der Anteil der Haupttätigkeiten liegt in Summe bei rund 73%, was wiederum einen störungsfreien Produktionsablauf vermuten lässt.

▪ **Arbeitsstation 3 [Std/m²]**

Die Aufwandswerte aller AW_i -Positionen in Zusammenhang mit der dritten Arbeitsstation können der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

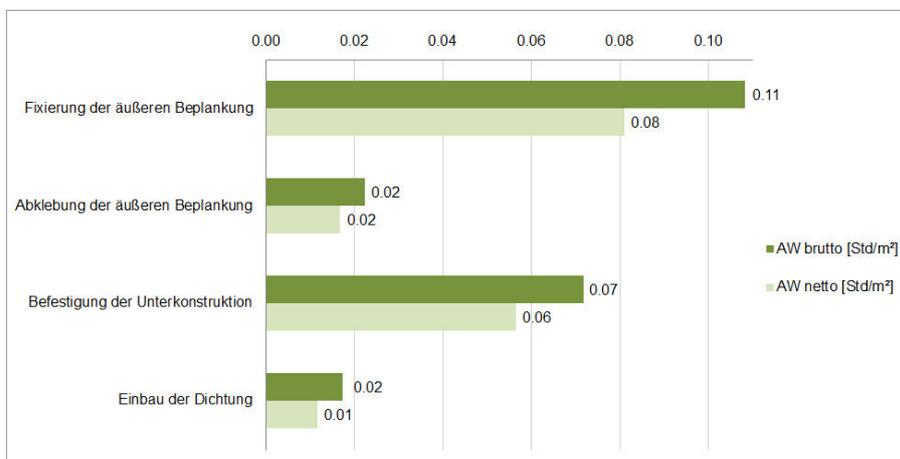


Abbildung 4.25: Aufwandswerte Arbeitsstation 3 (Projekt A)

In Abbildung 4.25 ist zu erkennen, dass sich die Tätigkeiten an Arbeitsstation 3 aus insgesamt vier Haupttätigkeiten zusammensetzen, wobei der Gesamtaufwandswert dieser Station zum überwiegenden Anteil aus zwei maßgebenden Tätigkeiten gebildet wird. Die beiden anderen Werte sind verschwindend gering, dürfen aber keineswegs vernachlässigt werden. Das Verhältnis zwischen AW_{netto} und AW_{brutto} ist bei allen Positionen annähernd gleich, was wiederum auf eine störungsarme Fertigung in allen Bereichen schließen lässt.

Die Verteilung der Zeiten aller Tätigkeiten und Unterbrechungen auf der zweiten Ebene für Arbeitsstation 3 ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

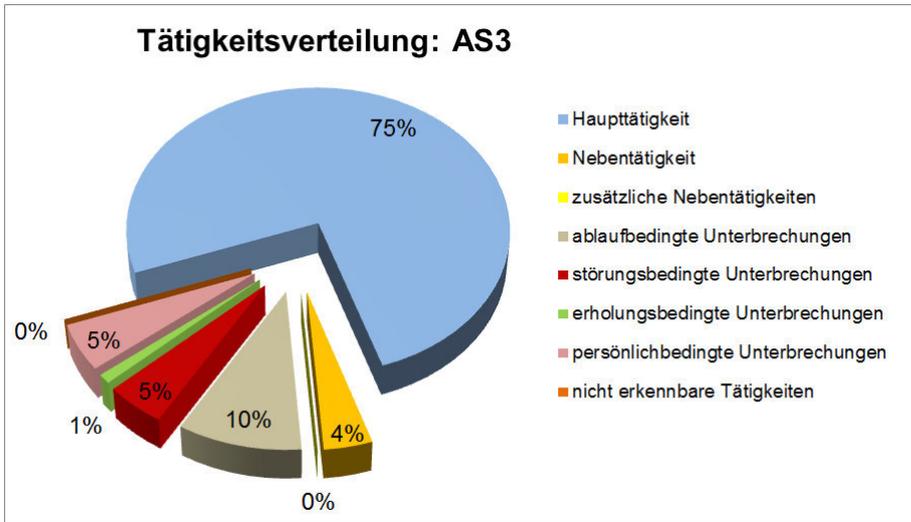


Abbildung 4.26: Tätigkeitsverteilung Arbeitsstation 3 (Projekt A)

Konkrete Beispiele zu den Tätigkeiten und Unterbrechungen können erneut im Kapitel 2.11.3 nachgelesen werden, wobei die Haupttätigkeiten mit den AW_i-Positionen von Arbeitsstation 3 gleichzusetzen sind. Der Anteil der Haupttätigkeiten liegt bei rund 75%, wobei der Anteil der ablaufbedingten Unterbrechungen mit 10% den größten Teil der Unterbrechungen darstellt.

▪ **Arbeitsstation 4 [Std/lfm]**

In der nachfolgenden Abbildung sind die Aufwandswerte sämtlicher AW_i-Positionen für die Tätigkeiten an Arbeitsstation 4 dargestellt. Die Bezugsgröße wird in diesem Fall auf Wunsch der Kalkulationsabteilung mit Laufmetern [lfm] definiert.

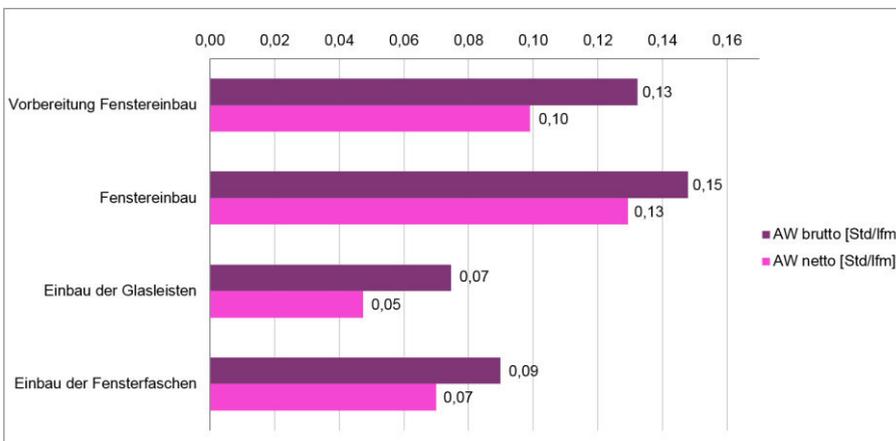


Abbildung 4.27: Aufwandswerte Arbeitsstation 4 [Std/lfm] (Projekt A)

Für die Ermittlung des Gesamtaufwandswertes werden die Positionen der AS4 zudem gesondert auf deren Elementfläche bezogen und mit der Einheit [Std/m²] angegeben.

▪ **Arbeitsstation 4 [Std/m²]**

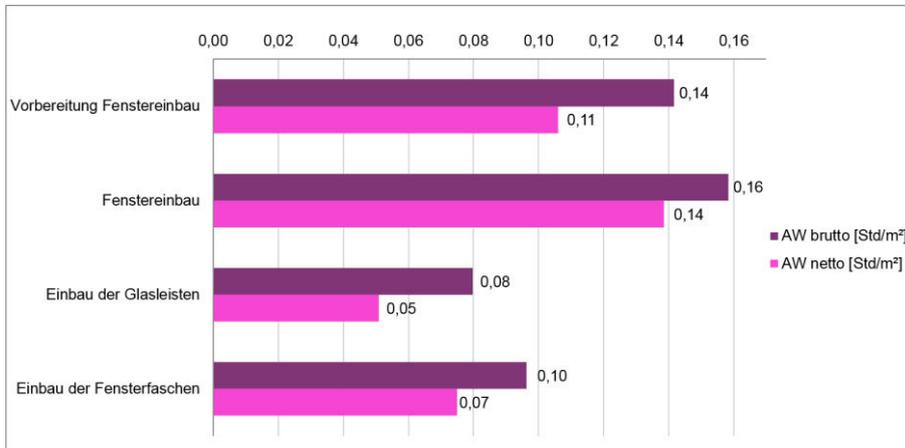


Abbildung 4.28: Aufwandswerte Arbeitsstation 4 (Projekt A)

Unabhängig davon, mit welcher Bezugsgröße ein Aufwandswert dargestellt wird, ist zu erkennen, dass der Gesamtaufandswert von Arbeitsstation 4 großteils durch die Arbeiten des Fenstereinbaus gebildet wird. Die restlichen beiden Einzelwerte stellen dennoch rund ein Drittel des Gesamtaufandswertes dar. Auch hier ist ein konstantes Verhältnis zwischen Netto- und Bruttoaufandswert in allen Positionen erkennbar.

Die nachfolgende Grafik zeigt eine detaillierte Darstellung der Zeitverteilung aller Tätigkeiten und Unterbrechungen der AS4.

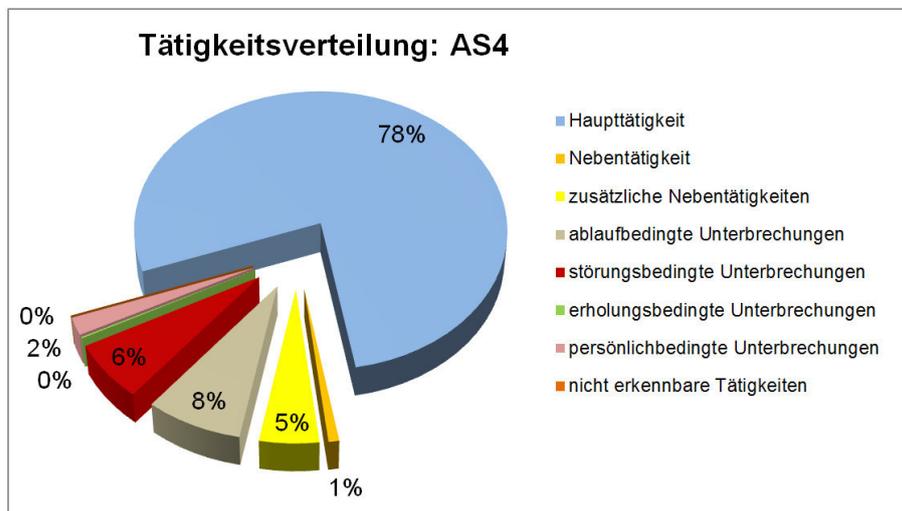


Abbildung 4.29: Tätigkeitsverteilung Arbeitsstation 4 (Projekt A)

Konkrete Beispiele zu den Tätigkeiten und Unterbrechungen können dem Kapitel 2.11.3 entnommen werden, wobei die Haupttätigkeiten mit den AW_i-Positionen der vierten Arbeitsstation gleichzusetzen sind. Im Allgemeinen sind in der Verteilung keine wesentlichen Unterschiede zu den anderen Arbeitsstationen erkennbar.

▪ **Transport und Verladung [Std/m²]**

Die Aufwandswerte des Transportes der Elemente innerhalb der Arbeitsstationen und jene der Verladung sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

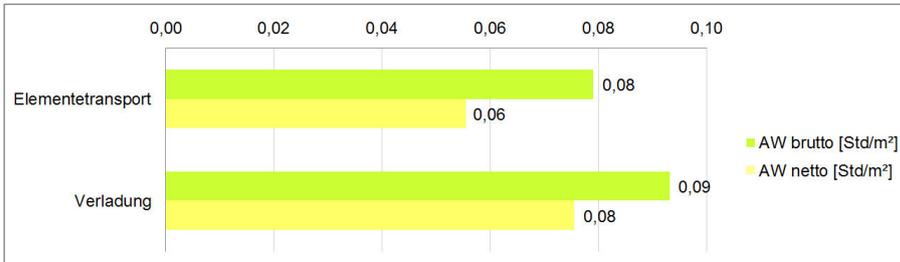


Abbildung 4.30: Aufwandswerte Transport und Verladung (Projekt A)

Wie die Abbildung 4.30 zeigt, sind in Summe zwei Aufwandswerte mit der Manipulation der Elemente in Verbindung zu bringen. Die Höhe der beiden Werte ist annähernd gleich, auch das Verhältnis von AW_{netto} zu AW_{brutto} ist konstant verteilt.

Die nachfolgende Grafik zeigt die detaillierte Zeitverteilung aller Tätigkeiten und Unterbrechungen auf der zweiten Ebene.

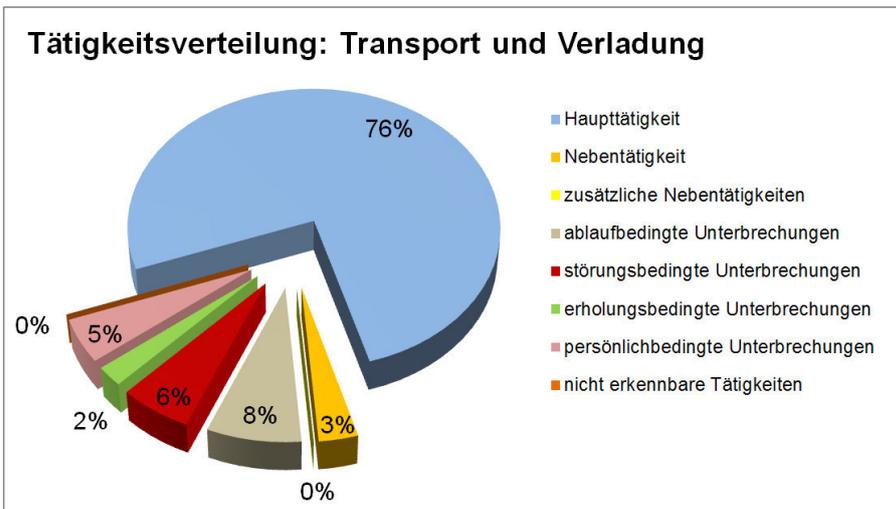


Abbildung 4.31: Tätigkeitsverteilung Transport und Verladung (Projekt A)

Konkrete Beispiele zu den jeweiligen Tätigkeiten und Unterbrechungen sind erneut im Kapitel 2.11.3 angeführt, wobei die Haupttätigkeiten mit den vorliegenden AW_i -Positionen gleichzusetzen sind. Die Verteilung weist wiederum keine großen Unterschiede zu den anderen, bereits dargestellten Arbeitsstationen auf.

▪ **Gesamtaufwandswerte Projekt A [Std/m²]**

Die nachfolgende Abbildung beinhaltet die Verteilung der Gesamtaufwandswerte der bereits detailliert dargestellten Arbeitsstationen im Zusammenhang mit dem Projekt A.

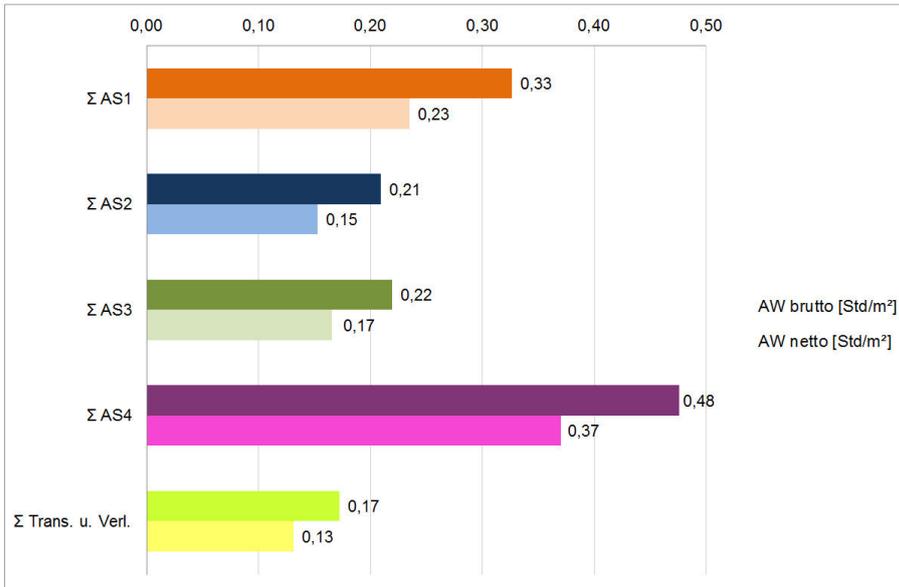


Abbildung 4.32: Stations-Aufwandswerte (Projekt A)

Nachdem die Vorfertigung als Taktfertigung geplant war, sollten die Aufwandswerte der Arbeitsstationen im Idealfall übereinstimmen. Es ist erkennbar, dass dieses Ziel nur teilweise erreicht wurde. Eine genaue Analyse der Umstände kann dem nachfolgenden Kapitel 5 entnommen werden.

Der aufsummierte Gesamtaufwandswert der Vorfertigung bei Projekt A kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

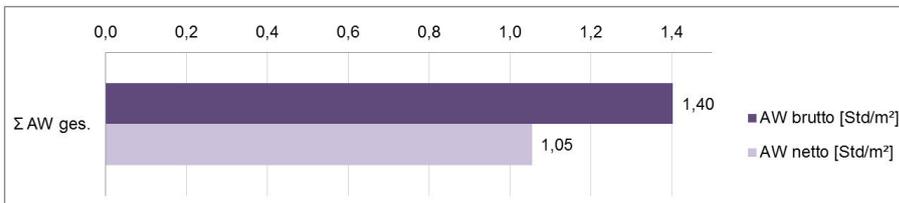


Abbildung 4.33: Gesamtaufwandswert (Projekt A)

Den Abschluss bildet eine Grafik mit der Zeitverteilung aller Tätigkeiten und Unterbrechungen auf der zweiten Ebene für die gesamte Vorfertigung von Projekt A.

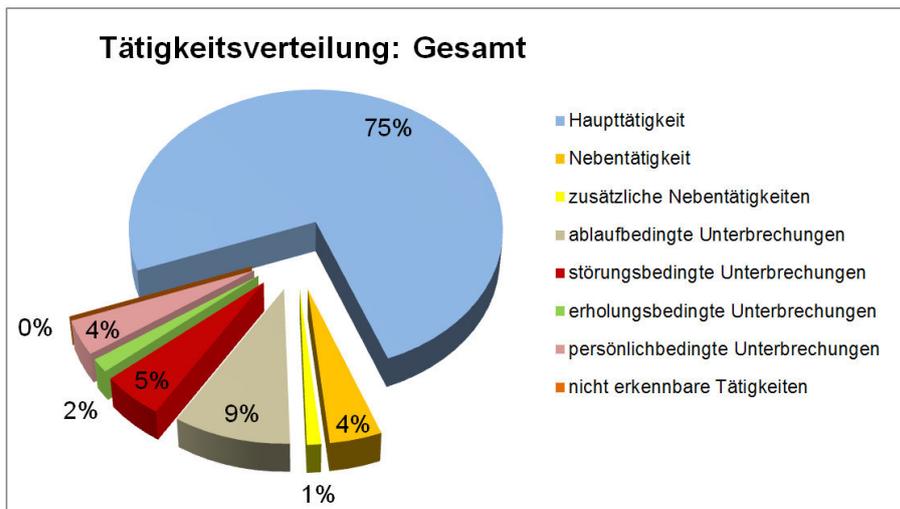


Abbildung 4.34: Tätigkeitsverteilung gesamt (Projekt A)

Konkrete Beispiele zu den Tätigkeiten und Unterbrechungen können erneut dem Kapitel 2.11.3 entnommen werden, wobei sich die Haupttätigkeiten auf die Summe der AW_i -Positionen aller Arbeitsstationen beziehen. Aufgrund der konstanten Verteilung von Tätigkeiten und Unterbrechungen an allen Arbeitsstationen weist auch die Gesamtverteilung keine wesentlichen Unterschiede zu den anderen Arbeitsstationen auf.

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Ergebnisse von Projekt B auf die gleiche Art und Weise dargestellt.

4.4.3.3 Detaillierte Darstellung der Aufwandswerte (Projekt B)

Wie bereits bei Projekt A, wird auch bei Projekt B zu Beginn mit einer detaillierten Darstellung der Ergebnisse sämtlicher AW_i -Positionen begonnen. Die Darstellung der Aufwandswerte umfasst eine Auflistung der Zeitangaben auf der zweiten Ebene, wobei sich die Zeiten auf den gesamten Beobachtungszeitraum beziehen. Die Bezugseinheit setzt sich wiederum aus den Flächen aller gefertigten Elemente zusammen. Die Fertigung besteht erneut aus mehreren Arbeitsstationen. Aufgrund des vorliegenden Zweischichtmodells konnte jedoch nicht jedes Element über sämtliche Arbeitsstationen mitverfolgt werden, wodurch eine separate Ermittlung der Bezugsgrößen je AS durchgeführt wurde.

In der nachfolgenden Abbildung ist die Ermittlung der Bezugsgröße von Arbeitsstation 1 für das Projekt B exemplarisch dargestellt.

| Arbeitsstation 2 | | | |
|-------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|
| <i>Element [Nr.]</i> | <i>Fläche [m²]</i> | <i>Element [Nr.]</i> | <i>Fläche [m²]</i> |
| E3 | 9,147 | AE6/2 | 6,210 |
| E4 | 12,550 | AE7/2 | 6,612 |
| E5 | 28,500 | E8 | 7,015 |
| E6 | 25,452 | AE8 | 6,694 |
| E7 | 47,856 | AE8/2 | 6,167 |
| E6/ RWA | 10,479 | AE8/0 | 2,637 |
| E4/ Lüfter | 5,575 | AE8/3 | 2,091 |
| AE3 | 7,143 | KE1 | 5,926 |
| AE4 | 7,174 | KE2 | 5,899 |
| AE5 | 7,142 | E11 | 0,426 |
| AE6 | 7,161 | E12 | 8,473 |
| AE7 | 7,157 | E13 | 23,378 |
| AE3/2 | 6,210 | E14 | 25,774 |
| AE4/2 | 6,210 | E15 | 18,616 |
| AE5/2 | 6,167 | E16 | 1,726 |
| | | ∑ Fläche | 321,57 m² |

Tabelle 4.30: Ermittlung der Bezugsgröße von AS2 (Projekt B)

Die vorliegende Tabelle gibt einen Überblick aller Elementgrößen, die auf dieser Arbeitsstation bearbeitet wurden. Die Ermittlung der Bezugsgrößen aller anderen Arbeitsstationen erfolgte auf die gleiche Art und Weise.

Nachfolgend werden die einzelnen Aufwandswerte aller AW_i-Positionen im Zusammenhang mit dem Projekt B dargestellt. In den Ergebnissen sind zudem die Prozentsätze der Verteilung auf der zweiten Ebene enthalten. Auf diese Weise kann jede Position einzeln betrachtet und analysiert werden. Der Vollständigkeit halber werden die einzelnen Tätigkeiten kurz benannt, wobei auf eine detaillierte Beschreibung des Ablaufs gemäß Kapitel 3.5 hingewiesen wird.

Arbeitsstation1:

- **Bearbeitung der Sichtplatten [Std/m²]**

Die Bearbeitung der Sichtplatten setzt sich aus der Positionierung der Platte am Arbeitstisch, dem Anzeichnen der Schnitte bzw. Klebstoffflächen, dem Zuschnitt sowie dem Abtransport der Verschnittplatten und der Zuteilung der Sichtplatten zum vorgesehenen Lagerbereich zusammen.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|---------|---------|----------------|----------------------|-----------------|--------------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | |
| AS1 | Tätigkeit: Bearbeitung der Sichtplatten | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| | Haupttätigkeit + | 1555 | 25,92 | 51% | 321,57 | AW netto | 0,081 |
| | Nebentätigkeit + | 86 | 1,43 | 3% | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 546 | 9,10 | 18% | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 512 | 8,53 | 17% | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 273 | 4,55 | 9% | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 21 | 0,35 | 1% | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 56 | 0,93 | 2% | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 1493 | 24,88 | 49% | 321,57 | AW zusätzl. | 0,077 |
| Σ [min] Bearbeitung der Sichtplatten | 3048 | 50,80 | | | AW brutto | 0,158 | |

Tabelle 4.31: AW: Bearbeitung der Sichtplatten (Projekt B)

Wie der Tabelle 4.31 zu entnehmen ist, beträgt der Nettoaufwandswert für die Bearbeitung der unteren, sichtbaren Beplankungsebene in Summe 0,081 Std/m². Dieser Aufwandswert wird ausschließlich den Zeiten der Haupttätigkeiten zugrunde gelegt. Werden auch die Zeiten für Nebentätigkeiten, für zusätzliche Tätigkeiten, wie auch aller Unterbrechungen und nicht erkennbaren Tätigkeiten berücksichtigt, werden weitere 0,077 Std/m² für die Bearbeitung der Sichtplatten benötigt. Aus der Summe dieser beiden Werte resultiert letztendlich der Bruttoaufwandswert (AW_{brutto}). Da sich die Darstellungsform dieser Tabelle im weiteren Verlauf nicht grundlegend ändert, wird auf die weitere Erläuterung der Ergebnisse verzichtet.

Wie bereits im Zuge der Ergebnisdarstellung bei Projekt A erwähnt, kann anhand einer detaillierten Darstellung aller Tätigkeiten und Unterbrechungen auch die Zeitverteilung jeder einzelnen AW_i-Position auf der zweiten Ebene abgebildet werden.

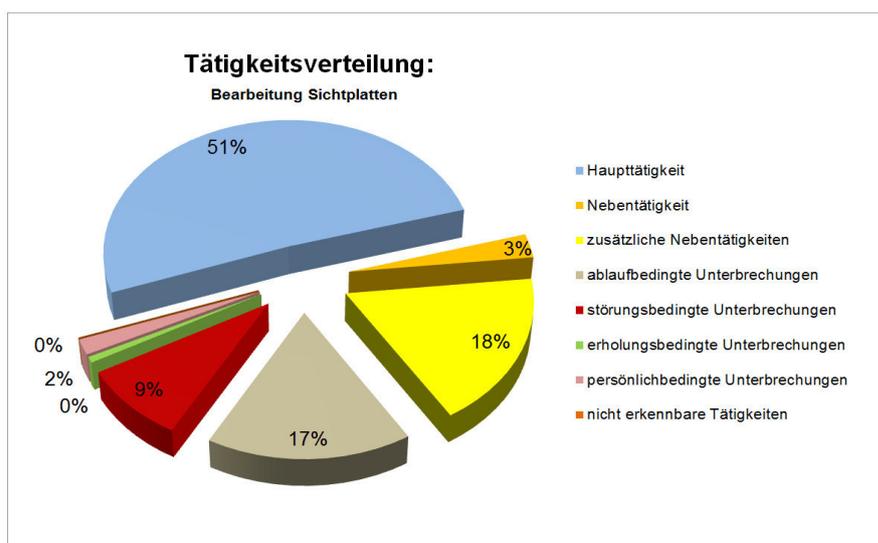


Abbildung 4.35: Tätigkeitsverteilung Bearbeitung der Sichtplatten (Projekt B)

In Abbildung 4.35 ist eine detaillierte Auflistung aller Tätigkeiten und Unterbrechungen für die Bearbeitung der Sichtplatten dargestellt.

Wie zu sehen ist, liegt der Anteil der Haupttätigkeiten lediglich bei rund 51%, wobei der Anteil der zusätzlichen Nebentätigkeiten 18% und der Anteil der ablaufbedingten Unterbrechungen 17% ausmacht. Auch der Anteil der störungsbedingten Unterbrechungen mit 9% ist lt. Verfasser überdurchschnittlich hoch. Konkrete Beispiele zu den einzelnen Tätigkeiten und Unterbrechungen können dem Kapitel 2.11.3 entnommen werden.

Da die Arbeitsstation 1 lediglich aus dieser einen Tätigkeit besteht, können die nachfolgenden Aufwandswerte bereits Arbeitsstation 2 zugeordnet werden.

Arbeitsstation 2:

Die Bezugsgröße setzt sich wiederum aus der Gesamtfläche aller auf dieser Station bearbeiteten Elemente zusammen.

▪ **Zusammenbau des Riegelwerkes [Std/m²]**

Der Zusammenbau des Riegelwerkes beinhaltet die Positionierung und Verschraubung der Hölzer am Arbeitstisch.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|---------|---------|----------------|----------------------|-----------------|--------------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Zusammenbau des Riegelwerkes | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| AS2 | Haupttätigkeit + | 2240 | 37.33 | 65% | 321.57 | AW netto | 0.116 |
| | Nebentätigkeit + | 86 | 1.43 | 3% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 674 | 11.23 | 20% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 344 | 5.74 | 10% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 21 | 0.35 | 1% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 56 | 0.93 | 2% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Σ [min] | 1181 | 19.68 | 35% | 321.57 | AW zusätzl. | 0.061 | |
| Σ [min] Zusammenbau des Riegelwerkes | 3421 | 57.01 | | | AW brutto | 0.177 | |

Tabelle 4.32: AW: Zusammenbau des Riegelwerkes (Projekt B)

▪ **Ausrichtung des Elementes [Std/m²]**

Die Ausrichtung des Elementes setzt sich aus der Befestigung einer Lotsehrn, dem Ausmessen der Diagonalen sowie der manuellen Ausrichtung des Elementes selbst zusammen.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|------------------|-----------------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Ausrichtung des Elementes | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| Haupttätigkeit + | | 595 | 9.92 | 96% | 321.57 | AW netto | 0.031 |
| Nebentätigkeit + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 4 | 0.07 | 1% | | | |
| Störungsbedingte Unterbrechungen + | | 7 | 0.12 | 1% | | | |
| Erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 4 | 0.06 | 1% | | | |
| Persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 9 | 0.15 | 1% | | | |
| Nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Σ [min] | | 24 | 0.40 | 4% | 321.57 | AW zusätzl. | 0.001 |
| Σ [min] | Ausrichtung des Elementes | 619 | 10.32 | | | AW brutto | 0.032 |

Tabelle 4.33: AW: Ausrichtung des Elementes (Projekt B)

▪ Einbau der Hebeschlaufen [Std/m²]

Der Einbau der Hebeschlaufen besteht aus der Positionierung und Verschraubung dieser Bauteile am Element.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|------------------|-----------------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Einbau der Hebeschlaufen | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| Haupttätigkeit + | | 405 | 6.75 | 68% | 321.57 | AW netto | 0,021 |
| Nebentätigkeit + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 130 | 2.16 | 22% | | | |
| störungsbedingte Unterbrechungen + | | 38 | 0.63 | 6% | | | |
| erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 7 | 0.12 | 1% | | | |
| persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 19 | 0.31 | 3% | | | |
| nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Σ [min] | | 193 | 3.21 | 32% | 321.57 | AW zusätzl. | 0.010 |
| Σ [min] | Einbau der Hebeschlaufen | 598 | 9.96 | | | AW brutto | 0,031 |

Tabelle 4.34: AW: Einbau der Hebeschlaufen (Projekt B)

▪ Befestigung der Winkel [Std/m²]

Die Befestigung der Winkel beinhaltet die Positionierung und Verschraubung der Stahlteile am Element.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|------------------|-----------------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Befestigung der Winkel | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| Haupttätigkeit + | | 390 | 6.50 | 82% | 321.57 | AW netto | 0.020 |
| Nebentätigkeit + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 49 | 0.81 | 10% | | | |
| Störungsbedingte Unterbrechungen + | | 13 | 0.21 | 3% | | | |
| Erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 7 | 0.12 | 1% | | | |
| Persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 19 | 0.31 | 4% | | | |
| Nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Σ [min] | | 87 | 1.44 | 18% | 321.57 | AW zusätzl. | 0.004 |
| Σ [min] | Befestigung der Winkel | 477 | 7.94 | | | AW brutto | 0.025 |

Tabelle 4.35: AW: Befestigung der Winkel (Projekt B)

- **Fixierung der oberen Beplankung [Std/m²]**

Die Fixierung der oberen Beplankung besteht aus der Positionierung und Befestigung von OSB-Platten am Riegelwerk.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--|---|-------|-------|------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
| Tätigkeit: Fixierung der oberen Beplankung | | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| AS2 | Haupttätigkeit + | 1400 | 23.33 | 54% | 321.57 | AW netto | 0,073 |
| | Nebentätigkeit + | 51 | 0.85 | 2% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 630 | 10.50 | 24% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 260 | 4.33 | 10% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 185 | 3.08 | 7% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 14 | 0.23 | 1% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 37 | 0.62 | 1% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 1177 | 19.61 | 46% | 321.57 | AW zusätzl. | 0.061 |
| | Σ [min] Fixierung der oberen Beplankung | 2577 | 42.95 | | | AW brutto | 0,134 |

Tabelle 4.36: AW: Fixierung der oberen Beplankung (Projekt B)

Arbeitsstation 3:

Alle weiteren Aufwandswerte können der dritten Arbeitsstation zugeordnet werden. Die Bezugsgröße setzt sich erneut aus der Gesamtfläche aller Elemente zusammen, die im Zuge der Beobachtung auf dieser Arbeitsstation gefertigt wurden.

- **Pressvorbereitung Sichtplatten [Std/m²]**

Die Pressvorbereitung für die Befestigung der Sichtplatten besteht aus der Positionierung und Reinigung der Platten am Presstisch.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|---|--|-------|-------|------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
| Tätigkeit: Pressvorbereitung Sichtplatten | | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| AS3 | Haupttätigkeit + | 385 | 6,42 | 58% | 193,72 | AW netto | 0,033 |
| | Nebentätigkeit + | 51 | 0,85 | 8% | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 30 | 0,50 | 5% | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 89 | 1,49 | 13% | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 82 | 1,36 | 12% | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 7 | 0,12 | 1% | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 19 | 0,31 | 3% | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 277 | 4,62 | 42% | 193,72 | AW zusätzl. | 0,024 |
| | Σ [min] Pressvorbereitung Sichtplatten | 662 | 11,04 | | | AW brutto | 0,057 |

Tabelle 4.37: AW: Pressvorbereitung Sichtplatten (Projekt B)

- **Pressvorbereitung Riegelwerk [Std/m²]**

Die Pressvorbereitung des Riegelwerkes besteht aus der Positionierung der Elemente am Presstisch.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|------------------------------|---------|----------------|----------------------|-----------------|--------------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Pressvorbereitung Riegelwerk | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| AS3 | Haupttätigkeit + | 410 | 6,83 | 82% | 193,72 | AW netto | 0,035 |
| | Nebentätigkeit + | 51 | 0,85 | 10% | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 8 | 0,13 | 2% | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 4 | 0,07 | 1% | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 7 | 0,12 | 1% | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 19 | 0,31 | 4% | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 89 | 1,48 | 18% | 193,72 | AW zusätzl. | 0,008 |
| | Σ [min] | Pressvorbereitung Riegelwerk | 499 | 8,31 | | | AW brutto | 0,043 |

Tabelle 4.38: AW: Pressvorbereitung Riegelwerk (Projekt B)

▪ Verklebung [Std/m²]

Die Verklebung beinhaltet die Mischung des Klebstoffes und Härter, sowie den Auftrag des Klebstoffes auf die dafür vorgesehenen Stellen auf der Sichtplatte. Des Weiteren musste im Zuge der Verklebung für jedes Element ein Pressprotokoll erstellt werden. Anfallende Arbeiten, wie bspw. die Messung der Holzfeuchtigkeit oder des Umgebungsklimas sind ebenfalls im ermittelten Aufwandswert enthalten.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|------------|---------|----------------|----------------------|-----------------|--------------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Verklebung | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| AS3 | Haupttätigkeit + | 1175 | 19,58 | 80% | 193,72 | AW netto | 0,101 |
| | Nebentätigkeit + | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 180 | 3,00 | 12% | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 16 | 0,27 | 1% | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 42 | 0,70 | 3% | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 14 | 0,23 | 1% | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 37 | 0,62 | 3% | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 289 | 4,81 | 20% | 193,72 | AW zusätzl. | 0,025 |
| | Σ [min] | Verklebung | 1464 | 24,40 | | | AW brutto | 0,126 |

Tabelle 4.39: AW: Verklebung (Projekt B)

▪ Presse schließen [Std/m²]

Die Schließung der Presse setzt sich aus der Aufbringung der Pressgestelle, der Verbindung dieser Gestelle mit dem Presstisch und der Aufbringung des Pressdruckes zusammen.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|------------------|---------|----------------|----------------------|-----------------|--------------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Presse schließen | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| AS3 | Haupttätigkeit + | 880 | 14,67 | 44% | 193,72 | AW netto | 0,076 |
| | Nebentätigkeit + | 129 | 2,15 | 6% | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 818 | 13,63 | 41% | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 16 | 0,27 | 1% | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 110 | 1,83 | 5% | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 14 | 0,23 | 1% | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 37 | 0,62 | 2% | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 1123 | 18,72 | 56% | 193,72 | AW zusätzl. | 0,097 |
| | Σ [min] | Presse schließen | 2003 | 33,39 | | | AW brutto | 0,172 |

Tabelle 4.40: AW: Presse schließen (Projekt B)

- **Presse öffnen [Std/m²]**

Die Öffnung der Presse beinhaltet die Entfernung der Pressgestelle, die Entleerung der Presse wie auch eine nachträgliche Kantenbearbeitung der Sichtplatten.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
| Tätigkeit: Presse öffnen | | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| AS3 | Haupttätigkeit + | 435 | 7,25 | 35% | 193,72 | AW netto | 0,037 |
| | Nebentätigkeit + | 24 | 0,40 | 2% | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 728 | 12,13 | 58% | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 16 | 0,27 | 1% | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 4 | 0,06 | 0% | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 14 | 0,23 | 1% | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 37 | 0,62 | 3% | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 822 | 13,70 | 65% | 193,72 | AW zusätzl. | 0,071 |
| | Σ [min] Presse öffnen | 1257 | 20,95 | | | AW brutto | 0,108 |

Tabelle 4.41: AW: Presse öffnen (Projekt B)

Transport und Verladung:

Die Zeiten für den Transport der Elemente innerhalb der Arbeitsstationen werden gemeinsam mit den Zeiten für die Verladung zu einem eigenen Aufwandswert zusammengefasst.

- **Transport und Verladung [Std/m²]**

Der Transport besteht aus der Manipulation der Bauteile innerhalb der einzelnen Arbeitsstationen. Die Verladung beinhaltet den Hebevorgang der Elemente von der letzten Arbeitsstation bzw. vom Fertiglager auf das Flat. Zudem sind in diesem Aufwandswert sämtliche Sicherungs- und Schutzmaßnahmen für die Ladung selbst enthalten.

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--|--|-------|-------|------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
| Tätigkeit: Elementtransport und Verladung | | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| Elementtransport&Verladung | Haupttätigkeit + | 1230 | 20,50 | 76% | 321,57 | AW netto | 0,064 |
| | Nebentätigkeit + | 32 | 0,53 | 2% | | | |
| | zusätzliche Nebentätigkeiten + | 304 | 5,06 | 19% | | | |
| | ablaufbedingte Unterbrechungen + | 12 | 0,20 | 1% | | | |
| | störungsbedingte Unterbrechungen + | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | erholungsbedingte Unterbrechungen + | 11 | 0,18 | 1% | | | |
| | persönlichbedingte Unterbrechungen + | 28 | 0,46 | 2% | | | |
| | nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0,00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 386 | 6,43 | 24% | 321,57 | AW zusätzl. | 0,020 |
| | Σ [min] Elementtransport und Verladung | 1616 | 26,93 | | | AW brutto | 0,084 |

Tabelle 4.42: AW: Transport und Verladung (Projekt B)

4.4.3.4 Zusammengefasste Darstellung der AW (Projekt B)

Im nachfolgenden Abschnitt werden die einzelnen Aufwandswerte den jeweiligen Arbeitsstationen zugewiesen und in weiterer Folge als Ge-

samtaufwandswert je AS dargestellt. Die Summierung dieser Aufwandswerte ergibt den Gesamtaufwandswert aller Tätigkeiten innerhalb der Vorfertigung bei Projekt B. Die Darstellung erfolgt wiederum getrennt in AW_{netto} und AW_{brutto} .

▪ **Arbeitsstation 1 [Std/m²]**

In der nachfolgenden Abbildung sind die Aufwandswerte sämtlicher AW_i -Positionen von Arbeitsstation 1 zusammengefasst dargestellt.

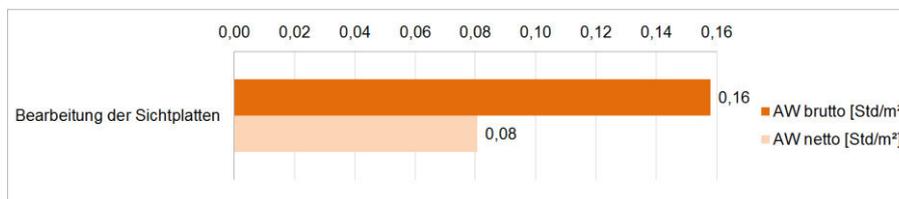


Abbildung 4.36: Aufwandswerte Arbeitsstation 1 (Projekt B)

Wie bereits bei Projekt A erfolgt auch hier die Darstellung der Aufwandswerte auf zwei Nachkommastellen. Aufgrund der Rundungsungenauigkeit kann es vorkommen, dass bei geringen Unterschieden sowohl der Brutto-, als auch Nettoaufwandswert mit dem gleichen Zahlenwert dargestellt wird. In diesen Fällen ist jedoch eine Orientierung an den grafischen Balken sinnvoll, um die zumeist minimale Abweichung erkennen zu können.

Da die Tätigkeiten an Arbeitsstation 1 aus lediglich einer Haupttätigkeit bestehen, reduziert sich die Darstellung auf diese eine Tätigkeit. In Abbildung 4.36 ist ersichtlich, dass ein großer Unterschied zwischen dem Netto- und Bruttoaufwandswert besteht. Dies lässt sich vor allem durch die vielen zusätzlichen Nebentätigkeiten begründen, die während der Arbeitszeit abgewickelt werden mussten. Diese Nebentätigkeiten bestanden größtenteils aus der Sortierung der Sichtplatten für den planmäßigen Zuschnitt. Diese Tätigkeit wird im Normalfall nur ein einziges Mal während der Fertigung durchgeführt, wodurch diese große Differenz zwischen den Aufwandswerten nicht als kritisch anzusehen ist. Zusammenfassend wird normalerweise eine Grafik mit der Zeitverteilung aller Tätigkeiten und Unterbrechungen auf der zweiten Ebene erstellt. Auf die grafische Darstellung kann jedoch verzichtet werden, da die Zeitverteilung dieser Tätigkeit bereits in Abbildung 4.35 wiedergegeben wurde.

▪ **Arbeitsstation 2 [Std/m²]**

Die Aufwandswerte für die Tätigkeiten an der zweiten Arbeitsstation können der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

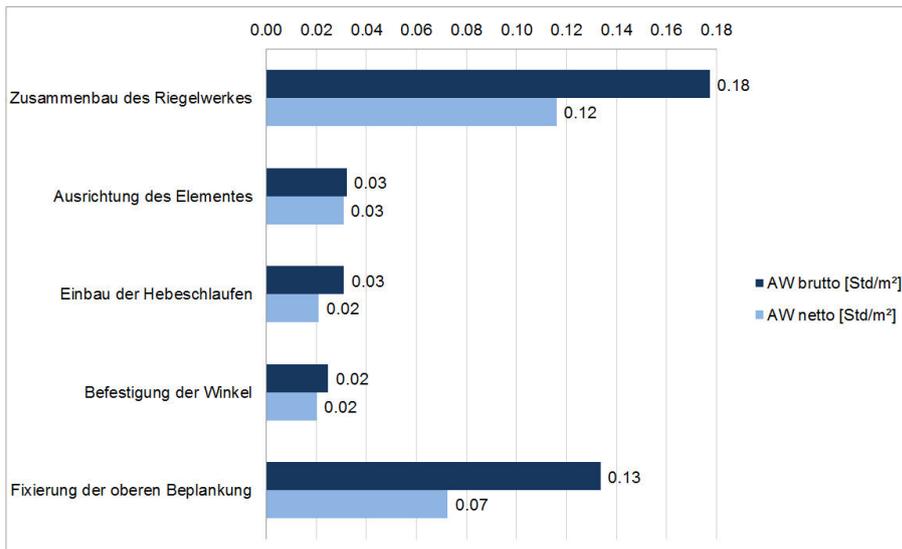


Abbildung 4.37: Aufwandswerte Arbeitsstation 2 (Projekt B)

In Abbildung 4.37 ist erkennbar, dass sich die Arbeiten an Station 2 aus insgesamt fünf Haupttätigkeiten zusammensetzen, wobei der Aufwandswert aus zwei maßgebenden Tätigkeiten gebildet wird. Der Anteil der verbleibenden Haupttätigkeiten spielt für den Gesamtaufwandswert dieser Station eine untergeordnete Rolle, wobei dieser Wert in der künftigen Kalkulation auf keinen Fall vernachlässigt werden sollte. Des Weiteren ist der Abbildung zu entnehmen, dass das Verhältnis von AW_{netto} zu AW_{brutto} bei gewissen Tätigkeiten als überdurchschnittlich hoch einzustufen ist. Dies kann wiederum auf zusätzliche Nebentätigkeiten zurückgeführt werden, die zum Großteil nur einmal während der gesamten Fertigung verrichtet wurden.

Eine detaillierte Darstellung der Zeitverteilung aller Tätigkeiten und Unterbrechungen bei Arbeitsstation 2 kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

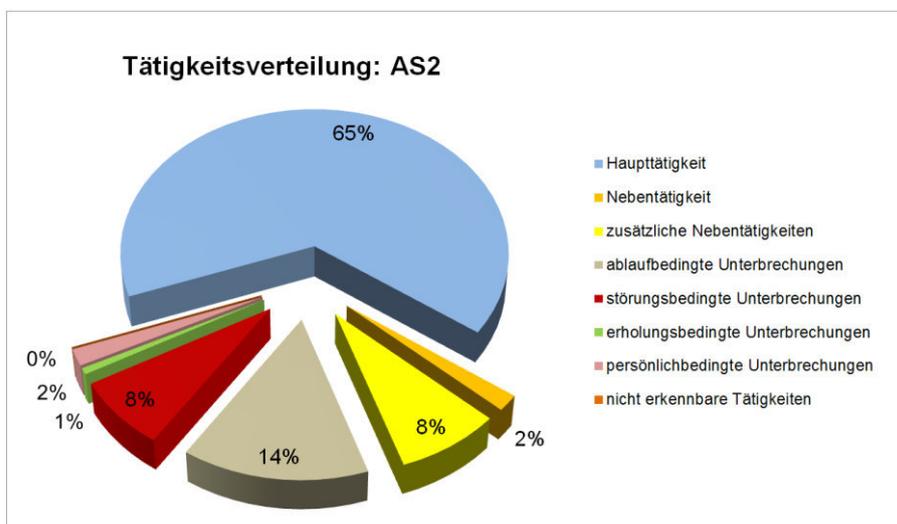


Abbildung 4.38: Tätigkeitsverteilung Arbeitsstation 2 (Projekt B)

Konkrete Beispiele zu den jeweiligen Tätigkeiten und Unterbrechungen können wiederum im Kapitel 2.11.3 nachgelesen werden, wobei die Haupttätigkeiten mit den AW_i -Positionen von Arbeitsstation 2 gleichzusetzen sind. Der Abbildung 4.38 kann entnommen werden, dass der Anteil der Haupttätigkeiten in Summe rund 65% beträgt, wobei der Anteil der zusätzlichen Tätigkeiten mit 8%, der Anteil der ablaufbedingten Unterbrechungen mit 14% und der Anteil von störungsbedingten Unterbrechungen mit 8% als kritisch zu betrachten sind.

▪ **Arbeitsstation 3 [Std/m²]**

Die Aufwandswerte aller AW_i -Positionen von Arbeitsstation 3 können der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

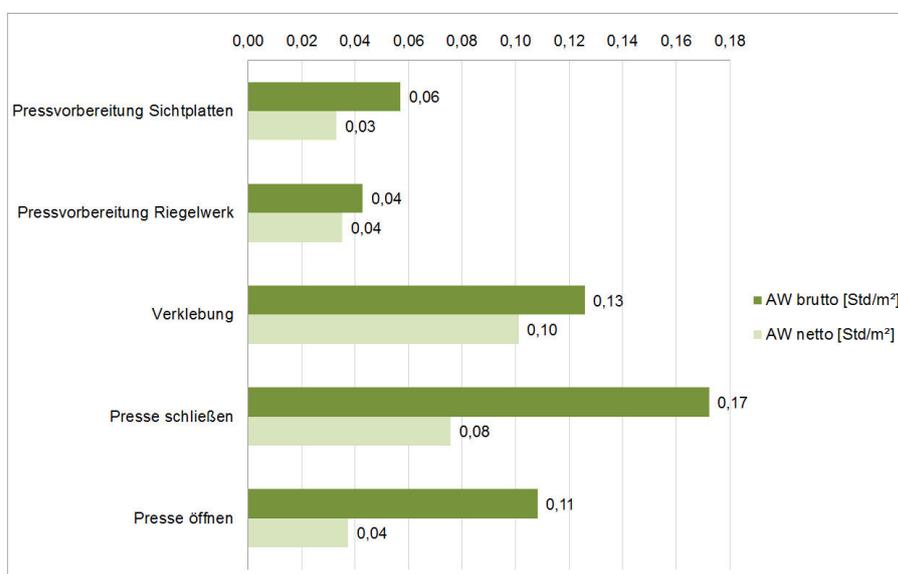


Abbildung 4.39: Aufwandswerte Arbeitsstation 3 (Projekt B)

In Abbildung 4.39 ist zu erkennen, dass sich der Aufwandswert für Tätigkeiten an der dritten Arbeitsstation aus insgesamt fünf Haupttätigkeiten zusammensetzt. Das Schließen der Presse stellt den größten Anteil dar, wobei eine große Differenz zwischen Brutto- und Nettoaufwandswert zu erkennen ist. Wie anhand der nachfolgenden Grafik zu sehen ist, resultiert diese Differenz überwiegend aus der Abwicklung zusätzlicher Tätigkeiten. Im konkreten Fall handelt es sich um die Vorbereitung bzw. den Zusammenbau der Pressgestelle für die Verklebung.

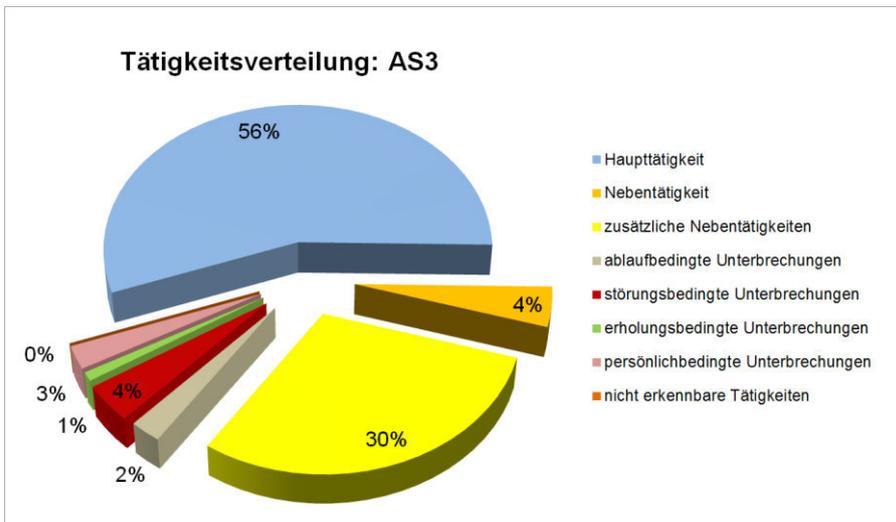


Abbildung 4.40: Tätigkeitsverteilung Arbeitsstation 3 (Projekt B)

Beispiele zu den jeweiligen Tätigkeiten und Unterbrechungen können wiederum dem Kapitel 2.11.3 entnommen werden, wobei die Haupttätigkeiten mit den AW_i-Positionen von Arbeitsstation 3 gleichzusetzen sind. Wie zu sehen ist, fällt der Anteil der Haupttätigkeiten mit 56% eher gering aus, was auf den hohen Anteil der zusätzlichen Nebentätigkeiten mit 30% zurückzuführen ist.

▪ **Transport und Verladung [Std/m²]**

Für den Transport der Elemente innerhalb der Arbeitsstationen und die Verladung der Bauteile auf das Transportmittel wird im Unterschied zum Projekt A in diesem Fall bei Projekt B ein Gesamtaufandswert gebildet. Dieser Wert ist in der nachfolgenden Abbildung grafisch dargestellt.

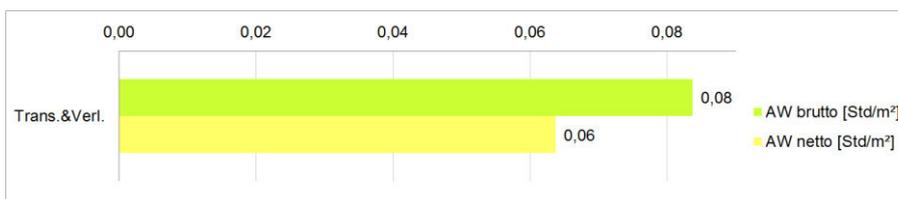


Abbildung 4.41: Aufandswerte Transport und Verladung (Projekt B)

Zusammenfassend ist eine Grafik mit der Zeitverteilung aller Tätigkeiten und Unterbrechungen auf der zweiten Ebene dargestellt.

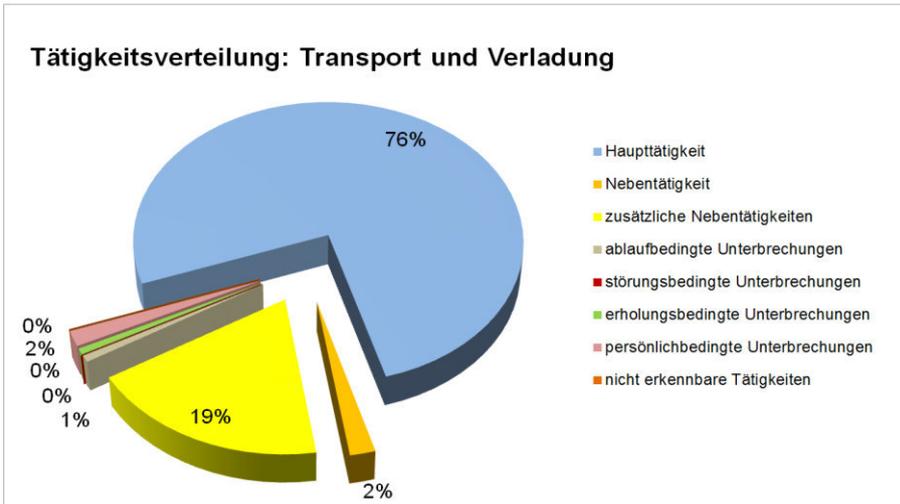


Abbildung 4.42: Tätigkeitsverteilung Transport und Verladung (Projekt B)

Wie erkennbar wird, kann auch hier der Anteil der zusätzlichen Tätigkeiten mit 19% als durchaus hoch eingestuft werden. Dies kann jedoch darauf zurückgeführt werden, dass im Zeitraum der Beobachtung der erste Transport dieses Projektes vorbereitet wurde und aus diesem Grund noch einige Zusatzarbeiten für den Schutz der Sichtoberfläche abgewickelt wurden. Beispiele zu allen anderen Tätigkeiten und Unterbrechungen können wiederum dem Kapitel 2.11.3 entnommen werden. Die Inhalte der Haupttätigkeiten müssen jedoch an die vorliegenden Begrifflichkeiten angepasst werden.

▪ **Gesamtaufwandswerte [Std/m²]**

Die nachfolgende Abbildung beinhaltet die Darstellung der Gesamtaufwandswerte aller soeben aufgelisteten Arbeitsstationen.

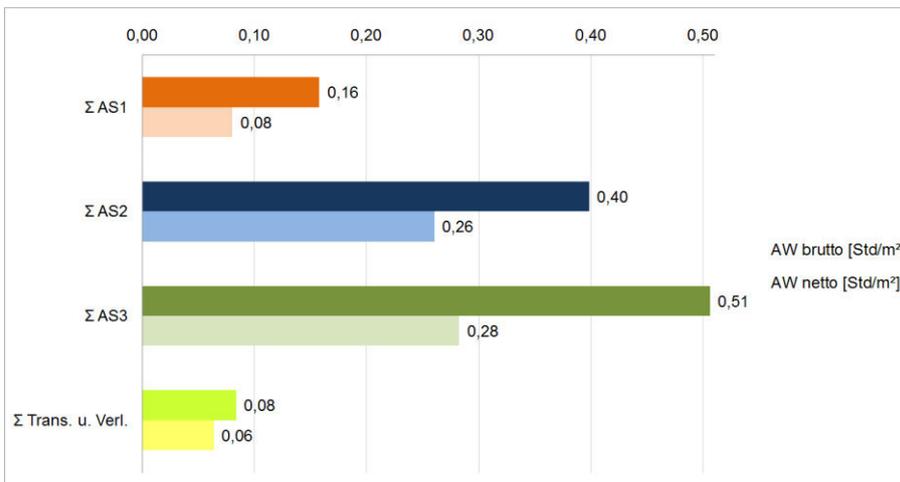


Abbildung 4.43: Stations-Aufwandswerte (Projekt B)

Wie in der vorliegenden Abbildung zu erkennen ist, bildet der Aufwandswert für die Tätigkeiten an AS3 den größten Anteil am Gesamtaufwandswert. Dies hängt jedoch unmittelbar mit der Vielzahl an zusätzlichen Tätigkeiten zusammen, die während der Beobachtung aufgezeichnet wurden. Der hohe Anteil zusätzlicher Tätigkeiten kann aber auch bei allen anderen Arbeitsstationen festgestellt werden. Eine genaue Analyse dieser Umstände mit etwaigen Verbesserungsvorschlägen ist dem Kapitel 5 zu entnehmen.

Der Gesamtaufwandswert der Vorfertigung bei Projekt B ist in Abbildung 4.44 zusammengefasst dargestellt.



Abbildung 4.44: Gesamtaufwandswert (Projekt B)

Abschließend wird eine Grafik mit der Zeitverteilung aller Tätigkeiten und Unterbrechungen auf der zweiten Ebene für die gesamte Vorfertigung von Projekt B abgebildet.

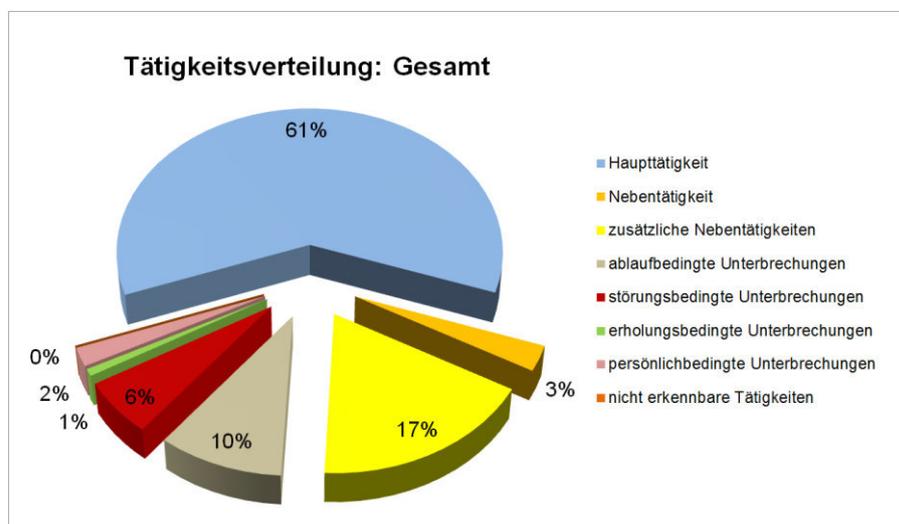


Abbildung 4.45: Tätigkeitsverteilung gesamt (Projekt B)

Wie zu sehen ist, liegt der Anteil der zusätzlichen Nebentätigkeiten über die gesamte Vorfertigung hinweg betrachtet bei rund 17%. Die Gründe dieses überaus hohen Anteils kann den Anmerkungen zur Zeitverteilung aller einzelnen Arbeitsstationen entnommen werden. Beispiele aller anderen Tätigkeiten und Unterbrechungen sind dem Kapitel 2.11.3 zu entnehmen. Die Inhalte der Haupttätigkeiten beziehen sich im vorliegenden Fall auf die AW_i-Positionen aller Arbeitsstationen.

4.5 Darstellung der ermittelten Aufwandswerte

Abschließend werden die Aufwandswerte beider untersuchten Projekte tabellarisch zusammengefasst. Die Darstellung enthält sowohl den Netto- (AW_{netto}), als auch Bruttoaufwandswert (AW_{brutto}) jeder einzelnen AW_i -Position. Zur besseren Übersicht werden die Positionen ihren jeweiligen Arbeitsstationen zugeteilt.

4.5.1 Projekt A

Das Projekt A setzt sich aus vier verschiedenen Arbeitsstationen zusammen. Die Ergebnisse aus dem Transport bzw. der Verladung werden gesondert aufgelistet. Zudem sind den Aufwandswerten von Arbeitsstation 4 zwei Bezugseinheiten zugrunde gelegt.

| AW_i-Position | AW_{netto} | AW_{brutto} | BE | AS |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--------------------|-----------|
| Zusammenbau des Riegelwerkes | 0,065 | 0,101 | Std/m ² | 1 |
| Einbau der Stellbretter | 0,006 | 0,013 | Std/m ² | 1 |
| Einbau der Querbalken | 0,037 | 0,049 | Std/m ² | 1 |
| Ausrichtung des Elementes | 0,021 | 0,027 | Std/m ² | 1 |
| Befestigung der Dampfbremse | 0,019 | 0,023 | Std/m ² | 1 |
| Fixierung der inneren Beplankung | 0,071 | 0,091 | Std/m ² | 1 |
| Verspachtelung der inneren Beplankung | 0,016 | 0,022 | Std/m ² | 1 |
| Befestigung der Winkel | 0,015 | 0,031 | Std/m ² | 2 |
| Vorbereitung der Dämmung | 0,064 | 0,077 | Std/m ² | 2 |
| Einbau der Dämmung | 0,052 | 0,063 | Std/m ² | 2 |
| Einbau der Füllhölzer | 0,022 | 0,038 | Std/m ² | 2 |
| Fixierung der äußeren Beplankung | 0,081 | 0,108 | Std/m ² | 3 |
| Abklebung der äußeren Beplankung | 0,017 | 0,022 | Std/m ² | 3 |
| Befestigung der Unterkonstruktion | 0,056 | 0,072 | Std/m ² | 3 |
| Einbau der Dichtung | 0,012 | 0,017 | Std/m ² | 3 |
| <i>Vorbereitung Fenstereinbau</i> | <i>0,099</i> | <i>0,132</i> | <i>Std/lfm</i> | <i>4</i> |
| <i>Einbau der Fenster</i> | <i>0,129</i> | <i>0,148</i> | <i>Std/lfm</i> | <i>4</i> |
| <i>Einbau der Glasleisten</i> | <i>0,047</i> | <i>0,075</i> | <i>Std/lfm</i> | <i>4</i> |
| <i>Einbau der Fensterfaschen</i> | <i>0,070</i> | <i>0,090</i> | <i>Std/lfm</i> | <i>4</i> |
| Vorbereitung Fenstereinbau | 0,106 | 0,142 | Std/m ² | 4 |

| | | | | |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------------------|---|
| Fenstereinbau | 0,139 | 0,158 | Std/m ² | 4 |
| Einbau der Glasleisten | 0,051 | 0,080 | Std/m ² | 4 |
| Einbau der Fensterfaschen | 0,075 | 0,096 | Std/m ² | 4 |
| Transport | 0,055 | 0,079 | Std/m ² | |
| Verladung | 0,076 | 0,093 | Std/m ² | |
| Σ AW ges. | 1,054 | 1,404 | Std/m² | |

Tabelle 4.43: Aufwandswerte (Projekt A)

4.5.2 Projekt B

Das Projekt B setzt sich hingegen aus drei Arbeitsstationen zusammen, wobei die Ergebnisse aus dem Transport und der Verladung wiederum gesondert aufgelistet werden.

| AW-Position | AW _{netto} | AW _{brutto} | BE | AS |
|---------------------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|----|
| Bearbeitung der Sichtplatten | 0,081 | 0,158 | Std/m ² | 1 |
| Zusammenbau des Riegelwerkes | 0,116 | 0,177 | Std/m ² | 2 |
| Ausrichtung des Elementes | 0,031 | 0,032 | Std/m ² | 2 |
| Einbau der Hebeschlaufen | 0,021 | 0,031 | Std/m ² | 2 |
| Befestigung der Winkel | 0,020 | 0,025 | Std/m ² | 2 |
| Fixierung der oberen Beplankung | 0,073 | 0,134 | Std/m ² | 2 |
| Pressvorbereitung Sichtplatten | 0,033 | 0,057 | Std/m ² | 3 |
| Pressvorbereitung Riegelwerk | 0,035 | 0,043 | Std/m ² | 3 |
| Verklebung | 0,101 | 0,126 | Std/m ² | 3 |
| Presse schließen | 0,076 | 0,172 | Std/m ² | 3 |
| Presse öffnen | 0,037 | 0,108 | Std/m ² | 3 |
| Transport und Verladung | 0,064 | 0,084 | Std/m ² | |
| Σ AW ges. | 0,688 | 1,147 | Std/m² | |

Tabelle 4.44: Aufwandswerte (Projekt B)

4.6 Problematik der Datenauswertung

Die Ermittlung von Aufwandswerten anhand konkreter Projekte basiert zumeist auf einer umfangreichen Datenerhebung während der Fertigung. Bereits im Vorfeld sollte daher besonderer Wert auf die Erstellung eines möglichst den ablaufenden Tätigkeiten entsprechenden und vor allem lückenlosen Datenerfassungsbogens gelegt werden. Notizen bzw. Anmerkungen, die während der Beobachtung ohne System angefügt werden, können im Zuge der Auswertung mühevoll bis gar nicht korrekt zugeordnet werden.

Neben einem gut strukturierten Datenerhebungsbogen muss auch eine Mindestanzahl an Daten während der Fertigung gesammelt werden, um ein aussagekräftiges und wissenschaftlich korrektes Ergebnis in Form von Aufwandswerten zu erhalten. Eine Unterschreitung hätte einen Abfall der angestrebten Eintrittswahrscheinlichkeit zur Folge.

Sowohl bei Projekt A, aber vor allem bei Projekt B konnten viele zusätzliche Nebentätigkeiten beobachtet werden, die zunächst nicht direkt mit der Vorfertigung der Elemente in Verbindung gebracht werden konnten. Die Zeiten dieser Tätigkeiten mussten jedoch im Zuge der Aufwandswertermittlung den einzelnen Haupttätigkeiten zugeordnet werden. Für eine korrekte Zuordnung musste ein entsprechender Aufteilungsschlüssel erstellt werden, der eine möglichst realitätsgetreue Verteilung der Zeiten widerspiegelt.

Da im Zuge der Beobachtung beider Projekte auf den Einsatz einer Videokamera verzichtet wurde, stand kein Kontrollsystem zur Rückverfolgung der Daten zur Verfügung. Aufgrund der guten Einsicht in sämtliche Arbeitsbereiche konnte jedoch eine umfassende Datensammlung für die weitere Auswertung erstellt werden.

5. Gegenüberstellung und Systemableitung

Zu Beginn dieses Kapitels werden die Grundlagen des Vergleiches näher erläutert. Anschließend erfolgt eine umfangreiche Analyse der Vorfertigungsprozesse beider untersuchten Projekte. Im Zuge der Gesamtbetrachtung werden unterschiedliche Lösungs- und Optimierungsvorschläge erarbeitet und analysiert, wobei eine Variante fokussiert betrachtet wird. Abschließend werden die Ergebnisse als Entscheidungsgrundlage für die geplante Neugestaltung der Betriebshallen aufbereitet.

5.1 Grundlagen des Vergleiches

Der Vergleich setzt sich aus der Analyse zweier grundlegend unterschiedlicher Fertigungssysteme zusammen. Es wird die Vorfertigung von Holzrahmenelementen mit der Vorfertigung von verklebten Hohlkastenelementen gegenübergestellt.

Holzrahmenelemente werden in erster Linie als Bauteile zur Erstellung von Wänden bzw. Fassaden eingesetzt, wohingegen Hohlkastensysteme vorwiegend in Form von Deckenelementen Anwendung finden. Die Tragkonstruktion der Fassadenelemente, bestehend aus Holzquerschnitten, wurde durch stiftförmige Verbindungsmittel kraftschlüssig miteinander verbunden, wohingegen das Tragwerk der Deckenelemente aus der Verklebung einzelner Holzwerkstoffschichten gebildet wurde. Bereits im Zuge der Arbeitsvorbereitung entstanden auf diese Weise grundlegende Unterschiede in der Planung des Produktionsablaufes. Daraus resultierend wurden bereits im Vorfeld Überlegungen zur idealen Arbeitsabfolge bzw. der Anordnung einzelner Einrichtungsbestandteile angestellt.

Die Anwendung der REFA-Methodik ermöglicht u.a. eine vergleichende Beurteilung ähnlicher Tätigkeiten. Dabei werden die ermittelten Aufwandswerte beider Fertigungssysteme gegenübergestellt. Um jedoch eine nachvollziehbare Aussage treffen zu können, muss der Vergleich von Aufwandswerten zumindest dem vorliegenden Fertigungssystem entsprechen. Dazu werden Aufzeichnungen in Form von Flussdiagrammen unterstützend eingesetzt. Für den Vergleich von Tätigkeiten beider Fertigungssysteme, deren Ablauf bedingt durch die eingesetzten Fertigungssysteme grundlegend unterschiedlich ist, sollte auch immer die Art und Weise der Zusammensetzung von Aufwandswerten in Betracht gezogen werden. Es kann bspw. vorkommen, dass bei Projekt A die Position der Rohstoffe oder Werkzeuge unmittelbar neben dem Arbeitsbereich angeordnet ist, wohingegen bei Projekt B lange Beschaffungswege vorliegen. Die Konsequenz sind zwei unterschiedliche Aufwandswerte für die annähernd gleiche Tätigkeit. Anhand der Flussdiagramme können soeben genannte Faktoren jedoch berücksichtigt werden und ein aussagekräftiger Vergleich angestellt werden.

5.2 Gegenüberstellung der Unternehmensbereiche

Im Zuge der Gegenüberstellung beider untersuchter Unternehmensbereiche werden in erster Linie die wesentlichsten Unterschiede der Fertigungssysteme aufgezeigt. Eine allgemeine Beschreibung der Abläufe und Randbedingungen der eingesetzten Systeme kann dem Kapitel 3.5 für das Projekt A, respektive dem Kapitel 3.6 für das Projekt B entnommen werden.

Da einerseits Wand- und andererseits Deckenelemente gefertigt wurden, unterscheidet sich bereits der Aufbau der Schichten grundlegend. Die Tragstruktur ist jedoch in beiden Fällen nahezu identisch. Diese setzt sich aus beidseitig beplankten, tragenden Rippenbauteilen zusammen. Unterschiede traten in der Art der Befestigung einzelner Schichten auf. Bei Projekt A kamen ausschließlich stiftförmige Verbindungsmittel zum Einsatz, wohingegen bei Projekt B ein Klebstoffsystem zur kraftschlüssigen Verbindung verwendet wurde. Die Verklebung der unteren Beplankungsebene wurde eher aus Gründen der Vermeidung sichtbarer, verschraubter Elementflächen und nicht aus statisch konstruktiven Gesichtspunkten durchgeführt. Da sich auch die Elementgrößen deutlich unterschieden, wurden einerseits kleinformatische und andererseits großformatige Holzwerkstoffplatten als Beplankung eingesetzt. Die großformatigen Platten wurden hauptsächlich bei Projekt B eingesetzt, da die Geometrie der Elemente eine vollflächige Beplankungsebene zuließ.

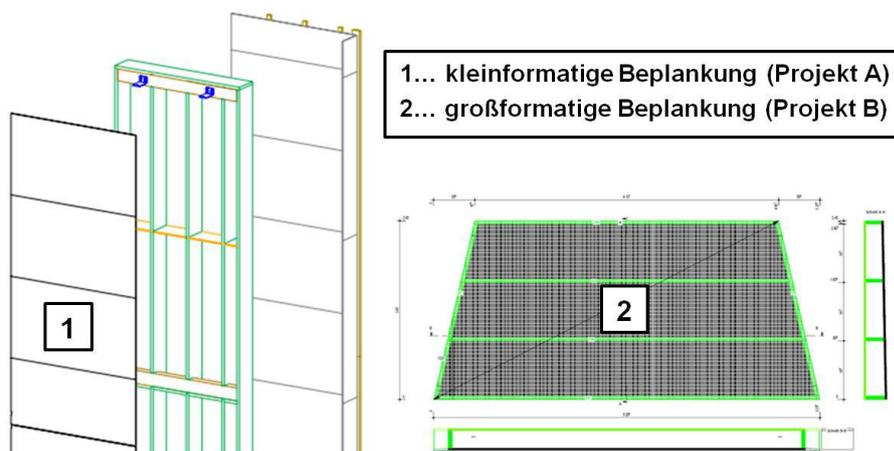


Abbildung 5.1: Beplankungselemente Projekt A (links) Projekt B (rechts)⁴⁴⁶

Neben der Tragstruktur wurden die Elemente bei Projekt A zusätzlich mit Dämmung sowie mit Fenster und sog. Faschenelementen ausgestattet. All diese Unterschiede beeinflussten die Einrichtung der Betriebshallen und die Abfolge der Arbeitsschritte. Für die Fertigung von Holzrahmenelementen werden vorzugsweise Arbeitstische mit integrierter Wende-

⁴⁴⁶ Zimmerei Sieveke GmbH.

möglichkeit eingesetzt, wohingegen für die Fertigung von verklebten Hohlkastenelementen einfache Montagetechniken ausreichen. Der Zusammenbau von vorgefertigten Holzrahmenelementen unterliegt einer strikten Taktung aller vorliegenden Arbeitsbereiche. Erst nachdem die Arbeiten an einer Station komplett abgeschlossen sind, kann das Element zur nächsten Station weitertransportiert werden, um so den Produktionsfluss aufrechterhalten zu können. Kommt es an einer Station zu Verzögerungen, wirken sich diese unmittelbar auf alle nachfolgenden Arbeitsstationen aus, wodurch Stehzeiten resultieren können. Die Fertigung von Hohlkastenelementen setzte sich aus zwei getrennten Arbeitsbereichen zusammen, die zwar in Verbindung zueinander standen, aber nicht direkt voneinander abhängig waren. Kam es bspw. beim Zuschnitt der Sichtplatten zu Komplikationen, hatte dies keinen direkten Einfluss auf den Zusammenbau der Riegelwerke. Erst bei der Verklebung der Bauteile mussten die Einzelkomponenten beider Arbeitsstationen vorhanden sein, da ansonsten die Produktion nicht wie geplant fortgesetzt werden konnte. Hinsichtlich des Komplettierungsgrades ist zu erwähnen, dass für die Fertigung der Wandelemente ein zusätzlicher Arbeitsbereich zum Einbau der Fenster und der Faschenbauteile vorgesehen werden musste, der für die Herstellung der Deckenelemente nicht notwendig war. Für die Fertigung der Hohlkastenelemente wurde hingegen ein zusätzlicher Arbeitsbereich mit Pressstischen vorgesehen, welcher allerdings für den Zusammenbau der Holzrahmenelemente nicht zwingend erforderlich war.

5.3 Analyse der Vorfertigung bei Projekt A

Die Analyse der Vorfertigung bei Projekt A beinhaltet eine umfangreiche Betrachtung der Prozessabläufe sowie eine Auflistung unterschiedlicher Optimierungs- und Verbesserungsvorschläge, die aus den einzelnen Beobachtungen abgeleitet werden konnten. Der Grundriss der untersuchten Betriebshalle 2 kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

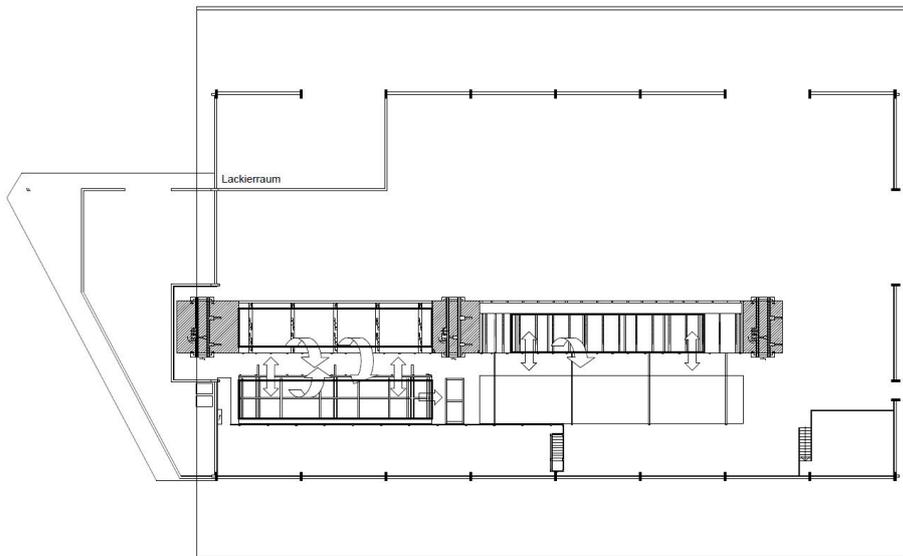


Abbildung 5.2: Grundriss Betriebshalle 2 (Projekt A)⁴⁴⁷

5.3.1 Analyisierte Prozessabläufe

Wegdiagramme werden im Allgemeinen zur Darstellung von Prozessabläufen unterschiedlicher Ressourcen eingesetzt. Im konkreten Fall wird der Personal- und Materialfluss detailliert betrachtet, wobei auch die Anlieferung der Materialien ergänzend aufbereitet wird. Die Ergebnisse der Analyse können in weiterer Folge als Grundlage für die Optimierung bzw. Umgestaltung der Arbeitsabläufe herangezogen werden. Maßstabsgetreue Abbildungen der einzelnen Flussdiagramme sind dem Anhang zu entnehmen.

5.3.1.1 Analyse der Materialanlieferung

In der nachfolgenden Abbildung werden die einzelnen Wege der Materialanlieferung innerhalb der Fertigungshallen schematisch dargestellt.

⁴⁴⁷ Zimmerei Sieveke GmbH.

Dabei werden sämtliche Komponenten betrachtet, die für die Vorfertigung der Elemente benötigt wurden.

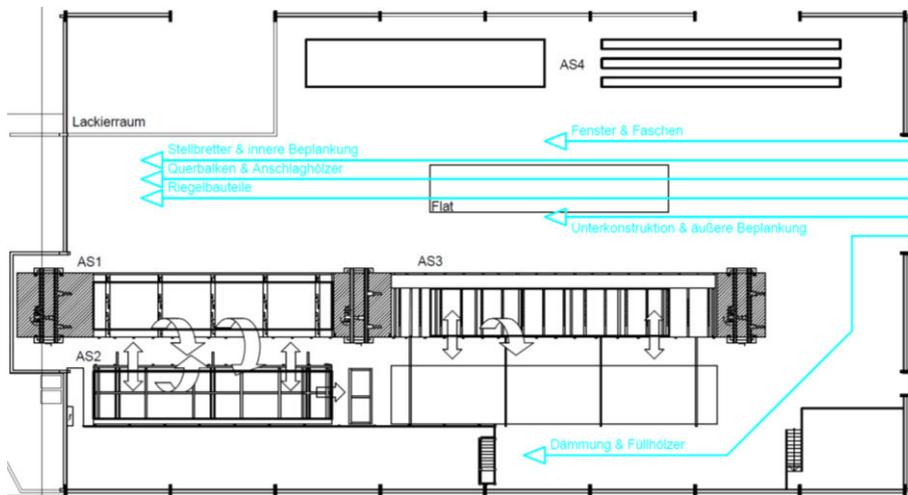


Abbildung 5.3: Materialanlieferung (Projekt A)

Wie zu sehen ist, wurde die gesamte Anlieferung der Materialien durch ein Hallentor abgewickelt. In Summe würden bei dieser Fertigungshalle allerdings drei Tore zur Verfügung stehen. Aufgrund der vorliegenden Anordnung von Arbeitsstation 4 und des nachträglich integrierten Lackiererraumes waren jedoch zwei dieser Anlieferungsmöglichkeiten blockiert. Nachdem die Materialien ausschließlich durch diese eine Hallenöffnung transportiert werden konnten, kam es aufgrund der diesbezüglich ungünstigen Anordnung des Flats immer wieder zu Komplikationen in der Anlieferung. Aus diesem Grund musste der Hallenkran unterstützend eingesetzt werden. Die Bauteile wurden daher mit dem Stapler so weit wie möglich in die Halle gefahren und anschließend vom Kran übernommen. Anhand dieser zusätzlichen Tätigkeiten kam es zu ungewollt langen Zeitverzögerungen, die mit einem Einbruch in der Arbeitsproduktivität einhergingen. Ein weiterer Engpass wurde in der Anlieferung der Dämmung beobachtet. Die Pakete mussten bei engen Platzverhältnissen mit dem Stapler am Lagerbereich der Fenster und AS3 vorbeigeführt werden. Auch die fortlaufende Strecke bis zum vorgesehenen Lagerbereich war in der Breite begrenzt, wodurch besondere Vorsicht geboten war und i.d.R. viel Zeit verstrichen wurde. Dieser Umstand führte wiederum zu Einbußen in der Produktivität. Darüber hinaus entstanden aufgrund der gleichzeitigen Anlieferung verschiedener Materialien enorme Zeitverluste, da sich die Lieferwege im Bereich der Hallenöffnung kreuzten. Aus diesen Erkenntnissen lässt sich ableiten, dass die Materialanlieferung durch ein Hallentor mit zu vielen Schwierigkeiten bzw. Komplikationen verbunden ist und nicht zielführend erscheint.

5.3.1.2 Materialfluss-Analyse

In der Analyse des Materialflusses wurde die Abfolge des Elementetransportes innerhalb der Arbeitsstationen detailliert betrachtet. Eine schematische Darstellung kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

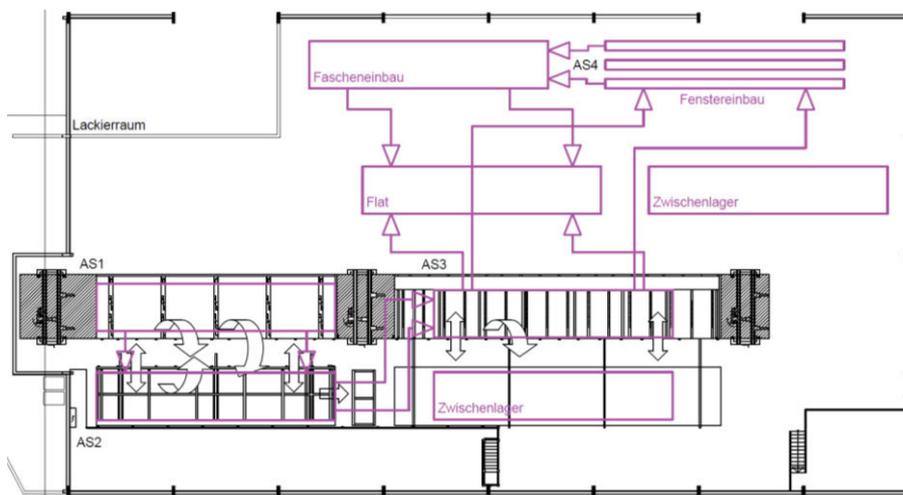


Abbildung 5.4: Materialfluss (Projekt A)

Die Weitergabe der Elemente war eindeutig geregelt und wurde in chronologischer Reihenfolge durchgeführt. Nach Fertigstellung der Arbeiten an Station 1 erfolgte die Übergabe der Elemente zu Arbeitsstation 2. Da dieser Vorgang mittels sog. Schmetterlingswender durchgeführt wurde, konnten kurze Transportwege erzielt werden. Der Transport zur Arbeitsstation 3 musste jedoch mittels Hallenkran abgewickelt werden. Die bestehende Anlage wäre jedoch technisch im Stande, die Arbeitstische maschinell zu verfahren, sodass ein Weitertransport der Elemente ohne Kranunterstützung möglich wäre. Da die Lagerung der Dämmmaterialien aufgrund der verkürzten Arbeitswege Vorrang erhielt, konnte die Manipulation nur auf diese Weise durchgeführt werden. Der Transport zu Arbeitsstation 4 musste wiederum mittels Hallenkran abgewickelt werden. Der zugrundeliegenden Abbildung kann dabei nicht nur eine große Distanz entnommen werden, auch die Positionierung der Flats erscheint als durchaus problematisch. Besonders das Ausweichmanöver und die damit einhergehenden engen Transportwege nahmen viel Zeit in Anspruch. Da die Arbeitsstation 4 aus zwei separaten Bereichen bestand, musste für den Weitertransport zum Bereich des Fascheneinbaus erneut der Kran als Hebemittel eingesetzt werden. Nachdem diese Tätigkeit unmittelbar im Anschluss an den Fenstereinbau vorgesehen war, konnten die Transportwege gering gehalten werden. Nach der Fertigstellung erfolgte die Verladung auf das Flat. Aufgrund der Positionierung konnten die Transportwege kurz gehalten werden. Dies galt auch für Elemente, die bereits nach Arbeitsstation 3 verladen wurden, da keine Fenster eingebaut werden mussten. Nachdem immer wieder Verzögerungen entstanden, wurden Zwischenlagerungsbereiche eingeplant. Trotz der geringen

Distanzen sind diese Lageflächen als kritisch zu betrachten. Einerseits wurde die Anlieferung oder der Abtransport von Materialien gestört, andererseits wurde die Versorgungsstraße des Dämmstoffes blockiert. Nachdem es sich jedoch um temporäre Abstellplätze handelte, kam es in den meisten Fällen zu keinen wesentlichen Unterbrechungen. In Summe konnten einige Schwachstellen im Fertigungsablauf festgestellt werden, die sich aufgrund der vorhandenen Maschineneinrichtung und des daraus ergebenden Arbeitsablaufes nicht verhindern lassen konnten.

5.3.1.3 Personalfluss-Analyse

In der nachfolgenden Abbildung sind die Wegstrecken des Personalfusses, auch als sog. Laufwege bezeichnet, schematisch dargestellt.

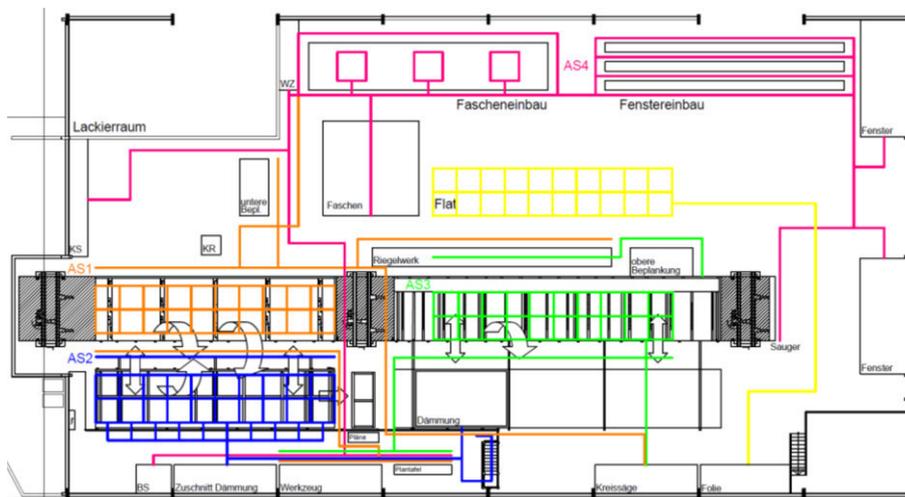


Abbildung 5.5: Personalfluss (Projekt A)

Wie zu erkennen ist, wurde jede Arbeitsstation mit einer unterschiedlichen Farbe versehen, wobei im ersten Moment keine klare Struktur in den Wegen erkennbar erscheint. Auch die Vielzahl langer Strecken lässt Einbußen in der Arbeitsproduktivität vermuten.

Im weiteren Verlauf dieses Abschnittes werden die einzelnen Arbeitsstationen getrennt betrachtet und die zugehörigen Arbeitswege näher erläutert. Wege, die sich bspw. durch Pausenzeiten oder anderen Tätigkeiten ergaben und außerhalb der Betriebshalle endeten, werden an dieser Stelle nicht näher betrachtet.

▪ Arbeitsstation 1

Zu Beginn sei erwähnt, dass die Wegstrecken der Arbeitskräfte von Station 1 in Orange gekennzeichnet sind. In Abbildung 5.5 ist ersichtlich, dass sich die Arbeitskräfte vorwiegend im Umfeld der Arbeitsstation 1 aufhielten. Durch eine nahe Lagerung der Materialien konnte eine geringe Streuung der Wegstrecken festgehalten werden. Engpässe waren

jedoch bei zwei spezifischen Tätigkeiten deutlich feststellbar. Einerseits waren die Planunterlagen und Werkzeuge so angeordnet, sodass die Arbeitswege von zwei weiteren Arbeitsstationen durchkreuzt wurden. Andererseits führte die Positionierung der Kreissäge zu einem verlängerten Arbeitsweg. Ergänzend sei angemerkt, dass die Kreissäge nur in Ausnahmefällen zur Nachbearbeitung bestimmter Materialien benötigt wurde, da die Anlieferung der zu verarbeitenden Holzwerkstoffe i.d.R. passgenau erfolgte. Die Strecke zur Station des Fascheneinbaus setzte sich vorwiegend aus der Unterstützung der Arbeitskräfte dieser Station zusammen, die zu Beginn des Zusammenbaues nötig waren. Im Großen und Ganzen war eine klare Struktur in der Positionierung der einzelnen Materialien erkennbar, wodurch ein gezieltes Arbeiten an der vorgesehenen Arbeitsstation ermöglicht wurde. Die ungünstige Anordnung gewisser Ressourcen führte jedoch zu langen Wegstrecken und vor allem zu Störungen anderer Arbeitsbereiche.

▪ **Arbeitsstation 2**

Die Wegstrecken bei Arbeitsstation 2 sind in Abbildung 5.5 in Blau dargestellt. Wiederum waren die Handlungsbereiche der Arbeitskräfte größtenteils im unmittelbaren Bereich dieser Arbeitsstation angeordnet. Die Änderung der Wegstrecken wurde erneut durch eine dichte Lagerung der Materialien verhindert. Längere Wege ergaben sich dann, wenn zusätzlich Dämmstoffe aus der Galerie bezogen wurden, die jedoch direkt über der Arbeitsstation angeordnet ist. Der eigentliche Lagerbereich der Dämmung befand sich unmittelbar neben dem Arbeitsbereich. Die Anordnung der Planunterlagen hatte zwar für diese Station möglichst kurze Wegstrecken verursacht, durch die Teilung mit allen anderen Arbeitskräften wurde jedoch ein gewisser Engpass verursacht. Infolge der kompakten Positionierung aller Bestandteile war eine gut strukturierte Anordnung von Laufwegen erkennbar. Es kam zu keinen Störungen anderer Arbeitsbereiche. Durch die zentrale Lagerung der Planunterlagen wurde eine minimale Störung von Arbeitskräften anderer Stationen hervorgerufen.

▪ **Arbeitsstation 3**

Wegstrecken, die von Arbeitskräften der dritten Arbeitsstation zurückgelegt wurden, sind in Abbildung 5.5 in Grün gekennzeichnet. Es ist zu sehen, dass sich der geplante Arbeitsraum auch tatsächlich im unmittelbaren Umkreis dieser Station befand. Anhand der dichten Materiallagerung konnte die Streuung der Wege gering gehalten werden. Auch die Kreissäge war in diesem Fall sehr gut positioniert, wodurch eventuelle Nachbearbeitungen ohne große Umwege und vor allem störungsfrei abgewickelt werden konnten. Störungen anderer Arbeitsbereiche traten lediglich entlang einer Längsseite auf, da die Lagerung der einzelnen

Riegelbauteile für die Arbeitsstation 1 aus Platzmangel nicht anders möglich war. Die längste Wegstrecke musste zu den zentral angeordneten Planunterlagen zurückgelegt werden. Zudem konnten Wartezeiten nicht ausgeschlossen werden, da die Planunterlagen wiederum mit allen anderen Arbeitskräften geteilt wurden. Die kompakte Anordnung aller Bestandteile dieser Arbeitsstation lässt wiederum auf eine störungsfreie Arbeitsabfolge schließen. Lediglich der Bereich der zentralen Planunterlagen und die Anordnung der Riegelbauteile konnten im Ablauf als kritisch betrachtet werden.

▪ **Arbeitsstation 4**

Die Laufwege der Arbeitskräfte bei Station 4 sind in Magenta dargestellt. Wie der vorliegenden Abbildung 5.5 entnommen werden kann, teilte sich diese Arbeitsstation in zwei separate Bereiche. Nachdem die Fenster an den stehenden Elementen eingebaut wurden, führten die Wege der Arbeitskräfte hauptsächlich um die zu bearbeitenden Bauteile herum. Für den nachfolgenden Einbau der Faschen wurden die Elemente wiederum waagrecht positioniert. Anhand der Grafik wird erkennbar, dass sich die Wegstrecken vor allem entlang der Fensterumfänge verteilten. Während der Lagerbereich der Faschenbauteile nahe dem Einbauort vorgesehen war, wurden die Lagerflächen der Fenster nur teilweise günstig angeordnet. Auch die vorgesehene Positionierung der Hebelmittel war für lange Laufwege verantwortlich. Da sich die Lagerflächen der Fenster direkt neben dem viel frequentierten Hallentor befanden, konnte an dieser Stelle eine besondere Engstelle beobachtet werden. Für die Vorbereitungsmaßnahmen zum Fenstereinbau mussten laufend Hölzer als Anschlag für die Verschraubung zugeschnitten werden. Die Anordnung der Kreissäge ließ sehr lange Wegstrecken erkennen, die speziell für diese Tätigkeit zurückgelegt werden mussten. Vor allem die Integration des Lackierendes kann für einen beengten Arbeitsraum verantwortlich gemacht werden. Speziell für die Arbeitskräfte von Station 4 resultierten aus der stationären Anordnung der Planunterlagen lange Laufwege. Zudem mussten erneut Arbeitsbereiche anderer Stationen durchquert werden. Besonders durch den Zuschnitt von Dämmstreifen, die für den Einbau der Faschen benötigt wurden, war der Arbeitsbereich von Station 2 erheblich gestört. Im Endeffekt wird erkennbar, dass sich die Arbeiten der vierten Station über eine sehr große Fläche erstreckten. Dies führte zwangsweise zu verlängerten Arbeitswegen. Durch die teilweise unvorteilhafte Anordnung unterschiedlicher Maschinen und Materialien, wurden an dieser Station viele Störungen bzw. Engpässe festgestellt.

▪ **Verladung**

In Abbildung 5.5 ist ebenso ersichtlich, dass sich die in Gelb dargestellten Laufwege beinahe ausschließlich im Bereich des Flats befanden.

Lediglich für den Holvorgang der Folie musste ein längerer Weg zurückgelegt werden. Im Allgemeinen wurden die Tätigkeiten der Verladung von Arbeitskräften der Station 3 oder 4 durchgeführt, da die Bauteile an diesen Stationen fertiggestellt wurden. Bei der Verladung an sich waren wenige bis keine Auffälligkeiten erkennbar.

5.3.2 Technische Grundlagen und Ergebnisse

Die technischen Grundlagen wurden bereits durch die Analyse der Prozessabläufe und der Datenauswertung nach REFA dargestellt. Im nachfolgenden Abschnitt wird gezielt auf die Ergebnisse der Analyse eingegangen, wobei vor allem Engpässe bzw. Schwierigkeiten zusammengefasst und aufgelistet werden. Auf diese Weise kann eine Grundlage für künftige Optimierungs- und Verbesserungsvorschläge gebildet werden.

Wie der Analyse der Materialanlieferung zu entnehmen ist, stand für die Vorfertigung der Holzrahmenelemente lediglich ein Hallentor zur Verfügung. Aufgrund der ungünstigen, aber nicht anders möglichen Anordnung der Arbeitsstationen wurden zwei weitere Hallenöffnungen blockiert. Ein zusätzlicher Schwachpunkt, der sich aus der vorhandenen Positionierung der Maschinen ableiten lässt, wird durch die verlängerten Wegstrecken unterschiedlicher Arbeitskräfte dargestellt. Vor allem die Laufwege bei Arbeitsstation 4 sind verstreut angeordnet. Dies lässt sich vor allem auf den integrierten Lackierraum in unmittelbarer Nähe zurückführen, der viel Platz in Anspruch nimmt und eine vernünftige Platzierung bestimmter Maschinen oder Lagerbereiche verhindert. Auch die zentrale Anordnung der Planunterlagen ist als kritisch zu betrachten. In der Fertigung mussten nicht nur große Entfernungen überwunden werden, vor allem die Durchquerung anderer Arbeitsbereiche führte zu erheblichen Störeinflüssen. Zur Verringerung von Laufwegen ist es sinnvoll, die Anordnung der Lagerbereiche stets nahe den vorgesehenen Arbeitsstationen vorzunehmen. Aufgrund der Positionierung des Dämmstofflagers wurde die eigentliche Funktionsweise der Arbeitstische erheblich gestört. Es konnten die Tische nicht verfahren werden, wodurch der Transport der Elemente zur Station 3 mittels Hallenkran abgewickelt werden musste. Ein weiterer Engpass ergab sich im Zuge des Übergabevorganges zur AS4. Die Positionierung der Flats führte zu einem eher kompliziert wirkenden und zeitintensiven Arbeitsvorgang. Neben der Manipulation der Elemente gab es eine Vielzahl an Tätigkeiten, die wiederum den Hallenkran als Unterstützungsmaßnahme benötigten. Nachdem an allen Arbeitsstationen gleichzeitig gearbeitet wurde, konnten erhebliche Wartezeiten entstehen, die mit einem deutlichen Verlust der Arbeitsproduktivität einhergingen. Des Weiteren bestand wenig Platz für die Zwischenlagerung der Elemente. Jene Flächen, die nicht als Arbeitsbereiche oder Lagerflächen vorgesehen waren, mussten bei Bedarf dafür verwendet werden. Dabei wurden jedoch Wege blockiert, die unmittelbar für die An-

und -ablieferung von Materialien und auch Fertigelementen erforderlich waren. Neben jenen Problemstellen, die sich aus der Anordnung der Maschinen ableiten lassen, konnten weitere Einflüsse beobachtet werden, die ebenso zu einem Verlust der Produktivität beitragen. Dazu zählten bspw. Tätigkeiten, wie die Annahme von Waren, die Organisation fehlender Bauteile oder die Unterstützung separater Arbeiten, die mit der Vorfertigung nicht direkt in Verbindung standen. Vor allem Fehler bzw. Missverständnisse in den Planunterlagen, die sich teilweise nur schwer vermeiden lassen, können enorme Zeiteinbußen verursachen.

5.3.3 Ressourceneinsatz

Die Vorfertigung der Holzrahmenelemente bei Projekt A setzte sich aus dem Zusammenwirken verschiedener Ressourcen zusammen, wobei vor allem auf einen sinnvollen Einsatz mit entsprechend hoher Auslastung geachtet wurde. Im nachfolgenden Abschnitt werden sämtliche Ressourcen im Detail betrachtet und näher beschrieben.

▪ Ressource Mensch

Die Ressource Mensch kann auf einfache und flexible Weise gesteuert werden. Weicht die vorhandene Leistung von der gewünschten Leistung ab, kann sehr kurzfristig mit einer Erhöhung oder auch Reduktion der Anzahl an Arbeitskräften reagiert werden. Die Vorfertigung der Holzrahmenelemente wurde mit jeweils zwei Arbeitskräften an den insgesamt vier Arbeitsstationen abgewickelt. Da diese Arbeitsstationen direkt voneinander abhingen, sollte besonders auf die Gleichverteilung der Arbeitszeiten geachtet werden. Dadurch kann die Produktivität gesteigert und die Wartezeiten auf ein Minimum reduziert werden. In der nachfolgenden Abbildung wird die Zeitverteilung an den Arbeitsstationen abgebildet. Eine detaillierte Beschreibung kann dem Kapitel 4 entnommen werden.

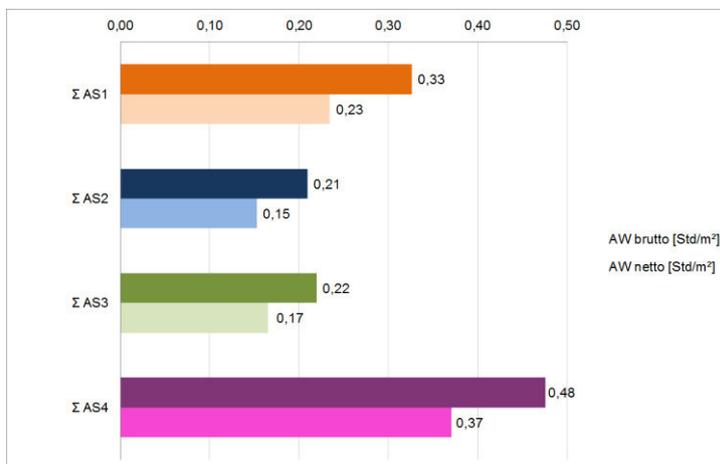


Abbildung 5.6: Zeitverteilung (Projekt A)

Wie in Abbildung 5.6 ersichtlich, stimmt die Zeitverteilung der Tätigkeiten und Unterbrechungen an lediglich zwei der vier Arbeitsstationen exakt überein. Die ermittelten Aufwandswerte an Station 4 sind in Summe rund doppelt so hoch wie an allen anderen Arbeitsstationen. Dies kann unmittelbar auf die geringe Anzahl an Arbeitskräften zurückgeführt werden, die verhältnismäßig viele Tätigkeiten durchführen mussten. Nachdem AS4 jedoch nicht in die Taktfertigung der Arbeitstische eingebunden war und zudem ein Puffer in Form eines Lagerbereiches vorgesehen war, kann diese Abweichung durchaus vernachlässigt werden. Eine weitere Reduktion der Anzahl an Arbeitskräften bei Station 4 würde jedoch bewirken, dass der Puffer des Lagerbereiches frühzeitig seine Grenzen erreicht und einen Stillstand der gesamten Produktion ausgelöst werden könnte. Einzig der Zeitaufwand bei Arbeitsstation 1 wurde im Vergleich zu Arbeitsstation 2 und 3 deutlich überschritten, wodurch Wartezeiten an den nachfolgenden Stationen resultierten. Daher wurden in solchen Situationen die Arbeitskräfte von AS2 unterstützend eingesetzt. Die Arbeitskräfte von Station 3 kümmerten sich i.d.R. um die Zusatzarbeiten für den Transport oder unterstützten die Arbeitskräfte von Station 4. In Summe führte dieser Umstand jedoch zu einer Reduktion in der Produktivität, die in erster Linie durch die personelle Unterbesetzung von Arbeitsstation 1 ausgelöst wurde. Würde die Anzahl der Arbeitskräfte erhöht werden, könnte dies jedoch zu einer Abnahme der Auslastung einzelner Arbeitskräfte führen. Zudem könnte es aufgrund des eingeschränkten Platzangebotes zu gegenseitigen Behinderungen kommen, was wiederum mit einer Reduktion der Auslastung einherginge. Die Ressource Mensch hat zudem eine besondere Eigenschaft, die bei keiner anderen Ressource auftritt. Kommt es zu einem gewollten bzw. ungewollten Austausch von Arbeitskräften, muss der sog. Einarbeitungseffekt beachtet werden. Aus diesem Grund sollte der Mannschaftswechsel während der Vorfertigung möglichst vermieden werden.

In Summe kann bei Projekt A von einem gut durchdachten Einsatz der Ressource Mensch ausgegangen werden. Dies schlägt sich vor allem in der hohen Auslastung einzelner Arbeitskräfte nieder. Eine genaue Verteilung der Tätigkeiten kann der Datenauswertung in Kapitel 4 entnommen werden. Aufgrund der zusammenhängenden Arbeitsstationen lässt einzig die Zeitverteilung bei Arbeitsstation 1 einen Einbruch in der Produktivität vermuten. Eine Erhöhung der Anzahl an Arbeitskräften könnte zwar die Gesamtproduktivität erhöhen, die Auslastung der einzelnen Arbeitskräfte würde jedoch maßgeblich sinken.

▪ **Ressource Maschine**

Im Gegensatz zur Ressource Mensch ist die Ressource Maschine bedingt steuerbar. Leistungssteigerungen während der Fertigung sind in den meisten Fällen mit viel Aufwand verbunden. Gleichzeitig muss besonders darauf geachtet werden, dass der Fertigungsablauf durch zu-

sätzliche Maschinen nicht gestört bzw. verschlechtert wird. Aus Platzgründen können in den meisten Fällen nur mobile Einrichtungsgegenstände hinzugefügt werden. Nicht zu vergessen ist die Gruppe der Kleinmaschinen, zu denen bspw. Bohrmaschinen, Handkreissägen u.dgl. gezählt werden. Auch hier ist ein vernünftiger Einsatz mit hoher Auslastung die Grundvoraussetzung für eine hohe Produktivität.

Die Maschinen für die Vorfertigung der Holzrahmenelemente sind zum überwiegenden Anteil nicht veränderbar angeordnet. Zudem stehen die meisten Tätigkeiten in direkter Verbindung mit dem Hallenkran. Zur Senkung der Kranbelegungszeiten wurde bereits an Arbeitsstation 1 eine stationäre Hebevorrichtung angeordnet, mit der die inneren Beplankungstafeln auf dem Element abgelegt werden konnten. Die Beplankungsarbeiten an Arbeitsstation 3 wurden hingegen mit Hilfe des Hallenkran abgewickelt. Zum Heben der Elemente wurde ein mobiler Vakuumheber angebracht. Nachdem diese Arbeiten mit sehr viel Zeitaufwand einhergingen, bestand besondere Gefahr von Kranwartezeiten an den restlichen Arbeitsstationen. Im konkreten Fall konnte eine deutlich zu hohe Auslastung festgestellt werden. Da solche Situationen jedoch nicht permanent, sondern nur vereinzelt auftraten, ist in Summe von einer sehr hohen Kranauslastung auszugehen. Die Auslastungsspitzen könnten jedoch auf einfache Weise abgebaut werden. Ein konkreter Vorschlag kann dem nachfolgenden Kapitel 5.3.4 entnommen werden. Des Weiteren geht aus den Beobachtungen hervor, dass ein Mangel an Kleinmaschinen bestand. Es konnte bspw. dazu kommen, dass an unterschiedlichen Arbeitsstationen ähnliche Tätigkeiten durchgeführt wurden, die den Einsatz gleichartiger Maschinen verlangten. Die daraus resultierenden Wartezeiten führten wiederum zu einem Einbruch in der Arbeitsproduktivität. In eben genannten Fällen war die Auslastung einzelner Maschinen deutlich zu hoch, wobei solche Spitzen äußerst selten auftraten. Das Fundament der Vorfertigung bildeten jedoch die Arbeitstische. Die Auslastung lag grundsätzlich im maximalen Bereich, da die Tische über den gesamten Zeitraum mit Elementen belegt waren. Wie bereits erwähnt, wurde durch die Anordnung des Dämmstofflagers der maschinelle Weitertransport des Arbeitstisches zu AS3 verhindert, wodurch wertvolle Zeit durch den gesonderten Einsatz des Hallenkran verloren ging. Die Anlage ist zudem mit einer Multifunktionsbrücke ausgestattet, wodurch die Befestigung der Beplankungsebenen maschinell und automatisiert durchgeführt werden könnte. Im konkreten Fall wurde jedoch gezielt darauf verzichtet, da diese Anlage bereits veraltet ist und die Maschinenansteuerung nicht dem aktuellen Stand der Technik entspricht.

Generell kann von einem effektiven Einsatz sämtlicher Maschinen mit hoher Auslastung ausgegangen werden. Aufgrund der Spitzen kam es jedoch immer wieder zu Wartezeiten, die jedoch mit sehr einfachen Maßnahmen und geringem finanziellen Aufwand reduziert werden könnten.

▪ **Ressource Material**

Die Ressource Material wird bereits im Zuge der Projektvorbereitungs- bzw. Ausschreibungsphase den Anforderungen einzelner Bauteile angepasst. Eine Steuerung während der Fertigung ist nur in den geringsten Fällen möglich. Während der Fertigung kann jedoch auf einen effizienten Einsatz dieser Ressource geachtet werden. Um eine hohe Materialeffizienz erzielen zu können, wird bereits im Zuge der Bauteilvorbereitung auf einen verschnittoptimierten Zuschnitt aller Komponenten geachtet. Auf diese Weise wird die Ausbeute einzelner Rohstoffe maximiert und die Dauer der Arbeitszeiten in der Vorfertigung minimiert. Die Ressource Material hat zudem großen Einfluss auf die Gestaltung der Lagerbereiche bzw. die Einteilung der Arbeitsbereiche. Je nach Dimension der Ausgangsmaterialien müssen Lagerflächen vorgesehen werden, die den eigentlichen Arbeitsablauf nicht beeinträchtigen. Aufgrund der eingeschränkten Platzverhältnisse wurde aus diesem Grund auf den Einsatz großformatiger Beplankungstafeln verzichtet. Für die Fertigung von Wandelementen wird zumeist in der Auswahl des Dämmstoffsystems unterschieden. Dabei wird grundlegend zwischen herkömmlichen Dämmstoffbahnen und loser Zellulosefaser unterschieden. Die Besonderheit der Zellulose besteht in der Art der Einbringung, die auf einfache Weise über Einblasgeräte durchgeführt werden kann. Anhand dieses Materials bzw. der Art der Einbringung könnte zwar die Zeitdauer dieser Tätigkeit deutlich verringert werden, aus Gründen des Brandschutzes war der Einsatz beim untersuchten Objekt nicht zugelassen.

Die Anpassung der Materialien auf das Fertigungssystem muss bereits im Zuge der Arbeitsvorbereitung durchgeführt werden. Eine nachträgliche Anpassung ist kaum möglich. Für die Vorfertigung bei Projekt A erfolgte der Zuschnitt bereits im Zuge der Bauteilvorbereitung, wodurch eine hohe Materialeffizienz und Ausbeute erzielt werden konnte. Aufgrund dieser Tätigkeit konnten zudem die Arbeitszeiten in der Vorfertigung deutlich reduziert werden, was mit einer Erhöhung der Arbeitsproduktivität einherging. Auch die Qualität der Endprodukte konnte auf diese Weise deutlich gesteigert werden.

5.3.4 Optimierungs- und Veränderungsvorschläge

Optimierungs- und Veränderungsvorschläge für den Arbeitsbereich von Betriebshalle 2, welcher auf die Herstellung von hochgradig vorgefertigten Fassadenelementen ausgelegt ist, können aus der Analyse der Prozessabläufe, wie auch aus der Datenauswertung nach der REFA-Systematik abgeleitet werden. Darauf aufbauend sind in diesem Abschnitt verschiedene Maßnahmen genannt, die zu einer Verbesserung des Arbeitsablaufes und somit einer Erhöhung der Produktivität beitragen könnten. Aus diesen Vorschlägen können in weiterer Folge Erkennt-

nisse für die Neugestaltung der Betriebshalle gewonnen werden. Hierzu ist ein konkreter Entwurf dem Kapitel 5.6 zu entnehmen.

Aus der Analyse der Materialanlieferung geht bspw. hervor, dass die gesamte An- und Ablieferung der Materialien durch lediglich ein Hallentor abgewickelt werden musste. Dieser Umstand führte zu gegenseitigen Behinderungen, die mit großen Zeitverlusten einhergingen. Um eine Entlastung zu bewirken, sollte die An- und Ablieferung sämtlicher Bauteile auf mehrere Hallenöffnungen aufgeteilt werden. Da diese Tore bereits baulich vorhanden sind, aufgrund der derzeitiger eher ungünstiger Anordnung der Maschinen und Arbeitsstationen jedoch nicht genutzt werden können, wird vor allem im Zuge der Neugestaltung besonders darauf geachtet. Die zusätzlich vorhandenen Hallenöffnungen können der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

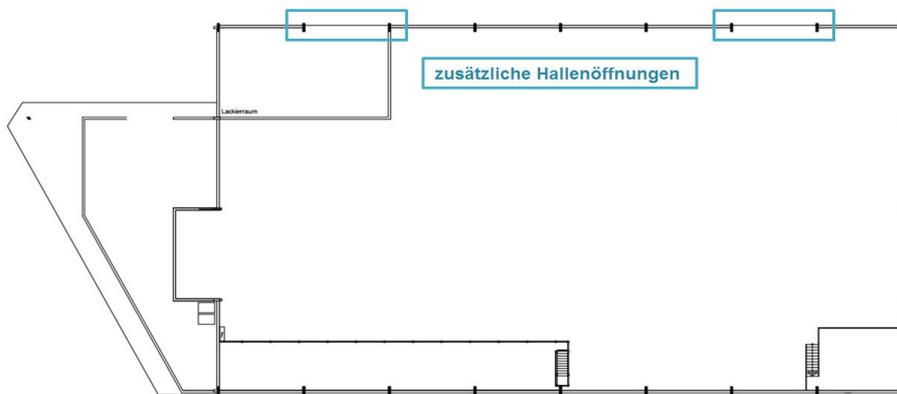


Abbildung 5.7: Hallenöffnungen (Projekt A)

Eine weitere Verbesserungsmaßnahme ist in der Reduktion der Kranbelegungszeiten auszumachen. Aus den einzelnen Analysen geht hervor, dass zu viele Tätigkeiten mit der Unterstützung des Hallenkran durchgeführt werden müssen. Nachdem an allen Stationen gleichzeitig gearbeitet wird, können daraus erheblichen Wartezeiten resultieren. Zur Lösung dieses Problems stehen grundsätzlich zwei Varianten zur Auswahl. Eine davon wäre die Installation eines zweiten Hallenkran. Theoretisch könnten die Tätigkeiten eines Krans halbiert und somit eine deutliche Reduktion der Kranauslastung erzielt werden. Bei der Benützung der Krane ist jedoch besondere Vorsicht geboten. Da nur eine Kranbahn zur Verfügung steht, können gegenseitige Behinderungen resultieren. Ein Beispiel dafür kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

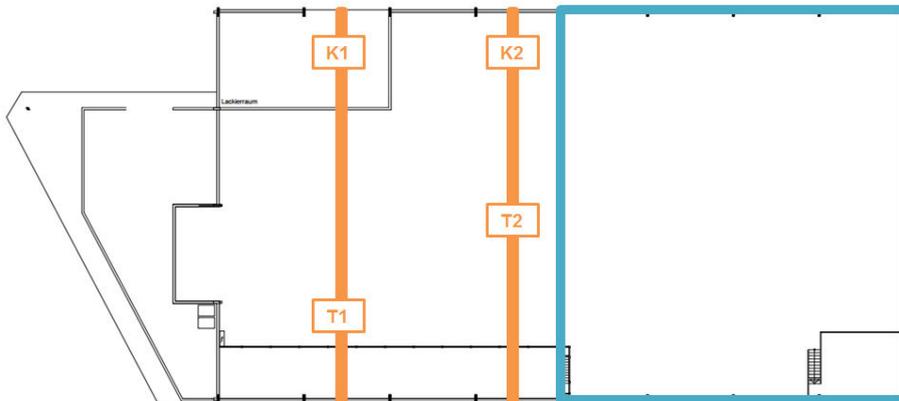


Abbildung 5.8: Arbeitsweise zweier Hallenkrane (Projekt A)

Im Falle, dass Tätigkeit 1 (kurz: T1) und Tätigkeit 2 (kurz: T2) zur selben Zeit von Hallenkran 1 (kurz: K1) und Hallenkran 2 (kurz: K2) durchgeführt werden und diese Tätigkeiten gleich lange andauern, stellt der Einsatz zweier Krane kein ersichtliches Problem dar. Wird aber Tätigkeit 1 früher beendet, käme es zu einer Blockade von Hallenkran 1. Sofern kein schneller Wechsel möglich ist, würden somit im blau umrandeten Bereich entsprechende Wartezeiten anderer Tätigkeiten entstehen.

Neben der Installation eines weiteren Hallenkrans könnte auch eine maschinelle Erweiterung der Arbeitsstationen eine Reduktion der Kranbindungszeiten bewirken. Bspw. wäre es möglich, AS3 mit einem zusätzlichen Säulenschwenkkrane auszustatten. Auf diese Weise wäre die Aufbringung der Beplankungstafeln ohne weitere Belegung des Hallenkrans realisierbar.



Abbildung 5.9: Säulenschwenkkrane für AS3 (Projekt A)⁴⁴⁸

⁴⁴⁸ <http://de.schmalz.com/produkte/vakuumhandhabungssysteme/schlauchheber/>, am 25.11.2015 um 08:56 Uhr

In der Fertigungshalle sind die vorhandenen Arbeitstische grundsätzlich mit einer sog. Multifunktionsbrücke ausgestattet, die vor allem die Befestigung der Beplankungstafeln übernehmen kann. Zudem sind diese Anlagen auch mit Fräs- und Schneidewerkzeugen ausgestattet. Aufgrund der veralteten Maschinenansteuerung wird derzeit jedoch die manuelle Befestigung der Plattenwerkstoffe bevorzugt. Die Modernisierung bzw. Erneuerung dieser Maschine würde zu einer deutlichen Leistungssteigerung in der Fertigung beitragen und vor allem die Qualität der Elemente verbessern, wobei sich die Qualitätserhöhung vor allem auf eine genauere Einbringung der Verbindungsmittel bezieht.

Auch bei Arbeitsstation 4 könnte eine mobile Hebeeinrichtung bzw. ein Montagegerät für den Einbau der Fenster zu einer Reduktion von Kranbelegungszeiten führen.



Abbildung 5.10: Montagegerät für den Fenstereinbau für AS4 (Projekt A)⁴⁴⁹

Neben der maschinellen Aufrüstung aller Arbeitsstationen sollte vor allem darauf geachtet werden, dass die ursprüngliche Funktionsweise der Arbeitstische erhalten bleibt. Nachdem die derzeitige Lagerung der Dämmstoffe zu einer Blockade der eigentlichen Tische führt, muss auch der Transport von AS2 zu AS3 mit dem Hallenkran abgewickelt werden. Ein Freilassen dieser Flächen würde bewirken, dass die Elemente mittels vorhandenen Rollgangs verfahren werden könnten, ohne dafür den Hallenkran benützen zu müssen. In Abbildung 5.11 ist jener Bereich markiert, der für die Nutzung des Rollgangs freibleiben müsste.

⁴⁴⁹ <http://www.bavariailift.de/produkte/glasmontagegeraete/robot-serie/robot-280/>, am 25.11.2015 um 08:35 Uhr

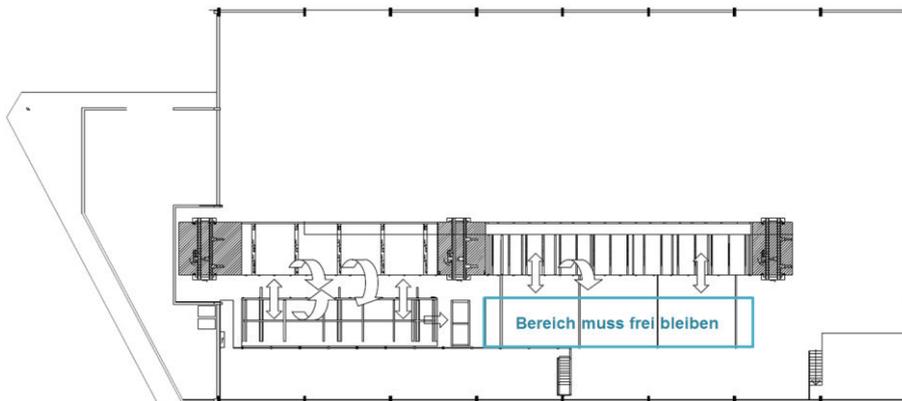


Abbildung 5.11: Optimierung Funktionsweise Arbeitstische (Projekt A)

Aus den Analysen der Wegdiagramme bzw. der Auswertung nach REFA geht zudem eindeutig hervor, dass besonders bei der Positionierung einzelner Maschinen, Werkzeuge und Planunterlagen Handlungsbedarf besteht. Um zu verhindern, dass Werkzeuge mit anderen Arbeitsstationen geteilt werden und somit Wartezeiten entstehen, sollte jede Arbeitsstation mit ihrer eigenen Werkbank ausgestattet werden. Um auch die langen Wegstrecken der Arbeitskräfte zu den zentral angeordneten Planunterlagen zu vermeiden, wäre es vorteilhaft die Werkbänke zusätzlich mit einer Planablage auszustatten. Der Analyse der Wegdiagramme kann zudem entnommen werden, dass vor allem die Kreissäge für AS4 zu weit entfernt ist. Dies lässt sich grundsätzlich auf die Situierung des Lackierraumes zurückführen. Nachdem aufgrund dessen viel Platz verloren geht, sollte über die Entfernung bzw. Auslagerung dieses Bereiches nachgedacht werden. Eine Lagerung der Materialien an den dafür vorgesehenen Arbeitsstationen würde zudem eine Störung bzw. Blockade anderer Stationen weitestgehend verhindern. Aus Platzgründen kann die Lagerung der Riegelbauteile für AS1 nur im Bereich von Station 3 angeordnet werden. Eine getrennte Platzierung würde jedoch deutlich weniger Störungen im Arbeitsablauf verursachen. Aus der Analyse der Zeitararten nach der REFA-Methodik wird erkennbar, dass vor allem durch zusätzliche Tätigkeiten, wie bspw. die Materialversorgung viel Zeit verloren geht. Zudem werden Arbeitskräfte immer wieder für Arbeiten aus der Halle abgezogen, die mit dem eigentlichen Bau der Elemente nicht in Verbindung stehen. Um in dieser Hinsicht eine Verbesserung der Produktivität zu erzielen, sollte über die Anstellung einer zusätzlichen Arbeitskraft für diese zusätzlichen Tätigkeiten nachgedacht werden, um auch hier keine weiteren Kapazitäten zu binden. Zudem kann festgestellt werden, dass sehr viel Zeit durch die Beseitigung von Unklarheiten in den Planunterlagen verloren geht. Zur Verbesserung müsste der Projektleiter bereits vor Beginn der Fertigung die Ausführungspläne mit dem Vorarbeiter durcharbeiten und Besonderheiten detailliert ansprechen.

5.3.5 Interpretation der Daten

Der Nachweis eben genannter Optimierungsvorschläge erfolgt durch die Interpretation der aufgenommenen und analysierten Daten. Dazu werden sowohl die Ergebnisse der Auswertung nach REFA, als auch die Analysen der Wegdiagramme eingesetzt.

In der nachfolgenden Abbildung sind die Ergebnisse der Datenauswertung neuerlich dargestellt. Die Auswertung bezieht sich auf die Summe aller beteiligten Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum. Eine detaillierte Beschreibung ist dem Kapitel 4 zu entnehmen.

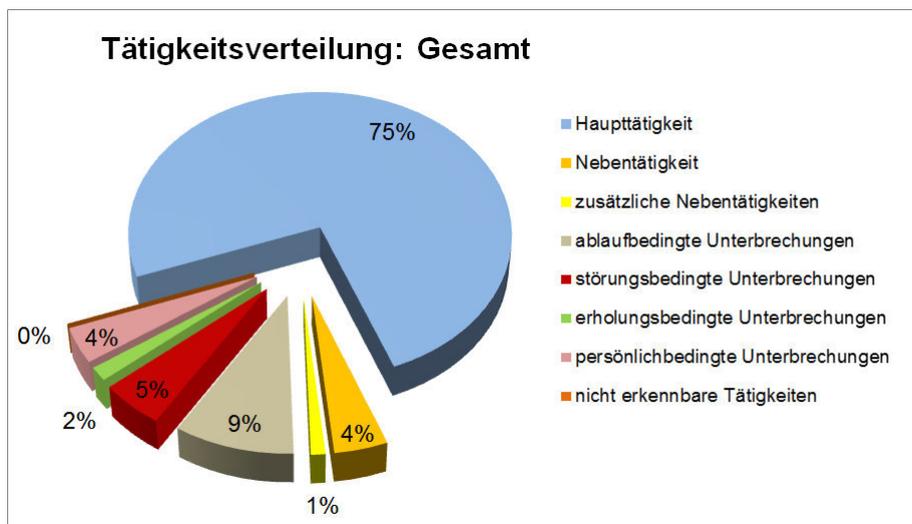


Abbildung 5.12: Dateninterpretation (Projekt A)

Wie in der vorliegenden Abbildung erkennbar ist, sind neben den Anteilen der Tätigkeiten auch jene der Unterbrechungen dargestellt.

Der Anteil der ablaufbedingten Unterbrechungen setzt sich in erster Linie aus den Zeiten des Planstudiums und den Wartezeiten resultierend aus der Belegung des Hallenkrans zusammen. In Summe beträgt der Anteil rund 9% der Gesamtarbeitszeit. Anhand dieser Prozentzahl ist deutlich erkennbar, dass in diesem Bereich Verbesserungspotential besteht. Die Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen würde eine deutliche Reduktion dieser Art von Unterbrechung bewirken, wodurch eine Erhöhung der Arbeitsproduktivität erzielt werden könnte. Die störungsbedingten Unterbrechungen beinhalten bspw. Tätigkeiten, die für den Beschaffungsvorgang von Werkzeugen oder Materialien erforderlich sind. Wie in Abbildung 5.12 dargestellt, wurden in Summe rund 5% der Gesamtarbeitszeit dafür aufgewendet. Zu den persönlich bedingten Unterbrechungen zählen bspw. Zeiten, die mit der Abwesenheit von Arbeitskräften einhergehen. Aus den Beobachtungen ging hervor, dass es sich hierbei vorwiegend um Tätigkeiten, wie die Entladung von LKWs oder die Unterstützung anderswo anfallender Arbeiten handelte, die mit der tatsächlichen Vorfertigung nicht in Verbindung standen und außerhalb der Betriebshalle abgewickelt wurden. In Summe wurden dafür rund 4% der Gesamtar-

beitszeit beansprucht. Die Umsetzung der Verbesserungsvorschläge würde erneut eine Reduktion dieser Art von Unterbrechungen vorsehen und gleichzeitig eine Erhöhung der Produktivität bewirken.

Aus der Analyse der Wegdiagramme geht zudem hervor, dass durch die vorhandene Anordnung der Arbeitsbereiche teilweise lange Wegstrecken überwunden werden müssen. Der Zeitanteil dieser Tätigkeiten ist im Prozentsatz der Haupttätigkeiten enthalten. Eine Optimierung der Maschinenanordnung würde zwar keine Erhöhung der Haupttätigkeiten bewirken, eine Beschleunigung der Prozesse innerhalb der Vorfertigung könnte jedoch eintreten. Wie aus der Analyse der Materialanlieferung hervorgeht, können aufgrund der Nutzung von nur einer Hallenöffnung enorme Komplikationen entstehen. Die Zeitverluste, die aus diesem Umstand resultieren, sind bereits in den störungsbedingten Unterbrechungen enthalten.

Eine Umsetzung der genannten Verbesserungsvorschläge würde mit der Reduktion des Anteiles an Unterbrechungen und der Erhöhung des Anteiles an Haupttätigkeiten einhergehen.

Diese detaillierte Analyse der Vorfertigung kann in weiterer Folge als Grundlage für die Neugestaltung der betrachteten Betriebshalle angesehen werden. Dabei werden die genannten Verbesserungsvorschläge aufgegriffen und in Kapitel 5.6.1 im Zuge der Umplanung miteinbezogen.

5.4 Analyse der Vorfertigung bei Projekt B

Die Analyse der Vorfertigung bei Projekt B setzt sich aus einer umfangreichen Betrachtung verschiedener Prozessabläufe und einer Auflistung unterschiedlicher Optimierungs- und Verbesserungsvorschläge zusammen, die aus den einzelnen Beobachtungen abgeleitet werden konnten. Der Grundriss der untersuchten Betriebshalle 3 kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

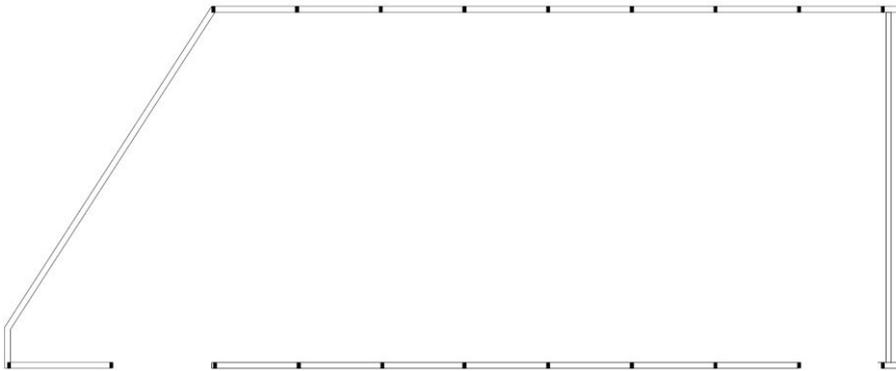


Abbildung 5.13: Grundriss Betriebshalle 3 (Projekt B)⁴⁵⁰

5.4.1 Analyisierte Prozessabläufe

Wie bereits bei Projekt A, werden auch für das Projekt B Wegdiagramme unterschiedlicher Ressourcen analysiert und im Überblick dargestellt. Es handelt sich um die Betrachtung des Personal- und Materialflusses, wobei auch die Anlieferung der Materialien untersucht wurde. Die Ergebnisse können in weiterer Folge als Grundlage für Optimierungs- und Umgestaltungsvorschläge der Fertigungshalle für künftig ähnliche Projekte herangezogen werden.

Maßstabsgetreue Abbildungen der Flussdiagramme sind dem Anhang zu entnehmen.

5.4.1.1 Analyse der Materialanlieferung

In der nachfolgenden Abbildung sind die Wegstrecken der Materialanlieferungen schematisch dargestellt, wobei ausschließlich diejenigen Komponenten betrachtet werden, die für die Vorfertigung der Bauteile benötigt wurden.

⁴⁵⁰ Zimmerei Sieveke GmbH.

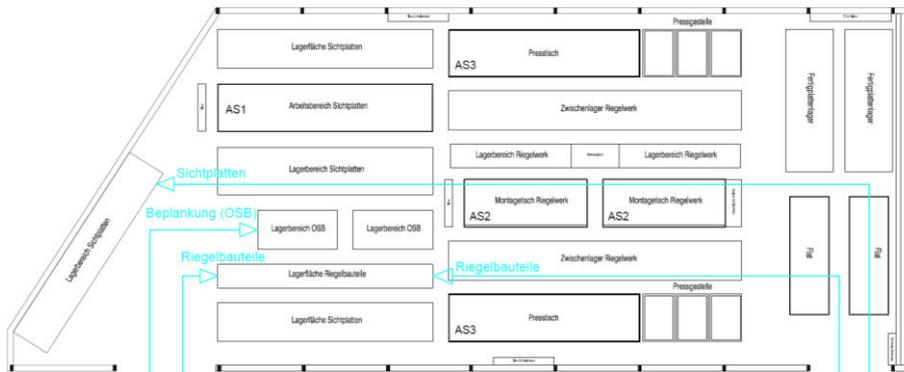


Abbildung 5.14: Materialanlieferung (Projekt B)

Wie zu sehen ist, wurde die Anlieferung der Materialien über die beiden vorhandenen Hallenöffnungen abgewickelt. Nachdem der Fertigungsablauf in eine Richtung verläuft, sollte die Materialanlieferung zur Aufrechterhaltung eines durchgängigen Produktionsflusses möglichst über ein Hallentor erfolgen. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse am Firmengelände und der großen Bauteilabmessungen der Sichtplatten und Riegelbauteile, musste jedoch die zweite Hallenöffnung zusätzlich genützt werden. Um die Anlieferung dieser großformatigen Bauteile bewerkstelligen zu können, musste der Bereich der Verladung zunächst leer geräumt werden. Da die vorhandene Halleneinrichtung einen direkten Transport zum Zwischenlager verhinderte, erfolgte eine aufwändig erscheinende Übernahme der Teile mit dem Hallenkran. Wie aus der vorliegenden Abbildung ersichtlich wird, kam es bei den Arbeitsbereichen der Station 2 und 3 während des Hebevorganges zu maßgeblichen Störungen. Zudem wurde durch diese Tätigkeit eine lange Kranbindung verursacht und meist eine Arbeitskraft von ihrer Haupttätigkeit abgezogen. Eine weitere Problematik lag in der Gestaltung des Hallengrundrisses. Aufgrund des im Grundriss ersichtlichen schrägen Hallenabschlusses kann der Kran nicht über die gesamte Länge benützt werden. Durch den Verlauf der Bahntrasse am direkt angrenzenden Nachbargrundstück kann eine Erweiterung der Halle in diese Richtung nicht vorgenommen werden. Sämtliche Materialien, die in diesem Hallenbereich gelagert wurden, mussten zuerst mit einem mobilen Hebegerät, wie bspw. einem Stapler, in den Arbeitsbereich des Hallenkran befördert werden. Die Anlieferung von kleineren Bauteilen, wie die oberen Beplankungstafeln oder kürzere Riegelbauteile, konnte jedoch problemlos über die vorgesehene Hallenöffnung durchgeführt werden und verursachten keine Störungen. Aus der Analyse der Materialanlieferungen lässt sich ableiten, dass zwar die Hallenöffnungen an den richtigen Stellen platziert sind, bei großen Bauteilen aufgrund der beengten Platzverhältnisse nicht optimal genützt werden können. Besonders die Anlieferung der großformatigen Sichtplatten bzw. Riegelbauteile sorgte für Zeitverluste, die zu einem Einbruch in der Arbeitsproduktivität führten.

5.4.1.2 Materialfluss-Analyse

Die Analyse des Materialflusses umfasst eine detaillierte Betrachtung der eigentlichen Elemente-Manipulation innerhalb der einzelnen Arbeitsstationen. Eine schematische Darstellung kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

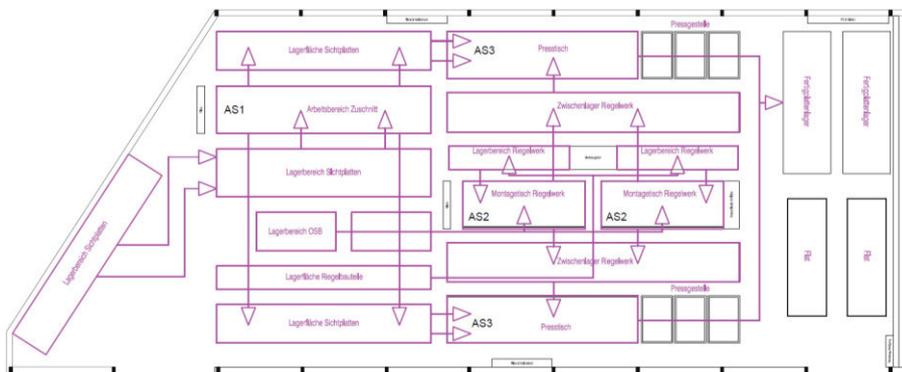


Abbildung 5.15: Materialfluss (Projekt B)

Die Weitergabe der Elemente war eindeutig geregelt und wurde in chronologischer Reihenfolge abgewickelt. Nachdem sich die Fertigung noch vor dem eigentlichen Prozess der Verklebung aus zwei separaten Arbeitsbereichen zusammensetzte, wurden Zwischenlagerungsflächen als Pufferzonen vorgesehen. Die Lagerflächen von Station 1 waren unmittelbar hinter beiden Presstischen angeordnet. Auf diese Weise konnten kurze Transportwege für AS3 ermöglicht werden. Besonders für den Prozess der Verklebung waren durchdachte Arbeitsabläufe nötig, um die vorgegebene sog. offene Zeit⁴⁵¹ einhalten zu können. Wie der Abbildung 5.15 zu entnehmen ist, war der Zuschnitt der Sichtplatten direkt neben dem Lagerbereich von Presse 2 angeordnet, wodurch die Transportwege auf ein Minimum reduziert werden konnten. Die Wege zur Presse 1 waren hingegen deutlich länger. Dies ist jedoch auf die Lagerflächen der oberen Beplankung wie auch der Sichtplatten zurückzuführen, die aufgrund der Größe ebenso im Bereich des Hallenkrans untergebracht werden mussten. Parallel zu den Arbeiten an der Arbeitsstation 1 wurden die Tätigkeiten an Station 2 abgewickelt. In Abbildung 5.15 ist zu erkennen, dass unmittelbar neben den Arbeitstischen gesonderte Lagerflächen für einzelne Riegelbauteile vorgesehen waren, um lange Lieferwege zu vermeiden. Nachdem immer wieder Bauteile einzeln mit Kranunterstützung aufgelegt werden mussten, konnte aufgrund der zusätzlichen Lagerflächen bzw. Pufferzonen Zeit eingespart werden. Die Lagerflächen waren auf die Leistung eines Arbeitstages abgestimmt und wurden jeweils zu Schichtende mit neuen Materialien

⁴⁵¹ Bei Klebverfahren und Klebetechniken wird die Zeitspanne von Beginn des Klebstoffauftrags bis zum Zusammenfügen der Fügebauteile als sog. offene Zeit bezeichnet.

bestückt. Die Anlieferung erfolgte aus dem vorgesehenen Lagerbereich und wurde mittels Kranunterstützung durchgeführt. Aufgrund des Platzmangels konnte für die Bauteile der oberen Beplankung kein Lagerbereich neben den Montagetischen von AS2 angeordnet werden. Die Anlieferung aus dem vorgesehenen Lagerbereich erfolgte wiederum mit dem Hallenkran. Wie der vorliegenden Abbildung entnommen werden kann, waren die Lieferwege länger, woraus geringe Einbußen in der Produktivität resultierten. Nachdem jedoch großflächige Beplankungselemente eingesetzt wurden, musste die Wegstrecke zur Beschickung in den meisten Fällen nur einmal pro Element zurückgelegt werden. Für die fertiggestellten Elemente wurde ein Zwischenlager neben den Presstischen angeordnet, um bereits im Vorfeld eine strukturierte Trennung für den anschließenden Prozess der Verklebung herzustellen. Aufgrund der Anordnung der Arbeitsstationen waren die Transportwege vom Montagetisch zu den Lagerbereichen auf ein Minimum reduziert. Für die Zwischenlagerung wurde der Hallenkran unterstützend eingesetzt. Nach Abschluss der Arbeiten an Station 1 und 2 erfolgte der eigentliche Prozess der Verklebung an Station 3. Aus Kapazitätsgründen wurden an dieser Station zwei Presstische angeordnet, wobei die Arbeiten an beiden Stationen annähernd zeitgleich und demselben Schema folgend abliefen. Nachdem die Anordnung der Bauteile unmittelbar neben den Presstischen erfolgte, konnten die Transportwege kurz gehalten werden. Die Hebevorgänge wurden mittels Unterstützung des Hallenkranes durchgeführt. Der Unterschied lag jedoch in der Art der eingesetzten Hebemittel. Die Sichtplatten wurden mittels Vakuümheber aufgelegt, wohingegen die Riegelwerke mit Hebeschlaufen manipuliert wurden. Nachdem die Sichtplatten in einem Arbeitsgang aufgelegt wurden, musste das Hebemittel nur einmal je Pressgang gewechselt werden. Nach Abschluss des Leimauftrages wurden die Pressgestelle mit dem Hallenkran auf dem Presstisch positioniert. Anhand der Anordnung der Gestelle konnten die Transportwege kurz gehalten werden, wodurch die Arbeitsproduktivität hoch gehalten werden konnte. Abschließend erfolgte die Verladung der Elemente auf die sog. Flats. Als Zusatzmaßnahme wurden Pufferzonen für die Zwischenlagerung vorgesehen. Die Manipulation erfolgte wiederum mit Hilfe des Hallenkranes. Wie der Abbildung 5.15 zu entnehmen ist, waren die Flats unmittelbar im Bereich der Hallenöffnung angeordnet, wodurch keine Störungen anderer Arbeitsbereiche verursacht wurden. Da sich auch das Zwischenlager direkt neben den Flats befand, konnten die Transportwege kurz gehalten werden. Anhand der Analyse des Materialflusses ist durchaus eine durchdachte Anordnung der Einrichtungsbestandteile erkennbar. Durch den vorhandenen Materialfluss in nur eine Richtung wurden zudem Kollisionen innerhalb der Arbeitsbereiche vermieden und ein störungsfreies Arbeiten ermöglicht. Einzig der hohe Anteil an krangebundenen Tätigkeiten aufgrund des Vorhandenseins von nur einem Hallenkran führte zu langen Wartezeiten, die mit einem Verlust der Produktivität einhergingen.

5.4.1.3 Personalfluss-Analyse

In der nachfolgenden Abbildung sind die Wegstrecken des Personalfusses schematisch dargestellt.

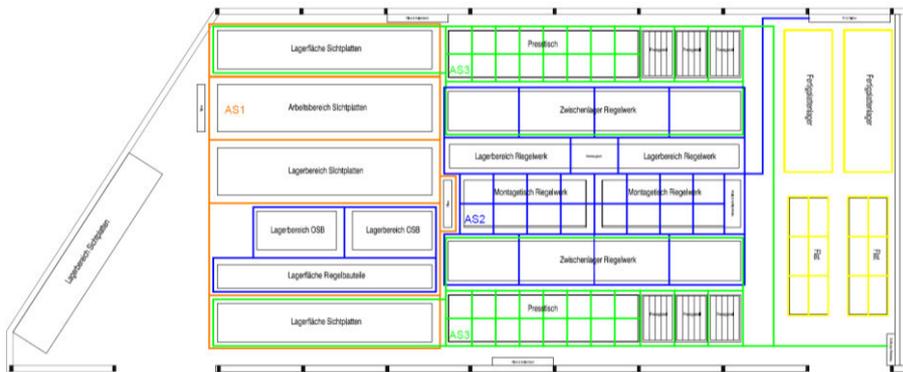


Abbildung 5.16: Personalfluss (Projekt B)

Wie erkennbar ist, werden die Wege der Arbeitskräfte je Arbeitsstation verschiedenfarbig gekennzeichnet, womit eine klare Struktur zu Grunde gelegt ist. Im weiteren Verlauf dieses Abschnitts werden die einzelnen Arbeitsstationen getrennt betrachtet und die zugehörigen Arbeitswege näher erläutert. Wege, die bspw. durch vorgesehene Pausenzeiten anfallen und zum Verlassen der Betriebshalle führten, werden im Zuge dieser Analyse nicht näher betrachtet.

▪ Arbeitsstation 1

Die Wegstrecken der Arbeitskräfte von AS1 sind in Orange dargestellt. In der Abbildung 5.16 ist zu erkennen, dass sich die Arbeitskräfte vorwiegend im Bereich des Plattenzuschnittes aufhielten. Da sich der Lagerbereich der Rohplatten und der fertig abgebundenen Sichtplatten im näheren Umfeld des Plattenzuschnittes befand, konnte eine geringe Abweichung zu den vorgesehenen Wegstrecken festgehalten werden. Einzig beim Hebevorgang zum Plattenlager von Presse 1 wurde ein benachbarter Arbeitsbereich gestört. Da es sich jedoch in diesem Fall platzbedingt um die Lagerung von Bauteilen einer anderen Arbeitsstation handelte, die ebenfalls kranunterstützt transportiert wurden, kam es zu keinen gegenseitigen Störungen. Zudem wurde mit separaten Planunterlagen dafür gesorgt, dass keine langen Wegstrecken zu einer zentralen Anschlagtafel zurückgelegt werden mussten. Es ist somit eine klare Struktur in der Positionierung der einzelnen Materialien erkennbar, wodurch ein störungsfreies Arbeiten an den vorgesehenen Arbeitsstationen ermöglicht wurde.

▪ **Arbeitsstation 2**

Die Laufwege der Arbeitskräfte an Station 2 sind in Abbildung 5.16 in Blau markiert. Der Arbeitsbereich ist im direkten Umfeld der Montageti-sche angeordnet, wodurch sich die Wegstrecken auch in unmittelbarer Umgebung dieser befanden. Längere Laufwege entstanden lediglich durch die Manipulation der oberen Beplankung und der Beschickung neuer Riegelbauteile zum vorgesehenen Lagerbereich. Durch die kompakte Anordnung wurden auch keine anderen Arbeitsbereiche durchquert bzw. gestört. Nachdem auch ein eigener Bereich für Werkzeuge und Planunterlagen vorgesehen war, konnten Unklarheiten in der Planung unverzüglich geklärt werden. Einzig die Anordnung des Computers und Telefons verursachten längere Laufwege. Aufgrund der benötigten Strom- und Netzversorgung konnte jedoch die vorhandene Positionierung nicht kurzfristig geändert werden. In Summe war jedoch eine strukturierte Anordnung der Laufwege erkennbar. Trotz der beengten Verhältnisse konnten die Materialien ohne große Laufwege und Durchquerungen anderer Arbeitsstationen im Bereich der Montageti-sche angeordnet werden. Einzig die Positionierung des Telefons und Computers könnte künftig zu einer Reduktion der Produktivität führen.

▪ **Arbeitsstation 3**

Wegstrecken, die von Arbeitskräften der dritten Arbeitsstation zurückgelegt wurden, sind in Abbildung 5.16 in Grün dargestellt. Nachdem der Prozess der Verklebung von den Arbeitskräften aller AS gemeinsam ausgeführt wurde, konnte es zu keinen Überschneidungen anderer Stationen kommen. Die dargestellten Einflüsse aus den Durchquerungen von Arbeitsstation 1 und 2 verdeutlichen die Manipulation der vorbereiteten Bauteile zu Arbeitsstation 3. Der Großteil der Laufwege lag direkt im Bereich der Presstische. In Summe waren zwei Presstische im Einsatz, an denen die gleichen Tätigkeiten zeitversetzt durchgeführt wurden. Durch die doppelte Ausstattung aller Bestandteile, die speziell für die Verklebung benötigt wurden, konnten lange Wegstrecken vermieden und eine hohe Produktivität erzielt werden. Aufgrund eines fehlenden zweiten Wasseranschlusses konnte die Werkzeugreinigung nach dem Klebstoffauftrag nur an einer Stelle durchgeführt werden. Diese Positionierung führte zwar für die Reinigung der Werkzeuge von Presstisch 1 zu optimierten Laufwegen, die Wegstrecken von Presstisch 2 waren jedoch mit Zeiteinbußen verbunden. Die kompakte Anordnung sämtlicher Bestandteile führte zu einer geringen Abweichung der geplanten Wegstrecken. Durch die Zusammenarbeit aller Arbeitskräfte an Station 3 konnten zudem Störungen anderer Arbeitsbereiche verhindert werden.

▪ Verladung

Die in Abbildung 5.16 in Gelb dargestellten Laufwege, welche die Verladung der Elemente betreffen, waren ausschließlich im Bereich der Flats angeordnet. Die Produktion war darauf ausgelegt, die Elemente direkt nach dem Öffnen der Presse auf sog. Flats zu verladen. Aus Gründen der Auslastung wurden jedoch immer wieder Elemente vorgezogen bzw. mitgepresst, die vorübergehend im Bereich des Zwischenlagers gepuffert wurden. Wurden derartige Elemente benötigt, entstanden im Bereich des Zwischenlagers einzelne zusätzliche Laufwege. Die Verladung wurde zumeist von den Arbeitskräften der AS2 durchgeführt, da für diese Tätigkeiten nicht mehr als zwei AK benötigt wurden. Aufgrund der unmittelbaren Anordnung der Transportfolien konnten keine längeren Wegstrecken beobachtet werden, die zu einem Verlust der Produktivität führten.

5.4.2 Technische Grundlagen und Ergebnisse

Die technischen Grundlagen wurden bereits anhand der Analyse der Prozessabläufe und der Datenauswertung nach REFA dargestellt. Um jedoch eine aussagekräftige Grundlage für Verbesserungs- und Optimierungsvorschläge zu erhalten, wird im nachfolgenden Abschnitt detailliert auf die Ergebnisse der Analyse nach REFA eingegangen. Hierbei werden vor allem bekannte Problemstellen bzw. Hindernisse näher beschrieben.

Aus der Analyse der Materialanlieferung geht bspw. hervor, dass zwar für die Anlieferung der Materialien ein separates Hallentor zur Verfügung stand, dieses jedoch aufgrund der beengten Platzverhältnisse nicht optimal genutzt werden konnte. Im Speziellen musste die Anlieferung der großformatigen Sichtplatten und Riegelbauteile über jene Hallenöffnung vorgenommen werden, die eigentlich für den Abtransport der fertig beladenen Flats vorgesehen war. Nachdem der Großteil des Hallengrundrisses mit Arbeitstischen, Maschinen und Materialien belegt war, konnte dieser Vorgang nur mit hohem Aufwand bewerkstelligt werden. Ein weiterer Schwachpunkt war im Bereich der fehlenden Kranbahn zu lokalisieren. Dieser Umstand muss jedoch aufgrund der benachbarten Bahntrasse als gegeben betrachtet werden. Nachdem die Zwischenlagerung der großformatigen Sichtplatten aus Platzgründen in diesem Bereich vorgenommen werden musste, waren aufwendige Umlagerungen mit dem Stapler nötig. Für die Lagerung von Kleinbauteilen bzw. leicht manövrierfähigen Plattenwerkstoffen konnte dieser Hallenabschnitt jedoch gut genutzt werden. Des Weiteren führte vor allem die Vielzahl an krangebundenen Tätigkeiten zu erheblichen Wartezeiten innerhalb der einzelnen Arbeitsstationen. Nicht nur die gleichzeitige Ausführung der Arbeiten an Station 1 und 2 war für die verlängerten Wartezeiten verantwortlich, auch die Verwendung zweier unterschiedlicher Hebemittel führte zu Einbußen

in der Produktivität. Wie anhand der Analyse des Personalfusses deutlich erkennbar wird, resultierten vor allem aufgrund der Anordnung des Telefons und des Computers längere Wegstrecken, die mit Zeiteinbußen einhergingen. Zudem war die Positionierung des Reinigungsbereiches der Werkzeuge bei Presstisch 2 mit längeren Wegstrecken verbunden, die wiederum zu Zeitverlusten führten.

Neben den Problemstellen, die sich aus der Anordnung der Maschinen und des beengten Platzangebotes ableiten lassen, konnten weitere Faktoren beobachtet werden, die zu einem Einbruch der Produktivität führten. Wie bereits aus den Beobachtungen bei Projekt A, geht auch aus den Beobachtungen bei Projekt B hervor, dass wiederholend Tätigkeiten, wie bspw. die Annahme von Materialien oder die Organisation fehlender Bauteile anfielen, die mit der eigentlichen Vorfertigung nicht in Verbindung gebracht werden konnten. Auch Fehler bzw. Unstimmigkeiten in den Planunterlagen riefen zeitliche Verzögerungen hervor, da der Projektleiter bzw. der zuständige Ansprechpartner offenkundig nicht unverzüglich erreicht werden konnte.

Im Zuge der Beobachtungen konnte des Weiteren festgestellt werden, dass der Prozess der Verklebung den gesamten Arbeitsablauf bzw. dessen Gestaltung beeinflusste. Das untersuchte Projekt sah die Verwendung eines Zweikomponenten-Klebstoffes vor, dessen vorgegebene Presszeit von der Umgebungstemperatur in der Halle abhängt. Um diese entsprechend zu verkürzen, sodass in Summe vier Pressgänge pro Tag erreicht werden konnten, musste die gesamte Halle auf mindestens 28°C Innentemperatur aufgeheizt werden, obwohl dieses vorgeschriebene durchschnittliche Temperaturniveau nur im Bereich der Presstische erforderlich war. Dieser Umstand führte nicht nur zu erhöhten Energiekosten, sondern auch die vorherrschenden Arbeitsbedingungen konnten einen sichtbaren Einbruch der Arbeitsleistung verursachen.

5.4.3 Ressourceneinsatz

Die Vorfertigung der Hohlkastenelemente setzte sich aus dem gegenseitigen Zusammenwirken unterschiedlicher Ressourcen zusammen. Im nachfolgenden Abschnitt werden diese Ressourcen detailliert beschrieben, wobei gezielt auf deren Einsatz bzw. Auslastung eingegangen wird.

▪ **Ressource Mensch**

Wie bereits aus den Beobachtungen bei Projekt A hervorging, kann die Ressource Mensch auf einfache und flexible Weise gesteuert werden. Auf eine Leistungsabweichung kann kurzfristig mittels Erhöhung bzw. Reduktion der Anzahl an Arbeitskräften reagiert werden. Da sich die Vorfertigung der Hohlkastenelemente aus dem Zuschnitt der Sichtplatten und dem Zusammenbau der Riegelbauteile zusammensetzte, wurde die

Anzahl der Arbeitskräfte dem jeweiligen Arbeitsaufwand angepasst. Für den Plattenzuschnitt wurde dabei eine Arbeitskraft und für den Zusammenbau der Riegelwerke wurden zwei weitere AK eingesetzt. Nachdem für den anschließenden Prozess der Verklebung die Arbeitskräfte beider Stationen benötigt wurden, war es erforderlich, die Tätigkeiten zumindest zeitgleich zu beenden, um keine Produktivitätsverluste aufgrund von Wartezeiten entstehen zu lassen. In der nachfolgenden Abbildung wird die Zeitverteilung der Arbeitsstationen neuerlich dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung kann dem Kapitel 4 entnommen werden.

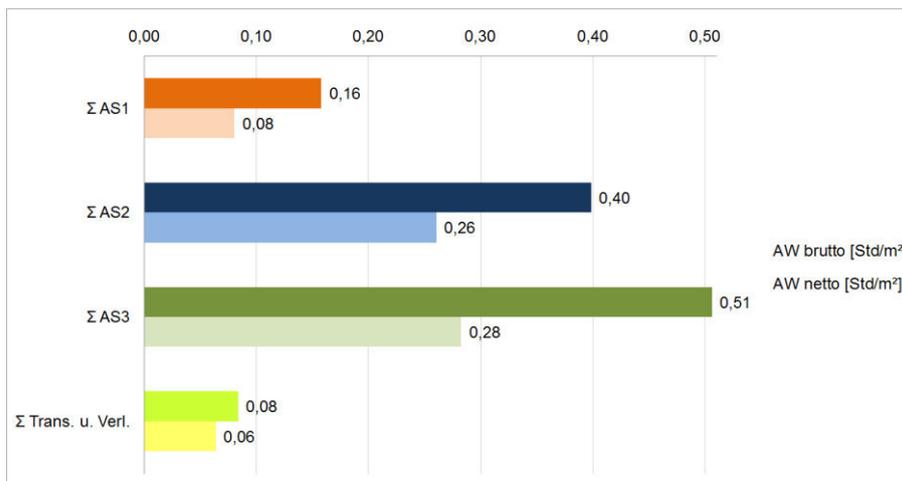


Abbildung 5.17: Zeitverteilung (Projekt B)

Wie der Abbildung 5.17 zu entnehmen ist, wurden die Tätigkeiten an Station 1 trotz der geringeren Anzahl an AK in kürzerer Zeit durchgeführt. Dies kann überwiegend auf die geringe Anzahl an erforderlichen Arbeitsschritten zurückgeführt werden. Demnach könnte ein zeitlich ausgewogenes Verhältnis zwischen AS1 und AS2 nur durch die Erhöhung der Arbeitskräfte an Station 2 erzielt werden. Da jedoch die Vorfertigung im Falle des Projektes B direkt mit den vorgegebenen Presszeiten zusammenhängt, würde diese Maßnahme nur bedingt Sinn ergeben. Die damit gewonnene Zeit konnte lediglich für den Aufbau des Riegelbauteil-Lagers verwendet werden, was jedoch aufgrund des fehlenden Platzangebotes nicht realisierbar war. Es wurde unmittelbar nach Beendigung der Zuschnittarbeiten mit der Bearbeitung der Pressprotokolle begonnen, wobei diese Tätigkeiten bereits der Arbeitsstation 3 zuzurechnen sind. Wären nach diesen Arbeiten dennoch Wartezeiten entstanden, wären Unterstützungsmaßnahmen an Station 2 durchgeführt worden. Die Tätigkeiten an Station 3 wurden anschließend von den Arbeitskräften beider Stationen abgewickelt und nahmen viel Zeit in Anspruch. Es konnte zwar durch die Erhöhung der Arbeitskräfte eine Reduktion des Aufwandswertes erreicht werden, durch die vorgeschriebene Presszeit würde jedoch eine unnötige Maßnahme mit möglichen Stillstandszeiten der AK eingeleitet werden. Nachdem die Anzahl der Arbeitskräfte auf ein Minimum ausgelegt wurde, kann von einer entsprechend hohen Auslas-

tung eines jeden Einzelnen ausgegangen werden. Neben der Reduktion bzw. Aufstockung von Arbeitskräften muss zusätzlich auf den sog. Einarbeitungseffekt geachtet werden. Kommt es zu einem gewollten oder auch ungewollten Austausch von Arbeitskräften, muss vor allem die Lernphase der auszuführenden Tätigkeiten berücksichtigt werden, die mit einer Vielzahl an Besprechungen und gleichzeitigen Störungen anderer Arbeitskräfte einhergeht. Aufgrund der Schmälerung der Produktivität sollte der Mannschaftswechsel während der Fertigung möglichst vermieden werden.

Im betrachteten Fertigungsprozess war der Einsatz der Ressource Mensch gut durchdacht, was sich vor allem in der hohen Auslastung der Arbeitskräfte niederschlug. Eine genaue Verteilung der Tätigkeiten kann dem Kapitel 4 entnommen werden. Einzig der große Unterschied in den ermittelten Aufwandswerten von AS1 und 2 lassen auf eine zu geringe Auslastung der Arbeitskraft bei Station 1 schließen. Aufgrund von zusätzlichen Tätigkeiten, die bereits der Arbeitsstation 3 zugeordnet wurden, konnte die Auslastung dennoch hochgehalten werden. Insgesamt würde eine Erhöhung der Arbeitskräfte zwar eine Reduktion der Aufwandswerte bewirken, für eine Erhöhung der Gesamtproduktivität müsste jedoch ein anderes Klebstoffsystem mit kürzeren Aushärtungszeiten eingesetzt werden.

▪ **Ressource Maschine**

Die Ressource Maschine lässt sich in verschiedene Komponenten unterteilen. Starre Anlagen, wie bspw. die Presstische sind nur bedingt steuerbar, wohingegen flexible Einheiten, wie bspw. Kleinmaschinen einen raschen Eingriff in der Vorfertigung zulassen und somit eine Änderung der Produktivität bewirken.

Die Maschinen für die Vorfertigung von verklebten Hohlkastenelementen sind zum überwiegenden Anteil flexibel angeordnet. Der Großteil der Arbeiten konnte mit herkömmlichen Kleinmaschinen des Holzbaus, wie Handkreissägen, Akkuschraubern u.dgl. durchgeführt werden. Einzig für den Prozess der Verklebung kamen fix angeordnete Presseinheiten zum Einsatz. Nachdem die Kleinmaschinen exakt auf die durchzuführenden Arbeiten abgestimmt waren, konnte deren Auslastung hoch gehalten werden. Da die Auslastung der Presstische in direkter Verbindung mit dem verwendeten Klebstoffsystem stand, konnte auch diesbezüglich kein Einbruch werden. Einzig die Ausstattung der Presseinheiten sollte hinterfragt werden, da die erforderliche Presszeit unmittelbar von der Temperatur der Bauteile sowie der Umgebungstemperatur abhängt. Anhand einer konzentrierten Wärmeeinleitung in den Bereich der Presse, könnte die Dauer der Verpressung deutlich reduziert werden. Des Weiteren geht aus der Beobachtung während der Vorfertigung hervor, dass die Ressource Kran mit einer zu hohen Auslastung belegt war. Vor allem

das gleichzeitige und kranintensive Arbeiten an zwei unterschiedlichen Stationen sorgte für ein sehr hohes Potential an Kranwartezeiten. Da auch die Hebemittel beider Stationen unterschiedlich ausfielen, konnte ein Wechsel nur unter aufwändiger Umrüstung erfolgen. Neben den Wartezeiten führte dieser Umstand auch zu einem Einbruch der Gesamtproduktivität. Da derartige Auslastungsspitzen nicht permanent, aber dennoch häufig auftraten, ist in Summe gesehen von einer zu hohen Kranauslastung auszugehen.

Im Zuge der Analyse der Ressource Maschine bei Projekt B war ein effektiver Einsatz aller Komponenten beobachtbar. Vor allem die gut abgestimmte Auswahl an Kleinmaschinen trug zu einer hohen Auslastung sämtlicher Bestandteile bei. Aufgrund der hohen Belegung des Hallenkranes kam es immer wieder zu Wartezeiten, die jedoch künftig mit sehr einfachen Maßnahmen und vor allem geringem Aufwand reduziert werden können. Durch die Optimierung der Presseinheiten, also die Reduktion der Presszeit, kann zudem auf einfache Weise eine Erhöhung der Gesamtproduktivität erzielt werden.

▪ **Ressource Material**

Die Auswahl einzelner Materialien wird bereits im Zuge der Ausschreibungs- bzw. Projektvorbereitungsphase an die Anforderungen der Bauteile angepasst, wodurch eine Steuerung während der Fertigung nur noch bedingt möglich ist. Um eine hohe Materialeffizienz erzielen zu können, wurde bereits im Zuge der Bauteilvorbereitung auf einen verschnittoptimierten Zuschnitt jener Komponenten geachtet, die aufgrund ihrer Abmessungen auf der vollautomatisierten CNC-Anlage bearbeitet werden konnten. Der Zuschnitt der Sichtplatten musste aus diesem Grund per Hand durchgeführt werden. Aber auch hier konnte mittels Verschnittoptimierung in der Planung eine hohe Ausbeute erzielt werden. Die Ressource Material hatte zudem großen Einfluss auf die Gestaltung der Lagerbereiche wie auch die Einteilung der Arbeitsstationen. Vor allem die Größe der Lagerflächen musste den Dimensionen der Rohmaterialien angepasst werden. Des Weiteren musste dafür gesorgt werden, dass eine durchgängige Beschickung mit neuen Materialien durchgeführt werden konnte, ohne den Arbeitsablauf wesentlich zu stören. Aufgrund der beengten Platzverhältnisse wurden jedoch im Zuge der Anlieferung von Sichtplatten oder auch von großformatigen Riegelbauteilen sämtliche Arbeitsstationen maßgeblich gestört. Die Anpassung der Materialien müsste bereits im Zuge der Arbeitsvorbereitung durchgeführt werden, da eine nachträgliche Anpassung während der Fertigung nur bedingt möglich ist. Um eine hohe Materialeffizienz erzielen zu können, sollte künftig der Zuschnitt der Bauteile auf die exakt arbeitende CNC-Abbundanlage angepasst werden. Aufgrund des speziellen Formates der Sichtplatten konnte dies jedoch nicht erfolgen, wodurch einerseits die Qualität der

Platten verringert und andererseits der Aufwand in der Vorfertigung erhöht wurde.

5.4.4 Optimierungs- und Veränderungsvorschläge

Optimierungs- und Veränderungsvorschläge werden aus der Analyse der Prozessabläufe wie auch der Datenauswertung nach REFA abgeleitet. Der nachfolgende Abschnitt beinhaltet verschiedene Maßnahmen, die künftig einerseits zu einer Verbesserung des Arbeitsablaufes und andererseits zu einer Erhöhung der Produktivität beitragen können. Aus diesen Vorschlägen können in weiterer Folge Erkenntnisse für die Neugestaltung der Betriebshalle gewonnen werden. Ein konkreter Entwurf kann dem Kapitel 5.6 entnommen werden.

Aus der Analyse der Materialanlieferung geht bspw. hervor, dass die Anlieferung der Rohmaterialien bzw. der Abtransport der Fertigelemente zwar über getrennte Hallenöffnungen geplant war, aufgrund der beengten Platzverhältnisse jedoch nicht durchgeführt werden konnte. Besonders großformatige Bauteile, wie Sichtplatten oder Riegelbauteile mussten unter hohem Aufwand über das Tor der Verladung angeliefert werden. Nicht nur die Anlieferung, auch die Umlagerung innerhalb der Betriebshalle war mit zeitaufwändigen Arbeitsschritten verbunden. Nachdem das ursprüngliche Plattenformat keine planmäßige Bearbeitung an der computergesteuerten CNC-Anlage zuließ, wurde zusätzlich ein großflächiger Arbeitsbereich beansprucht. Um einerseits eine Bearbeitung an der vorhandenen Zuschnittanlage und andererseits eine problemlose Anlieferung bzw. Umlagerung der Sichtplatten zu ermöglichen, sollte künftig das Format der Sichtplatten bereits im Vorfeld an die maximalen Abmessungen der CNC-Anlage angepasst werden. Auf diese Weise könnte zusätzlicher Platz für den Prozess der Vorfertigung generiert werden, der einen noch besseren Arbeitsablauf zulassen würde. Sofern die Bestellung der Platten nicht an das geeignete Bearbeitungsformat der computergesteuerten Zuschnittanlage angepasst werden kann, sollte diese Anpassung zumindest vor Beginn der Arbeiten händisch erfolgen.

Vor allem die selbstgefertigten Montagetische sollten evtl. umgebaut werden. Nachdem die obere Lage aus biegeweichen OSB-Platten mit geringer Stärke ausgeführt ist, wird der ordnungsgemäße Zusammenbau der Riegelemente dadurch deutlich erschwert. Das Eigengewicht der Arbeitskräfte reicht bereits aus, um die Oberfläche der vorliegenden Montagetische zu deformieren und diese Ungenauigkeiten dem Bauteil weiter zu übertragen. Um diese Qualitätsminderung zu vermeiden, sollten künftig jeweils zwei Arbeitskräfte bei der Verschraubung der Riegelbauteile eingesetzt werden. Bereits der Einsatz einer entsprechend steifen Deckplatte würde für die Behebung dieses Problems sorgen.

Eine weitere Verbesserungsmaßnahme ist in der Reduktion der Kranbelegungszeiten erkennbar. Nachdem an zwei Arbeitsstationen gleichzeitig

gearbeitet wurde und lediglich ein Hallenkran zur Verfügung stand, konnten erhebliche Wartezeiten resultieren, die mit einer Verschlechterung der Arbeitsproduktivität einhergingen. Zudem wurden an den Arbeitsstationen unterschiedliche Hebezeuge benötigt, wodurch ein aufwändiger Werkzeugwechsel bereits vor Beginn der Arbeiten durchgeführt werden musste. Zur Optimierung stehen prinzipiell zwei Maßnahmen zur Auswahl. Eine wäre die Installation mobiler Hebeeinrichtungen an den vorhandenen Arbeitsstationen. Dadurch könnte nicht nur die Kranbelegung deutlich reduziert werden, auch die Hebemittel könnten den Anforderungen optimal angepasst werden. Nachdem die vorhandenen Platzverhältnisse die Integration von mobilen Hebeeinrichtungen wenig bis gar nicht ermöglichen, sollte die Installation eines zweiten Hallenkranes auf der bestehenden Kranbrücke betrachtet werden. Da nur eine Kranbahn zur Verfügung steht, muss bei der Benutzung von zwei Kranbahnbrücken besondere Vorsicht geboten werden. Um gegenseitige Behinderungen auszuräumen, müssen getrennte Arbeitsbereiche eindeutig definiert werden. Nachdem die Arbeitsstationen hintereinander angeordnet waren, kann eine Abgrenzung zueinander auf einfache Weise definiert werden, welche in der nachfolgenden Abbildung schematisch dargestellt wird.

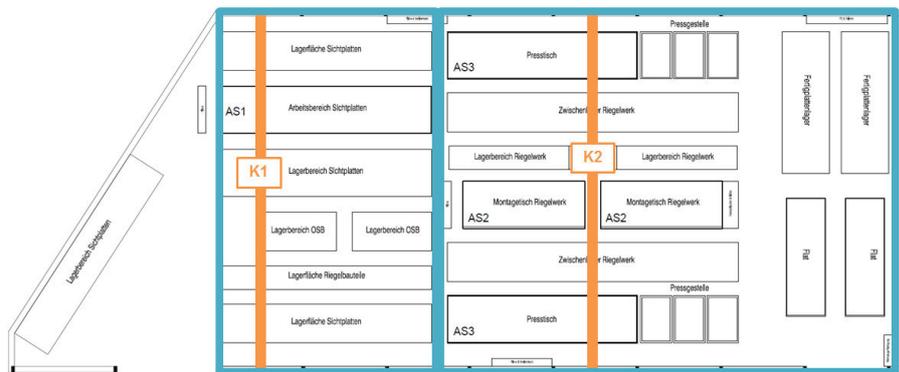


Abbildung 5.18: Arbeitsweise zweier Hallenkrane (Projekt B)

Wie der vorliegenden Abbildung zu entnehmen ist, würde sich im Falle eines Einbaus einer zweiten Kranbrücke der Einsatz des ersten Hallenkranes (kurz: K1) auf die Bearbeitung der großformatigen Sichtplatten reduzieren. Der zweite Hallenkran (kurz: K2) könnte in weiterer Folge für die anfallenden Tätigkeiten der zweiten und dritten Arbeitsstation verwendet werden. Nachdem die Tätigkeiten an der AS3 separat zu den Tätigkeiten an der AS1 und 2 durchgeführt würden, könnten auch hier Kranwartezeiten vermieden werden. Weiters könnte eine Arbeitskraft mit dem Zuschnitt der Sichtplatten fortfahren, da ein zusätzlicher Kran zur Verfügung stünde. Ein weiterer Vorteil bestünde in der fixen Anordnung der Hebemittel, wodurch ein zeitintensiver Wechsel vermieden werden könnte. Einzig die Lagerbereiche der Beplankungstafeln und Riegelbauteile würden eine Überschneidung der Arbeitsbereiche ergeben und somit mögliches Konfliktpotential darstellen. Würde die Positionierung der

Kranbrücke des K1 zentral oder eher im rechten Bereich der Halle erfolgen, würde die Wegstrecke des K2 blockiert werden. Die Umlagerung des K1 wäre mit einer Störung der Arbeiten an Station 1 verbunden und könnte eine Verschlechterung der Produktivität an dieser AS bewirken. Zudem erfordert die Bedienung dieser Hebemittel eine spezielle Ausbildung, die zur ordnungsgemäßen Benutzung erbracht werden muss.

Neben der Anbringung eines zweiten Hallenkranes sollte vor allem die Positionierung des Betriebstelefon und des Computers besser umgesetzt werden. Der derzeitige Standort führt zu unnötig langen Wegstrecken, wodurch sich nicht nur die Produktivität verschlechtert, sondern auch der Arbeitsfluss erheblich gestört wird. In der nachfolgenden Abbildung wird deutlich wie groß die zurückzulegenden Entfernungen zwischen den blau umrandeten Arbeitsbereichen und den orange markierten elektronischen Hilfsmitteln tatsächlich sind.

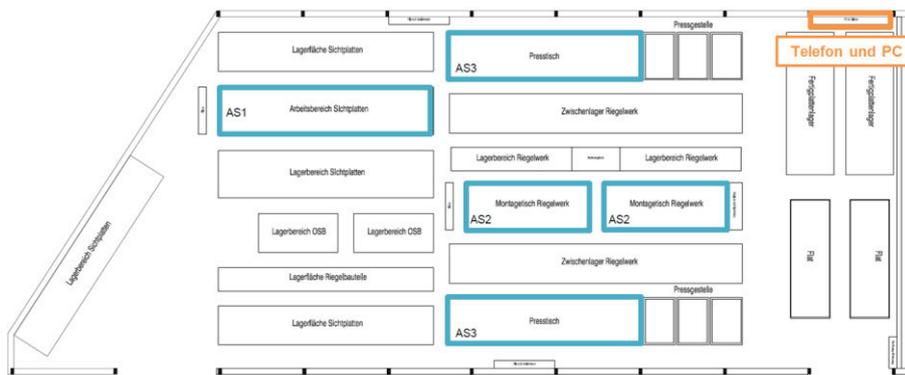


Abbildung 5.19: Positionierung Telefon und PC (Projekt B)

Des Weiteren würde eine gänzliche Auslagerung des Sichtplatten-Zuschnittes zu einem erhöhten Platzangebot innerhalb der bestehenden Betriebshalle führen und zusätzlich die aufwändige Anlieferung bzw. Umlagerung der Sichtplatten verhindern. In der nachfolgenden Abbildung ist das daraus resultierende Platzangebot wiederum farblich gekennzeichnet.

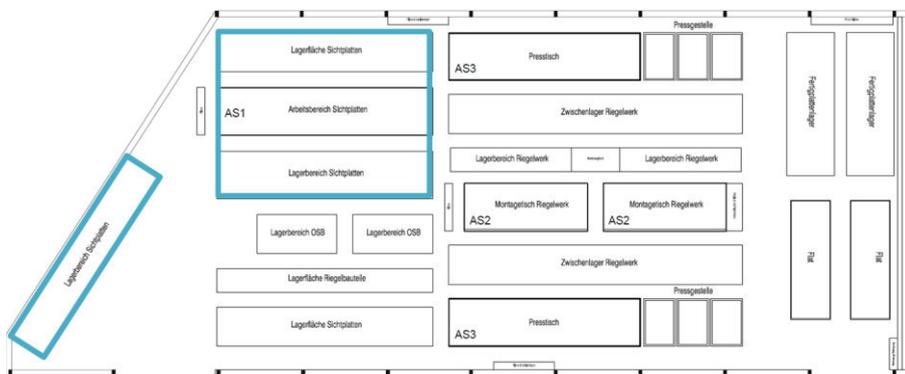


Abbildung 5.20: Platzbedarf Sichtplatten-Zuschnitt (Projekt B)

Nachdem die Möglichkeit der Auslagerung stark von den eingesetzten Plattenformaten der Bauteile und somit der Bearbeitbarkeit auf der CNC-Anlage abhängt, wird in Kapitel 5.6 sowohl eine Lösung für den ausgelagerten, als auch für den integrierten Plattenzuschnitt aufgezeigt und erläutert.

Ein zusätzlicher Verbesserungsvorschlag, der vor allem die Gesamtproduktivität erhöhen könnte, umfasst die Umhüllung bzw. Einhausung der Presstische, um die geforderte Umgebungstemperatur gezielt in den Bereich der Presseinheiten einzuleiten. Bereits geringe Temperaturerhöhungen zusätzlich zum geforderten Temperaturniveau würde eine Reduktion der Presszeit bewirken, wodurch in Summe mehrere Pressgänge durchgeführt werden könnten. Im Zuge der Vorfertigung wurde noch ohne entsprechende Umhüllung gearbeitet, wodurch die gesamte Betriebshalle auf die maximale Innentemperatur von rund 28°C aufgeheizt wurde und trotzdem Presszeiten von ca. acht Stunden eingehalten werden mussten. Nicht nur die Verschwendung der Heizenergie wirkte sich negativ auf die Gesamtkosten in der Vorfertigung aus, vor allem die Arbeitsbedingungen ergaben einen Einbruch in der Arbeitsleistung. Eine Erhöhung der Temperatur im Bereich des Presstisches auf rund 32°C würde beim verwendeten Klebstoffsystem bereits eine Halbierung der Presszeit bewirken und somit zu einer Verdoppelung der Produktionskapazität führen.

5.4.5 Interpretation der Daten

Im Zuge der Dateninterpretation werden die genannten Optimierungsvorschläge mit den Daten aus der Analyse hinterlegt. Dazu werden sowohl die Ergebnisse der Auswertung nach REFA, als auch die Analysen der Wegdiagramme zu Grunde gelegt.

In der nachfolgenden Abbildung sind die Ergebnisse der Datenauswertung aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum dargestellt. Eine allgemeine Beschreibung kann dem Kapitel 4 entnommen werden.

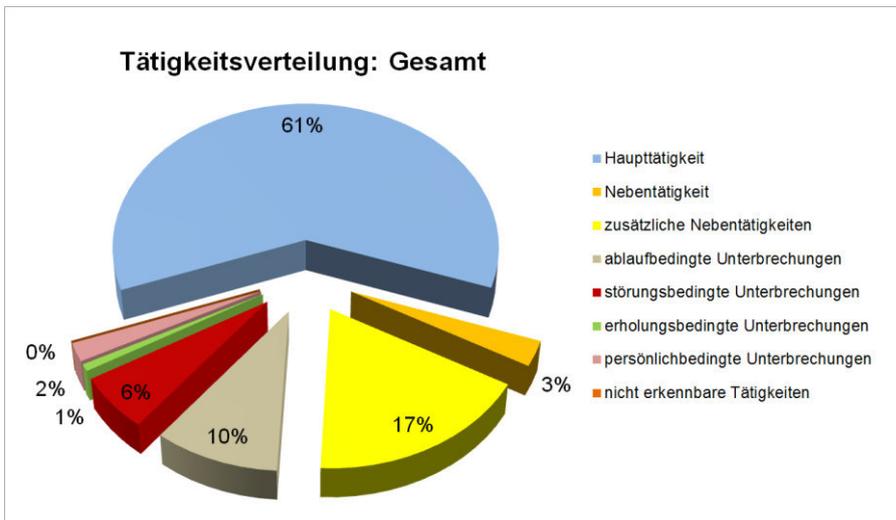


Abbildung 5.21: Dateninterpretation (Projekt B)

Wie in Abbildung 5.21 ersichtlich, ist neben dem Anteil an Haupttätigkeiten auch die Verteilung der Unterbrechungen in detaillierter Form dargestellt.

Nachdem der Anteil der zusätzlichen Nebentätigkeiten vorwiegend zu Beginn der Projektarbeiten anfiel und nach einem bestimmten Einarbeitungszeitraum verschwindend gering wurde, kann damit keine direkte Optimierungsmaßnahme in Verbindung gebracht werden. Der Anteil der ablaufbedingten Unterbrechungen setzte sich hingegen aus den Zeiten des Planstudiums, wie auch der Belegung des Hallenkrans zusammen. In Summe wurden rund 10% der Gesamtarbeitszeit für diese zusätzlichen Tätigkeiten beansprucht. Die Umsetzung der Optimierungsvorschläge würde eine deutliche Reduktion dieser Anteile bewirken, wodurch eine deutliche Erhöhung der Arbeitsproduktivität erzielt werden könnte. Die störungsbedingten Unterbrechungen beinhalten hingegen Tätigkeiten, wie bspw. die Anschaffung von Materialien oder Werkzeugen. Wie der Abbildung 5.21 entnehmbar ist, entfielen in Summe rund 6% der Gesamtarbeitszeit für diese eben genannten Unterbrechungen. Persönlich bedingte Unterbrechungen setzten sich aus Tätigkeiten zusammen, die mit der tatsächlichen Vorfertigung nicht direkt einhergingen. Dazu kann bspw. die Entladung eines LKWs, wie auch die Unterstützung anderer Projekte in anderen Arbeitsbereichen hinzugerechnet werden. Insgesamt wurden rund 2% der Gesamtarbeitszeit dafür beansprucht. Die Umsetzung genannter Verbesserungsmaßnahmen würde erneut zu einer Reduktion dieser Unterbrechungen führen und gleichzeitig eine Erhöhung der Produktivität hervorrufen.

Aus der Analyse der Materialanlieferung geht zudem hervor, dass die Manipulation der großformatigen Bauteile verbesserungswürdig erscheint. Die Umsetzung der Verbesserungsvorschläge würde nicht nur den damit verbundenen Aufwand reduzieren, vor allem die verbesserte Umlagerung der Rohmaterialien würde zu einer wesentlichen Erhöhung

der Arbeitsleistung beitragen. Zudem ist die eingesetzte Presseinrichtung nicht optimal auf das verwendete Klebstoffsystem abgestimmt. Eine gezielte Wärmeinleitung innerhalb der Pressvorrichtung würde vor allem die Presszeit deutlich verringern, wodurch die Produktionskapazität erheblich gesteigert werden könnte.

Die aus der Analyse der Vorfertigung gewonnenen Daten können in weiterer Folge als Grundlage für eine mögliche Neugestaltung bzw. Umorganisation der Betriebshalle angesehen werden. Dafür werden vor allem die auf den ausgewerteten Daten aufbauenden Verbesserungsvorschläge aufgegriffen und in der Umsetzung miteinbezogen.

5.5 Gesamtbetrachtung und Systemanalyse

Im Zuge der Gesamtbetrachtung wird auf die grundsätzlichen Gemeinsamkeiten beider Fertigungssysteme eingegangen, sodass sich eine aussagekräftige Systembetrachtung zur Neugestaltung der Betriebshallen ableiten lässt. Obwohl die untersuchten Fertigungssysteme gänzlich unterschiedlich gestaltet sind, konnten bei einzelnen Arbeitsschritten durchaus Ähnlichkeiten festgestellt werden. Zur direkten Ermittlung dieser Parallelen wurde u.a. ein Vergleich der ermittelten Aufwandswerte angestellt. Dieser Vergleich ist insofern maßgebend, da er Aufschluss zu den Gestaltungsmöglichkeiten innerhalb der vorhandenen Betriebshallen gibt. Tätigkeiten, die in beiden Fertigungssystemen durchgeführt wurden, können eine optimierte Anordnung bzw. Nutzung der vorhandenen Anlagen bewirken. In der nachfolgenden Tabelle sind alle vergleichbaren Tätigkeiten beider Fertigungssysteme inklusive deren Aufwandswerte dargestellt.

| AW _i -Position | Projekt A | | Projekt B | | BE |
|------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| | AW _{netto} | AW _{brutto} | AW _{netto} | AW _{brutto} | |
| Zusammenbau des Riegelwerkes | 0,065 | 0,101 | 0,116 | 0,177 | Std/m ² |
| Ausrichtung des Elementes | 0,021 | 0,027 | 0,031 | 0,032 | Std/m ² |
| Fixierung der Beplankung | 0,071 | 0,091 | 0,073 | 0,134 | Std/m ² |
| Befestigung der Winkel | 0,015 | 0,031 | 0,020 | 0,025 | Std/m ² |
| Transport und (Verladung) | 0,055 | 0,079 | 0,064 | 0,084 | Std/m ² |

Tabelle 5.1: Gegenüberstellung der Aufwandswerte

Wie zu sehen ist, treten in beiden Fertigungssystemen insgesamt fünf Tätigkeiten in ähnlicher Art und Weise auf. Obwohl die Fertigungssysteme grundlegend unterschiedlich aufgebaut waren, kann durch die Gegenüberstellung der ermittelten Aufwandswerte eine verbesserte Gestaltung der Fertigungsabläufe abgeleitet werden. Der Zusammenbau der Riegelwerke bei Projekt A wurde bspw. mit Hilfe von speziellen Fertigungstischen für den Holzbau abgewickelt, wohingegen der Zusammenbau bei Projekt B auf selbstkonstruierten Montagetischen erfolgte. Wie der vorliegenden Tabelle zu entnehmen ist, konnten die Arbeiten auf den professionellen Arbeitstischen beinahe doppelt so schnell als auf den selbstkonstruierten Tischen abgewickelt werden, was eindeutig für die Verwendung solcher Montagetische spricht. Für die Produktion von Hohlkastenelementen reichen jedoch einfache Montagetische durchwegs aus. Trotzdem sollte die Differenz näher analysiert werden. Wie bereits erwähnt, wurden die Beobachtungen bei Projekt A erst nach dem eigentlichen Produktionsbeginn gestartet, wohingegen die Aufnahmen bei Projekt mit Beginn der Vorfertigung durchgeführt wurden. In vielen Fällen ist der sog. Einarbeitungseffekt für einen großen Teil dieser Differenz verantwortlich. Ein weiterer Grund kann durch die Verwendung unzureichend stabiler Montagetische benannt werden. Mit einer ausreichenden Verstärkung der Tische könnten durchaus vergleichbare Auf-

wandswerte erzielt werden. Bei der Ausrichtung der Riegeelemente wird ersichtlich, dass diese Tätigkeit unabhängig von der Wand- bzw. Deckenfertigung in einer ähnlichen Zeitdauer abgewickelt werden konnte. Auch bei der Fixierung der Beplankungsebene konnten annähernd gleiche Aufwandswerte ermittelt werden. Lediglich die AW_{brutto} unterscheiden sich deutlich, da bei Projekt B mehrere Störungen auftraten, als dies bei Projekt A der Fall war. Obwohl einerseits Gipskartonbauplatten und andererseits OSB-Platten verwendet wurden, ist kein wesentlicher Unterschied erkennbar. Dies kann jedoch auch auf die gleich ablaufende Vorbereitung und die ähnliche Art der Befestigung zurückgeführt werden. Wie der Tabelle 5.1 des Weiteren entnehmbar ist, wurde auch für die Befestigung der Winkel ein vergleichbarer Aufwandswert erzielt, da auch diese Tätigkeit auf ähnliche Weise abgewickelt wurde. Auch der Transport der Elemente konnte mit ähnlich hohem Aufwandswert durchgeführt werden, da in beiden Fällen der Hallenkran als Hilfsmittel eingesetzt wurde. Die Größe der Elemente spielte in diesem Fall eine untergeordnete Rolle, da auch bei den vergleichbar kleinen Hohlkastenelementen vier Hebeschleifen angebracht wurden. Durch die Gegenüberstellung kann festgehalten werden, dass sich die Aufwandswerte gleicher oder ähnlicher Tätigkeiten trotz unterschiedlicher Endprodukte bzw. Fertigungssysteme in vergleichbarer Höhe einordnen.

Des Weiteren konnten anhand der Gegenüberstellung aller auftretenden Tätigkeiten auffällige Unterschiede in den Verteilungen ermittelt werden. Da die Definition einzelner Tätigkeiten in beiden Fällen gleich ist, konnte ein derartiger Vergleich angestellt werden. In der nachfolgenden Tabelle sind die Tätigkeitsverteilungen beider Projekte dargestellt.

| | Projekt A | Projekt B |
|-----------------------------------|-----------|-----------|
| Haupttätigkeit | 75% | 61% |
| Nebentätigkeit | 4% | 3% |
| zusätzliche Tätigkeit | 1% | 17% |
| ablaufbedingte Unterbrechung | 9% | 10% |
| störungsbedingte Unterbrechung | 5% | 6% |
| erholungsbedingte Unterbrechung | 2% | 1% |
| persönlich bedingte Unterbrechung | 4% | 2% |
| nicht erkennbare Tätigkeiten | 0% | 0% |

Tabelle 5.2: Tätigkeitsverteilungen

Wie der Tabelle 5.2 zu entnehmen ist, wird bereits im Anteil der Haupttätigkeiten ein deutlicher Unterschied erkennbar. Diese Differenz kann jedoch unmittelbar mit dem Anteil der zusätzlichen Nebentätigkeiten gleichgesetzt werden, welche zu Beginn der Vorfertigung von Projekt B durchgeführt werden mussten. Würde dieser Prozentsatz zum Anteil der Haupttätigkeiten hinzugezählt werden, ergäbe sich eine annähernd idente Verteilung. Auch die Gegenüberstellung aller weiteren Unterbrechungen lässt auf eine ähnliche Verteilung schließen. Aus diesem Grund

kann festgehalten werden, dass die Verteilung der Tätigkeiten nur geringfügig mit dem System der Vorfertigung bzw. dem zu produzierenden Endprodukt zusammenhängen.

Diese Gesamtbetrachtung kann in weiterer Folge als Grundlage für die Neu- bzw. Umgestaltung beider Betriebshallen herangezogen werden. Im nachfolgenden Abschnitt werden dazu einige Varianten aufgezeigt, die sich aus der vorhandenen Anordnung beider Betriebshallen ergeben.

5.5.1 Lösungsvorschläge zur Neugestaltung der Betriebshallen

Für die Neugestaltung bzw. Umorganisation der Betriebshallen stehen zwei nebeneinander liegende, jedoch baulich getrennte Gebäude zur Verfügung. Die derzeitige Anordnung der Betriebshallen auf dem Firmengelände kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

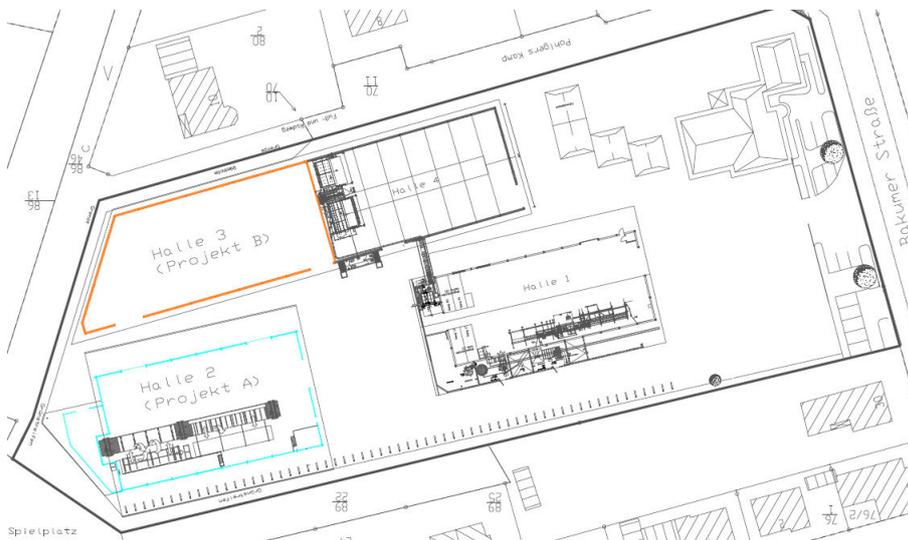


Abbildung 5.22: Anordnung der Betriebshallen⁴⁵²

Aufgrund der eingeschränkten Platzverhältnisse ist eine räumliche Erweiterung, d.h. Verlängerung der Betriebshallen, nicht möglich. Eine Verbindung untereinander könnte jedoch angedacht werden. Wie der Abbildung 5.22 zu entnehmen ist, besitzt die Halle 2 eine Vielzahl fest montierter Maschinenanlagen, wohingegen die Halle 3 ohne jegliche Maschinenausstattung zur Verfügung steht. Im Zuge der möglichen Neugestaltung wird jedoch primär auf einen optimierten Produktionsablauf geachtet, sodass die vorhandene Maschinenanordnung im Weiteren vernachlässigt werden kann. Die Anordnung der Betriebshallen lässt grundsätzlich drei unterschiedliche Varianten für eine Neugestaltung zu, welche im nachfolgenden Abschnitt näher diskutiert werden.

⁴⁵² Zimmerei Sieveke GmbH.

- **Variante 1: Getrennte Fertigung**

In einer ersten Variante wird eine getrennte Fertigung von Wand- und Deckenelementen angedacht. Dabei wird an der vorhandenen Aufteilung festgehalten, sodass auch künftig die Fertigung von Wandelementen in Halle 2 und die Fertigung der verklebten Hohlkastenelemente in Halle 3 abgewickelt werden. In der nachfolgenden Abbildung ist die Anordnung beider Fertigungssysteme schematisch dargestellt.

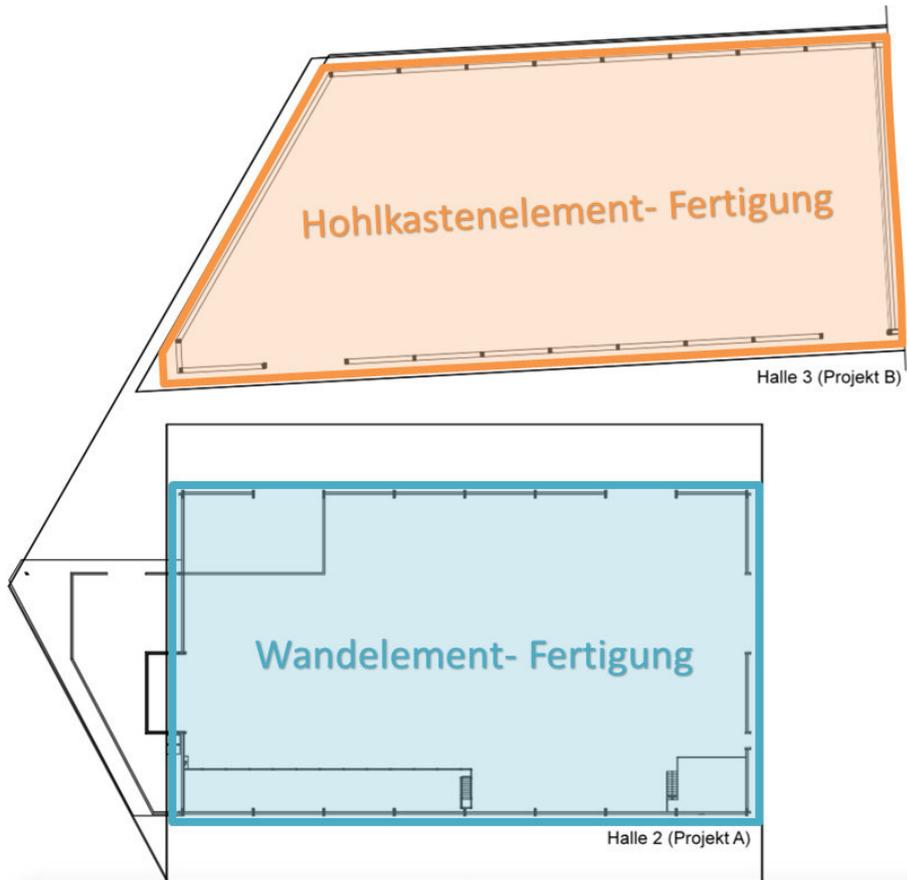


Abbildung 5.23: Getrennte Fertigung (Variante 1)

Die vorliegende Anordnung sieht eine strikte Trennung beider Fertigungssysteme vor. Anhand dieser Einteilung können die Hallengrundrisse individuell und vor allem optimal an das vorhandene Produktionssystem in der Vorfertigung angepasst werden. Eine gemeinsame Nutzung von Werkzeugen und Anlagen wird dabei ausgeschlossen, wodurch der Großteil der Maschinenausstattung doppelt angeschafft werden müsste. Aus diesem Grund ist von einer kapitalintensiven Variante auszugehen. Durch eine getrennte Fertigung kann jedoch die Produktivität der Arbeitskräfte hoch gehalten werden, da die einzelnen erforderlichen Laufwege in den abgeschlossenen Betriebshallen kurz gehalten werden. Zusätzlich könnte eine separate Anordnung von Maschinen und Werkzeugen zu einer deutlichen Reduktion von Stillständen beitragen. Mit dieser Variante wird zudem die Möglichkeit gegeben, alle vorhandenen

Hallenöffnungen auch nutzen zu können. Nachdem der Abstand beider Bauwerke eher gering ist, muss vor allem in der Detailplanung dieser Variante großes Augenmerk darauf gelegt werden, eine dauerhafte Nutzung aller Öffnungen zu ermöglichen.

▪ Variante 2: Verbundene Fertigung

Die zweite Variante sieht eine Verbindung beider Betriebshallen vor, sodass für die Fertigung der Wand- und Deckenelemente das maximal verfügbare Platzangebot am Gebäude ausgeschöpft werden könnte. In der nachfolgenden Abbildung ist diese Verbindung beider Betriebshallen schematisch abgebildet.

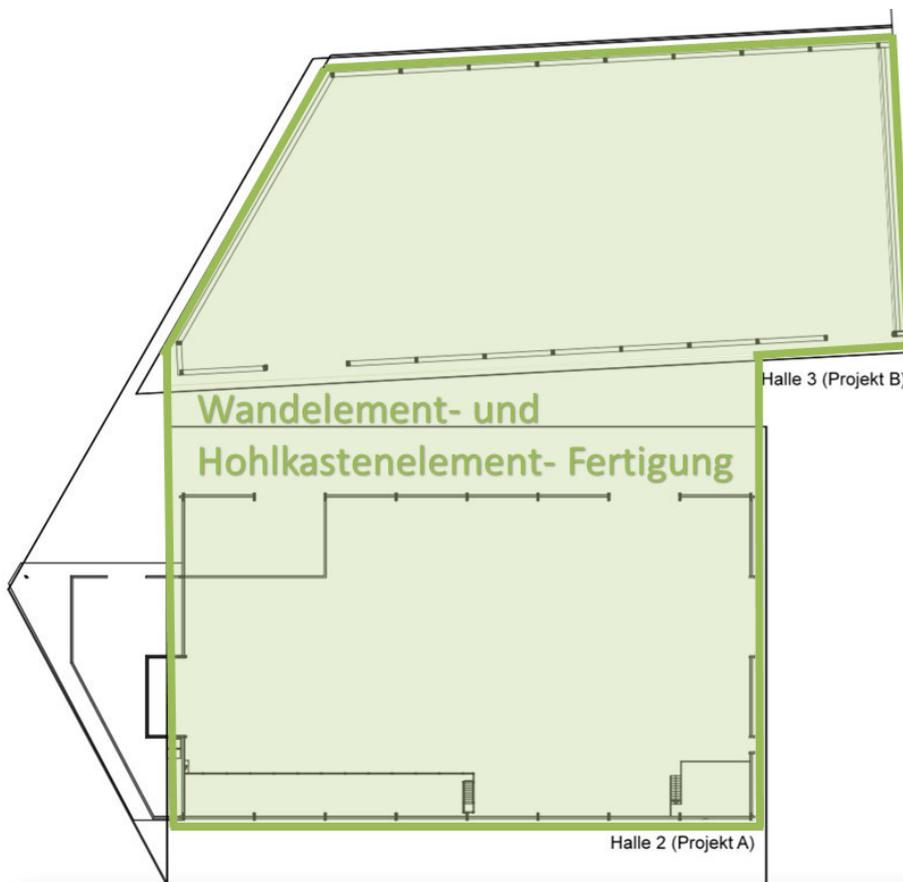


Abbildung 5.24: Verbundene Fertigung (Variante 2)

Durch die Verbindung beider Betriebshallen müsste keine eindeutige Trennung der Fertigungssysteme unternommen werden. Die Positionierung der Maschinenanlagen könnte auf jene Tätigkeiten ausgelegt werden, die sowohl im Zuge der Wand-, als auch bei der Deckenfertigung auftreten. Auf diese Weise wird nicht nur Platz eingespart, vor allem die gemeinsame Nutzung der Maschinenausstattung würde eine deutliche Reduktion des Investitionsvolumens bedeuten. An dieser Stelle muss jedoch auch der höhere Aufwand gegenübergestellt werden, der mit den

baulichen Maßnahmen einer Hallenverbindung einhergeht. Des Weiteren würden durch die gemeinsame Nutzung gewisser Teile der Fertigungsanlagen ziemlich schnell die Kapazitätsgrenzen erreicht werden, was u.a. eine Unterbrechung bzw. einen Stillstand der Fertigungssysteme herbeiführen könnte. Vor allem die Anordnung bzw. Neugestaltung der Hallenöffnungen könnte sich als schwierig erweisen, da durch die Verbindung beinahe alle Öffnungen verbaut und damit unbrauchbar werden. Darüber hinaus stünden für die An- bzw. Ablieferung der Materialien lediglich die Stirnseite der Halle 2 und ein vorhandenes Tor von Halle 3 zur Verfügung, da ein weiteres Segment an Halle 3 angrenzt.

▪ Variante 3: Kombinierte Fertigung

Die dritte Variante im Sinne einer Neugestaltung sieht die Kombination beider Fertigungssysteme jeweils in beiden vorhandenen Betriebshallen vor. Eine schematische Darstellung dieser betrachteten Variante kann der nachfolgenden Abbildung entnommen werden.

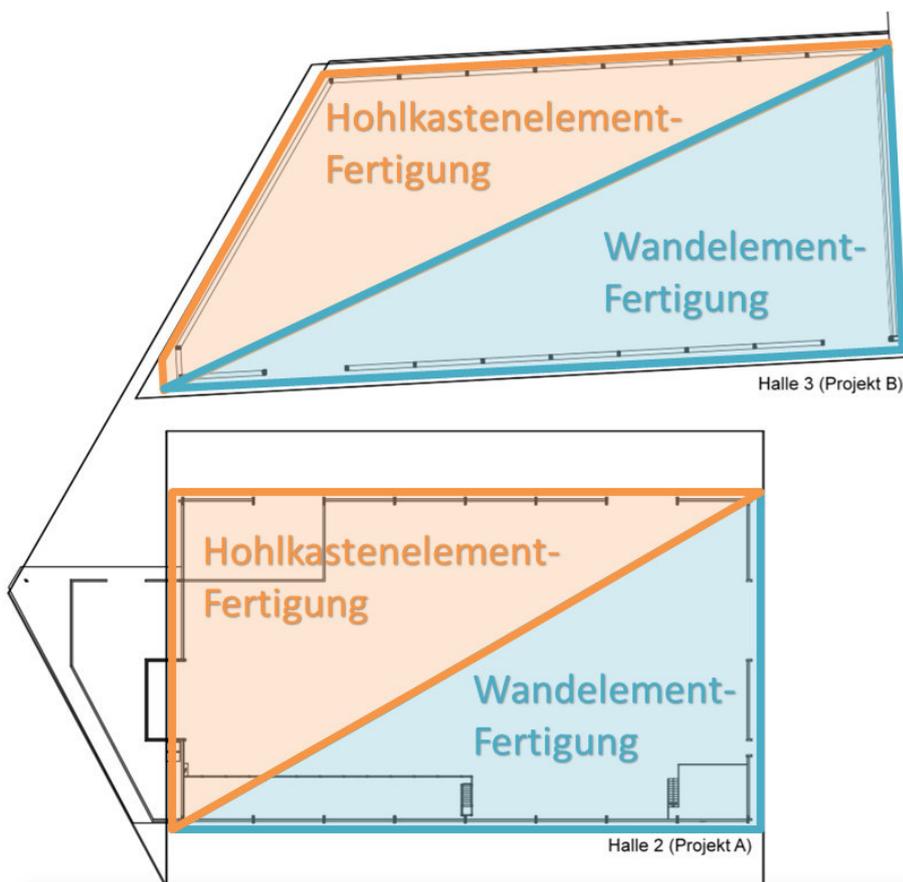


Abbildung 5.25: Kombinierte Fertigung (Variante 3)

Anhand einer Kombination beider Fertigungssysteme könnte auf den ersten Blick eine Verdoppelung der Kapazität erzielt werden. Nachdem ähnliche Tätigkeiten in beiden Fertigungssystemen betrachtet und ge-

mäß der REFA-Systematik analysiert wurden, kann durch die gemeinsame Nutzung einzelner Maschinenanlagen durchaus Platz eingespart werden. Eine detaillierte Betrachtung beider Hallengrundrisse liefert letztendlich die Erkenntnis, dass eine kombinierte Fertigung in den vorliegenden Betriebshallen als nicht günstig erscheint, da für die Fertigung der Wandelemente eine spezielle Anordnung von Arbeitstischen mit Wendemöglichkeit benötigt wird. Für die Herstellung der Hohlkastenelemente ist jedoch eine gewisse Anzahl druckluftunterstützter Presseeinheiten erforderlich, wodurch das vorhandene Platzangebot in den bestehenden Betriebshallen nicht ausreicht.

Im nachfolgenden Abschnitt werden den theoretischen Möglichkeiten der Hallenumgestaltung unterschiedliche Einflussgrößen zu Grunde gelegt. Auf diese Weise sollte jene Variante bestimmt werden, die für eine Neu- bzw. Umstrukturierung der Betriebshallen am besten geeignet erscheint.

5.5.2 Einflussgrößen für die Variantenauswahl

Folgende Einflussgrößen werden zur Bestimmung der Umgestaltungsvariante herangezogen und bewertet:

▪ Investitionskosten

Unter diesem Parameter werden nicht nur die Kosten der Maschinenausstattung, sondern auch die baulichen Maßnahmen monetär abgewogen. Die Einstufung basiert auf dem Versuch einer Abschätzung, da für diese Bewertung keine konkreten Angebote eingeholt wurden.

Nachdem bei Umgestaltungsvariante 1 aus dem Kapitel 5.5.1 keine baulichen Maßnahmen beabsichtigt werden, kann von eher geringen Investitionskosten ausgegangen werden. Durch die Verbindung von Betriebshalle 2 mit Betriebshalle 3, welche bei Variante 2 vorgesehen ist, kann mit erhöhten Investitionskosten gerechnet werden. Obwohl auch bei der dritten Variante keine baulichen Maßnahmen angedacht sind, sollte jedoch die doppelte Anschaffung aller Fertigungsanlagen durchwegs beachtet werden.

▪ Leistung/Output

Die Einstufung der Leistung bzw. Leistungsfähigkeit kann aufgrund fehlender Detailausarbeitungen der Umgestaltungsvarianten nur grob abgeschätzt werden.

Aufgrund einer gezielten Umstrukturierung aller Fertigungsanlagen wird vor allem bei Variante 1 eine klare Steigerung des Outputs erwartet. Auch bei Variante 2 wird aufgrund des baulichen Zusammenschlusses und des daraus resultierenden Platzangebotes eine deutliche Steigerung

der Leistung erwartet. Die Leistungserhöhung von Variante 3 lässt sich auf die zweifache Anordnung beider Fertigungslinien zurückführen.

▪ **Gegenseitige Abhängigkeiten**

Beim Thema der gegenseitigen Abhängigkeiten werden die Zusammenhänge beider Fertigungssysteme untereinander näher betrachtet und versucht zu beurteilen. Die gemeinsame Nutzung einer Produktionsanlage würde zwar zu einer Reduktion der Investitionskosten beitragen, gegenseitige Behinderungen während der Fertigung würden jedoch einen Stillstand beider Fertigungslinien verursachen und somit die Produktivität senken.

Der Parameter der gegenseitigen Abhängigkeiten wird bei der ersten Variante als gleichbleibend eingestuft, da im Vergleich zur aktuellen Fertigungssituation keine Verbesserung erzielt werden könnte. Hingegen ist bei den Varianten 2 und 3 eine gemeinschaftliche Nutzung bestimmter Maschinenanlagen möglich. Ein Stillstand dieser Maschinen würde jedoch Einbußen in der Produktivität beider Fertigungssysteme bewirken.

▪ **Personaleinsatz**

Die Beurteilung des Personaleinsatzes beschränkt sich auf die Anzahl der Arbeitskräfte, die für jede Variante der Neugestaltung benötigt werden.

Da bei Variante 1 eine separate Anordnung der Fertigungssysteme beibehalten wird, tritt keine Änderung hinsichtlich des Personaleinsatzes ein. Hingegen können bei der zweiten Variante durch den Zusammenschluss der Betriebshallen oder durch die gemeinsame Nutzung gewisser Anlagen durchaus Arbeitskräfte eingespart werden, wodurch eine Verbesserung der aktuellen Situation hervorgerufen werden könnte. Durch die doppelte Anordnung der Fertigungslinien bei Variante 3 wird jedoch eine deutlich höhere Anzahl an Arbeitskräften im Vergleich zu den anderen beiden Varianten benötigt.

▪ **Lagermöglichkeiten**

Bei der Bewertung der Lagermöglichkeiten wird versucht eine Bewertung der Lagermöglichkeiten einer jeden Variante der Neugestaltung zu erstellen. Darüber hinaus wird besonderes Augenmerk auf die Zugangsmöglichkeiten zu diesen Bereichen gelegt.

Eine gezielte Neustrukturierung der Fertigungsanlagen könnte bei Variante 1 durchaus zu einer Erhöhung der vorhandenen Lagerflächen beitragen. Durch den Zusammenschluss der Betriebshallen könnte auch bei Variante 2 eine Verbesserung erzielt werden, wohingegen Variante 3

durch die doppelte Anordnung beider Fertigungssysteme kaum Lagerflächen zuließe.

▪ **Hallenöffnungen**

In der Beurteilung der Hallenöffnungen wird die Anzahl der Zugänge berücksichtigt, die sich bei jeder Variante einer Neugestaltung realisieren ließen. Nachdem eine hohe Anzahl von Hallenöffnungen zu einer Verringerung von Störungen anderer Arbeitsbereiche beitragen würde, wird die Bewertung dieses Parameters entsprechend der Anzahl an Hallenöffnungen vorgenommen.

Eine intelligente Umstrukturierung der Maschinenanordnung bei Variante 1 könnte durchaus zur Generierung mehrerer Hallenöffnungen beitragen. Durch den Zusammenschluss der Betriebshallen bei Variante 2 werden jedoch genau jene Zugänge eingeschlossen, die eine Verbesserung der vorliegenden Situation bewirken würden. Wie bereits bei Variante 1, kann auch bei Variante 3 durch die gezielte Anordnung der Maschinenbauteile ein erhöhter Zugang zu den Hallenöffnungen geschaffen werden.

Anhand der Erläuterungen aller vorliegenden Parameter wird ersichtlich, dass die Umgestaltungsvariante 1 für die Neustrukturierung der Betriebshallen am besten geeignet erscheint. Infolgedessen wird der Fokus im abschließenden Kapitel 5.6 auf diese Variante gelegt, um weitestgehend konkrete Ansätze für die Neugestaltung der Betriebshallen aufbereiten zu können.

5.6 Ansätze als Entscheidungsgrundlage

Die Ansätze einer Entscheidungsgrundlage umfasst die Ausarbeitung verschiedener Um- und Neugestaltungsmaßnahmen in den bestehenden Betriebshallen. Dabei wird versucht, den Großteil der bereits vorgestellten Optimierungs- bzw. Veränderungsvorschläge aus den detaillierten Betrachtungen beider Fertigungssysteme miteinzubeziehen. Die Darstellung der Anlagenbestandteile erfolgt überwiegend in schematischer Art, wobei versucht wird, der Realität entsprechende Bauteilabmessungen abzubilden. Aus der Variantenstudie geht hervor, dass eine getrennte Fertigung von Wand- und Deckenelementen am Sinnvollsten erscheint. Somit wird für die Variante 1 eine vertiefte Ausarbeitung mit einer gänzlich getrennten Bauteilfertigung vorgenommen.

5.6.1 Umgestaltung Wandfertigung-Betriebshalle 2

In der nachfolgenden Abbildung ist die Umgestaltung des maschinellen Layouts von Betriebshalle 2 schematisch dargestellt, die einen optimierten Prozess der Vorfertigung von Wandelementen abzubilden versucht. Im Anhang ist eine maßstabsgetreue Abbildung beigelegt.

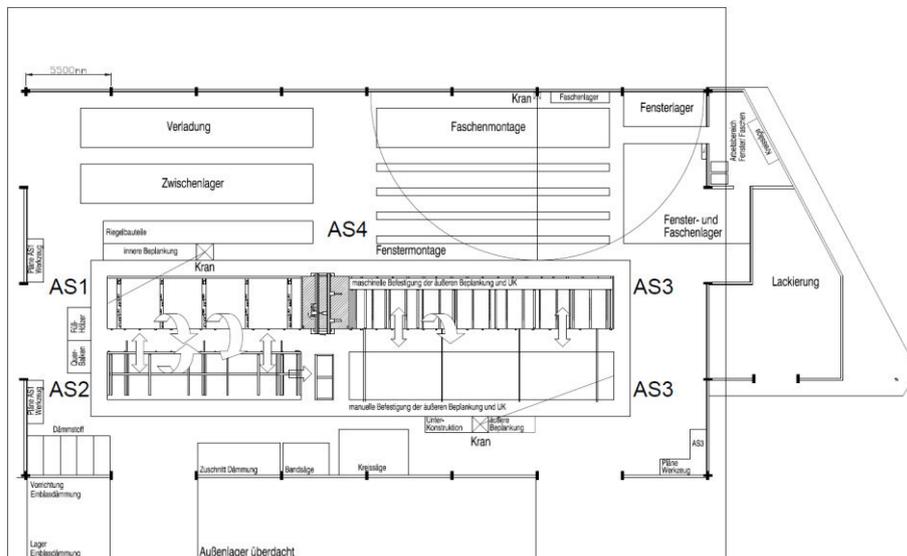


Abbildung 5.26: Umgestaltung Wandfertigung-Betriebshalle 2

Wie der Abbildung 5.26 zu entnehmen ist, sind für die künftige Fertigung von Wandelementen insgesamt vier Arbeitsstationen vorgesehen, wobei folgende Tätigkeiten, ähnlich jenen im untersuchten Ablauf, zu verrichten sind:

| Tätigkeiten | | | |
|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Arbeitsstation 1 [AS1] | Arbeitsstation 2 [AS2] | Arbeitsstation 3 [AS3] | Arbeitsstation 4 [AS4] |
| Zusammenbau des Riegelwerkes | Befestigung der Winkel | Fixierung der äußeren Beplanung | Vorbereitungsmaßnahmen Fenstereinbau |
| Einbau der Stellbretter | Vorbereitung der Dämmung | Ablebung der äußeren Beplanung | Fenstereinbau |
| Einbau der Querbalken | Einbau der Dämmung | Befestigung der Unterkonstruktion | Einbau der Glasleisten |
| Ausrichtung des Elementes | Einbau der Füllhölzer | Einbau der Dichtung | Einbau der Fensterfaschen |
| Befestigung der Dampfbremse | | | |
| Fixierung der inneren Beplanung | | | |
| Verputzen der inneren Beplanung | | | |

Tabelle 5.3: Tätigkeiten je Arbeitsstation (Neuplanung Halle 2)

Im Vergleich zur untersuchten derzeitigen Fertigungssituation wird vor allem die Anordnung der Zimmerer-Montagetische gänzlich umstrukturiert. Wie bereits aus der Analyse der Vorfertigung hervorgeht, werden aufgrund der vorliegenden Positionierung von Maschinen bzw. Arbeitsstationen alle zusätzlich verfügbaren Hallenöffnungen blockiert, wohingegen durch die Umstrukturierung ein benutzbarer Zugang durch alle Tore geschaffen werden könnte. Der Abbildung 5.26 kann entnommen werden, dass auf diese Weise jeder Arbeitsbereich unabhängig voneinander mit Materialien versorgt werden könnte, ohne Störungen anderer Arbeitsstationen auszulösen. Um jedoch die neustrukturierte Anordnung der Maschinenbestandteile realisieren zu können, muss u.a. die Auslagerung des Lackiertraumes sowie die Entfernung der Galerie zur Dämmstofflagerung erfolgen. Zudem wird die Vorrichtung zum Einblasen der Zellulosedämmung in die unmittelbare Nähe von AS2 versetzt, um die Rohrängen und Rohreibrungsverluste, die Zeitverluste verursachen, zu verkürzen. Das neue Platzangebot könnte im Gegenzug für die Lackierung von Holzbauteilen verwendet werden. Eine weitere Änderung besteht in der Neuanschaffung individuell angepasster Hebevorrichtungen. Wie der Abbildung 5.26 zu entnehmen ist, werden dafür vorzugsweise stationäre Anlagen eingeplant, wodurch eine Entlastung des Hallenkrans bewirkt werden könnte. Neben den Arbeitstischen von AS1 und AS3 wird auch für den Fenstereinbau an AS4 ein derartiger Säulenschwenkkran vorgesehen. Anhand dieser individuellen Lösung könnte die Installation eines zweiten Hallenkrans vermieden werden. Des Weiteren würde die mehrmalige Anordnung von ähnlichen Werkzeugen und Planunterlagen eine Reduktion von langen Laufwegen ergeben, wodurch eine Steige-

rung der Fertigungsgeschwindigkeit erzielt werden könnte. Zusätzlich sind die Werkzeuge und Maschinenanlagen maßgeschneidert auf die jeweiligen Arbeitsstationen abgestimmt. Ebenso wird ein sog. Zugschnittautomat für Dämmstoffe, wie auch die bestehende Bandsäge direkt neben der Arbeitsstation 2 positioniert. Hingegen wird die Tischkreissäge für die Nachbearbeitung von Beplankungswerkstoffen unmittelbar in der Nähe von AS1 und AS3 angeordnet. Für Arbeitsstation 4 wird zusätzlich eine Tischkreissäge vorgesehen, an der die Anschlaghölzer bearbeitet bzw. Änderungen an Fenster- oder Fascheneinbauteilen vorgenommen werden könnten. Wie der Abbildung des Weiteren zu entnehmen ist, wird der Arbeitsbereich des Fenster- und Fascheneinbaus direkt an die vorgelagerte Arbeitsstation 3 angeschlossen. Diese kurzen Transportwege führen im Gegenzug zu einer Optimierung des Fertigungsablaufes. Auch die Verladung ist direkt an den Bereich des Fascheneinbaus angeschlossen, wobei das neu erschlossene Hallentor den direkten Abtransport der fertiggestellten Bauteile ermöglicht. Auch der vorgesehene Bereich der Zwischenlagerung ist mit einer geringeren Anzahl an Störeinflüssen verbunden, da die bisherige Anordnung eine ordnungsgemäße Funktion der Montagetasche verhindert.

Durch die vorliegende Neugestaltung könnten aus Sicht der Analyse nicht nur die Investitionskosten niedrig gehalten werden. Vor allem die Umsetzung der Optimierungsmaßnahmen würde eine deutliche Erhöhung der Fertigungskapazität hervorrufen. Die durchdachte Positionierung sämtlicher bestehender und teils neu anzuschaffender Anlagenkomponenten, mit der Möglichkeit individueller Materialversorgung einzelner Arbeitsbereiche, würde neben weiteren Optimierungsmaßnahmen zu einer Verbesserung des Fertigungsprozesses beitragen.

5.6.2 Umgestaltung Deckenfertigung-Betriebshalle 3

Die Um- bzw. Neugestaltung von Betriebshalle 3 beinhaltet den Versuch einer Optimierung des Vorfertigungsprozesses von verklebten Hohlkastenelementen. Im Gegensatz zu Projekt A kann der Fertigungsplanung von Projekt B ein bereits im Vorfeld angepasster Ablauf zu Grunde gelegt werden, da aufgrund des bereits durchgeführten Maschinenrückbaus der gesamte Hallengrundriss in voller Ausdehnung zu Neugestaltung zur Verfügung steht. In der nachfolgenden Abbildung ist diese Optimierung der Betriebshalle 3 schematisch dargestellt, wobei eine maßstabgetreue Abbildung im Anhang beigefügt ist.

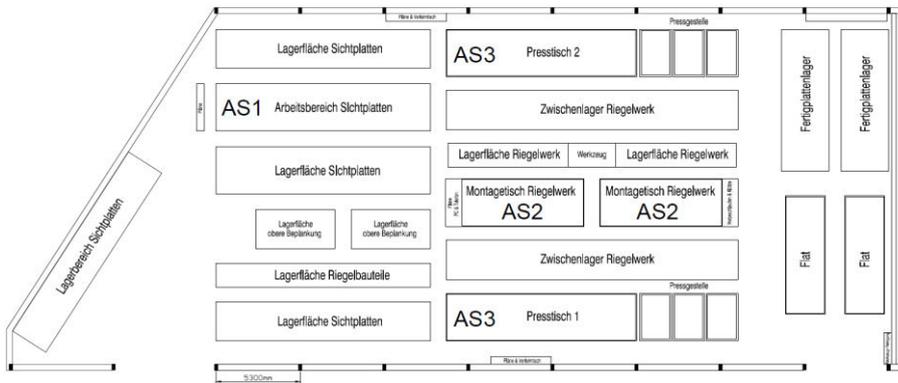


Abbildung 5.27: Umgestaltung Deckenfertigung- Betriebshalle 3 (mit Platten-zuschnitt)

Wie der Abbildung 5.27 zu entnehmen ist, sind für die Vorfertigung von verklebten Hohlkastenelementen wie bereits im bestehenden Prozess drei Arbeitsstationen vorgesehen, an denen folgende Tätigkeiten durchgeführt werden müssten:

| Tätigkeiten | | |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Arbeitsstation 1 [AS1] | Arbeitsstation 2 [AS2] | Arbeitsstation 3 [AS3] |
| Bearbeitung der Sichtplatten | Zusammenbau des Riegelwerks | Pressvorbereitung Sichtplatten |
| | Ausrichtung des Elements | Pressvorbereitung Riegelwerk |
| | Einbau der Hebeschlaufen | Verklebung |
| | Montage der Winkel | Presse schließen |
| | Montage der oberen Beplankung | Presse öffnen |

Tabelle 5.4: Tätigkeiten je Arbeitsstation (Neuplanung Halle 3)

Bei genauerer Betrachtung ist zu erkennen, dass der aktuelle Fertigungsablauf beibehalten wird, wodurch die Optimierungsmaßnahmen in erster Linie nicht mit einer Umstrukturierung der Fertigungskomponenten zusammenhängen. Eine aus Sicht der Analyse wesentliche Verbesserungsmaßnahme liegt in der konstruktiven Verstärkung der Montagetsche. Auf diese Weise könnte nicht nur die Fertigungsgeschwindigkeit, sondern auch die Qualität der Endprodukte gesteigert werden. Nachdem sehr viele Tätigkeiten kranunterstützt und mit unterschiedlichen Hebemitteln abgewickelt werden, können an gewissen Punkten des Prozesses Wartezeiten entstehen. Da an den verschiedenen AS die Anordnung mobiler Hebeeinrichtungen aus Platzgründen nicht möglich ist, wird als Optimierungsmaßnahme die Installation einer zweiten Hallenkränbrücke auf der bestehenden Kranbahn angedacht. Dabei wird ein Hallenkran ausschließlich für die Bearbeitung der Sichtplatten herangezogen, wo-

hingegen der zweite Kran zur Versorgung von Arbeitsstation 2 und 3 bereit steht. Die Aufteilung der Arbeitsbereiche basiert primär auf der Verwendung unterschiedlicher Hebemittel, die in der Analyse den Großteil der Wartezeiten verursachten. Zudem trägt eine klare Trennung der Arbeitsstationen dazu bei, dass sich die Hallenkrane selten gegenseitig behindern würden. Eine weitere Umgestaltungsmaßnahme ist mit der Neupositionierung des Telefons und Computers angedacht. Zur besseren Erreichbarkeit werden beide Geräte möglichst zentral in der Halle angeordnet, sodass den Arbeitskräften aller Stationen möglichst kurze Laufwege vorliegen. Die Anordnung befindet sich daher unmittelbar im Anschluss zu den Montagetaschen von Arbeitsstation 2, wo auch künftig die zusätzlichen Planunterlagen vorzufinden wären. Eine der wahrscheinlich auch in Bezug auf die Betriebskosten wirkungsvollsten Verbesserungen könnte mit der Einhausung beider Presstische erzielt werden. Da die Presszeit mit höherer Umgebungstemperatur reduziert wird, könnte durch diese Maßnahme eine deutliche Steigerung der Fertigungskapazität ermöglicht werden. Zudem würde es zu einer Reduktion der Energiekosten kommen, da die Wärme gezielt auf den Presstischen verteilt wird. Eine detaillierte Planung der Einhausung ist in dieser Arbeit nicht enthalten. Aus Platzgründen sollte jedoch eine flexible Konstruktion angedacht werden, die den ständigen Zugang zu beiden Presstischen sicherstellt. Für eine einfache Konstruktion würden sich zwei gelenkig miteinander verbundene Bauteile eignen, die an der Hallenwand drehbar gelagert sind. Der Hebe- bzw. Senkvorgang könnte mit einer funkgesteuerten Seilwinde einfach realisiert werden. In der nachfolgenden Abbildung ist eine schematische Abbildung dieses Konstruktionsentwurfs dargestellt.

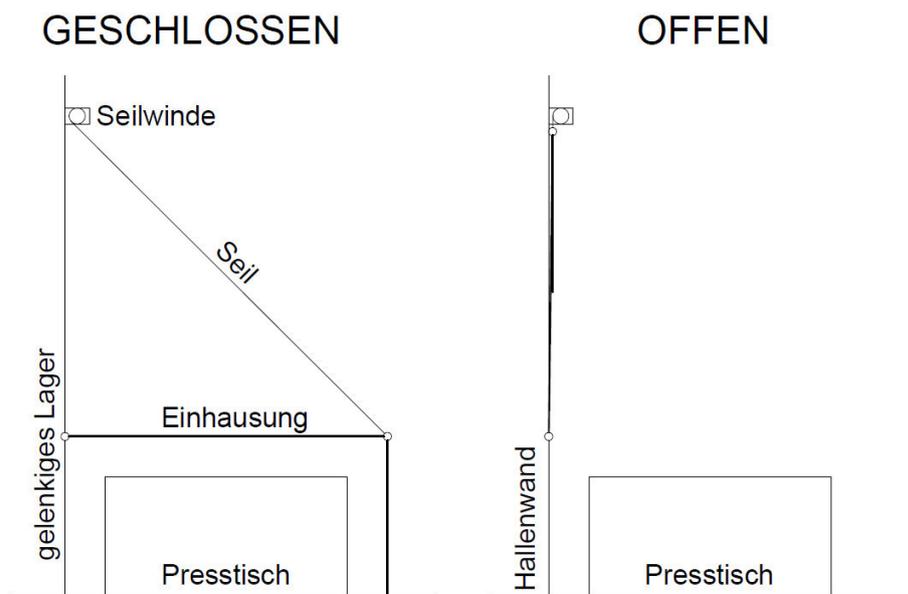


Abbildung 5.28: Entwurf Einhausung Presstische

Da der Zuschnitt der Sichtplatten aufgrund des ausgedehnten Bauteilformates nicht mithilfe einer computergesteuerten CNC-Anlage abgewickelt werden kann, muss diese Arbeit auch künftig innerhalb der Betriebshalle abgewickelt werden. Da die Abmessungen dieser Plattenwerkstoffe durchaus auf das maximale Bearbeitungsmaß der CNC-Anlage abgestimmt werden können, ist in der nachfolgenden Abbildung eine Neugestaltung mit ausgelagertem Plattenzuschnitt dargestellt.

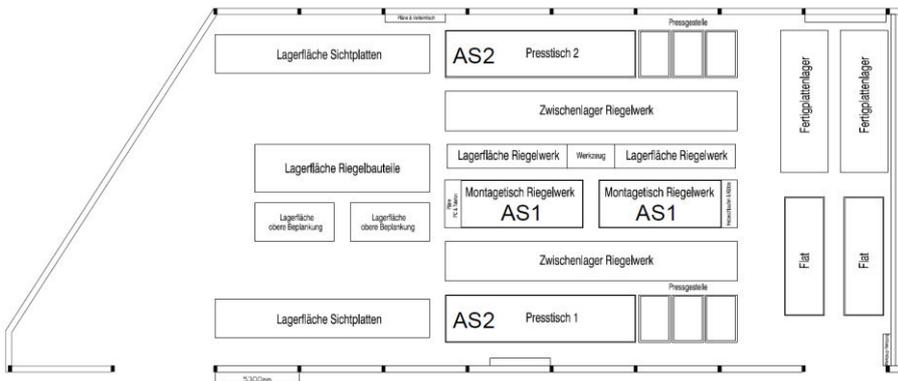


Abbildung 5.29: Umgestaltung Deckenfertigung- Betriebshalle 3 (ohne Plattenzuschnitt)

Wie der Abbildung 5.29 zu entnehmen ist, wird durch die Auslagerung des Plattenzuschnittes zusätzlicher Platz frei, der ohnehin für die Materialanlieferung mittels Seitenstapler benötigt wird. Da auf diese Weise ein verbesserter Zugang in die Betriebshalle geschaffen wird, könnte das bestehende Hallentor für die Materialanlieferung besser genutzt werden, sodass weniger Störungen in anderen Arbeitsbereichen hervorgerufen werden. Durch die gänzliche Auslagerung des Plattenzuschnittes könnte zudem eine Arbeitskraft in der Vorfertigung eingespart und die Investition eines zusätzlichen Hallenkrans verhindert werden.

Die Neugestaltung bzw. Umsetzung der genannten Verbesserungsmaßnahmen würde nicht nur die Investitionskosten gering halten. Vor allem die Fertigungskapazität könnte dadurch erhöht werden. Neben weiteren Optimierungsmaßnahmen würden die Auslagerung des Plattenzuschnittes und die Einhausung der Presseinheiten zu einer Verbesserung des Fertigungsprozesses beitragen.

5.6.3 Gesamtbetrachtung

Im Zuge einer Gesamtbetrachtung wird abschließend der gegenseitige Einfluss beider Fertigungssysteme untersucht. Dazu ist in der nachfolgenden Abbildung die geplante Anordnung beider neugestalteten Betriebshallen dargestellt, welche die Grundlage der Gesamtbetrachtung bildet.

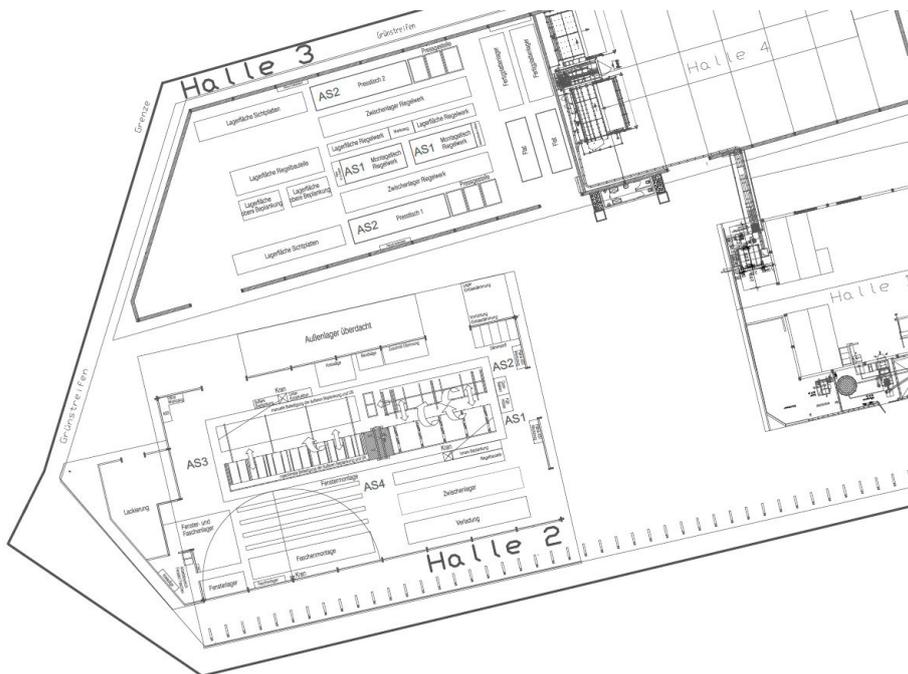


Abbildung 5.30: Gesamtbetrachtung

Auf den ersten Blick können in Abbildung 5.30 keine gegenseitigen Störungen lokalisiert werden. Bei genauerer Betrachtung wird jedoch ersichtlich, dass die Nutzung der jeweils gegenüberliegenden Hallentore aufgrund des geringen Platzangebotes zwischen den beiden Fertigungshallen für den An- und Abtransport von Materialien sowie das Verfahren mit Flurfahrzeugen durchwegs problematisch erscheint. Im Besonderen sollte dabei auf die Gestaltung des vorgesehenen Außenlagers vor Halle 2 geachtet werden, um einen Zugang zu allen Hallenöffnungen zu ermöglichen. Dabei sollte die Lagerungsgrenze nicht unmittelbar mit der Außenkante des Dachvorsprunges einhergehen, damit für die Anlieferung von Rohmaterialien ausreichend Platz zur Verfügung steht. Zudem wird die Bearbeitung der großformatigen Sichtplatten bereits im Zuge der Bauteilvorbereitung empfohlen, um einerseits einen reibungslosen Fertigungsablauf in Halle 3 zu ermöglichen und andererseits die Materialanlieferung durch die vorgesehene Hallenöffnung abwickeln zu können. Durch die Umgestaltung der Betriebshallen wird aus Sicht der Analyse ein nur geringer gegenseitiger Einfluss beider Fertigungssysteme verursacht, wodurch in Summe verbesserte Produktionsbedingungen ohne gegenseitige Abhängigkeiten bzw. Behinderungen geschaffen werden könnten.

Durch die Neugestaltung der Betriebshallen könnte ein gutes Zusammenspiel beider Fertigungssysteme erzielt werden. Infolge der beibehaltenen Trennung beider Betriebshallen kann zudem ein flexibler und vor allem individuell angepasster Fertigungsablauf erreicht werden, in dem die vorgestellten Optimierungsvorschläge aus den Beobachtungen umgesetzt werden. Auf diese Weise werden nicht nur die Fertigungssysteme

me selbst verbessert, eine damit einhergehende Verringerung der Aufwandswerte würde zudem eine Reduktion der entstehenden Fertigungskosten sowie eine Steigerung der Fertigungskapazität bewirken.

6. Potentiale und Ausblick

Die Entstehung erster Vorfertigungen von Elementen reicht bis zu den Anfängen des menschlichen Bauens zurück.⁴⁵³ Die Akzeptanz und Weiterentwicklung der technischen Möglichkeiten ist allerdings einem ständigen Wandel unterworfen. Der erste Aufschwung der industriellen Vorfertigung wurde durch die britische Kolonialisierung und der damit verbundenen Besiedelung des nordamerikanischen Kontinents erzielt. Mit dem steigenden Bedarf an flexiblen und leicht transportierbaren Eigenheimen in Großbritannien wurde im 18. Jhdt. ein spezielles Gebäudekonzept entwickelt, welches eine serielle Produktion in Fabrikhallen zuließ. Die Grundstruktur dieser Gebäude basierte dabei auf der heutzutage bekannten Holz-Skelettbauweise.⁴⁵⁴

Besonders die in den vergangenen 25 Jahren entwickelten modernen Holzbauprodukte haben erneut zu einem starken Anstieg der Industrialisierung vor allem im konstruktiven Holzbau beigetragen. Als Resultat der zunehmenden Technologisierung ist die Flexibilisierung der Produktionsprozesse zu nennen. Die Wirtschaftlichkeit eines Produktionssystems ist dabei nicht länger von der eigentlichen Seriengröße abhängig, sondern vielmehr von der Erarbeitung eines intelligenten Konzeptes der Bauteilfügung bzw. Kombination miteinander. Auf diese Weise können eine Vielzahl neuer Betätigungsfelder für Holzbaubetriebe geschaffen werden, die den Holzbau und dessen Produkte zunehmend weiterentwickeln.

⁴⁵³ VGL. SCHNITTICH, C.: Editorial. In: Detail Zeitschrift für Architektur + Baudetail; Vorfertigung, 6/2012. S. 586.

⁴⁵⁴ VGL. HANNEMANN, C.: Die Platte, industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. S. 29.

6.1 Zusammenfassung und Erkenntnisse

Der positive Trend des Holzbaus kann u.a. durch die Entwicklung neuartiger Holzprodukte, aber auch durch die laufende Verbesserung und Optimierung der eigentlichen Fertigungstechniken begründet werden. Besonders im Holzbau wird dahingehend gezielt auf eine flexible, aber auch leistungsfähige Vorfertigung von Elementen und Bauteilen gesetzt, um einerseits die Vorteile des Baustoffes bestens ausnützen zu können und andererseits den geforderten Ansprüchen des Marktes gerecht zu werden.

In Kooperation mit der Firma Zimmerei Sieveke GmbH wurde im Zuge dieser Masterarbeit gezielt auf die Untersuchung und Optimierung der bestehenden Fertigungsprozesse im Unternehmen eingegangen. Diesbezüglich wurde sowohl die Produktion von klassischen Holzrahmenelementen, als auch die Fertigung von verklebten Hohlkastenelementen analysiert und in weiterer Folge gegenübergestellt. Die Auswahl der Projekte basierte dabei auf einer geplanten Neu- bzw. Umgestaltung von zwei bestehenden Betriebshallen, die für die Vorfertigung derartiger Projekte optimiert werden sollten. Dazu wurde eine umfangreiche Datensammlung während der Fertigung vor Ort vorgenommen, wobei die Datenaufnahme nach der sog. Multimomentaufnahme entsprechend dem System REFA erfolgte. Im Zuge dieser Aufnahme wurden einzelne Tätigkeiten, getrennt nach Arbeitskräften und Arbeitsstationen, in einem bestimmten Beobachtungszeitraum erhoben, um in weiterer Folge Tätigkeitsverteilungen und daraus resultierende Aufwandswerte für die Kalkulation ermitteln zu können. Diese Aufwandswerte werden künftig in erster Linie zur Aktualisierung der bestehenden Daten verwendet bzw. als Entscheidungsgrundlage für die Neugestaltung der Fertigungssysteme herangezogen. Neben der Auswertung einzelner Arbeitsschritte wurde großer Wert auf die Analyse des bestehenden Fertigungsablaufes gelegt. Dazu wurden u.a. Personal- wie auch Materialflüsse aufgezeichnet, die Auskunft über Schwachstellen und somit Potentiale im Produktionsprozess geben konnten. Anhand aller gesammelten Daten wurde eine Grundlage für die Neugestaltung bzw. Optimierung des Fertigungsablaufes gebildet. Dabei wurden konkrete Lösungsvorschläge erarbeitet, die unterschiedliche Möglichkeiten der Bauteilfertigung am bestehenden Firmenareal abbilden.

Zu den wesentlichsten Erkenntnissen aus den einzelnen Beobachtungen zählen die ermittelten Aufwandswerte, die sowohl als Netto- als auch Bruttoaufwandswert errechnet wurden. Dabei beschreibt der Nettoanteil jenen Zeitwert, der ausschließlich auf die auszuführende Tätigkeit zurückzuführen ist, wobei der Bruttoanteil auch die Summe aller Unterbrechungen beinhaltet. Im Zuge der Auswertung beider Projekte konnte speziell bei den Anfangstätigkeiten ein erhöhter AW_{brutto} festgestellt werden, was auf Unklarheiten in den Planunterlagen bzw. Missverständnissen in der Arbeitsvorbereitung zurückzuführen ist. Weitere Erkenntnisse

wurden aus den Flussdiagrammen abgeleitet, die während den Beobachtungen erstellt wurden. Vor allem bei der Vorfertigung von Holzrahmenelementen wurden aufgrund der, aus Sicht des Verfassers, ungünstigen Anordnung der Arbeitsstationen vorhandene Hallentore blockiert und somit Engpässe im Fertigungsablauf verursacht. Daraus resultierende, längere Laufwege sind u.a. für eine Erhöhung der Aufwandswerte verantwortlich. In Summe ist die gesamte Produktionsleistung aufgrund der derzeitigen Maschinenanordnung bzw. Geräteausstattung gewissermaßen eingeschränkt.

Nachdem die Beobachtungen in der Vorfertigung von verklebten Hohlkastenelementen direkt mit dem Beginn dieser Arbeiten starteten, konnte ein erhöhter Anteil an zusätzlichen Nebentätigkeiten festgestellt werden. Die Nebentätigkeiten setzten sich überwiegend aus Arbeiten zusammen, die zusätzlich zur geplanten Produktionsleistung aufgrund unzureichender Arbeitsvorbereitung abgewickelt werden mussten. Nachdem zu Projektbeginn ein sog Einarbeitungszeitraum benötigt wird, tragen solche Tätigkeiten vermehrt zu Leistungsabfällen der Arbeitskräfte bei. Zusätzlich erhöht sich der Aufwandswert, wodurch einerseits die Einhaltung des Zeitplanes gefährdet ist und andererseits die Produktionskosten von den kalkulierten Werten abweichen.

Abgesehen von diesen zusätzlichen Nebentätigkeiten, die zu Projektbeginn auftreten, konnte bei der Gegenüberstellung beider untersuchter Fertigungssysteme in bestimmten Tätigkeitsbereichen ein hoher Grad an Übereinstimmung festgestellt werden. Auch die Gegenüberstellung vergleichbarer Tätigkeiten lieferte durchaus ähnliche Ergebnisse. All diese Erkenntnisse konnten in weiterer Folge für die Neugestaltung der Betriebshallen herangezogen werden, um einerseits eine verbesserte Abfolge der einzelnen Arbeitsschritte und andererseits eine kostenoptimierte Lösung aufbereiten zu können.

Anhand dieser Masterarbeit wurden nicht nur die bestehenden Fertigungssysteme detailliert untersucht und ausgewertet. Vor allem die Ausarbeitung konkreter Umgestaltungsmaßnahmen kann als Grundlage für die künftige Entscheidungsfindung im Unternehmen angesehen werden.

6.2 Potentiale der Datenerfassung und -auswertung

Die Datenerfassung während der Vorfertigung erfolgte mit sog. Datenerfassungsbögen, welche bereits im Vorfeld an die durchzuführenden Tätigkeiten angepasst wurden. Dazu wurde in erster Linie ein Gespräch mit dem Projektleiter vor Ort, wie auch die Durchführung von Pre-Tests während der Vorfertigung vorgenommen. Somit konnten die Bögen an die vorliegenden Gegebenheiten angepasst und Unklarheiten aufgrund nachträglicher Ergänzungen vermieden werden. Die gesammelten Daten wurden erst nach Ende des Beobachtungszeitraumes in ein Tabellenkalkulationsprogramm eingetragen. Die Verwendung eines elektronischen Datenerfassungsgerätes würde künftig sowohl den Interpretationsspielraum vorhandener Daten begrenzen, als auch den Mehraufwand der manuellen Eingabe reduzieren.

Die Genauigkeit der Datenerfassung hängt in erster Linie von den zeitlichen Abständen zwischen den einzelnen Momentaufnahmen zusammen. In den für diese Arbeit vorliegenden Studien wurden diese Intervalle mit fünf Minuten definiert, da die Anzahl der mitwirkenden Arbeitskräfte keine geringere Zeitspanne zuließen. Mit einer Verringerung könnten jedoch die einzelnen Arbeitsvorgänge umfangreicher und detaillierter erfasst werden, wodurch die Ergebnisse der Datenauswertung auch exaktere Ergebnisse liefern würden.

6.3 Potentiale des industriellen Holzbaus

Nach dem Vorbild der Automobilindustrie haben mittlerweile eine Vielzahl an Branchen die Vorteile der industriellen Produktion wahrgenommen. Dass auch in der Baubranche deutliches Potential einer automatisierten Vorfertigung gegeben ist, zeigen einerseits musterhaft umgesetzte Bauprojekte sowie zahlreiche Beiträge in der einschlägigen Fachliteratur.⁴⁵⁵

Im Vergleich zur Errichtung vor Ort, kann die Vorfertigung im Werk besonders durch ihre äußerst kurze Montagezeit auf der Baustelle überzeugen. Eine Erhöhung der Qualität und Verkürzung der Produktionszeit kann zudem mit einer Steigerung des Automatisierungsgrades erreicht werden. Eine im Jahre 2005 durchgeführte Studie⁴⁵⁶ besagt bspw., dass sich die gesamten Baukosten einer Immobilie durch eine Ausweitung der automatisch ablaufenden Fertigungsprozesse im Werk erheblich reduzieren lassen. Gleichzeitig wird auf das große Potential hingewiesen, welches speziell bei Holzkonstruktionen vorliegt. Der Anteil an Tätigkeiten, welcher sich nicht für eine Automatisierung eignet, beläuft sich lediglich auf 17%.⁴⁵⁷ Dabei werden u.a. die Befestigung von Hebeschlaufen oder die Einbringung von Dämmstoffbahnen genannt, wobei heutzutage funktionsfähige Lösungen hierfür existieren.

Der Baustoff Holz ist aufgrund seiner werkstoffspezifischen Eigenschaften beinahe wie kein zweiter Baustoff für die Vorfertigung geeignet. Neben dem geringen Eigengewicht, sind es vor allem die statisch hervorragenden Charakteristika, die eine leichte Verarbeitbarkeit während der Vorfertigung sicherstellen.⁴⁵⁸

Obwohl die Vorfertigung im industrialisierten Einfamilienhausbau, dem sog. Fertigteilhausbau, über die letzten Jahre rückläufig ist, kann vor allem der Marktsektor großvolumiger, industriell gefertigter Bauten durch die Vorfertigung deutlich gesteigert werden. Diese Meinung wird auch häufig in der fachlichen Literatur vertreten, welche das künftige Potential der industriellen Holzbauweise insbesondere bei großvolumigen Projekten sieht. Durch die Optimierung der Planungs- und Bauprozesse kann zudem eine Erhöhung der Qualität, wie auch eine terminliche und kostenbezogene Sicherheit im Bauwesen erzielt werden.⁴⁵⁹

⁴⁵⁵ VGL. RINAS, T.: Kooperation und innovative Vertriebskonzepte im individuellen Fertigteilhausbau. Entwicklung eines Geschäftsmodells. Doktorarbeit. S. 1.

⁴⁵⁶ VGL. KESSEL, M. et. al.: Innovativer Holzsystembau durch optimierte Fertigungs- und integrierte Planungsmethoden. Endbericht. S. 1ff.

⁴⁵⁷ VGL. a.a.O., S. 20.

⁴⁵⁸ VGL. LENNARTSSON, M.: Modularity in Industrialised Timber Housing. S. 3.

⁴⁵⁹ VGL. ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. S. 31.

In dieser Angelegenheit unterscheidet sich der Einsatz vorgefertigter Elemente grundlegend von der konventionellen Bauweise vor Ort. Besonders die Komplexität der organisatorischen bzw. produzierenden Prozesse kann durch einen hohen Vorfertigungsgrad deutlich gesenkt werden. Bei einer überwiegend handwerklichen Umsetzung eines Bauvorhabens ist der Bauherr erfahrungsgemäß mit der Anordnung und Koordinierung vieler, voneinander abhängiger und teils unabhängiger Gewerke konfrontiert. Hingegen werden bei der Abwicklung eines industriell vorgefertigten Projektes zumeist sämtliche Bauleistungen als Gesamtleistung eines Art Generalunternehmers angeboten.

Ein zusätzliches Potential des industriellen Holzbaus kann in der Minimierung der erforderlichen Entscheidungen seitens der Bauherren ausfindig gemacht werden. Anhand einer vordefinierten Anzahl unterschiedlicher Elementvarianten kann der Entscheidungsprozess für den Kunden deutlich vereinfacht werden, ohne die Variantenvielfalt und damit einhergehende architektonische Gestaltung reduzieren zu müssen.

Anhand der Vorfertigung im Werk wird neben einem einheitlich strukturierten Planungs- und Produktionsprozess vor allem eine größere Termin- und Kostensicherheit erzielt. Ein hoher Vorfertigungs- bzw. Automatisierungsgrad innerhalb einer Werksfertigung kann somit nicht nur die Montagezeit vor Ort deutlich reduzieren. Vielmehr kann der endgültige Realisierungszeitpunkt zielsicher vorhergesagt werden.

6.4 Ausblick und Entwicklungen

Neben besonderen materialspezifischen Eigenschaften sowie ökologischen Gesichtspunkten, sind es vor allem kurze Montagezeiten, die durch den Holzbau entstehen und diesen positiv beeinflussen. Diese Aspekte lassen sich insbesondere anhand eines hohen Vorfertigungsgrades realisieren, wodurch individuelle Einzellösungen bis hin zu großvolumigen Komplettlösungen kostenoptimiert angeboten werden können.

Der sog. industrielle Holzbau wird laut Fachliteratur⁴⁶⁰ jedoch nur dann an Bedeutung gewinnen, wenn der bis dato noch sehr durch traditionelle und handwerkliche Arbeitsschritte geprägte Produktionsprozess grundlegend verändert wird. Dieser Wandel kann nur mithilfe einer Umstrukturierung der Fertigungsmethoden und Einführung einer professionellen Vorfertigung erreicht werden. Eine industrielle Vorfertigung erfordert zudem eine präzise Vorausplanung sowie eine umfangreiche Arbeitsvorbereitung. Daraus resultierend kann sowohl eine schnelle Montage, aber auch eine deutliche Verbesserung der Produkt- bzw. Elementqualität erzielt werden. Erste Ansätze einer industriellen Vorfertigung im Holzrahmenbau können dem Kapitel 2.9.7 entnommen werden. In diesem Abschnitt werden insbesondere die technischen Möglichkeiten vollautomatisch arbeitender Fertigungsanlagen aufgezeigt.

Da speziell im Bauwesen selten ein Projekt dem Anderen gleicht, wird mit dem Ansatz der sog. Industrie 4.0⁴⁶¹ genau jene Kommunikation unter den Maschinen aufgebaut, die einzelne Werkstücke selbstkonfiguriert und selbstoptimiert ihren Weg durch die Produktion finden lässt. Zukünftig können auf diese Weise bereits individualisierte Produkte bis zur Losgröße eins unter den Rahmenbedingungen einer Massenproduktion abgewickelt werden. Das Herzstück der Industrie 4.0 wird durch Sensoren bzw. Funkschnittstellen gebildet, die sich am Werkstück befinden und mit ihrer Umgebung kommunizieren. Auf diese Weise kann den Maschinen mitgeteilt werden wie die Werkstücke bearbeitet bzw. gefertigt werden sollten und wo sie sich im Produktionsablauf gerade befinden.⁴⁶²

Für die Kommunikation zwischen Werkstück und Maschine befinden sich im Speicher der Sensoren sämtliche Informationen inkl. aller nötigen Bearbeitungsschritte, wodurch die Fertigung deutlich flexibler gestaltet werden kann. Menschen sind dabei über Schnittstellen mit der Sensorik verbunden und können bei Bedarf eingreifen. In den zukünftigen Fabriken wird somit die Fertigung individueller Kundenwünsche von den Ma-

⁴⁶⁰ VGL. HERMANN, K.: Gebäudetechnik im seriellen Holzbau. Bericht. S. 54ff.

⁴⁶¹ Industrie 4.0 ist eine Reaktion auf den Trend industrielle Prozesse und Technologien mit dazugehörigen Geschäftsprozessen durch Informations- und Kommunikationstechnologien umfassend miteinander zu verknüpfen. Das Konzept erlaubt es, den Herausforderungen der Schwankungen der Märkte zu begegnen und gleichzeitig neue Möglichkeiten der Wertschöpfung in der industriellen Produktion zu schaffen.

⁴⁶² VGL. BUCK, C.: Wie werden wir morgen produzieren? Technology Review Special - Die neue digitale Revolution - 50 Antworten auf die wichtigsten Fragen. S. 58-60.

schinen selbst gesteuert, womit der Trend des Einzelstückes vom Band zum Preis der Massenware erfüllt werden kann.⁴⁶³

Speziell die Verarbeitung des Rohstoffes Holz zu Werkstoffen, Halbzeugen oder Produkten und Bausystemen ist durch verschiedene sequentielle Produktionsschritte, wie Trennen, Sortieren, Fügen, Formen, Bohren, usw. gekennzeichnet, die jeweils auf die spezifischen Produkthanforderungen ausgerichtet sind. Aufgrund der vielen unterschiedlichen Ausgangsstoffe, wie bspw. unterschiedliche Holzwerkstoffe, verschiedene Festigkeitsklassen, usw. und der Vielzahl an Ausführungsvarianten kann der Produktionsprozess durchaus komplex ausfallen. Anhand der Vernetzung von Mechanik, Elektronik und mit zugehörigen Daten wird jedoch eine kundenindividuelle Fertigung in kleinsten Losgrößen möglich und somit der Industriebetrieb handwerklicher und der Handwerksbetrieb industrieller bzw. produktiver.⁴⁶⁴

Ansätze von Vernetzungen unter Einbeziehung moderner Informationstechnologien und computergesteuerter Produktionssysteme werden als zukünftige Chance für Klein- und Mittelbetriebe angesehen. In entsprechend adaptierter Form kann Industrie 4.0 speziell im Holzbau als die Produktion von morgen angesehen werden.⁴⁶⁵

⁴⁶³ VGL. HENG, S.: Industrie 4.0- Upgrade des Industriestandortes Deutschland steht bevor. Deutsche Bank AG, Deutsche Bank Research, Aktuelle Themen, 04.02.2014, Frankfurt am Main.

⁴⁶⁴ VGL. FLIK, M.: Vernetzte Produktion realisiert durch Homag Group. In: Tagungsband Die Welt-Konferenz Industrie 4.0.

⁴⁶⁵ VGL. TEISCHINGER, A.: Small and medium sized wood businesses- Opportunities and challenges for a sustainable regional development. In: Neményi M, Heil B (eds) The impact of urbanization, industrial, agricultural and forest technologies on the natural environment. S. 343-358.

Glossar

| | |
|--------------------------------------|---|
| Abbund | Mit dem Begriff des Abbundes wird das maßgerechte Anreißen, Bearbeiten, Zusammenpassen und Kennzeichnen von Rund- und Schnittholz für Tragwerke, Bauteile, wie auch Einbauteile verstanden. Abbundarbeiten werden dabei mit Zimmererwerkzeug, großen Handmaschinen, stationären Zimmereimaschinen oder computergesteuerten CNC-Anlagen abgewickelt. |
| Arbeitsproduktivität | Mit der Arbeitsproduktivität wird die durchschnittliche Output-Menge einer Arbeitsstunde beschrieben. Sie wird mit dem Quotienten der Produktionsmenge und dem Arbeitsvolumen definiert. |
| Aufwandswert | Mit einem Aufwandswert wird das Verhältnis zwischen der Summe eingesetzter Lohnstunden und der dabei erzeugten Produktionsmenge bzw. Verrechnungseinheit (kurz: VE) beschrieben. |
| Bruttofläche | Unter der Bruttofläche wird die Gesamtelementfläche inkl. Ausnehmungen, wie Fenster- oder Türöffnungen, verstanden. |
| Building Information Modeling | Das Building Information Modeling dient zur digitalen Planung und Dokumentation von Gebäuden und wird in der Fachliteratur als Weiterentwicklung der bestehenden CAD-Systeme verstanden. Zum Unterschied wird nicht nur die Planungsphase, sondern vielmehr der gesamte Objekt-Lebenszyklus betrachtet. |
| Einarbeitungseffekt | Unter dem Einarbeitungseffekt wird der Leistungszuwachs aufgrund der ständigen Durchführung gleicher Arbeitsschritte verstanden, was zum überwiegenden Anteil auf das menschliche Lernvermögen zurück zu schließen ist. |
| Flat | Als Flat wird eine spezielle Wechselladeeinrichtung ohne Seitenwände bezeichnet, welche zur Lagerung bzw. zum Transport von Gütern eingesetzt wird. |
| Furnierschichthölzer | Furnierschichtholz (kurz: FSH bzw. LVL engl.: laminated veneer lumber) ist ein Holzwerkstoff, der sich aus der Verklebung von ca. 3 mm starken Schäl furnieren zusammensetzt. Vorwiegend wird dafür die Holzart Fichte verwendet. Eingesetzt wird es bspw. zur Herstellung von Trägern und Balken sowie Platten und Scheiben in Form ebener Flächentragwerke. |
| Generalunternehmer | Ein Generalunternehmer erbringt i.d.R. sämtliche Bauleistungen für die Errichtung eines Bauwerks. Somit wird das Bauwerk in den meisten Fällen schlüsselfertig an den Bauherren übergeben. |

| | |
|----------------------------------|--|
| Gesamtarbeitszeit | Die Gesamtarbeitszeit ist die Summe der, in den Datenerhebungsbögen, erhobenen Zeiten aller Arbeitskräfte und Arbeitstage. |
| Gipskarton-Bauplatten | Gipskarton-Bauplatten sind Plattenbaustoffe bestehend aus Gips mit einem beidseitigen Bezug aus Kartonage. |
| Grobspanplatte/OSB-Platte | Grobspanplatten (kurz: OSB engl.: oriented strand board) sind Holzwerkstoffe, die aus langen, schlanken sowie ausgerichteten Spänen hergestellt werden. |
| Grundgesamtheit | Die Grundgesamtheit wird in der Statik als die Menge aller statistischen Einheiten (z.B. Personen, Tiere, Pflanzen, Werkstücke) bezeichnet, die übereinstimmende Identifikationskriterien (z.B. zur selben Zeit) aufweisen. |
| HDF-Platte | Als hochdichte Faserplatte, kurz HDF (engl.: high density fiberboard) wird ein Holzwerkstoff bezeichnet, der aus unter Druck und Hitze verpressten und mit Klebstoff getränkten Holzfasern besteht und dabei besonders hoch verdichtet wurde (Dichte über 800 kg/m ³). |
| Industrie 4.0 | Industrie 4.0 ist eine Reaktion auf den Trend industrielle Prozesse und Technologien mit dazugehörigen Geschäftsprozessen durch Informations- und Kommunikationstechnologien umfassend miteinander zu verknüpfen. Das Konzept erlaubt es, den Herausforderungen der Schwankungen der Märkte zu begegnen und gleichzeitig neue Möglichkeiten der Wertschöpfung in der industriellen Produktion zu schaffen. |
| Keilzinkverbindung | Als Keilzinkung bzw. Keilzinkenverbindung wird eine Methode der Längsverbindung zweier Bauteile aus Vollholz oder Holzwerkstoffen bezeichnet. |
| Lageparameter | Die Lageparameter beschreiben die Lage der Stichproben einer Grundgesamtheit in Bezug auf eine Messskala. |
| Lean Production | Lean Production ist ein ökonomischer Denkansatz, bei dem durch die Optimierung der Arbeitsabläufe eine Vermeidung von unnötigen Mehraufwand und Verschwendung eintreten soll. |
| Leistungswert | Durch den Leistungswert wird beschrieben, welche Produktionsmenge bzw. Verrechnungseinheit in einer bestimmten Zeiteinheit (kurz: ZE) erzeugt werden kann. Der Leistungswert lässt sich aus dem Quotienten der Anzahl an Arbeitskräften multipliziert mit der Arbeitszeit und dem tatsächlichen Aufwandswert ermitteln. |
| Mass Customization | Mass Customization, auch als kundenindividuelle Massenproduktion bezeichnet, wird als strategisches Unternehmens- und Produktionskonzept |

| | |
|---------------------------------|---|
| | bezeichnet, in dem einerseits die Vorzüge der Massenproduktion genutzt werden, und andererseits kundenindividuelle Bedürfnisse erfüllt werden. |
| MDF-Platte | Die mitteldichte Holzfaserplatte oder mitteldichte Faserplatte, kurz MDF-Platte, ist ein Holzwerkstoff bzw. eine Faserplatte. Ihr Name leitet sich aus dem Umstand her, dass ihre Dichte (MDF-Platte: 650 kg/m ³ bis 800 kg/m ³ ; Leicht-MDF-Platte 550 kg/m ³ bis 650 kg/m ³ und Ultraleicht-MDF-Platte unter 550 kg/m ³) zwischen der von Schnittholz und der von Nassfaserplatten liegt. |
| Mineralwolle | Mineralwolle bezeichnet einen weichen Werkstoff aus künstlich hergestellten mineralischen Fasern. Mineralwolle wird vorwiegend als nichtbrennbarer Dämmstoff für die Wärmedämmung von Gebäuden eingesetzt. |
| Modern Manufacturing | Mit Modern Manufacturing wird eine Produktionsstrategie bezeichnet, bei der durch den Einsatz modernster Produktions- und Informationsverarbeitungssysteme eine möglichst ausgeprägte Individualisierung der Endprodukte ermöglicht wird. Gleichzeitig soll dabei das Kostenniveau einer klassischen Massenproduktion gehalten werden. |
| Nettofläche | Unter der Nettofläche wird die Gesamtelementfläche unter Abzug von Ausnehmungen, wie Fenster- oder Türöffnungen, verstanden. |
| Offene Zeit (Verklebung) | Bei Klebverfahren und Klebetechniken wird die Zeitspanne von Beginn des Klebstoffauftrags bis zum Zusammenfügen der Füge Teile als sog. Offene Zeit bezeichnet. |
| Operations Research | Unter Operations Research US-engl.: operations research oder GB-engl.: Operational Research (kurz: OR), im deutschen gelegentlich auch Unternehmensforschung genannt, wird die Entwicklung und der Einsatz quantitativer Modelle und Methoden zur Entscheidungsunterstützung verstanden. Operations Research ist geprägt durch die Zusammenarbeit von angewandter Mathematik, Wirtschaftswissenschaften und Informatik. |
| Passfläche | Passflächen sind Funktionsflächen, die zur Aufnahme von aufgesetzten Teilen dienen. |
| Produktivität | Die Produktivität ist eine wirtschaftswissenschaftliche Kennzahl. Sie bezeichnet das Verhältnis zwischen produzierten Gütern und den dafür benötigten Produktionsfaktoren, also Output durch Input. |
| Prozesskette | Die Aktivitäten und Prozesse innerhalb eines Unternehmens sind aus funktionalen Gründen im Ablauf miteinander verbunden. Diese Verbindung wird als Prozesskette bezeichnet. |

| | |
|-----------------------------------|---|
| REFA | Der REFA-Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung, original Reichsausschuss für Arbeitszeitermittlung, ist Deutschlands älteste Organisation für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung. Durch REFA entwickelte Methoden bieten Hilfestellung für betriebliche Datenermittlung und zum Management. Er ist internationaler Anbieter für betriebliche Weiterbildung mit dem Verbandszweck eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit durch Ausbildung zu erreichen. |
| Rähm | Der Rähm bildet den oberen Abschluss der Holzrahmenkonstruktion und übernimmt die Aufgabe des Längsverbandes (Aufnahme und Ableitung der auftretenden horizontalen Schubkräfte). |
| Schmetterlingswender | Der Schmetterlingswender besteht aus zwei Montagetischen, dem Geber- und dem Nehmerisch. Diese beiden Montagetische wenden automatisch das Element zur Bearbeitung beider Elementseiten. |
| Spanplatte | Spanplatten sind Holzwerkstoffe aus Holzspänen, die mit der Zugabe von Klebstoffen unter Wärme und Druck hergestellt werden. |
| Sperrholzplatte | Die Sperrholzplatte, auch als Tischlerplatte und Furnierplatte bekannt, setzt sich aus einer geraden oder ungeraden Anzahl an verleimten Holzwerkstoffen zusammen. |
| Stichprobe | Unter einer Stichprobe wird eine Teilmenge einer Grundgesamtheit, die unter bestimmten Voraussetzungen gewählt wurde, verstanden. |
| Streuungsparameter | Streuungsparameter sind Kennziffern, durch deren Ermittlung eine Aussage über die Verteilung einer Grundgesamtheit um den Mittelpunkt getroffen werden kann. |
| Vertrauensbereich | Der Vertrauensbereich ist jener Bereich, der den wahren Parameter der Grundgesamtheit mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit einschließt. |
| Zementgebundene Spanplatte | Zementgebundene Spanplatten werden durch Pressen eines Gemisches aus Holzspänen, Zement und Hydratationszusätzen hergestellt. Zementgebundene Spanplatten werden als nicht brennbarer Baustoff eingestuft. Sie eignen sich ideal für spezielle Klimabedingungen. |
| Zweikomponenten-Klebstoffe | Zweikomponenten-Klebstoffe, auch 2K-Klebstoffe genannt, bestehen einerseits aus dem Klebstoff und andererseits aus einem Härter. Durch das Vermischen der beiden Komponenten unmittelbar vor der Anwendung wird meist bereits bei Raumtemperatur die Aushärte-Reaktion gestartet. Zweikomponenten-Systeme härten durch eine chemische Reaktion, wie Polyaddition, Polykondensation und Polymerisation, aus. |

Literaturverzeichnis

- BALLARD, G.; HOWELL, G.: Lean production Management. In: Building Research & Information 31 (2), 2003.
- BARTA, H.: Zivilrecht - Grundriss und Einführung in das Rechtsdenken. Wien. WUV- Univ.- Verlag, 2004.
- BATTIS; KRAUTZBERGER; LÖHR: Baugesetzbuch. 12. Auflage, 2014.
- BAUMGARTEN, H.; WALTER, S.: Stand und Entwicklung der Logistik. In: Logistik-Management, Strategien, Konzepte, Praxisbeispiele. Band 1, 2000.
- BAUTECHNIK, Ö. I.: Checkliste, vorgefertigte Wand- und Deckenbauteile mit hölzerner Tragkonstruktion. Checkliste. Wien. Österreichisches Institut für Bautechnik, 2008.
- BLIEWEIS, P. et al.: Praxishandbuch Ladegutsicherung. München. Inno-va Verlag, 2012.
- BUCK, C.: Wie werden wir morgen produzieren? Technology Review Special - Die neue digitale Revolution - 50 Antworten auf die wichtigsten Fragen, 2014.
- BUNDESVERBAND DEUTSCHER FERTIGBAU e.V.: Moderner Holzhausbau in Fertigbauweise. Weka Media Verlag, 2001.
- C. T.: New Perspective in Industrialization in Construction – A State of the Art Report. Zürich. Eigenverlag des IBB an der ETH-Zürich, 2012.
- DUSCHEL, M.; PLETTENBACHER, W.: Handbuch Arbeitsvorbereitung im Baubetrieb. Wien. Linde Verlag, 2012.
- FLIK, M.: Vernetzte Produktion realisiert durch Homag Group. In: Tagungsband Die Welt - Konferenz Industrie 4.0. Berlin, 2015.
- FÜERMANN, T.: Prozessmanagement kompaktes Wissen, konkrete Umsetzung, praktische Arbeitshilfen. München. Carl Hanser Verlag, 2014.
- GERHARD, K.: REFA in der Baupraxis - Teil 2 - Datenermittlung. Frankfurt am Main. ZTV-Verlag, 1984.
- GIRMSCHEID, G.: Industrielles Bauen. Skriptum. Zürich. Eigenverlag des IBB an der ETH-Zürich, 2007.
- GIRMSCHEID, G.: Strategisches Bauunternehmensmanagement. Berlin-Heidelberg. Springer Verlag, 2010.
- HANNEMANN, C.: Die Platte, industrialisierter Wohnungsbau in der DDR. Berlin. Hans Schiler Verlag, 2005.
- HENG, S.: Industrie 4.0 - Upgrade des Industriestandortes Deutschland steht bevor. Deutsche Bank AG, Deutsche Bank Research, Aktuelle Themen. Frankfurt am Main, 04.02.2014.

- HERZOG, T. et al.: Holzbau Atlas. München. Arbeitsgemeinschaft Holz e.V. und Institut für internationale Architektur-Dokumentation, 1991.
- HOFSTADLER, C.: Bauablaufplanung und Logistik im Baubetrieb. Berlin Heidelberg. Springer Verlag, 2007.
- HOFSTADLER, C.: Produktivität im Baubetrieb. Berlin Heidelberg. Springer Verlag, 2014.
- HOFSTADLER, C.: Schularbeiten-Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation. Berlin Heidelberg. Springer Verlag, 2008.
- HOLZCLUSTER STEIERMARK: Innovativer Holzbau in der Steiermark – eine wirtschaftliche Bewertung entlang der Wertschöpfungskette. Forschungsprojekt.
- HOLZFORSCHUNG AUSTRIA: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich– Holzskelett- und Holzmassivbauweise. 1. Auflage, 2002.
- HUBER, U.; WEISSENBÖCK, S.: Projektabwicklung im Bauwesen, Skriptum der technischen Universität ETH-Zürich, Herbstsemester 2014.
- ISOPP, A.: Editorial. In: Zuschnitt, 50/2013.
- JÜNEMANN, R.; BEYER, A.: Steuerung von Materialfluss- und Logistiksystemen. Berlin Heidelberg. Springer Verlag, 1998.
- KALTENBACH, F.: Von der Tradition zur Touristenattraktion – Vorfertigung im Holzbau der Dong. In: Detail, Zeitschrift für Architekten und Baudetail, 6/2012.
- KAUFMANN, H.; W. N.: Bauen mit Holz, Wege in die Zukunft. München. Prestel Verlag, 2012.
- KAUFMANN, H.: Gebäudetechnik im seriellen Holzbau. Bericht. Klagenfurt. Klagenfurter Holzfachtagung, 2014.
- KESSEL, M. et al.: Innovativer Holzsystembau durch optimierte Fertigungs- und integrierte Planungsmethoden. Endbericht. Braunschweig. IWF-Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, 2005.
- KESSEL, M. et al.: Ökologische Herstellung von Holzhäusern durch Entwicklung und Umsetzung automatisierter und Fertigungsoptimierter Produktionsprozesse. Schlussbericht. Braunschweig. IWF-Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, 2005.
- KOCH, V.; KINDSVATER, A.: BIM-Potentiale, Hemmnisse und Handlungsplan. Forschungsbericht. Karlsruhe. Fraunhofer IRB Verlag, 2013.
- KRAMPE, H.; LUCKE, H. J.: Einführung in die Logistik. In: Grundlagen der Logistik, 2001.
- LANG, A.: Ein Verfahren zur Bewertung von Bauablaufstörungen und zur Projektsteuerung. Düsseldorf. VDI-Verlag, 1988.

- LEITNER, S.; ARMBRUSTER, C.; BÖHM, A.: Bauen mit Holz in Oberösterreich. Linz. proHolz Oberösterreich, 2011.
- LENNARTSSON, M.: Modularity in Industrialized Timber Housing. Lulea. Universitetstryckeriet Lulea, 2009.
- LENNARTSSON, M.; A. B.: Step by Step Modularity – A Roadmap for Building Service Development. In: Development Lean Construction Journal, 2010.
- LINDEMANN, U.; REICHENWALD, R.; ZÄH, M. F.. Individualisierte Projekte, Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin Heidelberg. Springer Verlag, 2006.
- MATHOI, T.: Ablauf der Planung. Graz. Fachhochschule-Joanneum Graz, 2008.
- MAY, M.: CAFM-Handbuch IT im Facility Management erfolgreich einsetzen. Berlin Heidelberg. Springer Verlag, 2013.
- MAYERHOFER, S.: Holzbauweisen im verdichteten Wohnungsbau. In: Detail, Zeitschrift für Architektur & Baudetail; Bauen mit Holz, 10/2012.
- MORO, J. L.: Baukonstruktion vom Prinzip zum Detail. Berlin Heidelberg. Springer Verlag, 2009.
- OBERNDORFER, W.; JODL, H.G.: Handwörterbuch der Bauwirtschaft. Wien. Austrian Standards plus GmbH, 2010.
- PFOHL, H. C.: Logistiksysteme. Berlin Heidelberg. Springer Verlag, 2004.
- PILLER, F. T.: Mass Customization Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter. Wiesbaden. Deutscher Universitätsverlag, 2006.
- PIRCHNER, E.: In dreifacher Ausführung: Bürogebäude für Österreich, Rumänien und Deutschland. In: Zuschnitt, 50/2013.
- REFA - VERBAND FÜR ARBEITSSTUDIEN UND BETRIEBSORGANISATION E.V.: Methodenlehre des Arbeitsstudiums - Teil 1 - Grundlagen. München. Carl Hanser Verlag, 1984.
- REFA - VERBAND FÜR ARBEITSSTUDIEN UND BETRIEBSORGANISATION E.V.: Methodenlehre des Arbeitsstudiums - Teil 2 - Datenermittlung. München. Carl Hanser Verlag, 1992.
- RIEDINGER, H.G.; STEINMETZGER, R.: Rationalisierung im Baubetrieb - Möglichkeiten der REFA-Methodenlehre. In: Thesis, Wissenschaftliche Zeitschrift der Bauhaus-Universität Weimar, 1/2000.
- RINAS, T.: Kooperation und innovative Vertriebskonzepte im individuellen Fertigteilbau. Entwicklung eines Geschäftsmodells. Doktorarbeit. Zürich. ETH-Zürich, 2011.

RINGHOFER, A.; SCHICKHOFER, G.: Timber-in-Town – current examples for residential buildings in CLT and tasks for the future. Tagungsbericht. Graz. Institut für Holzbau & Holztechnologie - TU Graz, 2013.

ROZYNSKI, D.; KOCH, P.: Vom industrialisierten Einfamilienhaus zum verdichteten Wohnungsbau. Forschungsarbeit. Stuttgart. Fraunhofer IRB Verlag, 2008.

SCHULTE-ZURHAUSEN, M.: Organisation; 4.Auflage. München. Vahlen Verlag, 2005.

SCHICKHOFER, G.; BOGENSPERGER, T. M.: BSPHandbuch Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz. Graz. Verlag der technischen Universität Graz, 2010.

SCHLAGBAUER, D.: Entscheidungsgrundlagen für die Arbeitszeitgestaltung. Doktorarbeit. Graz. Technische Universität Graz, 2011.

SCHNITTICH, C.: Editorial. In: Detail Zeitschrift für Architektur + Baudetail; Vorfertigung, 6/2012.

SCHNITTICH, C.: Vorfertigung - Hightech und Handarbeit. In: Detail, Zeitschrift für Architektur & Baudetail, Vorfertigung, 6/2012.

SCHÖBER, P.: Mehrgeschossiger Holzbau in Österreich - Holzskelett- und Holzmassivbauweise. In: Zuschnitt 50 - Konfektionen in Holz, 50/2013.

STAIB, G.; DÖRRHÖFER, A.; ROSENTHAL, M.: Elemente und Systeme: Modulares Bauen: Entwurf, Konstruktion, neue Technologien. München. Institut für internationale Architektur Dokumentation, 2008.

TEIBINGER, M.; MATZINGER, I.: Bauen mit Brettsperrholz im Geschößbau, Holzforschung Austria, 2013.

TEISCHINGER, A.: Small and medium sized wood businesses- Opportunities and challenges for a sustainable regional development. In: Neményi M, Heil B (eds) The impact of urbanization, industrial, agricultural and forest technologies on the natural environment. Sopron. Nyugat-Magyarországi Egyetem, 2012.

THIEL, A.: Hebesysteme für BSP. Forschungsbericht. Graz. Holzbau Forschungs GmbH. Technische Universität Graz, 2014.

TICHELMANN, K. et al.: Schwerpunkt Bauphysikalische Eigenschaften von Leichtbauweisen. Eigenschaften und Potentiale des Leichtbaus. Wien. BAU.GENIAL, 2007.

TIMBORY; HAAS FERTIGBAU BMBH: Profihandbuch für Brettsperrholz. Graz, 2013.

WABL, A.: Brandschutz im mehrgeschossigen Holz-Massivbau. Masterarbeit. Graz. Technische Universität Graz, 2012.

WELLER, K.: Industrielles Bauen 1. Grundlagen und Entwicklung des industriellen, energie- und rohstoffsparenden Bauens. Stuttgart. Kohlhammer, 1985.

WESTKÄMPER, E. et al.: Digitale Produktion. Berlin Heidelberg. Springer Verlag, 2013.

WILLEMS, W. M. et al.: Lehrbuch der Bauphysik. Berlin Heidelberg. Springer Verlag, 2012.

WOLFGANG WINTER, H.S.; Holzbauweisen im verdichteten Wohnungsbau. Stuttgart. Fraunhofer IRB Verlag, 2005.

WÖRLE, P.: Kosten- und Qualitätssicherung in der Planung von Ingenieur(holz)bauten. Tagungsband: Internationales Holzbau-Forum-Garmisch Patenkirchen. Biel. Bremer Fachhochschule Architektur, 2007.

Normenverzeichnis

DIN EN ISO 9000, 2005-12: Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe.

ÖNORM B 1801-1, 2009-03-01: Kosten im Hoch- und Tiefbau - Kostengliederung.

ÖNORM B 2310, 2009-05-01: Fertighäuser - Benennungen und Definition sowie Mindestleistungsumfang.

ÖNORM EN 13369, 2013-06-01: Allgemeine Regeln für Betonfertigteile.

ÖNORM B 3328, 2012-04-01: Vorgefertigte Betonerzeugnisse - Anforderungen, Prüfungen und Verfahren für den Nachweis der Normkonformität von Fertigteilen aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton.

ÖNORM EN 14992, 2012-09-01: Betonfertigteile - Wandelemente. S.

ÖNORM EN 14991, 2007-08-01: Betonfertigteile - Treppen.

ÖNORM EN 14991, 2007-08-01: Betonfertigteile - Gründungselemente.

ÖNORM B 3260, 2009-09-01: Betonfertigteile - Betonfertiggaragen: Anforderungen an monolithische oder aus raumgroßen Einzelteilen bestehende Stahlbetongaragen.

ÖNORM EN 13978-1, 2005-08-01: Betonfertigteile - Betonfertiggaragen-Teil 1: Anforderungen an monolithische oder aus raumgroßen Einzelteilen bestehende Stahlbetongaragen.

ÖNORM B 3804, 2003-03-01: Holzschutz im Hochbau - Gebäude errichtet aus vorgefertigten Holzbauteilen - Voraussetzung für die Reduktion von chemischen Holzschutzmaßnahmen.

DIN 4108, 2013-02: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden.

ÖNORM B 8110, 2003-07-01: Wärmeschutz im Hochbau.

DIN 4108 - Teil 3, 2013-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz; Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung.

ÖNORM B 8115-2, 2006-09-01: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 2: Anforderungen an den Schallschutz.

ÖNORM B 8115-5, 2012-04-01: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 2: Klassifizierung.

DIN 4109, 2013-06: Schallschutz im Hochbau.

ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK: Erläuterungen zu OIB-Richtlinie 2 Brandschutz, 2011.

DIN 4102, 2014-06: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen.

ÖNORM B 4115, im Entwurf, Ausführung von Holzbauwerken.

ÖNORM B 2215, 2009-07-15; Holzbauarbeiten – Werkvertragsnorm.

ÖNORM EN 12195-1, 2014-04-15; Ladungssicherung auf Straßenfahrzeugen - Sicherheit-Teil 1: Berechnung von Sicherungskräften (konsolidierte Fassung).

ÖNORM EN 12195-2, 2001-03-01; Ladungssicherungseinrichtungen auf Straßenfahrzeugen - Sicherheit-Teil 2: Zurrgurte aus Chemiefasern.

ÖNORM EN 12195-3, 2001-11-01; Ladungssicherungseinrichtungen auf Straßenfahrzeugen - Sicherheit-Teil 3: Zurrketten.

ÖNORM EN 12195-4, 2004-04-01; Ladungssicherungseinrichtungen auf Straßenfahrzeugen - Sicherheit-Teil 4: Zurrdrahtseite.

Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden

Linkverzeichnis

http://sieveke.de/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=15&Itemid=115. Datum des Zugriffs: 25.Juli.2015.

http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Daemmstoffe_DIN-4108-Waermeschutz-im-Hochbau_152334.html. Datum des Zugriffs: 05.August.2015.

http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Daemmstoffe_DIN-4109-Schallschutz-im-Hochbau_152330.html. Datum des Zugriffs: 05.August.2015.

http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Daemmstoffe_DIN-4102-Brandverhalten-von-Baustoffen-und-Bauteilen_152328.html. Datum des Zugriffs: 05.August.2015.

http://vh.bauwirtschaft-bw.de/files/1/15/46/2.5.1_UE_CE_Kennzeichen.pdf, S. 1. Datum des Zugriffs: 04.August.2015.

http://www.holzforchung.at/fileadmin/Content-Pool/PDFs/UeA_FAQ.pdf, S. 8. Datum des Zugriffs: 04.August.2015.

http://vh.bauwirtschaft-bw.de/files/1/15/46/2.5.1_UE_CE_Kennzeichen.pdf, S. 5,7,8,10,11. Datum des Zugriffs: 04.August.2015.

<http://www.detail-online.com/inspiration/hotel-near-reutte-106094.html>. Datum des Zugriffs: 10.August.2015.

<http://www.arch-forum.ch/dictionary/details/de/195>. Datum des Zugriffs: 11.August.2015.

<http://www.proholz.at/zuschnitt/31/brettsperrholz>. Datum des Zugriffs: 12.August.2015.

<http://wirtschaftslexikon.gabler.de>. Datum des Zugriffs: 01.September.2015.

<https://www.timber-online.net/?id=2500%2C5271934%2C%2C>. Datum des Zugriffs: 07.September.2015.

<http://www.hortusfertighaus.de/projekty-domow/technologie/14.html>. Datum des Zugriffs: 07.September.2015.

<http://www.hundegger.de/de/maschinenbau/produkte/abbundmaschinen/abbundmaschine-k2i.html?mobile=%271>. Datum des Zugriffs: 08.September.2015.

<http://www.weinmann-partner.com/de-de/products/productdatabase/weinmann/Seiten/MultifunktionsbrueckeWMS120>. Datum des Zugriffs: 08.September.2015.

<http://www.holzbau-wiegand.de>. Datum des Zugriffs:
05.September.2015.

<http://www.refa.de>, Datum des Zugriffs: 07.September.2016.

<http://www.sieveke.de>. Datum des Zugriffs: 28.Oktober.2015.

<http://www.woodtec.ch>. Datum des Zugriffs: 29.Oktober.2015.

www.aktiv-irma.de. Datum des Zugriffs: 29.Oktober.2015.

<http://www.luftbildblogger.de/12883/gelände-kinderklinik-kreyenbruck-aktiv-irma/>. Datum des Zugriffs: 30.Oktober.2015.

A.1 Anhang

Der Anhang setzt sich aus einer detaillierten Ergebnisdarstellung sowie maßstabgetreuen Abbildungen aller erstellten Flussdiagramme bzw. Umgestaltungsmaßnahmen zusammen. Die Ergebnisse werden dabei getrennt nach den eingesetzten Fertigungssystemen A und B aufbereitet.

Die Datenanalyse lässt sich dabei in folgende Bestandteile gliedern:

- Analyse der Arbeitszeit nach Zeitarten
- Analyse der Arbeitszeit nach Tätigkeiten und Unterbrechungen
- Darstellung von Aufwandswerten mit zugehöriger Analyse nach Tätigkeiten und Unterbrechungen
- Zusammengefasste Darstellung der Aufwandswerte

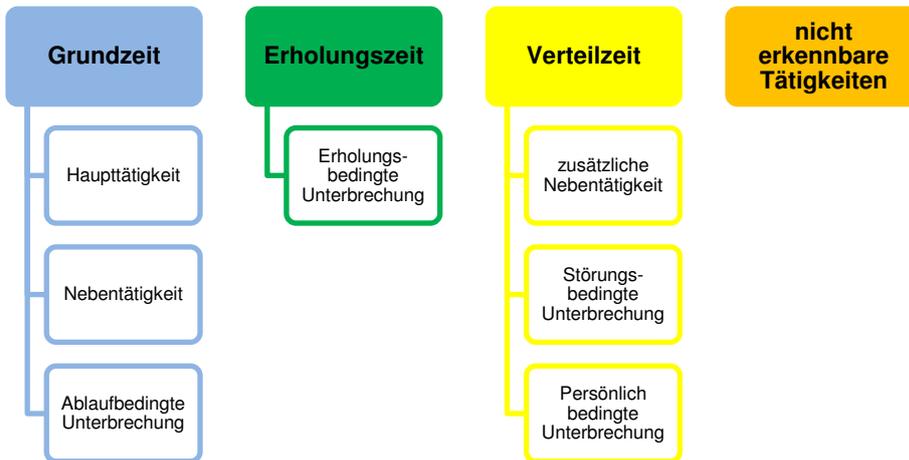
Die Darstellung der Planunterlagen erfolgt wiederum getrennt nach dem Fertigungssystem und wird in nachfolgender Reihenfolge beigefügt:

- Analyse der Materialanlieferung
- Analyse des Materialflusses
- Analyse des Personalfusses
- Neugestaltung der Betriebshallen

Abschließend ist eine Gesamtbetrachtung aller Umgestaltungsmaßnahmen am Betriebsgelände beigefügt.

A.1.1 Analyse der Arbeitszeit nach Zeitartern

Die Analyse der Arbeitszeit nach Zeitartern setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:



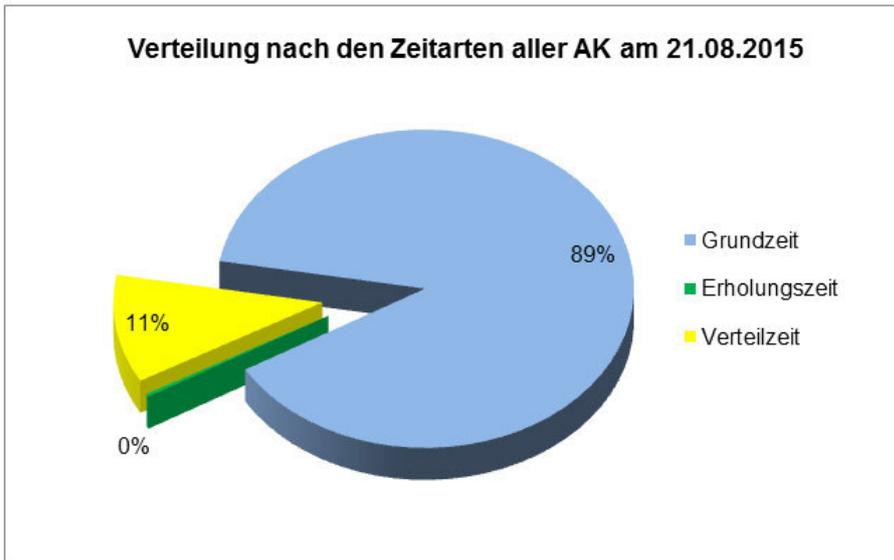
A.1.1.1 Projekt A

Die nachfolgende Datenauswertung enthält die Verteilungen der Zeitartern aller Arbeitskräfte, getrennt nach den Beobachtungstagen. Zusätzlich werden die Berechnungen der statistischen Sicherheit angeführt.



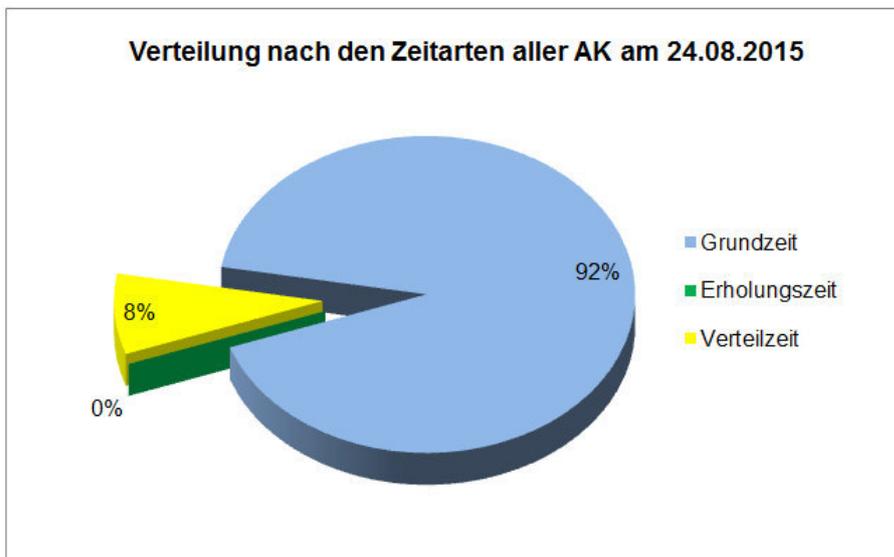
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 20.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{91 \cdot (100 - 91)}{648}} = \pm 2,20 \text{ [%]}$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 21.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{89 \cdot (100 - 89)}{648}} = \pm 2,41 \text{ [%]}$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 24.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{92 \cdot (100 - 92)}{585}} = \pm 2,20 \text{ [%]}$$



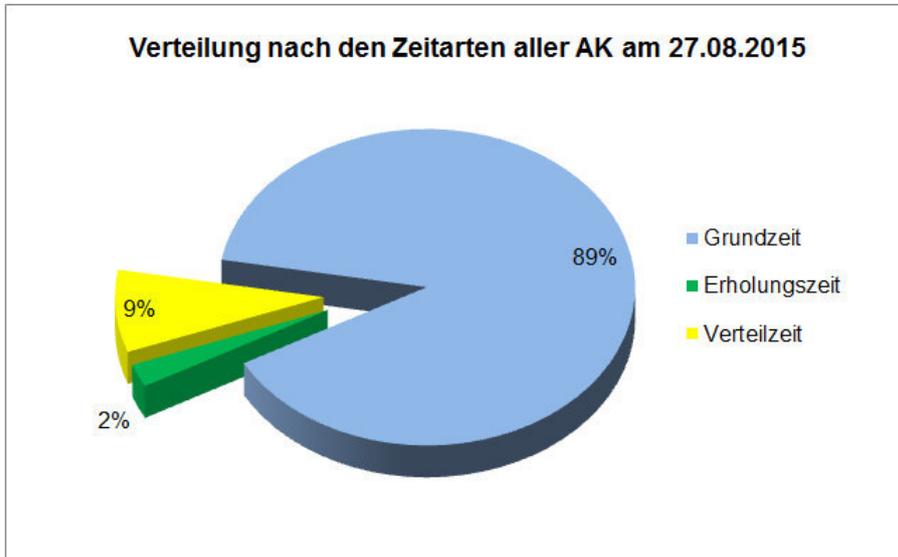
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 25.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{87 \cdot (100 - 87)}{648}} = \pm 2,59 \text{ [%]}$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 26.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{95 \cdot (100 - 95)}{756}} = \pm 1,55 \text{ [%]}$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 27.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{89 \cdot (100 - 89)}{809}} = \pm 2,16 \text{ [%]}$$



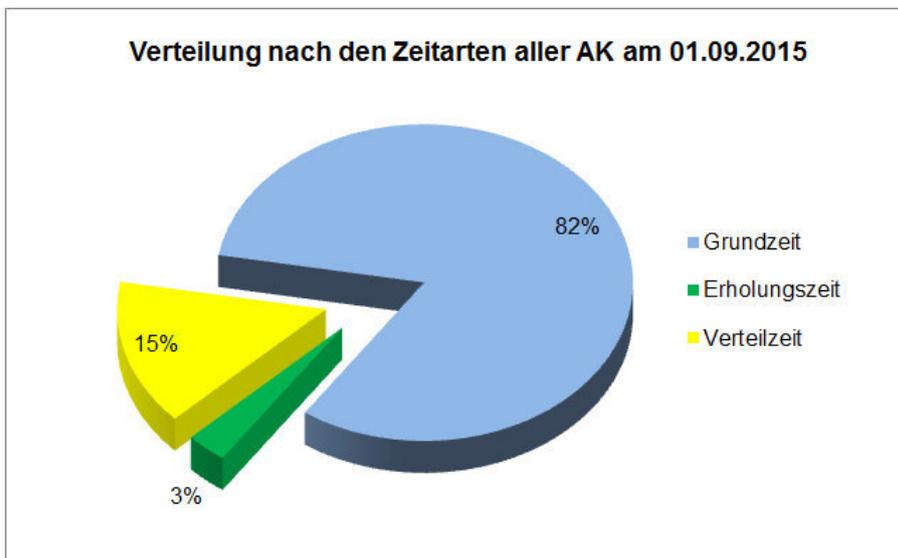
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 28.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{91 \cdot (100 - 91)}{864}} = \pm 1,91 \text{ [%]}$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 31.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{84 \cdot (100 - 84)}{864}} = \pm 2,44 \text{ [%]}$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 01.09.2015

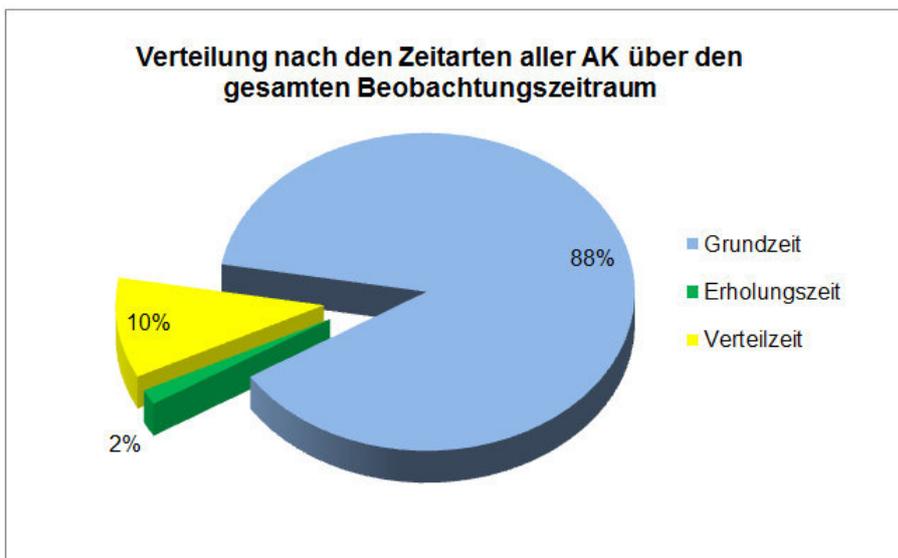
$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{82 \cdot (100 - 82)}{972}} = \pm 2,42 \text{ [%]}$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 02.09.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{86 \cdot (100 - 86)}{864}} = \pm 2,31 \text{ [%]}$$

Nachfolgend ist die Verteilung der Zeitarten aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum inkl. der statistischen Sicherheit abgebildet.

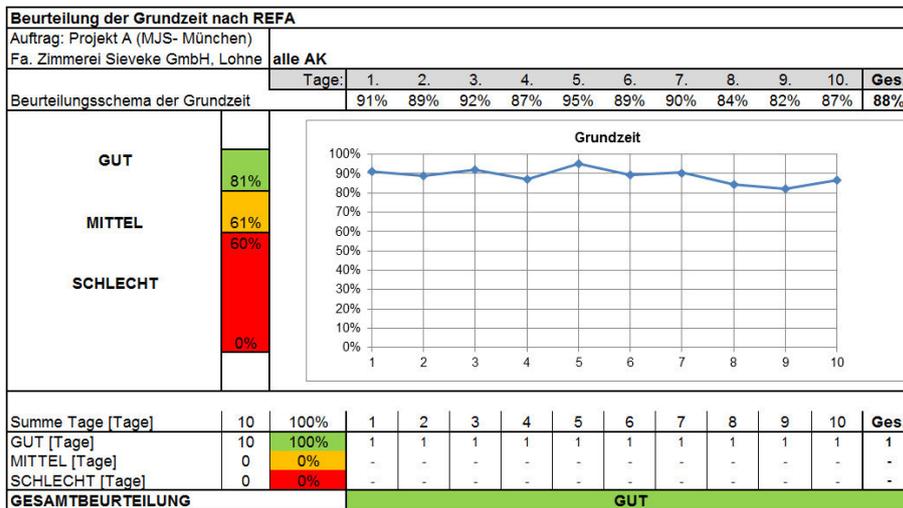


- Statistische Sicherheit dieser Verteilung

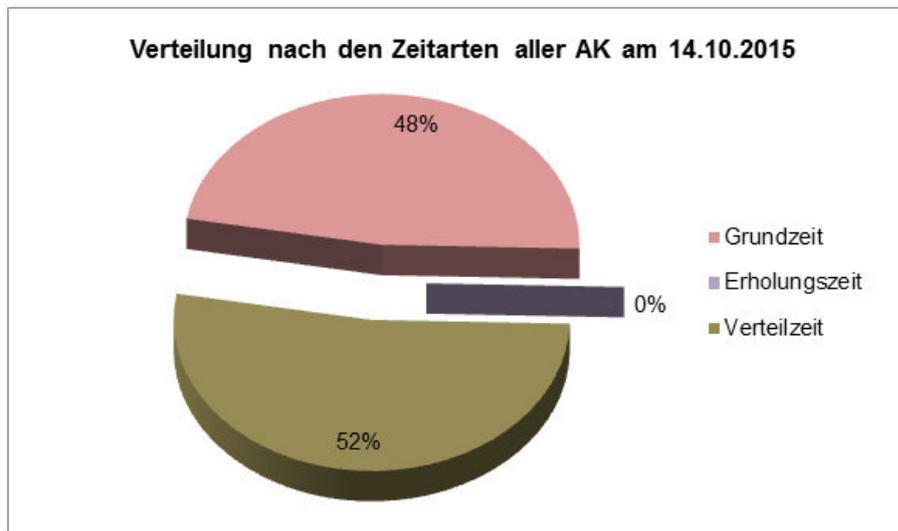
$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{88 \cdot (100 - 88)}{7658}} = \pm 0,73 \text{ [%]}$$

▪ **Beurteilung der Grundzeit nach REFA**

In der Beurteilung der Grundzeit nach REFA wird der prozentuale Anteil der Grundzeit über alle Beobachtungstage zusammengefasst dargestellt. Das Beurteilungsschema setzt sich dabei aus den vordefinierten Klassifizierungsgrenzen laut REFA zusammen.

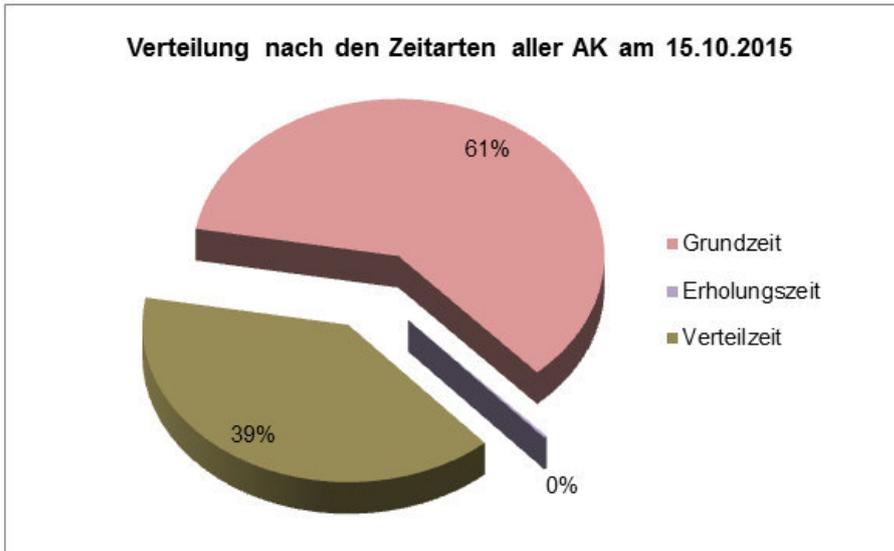


A.1.1.2 Projekt B



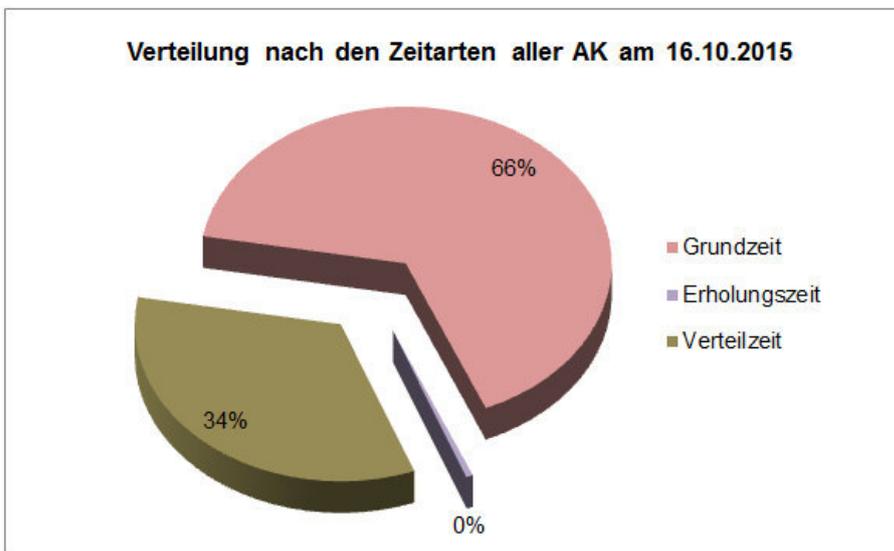
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 14.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{48 \cdot (100 - 48)}{420}} = \pm 4,78 [\%]$$



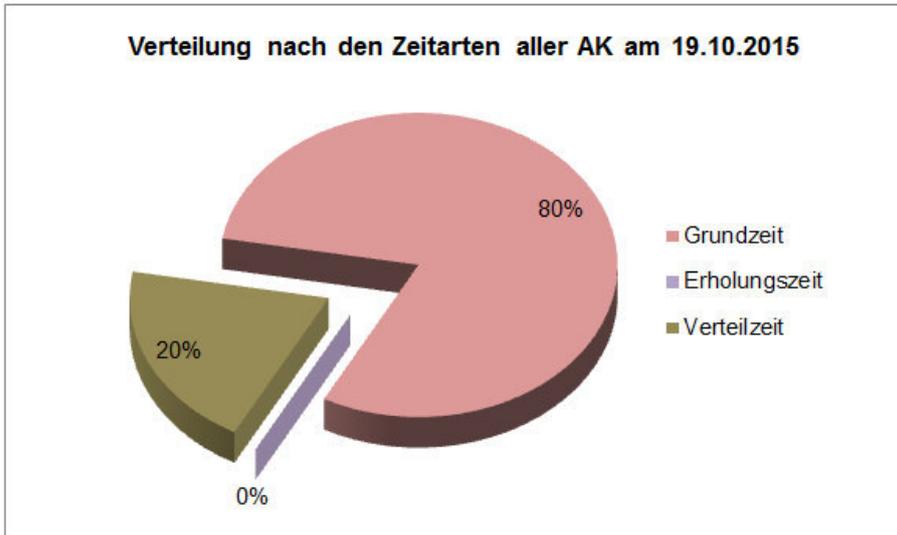
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 15.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{61 \cdot (100 - 61)}{420}} = \pm 4,66 \text{ [%]}$$



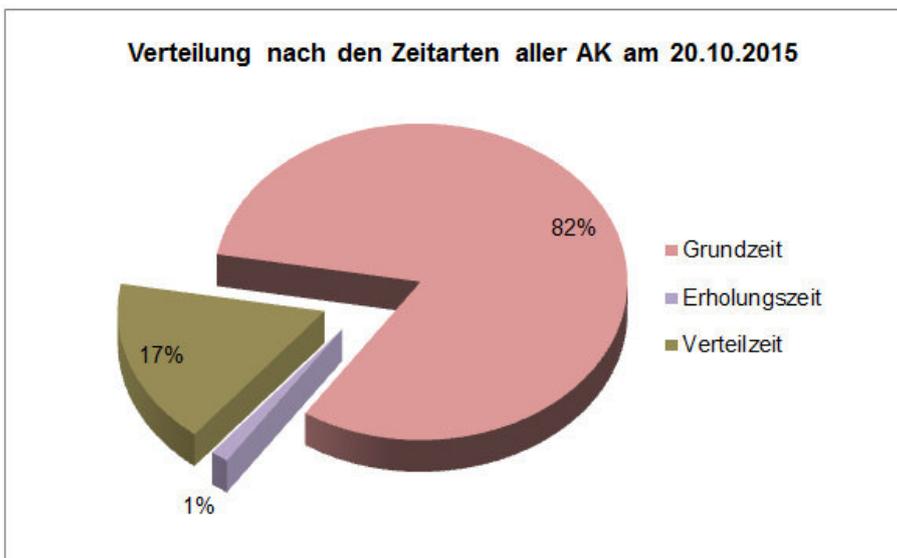
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 16.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{66 \cdot (100 - 66)}{381}} = \pm 4,76 \text{ [%]}$$



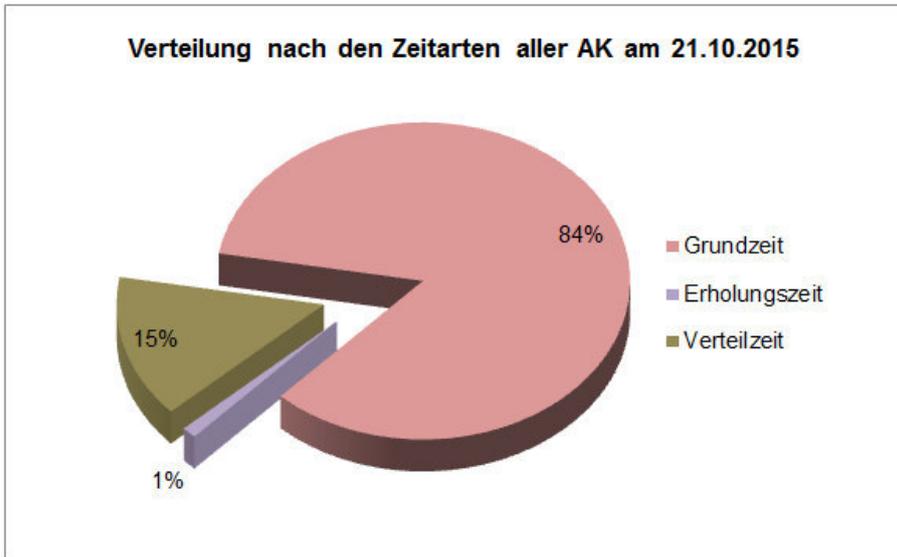
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 19.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{80 \cdot (100 - 80)}{522}} = \pm 3,43 [\%]$$



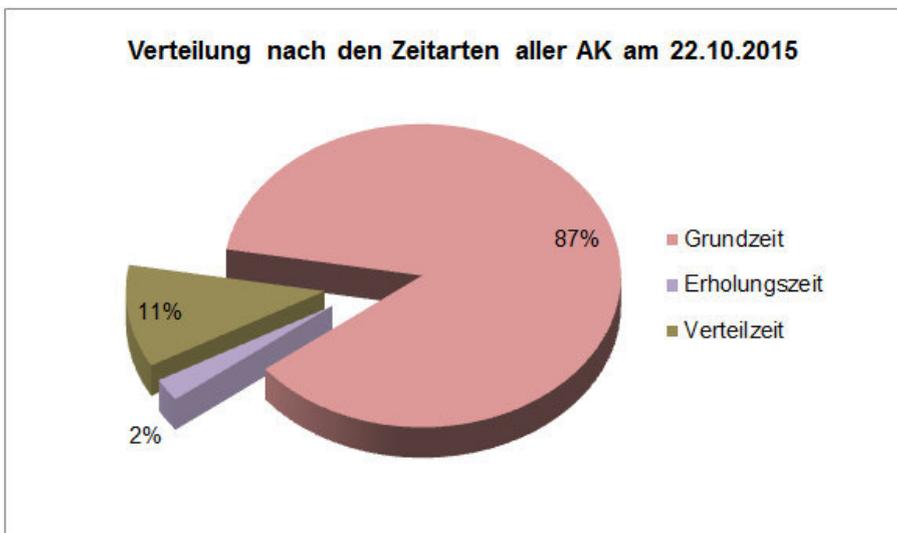
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 20.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{82 \cdot (100 - 82)}{501}} = \pm 3,36 [\%]$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 21.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{84 \cdot (100 - 84)}{432}} = \pm 3,46 [\%]$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 22.10.2015

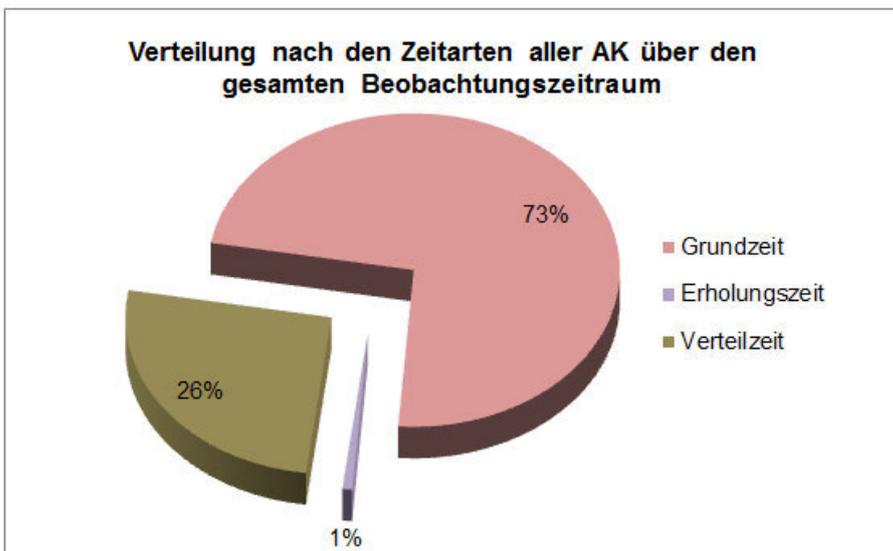
$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{87 \cdot (100 - 87)}{540}} = \pm 2,84 [\%]$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 23.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{73 \cdot (100 - 73)}{432}} = \pm 4,19 \text{ [%]}$$

Nachfolgend ist die Verteilung der Zeitarten aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum inkl. der statistischen Sicherheit abgebildet.

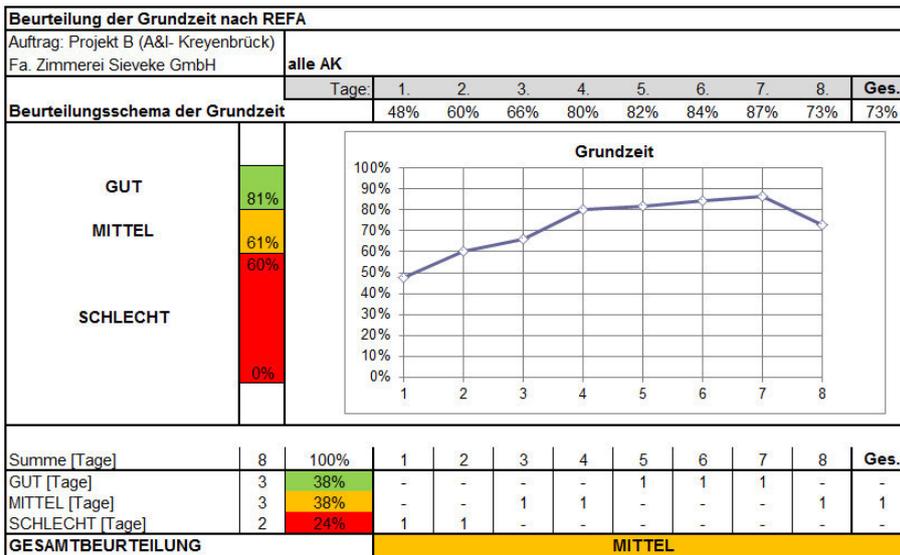


- Statistische Sicherheit dieser Verteilung

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{73 \cdot (100 - 73)}{3648}} = \pm 1,44 \text{ [%]}$$

▪ **Beurteilung der Grundzeit nach REFA**

In der Beurteilung der Grundzeit nach REFA wird der prozentuale Anteil der Grundzeit über alle Beobachtungstage zusammengefasst dargestellt. Das Beurteilungsschema setzt sich dabei aus den vordefinierten Klassifizierungsgrenzen laut REFA zusammen.



A.1.2 Analyse nach Tätigkeiten und Unterbrechungen

Tätigkeiten und Unterbrechungen setzen sich im Allgemeinen aus folgenden Bestandteilen zusammen.



Die Verteilung der Tätigkeiten und Unterbrechungen wird sowohl auf erster, als auch auf zweiter Ebene dargestellt. Dabei werden sämtliche Arbeitskräfte getrennt nach den Beobachtungstagen ausgewertet. Zusätzlich wird die statistische Sicherheit aller Verteilungen angeführt.

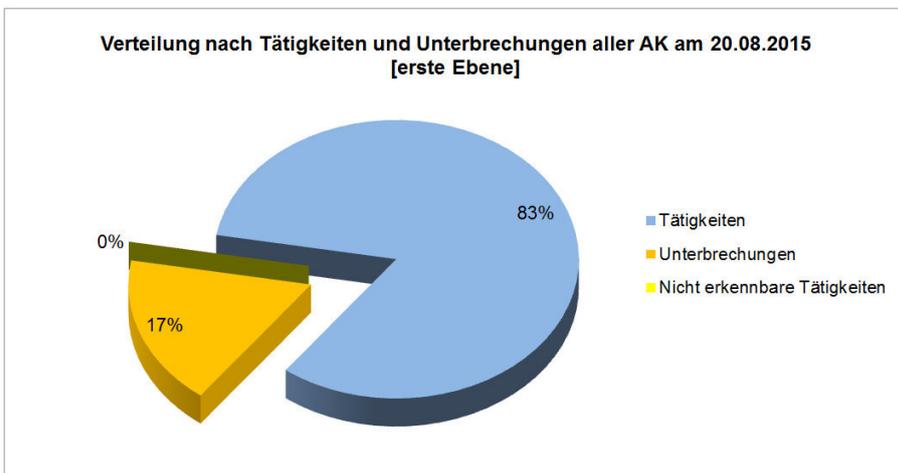
A.1.2.1 Projekt A

Sämtliche Tätigkeiten und Unterbrechungen im Zusammenhang mit dem Projekt A können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

| | | |
|------------------|----------------------------------|--|
| Tätigkeit | Haupt- tätigkeit | Zusammenbau des Riegelwerkes |
| | | Einbau der Stellbretter |
| | | Einbau der Querbalken |
| | | Ausrichtung des Rahmenelementes |
| | | Befestigung der Dampfbremse |
| | | Fixierung der inneren Beplankung |
| | | Verspachtelung der inneren Beplankung |
| | | Befestigung der Winkel |
| | | Vorbereitung der Dämmstoffbahnen |
| | | Einbau der Dämmstoffbahnen |
| | | Einbau der Füllhölzer |
| | | Fixierung der äußeren Beplankung |
| | | Abklebung der äußeren Beplankung |
| | | Befestigung der Unterkonstruktion |
| | | Einbau der Dichtung |
| | | Vorbereitungsmaßnahmen zum Einbau der Fenster |
| | | Einbau der Fenster |
| | | Einbau der Glasleisten |
| | | Einbau der Fensterfaschen |
| | | Elementetransport innerhalb der Arbeitsstationen |
| | Verladung | |
| | Neben- tätigkeit | Kran fahren - leer |
| | | Stapler fahren - leer |
| | | Müll / Aufräumen manuell und maschinell |
| | zusätzliche Tätigkeit | |
| | | |
| | | |

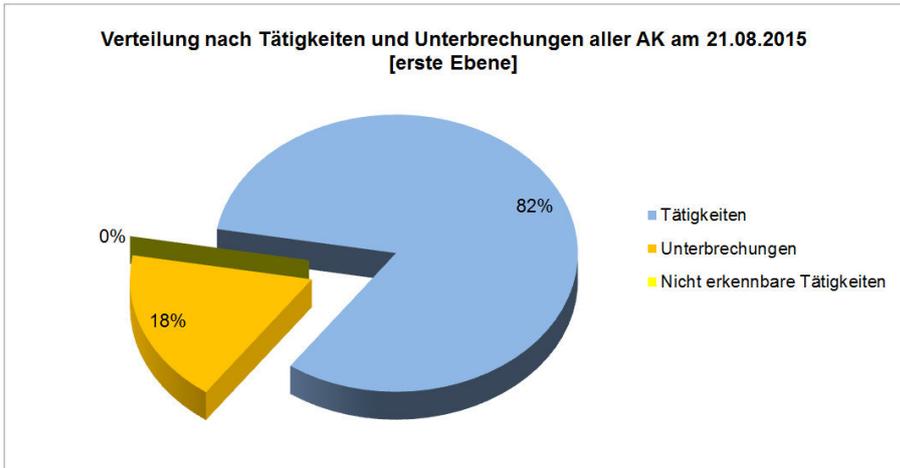
| | | |
|----------------------|-----------------------|--|
| Unterbrechung | ablauf- bedingt | Plan lesen, Diskussionen, Arbeitsvorgang klären |
| | | Warten, Kranstehzeit, LKW fährt ein |
| | störungs- bedingt | Fehlende Doku., ungenaue Planung |
| | | Werkzeug holen, Material holen, Teile herstellen |
| | | Fehlende Arbeitskraft (anderwärtig eingesetzt) |
| | | Ungenaue Ausführung der Vorarbeiten |
| | | Reparatur |
| | | Fehler in der AV |
| | erholungs- bedingt | Stehen, zuschauen, nichts tun |
| | | Teambesprechung über Hindernisse |
| | | Wasser / Kaffee trinken |
| | persönlich bedingt | Eigene Pause |
| | | Vorgegebene Pause |
| Abwesenheit | | |
| Nicht erkenn- bar | | |

▪ **Hauptkategorie: Erste Ebene**



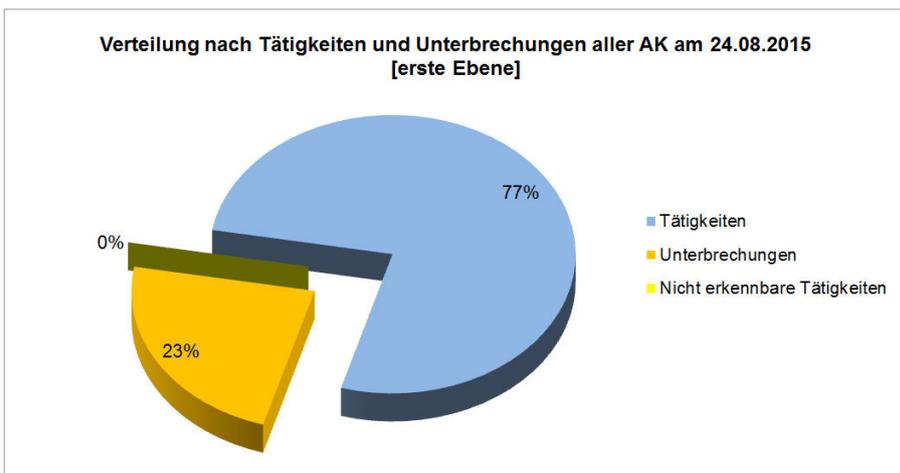
▪ **Statistische Sicherheit der Verteilung am 20.08.2015**

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{83 \cdot (100 - 83)}{648}} = \pm 2,89 \text{ [%]}$$



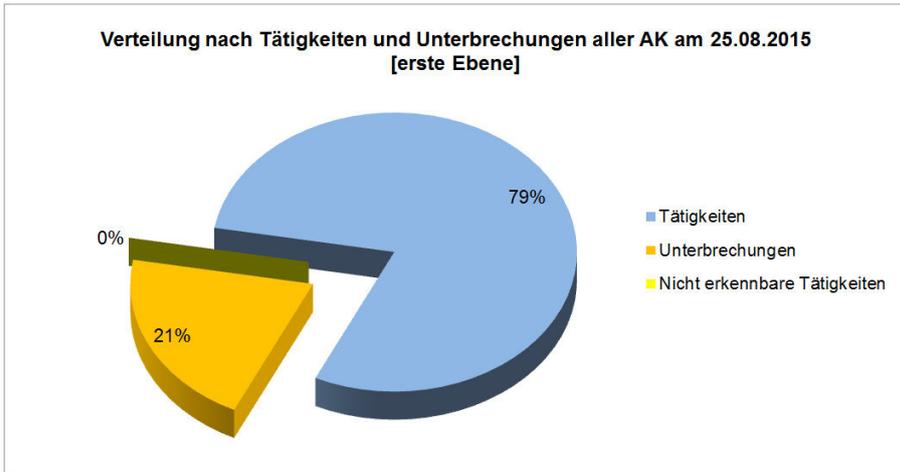
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 21.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{82 \cdot (100 - 82)}{648}} = \pm 2,96 \text{ [%]}$$



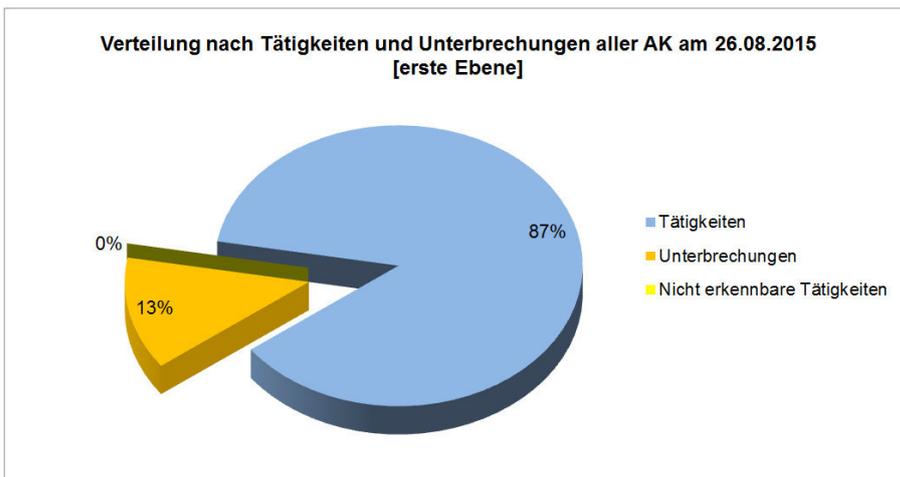
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 24.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{77 \cdot (100 - 77)}{585}} = \pm 3,41 \text{ [%]}$$



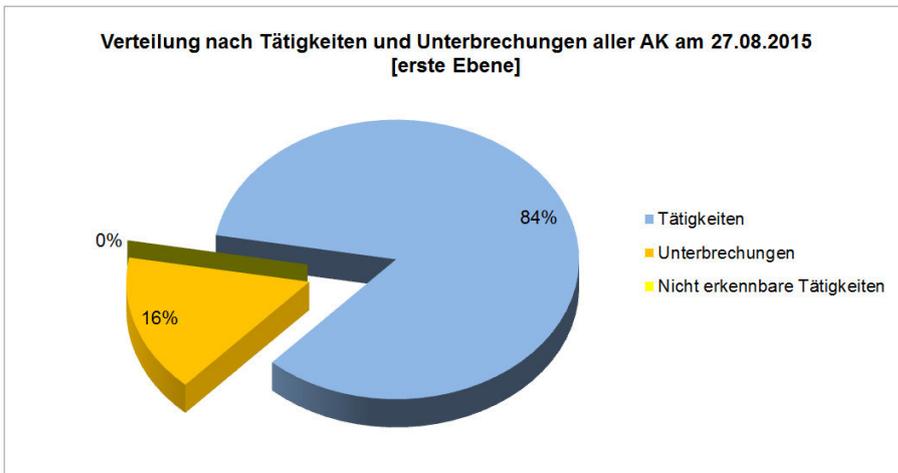
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 25.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{79 \cdot (100 - 79)}{648}} = \pm 3,14 \text{ [%]}$$



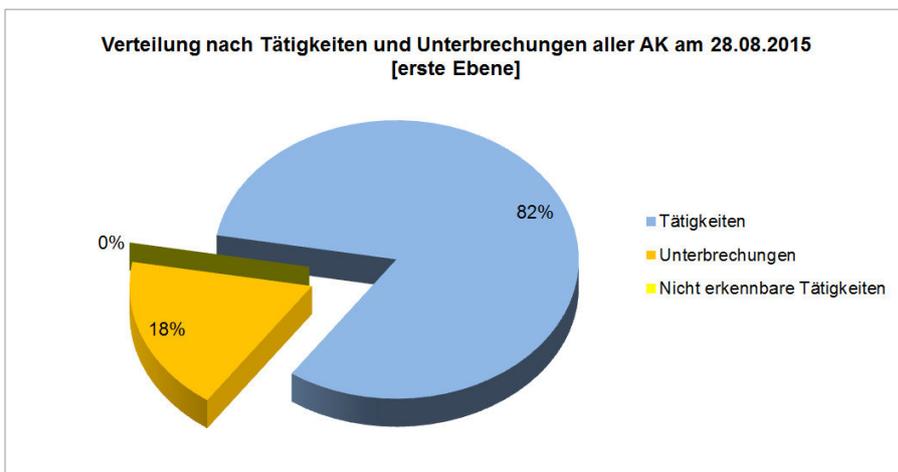
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 26.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{87 \cdot (100 - 87)}{756}} = \pm 2,40 \text{ [%]}$$



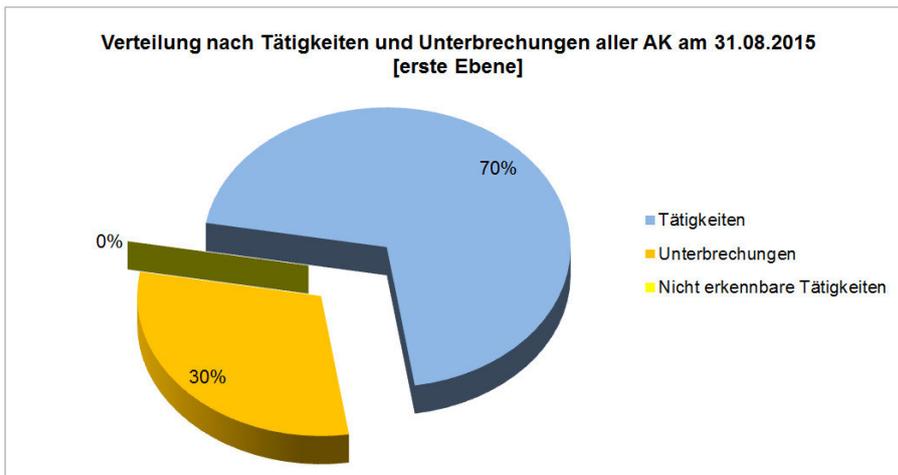
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 27.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{84 \cdot (100 - 84)}{809}} = \pm 2,53 \text{ [%]}$$



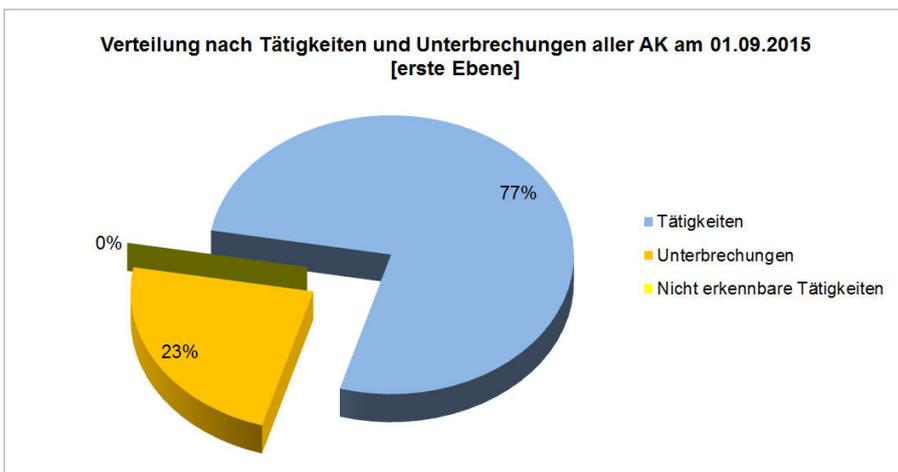
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 28.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{82 \cdot (100 - 82)}{864}} = \pm 2,56 \text{ [%]}$$



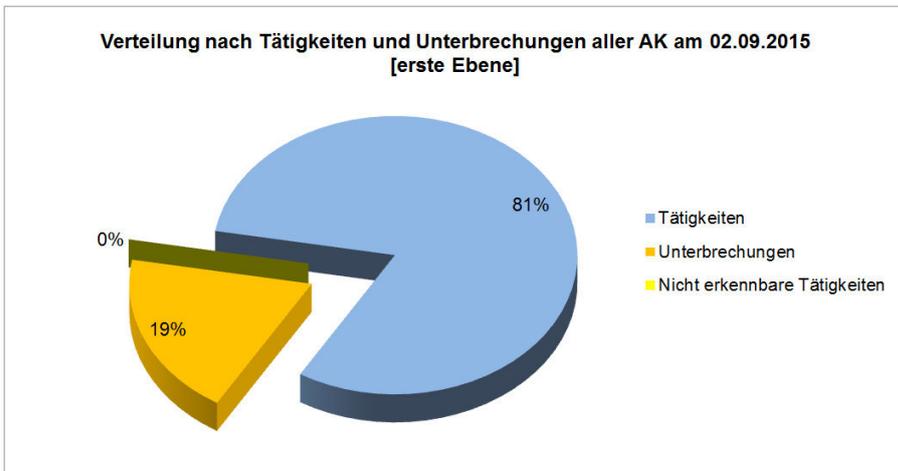
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 31.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{70 \cdot (100 - 70)}{864}} = \pm 3,06 \text{ [%]}$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 01.09.2015

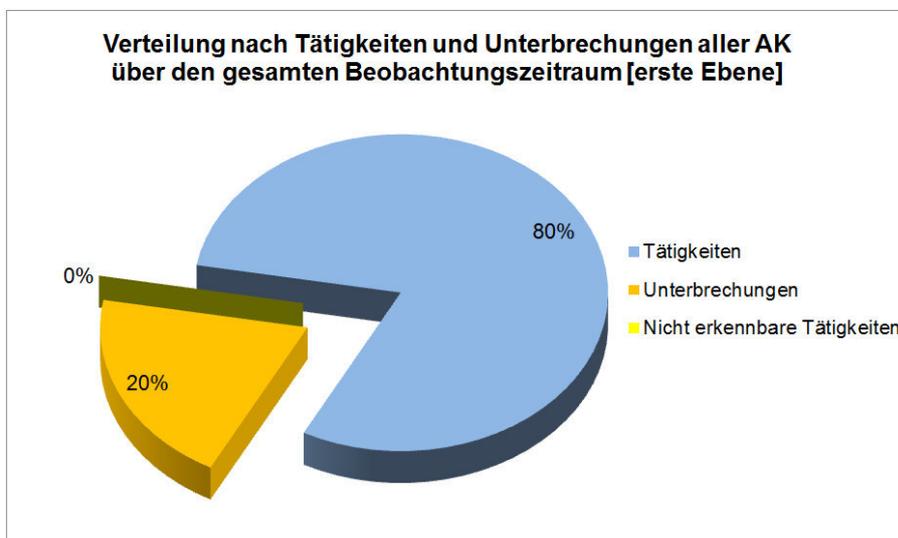
$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{77 \cdot (100 - 77)}{972}} = \pm 2,65 \text{ [%]}$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 02.09.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{81 \cdot (100 - 81)}{864}} = \pm 2,62 \text{ [%]}$$

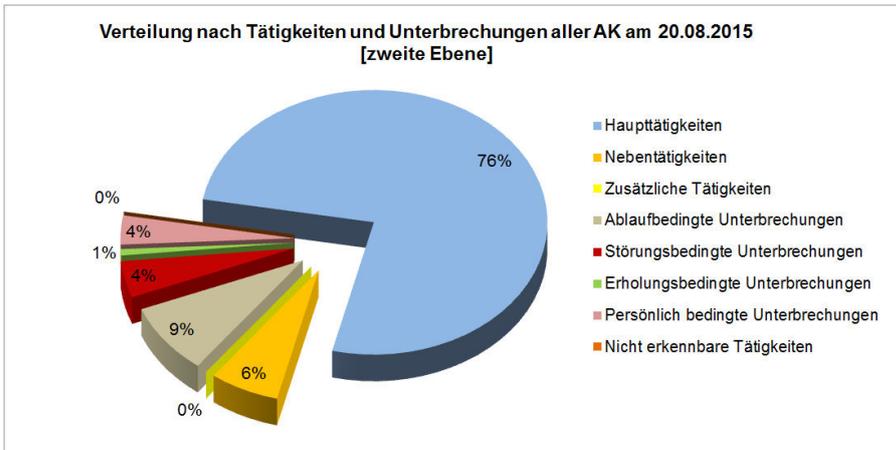
Nachfolgend ist die Verteilung aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum auf der ersten Ebene dargestellt.



- Statistische Sicherheit dieser Verteilung

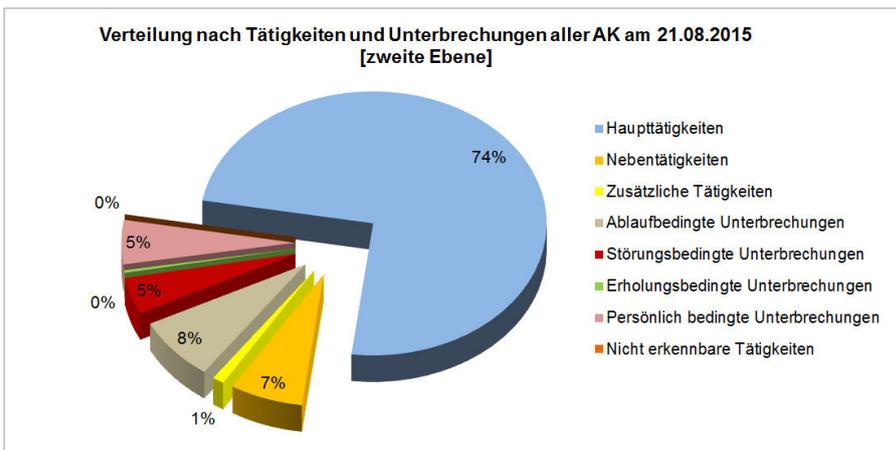
$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{80 \cdot (100 - 80)}{7658}} = \pm 0,90 \text{ [%]}$$

▪ **Unterkategorie: Zweite Ebene**



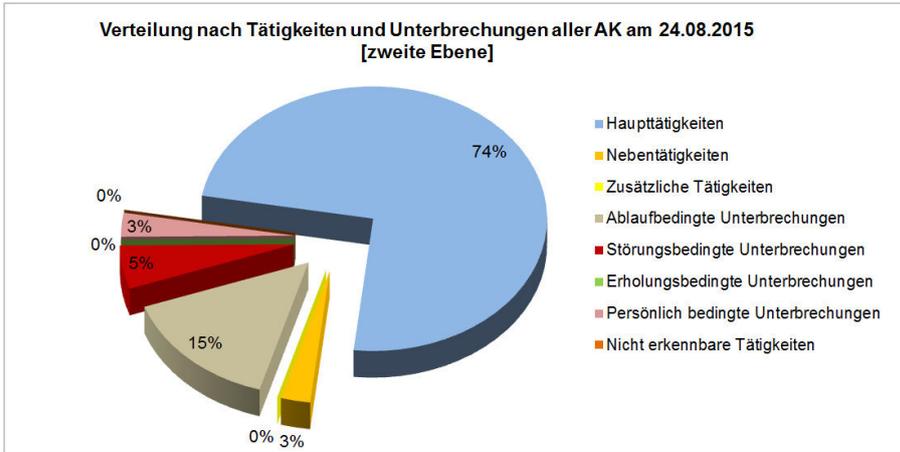
▪ **Statistische Sicherheit der Verteilung am 20.08.2015**

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{76 \cdot (100 - 76)}{648}} = \pm 3,29 \text{ [%]}$$



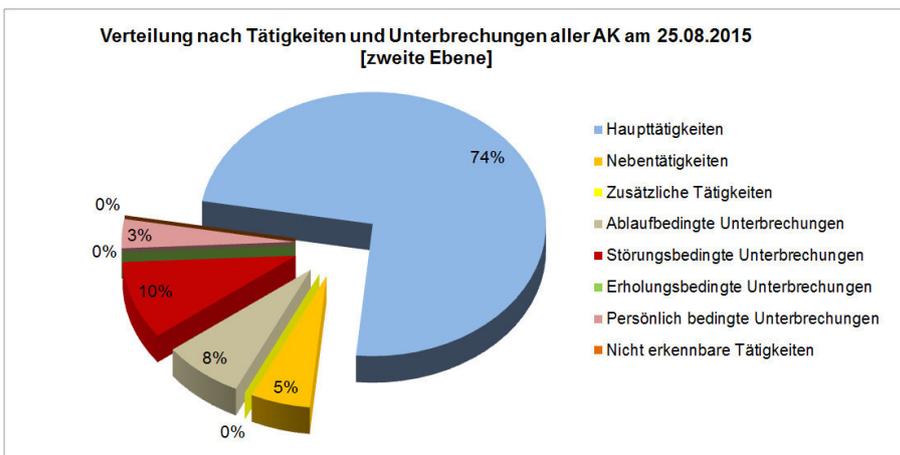
▪ **Statistische Sicherheit der Verteilung am 21.08.2015**

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{74 \cdot (100 - 74)}{648}} = \pm 3,38 \text{ [%]}$$



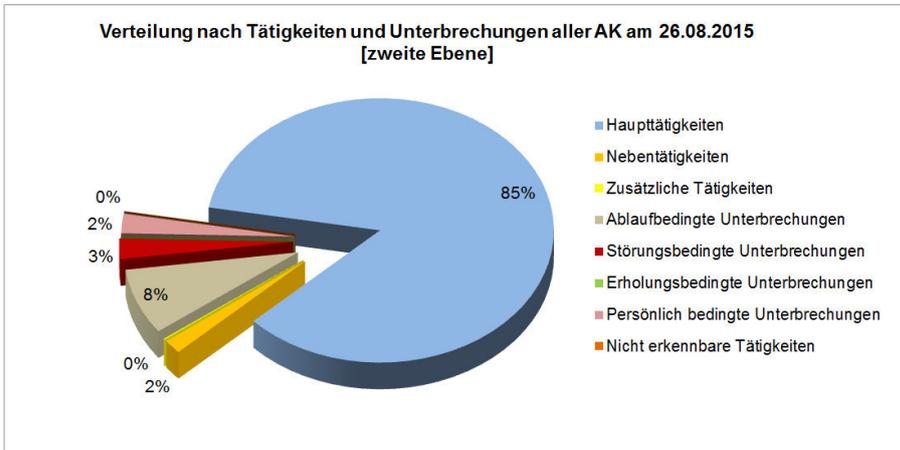
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 24.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{74 \cdot (100 - 74)}{584}} = \pm 3,56 \text{ [%]}$$



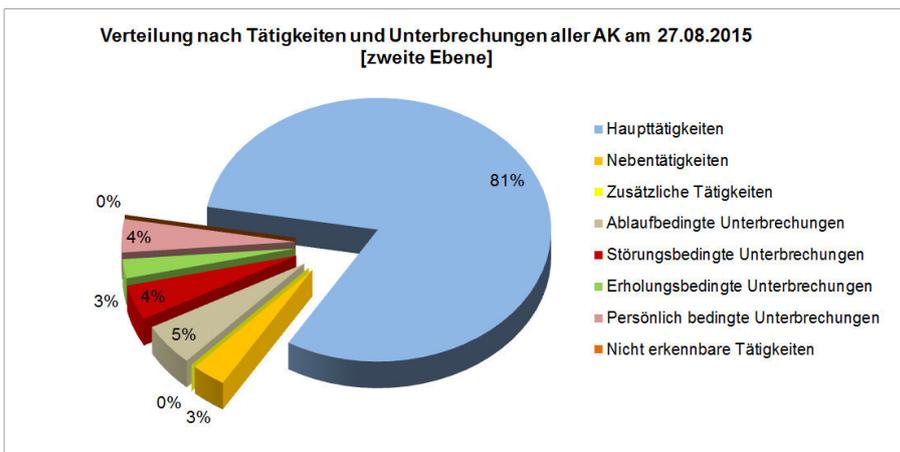
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 25.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{74 \cdot (100 - 74)}{684}} = \pm 3,29 \text{ [%]}$$



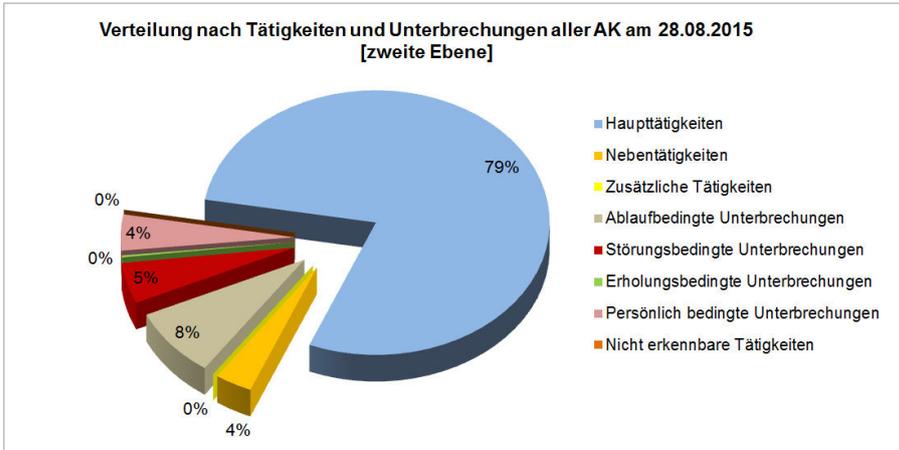
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 26.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{85 \cdot (100 - 85)}{756}} = \pm 2,54 \text{ [%]}$$



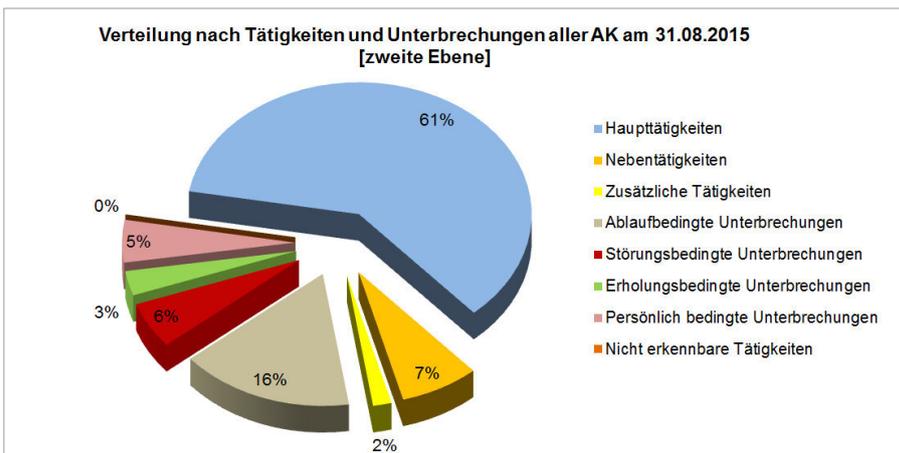
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 27.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{81 \cdot (100 - 81)}{809}} = \pm 2,70 \text{ [%]}$$



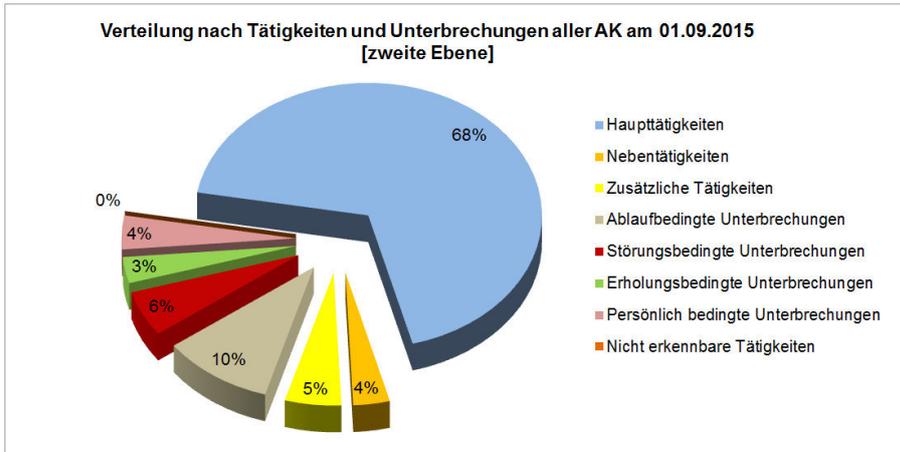
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 28.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{79 \cdot (100 - 79)}{864}} = \pm 2,72 \text{ [%]}$$



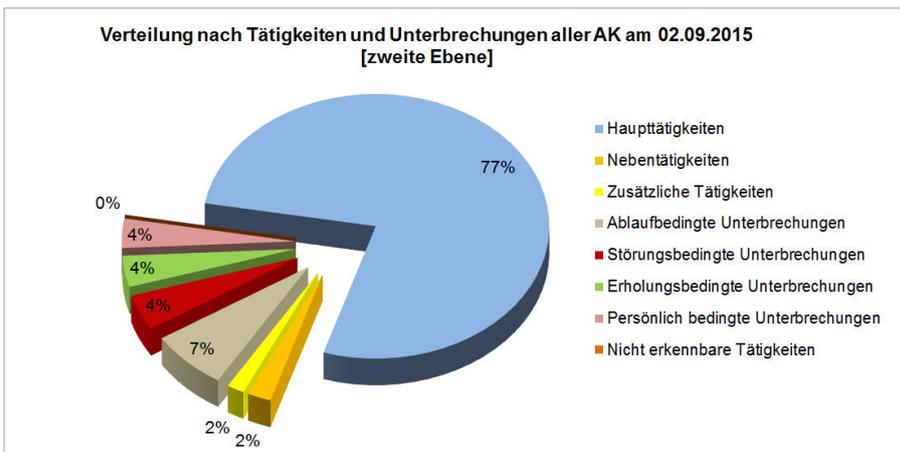
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 31.08.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{61 \cdot (100 - 61)}{864}} = \pm 3,25 \text{ [%]}$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 01.09.2015

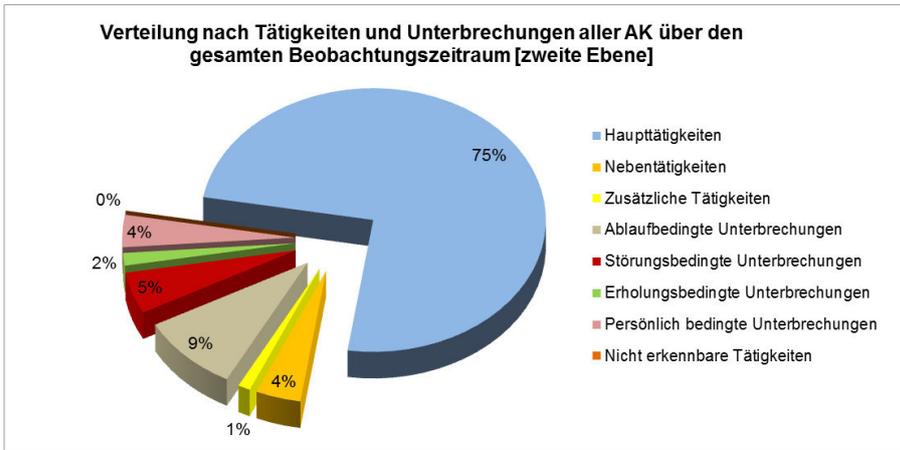
$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{68 \cdot (100 - 68)}{972}} = \pm 2,93 \text{ [%]}$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 02.09.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{77 \cdot (100 - 77)}{864}} = \pm 2,93 \text{ [%]}$$

Nachfolgend ist die Verteilung aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum auf der zweiten Ebene dargestellt.



- Statistische Sicherheit dieser Verteilung

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{75 \cdot (100 - 75)}{7658}} = \pm 0,97 \text{ [%]}$$

- Beurteilung der Haupttätigkeit nach REFA**

In der Beurteilung der Haupttätigkeit nach REFA wird der prozentuale Anteil der Haupttätigkeiten über alle Beobachtungstage zusammengefasst dargestellt. Das Beurteilungsschema setzt sich dabei aus den vordefinierten Klassifizierungsgrenzen laut REFA zusammen.

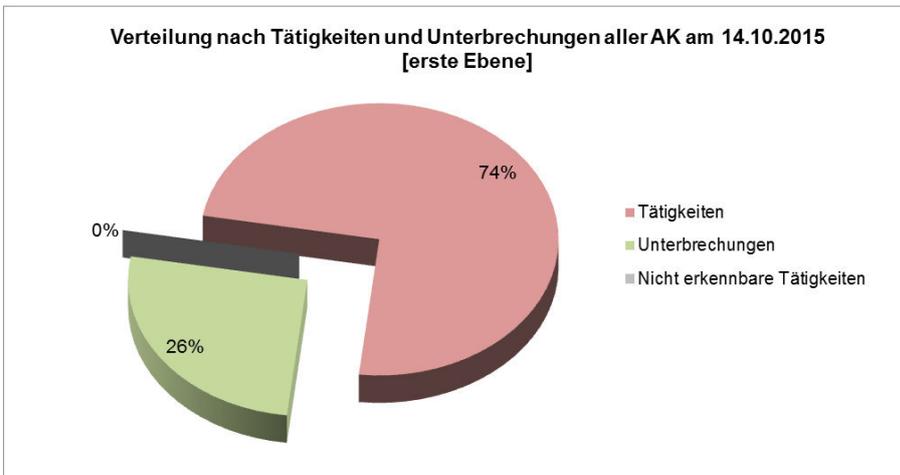
| Beurteilung der Hauptaktivität nach REFA | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|---------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--|
| Auftrag: Projekt A (MJS- München) | | alle AK | | | | | | | | | | | | |
| Fa. Zimmererei Steveke GmbH | | alle AK | | | | | | | | | | | | |
| Beurteilungsschema der Hauptaktivität | | Tage: | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. | 7. | 8. | 9. | 10. | Ges. | |
| | | | 76% | 74% | 74% | 74% | 85% | 81% | 78% | 61% | 68% | 77% | 75% | |
| GUT | 4.1% | 3.1% | 30% | 0% | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Summe [Tage] | 10 | 100% | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Ges. | |
| GUT [Tage] | 10 | 100% | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| MITTEL [Tage] | 0 | 0% | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| SCHLECHT [Tage] | 0 | 0% | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| GESAMTBEURTEILUNG | | | GUT | | | | | | | | | | | |

A.1.2.2 Projekt B

Sämtliche Tätigkeiten und Unterbrechungen im Zusammenhang mit dem Projekt B können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

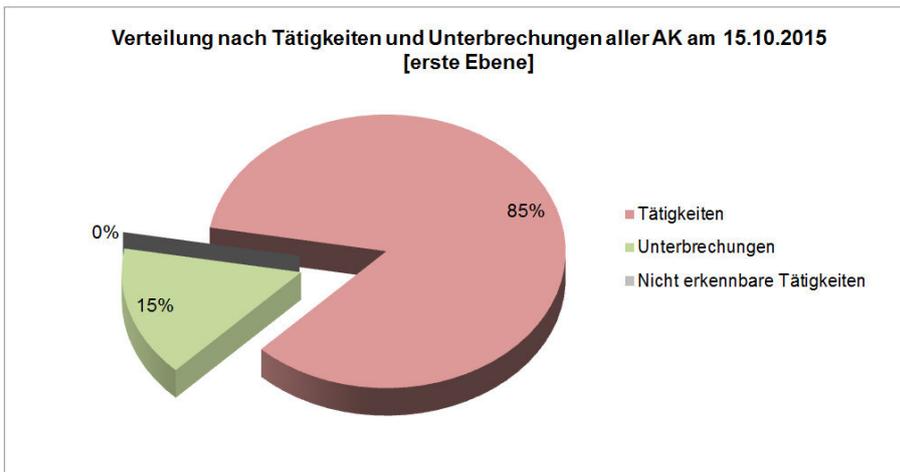
| | | |
|---|---------------------------|---|
| Tätigkeit | Haupt-tätigkeit | Bearbeitung der unteren, sichtbaren Beplankung |
| | | Zusammenbau des Riegelwerkes |
| | | Ausrichtung des Rahmenelementes |
| | | Einbau der Hebeschlaufen |
| | | Befestigung der Winkel |
| | | Fixierung der oberen Beplankung |
| | | Pressvorbereitung der sichtbaren Beplankungsebene |
| | | Pressvorbereitung des Riegelwerkes |
| | | Verklebung |
| | | Schließen der Presse |
| | | Öffnen der Presse |
| | | Elementetransport und Verladung |
| | | Neben-tätigkeit | Kran fahren - leer |
| | Stapler fahren - leer | |
| Müll / Aufräumen manuell und maschinell | | |
| zusätzliche Tätigkeit | | |
| Unterbrechung | ablauf-bedingt | Plan lesen, Diskussionen, Arbeitsvorgang klären |
| | | Warten, Kranstehzeit, LKW fährt ein |
| | störungs-bedingt | Fehlende Doku., ungenaue Planung |
| | | Werkzeug holen, Material holen, Teile herstellen |
| | | Fehlende Arbeitskraft (anderwärtig beschäftigt) |
| | | Ungenaue Ausführung der Vorarbeiten |
| | | Reparatur |
| | | Fehler in der AV |
| | erholungs-bedingt | Stehen, zuschauen, nichts tun |
| | | Teambesprechung über Hindernisse |
| | | Wasser / Kaffee trinken |
| | persönlich bedingt | Eigene Pause |
| | | Vorgegebene Pause |
| | | Abwesenheit |
| | Nicht erkennbar | |

- **Hauptkategorie: Erste Ebene**



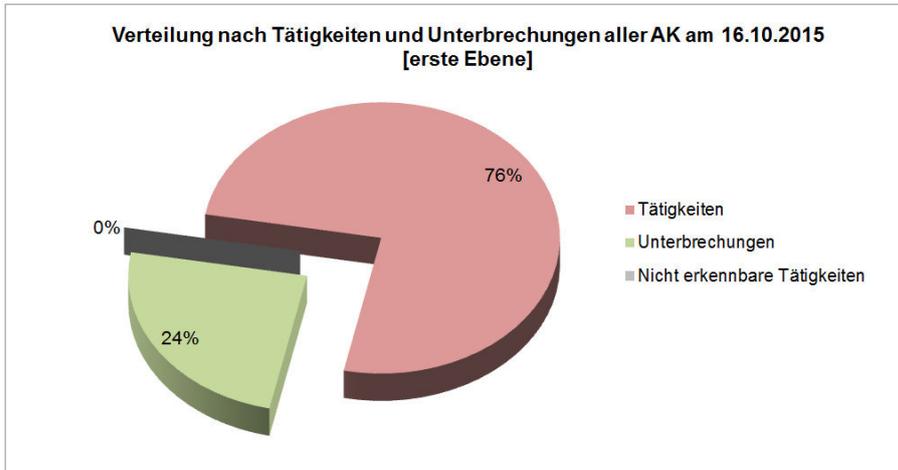
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 14.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{74 \cdot (100 - 74)}{420}} = \pm 4,20 \text{ [%]}$$



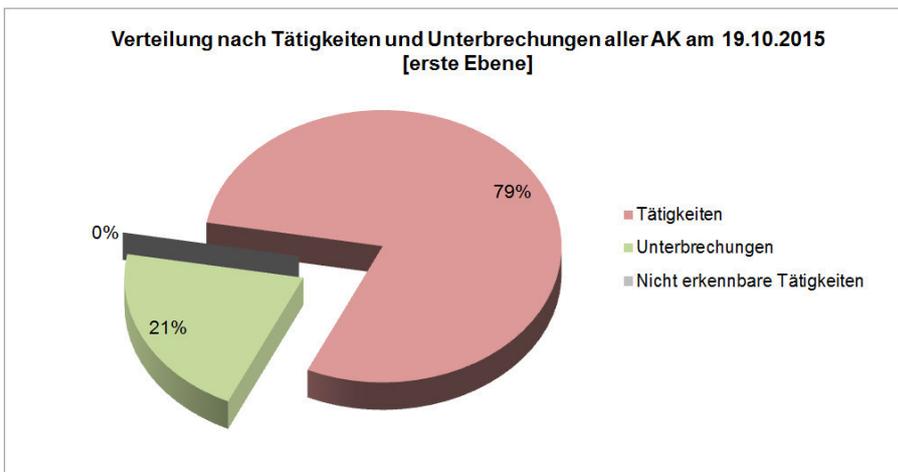
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 15.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{85 \cdot (100 - 85)}{420}} = \pm 3,41 \text{ [%]}$$



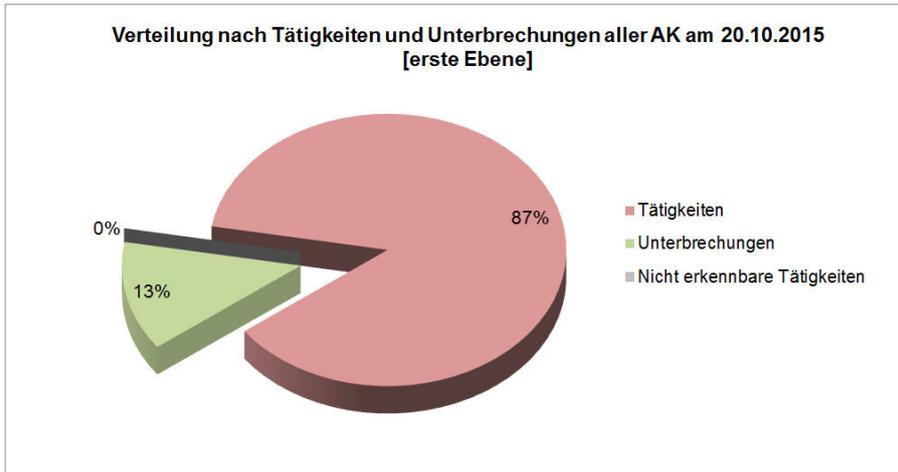
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 16.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{76 \cdot (100 - 76)}{381}} = \pm 4,29 \text{ [%]}$$



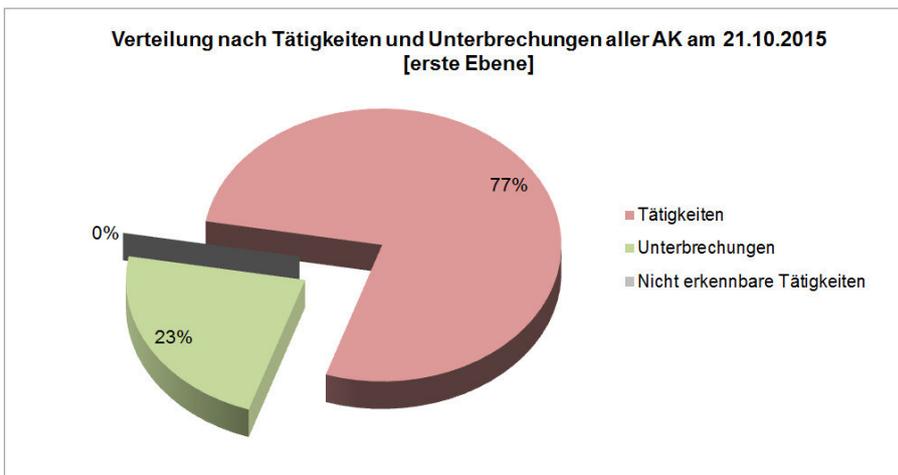
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 19.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{79 \cdot (100 - 79)}{522}} = \pm 3,49 \text{ [%]}$$



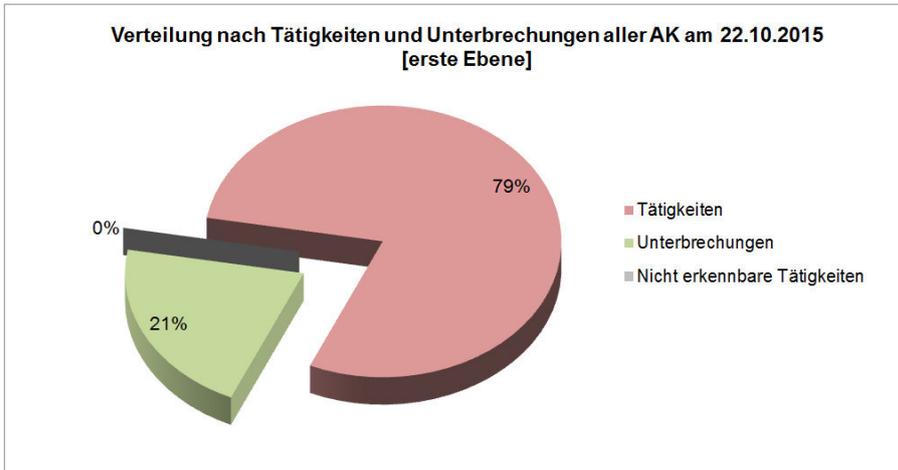
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 20.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{87 \cdot (100 - 87)}{501}} = \pm 2,94 \text{ [%]}$$



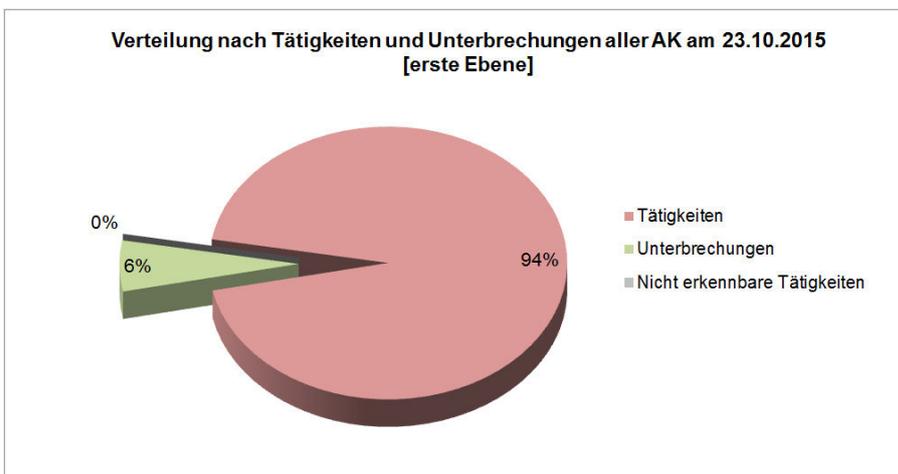
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 21.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{77 \cdot (100 - 77)}{432}} = \pm 3,97 \text{ [%]}$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 22.10.2015

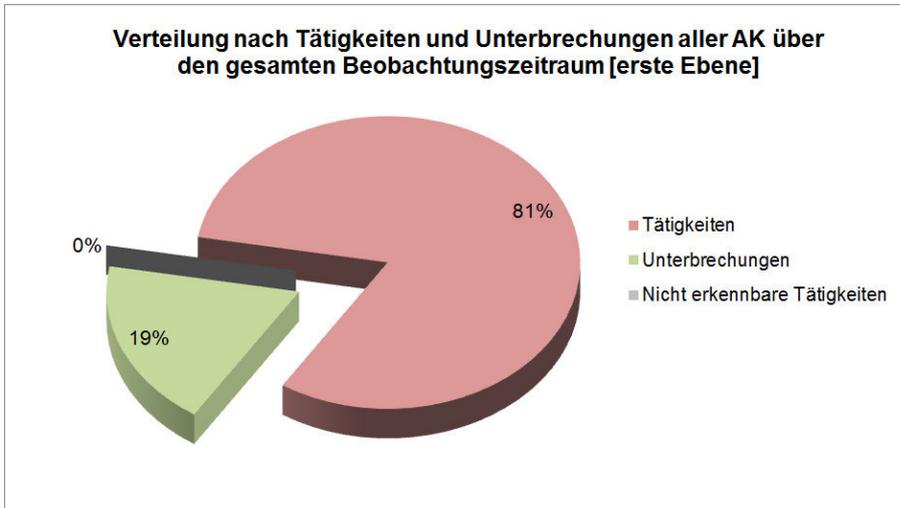
$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{79 \cdot (100 - 79)}{540}} = \pm 3,44 \text{ [%]}$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 23.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{94 \cdot (100 - 94)}{432}} = \pm 2,24 \text{ [%]}$$

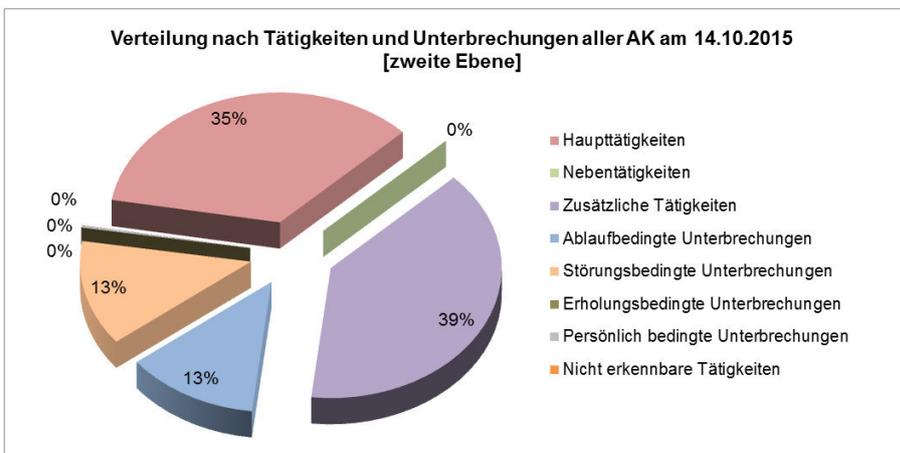
Nachfolgend ist die Verteilung aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum auf der ersten Ebene dargestellt.



- Statistische Sicherheit dieser Verteilung

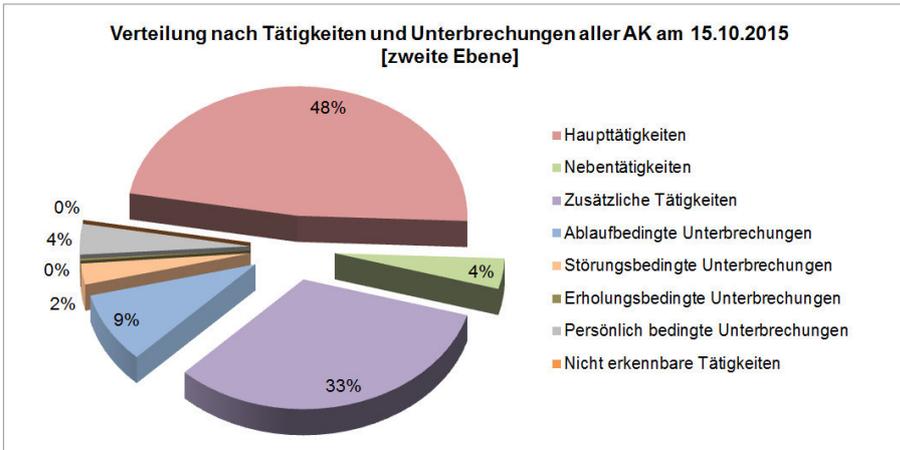
$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{81 \cdot (100 - 81)}{3648}} = \pm 1,27 \text{ [%]}$$

- Unterkategorie: Zweite Ebene**



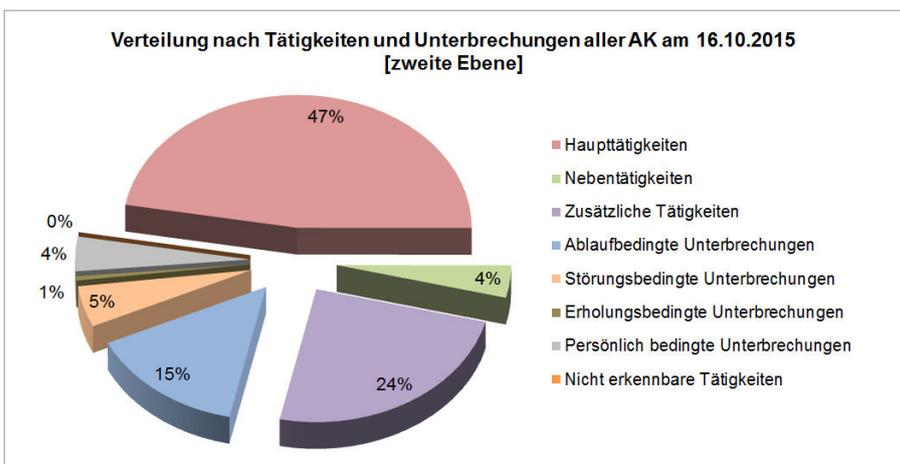
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 14.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{35 \cdot (100 - 35)}{420}} = \pm 4,56 \text{ [%]}$$



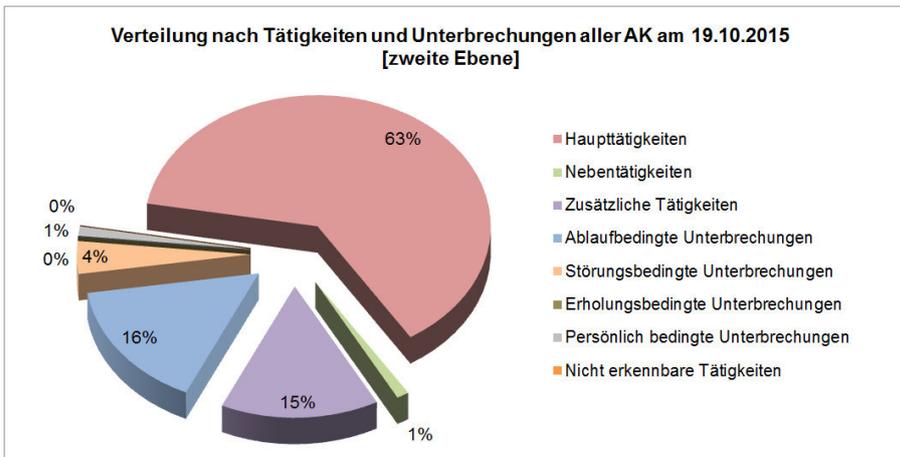
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 15.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{48 \cdot (100 - 48)}{420}} = \pm 4,78 \text{ [%]}$$



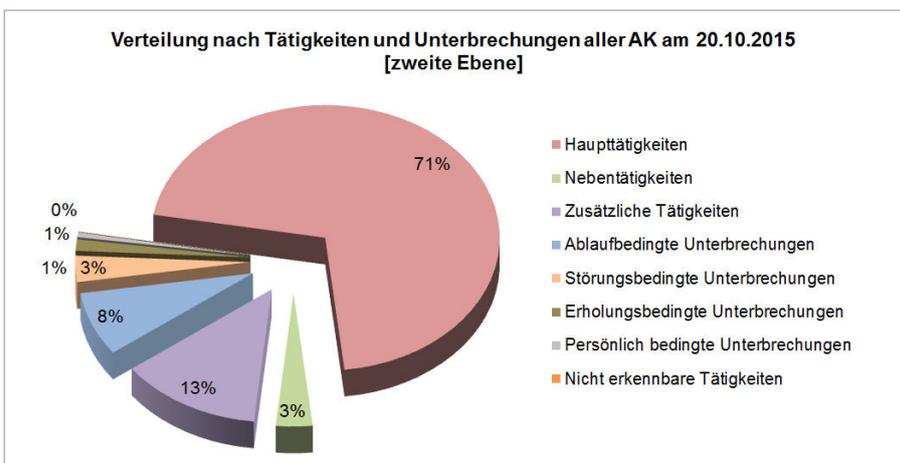
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 16.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{47 \cdot (100 - 47)}{381}} = \pm 5,01 \text{ [%]}$$



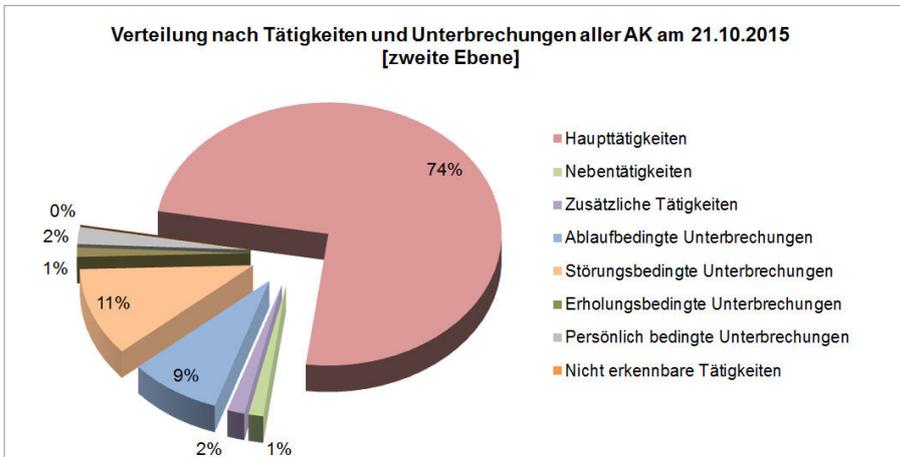
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 19.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{63 \cdot (100 - 63)}{522}} = \pm 4,14 \text{ [%]}$$



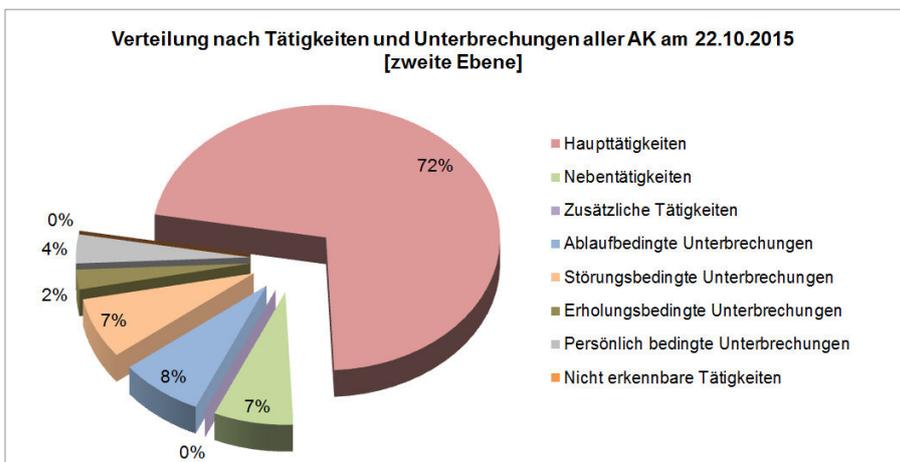
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 20.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{71 \cdot (100 - 71)}{501}} = \pm 3,97 \text{ [%]}$$



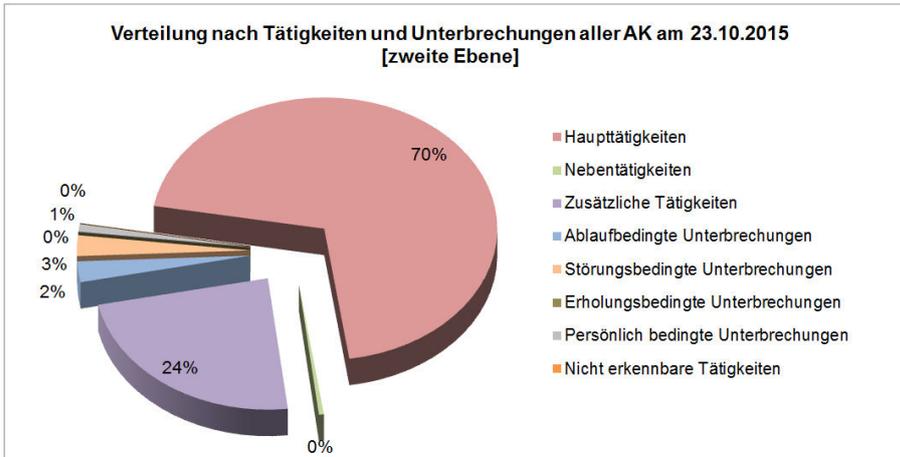
- Statistische Sicherheit der Verteilung am 21.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{74 \cdot (100 - 74)}{432}} = \pm 4,14 \text{ [%]}$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 22.10.2015

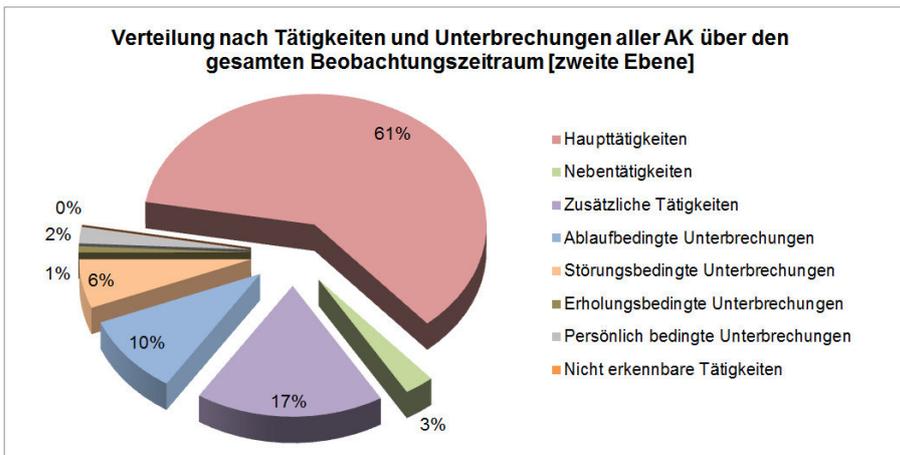
$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{72 \cdot (100 - 72)}{540}} = \pm 3,79 \text{ [%]}$$



- Statistische Sicherheit der Verteilung am 23.10.2015

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{70 \cdot (100 - 70)}{432}} = \pm 4,32 \text{ [%]}$$

Nachfolgend ist die Verteilung aller Arbeitskräfte über den gesamten Beobachtungszeitraum auf der zweiten Ebene dargestellt.

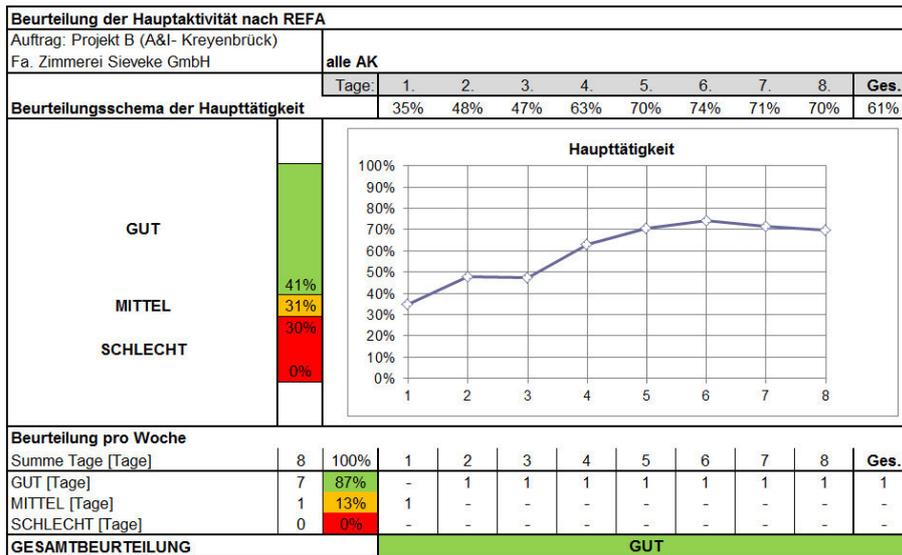


- Statistische Sicherheit dieser Verteilung

$$f = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot (100 - p)}{n}} = \pm 1,96 \cdot \sqrt{\frac{61 \cdot (100 - 61)}{3648}} = \pm 1,58 \text{ [%]}$$

▪ **Beurteilung der Haupttätigkeit nach REFA**

In der Beurteilung der Haupttätigkeit nach REFA wird der prozentuale Anteil der Haupttätigkeiten über alle Beobachtungstage zusammengefasst dargestellt. Das Beurteilungsschema setzt sich dabei aus den vordefinierten Klassifizierungsgrenzen laut REFA zusammen.



A.1.3 Ermittelte Aufwandswerte

Der nachfolgende Abschnitt beinhaltet die Auflistung sämtlicher AW_{brutto} sowie AW_{netto} beider Projekte, inkl. einer detaillierten Darstellung der Tätigkeitsverteilung.

A.1.3.1 Projekt A

Die zugehörigen Tätigkeiten aller Aufwandswertpositionen im Zusammenhang mit dem Projekt A können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

| AS | AWi – Position | Beschreibung |
|-----------------------|---|---|
| Arbeitsstation 1 | Zusammenbau des Riegelwerkes | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch |
| | | Positionierung der Hölzer |
| | | Verschraubung der Hölzer |
| | | Einbau der Hebeschlaufen |
| | Einbau der Stellbretter | Holvorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch |
| | | Einbau der Stellbretter |
| | | Evtl. Nachbearbeitung der Stellbretter |
| Einbau der Querbalken | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch | |

| | | |
|--|---------------------------------------|---|
| | Ausrichtung des Elementes | Positionierung der Hölzer |
| | | Verschraubung der Hölzer |
| | | Befestigung der Lotschnur |
| | | Ausmessung der Diagonalen |
| | Befestigung der Dampfbremse | Ausrichtung des Elementes |
| | | Aufbringung der Folie |
| | | Befestigung der Folie |
| | Fixierung der inneren Beplankung | Evtl. Zuschnitt der Folie bei Öffnungen |
| | | Hebevorgang vom Lagerbereich zum |
| | | Positionierung der Platten |
| | | Verschraubung der Platten |
| | Verspachtelung der inneren Beplankung | Evtl. Bearbeitung der Platten |
| | | Verspachtelung der Plattenstöße |
| | Arbeitsstation 2 | Befestigung der Winkel |
| Verschraubung der Winkel | | |
| Vorbereitung der Dämmung | | Holvorgang vom Lagerbereich zur Arbeitsstation |
| | | Zuschnitt der Dämmstoffbahnen |
| | | Positionierung der Dämmstoffbahnen am Element |
| Einbau der Dämmung | | Einbau der Dämmstoffbahnen |
| | | Evtl. Bearbeitung der Dämmstoffbahnen |
| Einbau der Füllhölzer | | Holvorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch |
| | | Positionierung der Hölzer |
| | | Verschraubung der Hölzer |
| Arbeitsstation 3 | Fixierung der äußeren Beplankung | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch |
| | | Positionierung der Platten |
| | | Verschraubung der Platten |
| | | Evtl. Bearbeitung der Platten |
| | Ablebung der äußeren Beplankung | Anbringung der Klebestreifen an den Plattenstößen |
| | Befestigung der Unterkonstruktion | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch |
| | | Positionierung der Hölzer |
| | | Verschraubung der Hölzer |
| | | Evtl. Bearbeitung der Hölzer |
| | Einbau der Dichtung | Anbringung des Dichtungsbandes |
| Befestigung des Dichtungsbandes mit Klammerung | | |

| | | |
|------------------|---|--|
| Arbeitsstation 4 | Vorbereitungsmaßnahmen Fenstereinbau | Einbau der Holzklötze zum Fenster- anschlag |
| | | Einbau des Multifunktionsbandes |
| | | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Element |
| | | Positionierung des Fensters |
| | | Verschraubung des Fensters mit dem Element |
| | | Evtl. Sicherungsmaßnahmen für den Transport |
| | Einbau der Glasleisten | Holvorgang vom Lagerbereich zum Element |
| | | Befestigung der Glasleisten am Fens- ter |
| | | Evtl. Bearbeitung der Glasleisten |
| | Einbau der Fensterfaschen | Holvorgang vom Lagerbereich zum Element |
| | | Einbau der Dämmstreifen |
| | | Positionierung der Faschen |
| | | Verschraubung der Faschen |
| | | Evtl. Bearbeitung der Faschen |

Die Zusammensetzung der Bezugsgrößen, getrennt nach den Arbeitsstationen, wird in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.

▪ **Arbeitsstation 1**

| Element [Nr.] | Fläche Brutto [m ²] | Fläche Fenster [m ²] | Fläche Netto [m ²] |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| KT - Nord - 01 | 28,91 | 0,00 | 28,91 |
| KT - Nord - 02 | 32,65 | 0,00 | 32,65 |
| KT - Nord - 03 | 32,65 | 0,00 | 32,65 |
| KT - Nord - 06 | 32,55 | 7,72 | 20,02 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 07 | 32,29 | 7,72 | 24,57 |
| KT - Nord - 08 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 09 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 10 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 11 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 12 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |

| | | | |
|----------------------|-------|------|-----------------------------|
| KT - Nord - 13 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 14 | 32,42 | 7,72 | 24,70 |
| KT - Nord - 15 | 23,05 | 7,72 | 10,51 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 16 | 30,96 | 0,00 | 30,96 |
| KT - Nord - 17 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 19 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 20 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 21 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Nord - 22 | 32,42 | 7,72 | 19,89 |
| | | 4,82 | |
| KT - Ost - 01 | 28,10 | 7,91 | 15,38 |
| | | 4,81 | |
| KT - Ost - 02 | 32,65 | 0,00 | 32,65 |
| KT - Ost - 03 | 32,65 | 0,00 | 32,65 |
| KT - Ost - 05 | 14,69 | 0,00 | 14,69 |
| Σ Nettofläche | | | 519,06 m² |

▪ Arbeitsstation 2

| Element [Nr.] | Fläche Brutto [m ²] | Fläche Fenster [m ²] | Fläche Netto [m ²] |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| KT - Nord - 01 | 28.91 | 0.00 | 28.91 |
| KT - Nord - 02 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Nord - 03 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Nord - 04 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Nord - 06 | 32.55 | 7.72 | 20.02 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 07 | 32.29 | 7.72 | 24.57 |
| KT - Nord - 08 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 09 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 10 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 11 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 12 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |

| | | | |
|----------------------|-------|------|-----------------------------|
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 13 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 14 | 32.42 | 7.72 | 24.70 |
| KT - Nord - 15 | 23.05 | 7.72 | 10.51 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 16 | 30.96 | 0.00 | 30.96 |
| KT - Nord - 17 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 20 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 21 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 22 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Ost - 01 | 28.10 | 7.91 | 15.38 |
| | | 4.81 | |
| KT - Ost - 02 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Ost - 03 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Ost - 05 | 14.69 | 0.00 | 14.69 |
| Σ Nettofläche | | | 531.82 m² |

Arbeitsstation 3

| Element [Nr.] | Fläche Brutto [m ²] | Fläche Fenster [m ²] | Fläche Netto [m ²] |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| KT - Nord - 01 | 28.91 | 0.00 | 28.91 |
| KT - Nord - 02 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Nord - 03 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Nord - 04 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Nord - 06 | 32.55 | 7.72 | 20.02 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 07 | 32.29 | 7.72 | 24.57 |
| KT - Nord - 08 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 09 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 10 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 11 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 12 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |

| | | | |
|----------------------|-------|------|-----------------------------|
| KT - Nord - 13 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 14 | 32.42 | 7.72 | 24.70 |
| KT - Nord - 15 | 23.05 | 7.72 | 10.51 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 16 | 30.96 | 0.00 | 30.96 |
| KT - Nord - 17 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 20 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 21 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Ost - 01 | 28.10 | 7.91 | 15.38 |
| | | 4.81 | |
| KT - Ost - 02 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Ost - 03 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Ost - 04 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Ost - 05 | 14.69 | 0.00 | 14.69 |
| Σ Nettofläche | | | 544.58 m² |

▪ Arbeitsstation 4

| Element [Nr.] | Fläche Brutto [m ²] | Fläche Fenster [m ²] | Fläche Netto [m ²] | Fensterumfang [m] |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------------|
| KT - Nord - 06 | 32.55 | 7.72 | 20.02 | 15.92 |
| | | 4.82 | | 9.10 |
| KT - Nord - 07 | 32.29 | 7.72 | 24.57 | 15.92 |
| KT - Nord - 08 | 32.42 | 7.72 | 19.89 | 15.92 |
| | | 4.82 | | 9.10 |
| KT - Nord - 09 | 32.42 | 7.72 | 19.89 | 15.92 |
| | | 4.82 | | 9.10 |
| KT - Nord - 10 | 32.42 | 7.72 | 19.89 | 15.92 |
| | | 4.82 | | 9.10 |
| KT - Nord - 11 | 32.42 | 7.72 | 19.89 | 15.92 |
| | | 4.82 | | 9.10 |
| KT - Nord - 12 | 32.42 | 7.72 | 19.89 | 15.92 |
| | | 4.82 | | 9.10 |
| KT - Nord - 13 | 32.42 | 7.72 | 19.89 | 15.92 |
| | | 4.82 | | 9.10 |
| KT - Nord - 14 | 32.42 | 7.72 | 24.70 | 15.92 |
| KT - Nord - 15 | 23.05 | 7.72 | 10.51 | 15.92 |
| | | 4.82 | | 9.10 |

| | | | | |
|----------------|-------|------|-----------------------------|-----------------|
| KT - Nord - 17 | 32.42 | 7.72 | 19.89 | 15.92 |
| | | 4.82 | | 9.10 |
| KT - Nord - 20 | 32.42 | 7.72 | 19.89 | 15.92 |
| | | 4.82 | | 9.10 |
| KT - Ost - 01 | 28.10 | 7.91 | 15.38 | 16.08 |
| | | 4.81 | | 9.10 |
| KT - Ost - 02 | 32.65 | 0.00 | 32.65 | |
| Σ | | | 286.91 m² | 307.22 m |

▪ Transport und Verladung

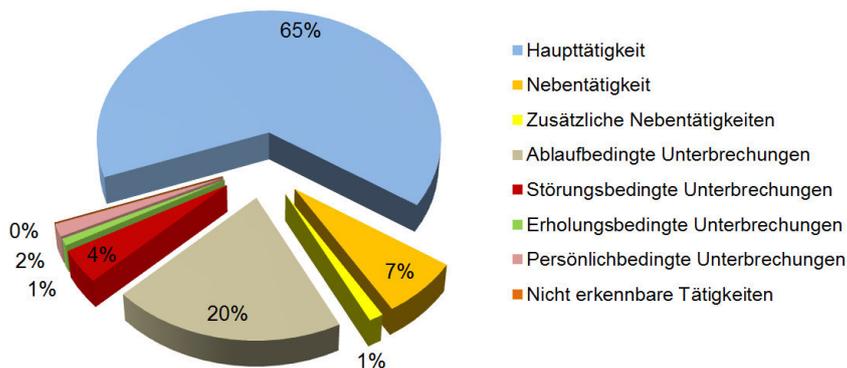
| Element [Nr.] | Fläche Brutto [m ²] | Fläche Fenster [m ²] | Fläche Netto [m ²] |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| KT - Nord - 01 | 28.91 | 0.00 | 28.91 |
| KT - Nord - 02 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Nord - 03 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Nord - 04 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Nord - 06 | 32.55 | 7.72 | 20.02 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 07 | 32.29 | 7.72 | 24.57 |
| KT - Nord - 08 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 09 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 10 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 11 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 12 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 13 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 14 | 32.42 | 7.72 | 24.70 |
| KT - Nord - 15 | 23.05 | 7.72 | 10.51 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 16 | 30.96 | 0.00 | 30.96 |
| KT - Nord - 17 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 19 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 20 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 21 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |

| | | | |
|----------------------|-------|------|-----------------------------|
| | | 4.82 | |
| KT - Nord - 22 | 32.42 | 7.72 | 19.89 |
| | | 4.82 | |
| KT - Ost - 01 | 28.10 | 7.91 | 15.38 |
| | | 4.81 | |
| KT - Ost - 02 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Ost - 03 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Ost - 04 | 32.65 | 0.00 | 32.65 |
| KT - Ost - 05 | 14.69 | 0.00 | 14.69 |
| Σ Nettofläche | | | 584.35 m² |

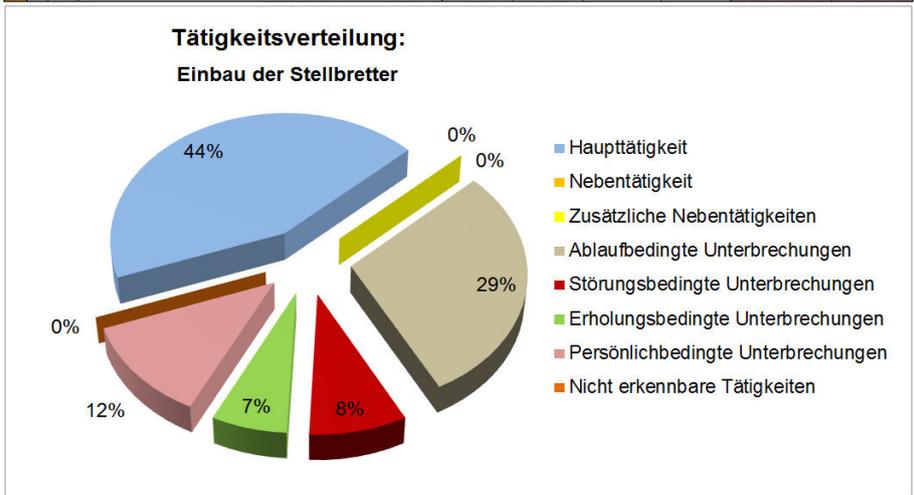
▪ **Aufandswerte v. Arbeitsstation 1**

| Beurteilung nach REFA | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
|------------------------------|--|-------|-------|------------|-------------------|------------------|-----------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| ASI | Tätigkeit: Zusammenbau des Riegelwerkes | | | | | | |
| | Haupttätigkeit + | 2035 | 33.92 | 65% | 519.06 | AW netto | 0.065 |
| | Nebentätigkeit + | 221 | 3.68 | 7% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 40 | 0.67 | 1% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 640 | 10.66 | 20% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 130 | 2.16 | 4% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 26 | 0.44 | 1% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 49 | 0.81 | 2% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 1105 | 18.41 | 35% | 519.06 | AW zusätzl. | 0.035 |
| Σ [min] | Zusammenbau des Riegelwerkes | 3140 | 52.33 | | | AW brutto | 0.101 |

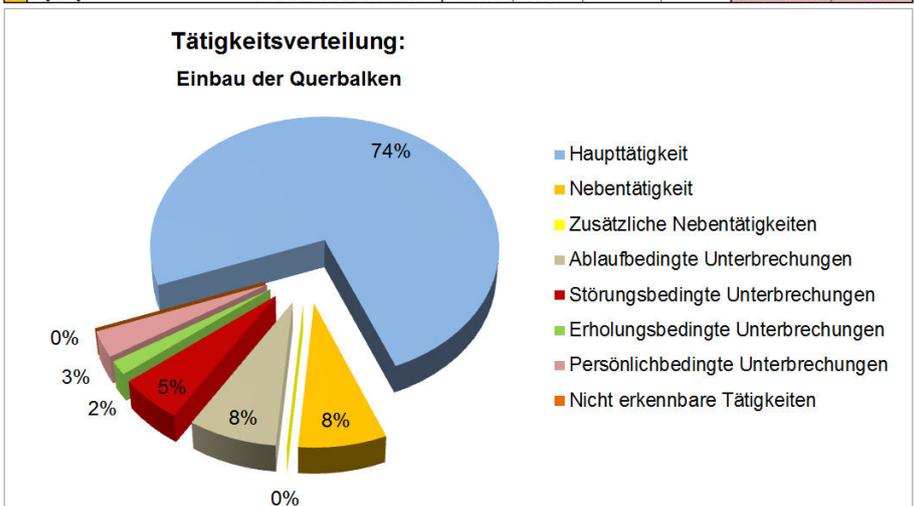
Tätigkeitsverteilung:
Zusammenbau des Riegelwerkes



| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Einbau der Stellbretter | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| Haupttätigkeit + | | 175 | 2.92 | 44% | 519.06 | AW netto | 0.006 |
| Nebentätigkeit + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 117 | 1.95 | 29% | | | |
| Störungsbedingte Unterbrechungen + | | 34 | 0.57 | 8% | | | |
| Erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 26 | 0.44 | 7% | | | |
| Persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 49 | 0.81 | 12% | | | |
| Nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Σ [min] | | 226 | 3.77 | 56% | 519.06 | AW zusätzl. | 0.007 |
| Σ [min] | Einbau der Stellbretter | 401 | 6.69 | | | AW brutto | 0.013 |

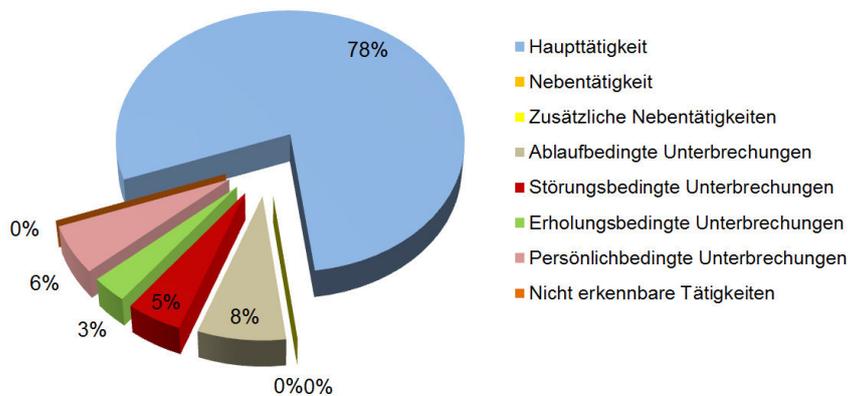


| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Einbau der Querbalken | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| Haupttätigkeit + | | 1140 | 19.00 | 74% | 519.06 | AW netto | 0.037 |
| Nebentätigkeit + | | 117 | 1.95 | 8% | | | |
| Zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 117 | 1.95 | 8% | | | |
| Störungsbedingte Unterbrechungen + | | 85 | 1.42 | 6% | | | |
| Erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 26 | 0.44 | 2% | | | |
| Persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 49 | 0.81 | 3% | | | |
| Nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Σ [min] | | 394 | 6.57 | 26% | 519.06 | AW zusätzl. | 0.013 |
| Σ [min] | Einbau der Querbalken | 1534 | 25.57 | | | AW brutto | 0.049 |



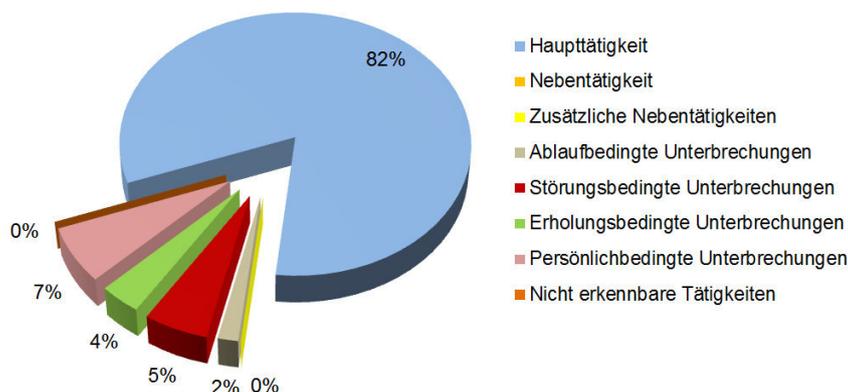
| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| ASI | Tätigkeit: Ausrichtung des Elementes | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| | Haupttätigkeit + | 655 | 10.92 | 79% | 519.06 | AW netto | 0.021 |
| | Nebentätigkeit + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 64 | 1.06 | 8% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 41 | 0.68 | 5% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 26 | 0.44 | 3% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 49 | 0.81 | 6% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 179 | 2.99 | 21% | 519.06 | AW zusätzl. | 0.006 |
| Σ [min] | Ausrichtung des Elementes | 834 | 13.90 | | | AW brutto | 0.027 |

Tätigkeitsverteilung:
Ausrichtung des Elementes



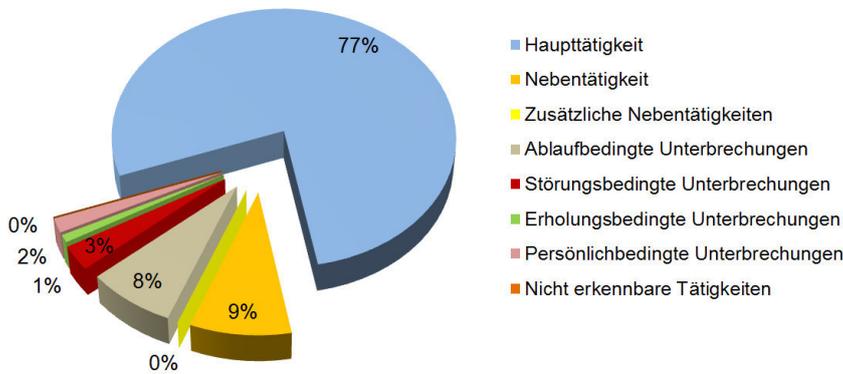
| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|------------------------------|--|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| ASI | Tätigkeit: Befestigung der Dampfbremse | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| | Haupttätigkeit + | 600 | 10.00 | 82% | 519.06 | AW netto | 0.019 |
| | Nebentätigkeit + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 13 | 0.21 | 2% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 41 | 0.68 | 6% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 26 | 0.44 | 4% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 49 | 0.81 | 7% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 128 | 2.14 | 18% | 519.06 | AW zusätzl. | 0.004 |
| Σ [min] | Befestigung der Dampfbremse | 728 | 12.14 | | | AW brutto | 0.023 |

Tätigkeitsverteilung:
Befestigung der Dampfbremse



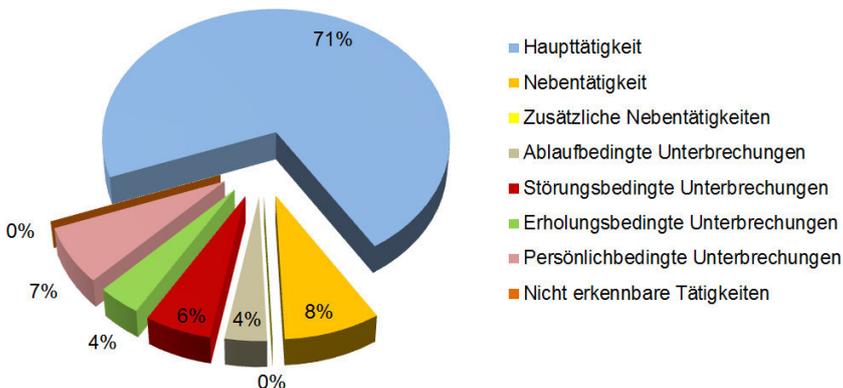
| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|---|----------------------------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Fixierung der inneren Beplankung | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| Haupttätigkeit + | | 2200 | 36.67 | 78% | 519.06 | AW netto | 0.071 |
| Nebentätigkeit + | | 252 | 4.19 | 9% | | | |
| Zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 222 | 3.70 | 8% | | | |
| Störungsbedingte Unterbrechungen + | | 85 | 1.42 | 3% | | | |
| Erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 26 | 0.44 | 1% | | | |
| Persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 49 | 0.81 | 2% | | | |
| Nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Σ [min] | | 633 | 10.55 | 22% | 519.06 | AW zusätzl. | 0.020 |
| Σ [min] | Fixierung der inneren Beplankung | 2833 | 47.22 | | | AW brutto | 0.091 |

**Tätigkeitsverteilung:
Fixierung der inneren Beplankung**



| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Verspachtelung der inneren Beplankung | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| Haupttätigkeit + | | 500 | 8.33 | 71% | 519.06 | AW netto | 0.016 |
| Nebentätigkeit + | | 59 | 0.98 | 8% | | | |
| Zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 26 | 0.43 | 4% | | | |
| Störungsbedingte Unterbrechungen + | | 41 | 0.68 | 6% | | | |
| Erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 26 | 0.44 | 4% | | | |
| Persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 49 | 0.81 | 7% | | | |
| Nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Σ [min] | | 200 | 3.33 | 29% | 519.06 | AW zusätzl. | 0.006 |
| Σ [min] | Verspachtelung der inneren Beplankung | 700 | 11.66 | | | AW brutto | 0.022 |

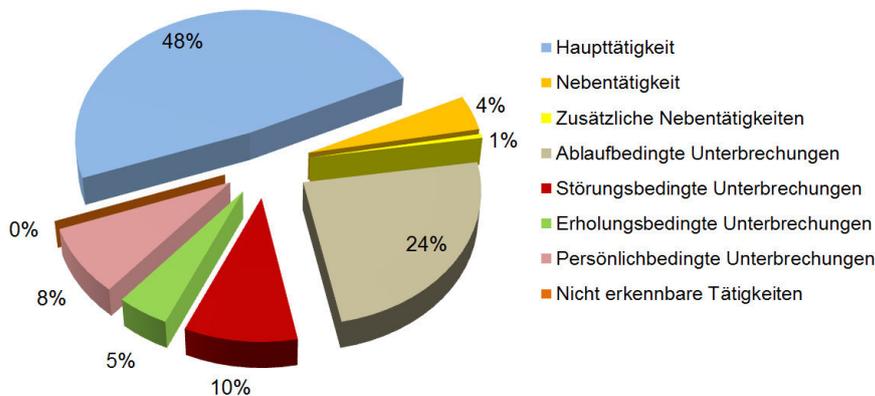
**Tätigkeitsverteilung:
Verspachtelung der inneren Beplankung**



▪ **Aufandswerte v. Arbeitsstation 2**

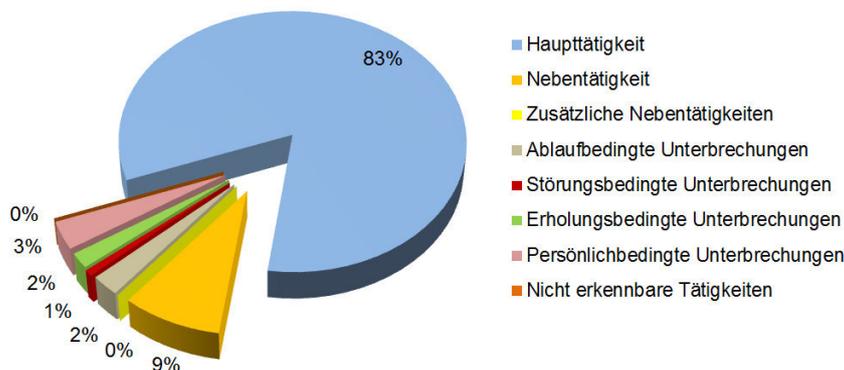
| Beurteilung nach REFA | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
|------------------------------|--|-------|-------|------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| AS2 | Tätigkeit: Befestigung der Winkel | | | | | | |
| | Haupttätigkeit + | 485 | 8.08 | 48% | 531.82 | AW netto | 0.015 |
| | Nebentätigkeit + | 43 | 0.71 | 4% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 5 | 0.08 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 244 | 4.06 | 24% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 98 | 1.63 | 10% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 45 | 0.75 | 4% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 83 | 1.38 | 8% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 517 | 8.62 | 52% | 531.82 | AW zusätzl. | 0.016 |
| Σ [min] | 1002 | 16.70 | | | AW brutto | 0.031 | |

**Tätigkeitsverteilung:
Befestigung der Winkel**



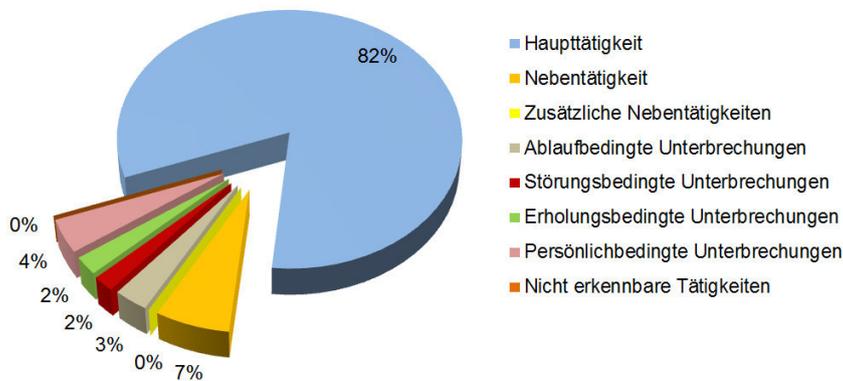
| Beurteilung nach REFA | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
|------------------------------|--|-------|-------|------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| AS2 | Tätigkeit: Vorbereitung der Dämmung | | | | | | |
| | Haupttätigkeit + | 2030 | 33.83 | 83% | 531.82 | AW netto | 0.064 |
| | Nebentätigkeit + | 213 | 3.54 | 9% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 61 | 1.02 | 2% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 18 | 0.30 | 1% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 45 | 0.75 | 2% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 83 | 1.38 | 3% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 420 | 6.99 | 17% | 531.82 | AW zusätzl. | 0.013 |
| Σ [min] | 2450 | 40.83 | | | AW brutto | 0.077 | |

**Tätigkeitsverteilung:
Vorbereitung der Dämmung**



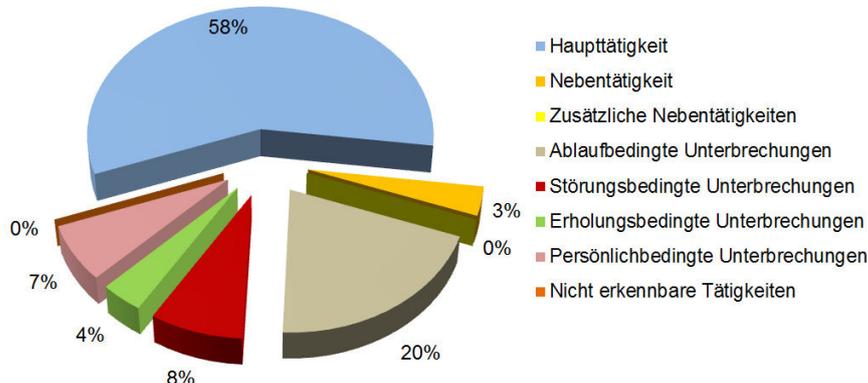
| Beurteilung nach REFA | | BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| Tätigkeit: Einbau der Dämmung | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| ASZ | Haupttätigkeit + | 1665 | 27.75 | 82% | 531.82 | AW netto | 0.052 |
| | Nebentätigkeit + | 133 | 2.21 | 7% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 61 | 1.02 | 3% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 38 | 0.63 | 2% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 45 | 0.75 | 2% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 83 | 1.38 | 4% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 360 | 5.99 | 18% | 531.82 | AW zusätzl. | 0.011 |
| | Σ [min] Einbau der Dämmung | 2025 | 33.74 | | | AW brutto | 0.063 |

**Tätigkeitsverteilung:
Einbau der Dämmung**



| Beurteilung nach REFA | | BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| Tätigkeit: Einbau der Füllhölzer | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| ASZ | Haupttätigkeit + | 695 | 11.58 | 58% | 531.82 | AW netto | 0.022 |
| | Nebentätigkeit + | 43 | 0.71 | 4% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 244 | 4.06 | 20% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 98 | 1.63 | 8% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 45 | 0.75 | 4% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 83 | 1.38 | 7% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 512 | 8.53 | 42% | 531.82 | AW zusätzl. | 0.016 |
| | Σ [min] Einbau der Füllhölzer | 1207 | 20.12 | | | AW brutto | 0.038 |

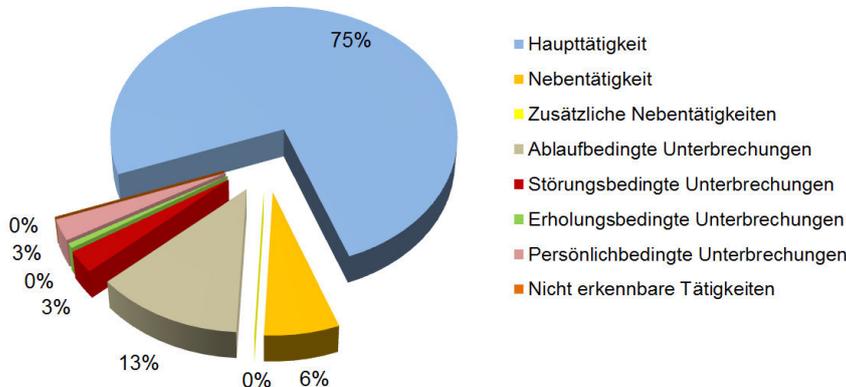
**Tätigkeitsverteilung:
Einbau der Füllhölzer**



▪ **Aufandswerte v. Arbeitsstation 3**

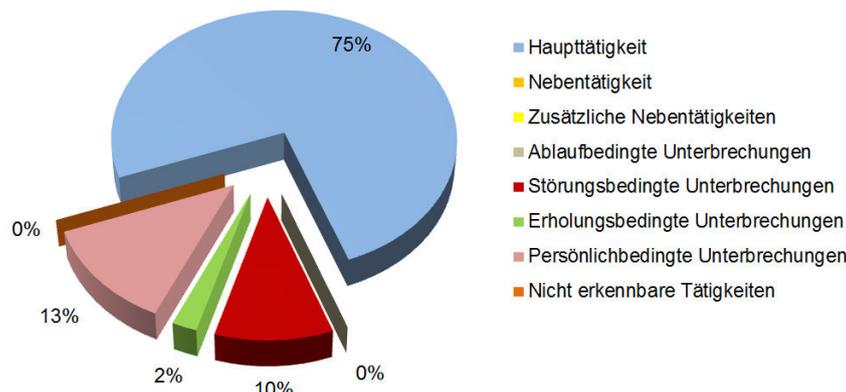
| Beurteilung nach REFA | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
|------------------------------|--|-------|-------|------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| AS3 | Tätigkeit: Fixierung der äußeren Beplankung | | | | | | |
| | Haupttätigkeit + | 2645 | 44.08 | 75% | 544.58 | AW netto | 0.081 |
| | Nebentätigkeit + | 231 | 3.84 | 7% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 452 | 7.53 | 13% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 96 | 1.59 | 3% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 21 | 0.35 | 1% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 92 | 1.53 | 3% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 891 | 14.84 | 25% | 544.58 | AW zusätzl. | 0.027 |
| Σ [min] | 3536 | 58.93 | | | AW brutto | 0.108 | |

**Tätigkeitsverteilung:
Fixierung der äußeren Beplankung**

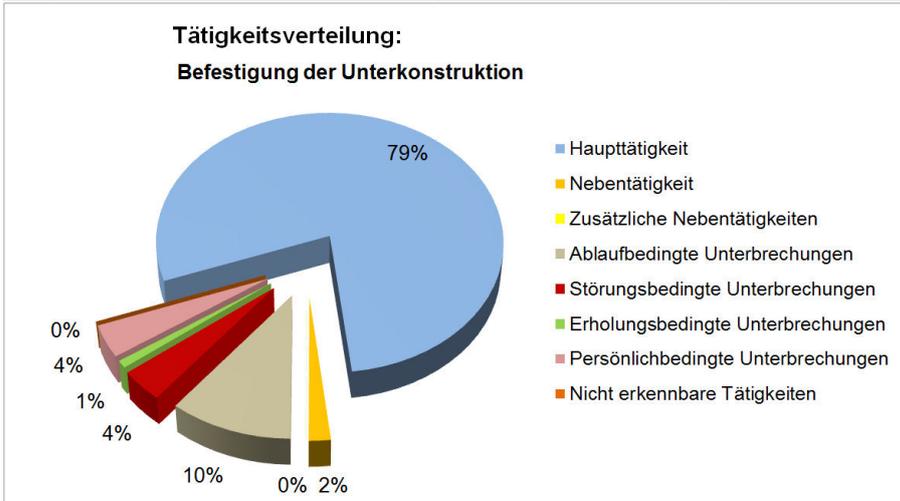


| Beurteilung nach REFA | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
|------------------------------|---|-------|-------|------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| AS3 | Tätigkeit: Ablebung der äußeren Beplankung | | | | | | |
| | Haupttätigkeit + | 545 | 9.08 | 75% | 544.58 | AW netto | 0.017 |
| | Nebentätigkeit + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 75 | 1.25 | 10% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 16 | 0.27 | 2% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 92 | 1.53 | 13% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 183 | 3.05 | 25% | 544.58 | AW zusätzl. | 0.006 |
| Σ [min] | 728 | 12.13 | | | AW brutto | 0.022 | |

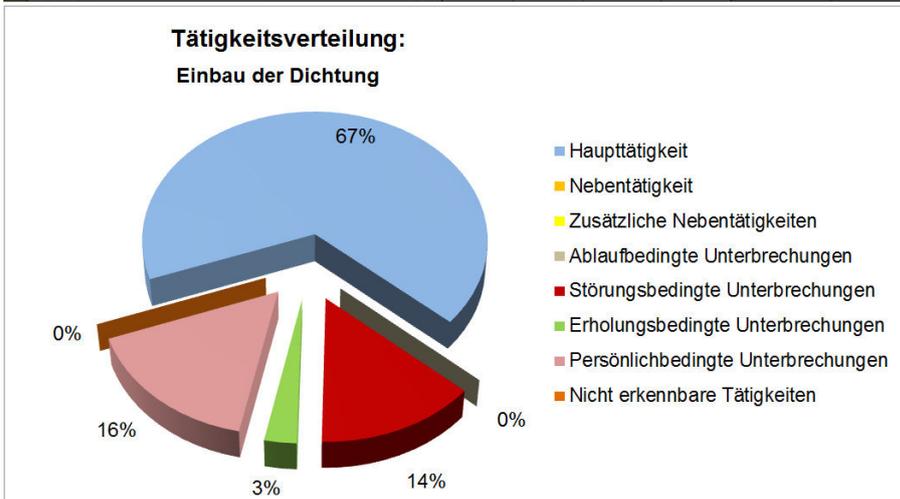
**Tätigkeitsverteilung:
Ablebung der äußeren Beplankung**



| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Befestigung der Unterkonstruktion | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| Haupttätigkeit + | | 1845 | 30.75 | 79% | 544.58 | AW netto | 0.056 |
| Nebentätigkeit + | | 45 | 0.74 | 2% | | | |
| Zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 251 | 4.18 | 11% | | | |
| Störungsbedingte Unterbrechungen + | | 91 | 1.51 | 4% | | | |
| Erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 21 | 0.35 | 1% | | | |
| Persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 92 | 1.53 | 4% | | | |
| Nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 499 | 8.31 | 21% | 544.58 | AW zusätzl. | 0.015 |
| Σ [min] | Befestigung der Unterkonstruktion | 2344 | 39.06 | | | AW brutto | 0.072 |



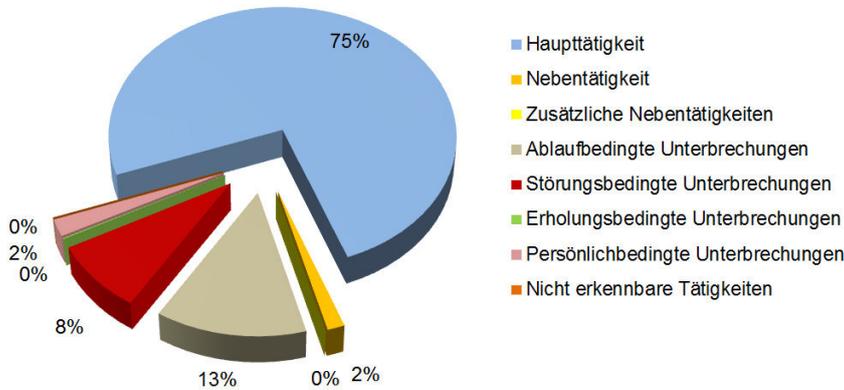
| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Einbau der Dichtung | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| Haupttätigkeit + | | 380 | 6.33 | 67% | 544.58 | AW netto | 0.012 |
| Nebentätigkeit + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Störungsbedingte Unterbrechungen + | | 80 | 1.33 | 14% | | | |
| Erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 16 | 0.27 | 3% | | | |
| Persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 92 | 1.53 | 16% | | | |
| Nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 188 | 3.13 | 33% | 544.58 | AW zusätzl. | 0.006 |
| Σ [min] | Einbau der Dichtung | 568 | 9.46 | | | AW brutto | 0.017 |



▪ **Aufandswerte v. Arbeitsstation 4**

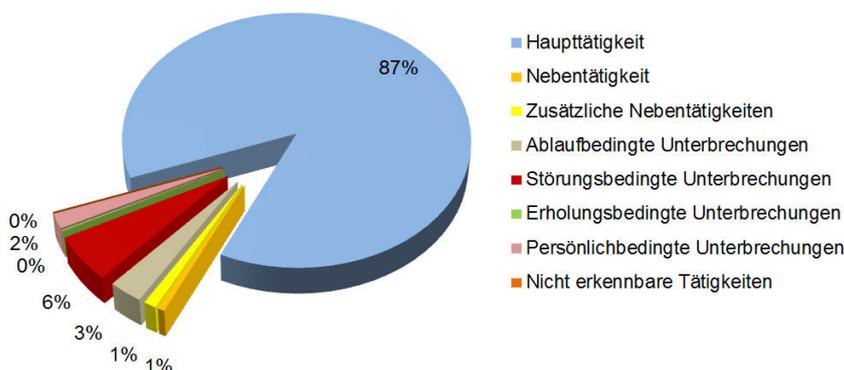
| Beurteilung nach REFA | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|---------|---------|----------------|----------|------------------|--------------|--------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | | |
| Tätigkeit: Vorbereitungsarbeiten Fenstereinbau | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [lfm] | AW | AW [Std/lfm] | AW [Std/m²] |
| Haupttätigkeit + | | 1825 | 30.42 | 75% | 307.22 | AW netto | 0.099 | 0.106 |
| Nebentätigkeit + | | 37 | 0.61 | 2% | | | | |
| Zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 0 | 0.00 | 0% | | | | |
| Ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 319 | 5.32 | 13% | | | | |
| Störungsbedingte Unterbrechungen + | | 205 | 3.42 | 8% | | | | |
| Erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 3 | 0.04 | 0% | | | | |
| Persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 50 | 0.83 | 2% | | | | |
| Nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0.00 | 0% | | | | |
| Σ [min] | | 613 | 10.22 | 25% | 307.22 | AW zusätzl. | 0.033 | 0.036 |
| Σ [min] | Vorbereitungsarbeiten Fenstereinbau | 2438 | 40.64 | | | AW brutto | 0.132 | 0.142 |

Tätigkeitsverteilung:
Vorbereitungsarbeiten Fenstereinbau



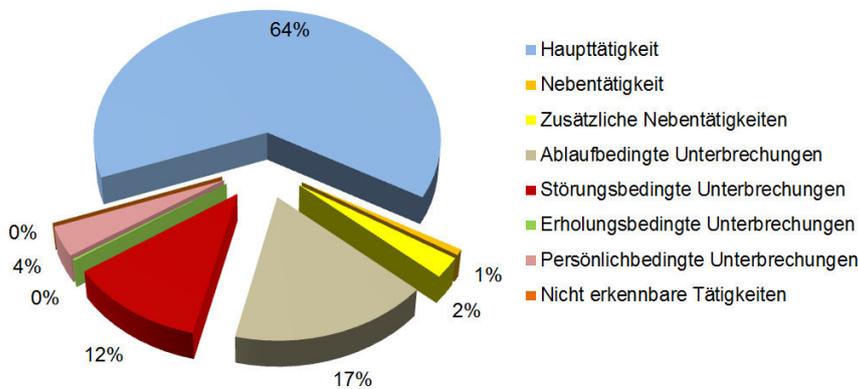
| Beurteilung nach REFA | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------|---------|---------|----------------|----------|------------------|--------------|--------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | | | | | | | |
| Tätigkeit: Fenstereinbau | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [lfm] | AW | AW [Std/lfm] | AW [Std/m²] |
| Haupttätigkeit + | | 2385 | 39.75 | 88% | 307.22 | AW netto | 0.129 | 0.139 |
| Nebentätigkeit + | | 18 | 0.29 | 1% | | | | |
| Zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 30 | 0.50 | 1% | | | | |
| Ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 82 | 1.36 | 3% | | | | |
| Störungsbedingte Unterbrechungen + | | 157 | 2.62 | 6% | | | | |
| Erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 4 | 0.06 | 0% | | | | |
| Persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 50 | 0.83 | 2% | | | | |
| Nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0.00 | 0% | | | | |
| Σ [min] | | 340 | 5.66 | 12% | 307.22 | AW zusätzl. | 0.018 | 0.020 |
| Σ [min] | Fenstereinbau | 2725 | 45.41 | | | AW brutto | 0.148 | 0.158 |

Tätigkeitsverteilung:
Fenstereinbau



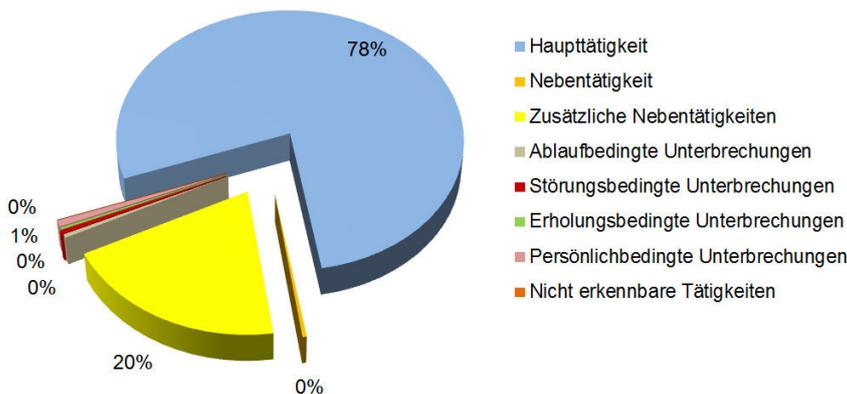
| Beurteilung nach REFA | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW | AW |
|------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|------------|------------------|-----------------|--------------|--------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | [min] | [Std] | [%] | [lfm] | | [Std/lfm] | [Std/m²] |
| ASA | Tätigkeit: Einbau der Glasleisten | | | | | | | |
| | Haupttätigkeit + | 875 | 14.58 | 64% | 307.22 | AW netto | 0.047 | 0.051 |
| | Nebentätigkeit + | 10 | 0.17 | 1% | | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 35 | 0.58 | 3% | | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 238 | 3.96 | 17% | | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 164 | 2.73 | 12% | | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 3 | 0.04 | 0% | | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 50 | 0.83 | 4% | | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | | |
| | Σ [min] | 499 | 8.32 | 36% | 307.22 | AW zusätzl. | 0.027 | 0.029 |
| Σ [min] | 1374 | 22.90 | | | AW brutto | 0.075 | 0.080 | |

Tätigkeitsverteilung:
Einbau der Glasleisten



| Beurteilung nach REFA | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW | AW |
|------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|------------|------------------|-----------------|--------------|--------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | [min] | [Std] | [%] | [lfm] | | [Std/lfm] | [Std/m²] |
| ASA | Tätigkeit: Einbau der Fensterfaschen | | | | | | | |
| | Haupttätigkeit + | 1290 | 21.50 | 78% | 307.22 | AW netto | 0.070 | 0.075 |
| | Nebentätigkeit + | 6 | 0.10 | 0% | | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 330 | 5.50 | 20% | | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 7 | 0.12 | 0% | | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 7 | 0.12 | 0% | | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 4 | 0.06 | 0% | | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 13 | 0.21 | 1% | | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | | |
| | Σ [min] | 366 | 6.10 | 22% | 307.22 | AW zusätzl. | 0.020 | 0.021 |
| Σ [min] | 1656 | 27.60 | | | AW brutto | 0.090 | 0.096 | |

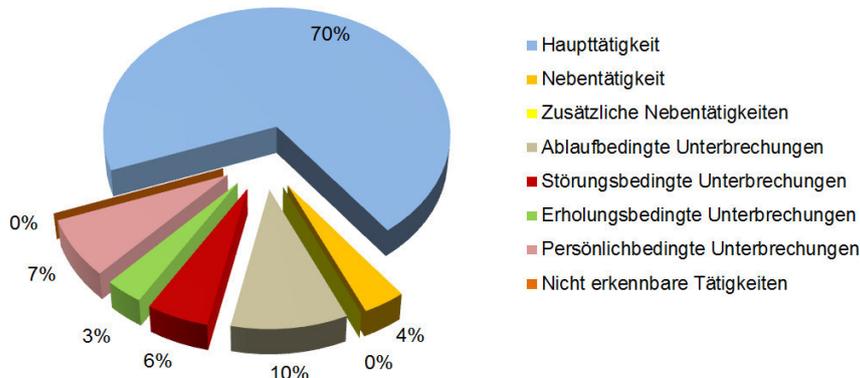
Tätigkeitsverteilung:
Einbau der Fensterfaschen



▪ **Aufandswerte v. Transport und Verladung**

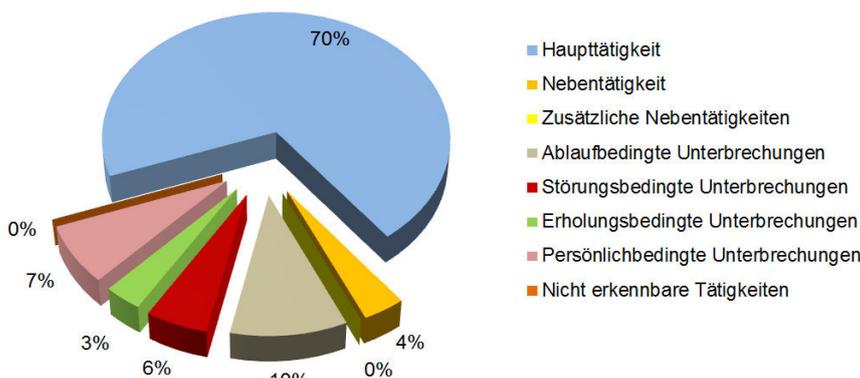
| Beurteilung nach REFA | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
|------------------------------|---|-------|-------|------------|--------|------------------|--------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | [min] | [Std] | [%] | [m²] | | [Std/m²] |
| Elementtransport | Tätigkeit: Elementtransport innerhalb der AS | | | | | | |
| | Haupttätigkeit + | 1945 | 32.42 | 70% | 584.35 | AW netto | 0.055 |
| | Nebentätigkeit + | 102 | 1.70 | 4% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 281 | 4.68 | 10% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 150 | 2.50 | 5% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 92 | 1.53 | 3% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 205 | 3.41 | 7% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 829 | 13.82 | 30% | 584.35 | AW zusätzl. | 0.024 |
| Σ [min] | Elementtransport innerhalb der AS | 2774 | 46.24 | | | AW brutto | 0.079 |

Tätigkeitsverteilung:
Elementtransport innerhalb der AS



| Beurteilung nach REFA | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
|------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|------------|--------|------------------|--------------|
| BV: Projekt A (MJS- München) | | [min] | [Std] | [%] | [m²] | | [Std/m²] |
| Verladung | Tätigkeit: Verladung | | | | | | |
| | Haupttätigkeit + | 2650 | 44.17 | 81% | 584.35 | AW netto | 0.076 |
| | Nebentätigkeit + | 91 | 1.51 | 3% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 182 | 3.03 | 6% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 207 | 3.45 | 6% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 45 | 0.74 | 1% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 94 | 1.57 | 3% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 618 | 10.30 | 19% | 584.35 | AW zusätzl. | 0.018 |
| Σ [min] | Verladung | 3268 | 54.46 | | | AW brutto | 0.093 |

Tätigkeitsverteilung:
Elementtransport innerhalb der AS



A.1.3.2 Projekt B

Die zugehörigen Tätigkeiten aller Aufwandswertpositionen im Zusammenhang mit dem Projekt B können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

| AS | AWi-Position | Beschreibung |
|------------------|--|---|
| Arbeitsstation 1 | Bearbeitung der Sichtplatten | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch Positionierung der Platten Anzeichnen der Schnitte Anzeichnung der Klebstoffflächen Zuschnitt der Platten Abtransport der Verschnittplatten Reinigung der Platten |
| Arbeitsstation 2 | Zusammenbau des Riegelwerkes | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch Positionierung der Hölzer Verschraubung der Hölzer |
| | Ausrichtung des Elementes | Befestigung der Lotschnur Ausmessung der Diagonalen Ausrichtung des Elementes |
| | Einbau der Hebeschlaufen | Positionierung der Hebeschlaufen Verschraubung der Hebeschlaufen |
| | Befestigung der Winkel | Positionierung der Winkel Verschraubung der Winkel |
| | Fixierung der oberen Beplankung | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Arbeitstisch Positionierung der Platten Verschraubung der Platten Evtl. Bearbeitung der Platten |
| Arbeitsstation 3 | Pressvorbereitung Sichtplatten | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Presstisch |
| | | Ausrichtung der Platten Reinigung der Platten |
| | Pressvorbereitung Riegelwerk | Hebevorgang vom Lagerbereich zum Presstisch Ausrichtung des Elementes |
| | Verklebung | Ausfüllen der Pressprotokolle Messung der Holzfeuchtigkeit Messung des Umgebungsklimas Mischung von Klebstoff und Härter Auftrag des Klebstoffes auf den Sichtplatten |
| Presse schließen | Einbau von Holzklötzen zum Höhenausgleich Aufbringung der Pressgestelle | |

| | |
|---------------|--|
| | Verbindung der Pressgestelle mit dem Presstisch Aufbringung des Pressdruckes Entfernung von überschüssigem Klebstoff |
| Presse öffnen | Lösung des Pressdrucks Entfernung der Pressgestelle Entleerung der Presse Entfernung von überschüssigem Klebstoff Kantenbearbeitung der Sichtplatten |

Die Zusammensetzung der Bezugsgrößen, getrennt nach Arbeitsstationen, wird in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.

▪ **Arbeitsstation 1 und 2**

| Element [Nr.] | Fläche [m ²] |
|---------------|--------------------------|
| E3 | 9.15 |
| E4 | 12.55 |
| E5 | 28.50 |
| E6 | 25.45 |
| E7 | 47.86 |
| E6/ RWA | 10.48 |
| E4/ Lüfter | 5.58 |
| AE3 | 7.14 |
| AE4 | 7.17 |
| AE5 | 7.14 |
| AE6 | 7.16 |
| AE7 | 7.16 |
| AE3/2 | 6.21 |
| AE4/2 | 6.21 |
| AE5/2 | 6.17 |
| AE6/2 | 6.21 |
| AE7/2 | 6.61 |
| E8 | 7.02 |
| AE8 | 6.69 |
| AE8/2 | 6.17 |
| AE8/0 | 2.64 |
| AE8/3 | 2.09 |
| KE1 | 5.93 |
| KE2 | 5.90 |
| E11 | 0.43 |

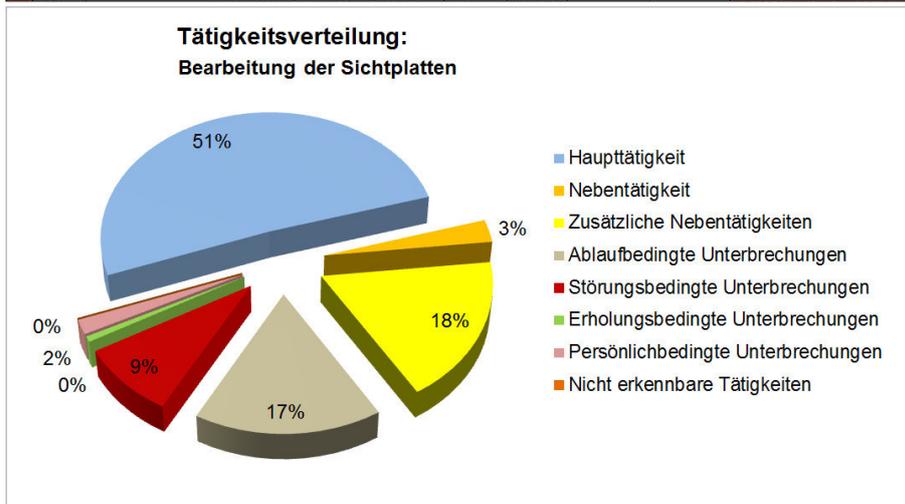
| | |
|-----------------|-----------------------------|
| E12 | 8.47 |
| E13 | 23.38 |
| E14 | 25.77 |
| E15 | 18.62 |
| E16 | 1.73 |
| ∑ Fläche | 321.57 m² |

▪ **Arbeitsstation 3**

| | |
|-----------------|-----------------------------|
| E3 | 6.10 |
| E4 | 12.55 |
| E5 | 19.00 |
| E6 | 12.73 |
| E7 | 31.90 |
| E8 | 7.02 |
| E6/RWA | 10.48 |
| AE8 | 6.69 |
| AE4 | 7.17 |
| AE5 | 7.14 |
| AE6 | 7.16 |
| AE7 | 7.16 |
| AE6/2 | 6.21 |
| AE7/2 | 6.61 |
| AE8/0 | 2.64 |
| AE8/3 | 2.09 |
| KE1 | 5.93 |
| KE2 | 5.90 |
| E11 | 0.43 |
| E12 | 8.47 |
| E15 | 18.62 |
| E16 | 1.73 |
| ∑ Fläche | 193.72 m² |

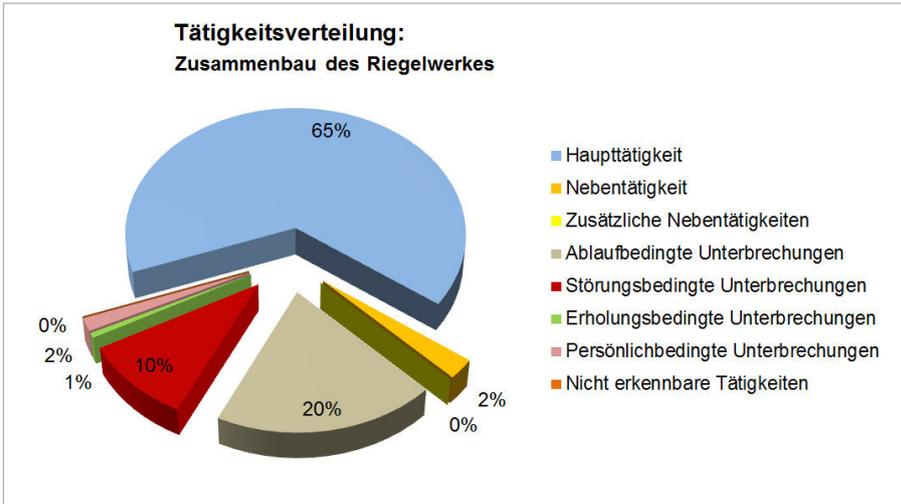
▪ **Aufandswerte v. Arbeitsstation 1**

| Beurteilung nach REFA | | BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | |
|-----------------------|--|----------------------------------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| AS1 | Tätigkeit: Bearbeitung der Sichtplatten | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| | Haupttätigkeit + | 1555 | 25.92 | 51% | 321.57 | AW netto | 0.081 |
| | Nebentätigkeit + | 86 | 1.43 | 3% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 546 | 9.10 | 18% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 512 | 8.53 | 17% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 273 | 4.55 | 9% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 21 | 0.35 | 1% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 56 | 0.93 | 2% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 1493 | 24.88 | 49% | 321.57 | AW zusätzl. | 0.077 |
| Σ [min] | Bearbeitung der Sichtplatten | | 3048 | 50.80 | | AW brutto | 0.158 |

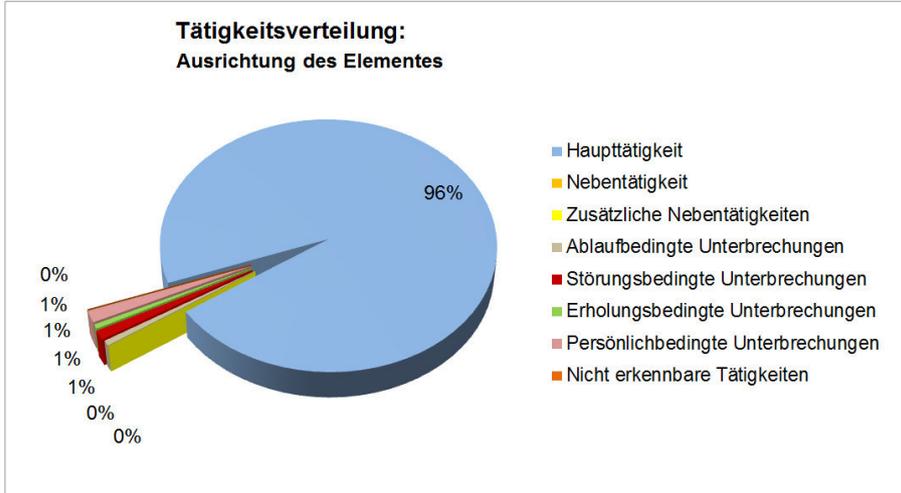


▪ **Aufandswerte v. Arbeitsstation 2**

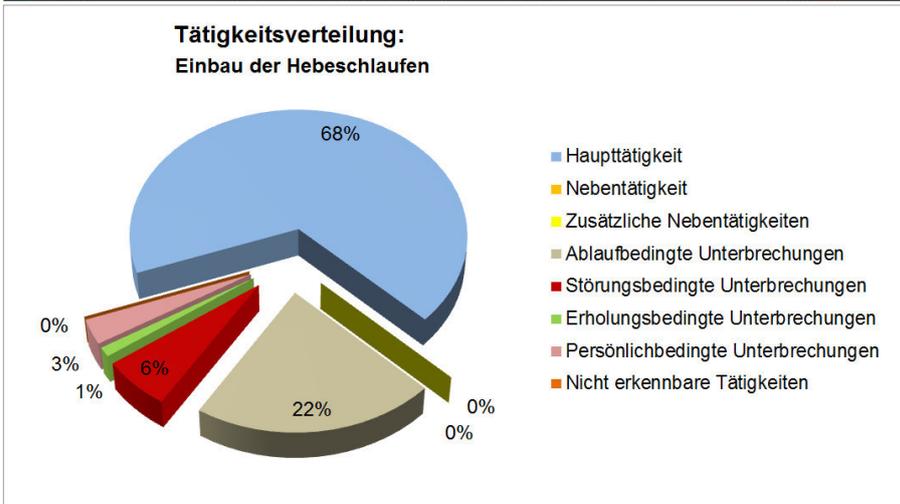
| Beurteilung nach REFA | | BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | |
|-----------------------|--|----------------------------------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| AS2 | Tätigkeit: Zusammenbau des Riegelwerkes | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| | Haupttätigkeit + | 2240 | 37.33 | 65% | 321.57 | AW netto | 0.116 |
| | Nebentätigkeit + | 86 | 1.43 | 3% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 674 | 11.23 | 20% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 344 | 5.74 | 10% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 21 | 0.35 | 1% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 56 | 0.93 | 2% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 1181 | 19.68 | 35% | 321.57 | AW zusätzl. | 0.061 |
| Σ [min] | Zusammenbau des Riegelwerkes | | 3421 | 57.01 | | AW brutto | 0.177 |



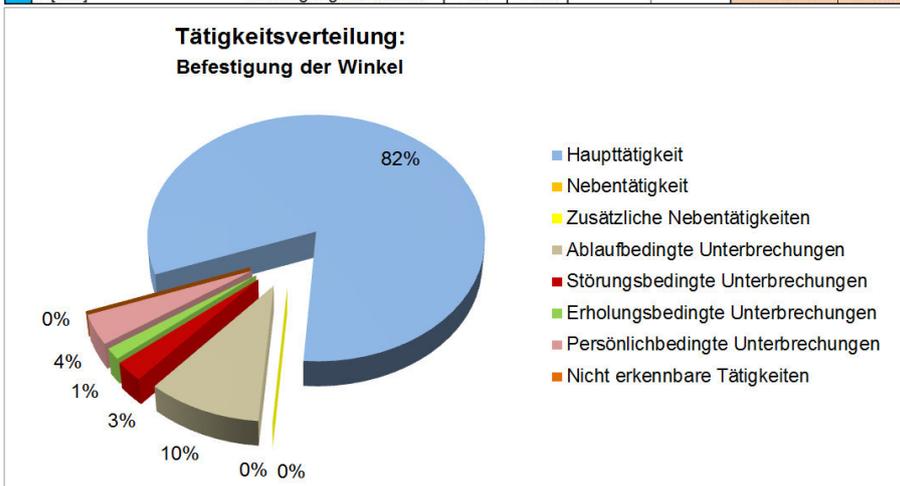
| Beurteilung nach REFA | | Σ | Σ | Verteilung | BE | AW | AW |
|-----------------------------------|---|-------|-------|------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | [min] | [Std] | [%] | [m ²] | | [Std/m ²] |
| AS2 | Tätigkeit: Ausrichtung des Elementes | | | | | | |
| | Haupttätigkeit + | 595 | 9.92 | 96% | 321.57 | AW netto | 0.031 |
| | Nebentätigkeit + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 4 | 0.07 | 1% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 7 | 0.12 | 1% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 4 | 0.06 | 1% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 9 | 0.15 | 1% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 24 | 0.40 | 4% | 321.57 | AW zusätzl. | 0.001 |
| Σ [min] Ausrichtung des Elementes | 619 | 10.32 | | | AW brutto | 0.032 | |



| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | |
| Tätigkeit: | Einbau der Hebeschlaufen | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| | Haupttätigkeit + | 405 | 6.75 | 68% | 321.57 | AW netto | 0.021 |
| | Nebentätigkeit + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 130 | 2.16 | 22% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 38 | 0.63 | 6% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 7 | 0.12 | 1% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 19 | 0.31 | 3% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 193 | 3.21 | 32% | 321.57 | AW zusätzl. | 0.010 |
| Σ [min] | Einbau der Hebeschlaufen | 598 | 9.96 | | | AW brutto | 0.031 |

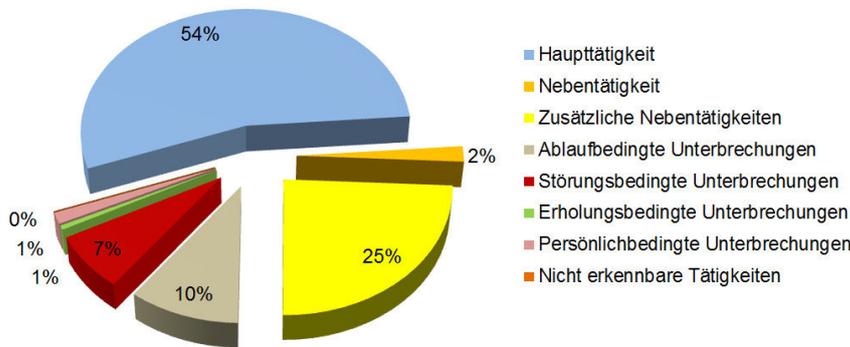


| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | |
| Tätigkeit: | Befestigung der Winkel | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| | Haupttätigkeit + | 390 | 6.50 | 82% | 321.57 | AW netto | 0.020 |
| | Nebentätigkeit + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 49 | 0.81 | 10% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 13 | 0.21 | 3% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 7 | 0.12 | 1% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 19 | 0.31 | 4% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 87 | 1.44 | 18% | 321.57 | AW zusätzl. | 0.004 |
| Σ [min] | Befestigung der Winkel | 477 | 7.94 | | | AW brutto | 0.025 |



| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|---------|---------|----------------|----------------------|-----------------|--------------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | |
| Tätigkeit: | Fixierung der oberen Beplankung | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| AS2 | Haupttätigkeit + | 1400 | 23.33 | 54% | 321.57 | AW netto | 0.073 |
| | Nebentätigkeit + | 51 | 0.85 | 2% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 630 | 10.50 | 24% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 260 | 4.33 | 10% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 185 | 3.08 | 7% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 14 | 0.23 | 1% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 37 | 0.62 | 1% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 1177 | 19.61 | 46% | 321.57 | AW zusätzl. | 0.061 |
| Σ [min] | 2577 | 42.95 | | | AW brutto | 0.134 | |

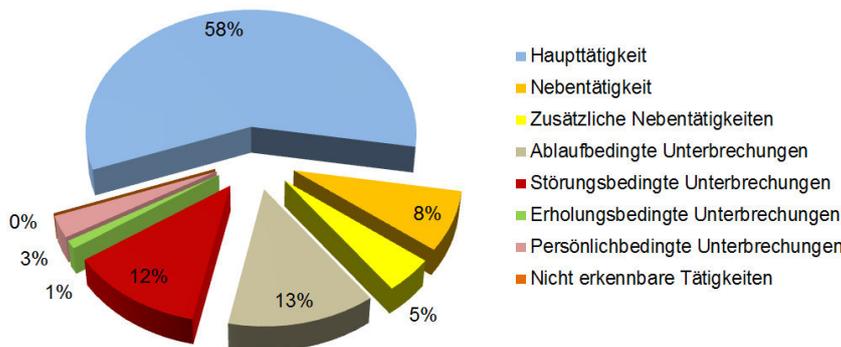
Tätigkeitsverteilung:
Fixierung der oberen Beplankung



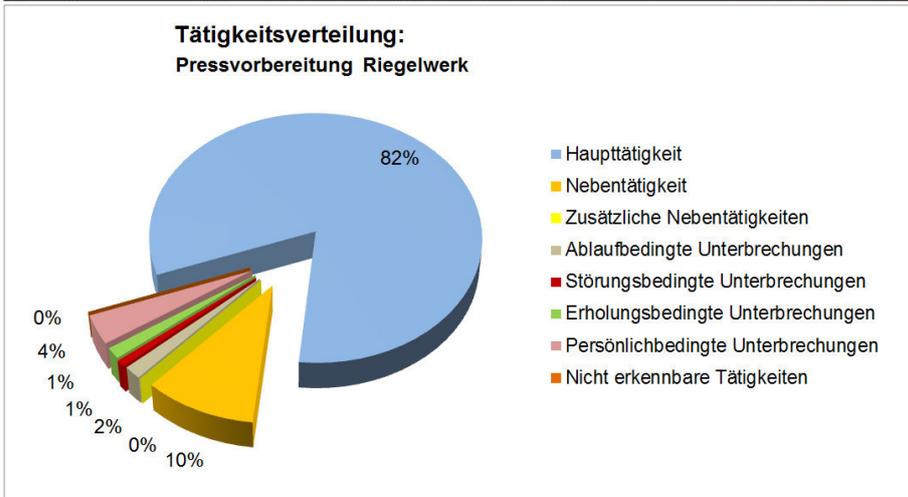
▪ **Aufandswerte v. Arbeitsstation 2**

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|---------|---------|----------------|----------------------|-----------------|--------------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | |
| Tätigkeit: | Pressvorbereitung Sichtplatten | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| AS3 | Haupttätigkeit + | 385 | 6.42 | 58% | 193.72 | AW netto | 0.033 |
| | Nebentätigkeit + | 51 | 0.85 | 8% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 30 | 0.50 | 5% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 89 | 1.49 | 13% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 82 | 1.36 | 12% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 7 | 0.12 | 1% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 19 | 0.31 | 3% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 277 | 4.62 | 42% | 193.72 | AW zusätzl. | 0.024 |
| Σ [min] | 662 | 11.04 | | | AW brutto | 0.057 | |

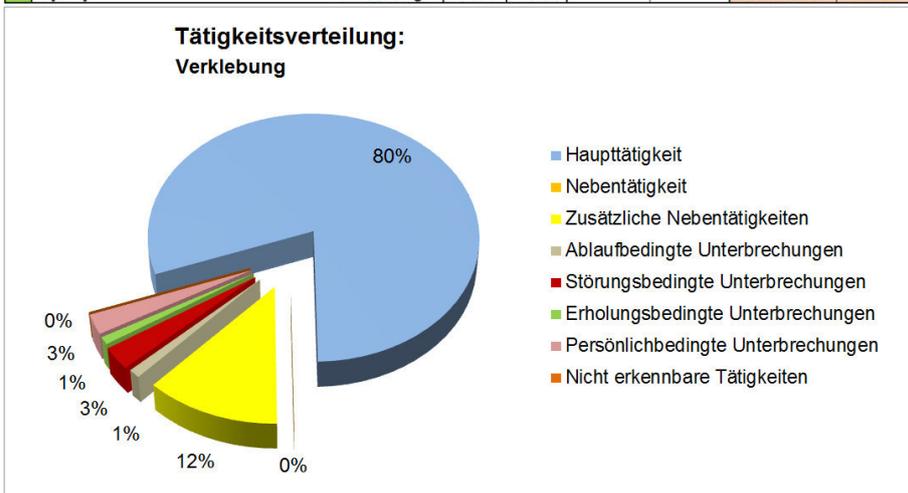
Tätigkeitsverteilung:
Pressvorbereitung Sichtplatten



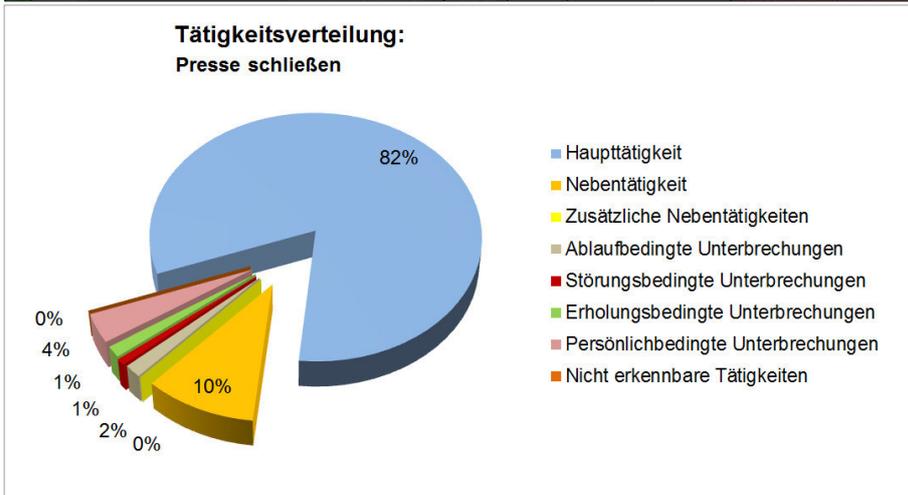
| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | |
| Tätigkeit: | Pressvorbereitung Riegelwerk | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| | Haupttätigkeit + | 410 | 6.83 | 82% | 193.72 | AW netto | 0.035 |
| | Nebentätigkeit + | 51 | 0.85 | 10% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 8 | 0.13 | 2% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 4 | 0.07 | 1% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 7 | 0.12 | 1% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 19 | 0.31 | 4% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 89 | 1.48 | 18% | 193.72 | AW zusätzl. | 0.008 |
| Σ [min] | Pressvorbereitung Riegelwerk | 499 | 8.31 | | | AW brutto | 0.043 |



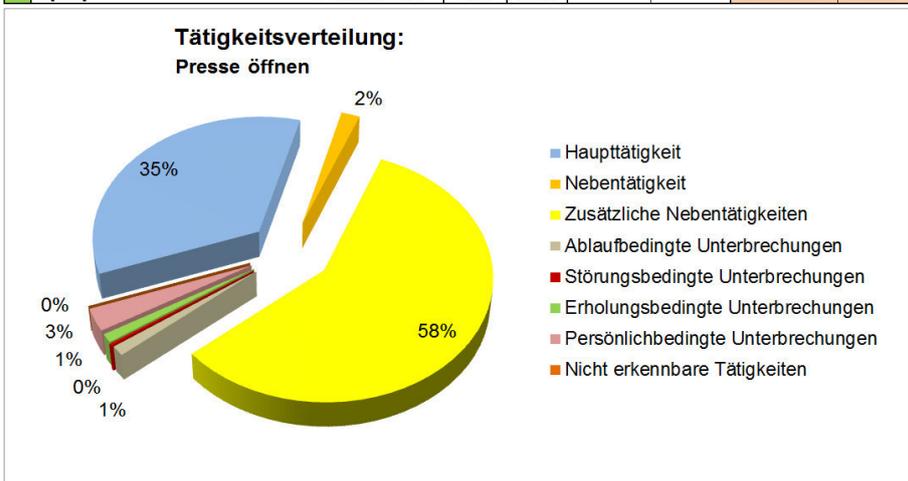
| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | |
| Tätigkeit: | Verklebung | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| | Haupttätigkeit + | 1175 | 19.58 | 80% | 193.72 | AW netto | 0.101 |
| | Nebentätigkeit + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 180 | 3.00 | 12% | | | |
| | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 16 | 0.27 | 1% | | | |
| | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 42 | 0.70 | 3% | | | |
| | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 14 | 0.23 | 1% | | | |
| | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 37 | 0.62 | 3% | | | |
| | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | Σ [min] | 289 | 4.81 | 20% | 193.72 | AW zusätzl. | 0.025 |
| Σ [min] | Verklebung | 1464 | 24.40 | | | AW brutto | 0.126 |



| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Presse schließen | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| Haupttätigkeit + | | 880 | 14.67 | 44% | 193.72 | AW netto | 0.076 |
| Nebentätigkeit + | | 129 | 2.15 | 6% | | | |
| Zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 818 | 13.63 | 41% | | | |
| Ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 16 | 0.27 | 1% | | | |
| Störungsbedingte Unterbrechungen + | | 110 | 1.83 | 5% | | | |
| Erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 14 | 0.23 | 1% | | | |
| Persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 37 | 0.62 | 2% | | | |
| Nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Σ [min] | | 1123 | 18.72 | 56% | 193.72 | AW zusätzl. | 0.097 |
| Σ [min] | Presse schließen | 2003 | 33.39 | | | AW brutto | 0.172 |

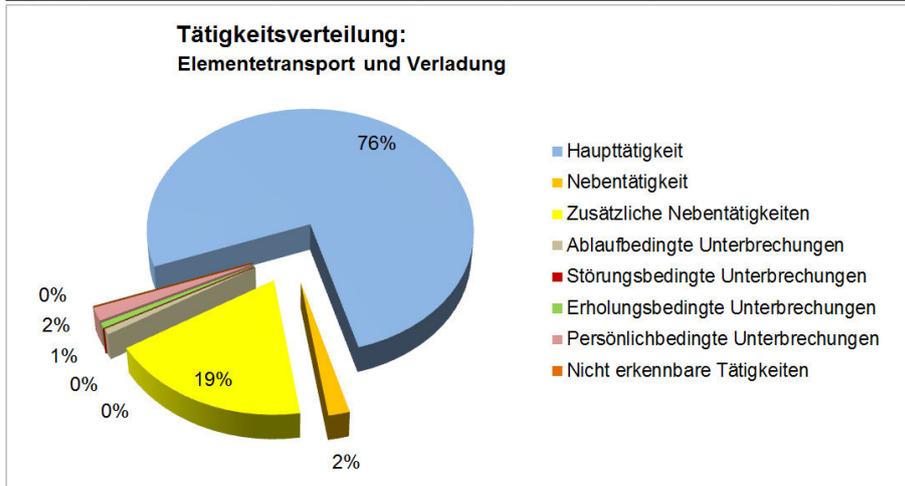


| Beurteilung nach REFA | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------------|---------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | |
| Tätigkeit: Presse öffnen | | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] |
| Haupttätigkeit + | | 435 | 7.25 | 35% | 193.72 | AW netto | 0.037 |
| Nebentätigkeit + | | 24 | 0.40 | 2% | | | |
| Zusätzliche Nebentätigkeiten + | | 728 | 12.13 | 58% | | | |
| Ablaufbedingte Unterbrechungen + | | 16 | 0.27 | 1% | | | |
| Störungsbedingte Unterbrechungen + | | 4 | 0.06 | 0% | | | |
| Erholungsbedingte Unterbrechungen + | | 14 | 0.23 | 1% | | | |
| Persönlichbedingte Unterbrechungen + | | 37 | 0.62 | 3% | | | |
| Nicht erkennbare Tätigkeiten = | | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| Σ [min] | | 822 | 13.70 | 65% | 193.72 | AW zusätzl. | 0.071 |
| Σ [min] | Presse öffnen | 1257 | 20.95 | | | AW brutto | 0.108 |



▪ **Aufandswerte v. Transport und Verladung**

| Beurteilung nach REFA | | | | | | | | |
|----------------------------------|---|--------------------------------------|---------|----------------|----------------------|------------------|--------------------------|--------------|
| BV: Projekt B (A&I- Kreyenbrück) | | | | | | | | |
| Elementtransport & Verladung | Tätigkeit: Elementtransport und Verladung | Σ [min] | Σ [Std] | Verteilung [%] | BE [m ²] | AW | AW [Std/m ²] | |
| | | Haupttätigkeit + | 1230 | 20.50 | 76% | 321.57 | AW netto | 0.064 |
| | | Nebentätigkeit + | 32 | 0.53 | 2% | | | |
| | | Zusätzliche Nebentätigkeiten + | 304 | 5.06 | 19% | | | |
| | | Ablaufbedingte Unterbrechungen + | 12 | 0.20 | 1% | | | |
| | | Störungsbedingte Unterbrechungen + | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | | Erholungsbedingte Unterbrechungen + | 11 | 0.18 | 1% | | | |
| | | Persönlichbedingte Unterbrechungen + | 28 | 0.46 | 2% | | | |
| | | Nicht erkennbare Tätigkeiten = | 0 | 0.00 | 0% | | | |
| | | Σ [min] | 386 | 6.43 | 24% | 321.57 | AW zusätzl. | 0.020 |
| Σ [min] | Elementtransport und Verladung | 1616 | 26.93 | | | AW brutto | 0.084 | |



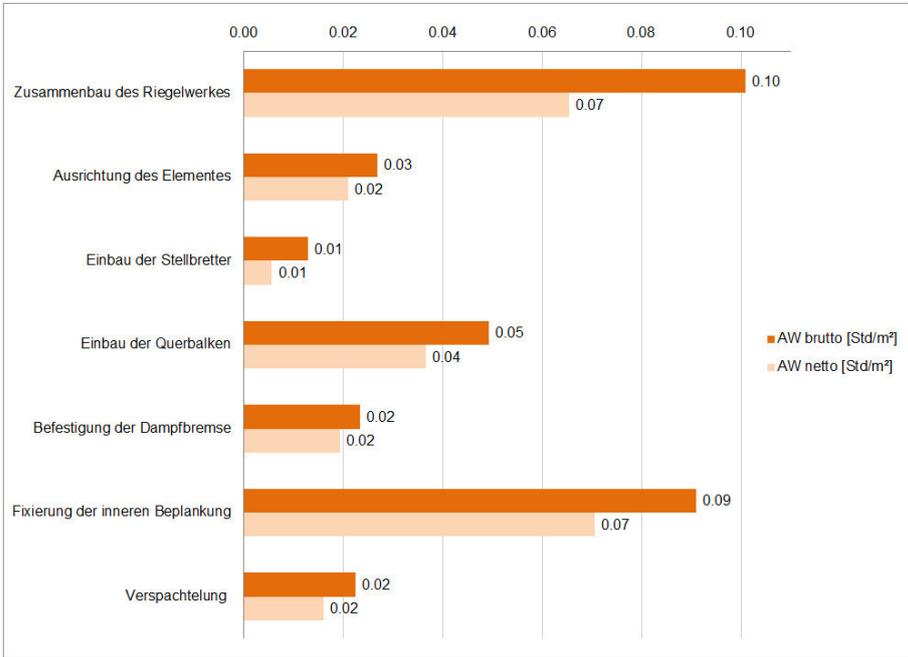
A.1.4 Zusammengefasste Darstellung der Aufandswerte

Mittels Balkendiagrammen werden die Aufandswerte beider Projekte stationsweise abgebildet. Zusätzlich werden die Aufandswerte aller Stationen sowie der Gesamtaufandswert zusammengefasst dargestellt.

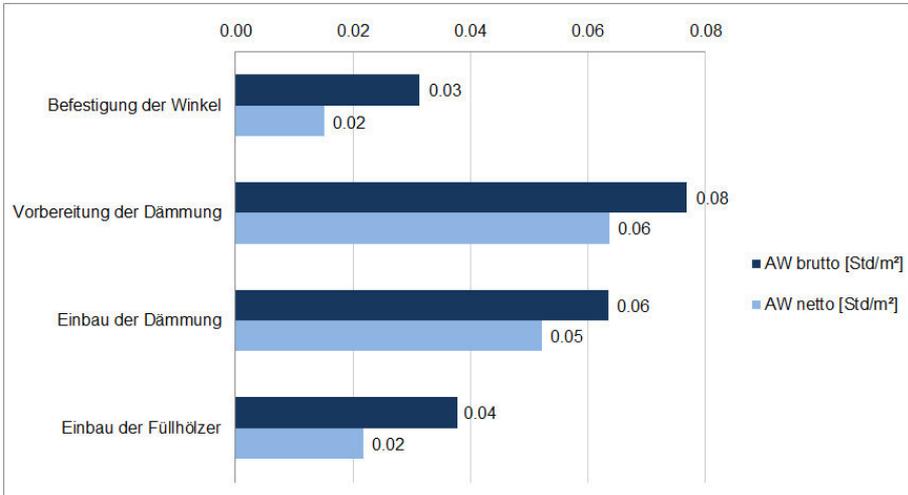
A.1.3.1 Projekt A

Die nachfolgenden Tabellen beinhalten die Netto- (AW_{netto}) wie auch Bruttoaufandswerte (AW_{brutto}) der Tätigkeiten bei Projekt A.

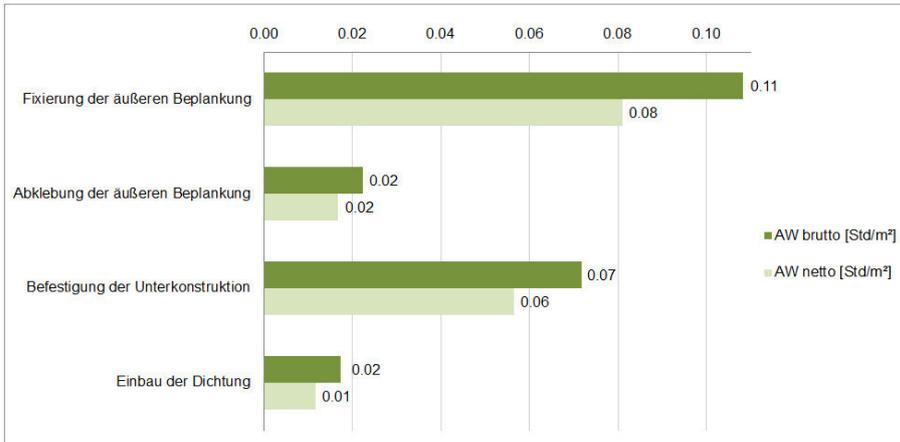
▪ **Arbeitsstation 1**



▪ **Arbeitsstation 2**



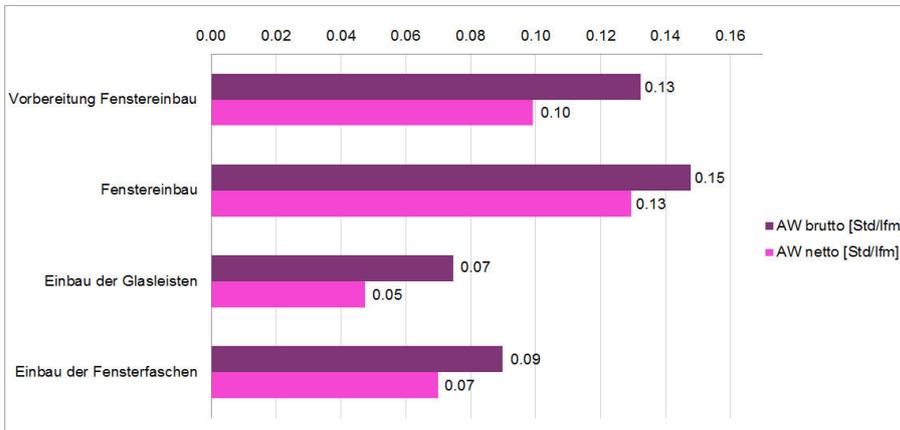
▪ **Arbeitsstation 3**



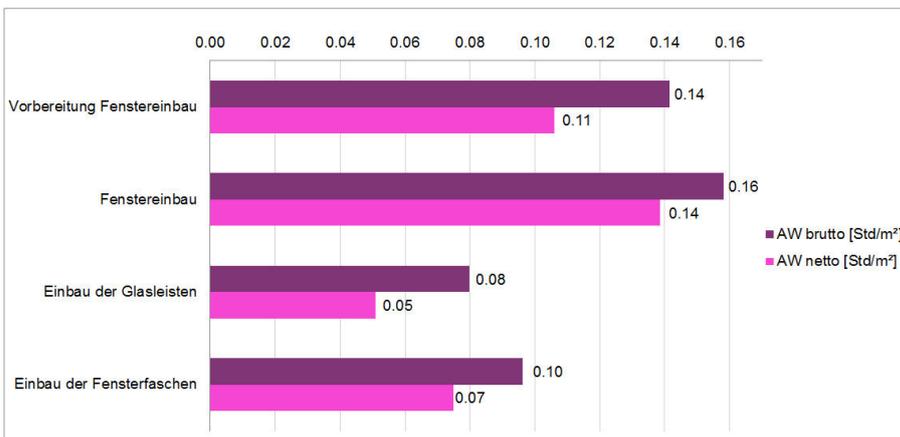
▪ **Arbeitsstation 4**

Die Aufwandswerte von Station 4 werden einerseits auf Basis der Fensterumfänge, wie auch bezogen auf die Nettfläche der Elemente dargestellt.

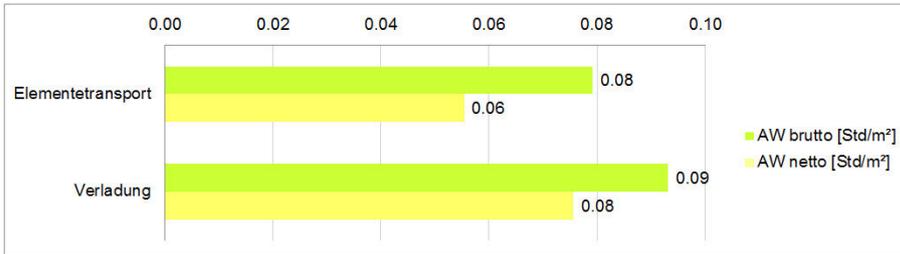
- AW [Std/lfm]



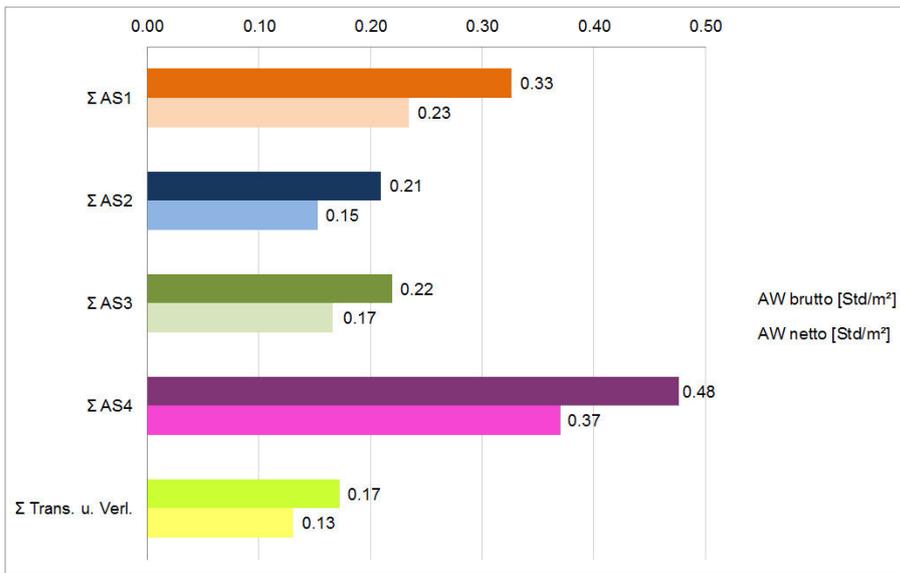
- AW [Std/m²]



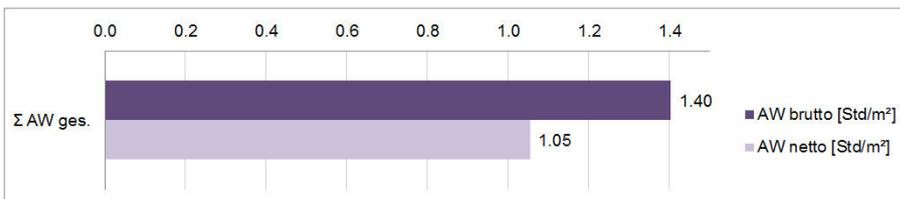
▪ **Transport und Verladung**



▪ **Stationsaufwandswerte**



▪ **Gesamtaufwandswert**



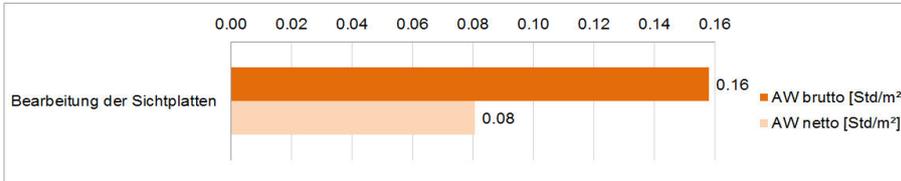
▪ **Aufwandswerte im Überblick**

| AW-Position | AW_{netto} | AW_{brutto} | BE | AS |
|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------|
| Zusammenbau des Riegelwerkes | 0,065 | 0,101 | Std/m ² | 1 |
| Einbau der Stellbretter | 0,006 | 0,013 | Std/m ² | 1 |
| Einbau der Querbalken | 0,037 | 0,049 | Std/m ² | 1 |
| Ausrichtung des Elementes | 0,021 | 0,027 | Std/m ² | 1 |
| Befestigung der Dampfbremse | 0,019 | 0,023 | Std/m ² | 1 |
| Fixierung der inneren Beplankung | 0,071 | 0,091 | Std/m ² | 1 |
| Verspachtelung der inneren Beplankung | 0,016 | 0,022 | Std/m ² | 1 |
| Befestigung der Winkel | 0,015 | 0,031 | Std/m ² | 2 |
| Vorbereitung der Dämmung | 0,064 | 0,077 | Std/m ² | 2 |
| Einbau der Dämmung | 0,052 | 0,063 | Std/m ² | 2 |
| Einbau der Füllhölzer | 0,022 | 0,038 | Std/m ² | 2 |
| Fixierung der äußeren Beplankung | 0,081 | 0,108 | Std/m ² | 3 |
| Ablebung der äußeren Beplankung | 0,017 | 0,022 | Std/m ² | 3 |
| Befestigung der Unterkonstruktion | 0,056 | 0,072 | Std/m ² | 3 |
| Einbau der Dichtung | 0,012 | 0,017 | Std/m ² | 3 |
| <i>Vorbereitung Fenstereinbau</i> | <i>0,099</i> | <i>0,132</i> | <i>Std/lfm</i> | <i>4</i> |
| <i>Einbau der Fenster</i> | <i>0,129</i> | <i>0,148</i> | <i>Std/lfm</i> | <i>4</i> |
| <i>Einbau der Glasleisten</i> | <i>0,047</i> | <i>0,075</i> | <i>Std/lfm</i> | <i>4</i> |
| <i>Einbau der Fensterfaschen</i> | <i>0,070</i> | <i>0,090</i> | <i>Std/lfm</i> | <i>4</i> |
| Vorbereitung Fenstereinbau | 0,106 | 0,142 | Std/m ² | 4 |
| Fenstereinbau | 0,139 | 0,158 | Std/m ² | 4 |
| Einbau der Glasleisten | 0,051 | 0,080 | Std/m ² | 4 |
| Einbau der Fensterfaschen | 0,075 | 0,096 | Std/m ² | 4 |
| Transport | 0,055 | 0,079 | Std/m ² | |
| Verladung | 0,076 | 0,093 | Std/m ² | |
| Σ AW ges. | 1,054 | 1,404 | Std/m² | |

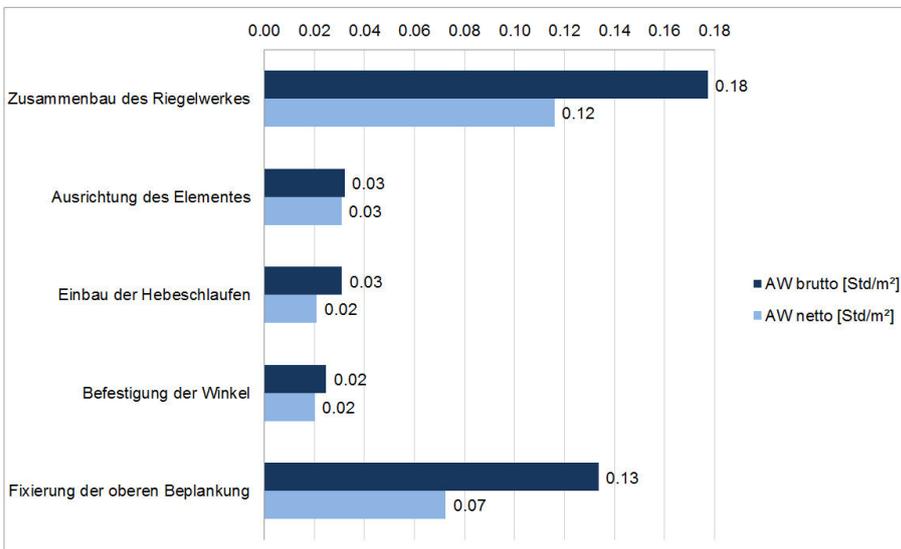
A.1.3.2 Projekt B

Die nachfolgenden Tabellen beinhalten die Netto- (AW_{netto}) wie auch Bruttoaufwandswerte (AW_{brutto}) der Tätigkeiten bei Projekt B.

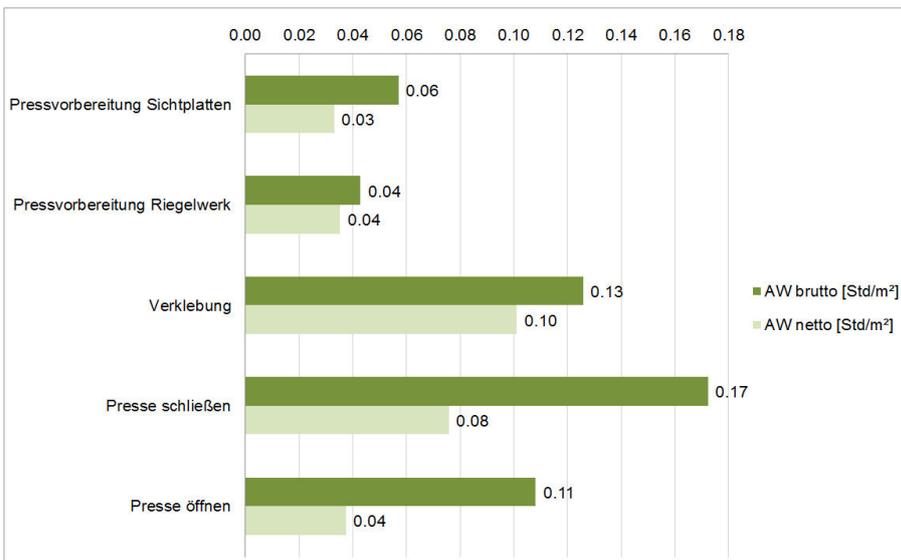
Arbeitsstation 1



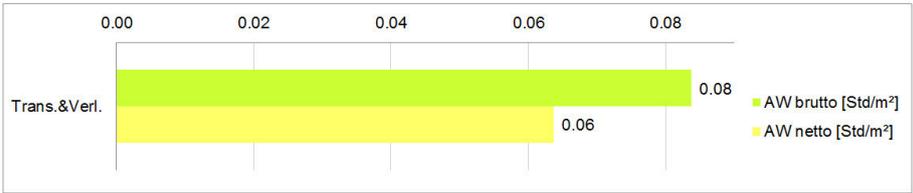
Arbeitsstation 2



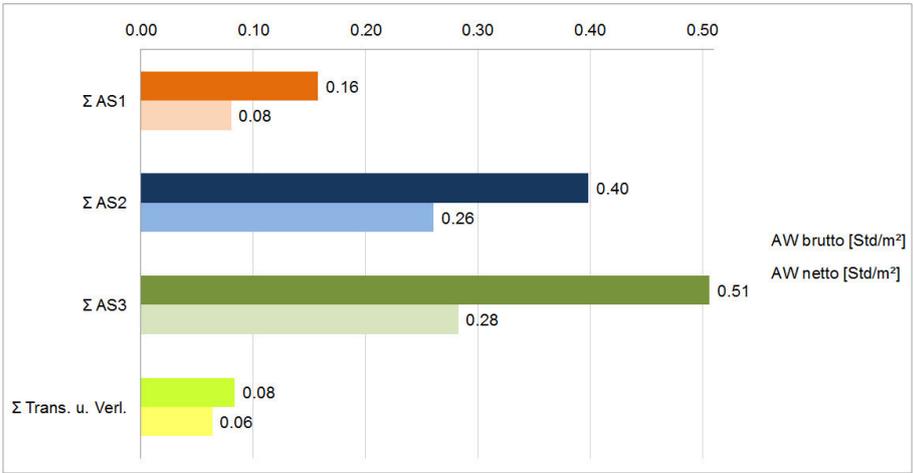
Arbeitsstation 3



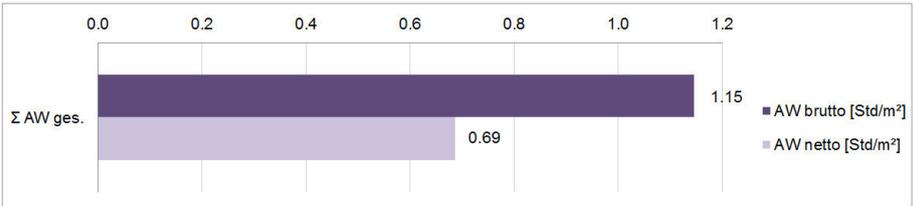
▪ **Transport und Verladung**



▪ **Stationsaufwandswerte**



▪ **Gesamtaufwandswert**



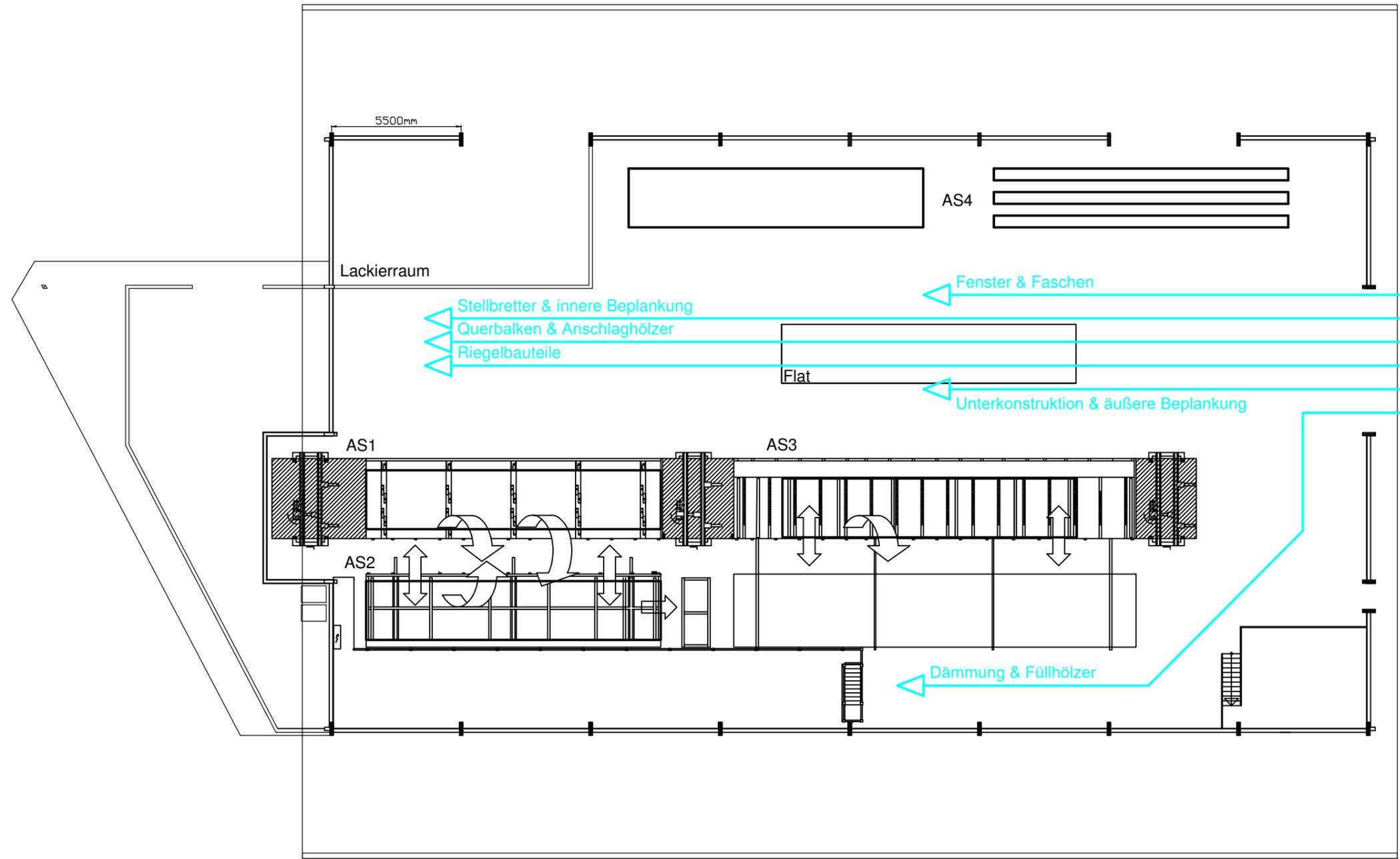
▪ **Aufandswerte im Überblick**

| AW-Position | AW_{netto} | AW_{brutto} | BE | AS |
|---------------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------|
| Bearbeitung der Sichtplatten | 0,081 | 0,158 | Std/m ² | 1 |
| Zusammenbau des Riegelwerkes | 0,116 | 0,177 | Std/m ² | 2 |
| Ausrichtung des Elementes | 0,031 | 0,032 | Std/m ² | 2 |
| Einbau der Hebeschlaufen | 0,021 | 0,031 | Std/m ² | 2 |
| Befestigung der Winkel | 0,020 | 0,025 | Std/m ² | 2 |
| Fixierung der oberen Beplankung | 0,073 | 0,134 | Std/m ² | 2 |
| Pressvorbereitung Sichtplatten | 0,033 | 0,057 | Std/m ² | 3 |
| Pressvorbereitung Riegelwerk | 0,035 | 0,043 | Std/m ² | 3 |
| Verklebung | 0,101 | 0,126 | Std/m ² | 3 |
| Presse schließen | 0,076 | 0,172 | Std/m ² | 3 |
| Presse öffnen | 0,037 | 0,108 | Std/m ² | 3 |
| Transport und Verladung | 0,064 | 0,084 | Std/m ² | |
| Σ AW ges. | 0,688 | 1,147 | Std/m² | |

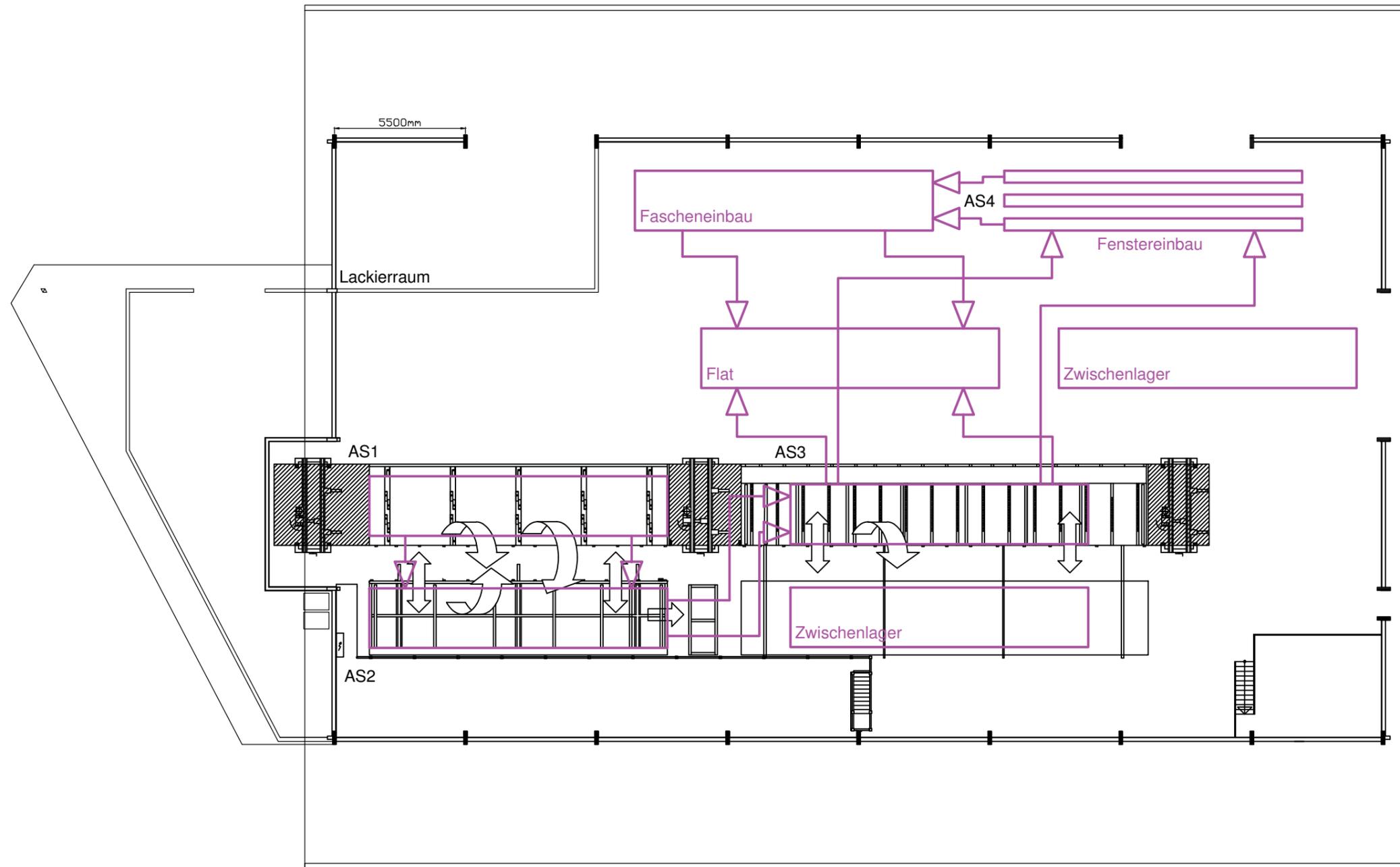
A.1.5 Flussdiagramme

Die nachfolgenden Planunterlagen beinhalten eine maßstabsgetreue Abbildung der Flussdiagramme beider Projekte. Diese setzen sich wie folgt zusammen:

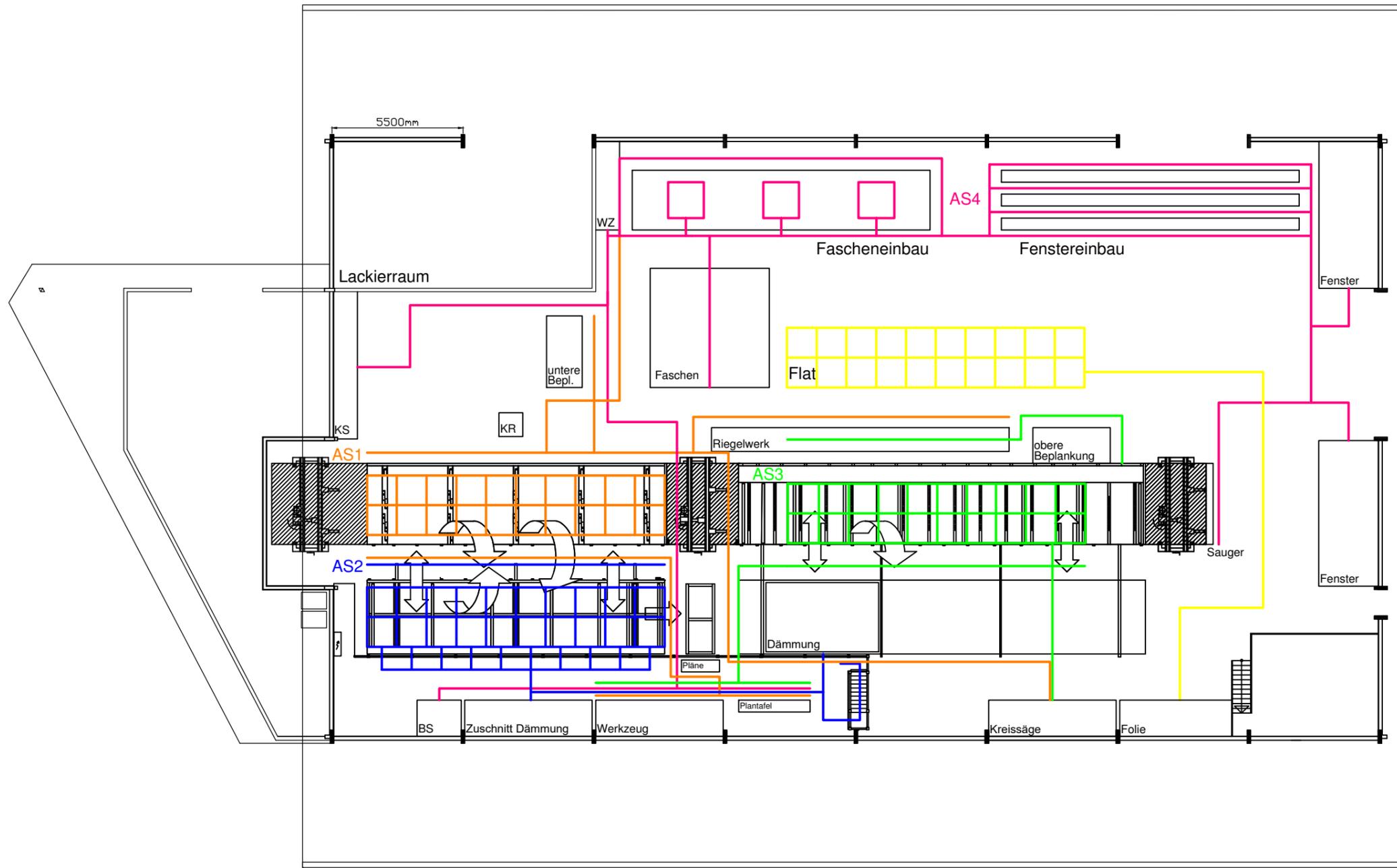
- Analyse der Materialanlieferung
- Analyse des Materialflusses
- Analyse des Personalfusses



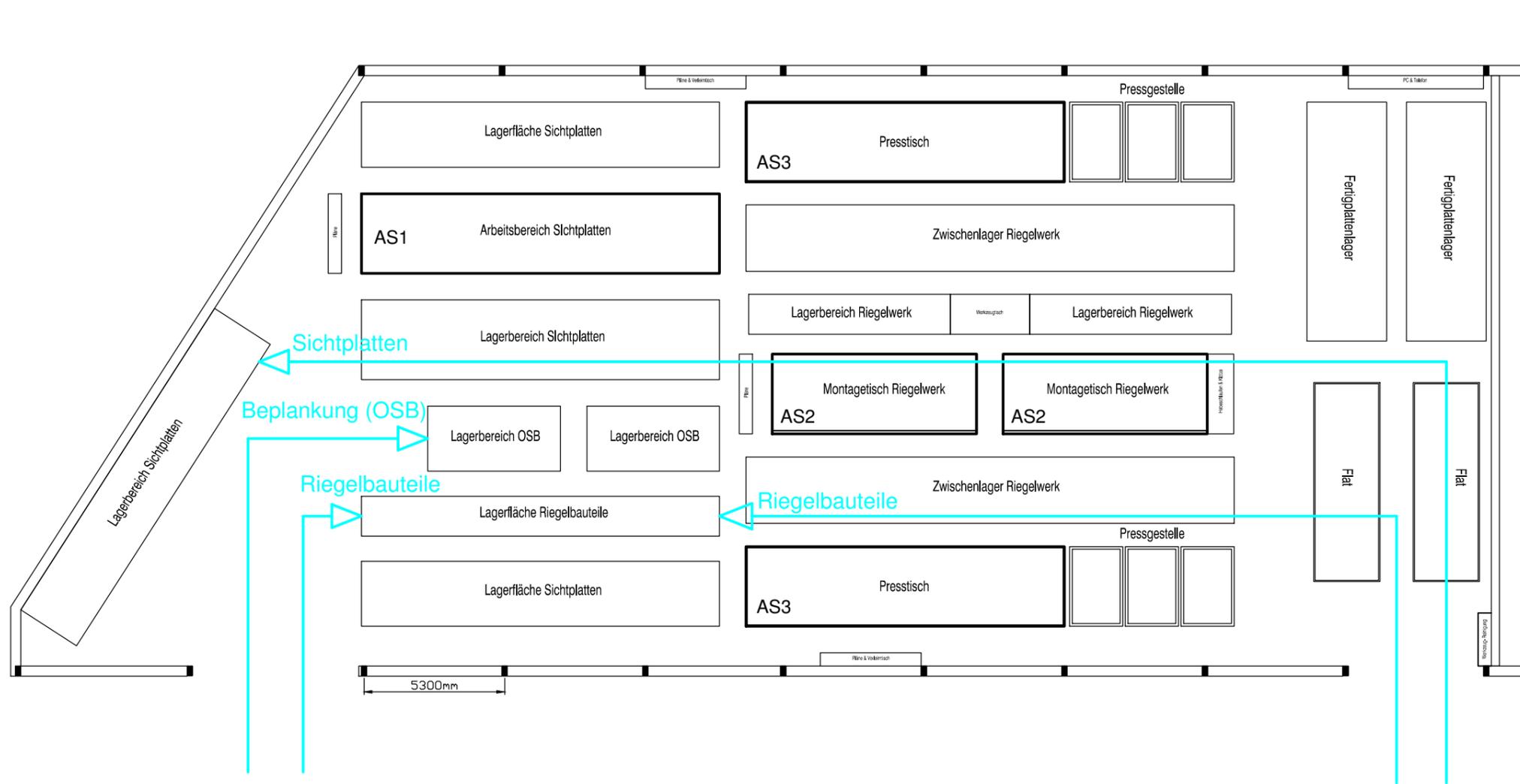
| | | | |
|---|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| Planinhalt: ANALYSE DER MATERIALANLIEFERUNG [PROJEKT A] | | Str. | |
| | | Ort | |
| | | Tel. | |
| | | Fax | |
| Auftragnehmer: ZIMMEREI SIEVEKE <small>INNEN- UND AUSSEN- HOLZBAU</small> | | Freigabevermerk durch Bauleitung: | |
| <small>Bahmer Strasse 24 · D · Tel. 04442 / 9352-0 · Internet: www.sieveke.de 49393 Lohr / Odn. · Fax: 04442 / 9352-30 · E-mail: info@sieveke.de</small> | | | |
| Bauherr: Staatliches Bauamt München 1 | | 07 | |
| | | 06 | |
| | | 05 | |
| Gewerk: | | 04 | |
| Position: | | 03 | |
| Architekt: | | 02 | |
| | | 01 | |
| | | Index | Änderung |
| | | Datum | Name |
| Projekt: | MJS- München | Maßstab: | Prüfung intern: |
| Baustelle: | Mühlbauerstraße 15 81677 München | M 1:200 | F.de Monte |
| Erstelldatum: | 12.10.2015 | 27.4.2015 | Datum |
| Ausgabedatum: | 15-001 | 01 | Freigabe |
| | Projektnummer | Planer | Gewerk |
| | Plantyp | Planart | Blattnummer |
| | | | Index |
| | | | 00 |



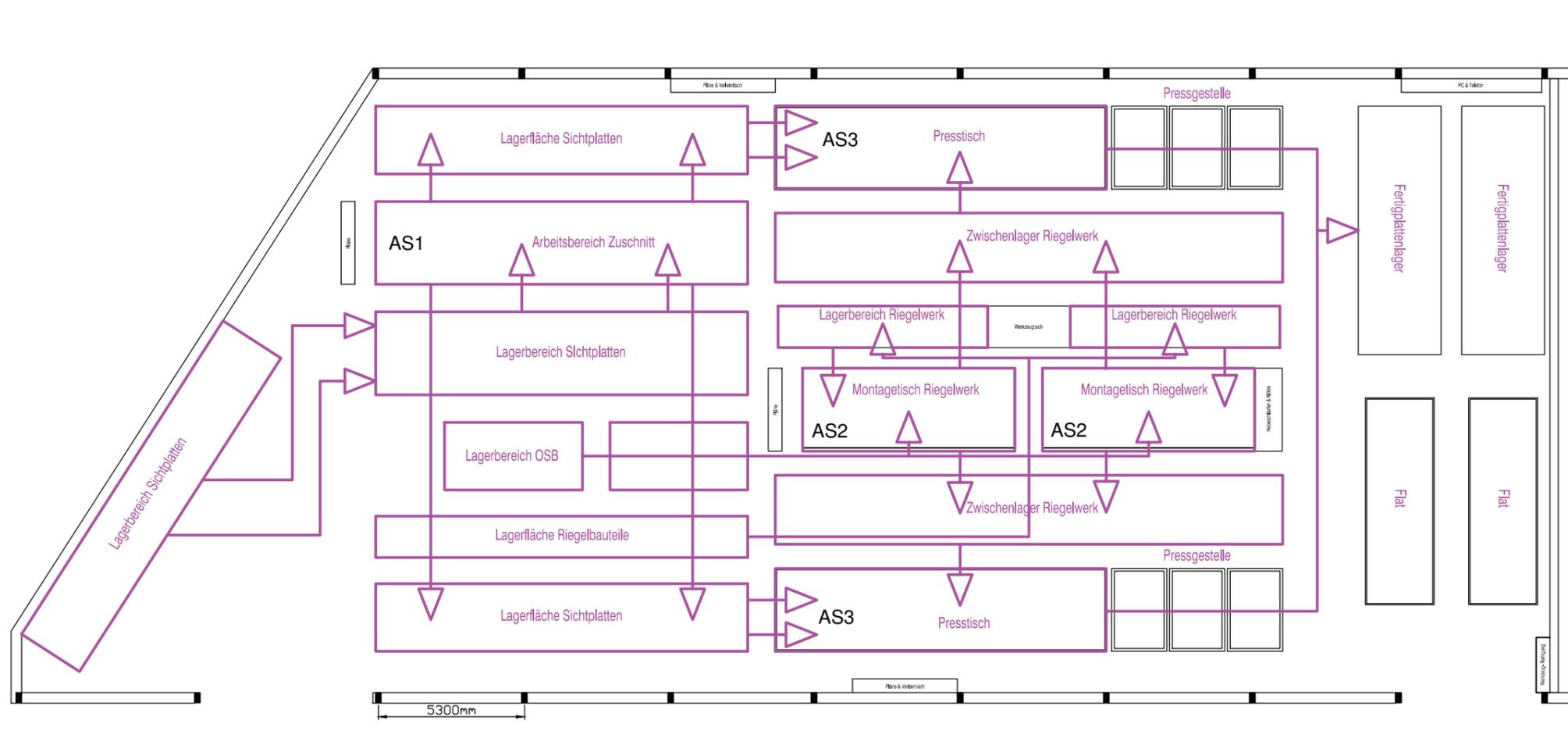
| | | | |
|--|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| Planinhalt: ANALYSE DES MATERIALFLUSSES [PROJEKT A] | | Sr. | |
| | | Ort | |
| | | Tel. | |
| | | Fax | |
| Auftragnehmer: ZIMMEREI SIEVEKE <small>INNEN- UND AUSSEN- HOLZBAU</small> | | Freigabevermerk durch Bauleitung: | |
| <small>Bahmer Strasse 24 5 Tel: 04442 / 9352-0 5 Internet: www.sieveke.de 49393 Lohrn / GbB. 5 Fax: 04442 / 9352-30 5 e-mail: info@sieveke.de</small> | | | |
| Bauherr: Staatliches Bauamt München 1 | | 07 | |
| | | 06 | |
| | | 05 | |
| Gewerk: | | 04 | |
| Position: | | 03 | |
| Architekt: | | 02 | |
| | | 01 | |
| | | Index | |
| | | Änderung | |
| | | Datum | |
| | | Name | |
| Projekt: | MJS- München | Maßstab: | Prüfung intern: |
| Baustelle: | Mühlbauerstraße 15 81677 München | M 1:200 | F.de Monte |
| Erstelldatum: | 12.10.2015 | 27 x 420 mm | Datum |
| Plannummer: | 15-001 | Bearb. | gepr. |
| Projektnummer: | | Blattnummer | Freigabe |
| Planer: | | | index |
| Gewerk: | | | |
| Plantyp: | | | |
| Planart: | | | |
| Ausgabedatum: | | 02 | 00 |



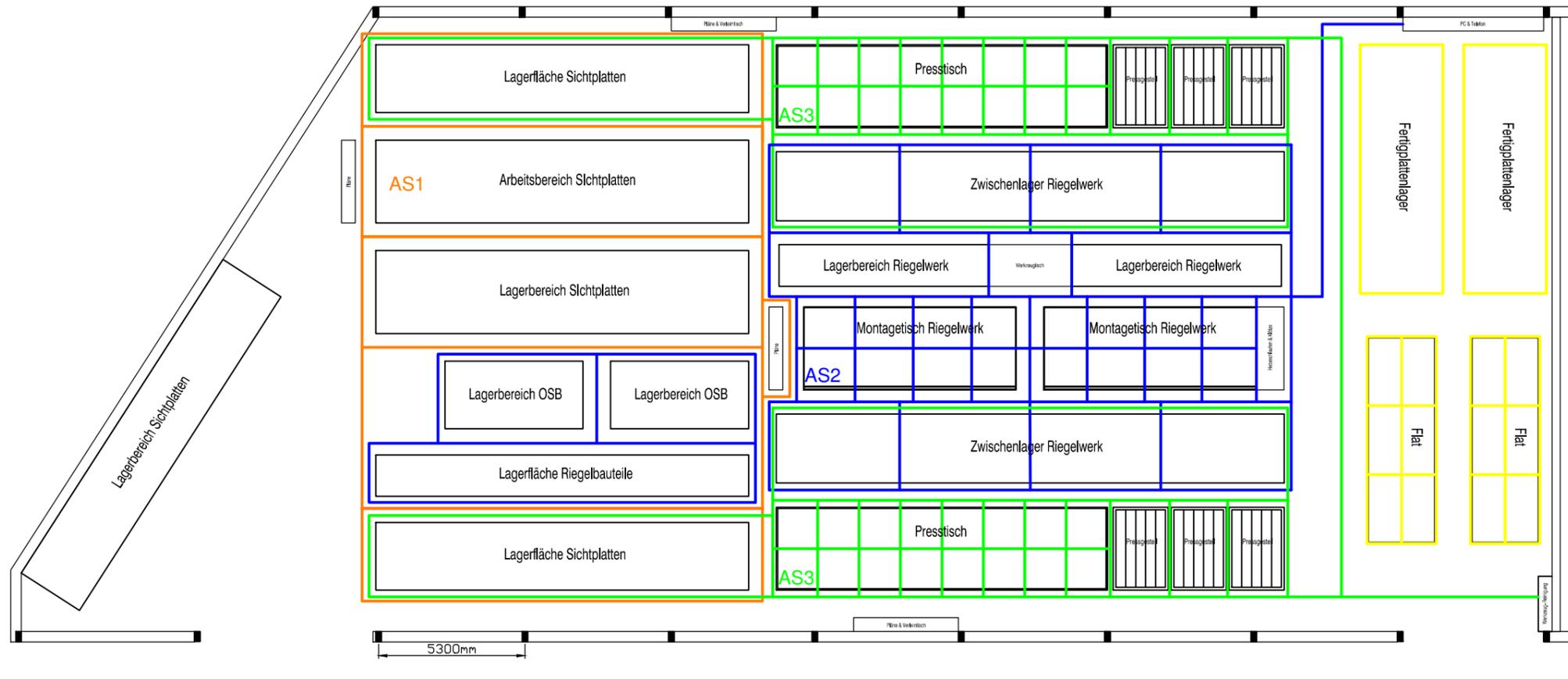
| | | | |
|---|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| Planinhalt: ANALYSE DES PERSONALFLUSSES (PROJEKT A) | | Sr. | |
| | | Ort | |
| | | Titel | |
| | | Fax | |
| Auftragnehmer: ZIMMEREI SIEVEKE <small>INGENIEURHOLZBAU + HOLZHANDWERK</small> | | Freigabevermerk durch Bauleitung: | |
| Bahner Strasse 24 \| 5 Tel: 04442 / 9352-0 \| 5 Internet: www.sieveke.de 49393 Lohr / Ob. \| 5 Fax: 04442 / 9352-30 \| 5 e-mail: info@sieveke.de | | | |
| Bauherr: Staatliches Bauamt München 1 | | 07 | |
| | | 06 | |
| | | 05 | |
| Gewerk: | | 04 | |
| Position: | | 03 | |
| Architekt: | | 02 | |
| | | 01 | |
| | | Index | |
| | | Änderung | |
| | | Datum | |
| | | Name | |
| Projekt: | MJS- München | Maßstab: | Prüfung intern: |
| Baustelle: | Mühlbauerstraße 15 81677 München | M 1:200 | F.de Monte |
| Erstelldatum: | 12.10.2015 | 27 x 420 mm | Datum |
| Plannummer: | 15-001 | Bearb. | gepr. |
| Projektnummer: | | Blattnummer | Freigabe |
| Planer: | | | index |
| Gewerk: | | 03 | 00 |
| Plantyp: | | | |
| Planart: | | | |



| | | | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| Planinhalt: ANALYSE DER MATERIALANLIEFERUNG [PROJEKT B] | | Sr. | |
| | | Ort | |
| | | Tel. | |
| | | Fax | |
| Auftragnehmer: ZIMMEREI SIEVEKE <small>INGENIEURHOLZBAU - HOLZHANDWERK</small> | | Freigabevermerk durch Bauleitung: | |
| <small>Balmer Strasse 24 · 5 Tel.: 04442 / 1052-0 · 5 Internet: www.sieveke.de 49393 Lohme / Oeb. · 5 Fax: 04442 / 1052-30 · 5 e-mail: info@sieveke.de</small> | | | |
| Bauherr: M&L Grundstücksgesellschaft | | 07 | |
| | | 06 | |
| | | 05 | |
| Gewerk: | | 04 | |
| Position: | | 03 | |
| Architekt: | | 02 | |
| | | 01 | |
| | | Index | |
| | | Änderung | |
| | | Datum | |
| | | Name | |
| Projekt: | A&I- Kreyenbrück | Maßstab: | Prüfung intern: |
| Baustelle: | Klingenbergstraße 26133 Oldenburg | M 1:200 | F.de Monte |
| Erstelldatum: | 24.10.2015 | 27 x 420 mm | Datum |
| Ausgabedatum: | 14-083 | Bearb. | gepr. |
| Projektnummer: | | Blattnummer | Freigabe |
| Planer: | | | index |
| Gewerk: | | 04 | 00 |
| Plantyp: | | | |
| Planart: | | | |



| | | | |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| Planinhalt: ANALYSE DES MATERIALFLUSSES [PROJEKT B] | | Sr. | |
| | | Ort | |
| | | Tel. | |
| | | Fax | |
| Auftragnehmer: ZIMMEREI SIEVEKE <small>INGENIEURHOLZBAU - HOLZHANDWERK</small> | | Freigabevermerk durch Bauleitung: | |
| <small>Bahmer Strasse 24 · D 34412 / 10524-0 · Internet: www.sieveke.de 49393 Lohne / Oeb. · D Fax: 04442 / 5053-30 · E-mail: info@sieveke.de</small> | | | |
| Bauherr: M&L Grundstücksgesellschaft | | 07 | |
| | | 06 | |
| | | 05 | |
| Gewerk: | | 04 | |
| Position: | | 03 | |
| Architekt: | | 02 | |
| | | 01 | |
| | | Index | |
| | | Änderung | |
| | | Datum | |
| | | Name | |
| Projekt: | A&I- Kreyenbrück | Maßstab: | Prüfung intern: |
| Baustelle: | Klingenbergstraße 26133 Oldenburg | M 1:200 | F.de Monte |
| Erstelldatum: | 24.10.2015 | 27 x 420 mm | Datum |
| Ausgabedatum: | 14-083 | Bearb. | gepr. |
| | | Blattnummer | Freigabe |
| | | 05 | index |
| | | | 00 |



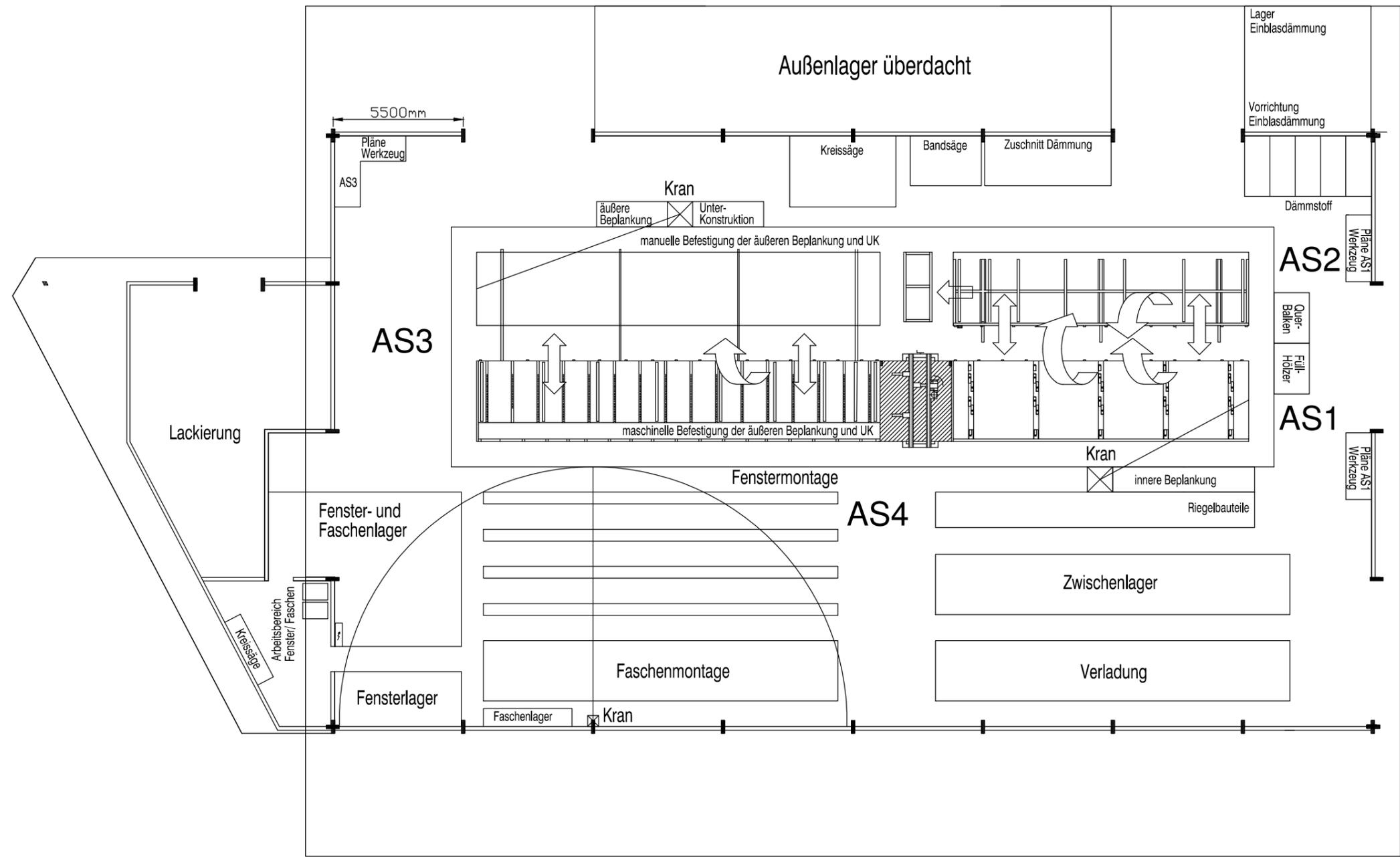
| | | | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| Planinhalt: ANALYSE DES PERSONALFLUSSES [PROJEKT B] | | Sr. | |
| | | Ort | |
| | | Titel | |
| | | Fax | |
| Auftragnehmer: ZIMMEREI SIEVEKE <small>INNEN- UND AUSSEN- HOLZBAU</small> | | Freigabevermerk durch Bauleitung: | |
| <small>Bahmer Strasse 24 · 5 Tel.: 04442 / 5050-0 · 5 Internet: www.sieveke.de 49393 Lohme / Oeb. · 5 Fax: 04442 / 5050-30 · 5 e-mail: info@sieveke.de</small> | | | |
| Bauherr: M&L Grundstücksgesellschaft | | 07 | |
| | | 06 | |
| | | 05 | |
| Gewerk: | | 04 | |
| Position: | | 03 | |
| Architekt: | | 02 | |
| | | 01 | |
| | | Index | |
| | | Änderung | |
| | | Datum | |
| | | Name | |
| Projekt: | A&I- Kreyenbrück | Maßstab: | Prüfung intern: |
| Baustelle: | Klingenbergstraße 26133 Oldenburg | M 1:200 | F.de Monte |
| Erstelldatum: | 24.10.2015 | 27 x 420 mm | Datum |
| Ausgabedatum: | 14-083 | Bearb. | gepr. |
| Projektnummer: | | Blattnummer | Freigabe |
| Planer: | | | index |
| Gewerk: | | 06 | 00 |
| Plantyp: | | | |
| Planart: | | | |

A.1.6 Neugestaltung der Betriebshallen

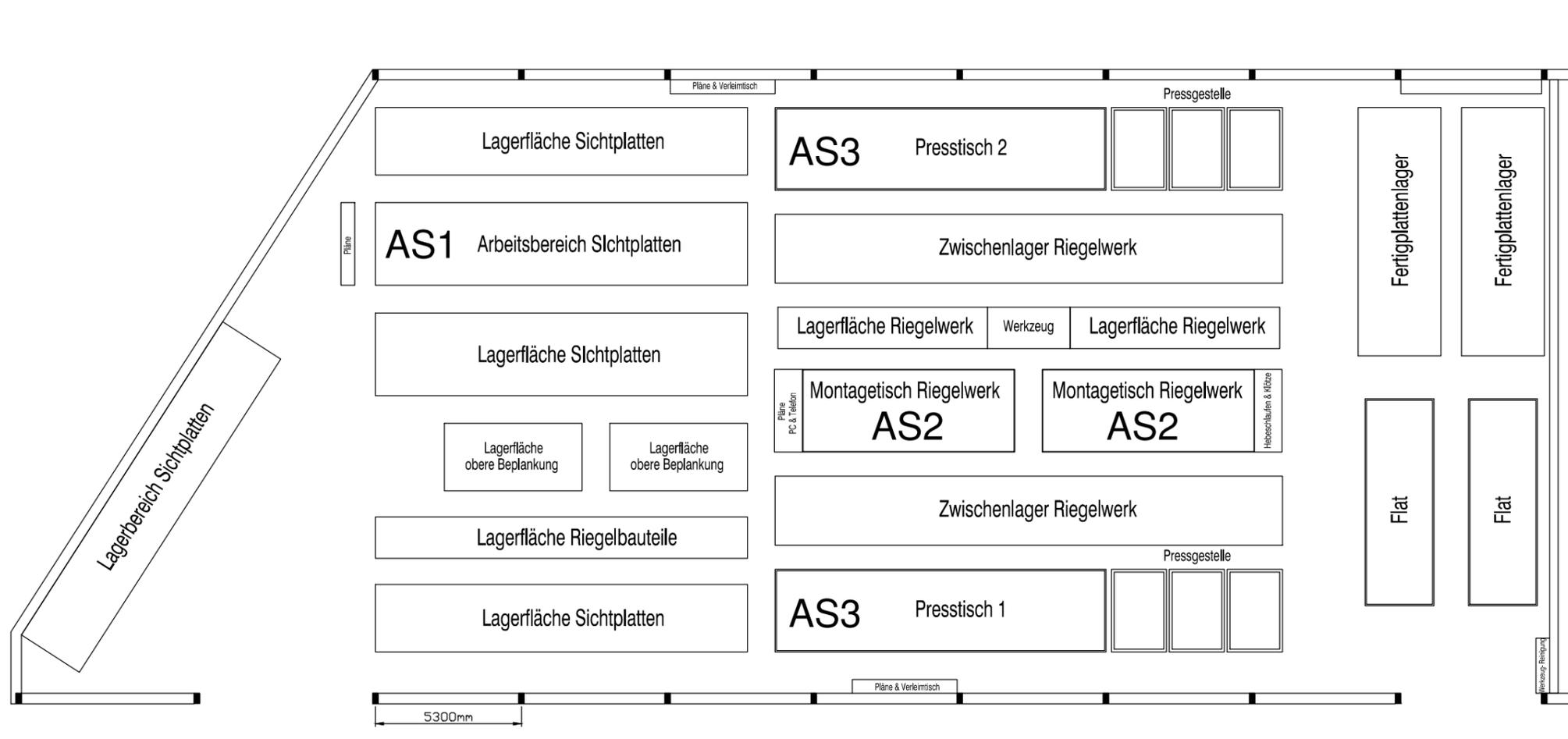
In den nachfolgenden Planunterlagen sind die Optimierungs- bzw. Neugestaltungsmaßnahmen beider Betriebshallen sowie ein Gesamtüberblick am Firmenareal maßstabsgetreu abgebildet.

Den Neugestaltungsmaßnahmen von Betriebshalle 2 liegt die Vorgabe einer effizienten wie auch störungsfreien Fertigungsmöglichkeit von klassischen Holzrahmenelementen zu Grunde. Die Neugestaltungsmaßnahmen von Betriebshalle 3 betreffen hingegen die Fertigung von verlebten Hohlkastenelementen. Hierfür wird jeweils eine Variante mit bzw. ohne integrierten Plattenzuschnitt ausgearbeitet.

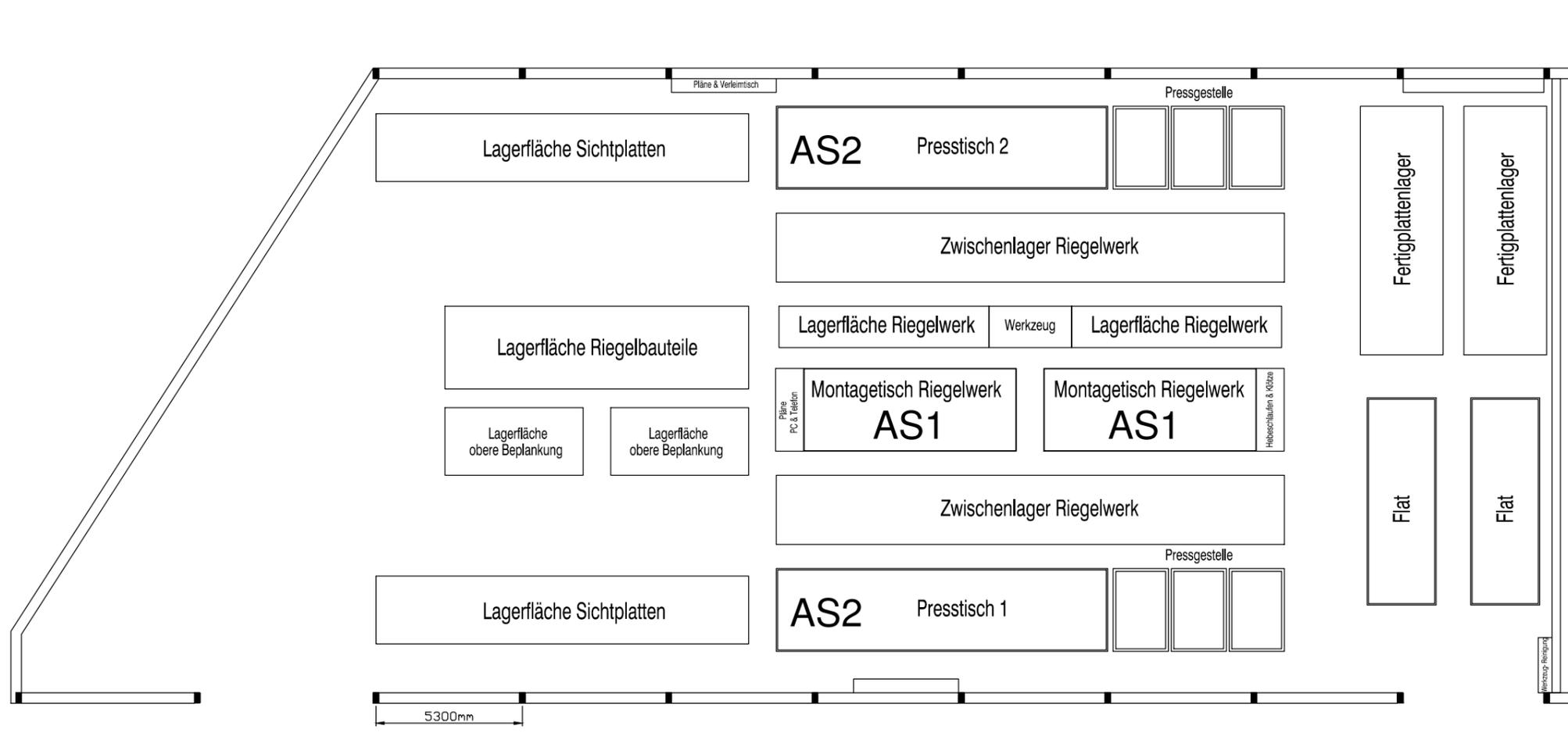
Mittels Gesamtbetrachtung wird abschließend die Eingliederung beider Betriebshallen am Firmenareal dargestellt.



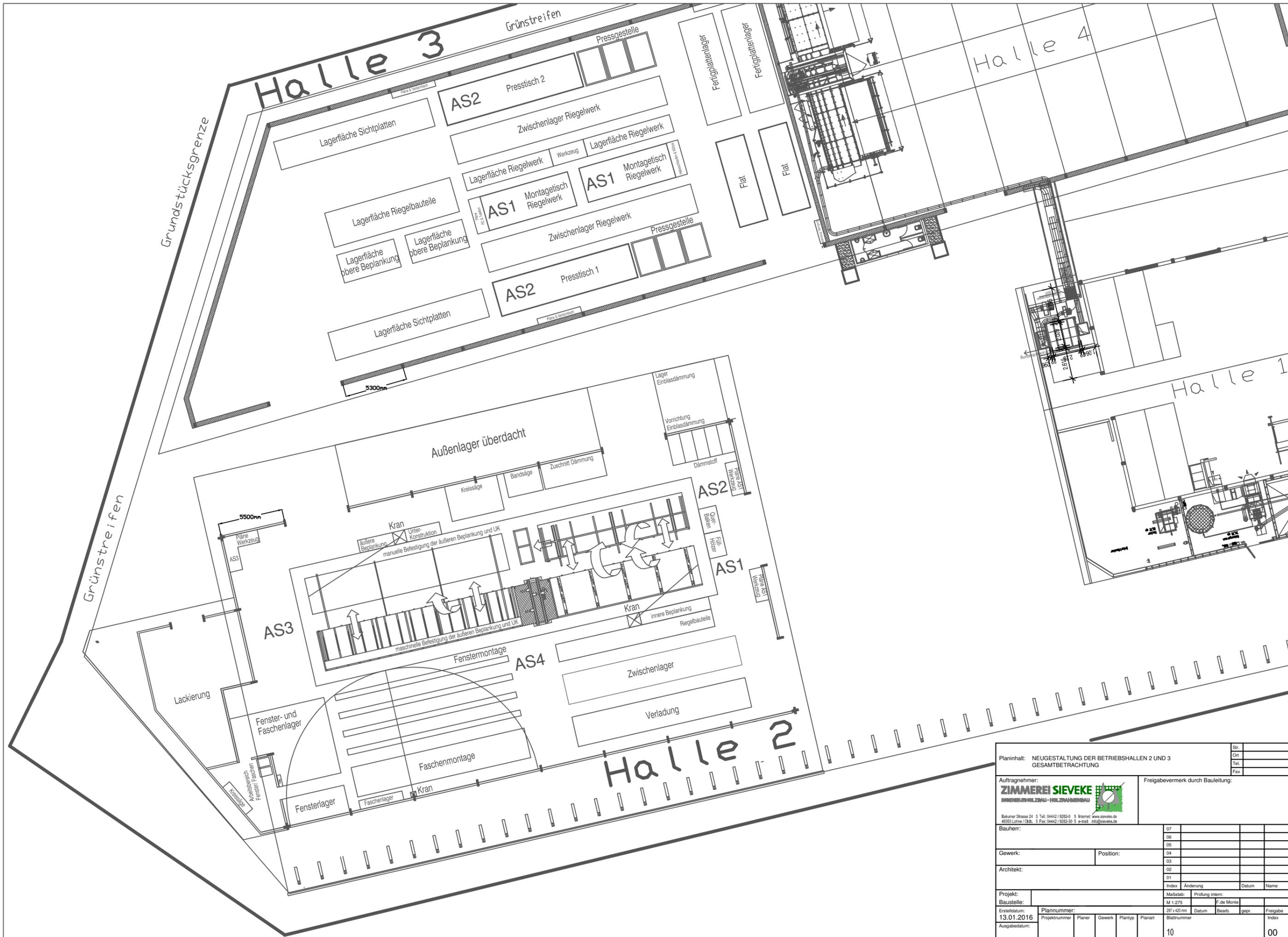
| | | | |
|--|---------------|-----------------------------------|----------|
| Planinhalt: NEUGESTALTUNG DER BETRIEBSHALLE 2 [PROJEKT A] | | Sr. | |
| | | Ort | |
| | | Tel. | |
| | | Fax | |
| Auftragnehmer: ZIMMEREI SIEVEKE <small>INGENIEURHOLZBAU + HOLZHANDWERK</small> <small>Bahmer Strasse 24 5 Tel.: 04442 / 9262-0 5 Internet: www.sieveke.de 49393 Lohme / Oeb. 5 Fax: 04442 / 9262-30 5 e-mail: info@sieveke.de</small> | | Freigabevermerk durch Bauleitung: | |
| Bauherr: | | 07 | |
| | | 06 | |
| | | 05 | |
| Gewerk: | Position: | 04 | |
| | | 03 | |
| Architekt: | | 02 | |
| | | 01 | |
| | | Index | Änderung |
| | | Datum | Name |
| Projekt: | Maßstab: | Prüfung intern: | |
| Baustelle: | M 1:200 | F.de Monte | |
| Erstelldatum: | 27.10.2016 | Datum | Bearb. |
| 05.01.2016 | Plannummer: | gepr. | Freigabe |
| Ausgabedatum: | Projektnummer | Blattnummer | Index |
| | | 07 | 00 |



| | | | |
|--|------------|-----------------------------------|-------|
| Planinhalt: NEUGESTALTUNG DER BETRIEBSHALLE 3 [PROJEKT B] MIT INTEGRIERTEM PLATTENZUSCHNITT | | Sr. | |
| | | Ort | |
| | | Tel. | |
| | | Fax | |
| Auftragnehmer: ZIMMEREI SIEVEKE <small>INGENIEURHOLZBAU - HOLZHANDWERK</small> <small>Bahmer Strasse 24 \| 5. Tel.: 04442 / 9262-0 \| 5. Internet: www.sieveke.de 49393 Lohme / Oeb. \| 5. Fax: 04442 / 9262-30 \| 5. e-mail: info@sieveke.de</small> | | Freigabevermerk durch Bauleitung: | |
| Bauherr: | | 07 | |
| | | 06 | |
| | | 05 | |
| Gewerk: | Position: | 04 | |
| | | 03 | |
| Architekt: | | 02 | |
| | | 01 | |
| | | Index | |
| | | Änderung | Datum |
| Projekt: | Maßstab: | Prüfung intern: | |
| Baustelle: | M 1:200 | F.de Monte | |
| Erstelldatum: | 13.01.2016 | Plannummer: | |
| Ausgabedatum: | | Projektnummer | |
| | | Planner | |
| | | Gewerk | |
| | | Plantyp | |
| | | Planart | |
| | | Blattnummer | |
| | | Datum | |
| | | Bearb. | |
| | | gepr. | |
| | | Freigabe | |
| | | Index | |
| | | 08 | 00 |



| | | | |
|--|------------|-----------------------------------|----------|
| Planinhalt: NEUGESTALTUNG DER BETRIEBSHALLE 3 [PROJEKT B] OHNE INTEGRIERTEM PLATTENZUSCHNITT | | Sr. | |
| | | Ort | |
| | | Tel. | |
| | | Fax | |
| Auftragnehmer: ZIMMEREI SIEVEKE <small>INNEN- UND AUSSEN- HOLZBAU</small> <small>Bahmer Strasse 24 5 Tel.: 04442 / 9262-0 5 Internet: www.sieveke.de 49393 Lohme / Oeb. 5 Fax: 04442 / 9262-30 5 e-mail: info@sieveke.de</small> | | Freigabevermerk durch Bauleitung: | |
| Bauherr: | | 07 | |
| | | 06 | |
| | | 05 | |
| Gewerk: | Position: | 04 | |
| | | 03 | |
| Architekt: | | 02 | |
| | | 01 | |
| | | Index | |
| | | Änderung | Datum |
| Projekt: | Maßstab: | Prüfung intern: | |
| Baustelle: | M 1:200 | F.de Monte | |
| Erstelldatum: | 13.01.2016 | Blattnummer | Freigabe |
| Ausgabedatum: | | Blattnummer | Index |
| | | 09 | 00 |



| | | | |
|---|--------------|-----------------------------------|-----------|
| Planinhalt: NEUGESTALTUNG DER BETRIEBSHALLEN 2 UND 3 GESAMTBETRACHTUNG | | Str. | |
| | | Ort | |
| | | Tel. | |
| | | Fax | |
| Auftragnehmer: ZIMMEREI SIEVEKE INNEN- UND AUSSEN- HOLZBAU | | Freigabevermerk durch Bauleitung: | |
| Bakumer Strasse 24 · D Tel: 04442 / 9282-0 · Internet: www.sieveke.de 493931 Lohne / DE · D Fax: 04442 / 9282-30 · E-mail: info@sieveke.de | | | |
| Bauherr: | | 07 | |
| | | 06 | |
| | | 05 | |
| Gewerk: | Position: | 04 | |
| | | 03 | |
| Architekt: | | 02 | |
| | | 01 | |
| | | Index | Aenderung |
| | | Datum | Name |
| Projekt: | Maßstab: | Prüfung intern: | |
| Baustelle: | M 1:275 | F. de Monte | |
| Erstelldatum: | 207 x 420 mm | Datum | Bearb. |
| 13.01.2016 | Blattnummer | gepr. | Freigabe |
| Ausgabedatum: | | | Index |
| | | 10 | 00 |

Aufwandswerte im Überblick

| Projekt A - Max Josef Stift München | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|----|
| AW-Position | AW _{netto} | BE | AW _{brutto} | BE | AS |
| Zusammenbau des Riegelwerkes | 0,065 | Std/m ² | 0,101 | Std/m ² | 1 |
| Einbau der Stellbretter | 0,006 | Std/m ² | 0,013 | Std/m ² | 1 |
| Einbau der Querbalken | 0,037 | Std/m ² | 0,049 | Std/m ² | 1 |
| Ausrichtung des Elementes | 0,021 | Std/m ² | 0,027 | Std/m ² | 1 |
| Befestigung der Dampfbremse | 0,019 | Std/m ² | 0,023 | Std/m ² | 1 |
| Fixierung der inneren Beplankung | 0,071 | Std/m ² | 0,091 | Std/m ² | 1 |
| Verspachtelung der inneren Beplankung | 0,016 | Std/m ² | 0,022 | Std/m ² | 1 |
| Σ AW Arbeitsstation 1 | 0,235 | Std/m² | 0,326 | Std/m² | |
| Befestigung der Winkel | 0,015 | Std/m ² | 0,031 | Std/m ² | 2 |
| Vorbereitung der Dämmung | 0,064 | Std/m ² | 0,077 | Std/m ² | 2 |
| Einbau der Dämmung | 0,052 | Std/m ² | 0,063 | Std/m ² | 2 |
| Einbau der Füllhölzer | 0,022 | Std/m ² | 0,038 | Std/m ² | 2 |
| Σ AW Arbeitsstation 2 | 0,153 | Std/m² | 0,209 | Std/m² | |
| Fixierung der äußeren Beplankung | 0,081 | Std/m ² | 0,108 | Std/m ² | 3 |
| Abklebung der äußeren Beplankung | 0,017 | Std/m ² | 0,022 | Std/m ² | 3 |
| Befestigung der Unterkonstruktion | 0,056 | Std/m ² | 0,072 | Std/m ² | 3 |
| Einbau der Dichtung | 0,012 | Std/m ² | 0,017 | Std/m ² | 3 |
| Σ AW Arbeitsstation 3 | 0,166 | Std/m² | 0,219 | Std/m² | |
| Vorbereitung Fenstereinbau | 0,099 | Std/lfm | 0,132 | Std/lfm | 4 |
| Einbau der Fenster | 0,129 | Std/lfm | 0,148 | Std/lfm | 4 |
| Einbau der Glasleisten | 0,047 | Std/lfm | 0,075 | Std/lfm | 4 |
| Einbau der Fensterfaschen | 0,070 | Std/lfm | 0,090 | Std/lfm | 4 |
| Σ AW Arbeitsstation 4 | 0,345 | Std/lfm | 0,445 | Std/lfm | |
| Vorbereitung Fenstereinbau | 0,106 | Std/m ² | 0,142 | Std/m ² | 4 |
| Fenstereinbau | 0,139 | Std/m ² | 0,158 | Std/m ² | 4 |
| Einbau der Glasleisten | 0,051 | Std/m ² | 0,080 | Std/m ² | 4 |
| Einbau der Fensterfaschen | 0,075 | Std/m ² | 0,096 | Std/m ² | 4 |
| Σ AW Arbeitsstation 4 | 0,371 | Std/m² | 0,476 | Std/m² | |
| Transport | 0,055 | Std/m ² | 0,079 | Std/m ² | |
| Verladung | 0,076 | Std/m ² | 0,093 | Std/m ² | |
| Σ AW Transport & Verladung | 0,131 | Std/m² | 0,172 | Std/m² | |
| Σ AW ges. | 1,054 | Std/m² | 1,404 | Std/m² | |

| Projekt B - Aktiv&Irma Kreyenbrück | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|----|
| AW-Position | AW _{netto} | BE | AW _{brutto} | BE | AS |
| Bearbeitung der Sichtplatten | 0,081 | Std/m ² | 0,158 | Std/m ² | 1 |
| Σ AW Arbeitsstation 1 | 0,081 | Std/m² | 0,158 | Std/m² | |
| Zusammenbau des Riegelwerkes | 0,116 | Std/m ² | 0,177 | Std/m ² | 2 |
| Ausrichtung des Elementes | 0,031 | Std/m ² | 0,032 | Std/m ² | 2 |
| Einbau der Hebeschlaufen | 0,021 | Std/m ² | 0,031 | Std/m ² | 2 |
| Befestigung der Winkel | 0,020 | Std/m ² | 0,025 | Std/m ² | 2 |
| Fixierung der oberen Beplankung | 0,073 | Std/m ² | 0,134 | Std/m ² | 2 |
| Σ AW Arbeitsstation 2 | 0,261 | Std/m² | 0,399 | Std/m² | |
| Pressvorbereitung Sichtplatten | 0,033 | Std/m ² | 0,057 | Std/m ² | 3 |
| Pressvorbereitung Riegelwerk | 0,035 | Std/m ² | 0,043 | Std/m ² | 3 |
| Verklebung | 0,101 | Std/m ² | 0,126 | Std/m ² | 3 |
| Presse schließen | 0,076 | Std/m ² | 0,172 | Std/m ² | 3 |
| Presse öffnen | 0,037 | Std/m ² | 0,108 | Std/m ² | 3 |
| Σ AW Arbeitsstation 3 | 0,282 | Std/m² | 0,506 | Std/m² | |
| Transport und Verladung | 0,064 | Std/m ² | 0,084 | Std/m ² | |
| Σ AW Transport & Verladung | 0,064 | Std/m² | 0,084 | Std/m² | |
| Σ AW ges. | 0,688 | Std/m² | 1,147 | Std/m² | |