

Masterarbeit

Holzschindelfassaden

Entwicklung eines Prototyps für eine
effiziente modulare Vorfertigung

Christian Fickler

Matr.Nr.: 2167365

Studiengang: Energie Effizienz Design - EED

Betreuer: Prof. Dipl.-Ing. Susanne Runkel
Mathias Polt

Abgabe: Mai 2025

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, die eingereichte Abschlussarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt zu haben. Wörtlich oder inhaltlich verwendete Quellen wurden entsprechend den anerkannten Regeln wissenschaftlichen Arbeitens zitiert. Ich erkläre weiterhin, dass die vorliegende Arbeit noch nicht anderweitig als Abschlussarbeit eingereicht wurde.

Das Merkblatt zum Täuschungsverbot im Prüfungsverfahren der Hochschule Augsburg habe ich gelesen und zur Kenntnis genommen. Ich versichere, dass die von mir abgegebene Arbeit keinerlei Plagiate, Texte oder Bilder umfasst, die durch von mir beauftragte Dritte erstellt wurden.

Augsburg, 28.05.2025, 

Ort, Datum, Unterschrift

Kurzfassung

In der vorliegenden Masterarbeit wurde das Potenzial der modularen Vorfertigung von Holzschindelfassaden zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung funktionaler, ökologischer und gestalterischer Aspekte untersucht. Aufbauend auf einer umfassenden Literaturrecherche wurden Anforderungen an Konstruktion, Holzschutz und Fertigung analysiert und ein Prototyp entwickelt, gefertigt und hinsichtlich seiner Praxistauglichkeit evaluiert. Die Ergebnisse zeigen, dass eine serielle Herstellung technisch umsetzbar ist und das Erscheinungsbild einer klassischen Holzschindelfassade beibehalten werden kann. Eine durchgeführte Lebenszykluskostenanalyse und Ökobilanz anhand eines fiktiven Wohngebäudes legten sowohl eine wirtschaftliche als auch eine ökologische Vorteilhaftigkeit gegenüber anderen Fassadenlösungen im Lebenszyklus von 50 Jahren nahe. Es ist jedoch zu beachten, dass belastbare Aussagen zur tatsächlichen Wirtschaftlichkeit erst möglich sind, wenn verlässliche und eine ausreichende Anzahl an Daten zu Fertigungs- und Montagezeiten vorliegen und die Praxistauglichkeit der entwickelten Anschlusslösungen unter realen Bedingungen erprobt wurde. Ergänzend wurde eine Umfrage ausgewertet, die ein grundsätzliches Interesse der Befragten an Holzschindelfassaden erkennen ließ, jedoch auch bestehende Hemmnisse offenbarte. Die modulare Vorfertigung von Holzschindelfassaden bietet nicht nur ökonomische und ökologische Vorteile, sondern eröffnet auch ein hohes gestalterisches Potenzial. Dieses wird durch Visualisierungen veranschaulicht, die unterschiedliche architektonische Anwendungen aufzeigen und die gestalterische Vielfalt modularer Systeme unterstreichen.

Abstract

This master's thesis examines the potential of modular prefabrication of timber shingle façades to increase economic efficiency while taking functional, ecological and design aspects into account. Based on a comprehensive literature research, requirements for construction, wood protection and production were analyzed and a prototype was developed, manufactured and evaluated with regard to its practical suitability. The results show that serial production is technically feasible and that the appearance of a conventional wooden shingle façade can be retained. A life cycle cost analysis and life cycle assessment carried out on a fictitious residential building suggested both an economic and an ecological advantage over other façade solutions. However, it should be noted that reliable statements on the actual economic efficiency are only possible once reliable data on production and installation times are available and the practical suitability of the connection solutions developed has been tested under real conditions. In addition, a survey was evaluated, which revealed a fundamental interest in wooden shingle façades among the respondents, but also revealed existing obstacles. The modular prefabrication of wooden shingle façades not only offers economic and ecological advantages, but also opens up great design potential. This is illustrated by visualizations that show different architectural applications and underline the design diversity of modular systems.

Inhalt

Abbildungsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis.....	IV
1. Einleitung.....	1
2. Methodik.....	2
2.1. Literaturrecherche.....	2
2.2. Entwicklung und Umsetzung eines Prototyps.....	2
2.3. Bewertung der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit.....	2
2.4. Umfrage zur Wahrnehmung von Holzschindelfassaden.....	2
3. Grundlagen.....	8
3.1. Historische Entwicklung von Holzschindeln.....	8
3.2. Eigenschaften von Holzschindeln.....	9
3.2.1. Herstellung.....	10
3.2.2. Konstruktion.....	15
3.2.3. Weitere Maßnahmen zum Holzschutz.....	18
3.3. Entwicklung des modernen Holzbaus.....	19
3.3.1. Technologische Entwicklungen im Holzbau.....	19
3.3.2. Modularität und Vorfertigung im Holzbau.....	21
3.3.3. Entwicklung des Nachhaltigkeitsverständnisses.....	23
3.4. Konsequenzen für den Prototyp einer vorgefertigten Holzschindelfassade.....	24
4. Untersuchung der modularen Varianten.....	26
4.1. Entwicklung von Varianten.....	26
4.2. Vergleich der Varianten hinsichtlich Kosten, Bauzeit und Vorfertigungsgrad.....	30
5. Erstellung eines Prototyps.....	32
5.1. Fertigungsprozess und Praxiserfahrung.....	33
5.2. Potenzial einer effizienten Vorfertigung.....	37
5.3. Anschlussdetails.....	39
5.4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anhand einer Lebenszykluskostenanalyse (LCC).....	44
5.4.1. Abschätzung der Kosten der Holzschindelmodulfassade.....	44
5.4.2. Berechnung der Lebenszykluskosten anhand eines Beispielgebäudes.....	46
5.4.3. Vergleich der Lebenszykluskosten anhand eines Beispielgebäudes.....	50
5.5. Nachhaltigkeitsbewertung anhand einer Lebenszyklusanalyse (LCA).....	52
5.6. Fazit zum Prototyp.....	55

6. Ergebnisse der Umfrage	56
7. Diskussion und Ausblick	61
8. Literaturverzeichnis.....	64
Anhang A Bewertungsmatrix zu den Prototypvarianten	I
Anhang B Produktdatenblatt Schindelelemente	II
Anhang C Dreitafelbild der Anschlussdetails des Prototyps mit Holzanschlüssen, M1:10	III
Anhang D Dreitafelbild der Anschlussdetails des Prototyps mit Blechanschlüssen, M 1:10 ..	IV
Anlagenverzeichnis	V

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Nationalparkzentrum Ruhestein im Schwarzwald, [Foto] (Eichmann, 2022).....	1
Abb. 2: Untersuchung des Begriffs ‚Wahrnehmung‘ zur Entwicklung von Fragen.....	4
Abb. 3: Untersuchung des Begriffs ‚Hemmnisse‘ zur Entwicklung von Fragen	5
Abb. 4: Untersuchung des Begriffs ‚Bevölkerung‘ zur Entwicklung von Fragen	6
Abb. 5: (oben links) Rekonstruktion eines Brettschindeldachs im Pfahlbaumuseum Unteruhldingen, [Foto] (Urs Leuzinger, 2000)	8
Abb. 6: (oben rechts) Haltdalen Stabkirche aus der Zeit um 1170 - ursprünglich aus Haltdalen, Norwegen, [Foto] (Dreier, 2007).....	8
Abb. 7: (unten links) Haus Straja im Bukowina-Dorfmuseum in Suceava, Rumänien, [Foto] eigene Aufnahme 2024	8
Abb. 8: (unten rechts) Berghütte mit Schindelfassade am Nebelhorn im Allgäu, Deutschland, [Foto] eigene Aufnahme 2024	8
Abb. 9: Schindelarten, die nach DIN 68119:2019-04 für Wandbekleidungen geeignet sind, Längen und Breiten wurden aus der Norm übernommen, Dicken und Darstellung nach (Güntzel & Zurheide, 1986)	10
Abb. 10: Einschnittarten von Brettern, eigene Abbildung nach Bounin et al. (2013)2013	11
Abb. 11: Unterkonstruktion mit versetzten Latten (1), mit ausgestemmt Lüftungsschlitzen (2), mit verzinkten Abstandsbügeln (3) und mit Sperrholzplättchen oder Keilen (4), (Hestermann et al., 2002).....	15
Abb. 12: Erläuterungen der Befestigungshöhe, Randabstände und Fugenausbildungen von Holzschindeln an der Fassade in Millimeter, eigene Darstellung nach (ZVDH, 2025).....	17
Abb. 13: Anteil der genehmigten Wohn- und Nichtwohngebäude in Holzbauweise an allen genehmigten Wohn- und Nichtwohngebäuden in Deutschland in den Jahren 2003 bis 2023 (Statista, 2024a, 2024b)	19
Abb. 14: Konstruktionszeichnung des geplanten Holzschindelmoduls V1.2	32
Abb. 15: Rahmenunterkonstruktion	33
Abb. 16: Fase an der Hinterlüftungslatte	33
Abb. 17: Verschrauben der Schindelelemente aus Thermoese	34
Abb. 18: Seitenansicht der ersten Schindelreihe auf dem Unterkonstruktionsrahmen.....	34
Abb. 19: fertiges Schindelmodul mit Schindelelementen aus Thermoese	34
Abb. 20: Befestigung der Lärchenschindeln an der Konterlatte	35
Abb. 21: Eindringtiefe der Klammern bei zu hohem Druck	35
Abb. 22: Eindringtiefe der Klammern bei zu korrektem Druck	35
Abb. 23: fertige Lärchenschindelreihe	35
Abb. 24: fertiges Lärchenschindelmodul	35
Abb. 25: Rückseite der Module aus Thermoese (links) und Lärche (rechts)	36
Abb. 26: Hinterlegen der Befestigungslatte	36
Abb. 27: Module horizontal gefügt.....	36
Abb. 28: Module vertikal gefügt, Ansicht (links) und Seitenansicht (rechts).....	36

Abb. 29: Dreitafelansicht einer möglichen Schablone, Schritt ein: Montieren des Rahmens von hinten	37
Abb. 30: Dreitafelansicht einer möglichen Schablone, Schritt zwei: Montieren der Schindelreihen von vorn	38
Abb. 31: Beispielansicht eines mit Schindelmodulen gedecktem Haus	39
Abb. 32: Anschlussdetail 1-1: Sockel	40
Abb. 33: Anschlussdetail A-A: Außenecke	41
Abb. 34: Anschlussdetail 2-2: oberer Abschluss, Ortgang	42
Abb. 35: Anschlussdetail 3-3 (links) und B-B (rechts) mit Holzrahmen	43
Abb. 36: Anschlussdetail 3-3 (links) und B-B (rechts) mit Metallrahmen	43
Abb. 37: Ansichten des Beispielgebäudes mit Maßbezügen als Berechnungsgrundlage der LCC	46
Abb. 38: Vergleich der anteiligen Investitionskosten verschiedener Fassaden am Beispielgebäude	50
Abb. 39: Entwicklung der Kapitalwerte im Laufe des Betrachtungszeitraums	51
Abb. 40: Vergleich der anteiligen Lebenszykluskosten verschiedener Fassaden am Beispielgebäude	51
Abb. 41: CO ₂ -Bilanz verschiedener Fassadensysteme	54
Abb. 42: bisherige Erfahrung der Teilnehmer mit der Bauwirtschaft	56
Abb. 43: Altersverteilung der Teilnehmer	56
Abb. 44: regionale Verteilung der Teilnehmer in Deutschland nach den ersten beiden Ziffern der Postleitzahl	57
Abb. 45: Bewertung verschiedener Einflussfaktoren auf die Entscheidung für oder gegen eine Holzschindelfassade	58
Abb. 46: Bewertung verschiedener Hemmnisse auf die Entscheidung für oder gegen eine Holzschindelfassade	58
Abb. 47: Einschätzung zur Verfügbarkeit von Fachpersonal in der Planung	59
Abb. 48: Einschätzung zur Verfügbarkeit von Fachpersonal in der Ausführung	59
Abb. 49: Begriffe, die die Befragten mit Holzschindeln verbinden	59
Abb. 50: Visualisierung eines fiktiven Einfamilienhauses mit Holzschindelmodulfassade in traditioneller Optik	62
Abb. 51: Visualisierung eines fiktiven Einfamilienhauses mit Holzschindelmodulfassade in moderner Interpretation	62
Abb. 52: Visualisierung eines fiktiven Nichtwohngebäudes mit Holzschindelmodulfassade in Kombination mit Fassaden-PV	63

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Dauerhaftigkeitsklassen nach DIN EN 350:2016-12 von Holzarten, die nach DIN 68119:2019-04 für die Herstellung von Schindeln geeignet sind	10
Tab. 2:	Vergleich der Anforderungen an verschiedene Merkmale der DIN 68119:2019-04 mit Videointerviews mit Handwerkern des Freilichtmuseums Stübing, Österreich über die Herstellung von Lärchenscharschindeln [1] (Arbeitsgruppe für Jahrringanalyse und historische Holzverwendung, 2018b) und Fichtenschieferschindeln [2] (Arbeitsgruppe für Jahrringanalyse und historische Holzverwendung, 2018a) in Österreich, sowie mit lokalen Handwerkern aus Gelence, Rumänien über die Herstellung von Fichtennutschindeln [3] (Palkó & Imre, 2021); eigene Grafiken	12
Tab. 3:	Weitere Anforderungen der DIN 68119 an Holzschindeln	13
Tab. 4:	maximal zulässiger Reihenabstand a sowie Schindelgrundbedarf nach DIN 68119:2019-04.....	16
Tab. 5:	Bewährte Nagellängen ^a in mm in Abhängigkeit von Schindellänge, der Herstellungsart und der Lagigkeit, (ZVDH, 2025).....	17
Tab. 6:	Dimensionen der Vorfertigung, eigene Darstellung auf Grundlage der Ausführungen von (Huß, 2021).....	22
Tab. 7:	Abbildung und allgemeine Angaben zu S2-E Schindelelementen des Herstellers Thermory, eigene Darstellung nach einem Produktdatenblatt von SWERO (vgl. Anhang B).....	26
Tab. 8:	Unterscheidung von Schindelmodulvarianten hinsichtlich ihrer Funktionen, eigene Darstellung	26
Tab. 9:	gewichtete Bewertungsmatrix zur Identifikation der geeignetsten Variante für den Prototyp	30
Tab. 10:	Gewichtsberechnung der Module V1.2 und V2.2 bei einer Modulgröße von 0,7 x 1,25 m.....	31
Tab. 11:	Vergleich der kleinstmöglichen, für hinterlüftete Fassaden geeigneter Holzfaserdämmstoffe der wichtigsten Hersteller	31
Tab. 12:	Zeitlicher Aufwand bei der Herstellung der Schindelmodule.....	44
Tab. 13:	Ableitung der Materialkosten für die Holzschindelmodule auf Grundlage der Daten des (BKI, 2024)	45
Tab. 14:	Berechnung der Gesamtkosten der Schindelmodulfassade	45
Tab. 15:	Herstellkosten der Fassadenvarianten des Beispielgebäudes nach Kennwerten des (BKI, 2024)	47
Tab. 16:	Ersatzinvestitionen der Fassadenvarianten des Beispielgebäudes nach Kennwerten des BNB	48
Tab. 17:	Beispielauszug aus der Kapitalwertberechnung für die Fassadenvariante Putzfassade	49
Tab. 18:	GWP der Bauteilaufbauten verschiedener Fassaden.....	52
Tab. 19:	GWP verschiedener Fassaden im Lebenszyklus	53

Abkürzungsverzeichnis

BBSR

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

BKI

Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern

BMF

Bundesministerium für Finanzen

BNB

Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen

CAD

Computer Aided Design

CAM

Computer Aided Manufacturing

CNC

Computer Numerical Control

GEG

Gebäudeenergiegesetzes

LCA

life cycle assessment (Lebenszyklusanalyse)

LCC

life cycle cost (Lebenszykluskostenanalyse)

QNG

Qualitätssiegel nachhaltiges Bauen

WDVS

Wärmedämmverbundsystem

1. Einleitung

Vor dem Hintergrund des steigenden Bedarfs an ressourcenschonenden und zugleich wirtschaftlich realisierbaren Bauweisen rückt der Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Bauwesen zunehmend in den Fokus. Der moderne Holzbau hat sich in den letzten Jahrzehnten als leistungsfähige Alternative zu konventionellen Bauweisen etabliert und gilt insbesondere im Hinblick auf Nachhaltigkeit, Vorfertigungsgrad und Bauzeitoptimierung als zukunftsweisend. Trotz dieser positiven Entwicklungen bleiben traditionelle Fassadentechniken wie die Holzschindelverkleidung bislang weitgehend unberücksichtigt, obwohl sie eine lange Baugeschichte sowie gestalterische, konstruktive und ökologische Qualitäten aufweisen. Holzschindeln prägten über Jahrhunderte das Ortsbild vieler europäischer Dörfer und zieren bis heute viele historische Gebäude. Mit dem Aufkommen neuer Baustoffe wurden sie allerdings immer mehr von mineralischen Alternativen verdrängt, da diese den Ruf hatten wartungsärmer und langlebiger zu sein. Bis heute sind Holzschindelfassaden mit vielen Vorurteilen behaftet. Sie werden häufig nur mit traditionellen Gebäuden in Verbindung gebracht, dabei zeigen zeitgemäße Projekte, wie das Nationalparkzentrum Ruhestein im Schwarzwald (vgl. Abb. 1), die gestalterische Vielfalt der Fassadendeckung. Ein weiteres Vorurteil ist die handwerklich geprägte Verarbeitung der Holzschindel, die als kostenintensiv und wenig rationalisierbar gilt, was ihren Einsatz in zeitgemäßen Bauprojekten stark einschränkt. Vor diesem Hintergrund stellt sich die zentrale Frage, ob und inwiefern sich Holzschindelfassaden durch modulare Vorfertigungsansätze wirtschaftlicher gestalten lassen – ohne dabei ihre ursprünglichen Qualitäten zu verlieren. Ziel dieser Arbeit ist es daher, das Potenzial der modularen Vorfertigung im Zusammenhang mit Holzschindelfassaden systematisch zu untersuchen. Neben der konstruktiven und fertigungstechnischen Betrachtung werden auch die ökonomischen und ökologischen Auswirkungen analysiert. Hierzu werden verschiedene Fassadenmodulvarianten entwickelt, ein prototypischer Aufbau umgesetzt sowie eine Lebenszykluskostenanalyse (life cycle cost, LCC) und eine Lebenszyklusanalyse (life cycle assessment, LCA) durchgeführt. Ergänzend wird eine Umfrage zur gesellschaftlichen Wahrnehmung und Akzeptanz ausgewertet. Auf dieser Grundlage soll ein praxisnaher Beitrag zur Reaktivierung und Weiterentwicklung einer traditionellen Fassadentechnik im Kontext zeitgenössischer Nachhaltigkeits- und Wirtschaftlichkeitsanforderungen geleistet werden.



Abb. 1: Nationalparkzentrum Ruhestein im Schwarzwald, [Foto] (Eichmann, 2022)

2. Methodik

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung des Potenzials einer wirtschaftlichen und effizienten modularen Vorfertigung von Holzschindelfassaden. Zu diesem Zweck wurde ein mehrstufiges methodisches Vorgehen gewählt, das sowohl theoretische als auch praktische Elemente umfasst. Zur sprachlichen Optimierung des Textes wurde an einigen Stellen das KI-Tool „Chat-GPT“ (basierend auf GPT-4o mini) verwendet.

2.1. Literaturrecherche

Zunächst erfolgte eine umfassende Literaturrecherche zur historischen Entwicklung der Holzschindelfassade, um deren baukulturelle Relevanz und gestalterisches Potenzial einzuordnen. Im Anschluss wurden zentrale Aspekte der Herstellung, Konstruktion sowie des Holzschutzes analysiert, die für die technische Umsetzung von Bedeutung sind. Ergänzend wurde untersucht, welche technologischen und baupolitischen Entwicklungen in den letzten Jahrzehnten zur Etablierung des modernen Holzbaus beigetragen haben. Die Literaturrecherche wurde primär über das Suchportal „Google Scholar“ sowie die KI-gestützten Recherchertools „scienceOS“ (basierend auf GPT-4o) und „Perplexity“ (basierend auf GPT-4) durchgeführt.

2.2. Entwicklung und Umsetzung eines Prototyps

Auf Basis der Literaturrecherche wurden funktionale und gestalterische Anforderungen für einen prototypischen Fassadenaufbau definiert. Darauf aufbauend wurden mehrere Varianten konzipiert, konstruktiv bewertet und miteinander verglichen. Eine ausgewählte Variante wurde im Maßstab 1:1 als Prototyp realisiert. Die dabei gewonnenen praktischen Erkenntnisse aus der Fertigung wurden dokumentiert und dienten als Grundlage für die Weiterentwicklung eines rationalisierten Fertigungsprozesses sowie für die Ausarbeitung konstruktiver Anschlussdetails.

2.3. Bewertung der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit wurde eine Lebenszykluskostenanalyse durchgeführt. Diese erfolgte exemplarisch anhand eines Referenzgebäudes und beinhaltete einen Vergleich mit drei alternativen Fassadensystemen. Ergänzend wurde zur ökologischen Bewertung eine Lebenszyklusanalyse unter Anwendung der Software eLCA (Version 0.9.7) durchgeführt. Dabei wurden die Umweltwirkungen der untersuchten Varianten gemäß den Vorgaben des „Leitfadens für nachhaltiges Bauen“ (Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat [BMI], 2019) und basierend auf den Datensätzen der ÖKOBAUDAT (Version OBD_2024_A2) analysiert.

2.4. Umfrage zur Wahrnehmung von Holzschindelfassaden

Um eine Einschätzung zu bekommen, wie Holzschindelfassaden in der Bevölkerung wahrgenommen werden, und ob eine vorgefertigte Bauweise zu einer höheren Verwendung führen kann, wurde eine Umfrage durchgeführt. Auch wenn die Ergebnisse nicht repräsentativ für die Bevölkerung sein können, da keine ausreichend große Gruppen befragt werden konnte, sollen sie den

Erkenntnissen aus der Literaturrecherche und des Prototyps gegenübergestellt werden und diese ergänzen. Die Methodik orientierte sich an den Ausführungen von Lehmann (2022). Die Ergebnisse wurden mit den zuvor ermittelten technischen und wirtschaftlichen Kennwerten in Beziehung gesetzt.

Entwicklung der Umfrage

Ziel der Umfrage war die Erhebung von Daten zur Einschätzung, wie Holzschindelfassaden wahrgenommen werden, und welche Faktoren als Hemmnisse bei der Verwendung für Holzschindelfassaden bestehen. Befragt wurden Bauherren, die bereits Erfahrungen mit Bauentscheidungen und Kosten haben, Personen, die als Planer oder im ausführenden Gewerbe neben den eigenen Erfahrungen auch die Bedürfnisse der Kunden einschätzen können, sowie Personen ohne Erfahrungen mit dem Baugewerbe, die für die Bewertung der Ästhetik und Akzeptanz von Holzschindelfassaden und als potenzielle zukünftige Bauherren relevant sind. Sämtlichen Teilnehmenden der Umfrage wurde ein kooperatives Verhalten unterstellt, da der Ausgang der Umfrage keinerlei Auswirkung auf die Befragten hat. Um eine möglichst große Stichprobe zu erhalten und die Auswertung einfach zu gestalten, wurde als Befragungsform die Erhebung von standardisierten Fragen mittels einer Onlineumfrage gewählt. Außerdem wurde der Umfang der Umfrage möglichst geringgehalten, um die Bearbeitungszeit zu minimieren und somit die Teilnehmerzahl zu erhöhen. Da die Zielgruppe ein Stimmungsbild der allgemeinen Bevölkerung widerspiegeln soll, ist eine Vollerhebung oder Totalerhebung nicht möglich. Die unzureichende Größe der Stichprobe, die aus der Grundgesamtheit gezogen werden kann, verhindert zudem eine repräsentative Teilerhebung. Durch Fragen zu Alter und Bezug zur Bauwirtschaft soll sichergestellt werden, dass eine möglichst diverse Gruppe abgedeckt wurde. Als Umfragetool wurde die kostenlose Version des online-Tools „empirio“ genutzt, da sie alle relevanten Funktionen bietet und eine übersichtliche und einfach zu bedienende Benutzeroberfläche hat.

Ausarbeitung des Fragebogens

Zunächst wurde die Forschungsfrage der Umfrage formuliert: „Welche Hemmnisse gibt es bei der Verwendung von Holzschindeln an Fassaden, und wie werden diese in der Bevölkerung wahrgenommen?“. Daraus wurden drei wesentliche Begriffe abgeleitet, die es zu messen galt: Hemmnisse - Wahrnehmung - Bevölkerung. Diese Begriffe wurden hinsichtlich ihrer unterschiedlichen Dimensionen untersucht. Aus den Dimensionen wurden wiederum Indikatoren abgeleitet, die die Items bzw. die Fragen in der Umfrage bilden (vgl. Abb. 2, Abb. 3 und Abb. 4). Die Zahlen in Klammern dienen der späteren Codierung.

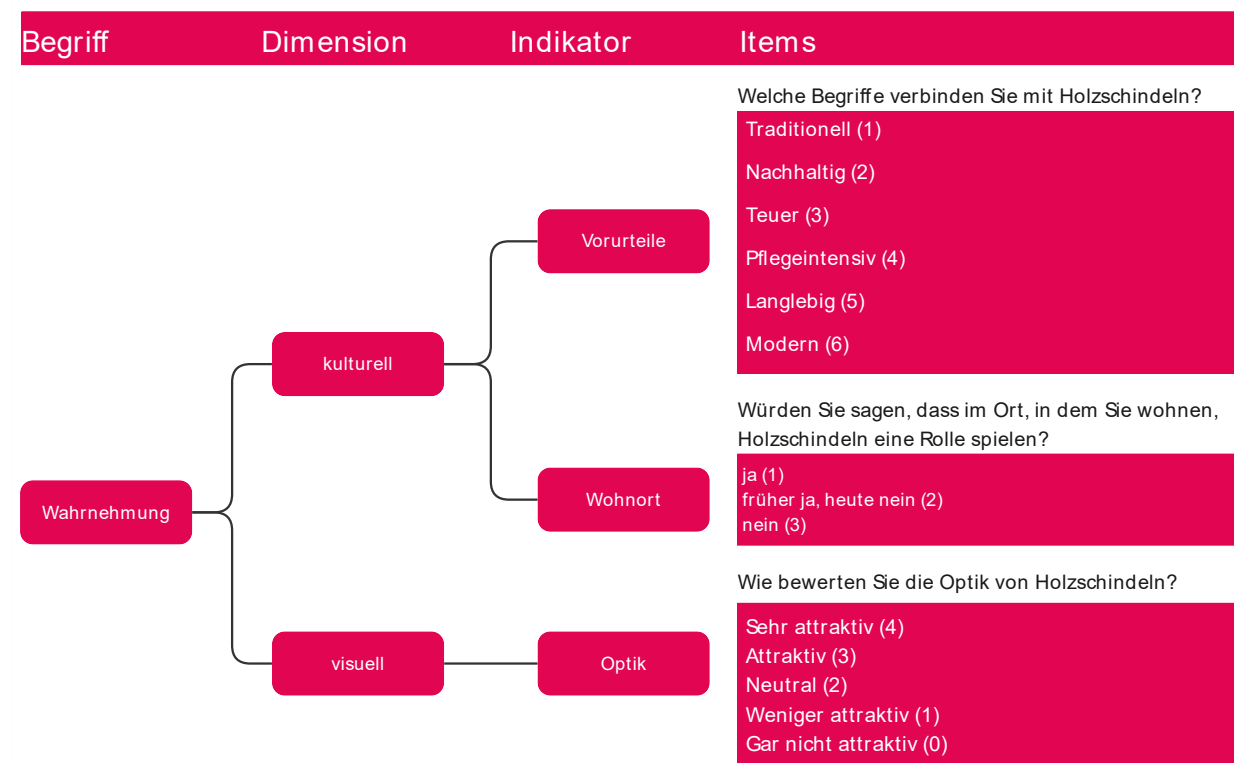


Abb. 2: Untersuchung des Begriffs ‚Wahrnehmung‘ zur Entwicklung von Fragen

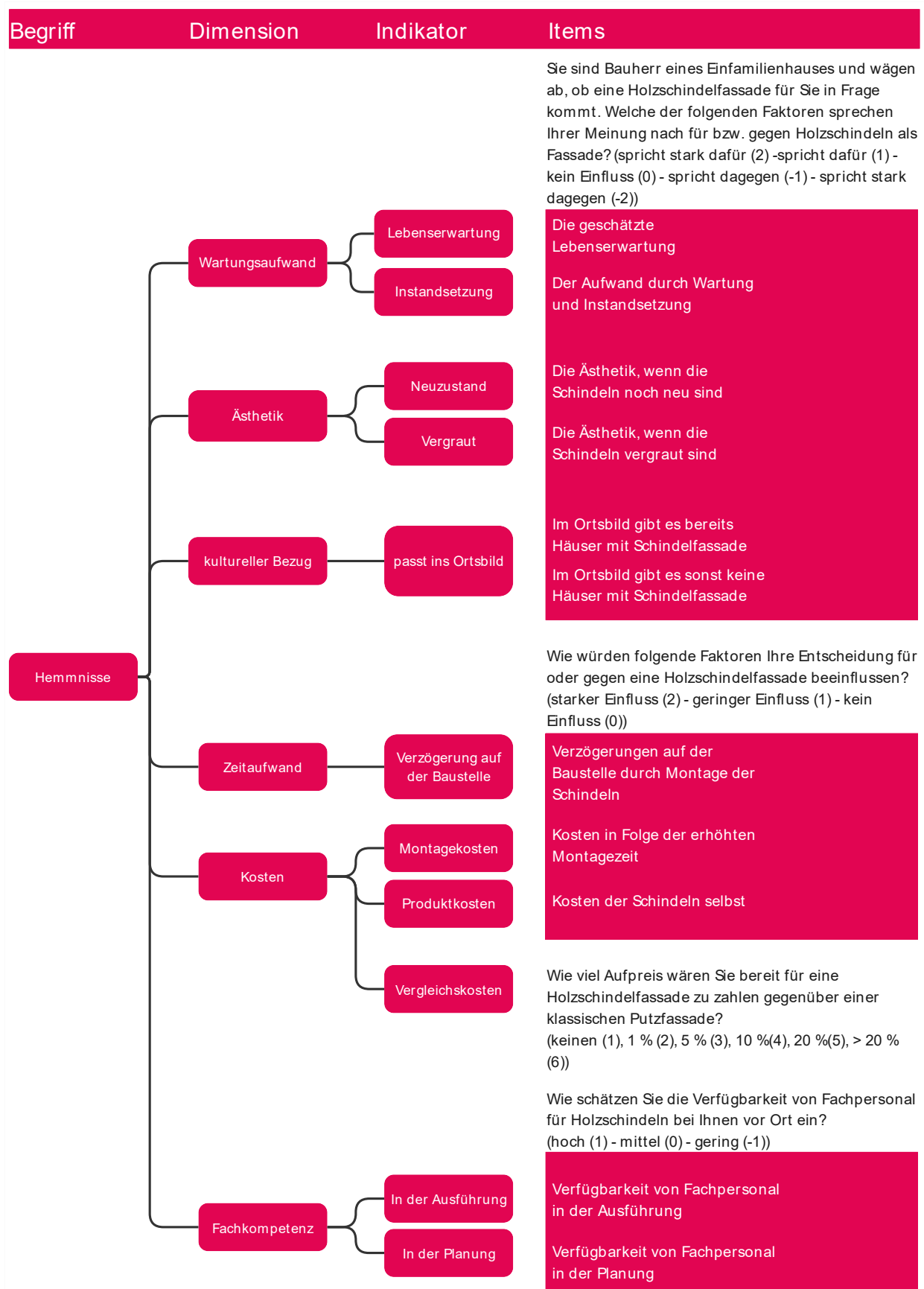


Abb. 3: Untersuchung des Begriffs ‚Hemmnisse‘ zur Entwicklung von Fragen

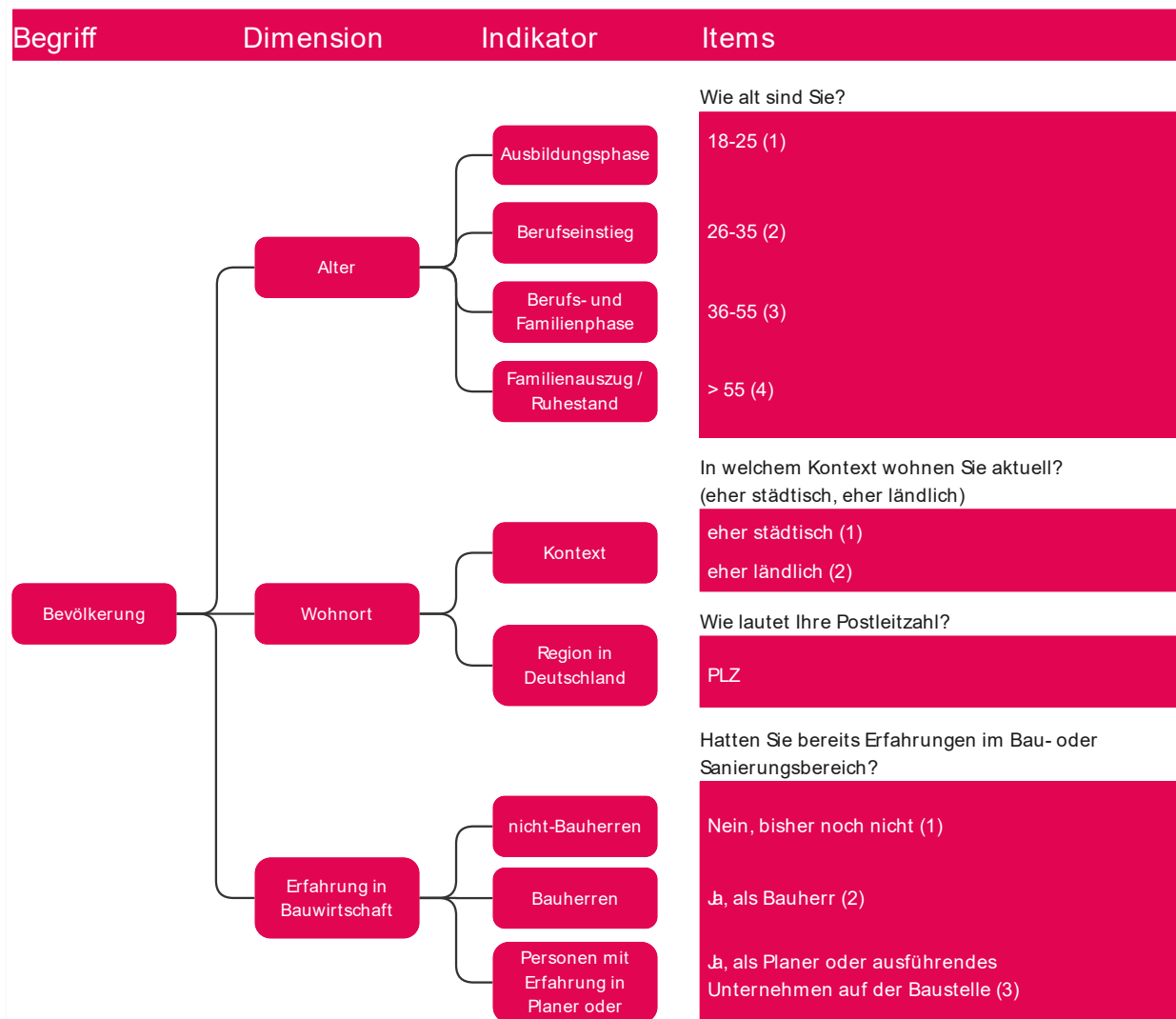


Abb. 4: Untersuchung des Begriffs ‚Bevölkerung‘ zur Entwicklung von Fragen

Die erarbeiteten Fragen wurden dann durch einen Einleitungs- und einen Schlusstext ergänzt und strukturiert. Fragen zu den Erfahrungen und dem Wohnort der Befragten, sowie erste, einfach zu beantwortende Fragen zur Wahrnehmung von Schindeln, sollten Interesse wecken. In den darauffolgenden Fragenkomplexen wurden die Teilnehmenden insbesondere zu möglichen Hemmnissen befragt, die sie möglicherweise davon abhalten sich für Holzschindelfassaden zu entscheiden. Außerdem wurde abgefragt, welchen prozentualen Aufpreis sie bereit wären für eine Holzschindelfassade gegenüber einer Putzfassade zu zahlen, um eine Einschätzung zu bekommen, welche Mehrkosten zumutbar sind. Am Schluss wurde eine Freitextfrage integriert, um den Befragten die Möglichkeit zu geben, ihre eigenen Gedanken und Ideen einzubringen. Nach diesen Fragenkomplexen folgte ein kurzer Hinweis, dass die Umfrage nun fast zu Ende sei, und lediglich einige demografische Fragen folgen. Dies sollte für Struktur in der Umfrage und weitere Motivation bei den Befragten sorgen. Die demografischen Fragen bestanden aus der Abfrage von Altersgruppe und Postleitzahl.

Der Fragebogen wurde vor Veröffentlichung zwei Tests unterzogen. Zum einen wurde er mit der betreuenden Professorin auf Inhalt und Methodik überprüft. Zum anderen füllten vier Kommilitonen den Fragebogen im Vorfeld aus, die thematisch mehr Distanz zum Thema haben, um sicherzustellen, dass die Fragen verständlich sind und um die Bearbeitungsdauer zu überprüfen. Letztere lag dabei bei ca. fünf Minuten und damit im erwarteten Bereich.

Verteilen der Umfrage

Die Umfrage wurde in verschiedenen Chat-Gruppen der Onlineplattform WhatsApp verteilt. Dabei wurde jeweils ein individueller Begleittext formuliert, um die Beteiligung zu erhöhen. Der Text beinhaltete jedoch immer Informationen zu Kontext und Dauer der Umfrage.

Auswertung der Umfrage

Die Auswertung der erhobenen Daten wurde mithilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Microsoft Excel durchgeführt. Zur Kodierung der Antwortkategorien wurden diesen Ziffern-Codes zugewiesen (vgl. Abb. 2, Abb. 3 und Abb. 4), welche in eine Datenmatrix überführt wurden. Nach einer Fehlerkontrolle erfolgte die deskriptive Analyse der Daten, primär unter Verwendung grafischer Darstellungen.

3. Grundlagen

Bevor die Entwicklung eines Prototyps erfolgen kann, ist es zunächst erforderlich, grundlegende Aspekte von Holzschindeln darzustellen. In einem historischen Überblick sollen deren baugeschichtliche Relevanz verdeutlicht und zugleich die Ursachen für den Rückgang ihrer Verwendung herausgearbeitet werden. Zudem ist eine Betrachtung der materialtechnischen Eigenschaften von Holzschindeln notwendig, um deren fachgerechten Einsatz zu gewährleisten, wenngleich dieses vielschichtige Thema im Rahmen dieser Arbeit nur überblicksartig behandelt werden kann. Gleiches gilt für die Analyse der modularen Bauweise: Die technischen Fortschritte, die zur Renaissance des Holzbaus beigetragen haben, sollen erläutert werden, um deren Übertragbarkeit auf die Entwicklung modularer Holzschindelmodule zu bewerten.

3.1. Historische Entwicklung von Holzschindeln

Holzschindeln haben eine lange Tradition als Baumaterial und wurden über Jahrtausende für Dächer und Fassaden genutzt. Bereits in der Jungsteinzeit fanden sich Hinweise auf ihre Verwendung, wie archäologische Funde aus der Seeufersiedlung Arbon am Bodensee belegen, die auf 3384–3370 v. Chr. datiert wurden (Urs Leuzinger, 2000). Auch in der Salzmine Hallstatt in Österreich wurden Tannenholzschindeln aus dem Jahr 425 v. Chr. entdeckt (Grabner et al., 2021). In vielen europäischen Regionen mit ausgeprägter Holzbauweise, etwa den nordischen Ländern oder den Karpaten, prägten Holzschindeln über Jahrhunderte hinweg das Erscheinungsbild von Kirchen, Bauernhäusern und Berghütten (vgl. Abb. 5, Abb. 6, Abb. 7, Abb. 8).



Abb. 5: (oben links) Rekonstruktion eines Brettschindeldachs im Pfahlbaumuseum Unteruhldingen, [Foto] (Urs Leuzinger, 2000)

Abb. 6: (oben rechts) Haltdalen Stabkirche aus der Zeit um 1170 - ursprünglich aus Haltdalen, Norwegen, [Foto] (Dreier, 2007)

Abb. 7: (unten links) Haus Straja im Bukowina-Dorfmuseum in Suceava, Rumänien, [Foto] eigene Aufnahme 2024

Abb. 8: (unten rechts) Berghütte mit Schindelfassade am Nebelhorn im Allgäu, Deutschland, [Foto] eigene Aufnahme 2024

Traditionell wurden Holzschindeln direkt am Bauort oder in kleinen Handwerksbetrieben gefertigt. Erfahrene Handwerker konnten anhand der Rinde eines Baumes dessen Eignung für die Schindelherstellung bestimmen. Ihr Wissen über Holzqualität, Verarbeitung und Befestigungstechniken wurde über Generationen weitergegeben. Diese Form der handwerklichen Herstellung hatte jedoch einen hohen Arbeitsaufwand zur Folge, was mit dem Aufkommen neuer industrieller Baumaterialien dazu führte, dass Holzschindeln allmählich aus dem Massenzbau verschwanden (Policinska-Serwa et al., 2014b). Im Zuge des allgemeinen Trends zu natürlichen Baustoffen und dem wachsenden Interesse an traditioneller Bauweise gewinnen sie heute wieder an Bedeutung. Gleichzeitig übertragen Investoren und Bauherren jedoch die hohen Ansprüche an Sicherheit, Qualität und Langlebigkeit, die sie von modernen Baumaterialien gewohnt sind, auch auf ursprüngliche Werkstoffe (Policinska-Serwa et al., 2014a). Außerdem stehen sie in wirtschaftlicher Konkurrenz zu Fassadensystemen, die sich längst durch rationelle Herstellung und geringem Pflegeaufwand am Markt durchgesetzt haben. In beiden Punkten haben sich jedoch neue Entwicklungen aufgetan, die Holzschindelfassaden wieder näher in Richtung Konkurrenzfähigkeit rücken könnten. Einerseits hat der Holzbau generell zu Beginn des 21. Jahrhunderts einen enormen Auftrieb erfahren, der teilweise auf CAD/CAM-basierten Fertigungsmethoden zurückzuführen ist (S. Winter & Peter, 2021). Zum anderen kann die Dauerhaftigkeit von Holzschindeln, die im Vergleich zu anderen Holzfassaden ohnehin hoch ist, durch thermische Behandlung ohne den Einsatz von Bioziden weiter erhöht werden.

3.2. Eigenschaften von Holzschindeln

Holzschindeln sind dünne, gesägte oder gespaltene Holzplatten, die als Fassaden- oder Dachbekleidung verwendet werden. Durch ihre Kleinteiligkeit wirken sie optisch flächig, wenngleich sie eine leichte horizontale Gliederung haben. Regional haben sich unterschiedliche Ausführungen von Schindeln entwickelt und durchgesetzt, die je nach Holzart und Verwendungszweck unterschiedliche Vorteile bieten (vgl. Abb. 9). Allen gemein ist, dass sie gegenüber anderen Fassaden eine besonders hohe Lebensdauer aufweisen, weswegen man sie bei alten Bauernhäusern häufig auf der Wetterseite antrifft. Nach den Angaben der Nutzungsdauertabelle des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) haben Schindeln mit über 50 Jahren eine höhere Lebenserwartung als andere Holzbekleidungen (30 bzw. 40 Jahre) und auch als Wärmedämmverbundsysteme (40 Jahre) (BBSR, 2017). Grundregeln zur fachgerechten Anwendung sind in der deutschen Normung in der DIN 68119:2019-04 – Holzschindeln dargestellt (deutsches Institut für Normung, 2019). Folgend soll darüber hinaus ein Überblick über die wichtigsten Grundlagen zu Holzschindeln gegeben werden.

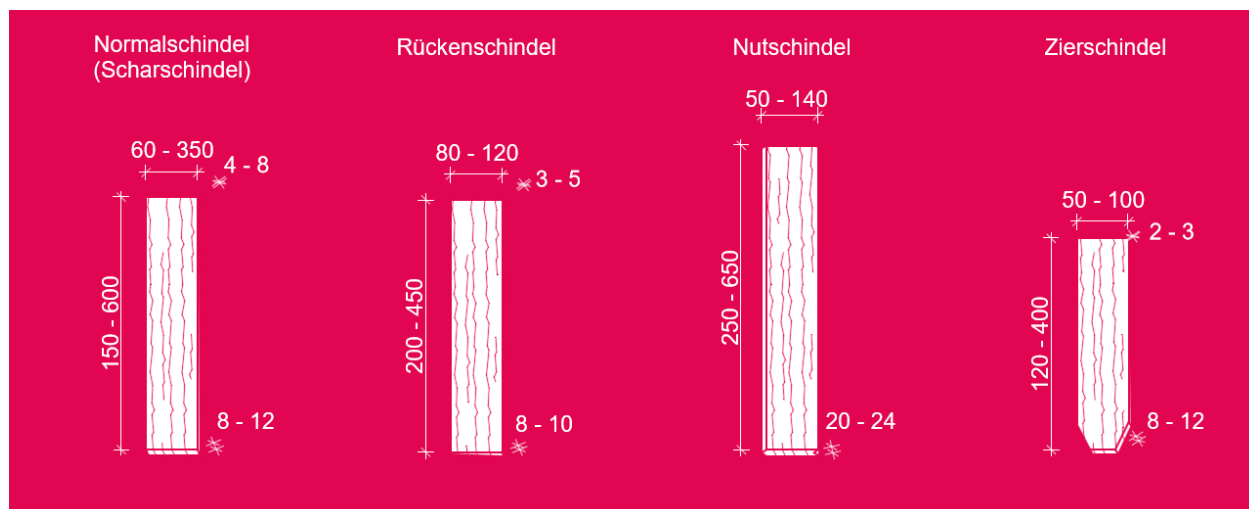


Abb. 9: Schindelarten, die nach DIN 68119:2019-04 für Wandbekleidungen geeignet sind, Längen und Breiten wurden aus der Norm übernommen, Dicken und Darstellung nach (Güntzel & Zurheide, 1986)

3.2.1. Herstellung

Die Herstellung einer Schindel beginnt mit der Wahl des Holzes. Der Anteil an natürlichen Bioziden im Kernholz einer Holzart sorgen für unterschiedliche Dauerhaftigkeiten (Bounin et al., 2013). In der DIN EN 350:2016-12 (deutsches Institut für Normung, 2016) werden verschiedene Holzarten einer Dauerhaftigkeitsklasse zugeordnet (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Dauerhaftigkeitsklassen nach DIN EN 350:2016-12 von Holzarten, die nach DIN 68119:2019-04 für die Herstellung von Schindeln geeignet sind

Name	Botanischer Name	Kurzzeichen nach DIN EN 13556	Dauerhaftigkeitsklasse nach DIN EN 350:2016-12 ^a
Buche	<i>Fagus sylvatica</i>	FASY	5 (4-5)
Eiche	<i>Quercus robur</i> , <i>Quercus petraea</i>	QCXE	2-4 (1-2)
Fichte/Tanne	<i>Picea abies/Abies alba</i>	PCAB/ABAL	Fichte: 4 (4-5) Tanne: 4 (4)
Lärche ^b Sibirische Lärche Kanadische Lärche	<i>Larix decidua</i> <i>Larix sibirica</i> <i>Larix occidentalis</i>	LADC ^b LAOC	3-4 (3-4)
Kiefer	<i>Pinus sylvestris</i>	PNSY	3-4 (2-5)
Gelbzeder (Yellow Cedar/Alaska Cedar)	<i>Chamaecyparis nootkatensis</i>	CHNT	2-3 ^c
Rotzeder	<i>Thuja plicata</i>	THPL	Nordamerika: 2
Weißzeder	<i>Thuja occidentalis</i>	THOC	(1) ^c
Walaba	<i>Eperua spp.</i>	EPXX	1

^a Für Pilze werden zwei Dauerhaftigkeitsklassifizierungen aufgeführt und wie folgt angegeben: X (Y). Die erste Angabe wird gewöhnlich aus den Ergebnissen von Laborprüfungen oder Freilandprüfungen abgeleitet, die einen Einbau in die Erde simulieren. Die zweite Angabe beruht auf den Ergebnissen von Laborprüfungen mit dem Ziel, die Dauerhaftigkeit gegen Holz zerstörende Basidiomyceten zu bestimmen.

^b Die Festlegungen in dieser Norm für Lärche (LADC) gelten auch für sibirische Lärche und kanadische Lärche (LAOC).

^c Für die Anwendung als Schindel ist in der Praxis die gleiche Dauerhaftigkeit wie bei Rotzeder zu erwarten.

Neben der Holzart haben Sortierung und Einschnitt maßgeblichen Einfluss auf die Wasseraufnahme und die Gebrauchsdauer (Grabes et al., 2021). Die Holz Auswahl spielt bei der Herstellung von Schindeln eine besondere Rolle. Da sie traditionell insbesondere durch Spalten hergestellt werden, sind die Anforderungen an das Material hoch. Eine Studie von Grabner et al. (2022) untersuchte ein 37 Jahre altes Dach aus gesägten Schindeln in Hopfgarten, Österreich. Die Schindeln wurden hinsichtlich der Holz Auswahl untersucht und mit dem Zustand der Verwitterung abgeglichen. Die Art, wie die Schindeln aus dem Stamm gesägt wurden, hatte Einfluss auf die Dauerhaftigkeit. Rund geschnittene Schindeln wiesen dabei mehr Risse auf, als solche die im Rift- oder Halbriftschnitt (vgl. Abb. 10) aus dem Baum gesägt wurden. Den größten Einfluss auf die Haltbarkeit der Dachschindeln im Versuch hatten allerdings der Jungholzanteil und der Faserlauf.

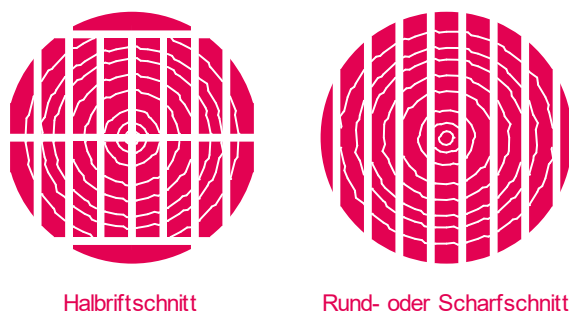
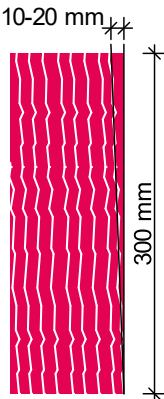
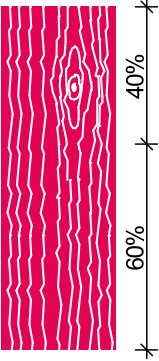
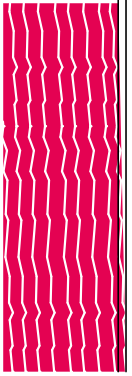


Abb. 10: Einschnittarten von Brettern, eigene Abbildung nach Bounin et al. (2013)

Die Anforderungen an die Güte von Holzschindeln werden auch in der DIN 68119:2019-04 formuliert. Die dort geforderten Merkmale sind in Tab. 2 dargestellt. Da das regionale Wissen um die Herstellung von Holzschindeln traditionell mündlich überliefert wurde, werden in Tab. 2 die Anforderungen der Norm mit Wissen von lokalen Handwerkern verglichen. Dazu dient als Grundlage ein Projekt der Arbeitsgruppe für Jahrringanalyse und historische Holzverwendung am Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe der Universität für Bodenkultur Wien. Dieses hat in drei Videointerviews Handwerker in Österreich und Rumänien bei der Herstellung von Schindeldächern begleitet, um das mündlich überlieferte Wissen zu dokumentieren. In Tab. 3 sind die sonstigen Anforderungen der DIN 68119:2019-04 aufgezeigt, zu denen in den Videointerviews keine expliziten Aussagen getroffen werden. Die DIN unterscheidet zusätzlich zu den Nadel- und Laubbaumarten Fichte/Tanne, Kiefer, Lärche, Eiche und Buche auch noch verschiedene Zedernhölzer. Die folgende Tabelle beschränkt sich aufgrund der höheren Relevanz für Europa auf die genannten Nadel- und Laubbaumhölzer. Die Norm unterscheidet bei gesägten Schindeln zwischen den Güteklassen 1 und 2. Für gespaltene Schindeln gibt es nur Güteklasse 1.

Tab. 2: Vergleich der Anforderungen an verschiedene Merkmale der DIN 68119:2019-04 mit Videointerviews mit Handwerkern des Freilichtmuseums Stübing, Österreich über die Herstellung von Lärchenscharschindeln [1] (Arbeitsgruppe für Jahrringanalyse und historische Holzverwendung, 2018b) und Fichtenschieferschindeln [2] (Arbeitsgruppe für Jahrringanalyse und historische Holzverwendung, 2018a) in Österreich, sowie mit lokalen Handwerkern aus Gelence, Rumänien über die Herstellung von Fichtennutschindeln [3] (Palkó & Imre, 2021); eigene Grafiken

Merkmale	Anforderung der DIN 68119	mündliche Überlieferung
Jahrringneigung 	Für die Güteklasse 1 ist eine Jahrringneigung zwischen 90° und 30° zur Schindelbreite zulässig. Gesägte Schindeln mit liegenden Jahrringen haben die Güteklasse 2	Abhängig von der Schindelart, bei Scharschindeln wird in tangentialer Richtung gespalten (die Rinde fällt automatisch ab) [1], bei Schieferschindeln in radialer Richtung (die Rinde muss entfernt werden) [2]
Faserabweichung 	Die Abweichung bezieht sich auf eine Parallele zur Seitenkante in einem Abstand von 300 mm vom Schindelfuß. Für Güteklasse 1 ist eine Abweichung von 20 mm für gesägte Schindeln zulässig, für gespaltene Schindeln nur 10 mm. Für Buche ist jeweils eine Abweichung von 50 mm zulässig. Güteklasse 2 stellt keine Anforderungen an die Faserabweichung.	Bereits vor dem Fällen des Baumes können durch die Maserung der Rinde Rückschlüsse auf die Faserabweichung gezogen werden. Die Rinde sollte möglichst gerade verlaufen, eine leichte Linksdrehung ist in Ordnung, eine Rechtsdrehung führt zu Problemen beim Spalten [1] [3].
Äste 	Bei gesägtem Laubholz sind Äste unzulässig. Bei gespaltenem müssen die unteren 60 % der Schindel astfrei sein. Bei gespaltenem Nadelholz sind generell festverwachsene Äste bis 20 mm Durchmesser erlaubt. Bei gesägtem Nadelholz dürfen diese nur in den oberen 40 % auftreten, die unteren 60 % der Schindel muss astfrei sein. Für Güteklasse 2 sind festverwachsene Äste in den unteren 60 % erlaubt, in den oberen 40 % alle Äste, die die Gebrauchstauglichkeit der Schindeln nicht beeinträchtigen.	Auch auf Astfreiheit wird bereits bei der Baumauswahl geachtet, dabei sind auch Wülste an der Rinde Hinweise auf Äste [1].

Splint 	Splintholz ist nur in Güteklasse 2 und nur bei geringem Anteil zulässig.	Lärchenschindeln können auch aus Splintholz hergestellt werden, allerdings sollten sie nicht mit Kernholzschindeln gemischt werden. Ein Dach, das 1986 in einem Bereich mit Schindeln aus Splintholz gedeckt wurde lässt eine Haltbarkeit der Splintholzschindeln von mindestens 30 Jahren vermuten [1].
Parallelität $< 3\% \times L$ 	zulässig ist eine Abweichung bis 3 % der Länge bei 3 % der Lieferung.	Die Kanten werden gefügt, damit Schindeln sauber aneinandergelegt werden können [1].
Schindelbreite bei Normalschindeln 	Die Normalbreite beträgt mindestens 80 mm, 20 % der Lieferung dürfen minimal 75 mm breit sein, 10 % der Lieferung dürfen minimal 60 mm breit sein.	Schieferschindeln aus Fichte sollten eine Breite zwischen 80 und 120 mm haben, Scharschindeln aus Lärche dürfen breiter sein [2].

Tab. 3: Weitere Anforderungen der DIN 68119 an Holzschindeln

Merkmale	Anforderung der DIN 68119
Rechtwinkligkeit am Schindelfuß	zulässig ist jeweils eine Grenzabweichung bis 5 % der Breite. Der Schindelkopf darf nicht breiter sein als der Schindelfuß.
Farbe	Güteklasse 1 lässt Farbunterschiede zu, die auf den natürlichen Eigenschaften der Holzart beruhen. Bei Güteklasse 2 sind alle Farbunterschiede zulässig.

Harzgallen	Harzgallen sind in Güteklasse 1 zulässig, wenn sie nicht durchgehen. Für Güteklasse 2 sind sie in den oberen 40 % der Schindel zulässig, wenn sie die Gebrauchstauglichkeit der Schindel nicht beeinträchtigen.
Insektenfraßstellen	Insektenfraßstellen sind nur in Güteklasse 2 zulässig, und nur, wenn sie im überdeckten Bereich auftreten und die Festigkeit und Gebrauchstauglichkeit der Schindeln nicht beeinträchtigen.
Risse	Risse sind bei gesägten Schindeln zulässig, wenn sie die Gebrauchstauglichkeit nicht beeinträchtigen. Für gespaltene Schindeln sind Risse unzulässig.
Grenzabmaß	In der Länge ist ein Grenzabmaß von + 25 mm und - 6 mm zulässig. Bei 10% der Lieferung ist ein Abmaß von 6 % der Länge zulässig. In der Breite sind ± 5 % vom Nennmaß bei Schindeln gleicher Breite zulässig.

Die befragten Handwerker formulierten neben Anforderungen an die Holzschindeln auch spezifische Qualitätskriterien für die Bäume selbst. Diese Anforderungen waren in Rumänien und Österreich weitgehend identisch. Ein geschultes Auge kann bereits anhand der Rindenbeschaffenheit die Eignung des Baumes als Schindelholz beurteilen. Besonders wichtig sind dabei eine gerade bis leicht linksgedrehte Rindenstruktur sowie das Fehlen von Ästen und Verdickungen. Zudem wurde der Zeitpunkt der Fällung als entscheidend angesehen; idealerweise sollte der Baum im Winter gefällt werden. Die rumänischen Handwerker bemängelten einen Qualitätsverlust, der durch die Trennung der Arbeitsschritte Fällen und Schindelherstellung entsteht, da die für das Fällen zuständigen Personen oft nicht mehr ausreichend Fachwissen über die Schindelherstellung besitzen (Palkó & Imre, 2021). Wenn es um die Herstellung der Schindeln geht, ist eine der geläufigsten Regeln, dass gespaltene Schindeln dauerhafter sind als gesägte, da durch das Sägen die Holzfasern verletzt und die Holzoberfläche aufgeraut wird, wodurch Wasser besser aufgenommen wird. Die zuvor erwähnte Studie von Grabner et al. (2022) untersuchte die Gültigkeit dieser Regel. Die Studie untersuchte die Haltbarkeit von gespaltenen gegenüber gesägten Schindeln und stellte die Hypothese auf, dass der vermeintliche Vorteil von gespaltenen Schindeln seinen Ursprung in der für das Spalten erforderlichen hohen Holzqualität hat. Schindeln aus Holz gleicher Güte können demnach eine vergleichbare Lebensdauer aufweisen, wenn sie durch Sägen hergestellt werden. Der wasserabweisende Effekt der gespaltenen Oberfläche verliert nach wenigen Jahren seine Wirkung, sobald die oberen 2-3 mm durch wetterbedingten mechanischen Abrieb erodiert sind.

3.2.2. Konstruktion

Neben der richtigen Holzauswahl und der fachgerechten Herstellung von Schindeln beeinflussen auch konstruktive Maßnahmen die Dauerhaftigkeit von Holzschindeln maßgeblich. Während Dachschindeln zwangsweise frei bewittert sind, können Fassadenschindeln durch einen großzügigen Dachüberstand und einen Sockel gegen Bewitterung und Bodenfeuchte geschützt werden. Durch die geringere Feuchtigkeit wird Pilzbefall vorgebeugt und die Lebensdauer der Fassade erhöht. Auch eine ausreichende Hinterlüftung wirkt sich positiv auf die Feuchtigkeit der Schindeln aus. Fachliteratur zur Herstellung von Holzschindelfassaden ist rar und oft auf einem alten Stand. Im aktuellen Regelwerk des deutschen Dachdeckerhandwerks (Stand Juni 2024) sind „Regeln für Außenwandbekleidungen“ zwar Teil des Repertoires, allerdings auf dem Stand von 1987 (ZVDH, 2025). Aber auch wenn die dortigen Bezüge zu Normen oder Empfehlungen zu chemischen Holzschutzmaßnahmen in Teilen nicht mehr aktuell sind, behalten die konstruktiven Vorgaben ihre Gültigkeit. Daher sollen die wichtigsten Aspekte zur fachgerechten Planung und Ausführung von Hinterlüftung, Reihenabstand und Befestigung aus den Regeln für Außenwandbekleidungen mit Holzschindeln (ZVDH, 1999) kurz dargestellt werden.

Hinterlüftung

Die Mindestgröße, sofern nicht genauer nachgewiesen, muss $150 \text{ cm}^2/\text{m}$ Wandbreite betragen. Meist wird eine vertikale Lattung mit einem Abstand von 20-40 mm zur Wärmedämmung verwendet. Alternative Lösungen zur Gewährleistung des Hinterlüftungsquerschnitts von hinterlüfteten Holzfassaden werden von Hestermann et al. (2002) beschrieben (vgl. Abb. 11).

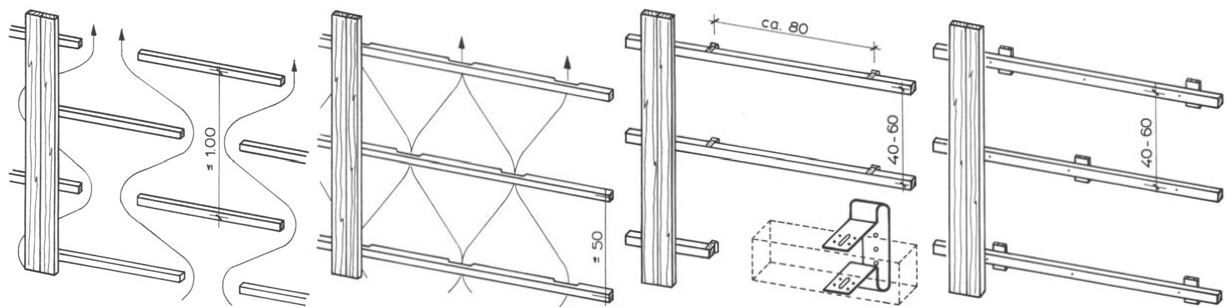


Abb. 11: Unterkonstruktion mit versetzten Latten (1), mit ausgestemmten Lüftungsschlitzen (2), mit verzinkten Abstandsbügeln (3) und mit Sperrholzplättchen oder Keilen (4), (Hestermann et al., 2002)

Reihenabstand

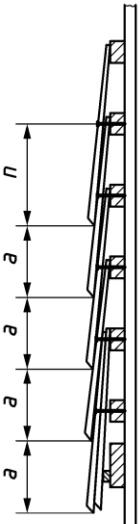
Die sichtbare Schindellänge wird als Reihenabstand bezeichnet und ist abhängig von der Schindellänge und eventuell einzuhaltenden Gebäudelinen wie Fensterstürze. Die Schindellänge sollte im Idealfall zwischen 200 und 450 mm liegen, möglich sind Längen zwischen 120 bis 600 mm. Aus der Schindellänge und dem Reihenabstand a lässt sich der Schindelgrundbedarf, also der Bedarf ohne Verschnitt, in Breitenmetern (Bm) oder in Stück pro Quadratmeter ermitteln:

$$\text{Schindelgrundbedarf [bm]} = \frac{\text{Deckfläche [m}^2\text{]}}{\text{Reihenabstand [m]}}$$

$$\text{Schindelmenge} \left[\frac{\text{Stk}}{\text{m}^2} \right] = \frac{\text{Schindelgrundbedarf [Bm]}}{\text{Schindelbreite [m]}}$$

Einfluss auf den Reihenabstand und den Bedarf hat auch die Lagigkeit der Deckung. Außenwandbekleidungen müssen mindestens zweilagig ausgeführt werden, bei extremen Witterungsbeanspruchungen kann auch eine dreilagige Deckung empfehlenswert sein. In der DIN 68119:2019-04 wird bei der zweilagigen Deckung zwischen gesägten und gespaltenen Schindeln unterschieden (vgl. Tab. 4).

Tab. 4: maximal zulässiger Reihenabstand a sowie Schindelgrundbedarf nach DIN 68119:2019-04

	Zweilagig gesägt			Zweilagig gespaltene	
	Schindel- länge l	Reihenab- stand a	Schindelgrundbe- darf	Reihenab- stand a	Schindelgrundbe- darf
	mm	mm	brtm/m ²	mm	brtm/m ²
	120	50	20,00	50	20,00
	150	60	16,67	60	16,67
	200	80	12,50	80	12,50
	250	100	10,00	100	10,00
	300	120	8,33	120	8,33
	400	160	6,25	180	6,56
	450	180	5,56	200	5,00
	500	200	5,00	225	4,45
	600	240	4,17	270	3,70
	700	280	3,57	280	3,57
	800	320	3,13	320	3,13

Befestigung

Die Befestigung der Holzschindeln erfolgt mit Nägeln mit Flachkopf, einer Schaftstärke von ca. 1,8 bis 2,5 mm und rauem, gerauten oder gerilltem Schaft. Möglich sind auch Klammern mit einem Minstdurchmesser von 1,5 mm und einer Rückenbreite zwischen 10 und 12 mm. Die Befestigungsmittel sollten ca. 18 bis 20 mm in die Unterkonstruktion eindringen. Tab. 5 gibt einen Überblick über bewährte Nagellängen.

Tab. 5: Bewährte Nagellängen^a in mm in Abhängigkeit von Schindellänge, der Herstellungsart und der Lagigkeit, (ZVDH, 2025)

Schindel- länge [mm]	gespaltene Schindeln		gesägte Schindeln	
	2-lagig	3-lagig	2-lagig	3-lagig
bis 150	30	30	30	30
bis 300	30	40 ^b	30	30
bis 450	40 ^b	50	30	40 ^b
> 450	50	60	40	50
^a Bei Zierschindeln Längen zwischen 25 und 35 mm				
^b bei gerillten nichtrostenden Stahlnägeln sind Nagellängen von 35 mm ausreichend				

Jede Holzschindel ist mit zwei Schindelstiften zu befestigen. Der Randabstand darf, abhängig von der Schindelbreite, 15 bis 30 mm nicht überschreiten. Schindeln mit einer Breite von ≥ 160 mm (bei europäischen Hölzern) sollten zur Vermeidung von Verformungen oder Rissbildung geteilt werden. Die Schindelstifte müssen durch die darüberliegende Schindelreihe um mindestens 30 mm überdeckt werden. Die Schindelstifte sind flächenbündig einzuschlagen, da ein zu tiefes Einschlagen infolge von Quell- und Schwindvorgängen zu Lockerung oder Spaltung der Schindel führen kann. Zwischen den einzelnen Schindeln ist eine Fugenbreite von 1 bis 5 mm vorzusehen, wobei diese in Abhängigkeit von den Quell- und Schwindmaßen des verwendeten Holzes, der Einbauholzfeuchte sowie der während der Nutzungsdauer zu erwartenden durchschnittlichen Holzfeuchte zu wählen ist. Zudem muss die seitliche Fugenversetzung der darüberliegenden Schindelreihe mindestens 30 mm betragen. In Abb. 12 sind die wichtigsten Abstandsregeln zur Befestigung der Holzschindeln dargestellt.

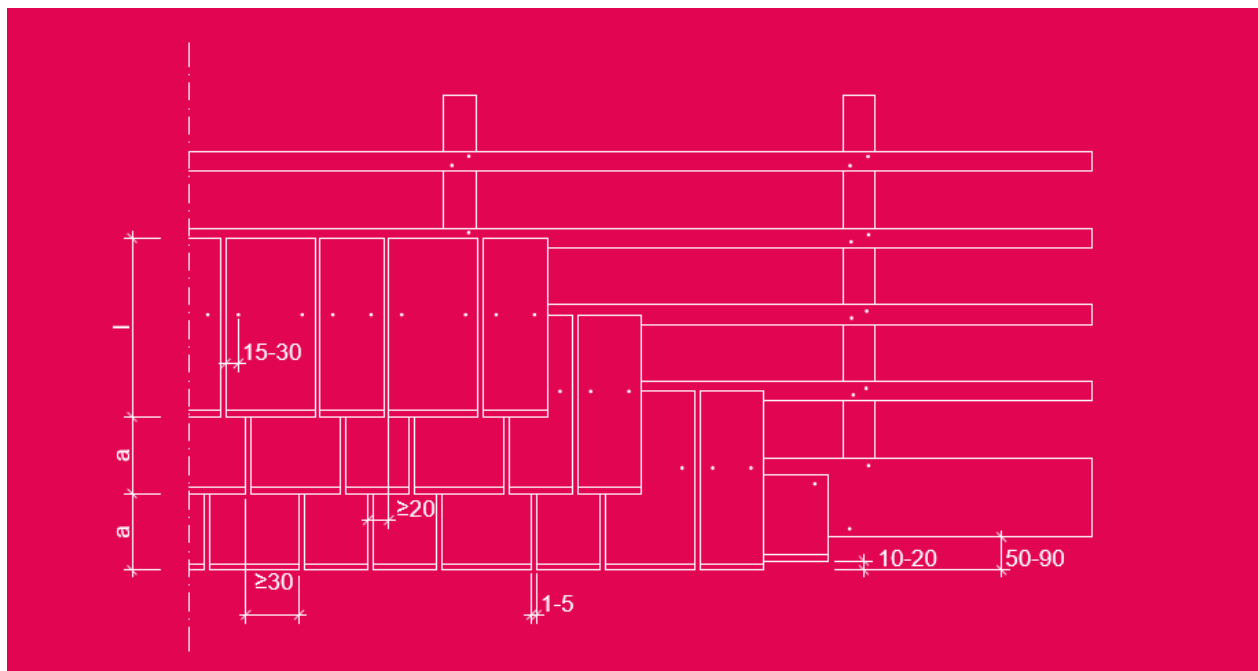


Abb. 12: Erläuterungen der Befestigungshöhe, Randabstände und Fugenausbildungen von Holzschindeln an der Fassade in Millimeter, eigene Darstellung nach (ZVDH, 2025)

3.2.3. Weitere Maßnahmen zum Holzschutz

Durch fachgerechte Herstellung und Montage von Holzschindeln kann deren Lebensdauer erhöht werden. Auch ein großzügiger Dachüberstand stellt eine wirksame Schutzmaßnahme dar. Die Anforderungen und Erwartungen an Fassaden sind mit der Verwendung von mineralischen Baustoffen jedoch gestiegen, und werden auch auf Holzfassaden übertragen (Policinska-Serwa et al., 2014b). Als modern gelten vielfach Konstruktionen, die durch innenliegende Regenrinnen oder Flachdach keinen Dachüberstand bieten und teils komplexe Anschlussdetails fordern. Der fehlende konstruktive Holzschutz sollte in diesen Fällen keinesfalls durch chemischen Holzschutz kompensiert werden. Dieser basiert auf Bioziden, die Pilze und Insekten abtöten sollen, aber gleichzeitig den Menschen und die Umwelt belasten. In den letzten Jahrzehnten wurden verschiedene Modifizierungsverfahren entwickelt, die die Dauerhaftigkeit von Holz ohne den Einsatz von Bioziden erhöhen können. Insbesondere die thermische Modifizierung hat sich dabei als vielversprechende Möglichkeit zur Behandlung von Holzschindeln erwiesen. Dabei wird Holz hohen Temperaturen (in der Regel zwischen 160 und 240 °C) bei niedrigem Sauerstoffgehalt ausgesetzt, wodurch sich die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Holzes verändern können, z. B. kann die Hygroskopizität verringert, die Dimensionsstabilität erhöht, die Wärmedämmung verbessert und die Widerstandsfähigkeit gegen biologischen Abbau und Insektenbefall erhöht werden, gleichzeitig kann es aber an Festigkeit verlieren, insbesondere an Bruchsicherheit (Hasanagić et al., 2023). Außerdem trägt der Energieeinsatz für die Thermobehandlung zu umweltwirksamen Emissionen bei. Gerade in Kombination mit einer Wachsbehandlung ergeben sich Synergieeffekte, die in ersten Versuchen eine sehr hohe Dauerhaftigkeit von behandelten Holzschindeln vermuten lassen (Humar et al., 2017; Humar et al., 2023). Die erhöhte Dimensionsstabilität kann zudem durch geringes Quell- und Schwindverhalten Vorteile bei der Modularen Fertigung bieten.

3.3. Entwicklung des modernen Holzbaus

Holz wurde als einer der ältesten Baustoffe seit jeher von Menschen weltweit zum Bauen verwendet. Es entwickelten sich verschiedene Bautechniken und Baukulturen, deren Anwendung von bescheidenen Bauernhäusern bis zu imposanten Tempelbauten reichten. Der Baustoff war dabei lange Zeit alternativlos. Im Zuge der Industrialisierung wurde der Holzbau jedoch zunehmend durch andere Bauweisen wie den Stahl- und Stahlbetonbau verdrängt, erst zu Beginn des 21. Jahrhunderts erfuhr der Holzbau wieder einen ungeahnten Auftrieb (S. Winter & Peter, 2021). Der Anteil der Gebäude, die in Holzbauweise errichtet werden, steigt sowohl bei Wohn-, als auch bei Nichtwohngebäuden (vgl. Abb. 13). Technologische Entwicklung ermöglichten eine neue Art des modularen Bauens und der Vorfertigung. Aber auch das Verständnis des Nachhaltigen Umgangs mit der Umwelt hat sich verändert. Im nachfolgenden Kapitel werden die verschiedenen Entwicklungen kurz untersucht, um den zu planenden Prototypen in den Kontext des modernen Holzbaus einordnen zu können.



Abb. 13: Anteil der genehmigten Wohn- und Nichtwohngebäude in Holzbauweise an allen genehmigten Wohn- und Nichtwohngebäuden in Deutschland in den Jahren 2003 bis 2023 (Statista, 2024a, 2024b)

3.3.1. Technologische Entwicklungen im Holzbau

Verschiedene technologische Entwicklungen hatten die letzten Jahre und Jahrzehnte einen erheblichen Einfluss auf den modernen Holzbau. Neue Holzbaustoffe, Maschinen und die Fortschritte in der digitalen Planung ermöglichten eine effizientere und präzisere Produktion (Adams et al., 2024). Aber auch die Weiterentwicklung der Gewindeschrauben, die schnell und günstig herzustellen sind, prägen den aktuellen Holzbau (S. Winter & Peter, 2021). Keiner dieser Faktoren ist allein für den Erfolg des modernen Holzbaus verantwortlich, es ist vielmehr das Zusammenspiel und der gegenseitige Einfluss aller. Dennoch sollen im Folgenden kurz die Eigenheiten der wichtigsten Aspekte dargestellt werden.

Holzbaustoffe

Holzbaustoffe bestehen aus Holzteilen, die meist mit Hilfe von Klebstoffen zu einem neuen Produkt zusammengefügt werden, wodurch die vorteilhaften Eigenschaften von Holz gezielt verstärkt werden können (Niemann, 2021). Durch die Verbindung von kleinteiligem Ausgangsmaterial zu einem neuen Baustoff, der in seiner Größe lediglich produktions- und transportbedingt limitiert ist, können außerdem natürlich auftretende Schadstellen im Holz aussortiert werden. Somit besteht die Chance einer Kaskadennutzung über mehrere Lebenszyklen hinweg. Auch die Verwendung von Abfallprodukten, wie Späne und Häcksel, wird dadurch möglich. Die Produktpalette ist heute vielseitig, ebenso wie deren Einsatzgebiete. In der Bauindustrie wurde es durch das Brettsperholz und dessen Varianten erstmals möglich, Holz nicht nur stabförmig als Stütze oder Träger einzusetzen, sondern auch als flächiges Massivholzbauteil in bis dato nicht gekannten Dimensionen. Damit ist es neben dem Stahlbetonbau die einzige Konstruktionsweise, in der alle Elemente von Stab bis zur Fläche aus einem Material zur Baukonstruktion zur Verfügung stehen (S. Winter & Peter, 2021).

Maschinen

Als ersten Schritt der Digitalisierung beschreibt Adams et al. (2024) numerisch gesteuerte Maschinen (numerical control, NC), die im Prinzip bereits im 19. Jahrhundert im Zuge der dritten industriellen Revolution entstanden. Die Arbeitsschritte einer Maschine sind dabei nicht mehr in ihrer Mechanik selbst gespeichert, sondern auf austauschbaren Informationsträgern, wie Lochkarten oder heute auf digitalen Speichermedien. In der Holzbearbeitung verbreiteten sich NC-Maschinen in den 1970er und 1980er Jahren rasant. Im modernen Holzbau ermöglicht deren Weiterentwicklung zu computergesteuerten Maschinen (computer numerical control, CNC) eine große Bandbreite an Fertigungstechniken. In Holzbauunternehmen wird dabei unterschieden zwischen einer subtraktiven Fertigung, also dem Abbund und der Konfektionierung von Stäben und Platten, und einer additiven Fertigung, bei der vorkonfektionierte Stäbe und Platten zu Wand-, Decken- und Dachelementen gefügt werden. Durch modular aufgebaute Portalanlagen können außerdem beide Fertigungsarten kombiniert werden (Huß, 2021). Durch den Einsatz großer Maschinenparks ist eine rationelle Fertigung von Holzbauteilen möglich geworden, die sich immer mehr an die Fertigung anderer Industriezweige annähert. Allerdings konzentriert sich diese Rationalisierung derzeit noch auf größere Sägewerke, die weiterverarbeitende Industrie, und immer mehr auch größere Holzbauunternehmen, während mittelgroße und kleinere Betriebe, die in Mitteleuropa den Holzbau prägen, oft noch stark handwerklich geprägt sind (Huß, 2021).

Digitale Planung

Ab den 1990er Jahren beeinflussten die oben genannten NC-Maschinen zunehmend die Architektur, insbesondere durch die Fortschritte in CAD (Computer Aided Design) bzw. CAM-Systemen (Computer Aided Manufacturing) als 3D-Anwendungen mit grafischer Benutzeroberfläche (Adams et al., 2024). Nach über 30 Jahren haben sich die Systeme fest in den digitalen Prozessablauf im Holzbau integriert. Im Idealfall werden die vom Architekturbüro erstellten CAD-Modelle an das ausführende Holzbauunternehmen übergeben, welches aus der Werkstattplanung die

CAM-Planung zur Fertigung erstellt, indem firmenspezifische Besonderheiten berücksichtigt und der Verschnitt optimiert wird (Huß et al., 2021). Die Fortschritte der Digitalisierung ermöglichen im Zusammenspiel mit den Möglichkeiten moderner Maschinen und den Entwicklungen der Holzwerkstoffe eine immer rationeller werdende Produktion. Das wirkt sich auch auf die Qualifikation des benötigten Personals aus. Auf der einen Seite verlangt das neue Berufsbild des Zimmerers hohe Qualifikationen im Umgang mit digitalen Werkzeugen, auf der anderen Seite sind viele auszuführende Tätigkeiten aufgrund der fließbandähnlichen Prozesse auch von gering qualifizierten Mitarbeitenden durchführbar (Huß, 2021).

3.3.2. Modularität und Vorfertigung im Holzbau

Die Bezeichnung der Modularität im Kontext des Bauens ist vielfach noch mit Vorurteilen belastet. Im Industriezeitalter erfolgte die Umsetzung von Modularität durch die Herstellung identischer Bauteile in seriellen Produktionsprozessen, was eine monotone Gebäudelandschaft zur Folge hatte. Die Entwicklungen des digitalen Zeitalters ermöglichen hingegen ein erweitertes Verständnis des modularen Bauens, bei dem differenzierte Einzelkomponenten mit serieller Produktion kombiniert werden können (Adams et al., 2024). Aus dieser Produktionsweise resultiert die Vorfertigung, da sich die benötigte Präzision nur unter wettergeschützten Bedingungen realisieren lassen. Durch die räumliche Trennung zur Baustelle wird jedoch ein Transport notwendig. Hier bietet der Holzbau einen entscheidenden Vorteil: im Gegensatz zu vielen Stahl- oder Stahlbetonbauelementen sind Holzbauelemente durch ihr geringes Transportgewicht in ihrer Größe nur durch ihr Volumen bzw. ihre Geometrie limitiert. Außerdem hat die Vorfertigung im Zimmererhandwerk Tradition, da die komplexen Verbindungen schon früher Werkstattbedingungen erforderten (Huß, 2021). Mehr als in der konventionellen Bauweise konnten sich im Holzbau so die technischen Fortschritte im Maschinenbau und in der Digitalisierung zu Nutze gemacht werden. Aus der Vorfertigung ergeben sich neben der hohen Präzision weitere Vorteile, wie geringere Montagekosten, ein geringeres Abfallaufkommen und eine bessere Abfallverwertung, sowie das reduzierte Risiko von Baufeuchtigkeit bei der Montage (W. Winter, 2003). Weitere Eigenheiten ergeben sich je nach Dimension der Vorfertigung (vgl. Tab. 6). Das Fügen von flächigen Bauteilen, das aus der Vorfertigung resultiert, hat zwangsweise Stöße zur Folge, die bauphysikalisch und konstruktiv berücksichtigt werden müssen. Sind diese Grundalge für die Oberflächengestaltung, ist dies meist förderlich für den Vorfertigungsgrad. Gleichzeitig steht die Anforderung an möglichst fertige Sichtoberflächen im Konflikt mit statischen oder bauphysikalischen Anforderungen, die oft durchgehend verbundene Bauteilschichten fordern (Huß, 2021).

Tab. 6: Dimensionen der Vorfertigung, eigene Darstellung auf Grundlage der Ausführungen von (Huß, 2021)

	lineare Elemente	flächige Elemente	Raummodule
Vorfertigungs-grad	gering, nur vorkonfektionierte Stäbe	bei Wandelementen hoch, bei Decken geringer	sehr hoch, Oberflächen und Haustechnik lassen sich weitgehend vormontieren
Entwurfsfreiheit	geringe Abhängigkeit zur Vorfertigung	Abhängig vom Grad der Vorfertigung und der Gestaltung	prägt den Entwurf, Raumgrößen sind insbesondere durch Transport limitiert
Transport	kompakter Transport	relativ kompakter Transport	Transporte über die Standardgröße von LKWs hinaus benötigen eine Sondergenehmigung
Ressourceneffizienz	Balkendopplungen können vermieden werden	notwendige Balkendopplungen an den Stößen	notwendige Balken- und/oder Plattendopplungen an den Stößen
Montage	verlängerte Aufbau- und Präzisionsverlust	geringe Montagezeit möglich, abhängig vom Grad der Vorfertigung	Montagezeit wird auf ein Minimum reduziert

Die steigende Popularität des Holzbaus ist also auf eine Rationalisierung zurückzuführen. Bereits 2003 formulierte W. Winter (2003) fünf Wege der Rationalisierung. Einer dieser Wege ist die Wiederholung, Elemente werden so gestaltet, dass sie für unterschiedliche Bauprojekte hinsichtlich Größe, Nutzung und Standort einsetzbar sind. Dies ermöglicht eine serielle Fertigung, insbesondere wenn standardisierte Formen (Typisierung) genutzt werden. Durch Arbeitsteilung wird der Bauprozess in klar definierte Einzelschritte zerlegt, wodurch eine straffe Betriebsorganisation erforderlich ist. Eng damit verbunden ist die Ablauforganisation, durch die eine präzise Planung von Fertigungs- und Montageprozessen eine hohe Produktivität erzielt wird, allerdings auf Kosten der Flexibilität. Zudem erfordert die arbeitsteilige Organisation eine zunehmende Spezialisierung, da spezifische Fachkenntnisse notwendig sind. Schließlich trägt die Mechanisierung durch den verstärkten Einsatz von Maschinen erheblich zur Produktivitätssteigerung bei, bringt jedoch erhöhte Fixkosten mit sich, die insbesondere bei schwacher Baukonjunktur wirtschaftliche Risiken darstellen.

3.3.3. Entwicklung des Nachhaltigkeitsverständnisses

Neben den bisher beschriebenen technischen und betriebswirtschaftlichen Entwicklungen ist in den letzten Jahrzehnten mit dem globalen Thema der Nachhaltigkeit eine weitere Dimension hinzugekommen, die zunehmend an Bedeutung gewinnt. Der Nachhaltigkeitsbegriff scheint mit dem Rohstoff Holz verflochten zu sein, immerhin stammt er ursprünglich aus der Forstwirtschaft. Der Begriff geht auf den Oberberghauptmann Hans Carl von Carlowitz zurück, der bereits 1713, während einer Zeit des Holz Mangels, in einer Schrift die Notwendigkeit einer nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder beschrieb. Im letzten Jahrhundert sind die Prinzipien der Nachhaltigkeit aus der Forstwirtschaft heraus auf viele andere Umweltprobleme übertragen worden und gelten heute als grundlegende Handlungsmaxime in Wirtschaft und Gesellschaft (Endres, 2019). Betrachtet man den Anteil des Bausektors am Abfallaufkommen (knapp 55 % (Umweltbundesamt, 2024)) und an den CO₂-Emissionen (ca. 40 % (BBSR, 2020)) in Deutschland, wird dessen Relevanz in der Nachhaltigkeitsdebatte deutlich. Auch gesetzlich wird diesen Problemen immer mehr begegnet, zuletzt in Form des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) und dem Qualitätssiegel nachhaltiges Bauen (QNG). Die steigenden Anforderungen an Wärmedämmung (GEG) sollen CO₂-Emissionen im Verbrauch reduzieren, während Ökobilanzierungen (QNG) zum Ziel haben, Emissionen und Abfallaufkommen bei Herstellung und Abriss eines Gebäudes zu reduzieren. In der verstärkten Auseinandersetzung mit den Konsequenzen der Baustoffwahl kristallisieren sich zunehmend Vorteile bei der Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen heraus. Die vergleichsweise guten Wärmedämmeigenschaften, die Eigenschaft in der „Herstellung“ (Wachstum der Bäume) CO₂ aufzunehmen und die vollständige Rezyklierbarkeit in den natürlichen Stoffkreislauf wirken sich positiv auf die Ergebnisse von Umweltberechnungen aus. Die Tatsache, dass an deren Ergebnisse vermehrt auch Förderungen geknüpft sind, trägt zur steigenden Popularität des Holzbaus auch bei Bauherren bei.

3.4. Konsequenzen für den Prototyp einer vorgefertigten Holzschindelfassade

Die oben beschriebenen Entwicklungen, insbesondere solche die zu einer Rationalisierung im Holzbau geführt haben und damit zu einer Steigerung der Wirtschaftlichkeit, sollen auf den zu planenden Prototypen übertragen werden. Dazu sollen zu verschiedenen Aspekten die entsprechenden Konsequenzen dargestellt werden.

Fertigung

Bei der Herstellung der Module selbst soll durch additive Fließbandfertigung die Effizienz gesteigert werden. Die serielle Herstellung gleicher Module ermöglicht den Einsatz von Schablonen und erfordert keine hohe Qualifikation. Auch ein hoher Automatisierungsgrad ist dadurch möglich. Ebenso soll bei der Integration des vorgefertigten Moduls in den Fertigungsprozess der Betriebe durch einfache Montagemöglichkeit der Einsatz von geringqualifiziertem Personal möglich sein. Die Vorteile der Digitalisierung und Automatisierung, die mit hohen Investitionskosten verbunden sind, können in die Vorfertigung ausgelagert werden.

Planung

Die Modulgröße soll sich auf das gängige Raster im Holzbau beziehen. Auch Transportgröße und Gewicht sollen berücksichtigt werden. Damit soll Betrieben die Einbindung in die digitalen Planungsprozesse des modernen Holzbaus leicht gemacht werden.

Werkstoff

Im Zuge der Rationalisierung soll auf die händische Herstellung gespaltener Schindeln verzichtet werden. Gesägte Schindeln aus Holz gleicher Qualität bieten eine ähnlich lange Dauerhaftigkeit. Durch eine Thermobehandlung kann das Quell- und Schwindverhalten von Holz reduziert werden, was es berechenbarer macht, z.B. in den Spaltbreiten zwischen den Schindeln. Außerdem können so auch Harthölzer verwendet werden, die für den Waldumbau zwar nötig sind, im Hochbau allerdings bisher kaum Bedeutung haben.

Verbindung

Die Herstellung der Schindelmodule in großer Stückzahl ermöglichen die Anschaffung von Werkzeugen, die auf die Verarbeitung von Schindeln abgestimmt sind. Durch die richtige Regulierung des Drucks einer Nagelpistole kann zum Beispiel sichergestellt werden, dass der Nagelkopf in der richtigen Tiefe im Holz versenkt ist, wodurch spätere Schadstellen vermieden werden können. Damit die Module in der späteren Anwendung leicht zu bearbeiten bleiben, sind Verbindungen sinnvoll, die sich zerspanen lassen. Hier bieten sich Nägel oder Klammern aus Aluminium an. Außerdem kann die Verwendung von Hartholzdübeln, die sich unter Druck eingebracht mit dem Holz verschweißen, eine nachhaltige Option sein, da sich die Module dann aus einem einzigen Werkstoff fertigen lassen würden. Auch Klebeverbindungen werden durch eine Vorfertigung möglich, allerdings sind diese meist mit Verzögerungen in Folge von Presszeiten verbunden.

Stöße

Eine Fassade, die aus vorgefertigten Holzschindelmodulen hergestellt wurde, soll von einer traditionell hergestellten Holzschindelfassade nicht zu unterscheiden sein. Dafür ist ein einheitliches Fugenbild ausschlaggebend. Die Stöße zwischen den Schindelmodulen müssen so ausgebildet sein, dass die Schindeln zweier Module den gleichen Abstand zueinander haben wie die Schindeln eines Moduls zueinander. Werden Schindelmodule auf Wandelementen vormontiert, kann geschossweise auch eine sichtbare horizontale Unterbrechung der Schindelfassade, z. B. in Form eines Tropfblechs, erfolgen, um die Montage der Wandelemente zu erleichtern.

4. Untersuchung der modularen Varianten

Auf Grundlage der Erkenntnisse zu den Eigenschaften von Holzschindeln, sowie den Vorzügen und Eigenheiten des modernen Holzbaus, sollen verschiedene Varianten von Holzschindelmodulen entwickelt und bewertet werden.

4.1. Entwicklung von Varianten

Das Schindelfassadenmodul setzt sich aus verschiedenen Elementen zusammen, die mit steigender Anzahl verschiedene Funktionen bieten (vgl. Tab. 8). Das Ausgangselement stellt die klassische Schindel selbst dar. Montiert man mehrere davon auf einer Konterlattung, erhält man eine Schindelreihe. Solche Elemente stellen bereits eine Erleichterung der Montage dar und sind bereits am Markt erhältlich. Ein Beispiel dafür ist das S2-E Schindelelement des Thermoholzherstellers Thermory, das aus thermisch modifizierter Esche hergestellt wird (vgl. Tab. 7). Da bei diesem Produkt die Produktionsschritte der Schindelherstellung und die thermische Behandlung bereits abgeschlossen sind, wird es als Ausgangsprodukt für die Variantenentwicklung des Prototyps genutzt, um den Herstellungsaufwand zu reduzieren.

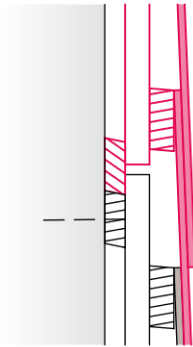
Tab. 7: Abbildung und allgemeine Angaben zu S2-E Schindelelementen des Herstellers Thermory, eigene Darstellung nach einem Produktdatenblatt von SWERO (vgl. Anhang B)

	Allgemeine Angaben	
	Stärke der Elemente	31 mm
	Breite der Elemente	350 mm
	Länge Element "A"	1250 mm
	Länge Element "B"	625 mm
	Paketgröße	ca. 48 m ² (ca. 24 m ² für halbe Deckung)
	Schindel-CLAD UK	2 m lang; 22 JuAn®-Clips pro Element

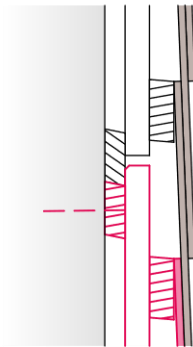
Werden mehrere Schindelreihen zusammengefasst, erhält man ein flächiges Modul, das durch eine vertikale Lattung zusammengehalten wird, welche zugleich die Hinterlüftungsebene bildet. Außerdem bedarf es einer horizontalen Befestigungsebene, um flexibel auf vertikale Elemente der Tragstruktur reagieren zu können. Diese Ebene kann entweder nur die Funktion der Befestigung haben (Modul V1) oder, um Platz und Montagezeit zu sparen, zusätzlich Windschutz und Dämmung bieten (Modul V2). In Tab. 8 werden die übergeordneten Varianten nach deren Funktion dargestellt, auf deren Grundlage werden folgend verschiedene Ausführungsvarianten dargestellt werden.

Tab. 8: Unterscheidung von Schindelmodulvarianten hinsichtlich ihrer Funktionen, eigene Darstellung

Variante	Funktion				
	Witterungsschutz	Konterlattung	Hinterlüftung	Winddichtigkeit	Dämmung
Schindeln	X				
Schindelreihe	X	X			
Modul V1	X	X	X		
Modul V2	X	X	X	X	X

Modul V1.1**Beschreibung**

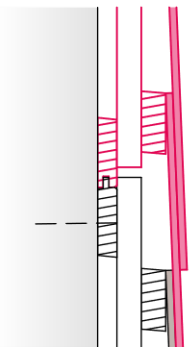
Das Modul beinhaltet neben den Schindeln, die auf einer Konterlattung und einer Hinterlüftungsebene befestigt sind, eine horizontale Befestigungsebene. Diese ist rombusförmig ausgebildet, um Staunässe zu reduzieren. Je nach Unterkonstruktion kann auch eine zusätzliche vertikale Lattung auf der Wand aufgebracht werden, um Staunässe vollständig zu verhindern. Die Module werden jeweils oben in der Horizontallattung verschraubt und unten durch Überlappung von Befestigungsplatte und Hinterlüftungsplatte in Position gehalten.

**Vorteile**

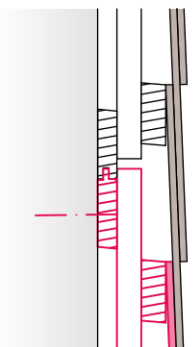
- einfache und günstige Herstellung der Befestigungslattung

Nachteile

- Befestigung kann bei unterschiedlichen Lattenstärken erschwert oder verhindert werden
- Gefahr der Nässebildung zwischen der Befestigungsplatte und Wand

Modul V1.2**Beschreibung**

Das Modul beinhaltet die gleichen Funktionen und Ebenen wie V1.1. Die Befestigung erfolgt allerdings mittels eines längs aufgeschnittenen Nut- und Feder Bretts. Der Schnitt erfolgt leicht schräg, damit Wasser oben über die Neigung abfließen und unten abtropfen kann. Die Hinterlüftungsebene überlappt weiterhin, um eventuell auftretende Windlasten abfangen zu können und die Feder beim Transport zu schützen.

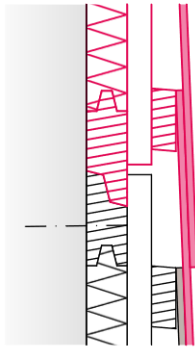
**Vorteile**

- einfache Herstellung der Befestigungslattung
- durch immer gleiche Fräsung ist die Passfähigkeit garantiert

Nachteile

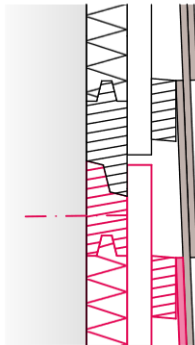
- Die Feder selbst kann wenige Kräfte aufnehmen und kann beim Transport brechen
- Gefahr der Nässebildung zwischen der Befestigungsplatte und Wand

Modul V2.1



Beschreibung

Durch Anbringen einer Dämmung in der Befestigungsebene soll Platz gespart werden. Produkte wie die Holzfaserdämmplatte *STEICOuniversal* bieten zusätzlich Witterungsschutz und Winddichtung ohne den Einsatz einer Unterdeckbahn (Steico, 2025). Die Ausbildung der Verbindung der Befestigungslatte und der Dämmung orientiert sich an bestehenden Dämmsystemen, um die Dämmung nicht zusätzlich bearbeiten zu müssen. Das Profil Zwischen den Befestigungslatten soll Eindringen von Wasser und Wind verhindern.



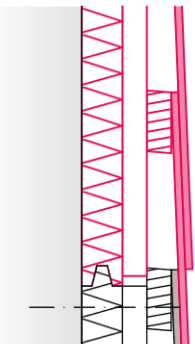
Vorteile

- stabile Verbindung zwischen den Elementen

Nachteile

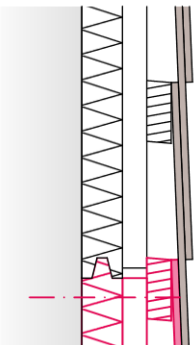
- hoher Aufwand bei der Herstellung der Befestigungslattung
- viele Schwachpunkte durch Stöße, durch die Wind und Feuchtigkeit eindringen können

Modul V2.2



Beschreibung

Im Gegensatz zu Modul V2.1 wird auf eine Befestigungslattung verzichtet. Die horizontale Befestigungsebene ist die Konterlattung. Dadurch erfolgt der Stoß der Module in der Dämmebene wie gewohnt zwischen den Dämmplatten, was Wind- und Witterungsschutz gemäß der Herstellerangaben sicherstellt. Das Sichern gegen Windlasten wird durch Überlappen der obersten Konterlatte mit der Hinterlüftungslatte sichergestellt.



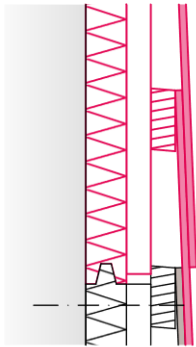
Vorteile

- Ausbildung der Stöße zwischen den Dämmplatten gemäß Herstellerangaben möglich
- Der Verzicht auf die Befestigungslattung spart Material und Zeit

Nachteile

- Erhöhte Last auf Befestigungspunkten durch den Abstand zwischen Konterlattung zur Dämmung
- Wird die Befestigung zur Wand zu stark angezogen, kann sich die Konterlatte durchbiegen, wodurch das nächste Modul nicht mehr eingefädelt werden kann. Distanzklötze können hier notwendig sein.

Modul 2.3

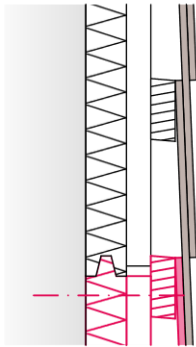


Beschreibung

Wie im Modul 2.2 bildet die Konterlatte die horizontale Befestigung. Durch Einfräsen eines Profils soll die Lagesicherung durch eine Überblattung zuverlässig funktionieren. Das Gegenprofil dient zusätzlich als Auflager für die unterste Schindelreihe. Die Hinterlüftungsebene kann als durchgängige Latung oder durch punktuelle Unterleghölzer (vgl. Abb. 11) erfolgen.

Vorteile

- Ausbildung der Stöße zwischen den Dämmplatten gemäß Herstellerangaben möglich
- Horizontal durchgängige Lagesicherung



Nachteile

- Bei Verwendung von Unterleghölzern müssen diese von der Wandseite der Dämmung aus befestigt werden, um eine ausreichende Verbindung zu ermöglichen
- Zusätzlicher Materialaufwand und Arbeitsschritt durch Befestigungsplatte

4.2. Vergleich der Varianten hinsichtlich Kosten, Bauzeit und Vorfertigungsgrad

Um für die Herstellung des Prototyps die geeignetste Variante identifizieren zu können, wurde eine gewichtete Bewertungsmatrix erstellt (vgl. Tab. 9). Dabei wurde der gesamte Lebenszyklus betrachtet, der Fokus wurde aber auf die Herstellung und Montage gelegt, da hier der größte Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit, insbesondere auf die Investitionskosten, genommen werden kann. Die Kategorien bzw. Unterkategorien wurden nach einem Punktesystem von 1 (sehr schlecht) bis 5 (sehr gut) bewertet. Eine ausführliche Bewertungsmatrix mit Erklärungen der Punktevergabe zu jeder Kategorie ist im Anhang A beigefügt.

Tab. 9: gewichtete Bewertungsmatrix zur Identifikation der geeignetsten Variante für den Prototyp

	Gewichtung	Modul V1.1	Modul V1.2	Modul V2.1	Modul V2.2	Modul V2.3
Kategorie	Faktor	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte
Herstellung	0,4	1,84	1,68	0,88	1,8	1,24
Zeitaufwand	0,12	5	5	1	4	2
Materialaufwand	0,12	4	4	3	5	4
Maschinenaufwand	0,12	5	4	2	5	3
Transportierbarkeit	0,04	4	3	4	3	4
Montage	0,4	1,12	1,52	1,52	1,36	1,76
Zeitaufwand	0,24	2	3	5	3	4
Fehleranfälligkeit	0,16	4	5	2	4	5
Nutzung	0,1	0,4	0,4	0,2	0,5	0,5
		4	4	2	5	5
Entsorgung	0,1	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3
		5	5	4	4	3
Ergebnis		3,86	4,1	3	4,06	3,8

Die Varianten V1.2 und V2.2 waren in der Bewertung in etwa gleichauf, daher wurden diese näher untersucht. Auf Grundlage der Rohdichten wurde jeweils das Gewicht eines einzelnen Moduls berechnet (vgl. Tab. 10). Für die maximale Hebelast eines Mitarbeiters gibt es keine einheitlichen Vorschriften. Richtwerte sind von Faktoren wie Alter, Geschlecht, Dauer, Häufigkeit der Belastung und Körperhaltung abhängig. Laut der Lastenhandhabungsverordnung muss der Arbeitgeber dafür sorgen, dass manuelle Lastenhandhabungen vermieden bzw. minimiert werden, um Gesundheitsgefährdungen zu vermeiden (BMAS, 2015). Daher soll auch das Holzschindelmodul möglichst leicht sein. Hier zeigt sich, dass eine zusätzliche Dämmplatte das Gewicht des Moduls deutlich erhöht, es bleibt jedoch unter 25 kg und kann mit der Verwendung von Dämmplatten mit einer geringeren Rohdichte weiter reduziert werden.

Tab. 10: Gewichtsrechnung der Module V1.2 und V2.2 bei einer Modulgröße von 0,7 x 1,25 m

Bauteil	Material	Stück	l [m]	b [m]	d [m]	V [m ³]	Dichte [kg/m ³]	Gewicht [kg]
Modul V1.2								
Befestigungsplatte	Fichte	1	1,220	0,135	0,019	0,003	460	1,44
Hinterlüftung	Fichte	3	0,700	0,042	0,024	0,002	460	0,97
Konterlattung	Thermoesche	4	1,250	0,110	0,024	0,013	590	7,79
Schindeln	Thermoesche	4	1,250	0,350	0,007	0,012	590	7,23
Gesamtgewicht								17,43
Modul V2.2 (mit STEICOuniversal)								
Wärmedämmung	HFP	1	1,250	0,700	0,035	0,031	270	8,27
Hinterlüftung	Fichte	3	0,700	0,042	0,024	0,002	460	0,97
Konterlattung	Thermoesche	4	1,250	0,110	0,024	0,013	590	7,79
Schindeln	Thermoesche	4	1,250	0,350	0,007	0,012	590	7,23
Gesamtgewicht								24,26

Weiterhin wurden in einer Internetrecherche Produkte gesucht, die zur Herstellung der Modulvarianten verwendet werden können. Modul V1.1 besteht neben den oben beschriebenen Thermo-schindelelementen aus handelsüblichen Dachlatten und Nut- und Federbrettern, beides ist gut verfügbar und individuell bearbeitbar. Für Modulvariante V2.2 wird anstatt der Nut- und Federbretter eine Holzfaserdämmplatte benötigt, die durch eine spezielle Nut- und Federverbindung ringsum und ihre Oberflächenbeschaffenheit einen Wind- und Witterungsschutz bietet. Diese Verbindung kann nicht selbst hergestellt werden, da sonst die genannten Eigenschaften nicht mehr garantiert sind. Deshalb muss am Markt ein Produkt gefunden werden, das in etwa den Maßen der geplanten Modulgröße von 0,7 x 1,25 m entspricht. Eine Recherche der Produktpaletten der wichtigsten Holzfaserdämmstoffherstellern hat jedoch gezeigt, dass nur größere Formate am Markt gängig sind (vgl. Tab. 11). Diese würden jedoch in der Kombination mit dem restlichen Modulaufbau zu einem nicht mehr praktikablen Gewicht führen. Somit zeigt sich, dass beim Vergleich zwischen den Varianten V1.2 und V2.2 das Gewicht der entscheidende Faktor ist und, sofern noch keine witterungsbeständige kleinformatige Holzfaserdämmplatte auf dem Markt ist, die Modulvariante V1.2 näher zu betrachten ist.

Tab. 11: Vergleich der kleinstmöglichen, für hinterlüftete Fassaden geeigneter Holzfaserdämmstoffe der wichtigsten Hersteller

Produkt	Stärke [mm]	Breite [mm]	Länge [mm]	Rohdichte [kg/m ³]	Fläche [m ²]	Gewicht [kg/Stk]	Quelle
Steico universal	35	600	2230	270	1,34	12,64	(Steico, 2025)
Gutex Ultratherm	60	600	1780	180	1,07	11,53	(GUTEX, 2025)
naturheld 180	40	615	1880	140	1,16	6,47	(naturheld, 2025)
Pavatex ISOLAIR	30	610	1880	200	1,15	6,88	(Pavatex, 2025)
best wood TOP 140	80	580	2000	140	1,16	12,99	(best wood SCHNEIDER, 2025)

5. Erstellung eines Prototyps

Für die Erstellung des Prototyps wurde die Konstruktion im Detail geplant (vgl. Abb. 14). Zum Vergleich der Verarbeitbarkeit und der langfristigen Haltbarkeit wurde ein Schindelmodul aus den oben beschriebenen Elementen aus Thermoeshche hergestellt und ein zweites aus Lärchenschindeln. Die Konstruktion richtete sich primär nach den Herstellerangaben der Thermoschindeln (vgl. Anhang A). Wo keine Angaben gemacht wurden, wurden die Grundlagen zur Konstruktion aus Kapitel 3.2 berücksichtigt. Widersprochen haben sich die Angaben zum Beispiel im Reihenabstand a , der nach Tab. 4 bei einer Schindellänge von 350 mm maximal 140 bzw. 150 mm betragen darf, nach Herstellerangaben aber 175 mm betragen soll. Dies könnte auf die erhöhte Haltbarkeit der thermobehandelten Schindeln zurückzuführen sein und ist der Materialeinsparung und Gewichtsreduktion förderlich. Die Schindelreihen werden mit einem Abstand von 50 mm vom oberen Ende der Hinterlüftungslatte befestigt, um eine Verschraubung der Befestigungslatte zu ermöglichen. Außerdem werden sie zur Seite abwechselnd um 30 mm nach links und rechts versetzt, um beim Fügen zweier Module einen Versatz der Schindeln zu gewährleisten. Da es sich um eine gerade Anzahl von Reihen handelt, kann dieser Versatz nach oben hin fortgeführt werden. Daraus ergibt sich eine Anzahl von vier Schindelreihen. Die Anzahl zusammen mit dem Reihenabstand nach Herstellerangaben ergibt die Höhe des Moduls. Das Achsmaß von 1250 mm und der Versatz der Schindelreihen ergibt die Breite.

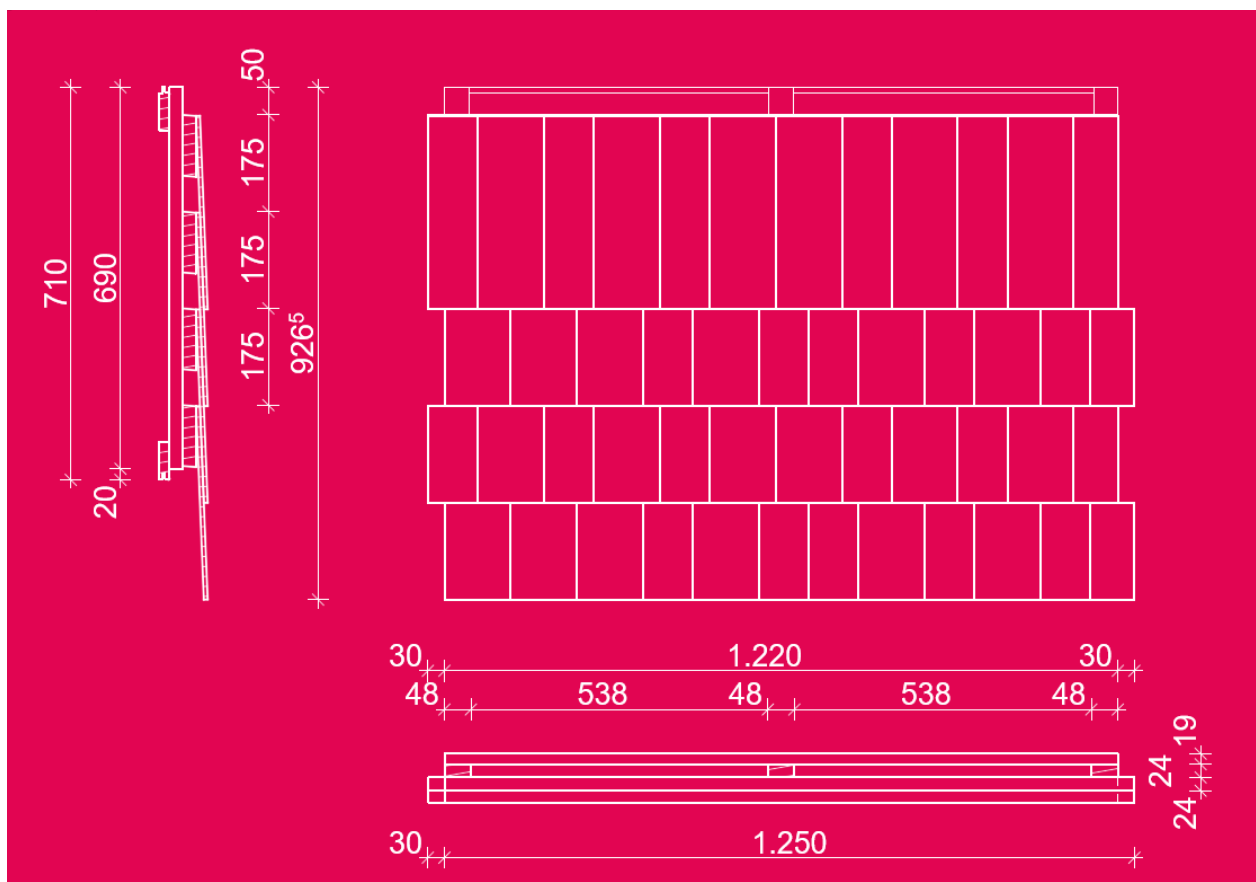


Abb. 14: Konstruktionszeichnung des geplanten Holzschindelmoduls V1.2

5.1. Fertigungsprozess und Praxiserfahrung

Die Umsetzung der Prototypen erfolgte in einer Zimmerei, die ihre Werkstatt und Material zur Verfügung gestellt hat. Der Fertigungsprozess wurde fotografisch dokumentiert und wird folgend dargestellt. Die Einrichtung der Werkstatt war vorher unbekannt. Bei den angegebenen Zeiten muss beachtet werden, dass es durch das Suchen von Werkzeugen, den Umgang mit Maschinen, Ausprobieren der Passgenauigkeit der Zwischenergebnisse, sowie dem Fotografieren zu Verzögerungen kam, zu denen es bei einer laufenden Produktion nicht kommen würde.

Rahmen

Für die Rahmen wurden Dachlatten mit einem Querschnitt von 30 x 50 mm für die Hinterlüftungslattung und Nut- und Federbretter (ca. 134 x 24 mm) mithilfe einer Zugsäge abgelängt. Die Nut- und Federbretter wurden dann auf einer Tischkreissäge längs in der Mitte mit einer Neigung von 5° aufgetrennt. Bei der Montage wurde zunächst das Brett mit der Feder und die zwei äußeren Hinterlüftungslatten miteinander verbunden, da diese in zwei Richtungen bündig aufeinander liegen. Danach wurde das Brett mit der Nut mit einem Überstand von 20 mm zur Hinterlüftungslatte angebracht, der Abstand wurde mit einem Meterstab gemessen. Die Befestigung erfolgte von der Rückseite aus und zunächst mit je nur einer verzinkten Teilgewinde-schraube (4 x 40 mm) um den Rahmen durch Messen der Diagonalen im rechten Winkel ausrichten zu können. Dann wurde durch Messen mit dem Meterstab die mittlere Hinterlüftungslatte befestigt und in jeder Ecke um eine zweite Schraube zur Versteifung der Ecken ergänzt. Da das Zusammenstecken der beiden Rahmen am Boden nur mit Kraftaufwand möglich war, wurde an der Hinterlüftungslatte eine Fasse mit einem Schleifklotz angefügt (vgl. Abb. 16), was das Fügen geringfügig verbesserte. Das Herstellen der beiden Rahmen nahm insgesamt etwa ein- einhalb Stunden in Anspruch.



Abb. 15: Rahmenunterkonstruktion



Abb. 16: Fasse an der Hinterlüftungslatte

Modul mit Elementen aus Thermoesche

Auf einem der Rahmen wurden die fertigen Schindelelemente montiert. Dafür wurden zunächst die Abstände der Elemente zueinander nach Abb. 14 angezeichnet. Um eine Addition von Messungenauigkeiten zu vermeiden wurde ein Meterstab am oberen Ende der Hinterlüftungslatte angelegt, und die addierten Maße (50 mm, 225 mm, 400 mm, 575 mm) auf jeder Latte angezeichnet. Dann wurde die erste Schindelreihe mit je zwei verzinkten Teilgewindeschrauben (4,5 x 50 mm) befestigt. Die erste Schraube wurde ohne vorbohren angesetzt, was ein sofortiges Reißen der spröden Thermoschindel zur Folge hatte (vgl. Abb. 17, (1)). Durch Vorbohren mit einem Bohrer mit 3,2 mm Durchmesser trat dieses Problem nicht mehr auf, jedoch konnte der Schraubenkopf der Senkopfschrauben nicht immer ganz versenkt werden (vgl. Abb. 17, (2)). Das Ansetzen der Schraube zu weit unten (vgl. Abb. 17, (3)) führte dazu, dass die Schindel sich in Richtung Wand bog, da die Konterlatte eine angeschrägte Oberfläche hat, die dafür sorgt, dass die Schindeln von der Wand wegstehen, um die Montage zu erleichtern (vgl. Abb. 18). Die erste Schindelreihe wurde links bündig montiert, die nächsten Schindelreihen in abwechselnder Reihenfolge rechts und links bündig. Dadurch wurde auf der jeweils anderen Seite ein Überstand von 30 mm erzeugt (vgl. Abb. 19). Die Montage der Schindelreihen auf den Rahmen hat in etwa eine Stunde gebraucht. Zusammen mit der Hälfte der Zeit zur Herstellung der zwei Rahmen ergibt das eine Gesamtzeit von 01:45 h für die Herstellung des Schindelfassadenmoduls mit Thermoescheelementen. Das Wiegen des Moduls mit einer Kofferwaage ergab ein Gewicht von 15,9 kg und lag damit im erwarteten Bereich.

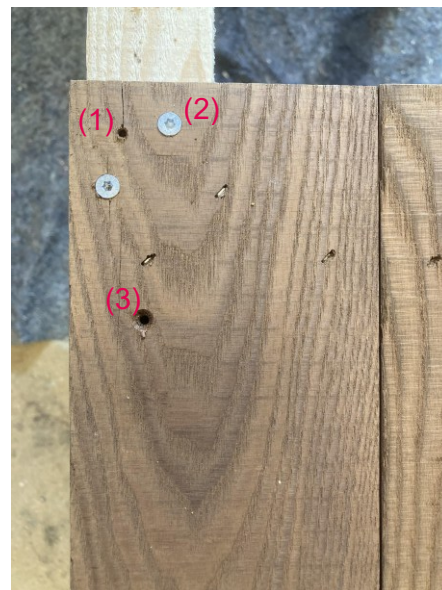


Abb. 17: Verschrauben der Schindelelemente aus Thermoesche



Abb. 18: Seitenansicht der ersten Schindelreihe auf dem Unterkonstruktionsrahmen



Abb. 19: fertiges Schindelmodul mit Schindelelementen aus Thermoesche

Modul mit Schindelreihen aus Lärche

Für die Schindelreihen wurde zunächst eine 30 x 50 mm Dachlatte abgelängt und längs mit einem Winkel von 2° und einer Breite von 24 mm an der dickeren Seite aufgetrennt, um in etwa den Konterlatten Thermoschindelelementen zu entsprechen. Die Schindeln wurden aus Resten von Lärchenbrettern mit einer Länge von 0,8 bis 1,4 m und einem Querschnitt von 22 x 120 mm hergestellt. Diese wurden in einer Dickenhobelmaschine auf 7 mm Stärke reduziert und an einer Zugsäge abgelängt. Dabei wurden Stellen mit größeren Ästen aussortiert. Schindeln mit Fehlern oder Splint an der Seite wurden auf der Tischkreissäge auf 11 bzw. 9 mm Breite gesägt. Festgewachsene Äste, sowie Seitenbretter, die sich nach den Konstruktionsregeln in Kapitel 3.2 eigentlich nicht für Schindeln eignen, wurden nicht aussortiert, um den Aufwand und den Materialeinsatz zu reduzieren. Der Prototyp soll primär der Untersuchung von Herstellung und Konstruktion dienen. Sollte er in freier Bewitterung langfristig untersucht werden, bieten die verschiedenen Qualitätsstufen der Schindeln die Möglichkeit, deren Auswirkung auf die Haltbarkeit zu untersuchen. Die Konterlatte wurde an ein Anschlagholz gelegt und die Schindeln darauf befestigt (vgl. Abb. 20). Die Einstellung des korrekten Drucks, mit dem der Druckluftklammerer die Klammern in die Schindel schoss, erwies sich als schwierig. Die Klammern drangen zu tief in das Holz ein (vgl. Abb. 21). Ein kleineres Gerät, das mit schmalere Klammern und weniger Druck schoss, erzielte bessere Ergebnisse (vgl. Abb. 22). Der Abstand der Schindeln wurde nach Augenmaß mit etwa 2-4 mm angesetzt. Der Überstand der letzten Schindeln wurde an der Tischkreissäge abgesägt. Es wurde darauf geachtet, dass eine Schindelbreite von 70 mm nicht unterschritten wird. Die Herstellung der Schindeln und das Zusammenfügen der vier Schindelreihen dauerte je ca. eine Stunde. Die Montage zum fertigen Schindelelement erfolgte analog zum Modul aus Thermoesche und dauerte ca. 20 Minuten. Aufgrund der geringeren Breite und Rohdichte der Konterlatte konnte das Gewicht des Lärchenmoduls auf 13 kg reduziert werden.



Abb. 20: Befestigung der Lärchenschindeln an der Konterlatte



Abb. 21: Eindringtiefe der Klammern bei zu hohem Druck



Abb. 22: Eindringtiefe der Klammern bei zu korrektem Druck



Abb. 23: fertige Lärchenschindelreihe

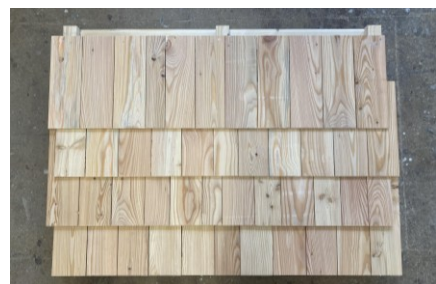


Abb. 24: fertiges Lärchenschindelmodul

Vergleich und Passprobe

Beim Vergleich der Rückseiten der beiden Module wird der unterschiedliche Materialeinsatz deutlich (vgl. Abb. 25). Da beim Lärchenmodul auf das vom Hersteller Thermory verwendete Klicksystem verzichtet wurde, können die Konterlattungen deutlich schmaler ausfallen. Dies führt zu einem geringeren Gewicht und einer besseren Handhabung. Da die Nut- und Federverbindung der Rahmen sich nur schwer verbinden ließ, wurde vorsorglich das Federbrett mit einem etwa 2 mm starkem Holzstreifen unterlegt (vgl. Abb. 26). Die horizontale Fügung der beiden Elemente am Werkstattboden funktionierte problemlos und ergab ein einheitliches Fugenbild (vgl. Abb. 27). Hier ist anzumerken, dass eine geplante Überlappung der Fugen um 35 mm sinnvoll wäre, da so Toleranzen ausgeglichen und die Mindestüberlappung von 30 mm eher sichergestellt werden kann. Auch die vertikale Fügung der Elemente mit Befestigung an einer aufgestellten Dreischichtplatte funktionierte problemlos und ergab ein homogenes Fassadenbild (vgl. Abb. 28 (links)). In der Seitenansicht wird allerdings ein Problem sichtbar, das sich aus dem Hinterlegen der Befestigungslatte ergibt: Die untere Latte mit der Nut liegt nicht an der Hinterlüftungslatte an, sondern nur an der Feder der oberen Befestigungslatte (vgl. Abb. 28 (rechts)). Bei einer eventuellen Sogbelastung erfolgt die Kraftübertragung also über die dünne Feder. Hier muss das richtige Maß aus einfacher Montage und Kraftübertragung gefunden werden.



Abb. 25: Rückseite der Module aus Thermoesche (links) und Lärche (rechts)



Abb. 26: Hinterlegen der Befestigungslatte



Abb. 27: Module horizontal gefügt



Abb. 28: Module vertikal gefügt, Ansicht (links) und Seitenansicht (rechts)

5.2. Potenzial einer effizienten Vorfertigung

Die Fertigungszeiten von 01:45 h für das Thermoesccheelement und 03:05 h für das Lärchenschindelelement können bereits durch einfache Maßnahmen deutlich reduziert werden. Das händische Herstellen der Einzelteile in großer Stückzahl spart Zeit bei der Einrichtung von Maschinen und dem Bereitlegen von Material. Durch den Einsatz einer Schablone entfällt das händische Messen mit dem Meterstab und Fehlern kann vorgebeugt werden. Das ermöglicht auch den Einsatz gering qualifizierter Arbeitskräfte. Ein möglicher Entwurf einer Schablone ist in Abb. 29 und Abb. 30 dargestellt. An Leisten, die auf einem Montagetisch befestigt werden, können die linke und rechte Hinterlüftungslatte angelegt werden. Die Position der mittleren Latte ist durch eine Markierung gekennzeichnet. Die obere Befestigungslatte wird oben bündig auf die Hinterlüftungslatte gelegt und angeschraubt. Die untere Befestigungslatte wird an die beiden Anschlagklötze unten gelegt und auch festgeschraubt. Dabei muss sichergestellt werden, dass der Rahmen an der oberen Anschlagleiste bündig anliegt.

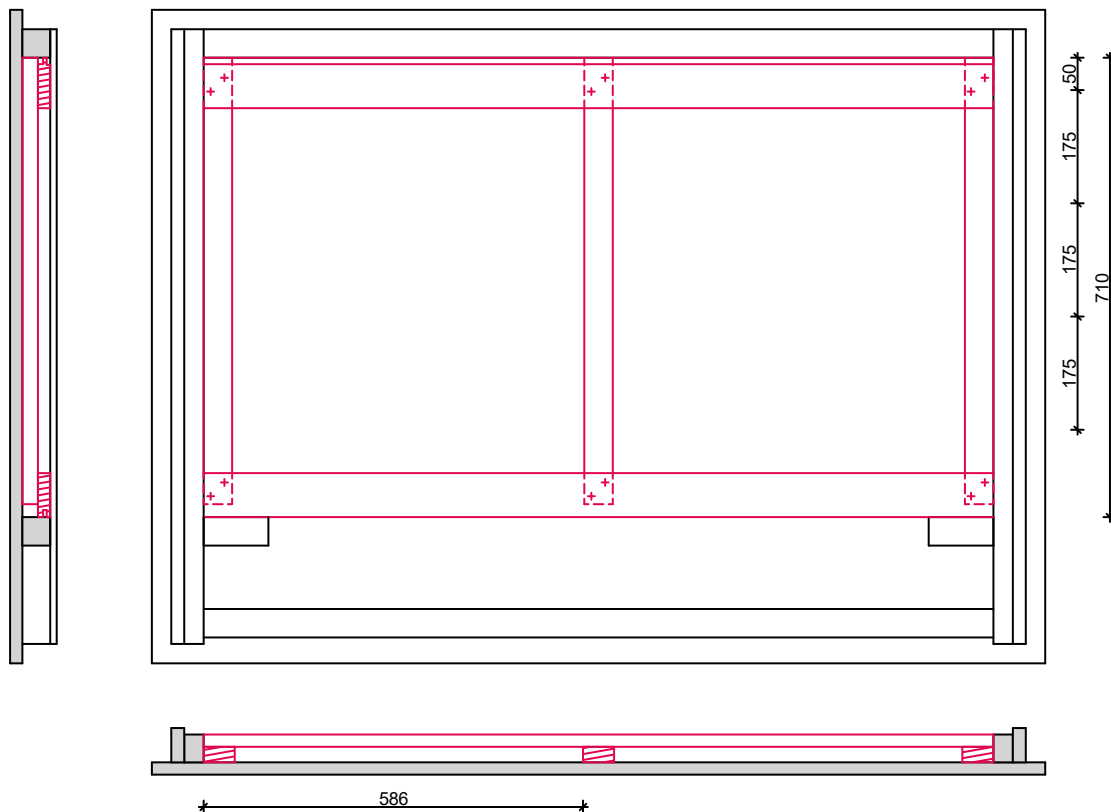


Abb. 29: Dreitafelansicht einer möglichen Schablone, Schritt eins: Montieren des Rahmens von hinten

Dann wird der Rahmen umgedreht und die vorgefertigten Schindelreihen darauf montiert. Dafür sind auf den vertieften Anschlagleisten Markierungen angebracht. Die Leisten sind außerdem genau 30 mm breit und neben einer weiteren, höheren Anschlagleiste montiert. An diese können die Schindelreihen abwechselnd links und rechts bündig montiert werden.

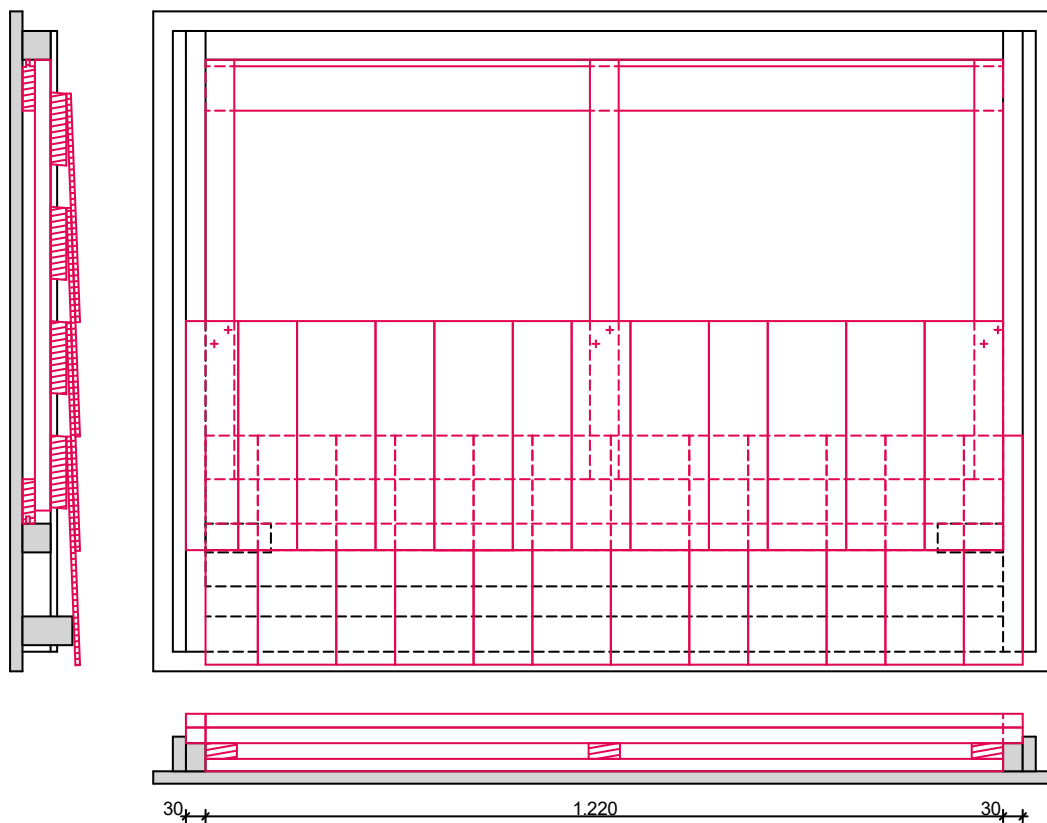


Abb. 30: Dreitafelansicht einer möglichen Schablone, Schritt zwei: Montieren der Schindelreihen von vorn

Bei der Fertigung noch größerer Stückzahlen lässt sich eine weitere Rationalisierung durch den verstärkten Einsatz automatisierter Technik realisieren. Die Bandbreite möglicher Technologien reicht dabei von CNC-gesteuerten Abbundanlagen bis hin zu angepassten Industrierobotersystemen. Entsprechend vielfältig sind sowohl die Investitionskosten als auch die Potenziale zur Effizienzsteigerung.

5.3. Anschlussdetails

Die probeweise Montage der beiden Fassadenmodule war unproblematisch, es kann davon ausgegangen werden, dass Fassadenflächen sehr schnell mit den Modulen gedeckt werden können. Für eine effiziente Montage ist allerdings auch eine einfache Umsetzung von Anschlussdetails nötig. Dafür wurden Vorschläge für eine mögliche Ausbildung von Sockel, Außenecke, oberer Abschluss am Giebel, sowie von Fensteranschlüssen gemacht. Die dargestellten Detailzeichnungen beziehen sich auf die Beispielansicht in Abb. 31. Im Anhang befindet sich ein Dreitafelbild der Ansicht und den dazugehörigen Details im Maßstab 1:10 mit beispielhaften Anschlusslösungen in Holz (Anhang C) und in Blech (Anhang D). Die Beispieldetails funktionieren unabhängig von der Bauweise des Gebäudes, und sowohl im Neubau als auch in der Sanierung einer Fassade. In konkreten Anwendungen sind weitere Detaillösungen denkbar.

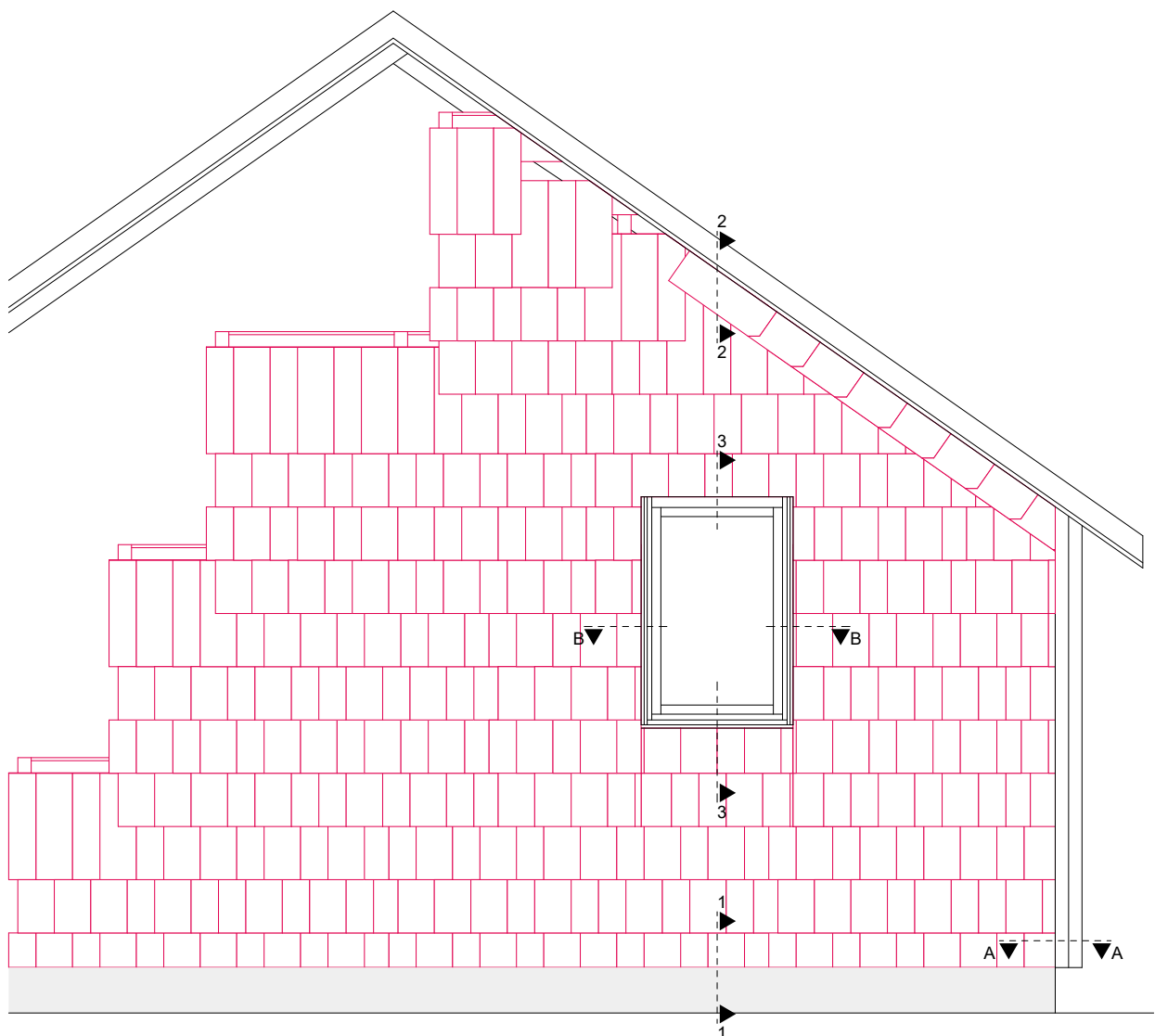


Abb. 31: Beispielansicht eines mit Schindelmodulen gedecktem Haus

Sockel

Für den unteren Abschluss wurden zwei Varianten untersucht: Die erste basiert auf der Verwendung eines Sondermoduls, das wegen des geringeren Gewichts und einfacheren Handlings einfach an der Außenwand ausgerichtet und montiert werden kann. Darauf wird dann das erste Schindelmodul montiert. Dieses muss nicht zusätzlich bearbeitet werden. Bei der zweiten Variante wird lediglich ein Nut- und Federbrett an der Außenwand ausgerichtet und montiert. Bei den Schindelmodulen wird die von hinten verschraubte, untere Befestigungsplatte nach oben versetzt und die Überlappung der untersten Schindelreihe bündig mit der vorletzten abgesägt. Bei beiden Varianten kann ein Insektengitter vormontiert werden und beide können mit einem verputzten Sockel oder einem Sockelblech ausgeführt werden. Für die Praxis wird die zweite Variante als praktikabler vermutet, da kein Sondermodul erforderlich ist und sich der Aufwand der Anpassung des Schindelmoduls in Grenzen hält. Die Detaillösungen setzen voraus, dass die Verbindung der Schindeln mit der Konterlatte zerspanbar ist, da sonst ein Zuschnitt der Module nicht möglich ist.

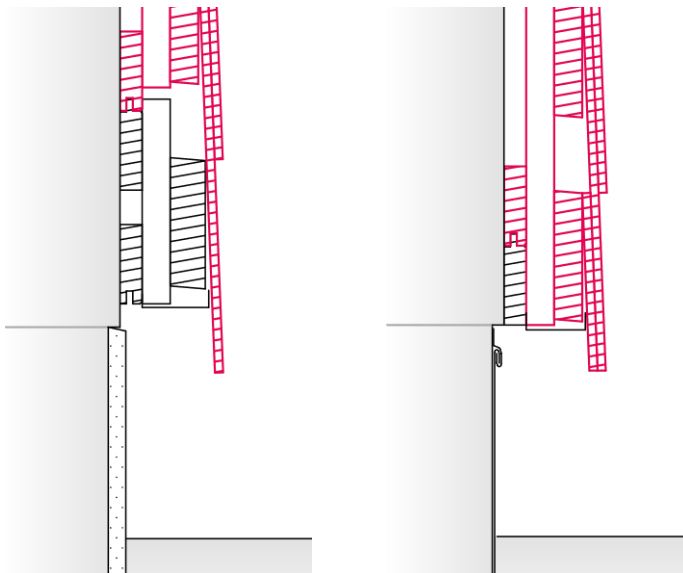


Abb. 32: Anschlussdetail 1-1: Sockel

Außenecke

Für die Außenecke sind viele Varianten möglich. Das Schindelmodul wird gerade oder mit einem Gehrungsschnitt abgelängt. Das abgesägte Gegenstück kann für die nächste Schindelreihe wieder als Anfang mit gerader Kante genutzt werden. Der Stoß erfolgt auf ein Eckprofil, das aus Holz oder Blech individuell gefertigt werden kann. Gegebenenfalls wird vor der Montage eine zusätzliche Hinterlüftungslatte von hinten an die Konterlattung geschraubt.

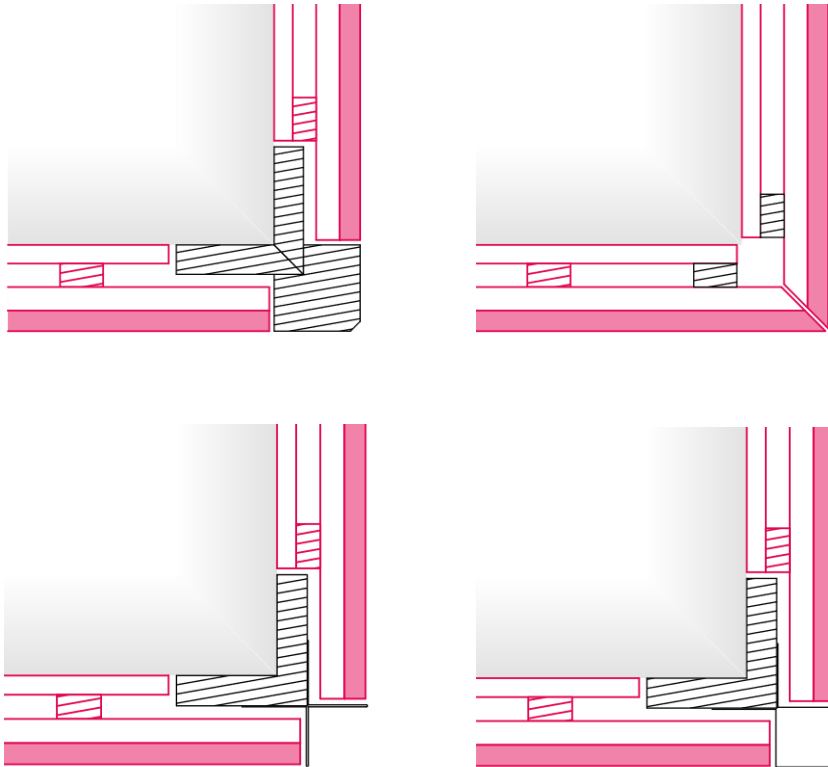


Abb. 33: Anschlussdetail A-A: Außenecke

Oberer Abschluss

Giebelseitig kann das Schindelmodul mit der Schräge des Dachs abgesägt werden. Lücken, die durch abfallende Schindeln entstehen, können durch einzelne kürzere Schindeln ersetzt werden. Eine entlang der Dachschräge verlaufende Befestigungs- und Konterlattung, sowie gegebenenfalls zusätzliche Hinterlüftungslatten müssen mitmontiert werden. Die oberste Lage kann mit schräg verlaufenden Zierschindeln gedeckt werden, damit keine Befestigung sichtbar bleibt, bzw. bewittert wird. Eine Zweite Möglichkeit ist eine Blechverkleidung, wenn zum Beispiel kein Dachüberstand gewünscht ist. Diese sollte aus optischen und konstruktiven Gründen die Befestigung der Schindeln überdecken.

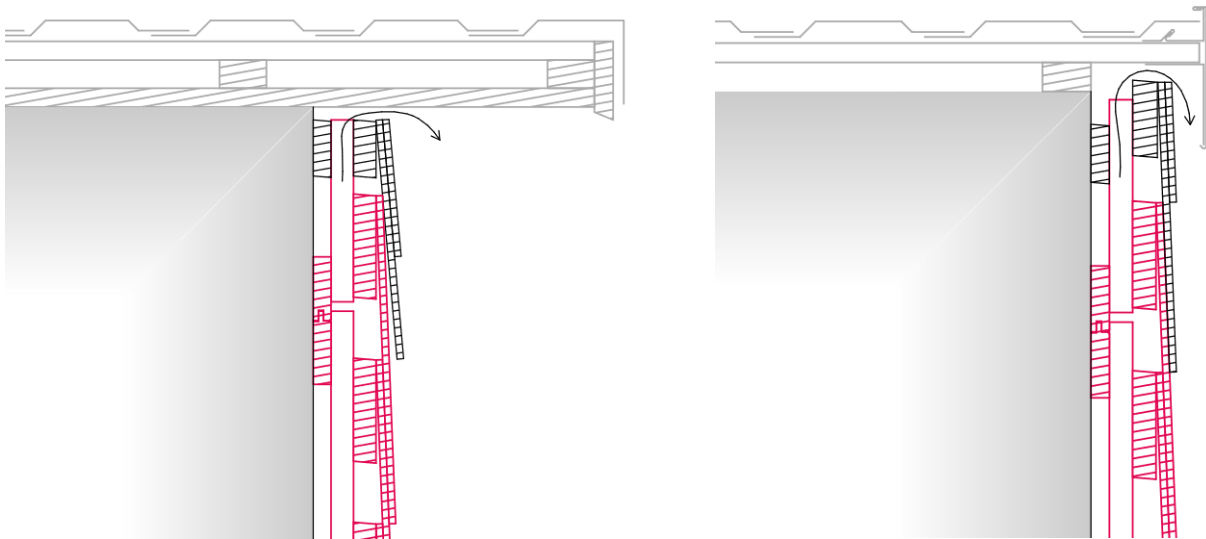


Abb. 34: Anschlussdetail 2-2: oberer Abschluss, Ortgang

Fensteranschluss

Die vertikalen Fensteranschlüsse funktionieren analog zum unteren und oberen Gebäudeanschluss, die horizontalen Anschlüsse ähnlich dem Eckanschluss. Das Modul kann vertikal aufgesägt und stumpf an eine Fensterlaibung gestoßen werden. Gegebenenfalls sind Hinterlüftungslatten zu ergänzen. Die Laibungen sind auf verschiedene Weisen denkbar. Sie können hinter der Fassade zurückstehen, mit der Fassade bündig sein oder als Rahmen hervorstehen. Außerdem sind Mischformen möglich. Steht die obere Verkleidung hervor, muss sichergestellt werden, dass Schlagregen von der Fassade weggeleitet wird.

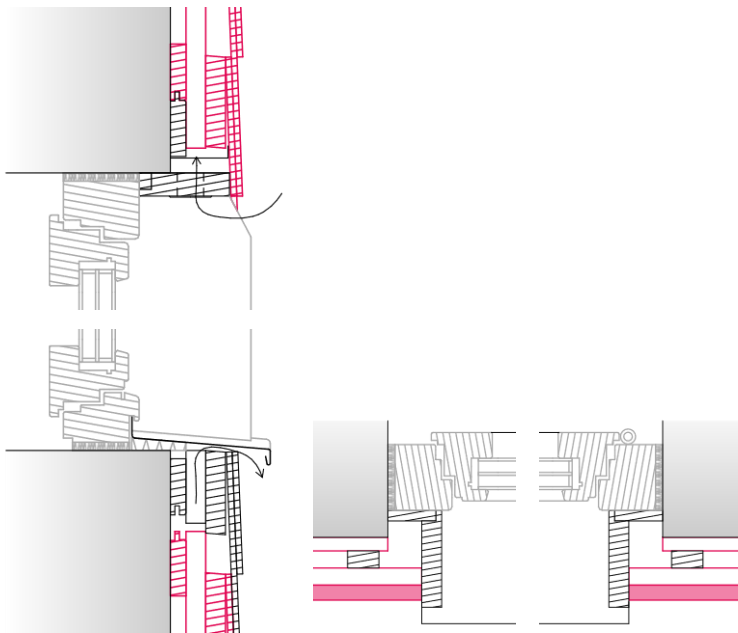


Abb. 35: Anschlussdetail 3-3 (links) und B-B (rechts) mit Holzrahmen

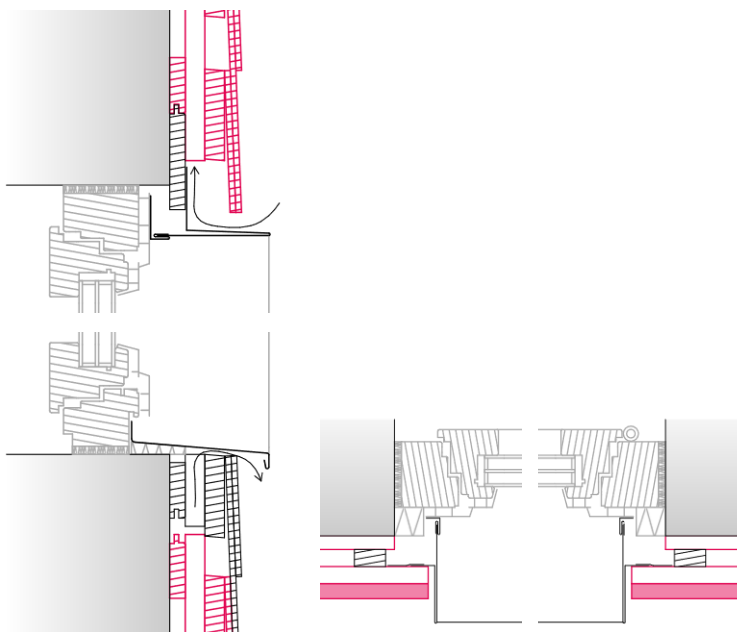


Abb. 36: Anschlussdetail 3-3 (links) und B-B (rechts) mit Metallrahmen

5.4. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anhand einer Lebenszykluskostenanalyse (LCC)

Eine effiziente Vorfertigung zielt grundsätzlich auf eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit im Bauprozess ab. Für eine fundierte Bewertung dieses Potenzials sind jedoch belastbare Erfahrungswerte erforderlich, die für das neu entwickelte Fassadenmodul derzeit noch nicht vorliegen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird dennoch der Versuch unternommen, die Kosten des Moduls näherungsweise zu bestimmen und in Relation zu den Kosten gängiger Putzfassaden sowie hinterlüfteter Holzfassaden und herkömmlichen Holzschindelfassaden zu setzen.

5.4.1. Abschätzung der Kosten der Holzschindelmodulfassade

Die Gesamtkosten der Modulfassade ergeben sich aus den Arbeitszeiten für Herstellung der Module und Montage an der Gebäudehülle sowie den Materialkosten. Die Herstellungszeiten wurden auf Grundlage der beim Bau des Prototyps dokumentierten Abläufe abgeschätzt. Dabei wird angenommen, dass sich die Produktionsdauer durch den Einsatz der speziell entwickelten Schablone sowie durch eine serielle Fertigung in größeren Stückzahlen erheblich reduzieren lässt (vgl. Tab. 12). Für die weiteren Ausführungen wurde angenommen, dass die Lärchenschindeln zugekauft, die Reihen jedoch selbst hergestellt werden.

Tab. 12: Zeitlicher Aufwand bei der Herstellung der Schindelmodule

Arbeitsschritt	benötigte Zeit beim Prototyp	geschätzte Zeit bei rationeller Fertigung	Einheit
Rahmen	0:45	0:07	h/Modul
Montage Escheschindelreihen	1:00	0:07	h/Modul
Herstellen der Lärchenschindeln	1:00		
Herstellen der Lärchenschindelreihen	1:00	0:15	h/Modul
Montage Lärchenschindelreihen	0:20	0:07	h/Modul
Gesamtzeit für das Eschenmodul	1:45	0:20	h/Modul
Gesamtzeit für das Lärchenmodul	3:05	0:29	h/Modul
Gesamtzeit pro m² bei einer Deckfläche je Modul von:		0,875	m²
Gesamtzeit für das Eschenmodul		0:22	h/m ²
Gesamtzeit für das Lärchenmodul		0:33	h/m ²

Als generelle Grundlage der Kostenschätzung der verschiedenen Fassaden dienen die statistischen Kostenkennwerte des Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKI) für Positionen für das Jahr 2024 (BKI, 2024). Herangezogen wurden jeweils die durchschnittlichen Nettokennwerte. Um die Kosten der Holzschindelmodule mit den Kosten der anderen Fassaden möglichst vergleichbar zu halten, wurden die Materialkosten von den Kosten einer herkömmlichen Holzschindelfassade abgeleitet (vgl. Tab. 13). Dazu wurden von den Gesamtkosten für die Holzschindelbekleidung und die Unterkonstruktion die Kosten für die Arbeitszeit abgezogen, unter der Annahme, dass jeweils ein Team aus Facharbeiter und Helfer für die Montage zuständig sind.

Tab. 13: Ableitung der Materialkosten für die Holzschindelmodule auf Grundlage der Daten des (BKI, 2024)

LB	Nr.	Bezeichnung	Kennwert	Einheit
38	29	Stundensatz Facharbeiter, vorgehängte Fassade	81	€/h
38	30	Stundensatz Helfer, vorgehängte Fassade	71	€/h
*	*	Mittelwert aus Facharbeiter und Helfer	76	€/h
38	22	Kosten Holzschindelfassaden	164	€/m ²
38	24	Dauer h/m ²	1	h/m ²
		Kosten Holzschindelbekleidung ohne Stundensatz	88	€/m²
38	2	Unterkonstruktion, Holz, 2x30/50mm	19	€/m ²
38	2	Dauer	0,16	h/m ²
		Kosten Unterkonstruktion ohne Stundensatz	6,84	€/m²

**eigene Kostenberechnung auf Grundlage der Kostenkennwerte*

Aus diesen beiden Kosten ergeben sich die Materialkosten. Für den Zeitaufwand der Herstellung der Module wurde die geschätzte Zeit für das Lärchenmodul aus Tab. 12 herangezogen. Als Stundensatz wurde der eines Tischler-Helfers angesetzt, da die Herstellung in einer Werkstatt und mit wenigen Vorkenntnissen ausgeführt werden kann. Für die Montage wurde ein Zeitaufwand von 15 min/m² angenommen, da nur wenige Arbeitsschritte bei der Montage auszuführen sind. Aus den Kosten für Material, Herstellung und Montage ergeben sich die Gesamtkosten der Fassade mit Holzschindelmodulen (vgl. Tab. 14).

Tab. 14: Berechnung der Gesamtkosten der Schindelmodulfassade

LB	Nr.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Kosten-kennwert	Kosten [netto]
*	*	Materialkosten	1	m ²	94,84 €	94,84 €
27	62	Arbeitszeit Herstellung (Stundensatz Tischler-Helfer)	0,55	h	58,00 €	31,90 €
*	*	Arbeitszeit Montage (Mittelwert Facharbeiter und Helfer)	0,25	h	76,00 €	19,00 €
		Gesamtkosten Schindelmodulfassade	1	m²		145,74 €

**eigene Kostenberechnung auf Grundlage der Kostenkennwerte*

Durch die gewählte Maßnahme konnte der Arbeitszeitanteil an den Gesamtkosten der Holzschindelmodulfassade signifikant reduziert werden. Während die Materialkosten pro Quadratmeter im Vergleich zu einer konventionellen Holzschindelfassade unverändert blieben, führten die um 42 % verringerten Arbeitskosten zu einer Gesamtkostenreduktion von etwa 20 %.

5.4.2. Berechnung der Lebenszykluskosten anhand eines Beispielgebäudes

In den Lebenszykluskosten werden neben den Investitionskosten auch die Lebensdauern von Bauteilen und entsprechend notwendige Ersatzinvestitionen berücksichtigt. Da Fassadenkosten außerdem neben den Kosten für den Regelaufbau auch von Aufwand und Anzahl verschiedener Details, wie Öffnungen und Eckausführung, abhängig ist, wurde für den Kostenvergleich ein Beispielgebäude erstellt (vgl. Abb. 37).

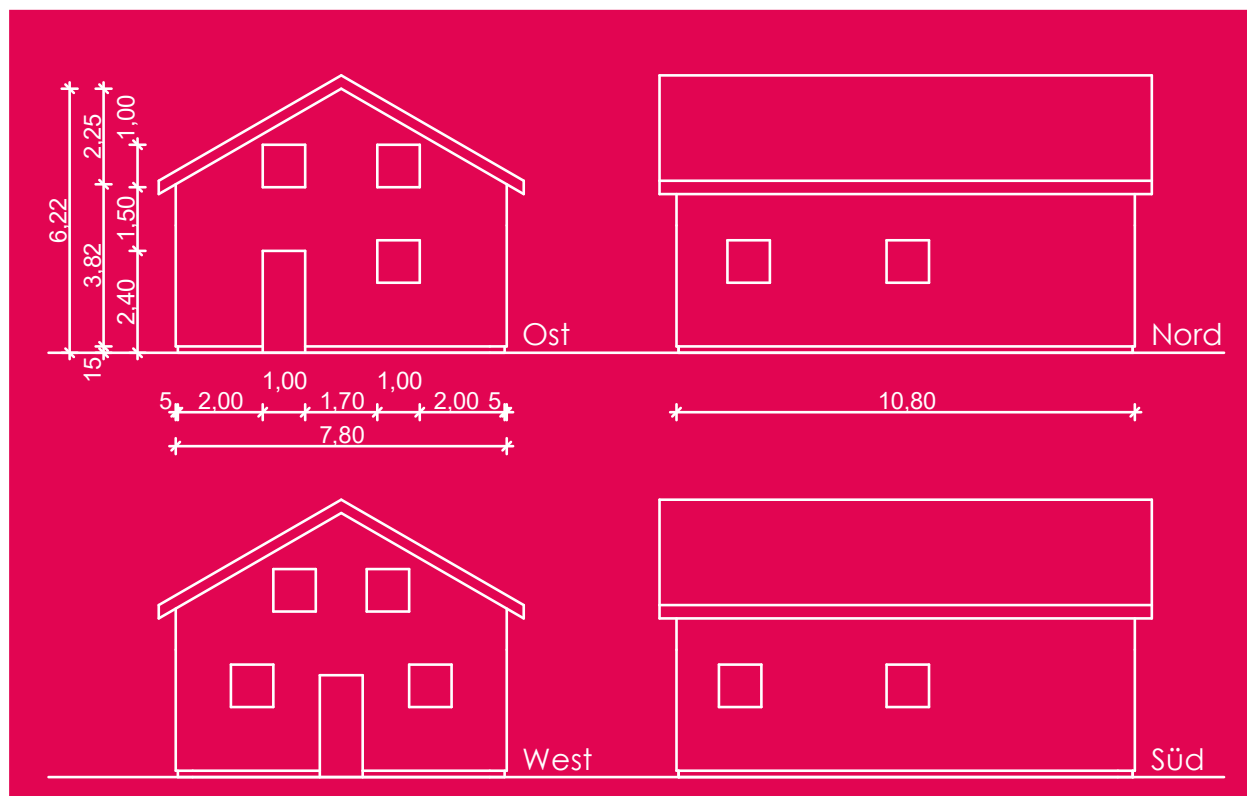


Abb. 37: Ansichten des Beispielgebäudes mit Maßbezügen als Berechnungsgrundlage der LCC

Verglichen wurden vier Fassaden anhand der statistischen Kostenkennwerte des (BKI, 2024). Dafür wurden zunächst die Kosten der verschiedenen Positionen mit den Mengen des Beispielgebäudes multipliziert, um die Herstellungskosten zu ermitteln (vgl. Tab. 15). Zusätzlich wurden die Mengen mit dem angegebenen Zeitkennwert multipliziert, um einen Vergleich der Montagezeiten zu ermöglichen. Es wurden nur Bauteile betrachtet, die sich zwischen den Fassadentypen unterscheiden: Fenster, Türen und Sockel können bei allen Varianten auf dieselbe Weise ausgeführt werden, und wurden daher nicht betrachtet.

Tab. 15: Herstellkosten der Fassadenvarianten des Beispielgebäudes nach Kennwerten des (BKI, 2024)

LB	Nr.	KG	Bezeichnung	Menge	Ein- heit	Kosten- kennw.	Kosten [netto]	Zeit- kennw.	Zeit in Stunden
Putzfassade							21.461 €	171,83	
016	81	335	Außenwanddämmung WF, Putzträgerplatte, 60 mm	189,93	m ²	50 €	9.497 €	0,22	41,79
023	1	397	Schutzabdeckung	15,80	m ²	5 €	79 €	0,02	0,32
023	50	335	WDVS, Armierungsputz, Glasfasereinlage	189,93	m ²	25 €	4.748 €	0,18	34,19
023	51	335	WDVS, Kantenausbildung, Profil	24,28	m	9 €	219 €	0,13	3,16
023	54	334	WDVS, Fensteranschluss	57,60	m	8 €	461 €	0,12	6,91
023	57	335	WDVS, mineralischer Oberputz	189,93	m ²	19 €	3.609 €	0,25	47,48
034	23	335	Erstbeschichtung, Silikatfarbe, Außenputz	189,93	m ²	15 €	2.849 €	0,20	37,99
hinterlüftete Holzassade							28.887 €	193,39	
016	79	364	Dämmung, Holzfaserplatte, 60 mm	189,93	m ²	42 €	7.977 €	0,22	41,79
038	1	335	Unterkonstruktion, Holzlatung	143,85	m ²	11 €	1.582 €	0,12	17,26
038	12	335	Fassadenbekleidung, Holz, Stülpchalung	143,85	m ²	104 €	14.961 €	0,76	109,33
038	25	334	Laibungsbekleidung, Fenster/Tür	57,60	m	56 €	3.226 €	0,35	20,16
038	28	335	Außenecke, Aluprofil	24,28	m	47 €	1.141 €	0,20	4,86
Holzschindelfassade							37.528 €	228,82	
016	79	364	Dämmung, Holzfaserplatte, 60 mm	189,93	m ²	42 €	7.977 €	0,22	41,79
038	2	335	Unterkonstruktion, Holz, 2x30/50mm	143,85	m ²	19 €	2.733 €	0,16	23,02
038	22	335	Fassadenbekleidung, Schindeln	143,85	m ²	164 €	23.592 €	1,00	143,85
038	25	334	Laibungsbekleidung, Fenster/Tür	57,60	m	56 €	3.226 €	0,35	20,16
Holzschindelmodulfassade							33.309 €	102,76	
016	79	364	Dämmung, Holzfaserplatte, 60 mm	189,93	m ²	42 €	7.977 €	0,22	41,79
*	*	335	Fassadenbekleidung, Schindelmodule	143,85	m ²	145 €	20.965 €	0,25	35,96
038	25	334	Laibungsbekleidung, Fenster/Tür	57,60	m	56 €	3.226 €	0,35	20,16
038	28	335	Außenecke, Aluprofil	24,28	m	47 €	1.141 €	0,20	4,86

*eigene Kostenberechnung auf Grundlage der Kostenkennwerte

Für die Ersatzinvestitionen wurde der Betrachtungszeitraum von 50 Jahren sowie die Nutzungsdauern von Bauteilen nach dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) angenommen (BBSR, 2017). Bei der Putzfassade wurde die Lebensdauer angepasst, um der Lebensdauer der Wärmedämmung zu entsprechen, da diese Bauteile bei einer Ersatzmaßnahme gemeinsam getauscht werden. Bei den Dämmungen für die Holzfassaden wurde die Lebensdauer von Holzfaserdämmplatten mit der von Mineralschaumdämmung gleichgesetzt, da diese im BNB nicht aufgelistet sind. Die Kosten ergeben sich aus den Herstellkosten in Tab. 15.

Tab. 16: Ersatzinvestitionen der Fassadenvarianten des Beispielgebäudes nach Kennwerten des BNB

Code-Nr.	Systemelemente	Material	Nutzungsdauer in a	bewertete Nutzungsdauer in a	Ersatz in 50a	Kosten
Putzfassade						
335.211	Anstrich	Dispersionssilikatfarbe	15	15	3	2.928 €
335.314	Oberputz	mineralisch	30	40	1	3.609 €
335.641	Dämmung	WDVS	40	40	1	14.924 €
hinterlüftete Holzassade						
335.712	Fassadenbekleidung	Nadelholz, unbehandelt	30	30	1	20.910 €
335.621	Dämmung	Holzfaserdämmstoff	≥ 50	≥ 50	0	7.977 €
Holzschindelfassade						
335.713	Fassadenbekleidung	Holzschindeln	≥ 50	≥ 50	0	29.551 €
335.621	Dämmung	Holzfaserdämmstoff	≥ 50	≥ 50	0	7.977 €
Holzschindelmodulfassade						
335.713	Fassadenbekleidung	Holzschindeln	≥ 50	≥ 50	0	25.332 €
335.621	Dämmung	Holzfaserdämmstoff	≥ 50	≥ 50	0	7.977 €

Da die Berechnung zukünftig anfallende Kosten prognostizieren soll, müssen jährliche Preissteigerungen dynamisch berücksichtigt werden. Als Berechnungsverfahren wurde daher die Kapitalwertmethode gewählt. Für die jährliche Preissteigerung wurde aus den Baupreisindizes des statistischen Bundesamtes der Mittelwert aller Gebäudetypen der letzten vier Quartale (bis zum ersten Quartal 2025) gebildet und mit 3,14 % angesetzt (Statistisches Bundesamt [DESTATIS], 2025). Der „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ verweist bei Referenzwerten zu geeigneten Diskontierungszinssätzen auf die Veröffentlichungen des Bundesministeriums für Finanzen (BMF) (BMI, 2019). Dieses verweist jedoch wiederum für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen bei längerfristigen Maßnahmen, und solchen mit einem wesentlichen privaten Finanzierungsanteil, auf die Zinssätze im Internet-Angebot der Deutschen Bundesbank (Bundesministerium der Finanzen [BMF], 2023). Diese veröffentlicht tägliche Zinsstrukturen am Rentenmarkt bei Restlaufzeiten bis zu 30 Jahren (Deutsche Bundesbank, 2025). Obwohl der Betrachtungszeitraum des Beispielgebäudes mit 50 Jahren deutlich höher ist, wurde mit 3 % ein Diskontierungszinssatz angenommen, der sich an den Zinsstrukturen bei einer Restlaufzeit von 30 Jahren für das erste Quartal 2025 orientiert. Unter diesen Randbedingungen wurde der Kapitalwert mit folgender Formel berechnet:

$$KW_0 = -I_0 + \sum_{t=1}^{50} C_t * (1+i)^{-t}$$

Dabei bezeichnet

- KW_0 den Kapitalwert zum Zeitpunkt null,
- I_0 die Anfangsinvestition,
- C_t den in Jahr t anfallenden Cashflow, bei dem bereits eine jährliche Preissteigerung berücksichtigt ist,
- i den verwendeten Diskontierungszinssatz und
- t das jeweilige Jahr innerhalb des Betrachtungszeitraums.

Die Berechnung erfolgte in Excel für jede Fassadenvariante. Ein Beispielauszug der Berechnung für die Putzfassade ist in Tab. 17 dargestellt.

Tab. 17: Beispielauszug aus der Kapitalwertberechnung für die Fassadenvariante Putzfassade

Auszahlungen während des Betrachtungszeitraums ohne Preissteigerungen				Kapitalwertmethode			
Jahr	Herstellkosten	Ersatzinvestitionen	Cashflow	Preissteigerung für Bau- und Dienstleistungen	Cashflow C_t mit Preissteigerung	Abzinsungsfaktor $1/(1+i)^t$	Barwerte $BW_0 =$
				Summe aller Barwerte $BW_0 =$ Kapitalwert KW_0 : 49.285			
0	21.461		21.461	1,00	2.1461	1,00	2.1461
1			0	1,00	0	0,97	0
2			0	1,03	0	0,94	0
3			0	1,06	0	0,92	0
4			0	1,10	0	0,89	0
5			0	1,13	0	0,86	0
6			0	1,17	0	0,84	0
7			0	1,20	0	0,81	0
8			0	1,24	0	0,79	0
9			0	1,28	0	0,77	0
10			0	1,32	0	0,74	0
11			0	1,36	0	0,72	0
12			0	1,41	0	0,70	0
13			0	1,45	0	0,68	0
14			0	1,49	0	0,66	0
15		2.928	2.928	1,54	4514	0,64	2897
16			0	1,59	0	0,62	0

5.4.3. Vergleich der Lebenszykluskosten anhand eines Beispielgebäudes

Die Investitionskosten der Holzschindelmodulfassade am Beispielgebäude konnten gegenüber einer konventionell vor Ort montierten Holzschindelfassade um rund 11 % gesenkt werden (vgl. Abb. 38). Diese Reduktion ist im Wesentlichen auf die geringere Gesamtarbeitszeit sowie den niedrigeren Stundensatz zurückzuführen, die sich durch die Vorfertigung in der Werkstatt und den Einsatz geringer qualifizierter Arbeitskräfte ergeben. Trotz dieser Einsparungen liegen die Investitionskosten der Modulfassade noch etwa 13 % über denen einer hinterlüfteten Holzfassade und rund 36 % über den Kosten einer verputzten Fassade im Wärmedämmverbundsystem (WDVS). Auffällig ist zudem der vergleichsweise hohe Kostenanteil für die Ausbildung von Öffnungen bei der Modulfassade (Laiungsbekleidung, Fenster/Tür), der mit etwa 10 % signifikant über dem der Putzfassade liegt, bei der dieser Anteil lediglich rund 3 % beträgt.

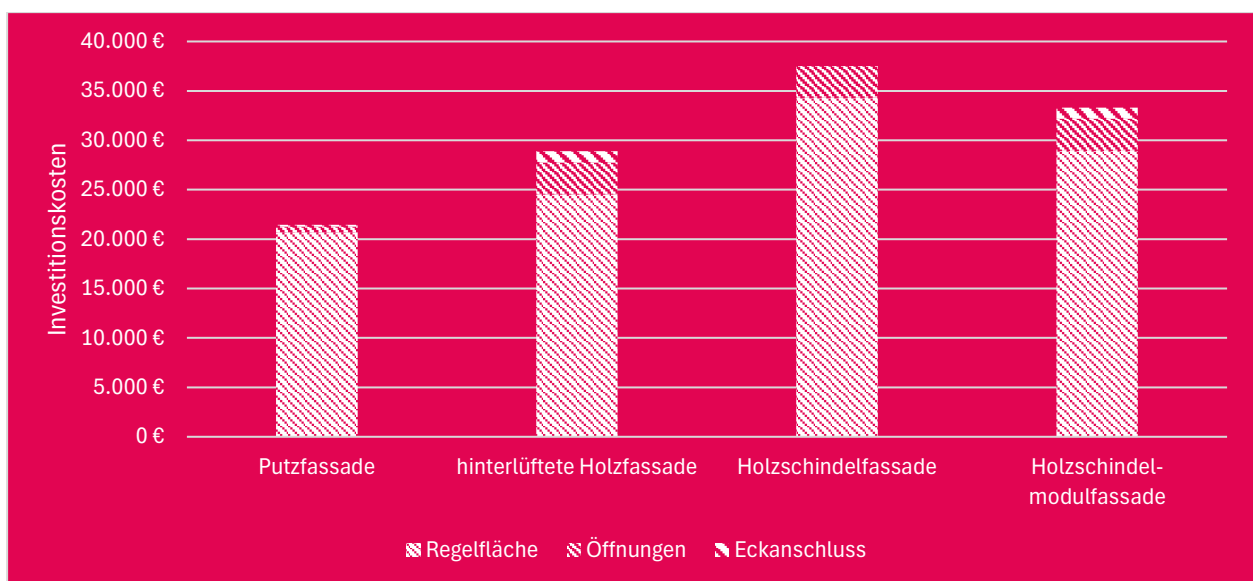


Abb. 38: Vergleich der anteiligen Investitionskosten verschiedener Fassaden am Beispielgebäude

Im Verlauf des Betrachtungszeitraums von 50 Jahren fallen bei der Putzfassade Ersatzinvestitionen für regelmäßige Anstrichmaßnahmen sowie den vollständigen Austausch des WDVS an (vgl. Abb. 39). Auch die hinterlüftete Holzfassade erreicht nach etwa 40 Jahren das Ende ihres Lebenszyklus und erfordert einen vollständigen Ersatz. Im Gegensatz dazu entstehen bei den Holzschindelfassaden keine Ersatzinvestitionskosten, da deren Lebensdauer den definierten Betrachtungszeitraum überschreitet.

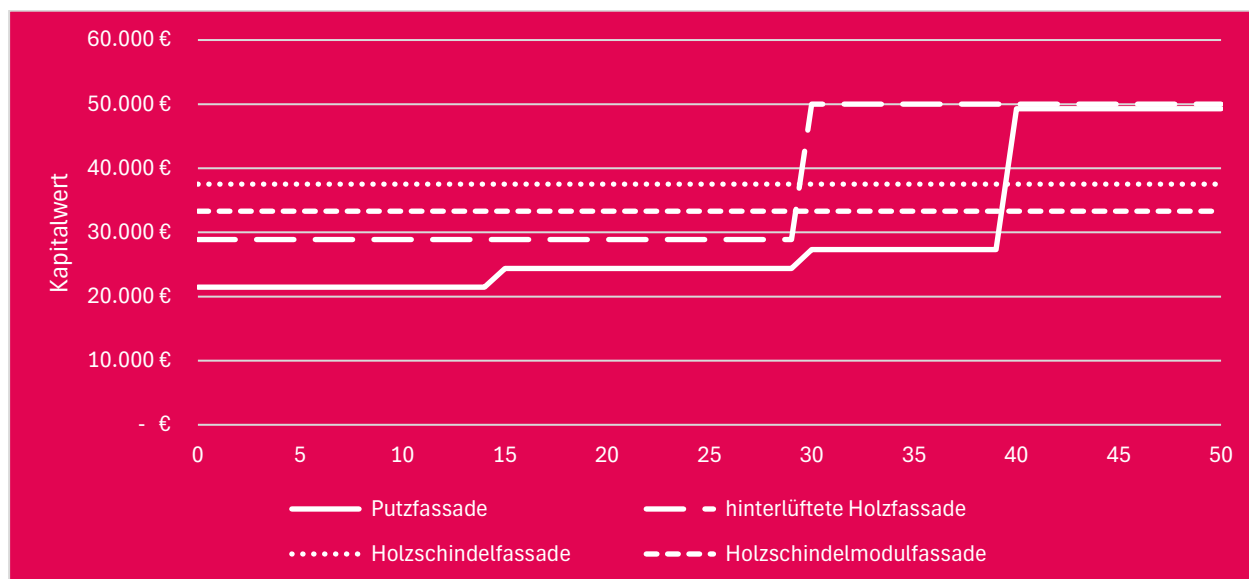


Abb. 39: Entwicklung der Kapitalwerte im Laufe des Betrachtungszeitraums

Der Vergleich der Kapitalwerte zeigt, dass die beiden Fassadenvarianten mit den geringsten Investitionskosten – die Putzfassade und die hinterlüftete Holzfassade – aufgrund ihrer begrenzten Lebensdauer im 50-jährigen Betrachtungszeitraum die höchsten Lebenszykluskosten verursachen (vgl. Abb. 40). Die Holzschindelmodulfassade erweist sich hingegen nicht nur als wirtschaftlicher als eine konventionell ausgeführte Holzschindelfassade, sondern auch als deutlich kosteneffizienter im Vergleich zu den beiden genannten Varianten: Über den gesamten Lebenszyklus hinweg liegen die Kosten der Modulfassade rund 32 % unter denen der Putzfassade und etwa 33 % unter denen der hinterlüfteten Holzfassade.

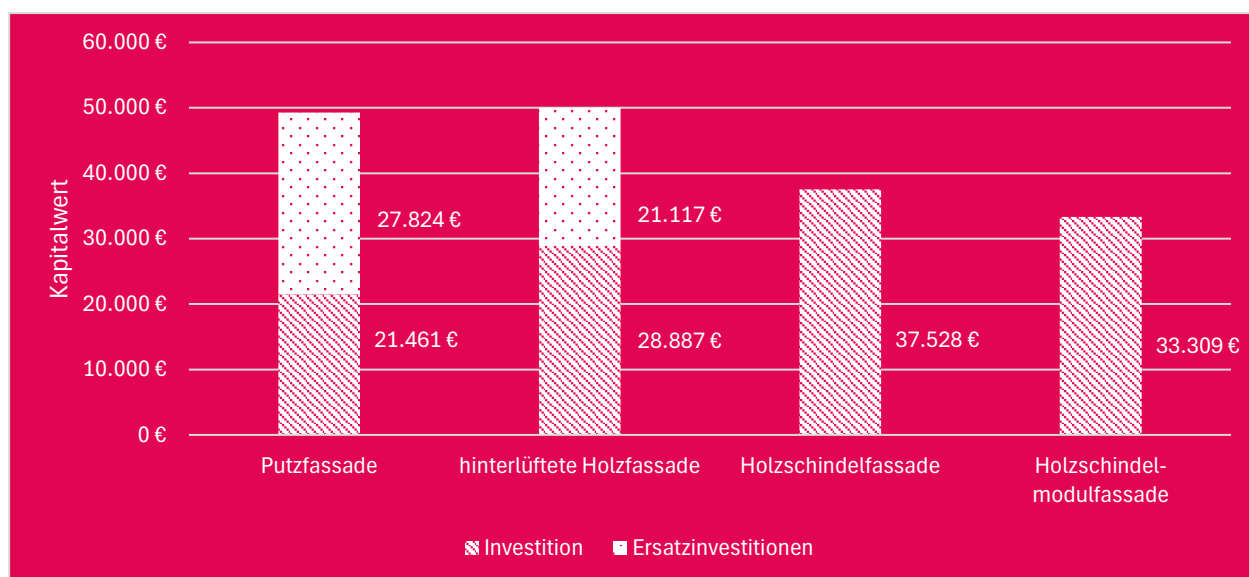


Abb. 40: Vergleich der anteiligen Lebenszykluskosten verschiedener Fassaden am Beispielgebäude

5.5. Nachhaltigkeitsbewertung anhand einer Lebenszyklusanalyse (LCA)

Auch wenn die Kosten einer Fassade nach wie vor eines der wichtigsten Entscheidungskriterien sind, werden die Umweltfolgen der Fassade auch bei Bauherren immer wichtiger. Daher wurde neben einer LCC auch eine Lebenszyklusanalyse (LCA) der Fassadenvarianten durchgeführt. Da die Holzschindelfassade einen sehr ähnlichen Materialaufwand hat wie die Modulfassade, wurde sie nicht betrachtet. Untersucht wurde das globale Erwärmungspotenzial (GWP), welches unter den zahlreichen Parametern zum Vergleich von Umweltwirkungen den wohl gängigsten darstellt. Die Phasen der Herstellung (A1-A3) und der Entsorgung (C3 und C4) nach den Vorgaben des „Leitfaden für nachhaltiges Bauen“ (BMI, 2019) sind in Tab. 18 dargestellt. Der Austausch (B4) ist separat in Tab. 19 betrachtet. Die Werte für das GWP wurden mithilfe der internetgestützten Software eLCA (Version 0.9.7) ermittelt, und basieren auf den Daten der Online-Baustoffdatenbank ÖKOBAUDAT (Datenbank: OBD_2024_A2). Die Materialstärken richten sich nach den verfügbaren Stärken im BKI (vergleiche auch Tab. 15 zur Kostenkalkulation). Da es sich bei den Schindeln um eine zweifache Deckung handelt, wurden diese als Hobelware mit der doppelten Stärke einer Schindel angenommen.

Tab. 18: GWP der Bauteilaufbauten verschiedener Fassaden

Bauteil- schicht	Bezeichnung	Stärke [mm]	Gefach- anteil	GWP _{total} [kg CO ₂ -equ./m ²]			
				A1-A3	C3	C4	D
Putzfassade							
Dämmung	Holzfaserdämmstoffplatte Trockenverfahren (Durchschnitt DE)	60	100%	-10,487	15,5013		- 6,8063
Putzsystem	WDVS Verklebung und Beschichtung Leichtputz mineralisch	15	100%	7,4636		0,5156	
Ersatzan- strich	Fassadenfarbe Dispersionsfarbe	0,2	100%	0,5384		4,15 ⁻³	-2,81 ⁻³
hinterlüftete Holzfassade							
Dämmung	Holzfaserdämmplatte (Nassver- fahren)	60	100%	-9,7611	17,0543		- 4,9958
Hinterlüf- tung	Schnittholz Fichte (generisch, 12 % Feuchte/10,7 % H ₂ O)	30	8,0%	-1,6517	1,9448		- 0,6164
Stülp-scha- lung	Hobelware (Durchschnitt DE)	24	100%	-17,5905	19,3047		- 6,8882
Holzschindelmodulfassade							
Dämmung	Holzfaserdämmplatte (Nassver- fahren)	60	100%	-9,7611	17,0543		- 4,9958
Befesti- gungsebene	Hobelware (Durchschnitt DE)	24	1,6%	-0,2814	0,3089		- 0,1102
Hinterlüf- tung	Schnittholz Fichte (generisch, 12 % Feuchte/10,7 % H ₂ O)	30	8,0%	-1,6517	1,9448		- 0,6164
Konterlat- tung	Schnittholz Fichte (generisch, 12 % Feuchte/10,7 % H ₂ O)	30	28,6%	-5,905	6,9527		- 2,2037
Lärchen- schindeln	Hobelware (Durchschnitt DE)	14	100%	-10,2611	11,261		- 4,0181

Holzschindelmodulfassade thermisch modifiziert

Dämmung	Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	60	100%	-9,7611	17,0543		-4,9958
Befestigungsebene	Hobelware (Durchschnitt DE)	24	1,6%	-0,2814	0,3089		-0,1102
Hinterlüftung	Schnittholz Fichte (generisch, 12 % Feuchte/10,7 % H ₂ O)	30	8,0%	-1,6517	1,9448		-0,6164
Konterlattung	Schnittholz Fichte (generisch, 12 % Feuchte/10,7 % H ₂ O)	30	28,6%	-5,905	6,9527		-2,2037
Thermoschindeln	Thermisch behandeltes Holz (1 m ³ , 409 kg/m ³)	14	100%	-2,7494	10,6418		-2,7674

Die Nutzungsdauer der Bauteilschichten richtet sich nach der Nutzungsdauer in der Kostenanalyse in Kapitel 5.4.2. Da im Putzsystem des WDVS bereits ein Anstrich enthalten ist, wurde dieser bei der Errichtung und beim Ersatz des WDVS nicht gesondert berücksichtigt.

Tab. 19: GWP verschiedener Fassaden im Lebenszyklus

Bauteilschicht	Bezeichnung	bewertete Nutzungs- dauer in a	Erstanz in 50 a	GWP _{total} [kg CO ₂ -equ./m ²]		
				Errich- tung	Ersatz	Gesamt
Putzfassade				13,54	13,54	27,07
Dämmung	Holzfaserdämmstoffplatte Trocken- verfahren (Durchschnitt DE)	40	1	5,01	5,01	10,03
Putzsystem	WDVS Verklebung und Beschichtung Leichtputz mineralisch	40	1	7,98	7,98	15,96
Ersatzanstrich	Fassadenfarbe Dispersionsfarbe	15	1	0,54	0,54	1,09
hinterlüftete Holzassade				9,30	2,01	11,31
Dämmung	Holzfaserdämmplatte (Nassverfah- ren)	≥ 50	0	7,29	0,00	7,29
Hinterlüftung	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10,7% H ₂ O)	30	1	0,29	0,29	0,59
Stülpchalung	Hobelware (Durchschnitt DE)	30	1	1,71	1,71	3,43
Holzschindelmodulfassade				9,66	0,00	9,66
Dämmung	Holzfaserdämmplatte (Nassverfah- ren)	≥ 50	0	7,29	0,00	7,29
Befestigungs- ebene	Hobelware (Durchschnitt DE)	≥ 50	0	0,03	0,00	0,03
Hinterlüftung	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10,7% H ₂ O)	≥ 50	0	0,29	0,00	0,29
Konterlattung	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10,7% H ₂ O)	≥ 50	0	1,05	0,00	1,05
Lärchenschin- deln	Hobelware (Durchschnitt DE)	≥ 50	0	1,00	0,00	1,00

Holzschindelmodulfassade thermisch modifiziert				16,55	0,00	16,55
Dämmung	Holzfaserdämmplatte (Nassverfahren)	≥ 50	0	7,29	0,00	7,29
Befestigungsebene	Hobelware (Durchschnitt DE)	≥ 50	0	0,03	0,00	0,03
Hinterlüftung	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10,7% H ₂ O)	≥ 50	0	0,29	0,00	0,29
Konterlattung	Schnittholz Fichte (generisch, 12% Feuchte/10,7% H ₂ O)	≥ 50	0	1,05	0,00	1,05
Thermoschindeln	Thermisch behandeltes Holz (1 m ³ , 409 kg/m ³)	≥ 50	0	7,89	0,00	7,89

Bei der Betrachtung wird einerseits das Potenzial von Holz als CO₂-Speicher deutlich, durch das Holz und Holzwerkstoffe in der Herstellung ein negatives GWP erreichen können. In Abb. 41 wird außerdem sichtbar, dass hinsichtlich der Umweltwirkung GWP - wie bei den Kosten - die lange Lebensdauer die Holzschindelfassade zur günstigsten Variante machen. Auch wenn die Einsparung im Lebenszyklus gegenüber der Holzfassade mit Stülpeschalung nur 15 % beträgt, können die Emissionen gegenüber der Putzfassade um 64 % reduziert werden. Eine thermische Modifizierung von Holz erhöht die Emissionen um 42 %. Dabei wurde beim verwendeten Datensatz für die Bereitstellung der zur Herstellung von Thermoholz benötigten thermischen Energie von einer gleichteiligen Mischung an Erdgas und Biomasse ausgegangen (ÖKOBAUDAT, 2023). Selbst wenn in Zukunft der Anteil erneuerbarer Energie gesteigert wird, bleibt die nicht modifizierte Fassade aufgrund ihrer bereits sehr guten Lebensdauer immer die bessere Variante in der CO₂-Bilanz. Einen Vorteil kann die Modifizierung dennoch bieten: Durch die Erhöhung der Dauerhaftigkeit können auch Hölzer verwendet werden, die den in Kapitel 3.2 beschriebenen Anforderungen für Schindeln nicht gerecht werden. Dadurch kann mehr Holz baulich genutzt und Wälder entlastet werden. Durch die vermehrte Verwendung erneuerbarer Energien wird außerdem die Differenz zwischen den GWP-Emissionen modifizierter und nicht modifizierter Hölzer sinken.

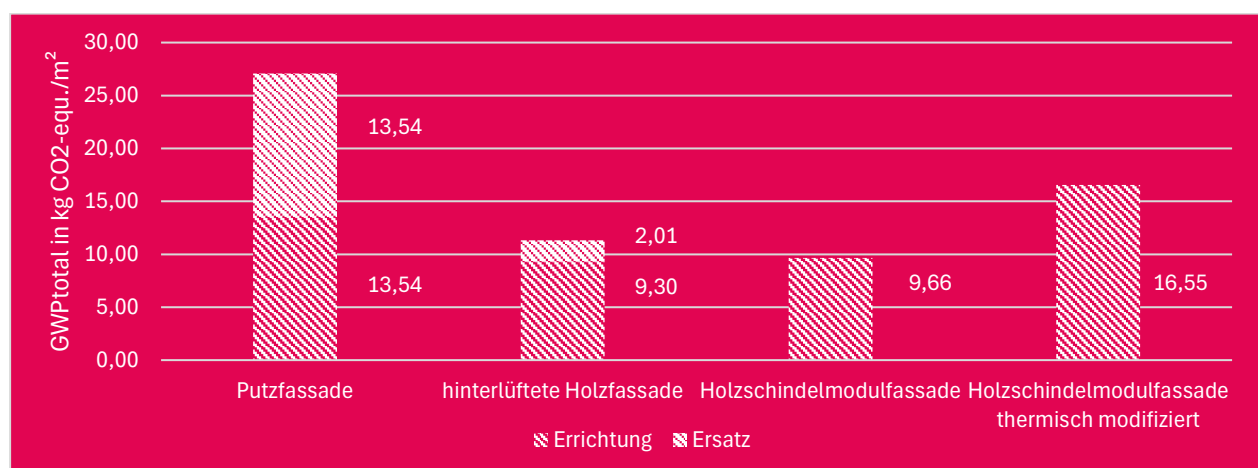


Abb. 41: CO₂-Bilanz verschiedener Fassadensysteme

5.6. Fazit zum Prototyp

Die Herstellung der Prototypen verlief insgesamt reibungslos, die einzigen Einschränkungen ergaben sich aus der eingeschränkten Verfügbarkeit und Vertrautheit mit der vorhandenen Werkstatteinrichtung. Eine probeweise Montage auf einer vertikal aufgestellten Dreischichtplatte konnte in wenigen Minuten und ohne größeren Kraftaufwand durch zwei Personen durchgeführt werden. Die Stoßfugen – sowohl vertikal als auch horizontal – sind visuell nicht wahrnehmbar, sodass sich keine optischen Unterschiede zu einer konventionell ausgeführten Holzschindelfassade feststellen ließen. Somit konnte die Machbarkeit einer modular vorgefertigten Holzschindelfassade grundsätzlich bestätigt werden. Hinsichtlich der Effizienz bestehen jedoch noch offene Fragestellungen, die nur durch die Anwendung im größeren Maßstab geklärt werden können. Zum einen ist die tatsächliche Fertigungszeit bei industrieller Serienproduktion unter Verwendung von Schablonen zu analysieren. Zum anderen hängt die Montagezeit maßgeblich von der Ausführung und Praxistauglichkeit der Anschlussdetails ab. Erste Herausforderungen wurden bereits in der Planungsphase erkennbar: Beim Zuschnitt eines Moduls in vertikaler Richtung kann es zu schmalen Schindelresten oder Lücken kommen, die ästhetisch und technisch problematisch sind. Ob eine Demontage einzelner Schindeln zur Korrektur praktikabel ist, muss in weiteren Versuchen geprüft werden. Eine zusätzliche Herausforderung stellt die Befestigungstechnik dar, insbesondere im Hinblick auf eine sortenreine Trennbarkeit und die Möglichkeit, Module individuell zu kürzen. In der Werkstatt konnten hierzu aufgrund der limitierten Einrichtung keine Versuche durchgeführt werden. Mögliche Lösungen wären zerspannbare Klammern (z. B. aus Aluminium), Leimverbindungen oder Holzdübel. Letztere erscheinen aufgrund ihrer ökologischen Vorteile und der Möglichkeit zur automatisierten Verarbeitung mit magazinierten Holznägeln vielversprechend. Jedoch muss die Rissanfälligkeit, insbesondere bei thermisch behandelten und damit spröderen Schindeln, kritisch geprüft werden. Auch sind potenziell höhere Befestigungskosten zu berücksichtigen, die sich negativ auf den in Kapitel 5.4 errechneten Investitionskostenvorteil auswirken könnten. Die durchgeführte Lebenszykluskostenanalyse (LCC) hat jedoch gezeigt, dass Holzschindelfassaden aufgrund ihrer langen Lebensdauer und ihres geringen Wartungsaufwands im gesamten Lebenszyklus die wirtschaftlichste der betrachteten Fassadenlösungen darstellen. Im Bereich des Ein- und Zweifamilienhausbaus liegt der Fokus der Bauherrschaft jedoch häufig auf den reinen Investitionskosten – hier ist das WDVS nach wie vor am kostengünstigsten. Die Wahl einer Holzfassade erfolgt daher meist aus gestalterischen Motiven. Die ergänzend durchgeführte Lebenszyklusanalyse (LCA) verdeutlichte zudem die ökologischen Vorteile der Holzschindelfassade. Durch die modulare Vorfertigung konnte ein Teil der Investitionskosten reduziert und so eine Annäherung an die Kosten konventioneller Holzfassaden erreicht werden. In Kombination mit der hohen Lebensdauer kann dies als zusätzlicher Entscheidungsfaktor für Bauherren wirken, die neben der Ästhetik auch ökologische und wirtschaftliche Kriterien in ihre Planung einbeziehen.

6. Ergebnisse der Umfrage

Zur Einschätzung der gesellschaftlichen Relevanz von Schindelfassaden sowie zur Identifikation potenzieller Hemmnisse bei der Entscheidungsfindung für oder gegen deren Verwendung wurde eine Umfrage durchgeführt. Insgesamt nahmen 69 Personen an der Erhebung teil. Davon verfügten 30 Teilnehmer über keine Erfahrung in der Bauwirtschaft, 13 Personen gaben an, bereits als Bauherr tätig gewesen zu sein, während 26 Befragte praktische Erfahrung entweder in einer planerischen Tätigkeit oder als Teil eines ausführenden Unternehmens auf der Baustelle vorweisen konnten (vgl. Abb. 42). Die Altersgruppen der Teilnehmer waren weitgehend gleichmäßig verteilt; lediglich die Altersgruppe der 36- bis 55-Jährigen war in der Stichprobe leicht unterrepräsentiert (vgl. Abb. 43).

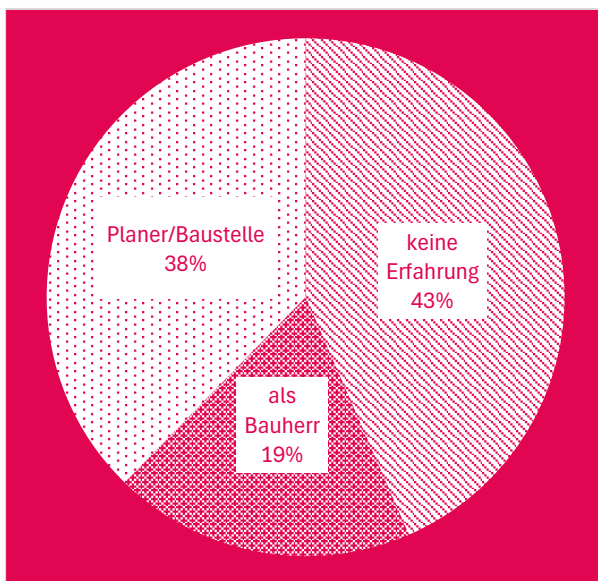


Abb. 42: bisherige Erfahrung der Teilnehmer mit der Bauwirtschaft

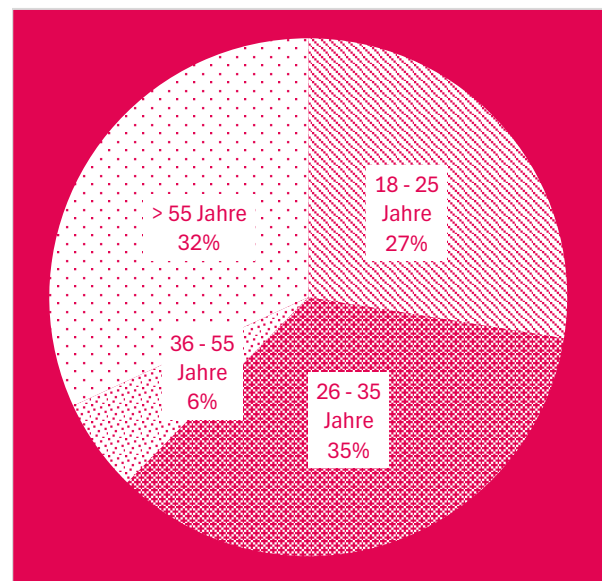


Abb. 43: Altersverteilung der Teilnehmer

Der Wohnkontext der Befragten war insgesamt relativ ausgewogen, wobei ein leichter Schwerpunkt im ländlichen Raum (58 %) gegenüber dem städtischen Umfeld (42 %) festzustellen ist. Geografisch zeigt sich eine deutliche Konzentration der Befragten im Raum Augsburg sowie im Allgäu (vgl. Abb. 44).

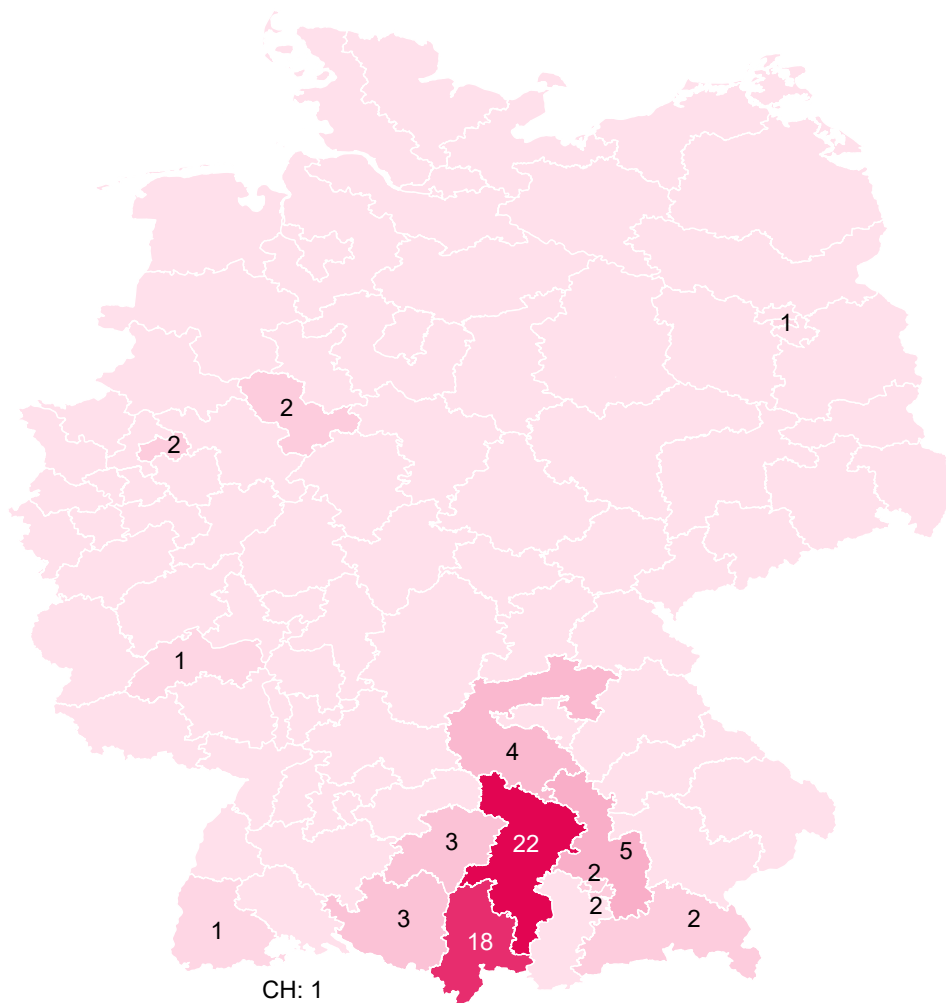


Abb. 44: regionale Verteilung der Teilnehmer in Deutschland nach den ersten beiden Ziffern der Postleitzahl

Die Teilnehmer wurden gefragt, welche Faktoren eher für oder eher gegen den Einsatz von Holzschindelfassaden sprechen (vgl. Abb. 45). Dadurch sollten sowohl Hemmnisse erkannt, aber auch etwaige Vorurteile identifiziert werden. So ist zum Beispiel die sehr hohe Lebensdauer von Holzschindeln nicht von allen Befragten erkannt worden. Die Instandsetzung wurde sogar als großes Hindernis beurteilt. Hier zeigen sich auch individuelle Vorurteile. Ein Befragter bemängelte zum Beispiel im Freitext, dass er selbst einmal eine Holzschindelfassade abschleifen musste, was als unschöne Aufgabe empfunden wurde. Der Befragte hat also bei Holzschindeln automatisch an eine Fassade mit Anstrich gedacht. Insgesamt wurde die Ästhetik von Holzschindeln im neu eingebauten Zustand als sehr positiv empfunden, über vergraute Schindeln gab es allerdings sehr unterschiedliche Meinungen. Laut den Befragten spricht ein Ortsbild, in dem es bereits Häuser mit Schindelfassaden gibt, eher für die weitere Verwendung von Schindeln. Umgekehrt hat ein Ortsbild ohne Schindeln eher keinen Einfluss auf die Entscheidung.

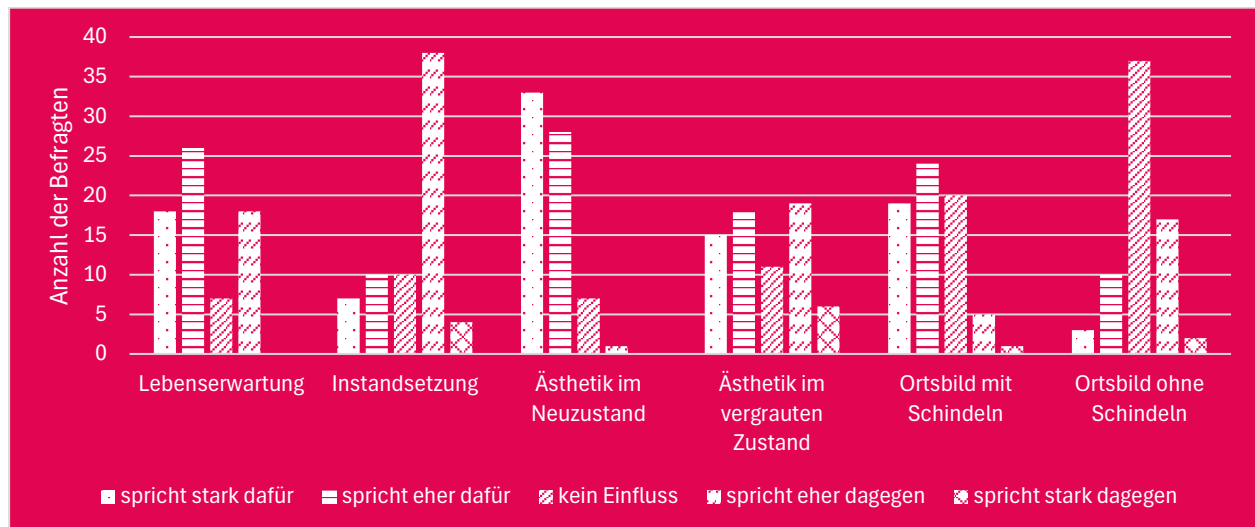


Abb. 45: Bewertung verschiedener Einflussfaktoren auf die Entscheidung für oder gegen eine Holzschindelfassade

Als größtes Hemmnis in der Bauphase werden die Kosten durch Montage und durch die Schindeln selbst bewertet (vgl. Abb. 46). Die zeitliche Verzögerung spielte eine etwas geringere Rolle. Die meisten Befragten, etwa 38 %, gaben an bereit zu sein einen Aufpreis bis zu 10 % gegenüber einer Putzfassade zu zahlen. Etwa 29 % der Befragten wären bereit einen Aufpreis von bis zu 5 % zu zahlen, und etwa 17 % würden bis zu 20 % mehr zahlen. Mehr als 20 % würden jedoch nur 3 % der Befragten zahlen, dagegen würden 12 % keinen Aufpreis zahlen.

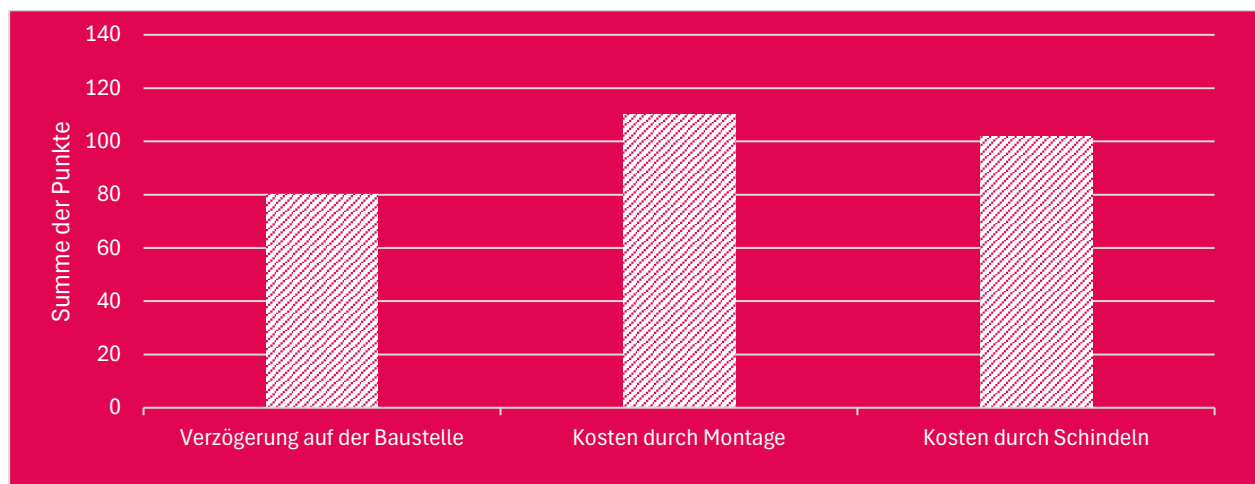


Abb. 46: Bewertung verschiedener Hemmnisse auf die Entscheidung für oder gegen eine Holzschindelfassade

Ein weiteres Hemmnis kann die Verfügbarkeit von Fachpersonal vor Ort sein. Hier wurde sowohl bei Fachpersonal für die Planung als auch für die Ausführung, überwiegend eine geringe Verfügbarkeit vermutet (vgl. Abb. 47 und Abb. 48). Bei fast allen Befragten sind Holzschindeln heute kein Thema im Wohnort: 69 % gaben an, dass sie keine Rolle spielen, 25 % dass sie früher eine Rolle spielten, heute aber nicht mehr. Nur sechs Prozent gaben an, dass Holzschindeln in ihrem Wohnort relevant sind.

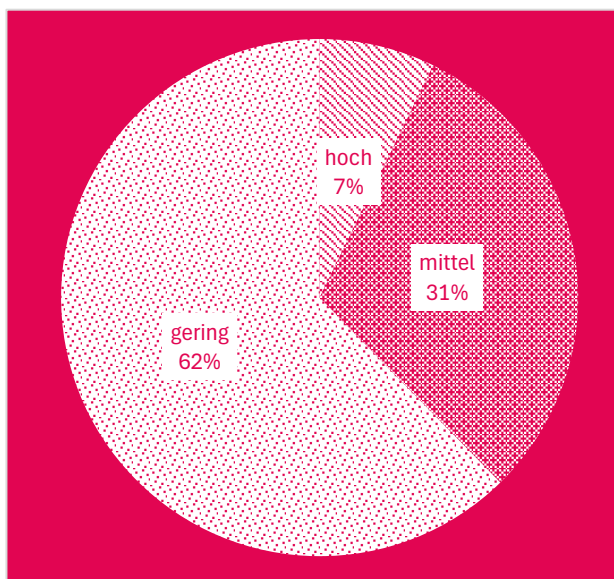


Abb. 47: Einschätzung zur Verfügbarkeit von Fachpersonal in der Planung

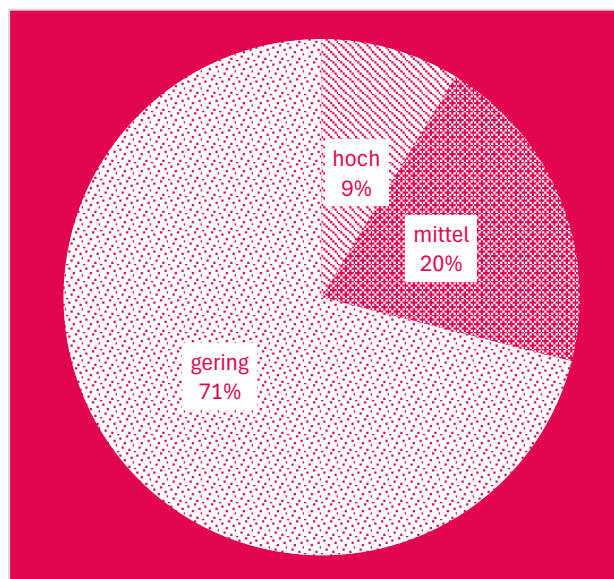


Abb. 48: Einschätzung zur Verfügbarkeit von Fachpersonal in der Ausführung

Um herauszufinden, was eventuelle Vorurteile gegenüber Holzschindeln sein können, wurden die Teilnehmer gefragt, welche Begriffe sie mit Holzschindeln verbinden. Dabei wurden vor allem die Begriffe „traditionell“ und „nachhaltig“ ausgewählt, als „modern“ wurden die Holzschindeln allerdings weniger wahrgenommen. Als Freitextantwort wurde außerdem der Begriff „alpin“ zweimal genannt, sowie die Begriffe „Handwerk“ und „arbeitsaufwendig“ jeweils einmal.

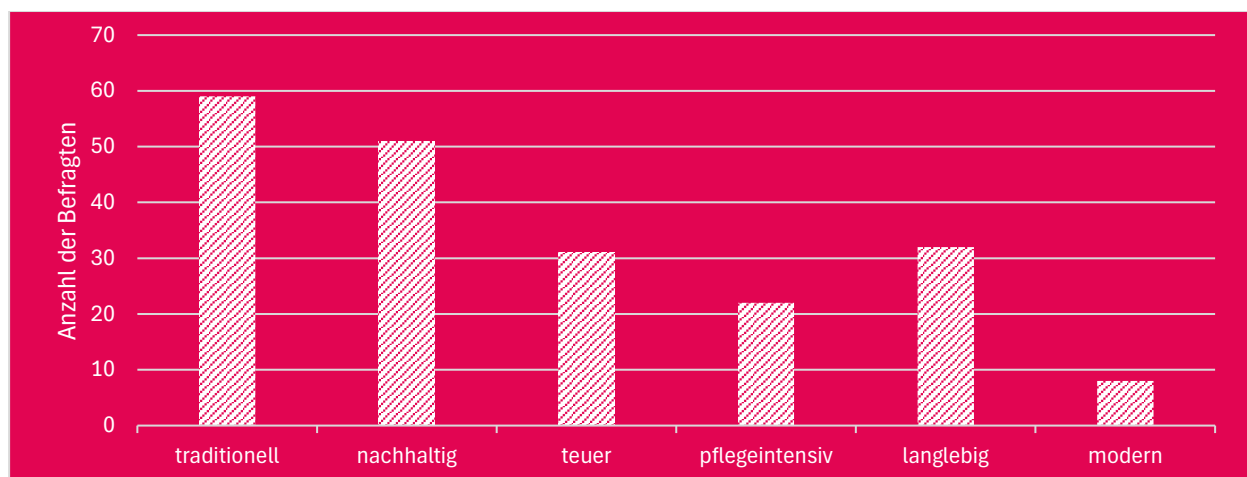


Abb. 49: Begriffe, die die Befragten mit Holzschindeln verbinden

Die Ergebnisse der Umfrage deuten grundsätzlich auf ein bestehendes Interesse an Holzschindelfassaden hin. Gleichzeitig werden jedoch auch bestehende Vorurteile gegenüber dieser Fassadenart sichtbar. Als wesentliches Hemmnis wurde insbesondere der Aufwand für die Instandhaltung identifiziert. Im vorangegangenen Kapitel wurde jedoch deutlich, dass unbehandelte Holzschindeln im Vergleich zu anderen Fassadentypen in dieser Hinsicht potenziell Vorteile bieten. Hinsichtlich der Zahlungsbereitschaft für etwaige Mehrkosten ist zu berücksichtigen, dass die

vorgegebenen Antwortoptionen eine gewisse Suggestivwirkung entfaltet haben könnten und somit die Ergebnisinterpretation einschränken. Die in Kapitel 5.4 berechneten Mehrkosten für die Investition einer Holzschindelmodulfassade gegenüber einer Putzfassade von 36 % würden nach den Ergebnissen der Umfrage maximal 3 % der Befragten zahlen. Die Relevanz der Fassadenkosten über den gesamten Betrachtungszeitraum von 50 Jahren konnte aus der Umfrage nicht abgelesen werden. Weiterhin lässt sich feststellen, dass Holzschindelfassaden von den Befragten überwiegend nicht als moderne, sondern vielmehr als traditionelle Bauweise wahrgenommen werden. Die Entscheidung für eine Holzschindelfassade ist aus gestalterischer Sicht für viele also auch eine Entscheidung für ein traditionelles Erscheinungsbild eines Gebäudes. Durch verschiedene Anschlusslösungen, wie in Kapitel 5.3 angedeutet, ist jedoch eine Vielzahl an Gestaltungsmöglichkeiten umsetzbar. Der in Kapitel 5.5 dargestellte nachhaltige Aspekt der Bauform wurde von den meisten Befragten erkannt. Dies ist vermutlich auf das positive Image von Holz als Baustoff zurückzuführen. Die Ergebnisse der Umfrage legen den Schluss nahe, dass die meisten Hemmnisse bei der Verwendung von Holzschindeln als Fassadebekleidung auf überwiegend widerlegbaren Vorurteilen beruhen. Zu beachten ist hier die Limitierung der Aussagekraft durch die nicht repräsentative Teilnehmerzahl und die geringe regionale Verteilung der Befragten.

7. Diskussion und Ausblick

Die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass eine modulare Vorfertigung von Holzschindelfassaden grundsätzlich umsetzbar ist und das Potenzial besitzt, traditionelle Handwerkstechniken mit modernen Anforderungen an Effizienz, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit zu verbinden. Der erfolgreich realisierte Prototyp konnte hinsichtlich technischer Machbarkeit, optischer Wirkung und einfacher Montage überzeugen. Auch die durchgeführten Lebenszyklusanalysen haben den ökologischen und wirtschaftlichen Vorteil dieser Bauweise im Vergleich zu anderen Fassadentypen verdeutlicht. Gleichzeitig zeigte die Umfrage, dass ein grundsätzliches Interesse an Holzschindelfassaden besteht, jedoch mit Vorbehalten behaftet ist – insbesondere bezüglich Instandhaltung und Investitionskosten. Die zentrale Forschungsfrage, ob die Wirtschaftlichkeit von Holzschindelfassaden durch modulare Vorfertigung gesteigert werden kann, lässt sich auf Basis der Ergebnisse bejahen – wenngleich mit Einschränkungen. Durch die Vorfertigung konnten die Investitionskosten im Vergleich zur klassischen Handmontage gesenkt und näher an das Niveau konventioneller Holzfassaden gebracht werden. In Kombination mit der langen Lebensdauer und dem geringen Wartungsaufwand ergibt sich eine insgesamt günstige Lebenszyklusbilanz. Dennoch sind einzelne Prozesse – insbesondere im Hinblick auf Anschlüsse und Befestigung – noch nicht final optimiert und bedürfen weiterer Entwicklung und Erprobung. Ein zentrales Entwicklungspotenzial liegt in der Automatisierung und maschinellen Vorfertigung der Module. Der Einsatz von CNC-gesteuerten Fertigungsanlagen, automatisierten Nagelsystemen oder Leimrobotern kann die Effizienz deutlich steigern und die Fertigung standardisieren. Gleichzeitig eröffnen digitale Planungsmethoden (z. B. BIM) neue Möglichkeiten zur Integration in industrielle Produktionsprozesse. In Verbindung mit systematisierten Anschlussdetails kann so eine serientaugliche Lösung entstehen, die den handwerklichen Aufwand auf der Baustelle erheblich reduziert und eine breitere Markteinführung ermöglicht. Die ökologischen Vorteile der Holzschindelfassade wurden im Rahmen der Lebenszyklusanalyse klar aufgezeigt. Hervorzuheben ist dabei das Potenzial zur Integration in eine zirkuläre Bauwirtschaft. Durch den Einsatz sortenreiner Befestigungsmethoden, wie beispielsweise Holzdübel, kann die Wiederverwendung der Module in Form einer Kaskadennutzung erheblich erleichtert werden. Zudem bietet die geringe Abmessung einzelner Schindeln die Möglichkeit, Altholz oder Restholz aus anderen Produktionsprozessen zu nutzen. Schadstellen lassen sich gezielt ausschließen, wodurch auch minderwertigeres Ausgangsmaterial verarbeitet werden kann. Eine mögliche Einschränkung in der Materialqualität könnte durch thermische Modifikation des Holzes kompensiert werden, was sowohl die Haltbarkeit als auch die Widerstandsfähigkeit gegenüber Witterungseinflüssen erhöht. Hier muss in weiteren Untersuchungen die richtige Balance aus Ressourceneffizienz, Umweltwirkung und Lebensdauer gefunden werden.

Neben den funktionalen, wirtschaftlichen und ökologischen Aspekten bietet die modulare Holzschindelfassade ein großes gestalterisches Potenzial. Die Ergebnisse der Umfrage ließen Vorurteile gegenüber Holzschindelfassaden erkennen. Auch die serielle Fertigung ist mit Vorurteilen behaftet. Durch verschiedene Anschlusslösungen kann das Erscheinungsbild eines Gebäudes jedoch sehr individuell ausfallen. So lässt sich eine klassische, regional verankerte

Fassadenästhetik mit Elementen wie Fensterläden, Holzlaibungen und großzügigen Dachüberständen umsetzen (vgl. Abb. 50).



Abb. 50: Visualisierung eines fiktiven Einfamilienhauses mit Holzschindelmodulfassade in traditioneller Optik

Gleichzeitig kann durch architektonische Maßnahmen wie innenliegende Regenrinnen, in Eckprofilen integrierte Fallrohre oder Fensterleibungen aus Metall eine moderne Interpretation der Holzschindeloptik entstehen (vgl. Abb. 51).



Abb. 51: Visualisierung eines fiktiven Einfamilienhauses mit Holzschindelmodulfassade in moderner Interpretation

Darüber hinaus bietet der Einsatz im Bereich von Nichtwohngebäuden großes Potenzial (vgl. Abb. 52). Hier können modulare Formate noch mehr als im Einfamilienhausbau gezielt mit dem Fassadenraster abgestimmt werden, wodurch sich nicht nur eine gestalterische Kohärenz, sondern auch eine wirtschaftliche Optimierung erzielen lässt. Die Kombination mit gebäudeintegrierter Photovoltaik (Fassaden-PV) ist ebenfalls möglich und beeinträchtigt das ästhetische Erscheinungsbild nicht.



Abb. 52: Visualisierung eines fiktiven Nichtwohngebäudes mit Holzschindelmodulfassade in Kombination mit Fassaden-PV

Insbesondere im Nichtwohnungsbau besteht bei Investoren ein Interesse an langlebigen, wartungsarmen und wirtschaftlich nachhaltigen Fassadensystemen. Die modulare Holzschindelfassade bietet hier eine zukunftsfähige Lösung, die gestalterische Qualität mit ökologischer Verantwortung und ökonomischer Effizienz verbindet – und damit das Potenzial hat, sich als ernstzunehmende Alternative zu konventionellen Fassadensystemen zu etablieren.

8. Literaturverzeichnis

- Adams, T., Cokcan, B., Zock, P., Annen, H. & Annen, M. (2024). Praktiken der Vorfertigung im Holz- und Fassadenbau. In S. Brell-Çokcan & R. Schmitt (Hrsg.), *IoC - Internet of Construction: Informationsnetzwerke zur unternehmensübergreifenden Kollaboration in den Fertigungsketten des Bauwesens* (S. 17–39). Springer Vieweg.
https://doi.org/10.1007/978-3-658-42544-9_2
- Arbeitsgruppe für Jahrringanalyse und historische Holzverwendung (Hrsg.). (2018a). *Herstellung von hölzernen Schieferschindeln: a guide on producing wooden "Schiefer" shingles* (2018). Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe der Universität für Bodenkultur Wien. Holzverwendung. https://www.youtube.com/channel/UChSiZT0Do-vS_zPygwV2Urw/about
- Arbeitsgruppe für Jahrringanalyse und historische Holzverwendung (Hrsg.). (2018b). *Herstellung von Lärchen Scharschindeln: a guide on producing larch wood "Schar" shingles* (2018). Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe der Universität für Bodenkultur Wien. Holzverwendung. https://www.youtube.com/channel/UChSiZT0Do-vS_zPygwV2Urw/about
- BBSR (Hrsg.). (2017). *Nutzungsdauern von Bauteilen: Informationsportal Nachhaltiges Bauen*. <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/nutzungsdauern-von-bauteilen/>
- BBSR (Hrsg.). (2020). *Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland: Kurzstudie zu sektörübergreifenden Wirkungen des Handlungsfelds „Errichtung und Nutzung von Hochbauten“ auf Klima und Umwelt*. <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/bbsr-online/2020/bbsr-online-17-2020.html>
- best wood SCHNEIDER. (2025). *TOP 140: Druckfest und bewitterbar*. <https://www.schneider-holz.com/de/produkte/daemmung/aufsparrendaemmung/top-140/>
- BKI (Hrsg.). (2024). *BKI Kostenplanung. BKI Baukosten 2024 Neubau: Statistische Kostenkennwerte für Positionen*. Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern.
- BMAS. (2015). *Lastenhandhabung: Webseite des Bundesministerium für Arbeit und Soziales*. <https://www.bmas.de/DE/Arbeit/Arbeitsschutz/Gesundheit-am-Arbeitsplatz/Lastenhandhabung/lastenhandhabung.html>
- Bounin, K., Eckhard, M., Hammerl, D., Krämer, G., Letsch, B., Nutsch, T., Nutsch, W., Schlatter, K., Siebert, D. & Willgerodt, F. (2013). *Holztechnik Fachkunde* (23. Aufl.). *Europa-Fachbuchreihe für Holztechnik*. Europa-Lehrmittel. <https://doi.org/40117>
- Bundesministerium der Finanzen (Hrsg.). (2023). *Personalkosten, Sachkosten und Kalkulationszinssätze in der Bundesverwaltung für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen und Kostenberechnungen 2023*. https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Oeffentliche_Finzen/Bundeshaushalt/personalkosten-sachkosten.html
- Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (Hrsg.). (2019). *Leitfaden Nachhaltiges Bauen: Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden*. https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Leitfaden_2019/BBSR_LFNB_D_190125.pdf
- Deutsche Bundesbank (Hrsg.). (2025). *Tägliche Zinsstruktur für börsennotierte Bundeswertpapiere*.

- <https://www.bundesbank.de/re-source/blob/650724/9ce877867c8ac0d81a896d3213bc5834/472B63F073F071307366337C94F8C870/zsbwp-data.pdf>
- deutsches Institut für Normung (2016). *Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten - Prüfung und Klassifizierung der Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten gegen biologischen Angriff (DIN EN 350:2016-12)*.
- deutsches Institut für Normung (2019). *Holzschindeln (DIN 68119:2019-04)*.
- Dreier, J. M. (2007). *Haltdalen Stave Church from around 1170* [Fotographie]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Haltdalen_stavkirke.jpg
- Eichmann, G. (2022). *Zentrum des Nationalparks Schwarzwald auf dem Ruhestein* [Fotographie]. <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Ruhestein-Nationalparkzentrum-04-2022-gje.jpg>
- Endres, E. (2019). Der Ursprung des Rechtskonzepts der Nachhaltigkeit in der Forst- und Landwirtschaft. In X. Fang, J. Martínez & X. Qi (Hrsg.), *Schriften zum Agrar-, Umwelt- und Verbraucherschutzrecht: Bd. 83. Nachhaltigkeit und Landwirtschaft in China und Deutschland: Eine rechtsvergleichende Perspektive* (1. Auflage). Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG. <https://doi.org/10.5771/9783748902294>
- Grabes, P., Scheiding, W. & Urban, H. (Hrsg.). (2021). *Holzschutz: Holzkunde - Pilze und Insekten - konstruktive und chemische Maßnahmen - technische Regeln - Praxiswissen*. Bau-lich-konstruktiver Holzschutz (3., überarbeitete und erweiterte Auflage). Hanser. <https://doi.org/10.3139/9783446470446>
- Grabner, M., Nemestothy, S. & Wächter, E. (2022). Wooden Roofing: Split Shingles versus Sawn Boards. *International Journal of Wood Culture*(1-3), 19–37. <https://doi.org/10.1163/27723194-bja10002>
- Grabner, M., Wächter, E., Nicolussi, K., Bolka, M., Sormaz, T., Steier, P., Wild, E. M., Barth, F. E., Kern, A., Rudorfer, J., Kowarik, K., Stöllner, T. & Reschreiter, H. (2021). Prehistoric salt mining in Hallstatt, Austria. New chronologies out of small wooden fragments. *Dendrochronologia*, 66, Artikel 125814. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2021.125814>
- Güntzel, J. G. & Zurheide, E. (1986). *Holzschindeln: Geschichte, Herstellung, Anwendung*. Ökobuch.
- GUTEX. (2025). *Gutex Ultratherm Unterdeckplatte: Regensichere Unterdeckplatte für Dach und Wand*. <https://www.gutex.de/produkte-systeme/daemmstoffe/gutex-ultratherm~p95>
- Hasanagić, R., Fathi, L., Hodžić, A. & Bahmani, M. (2023). Physical and mechanical changes in thermal modified wood: A review. *Zastita materijala*, 64(3), 314–326. <https://doi.org/10.5937/zasmat2303314H>
- Hestermann, U., Neumann, D., Rongen, L. & Weinbrenner, U. (2002). Außenwandbekleidungen. In U. Hestermann, D. Neumann, L. Rongen & U. Weinbrenner (Hrsg.), *Springer e-Book Collection Computer Science and Engineering. Frick/Knöll Baukonstruktionslehre 1* (33., vollständig überarbeitete Auflage, S. 255–282). Vieweg+Teubner Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-322-96820-3_8
- Humar, M., Kržišnik, D., Lesar, B., Thaler, N., Ugovšek, A., Zupančič, K. & Žlahtič, M. (2017). Thermal modification of wax-impregnated wood to enhance its physical, mechanical, and biological properties. *Holzforschung*, 71(1), 57–64. <https://doi.org/10.1515/hf-2016-0063>

- Humar, M., Lesar, B. & Kržišnik, D. (2023). Moisture performance of various wooden shingles designs tested on the Golobar cable yarding. *Wood Material Science & Engineering*, 18(6), 1912–1921. <https://doi.org/10.1080/17480272.2023.2199714>
- Huß, W. (2021). Produktion. In H. Kaufmann, S. Krötsch & S. Winter (Hrsg.), *DETAIL Construction Manuals. Atlas mehrgeschossiger Holzbau: Produktion* (3. Auflage, überarbeitet und erweitert). Edition DETAIL. <https://doi.org/10.11129/9783955535575>
- Huß, W., Geier, S., Lattke, F., Stieglmeier, M. & Schuster, S. (2021). Planung. In H. Kaufmann, S. Krötsch & S. Winter (Hrsg.), *DETAIL Construction Manuals. Atlas mehrgeschossiger Holzbau: Produktion* (3. Auflage, überarbeitet und erweitert). Edition DETAIL. <https://doi.org/10.11129/9783955535575>
- Lehmann, G. (2022). *Die effektive Befragung: Ein Ratgeber für die Datenerhebung in der beruflichen und wissenschaftlichen Arbeit* (3., überarbeitete und erweiterte Auflage). UTB Schlüsselkompetenzen: Bd. 5993. expert Verlag. <https://doi.org/10.36198/9783838559933>
- naturheld. (2025). *Produkte - naturheld Holzfaserdämmung*. <https://www.naturheld.global/produkte/#nh140>
- Niemann, A. (2021). Vollholzprodukte und Holzwerkstoffe. In H. Kaufmann, S. Krötsch & S. Winter (Hrsg.), *DETAIL Construction Manuals. Atlas mehrgeschossiger Holzbau: Produktion* (3. Auflage, überarbeitet und erweitert). Edition DETAIL. <https://doi.org/10.11129/9783955535575>
- ÖKOBAUDAT. (2023). *Prozess-Datensatz: Thermisch behandeltes Holz (1 m³, 409 kg/m³)*. Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuid=ee8691c4-00f9-4724-bb79-8043c62ce41e&version=20.24.070&stock=OBD_2024_I&lang=de
- Palkó, I. & Imre, G. (2021). *Zsindelykészítés | Nutschindel - Herstellung | Tongue and groove shingle production*. Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe der Universität für Bodenkultur Wien. Holzverwendung. <https://www.youtube.com/watch?v=Ru-IGx4zsHKk>
- Pavatex. (2025). *Unsere Produkte im Detail: ISOLAIR*. <https://www.pavatex.de/produkte/detailansicht/produkt/isolair.html>
- Policinska-Serwa, A., Jakimowicz, M. & Kuczyński, K. (2014a). Wood shingles in contemporary construction - how shall their utility be assessed? Part 2. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Forestry and Wood Technology*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Wood-shingles-in-contemporary-construction-how-be-2-Policinska-Serwa-Jakimowicz/49df2e908454154e734aae51f73efa6340a2fe6d#cited-papers>
- Policinska-Serwa, A., Jakimowicz, M. & Kuczyński, K. (2014b). Wood shingles in contemporary construction. Part 1-Properties of shingles. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Forestry and Wood Technology*. <https://bibliotekanauki.pl/articles/9017.pdf>
- Statista. (2024a). *Quote der genehmigten Nichtwohngebäude in Holzbauweise in Deutschland bis 2023 | Statista*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/456657/umfrage/quote-der-genehmigten-nichtwohngebäude-in-holzbauweise/>
- Statista. (2024b). *Quote der genehmigten Wohngebäude in Holzbauweise in Deutschland bis 2023 | Statista*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/456639/umfrage/quote-der-genehmigten-wohngebäude-in-holzbauweise-in-deutschland/>

- Statistisches Bundesamt (Hrsg.). (2025). *Baupreisindizes: Neubau (konventionelle Bauart) von Wohn- und Nichtwohngebäuden einschließlich Umsatzsteuer Veränderungsraten zum Vorjahresquartal in %*. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Konjunkturindikatoren/Preise/bpr110j.html#fussnote-1-241650>
- Steico. (2025). *STEICOuniversal: Unterdeck- und Wandbauplatte*. <https://www.steico.com/de/produkte/daemmung/daemmsysteme-hinterlueftete-fassade/geschlossene-fassade-holzrahmenbau/steicouniversal>
- Umweltbundesamt. (2024). *Abfallaufkommen*. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/abfallaufkommen#bau-abbruch-gewerbe-und-bergbauabfalle>
- Urs Leuzinger (2000). Die jungsteinzeitliche Seeufersiedlung Arbon-Bleiche 3. Befunde. *Archäologie im Thurgau*. https://www.academia.edu/31166394/Die_jungsteinzeitliche_Seeufersiedlung_Arbon_Bleiche_3_Befunde
- Winter, S. & Peter, M. (Hrsg.). (2021). *Holzbau-Taschenbuch: Grundlagen* (10. Auflage). Wilhelm Ernst & Sohn Verlag. <https://doi.org/10.1002/9783433608500>
- Winter, W. (2003). Vorfertigung und Montage. In T. Herzog (Hrsg.), *Edition Detail. Holzbau-Atlas* (4. Aufl., neu bearb.). Institut für Internationale Architektur-Dokumentation. <https://doi.org/10.11129/detail.9783034614580>
- ZVDH. (1999). Regeln für Außenwandbekleidungen mit Holzschindeln. In *Deutsches Dachdeckerhandwerk: Regeln für Außenwandbekleidungen* (Stand: September 1999). Müller.
- ZVDH. (2025). *Regelübersicht | Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks*. <https://dachdecker.org/betriebsinhaber/regeluebersicht/>

Anhang A Bewertungsmatrix zu den Prototypvarianten

	Gewichtung		Modul V1.1		Modul V1.2		Modul V2.1		Modul V2.2		Modul V2.3	
	Faktor	Erläuterung	Pkt	Erläuterung	Pkt	Erläuterung	Pkt	Erläuterung	Pkt	Erläuterung	Pkt	Erläuterung
Herstellung	0,4	eine effiziente Herstellung ermöglicht einen günstigen Preis des Produkts	1,84		1,68		0,88		1,80		1,24	
Zeitaufwand	0,12	entscheidende Kostenfaktoren	5	Verbindung erfolgt durch fertige Rombuslatte	5	Verbindung erfolgt durch Aufsägen eines Nut- und Feder-Brettes	1	Aufwändige Befestigungsebene, Zusatzaufwand durch Dämmung	4	Zusatzaufwand durch Dämmung, dafür keine Befestigungslatte	2	Zusatzaufwand durch Dämmung, Herstellen der Befestigungsebene
Materialaufwand	0,12		4	nur Lattung	4	nur Lattung	3	dickere Kantkölzer	5	Keine Lattung nötig	4	Hinterlüftung nur aus Klötzen, dafür Befestigungslatte
Maschinenaufwand	0,12		5	Kappsäge und Handwerkzeug	4	zusätzlich Tischkreissäge	2	zusätzlich Fräse mit spez. Fräskopf	5	Kappsäge und Handwerkzeug	3	zusätzlich Fräse oder Tischkreissäge
Transportierbarkeit	0,04	durch Logistik lösbar	4	evtl. unterste Schindelreihe problematisch	3	Federverbindung und unterste Schindelreihe	4	evtl. unterste Schindelreihe problematisch	3	Feder der Dämmung und unterste Schindelreihe	4	Stabilisierung der untersten Reihe, dafür Feder der Dämmung

Montage	0,4	eine effiziente Montage ermöglicht einen günstigen Preis beim Kunden und beugt Fehlern vor	1,12		1,52		1,52		1,36		1,76	
Zeitaufwand	0,24	entscheidender Kostenfaktor	2	Quellverhalten der Befestigungslatte kann zu Passungenauigkeit führen, nur drei Funktionsebenen	3	gute Passfähigkeit, aber nur drei Funktionsebenen	5	gute Passfähigkeit, fünf Funktionsebenen	3	Quellverhalten der Hinterlüftungslatte kann zu Passungenauigkeit führen, Distanzklötze nötig, fünf Funktionsebenen	4	gute Passfähigkeit, fünf Funktionsebenen, Distanzklötze nötig
Fehleranfälligkeit	0,16	beugt Fehlern vor, fordert geringere Qualifikation der Monteure	4	Fugenbild kann durch Verklemmen der Befestigung leicht abweichen	5	gute Passfähigkeit	2	Fugenbild kann durch Verklemmen der Befestigung leicht abweichen, Winddichtigkeit dann nicht gewährleistet	4	evtl. Verklemmen der Hinterlüftungslatte, kann aber seitlich nachgeprüft werden	5	Stoß auf der Dämmung, Führung durch horizontales Profil

Nutzung	0,1	Erfüllung der Funktionen (bei fachgerechter Montage)	0,40		0,40		0,20		0,50		0,50	
			4	evtl. Ansammeln von Wasser bei starkem Niederschlag zwischen Befestigungslatte und Wand	4	evtl. Ansammeln von Wasser bei starkem Niederschlag zwischen Befestigungslatte und Wand	2	Quellverhalten kann im Nachhinein zu Windundichtigkeiten der Stöße führen	5	bei fachgerechter Montage keine Einschränkungen der Funktionen zu erwarten	5	bei fachgerechter Montage keine Einschränkungen der Funktionen zu erwarten

Entsorgung	0,1	alle Varianten haben Holz als Hauptwerkstoff	0,50		0,50		0,40		0,40		0,30	
			5	Hinterlüftungslattung kann wiederverwendet werden	5	Hinterlüftungslattung kann wiederverwendet werden	4	Hinterlüftungslattung kann wiederverwendet werden, Dämmung muss getrennt werden	4	Hinterlüftungslattung kann wiederverwendet werden, Dämmung muss getrennt werden	3	Hinterlüftungslattung kann nicht wiederverwendet werden, Dämmung muss getrennt werden

Ergebnis	3,86		4,10		3,00		4,06		3,80	
----------	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--

Anhang B Produktdatenblatt Schindelelemente



Schindeln
PROFIL: S2-E (SCHINDEL-ELEMENT)

Durch die einzigartige Oberfläche und lebendige Textur der Thermory-Esche Schindeln wird ihr Innen- und Außendesign in eine trendige Wandverkleidung verwandelt. Die Thermory-Esche hat eine Haltbarkeit der Klasse 1 und bietet eine höhere Dimensionsstabilität im Vergleich zu unbehandelten Hölzern. Das Thermory PaC-System® für Schindel-Elemente bietet einen Blickfang und eine einfachste mögliche Installation. Die Schindel-Elemente können einfach auf das PaC-System® geklickt werden. Dies verkürzt die Montagezeit erheblich, sorgt gleichzeitig für eine ausreichende Hinterlüftung und erhöht die Dauerhaftigkeit der Fassade.

VERANTWORTUNGSBEWUSSTSEIN

- Chemiefreies, rein thermisches Modifizierungsverfahren
- Holz stammt aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern
- Kein Tropenholz
- Keine Kunststoffbeimischungen
- Kein Problemstoff bei der Entsorgung
- Keine giftigen Abfallstoffe

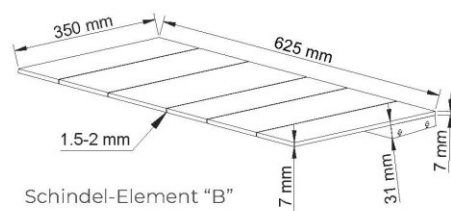
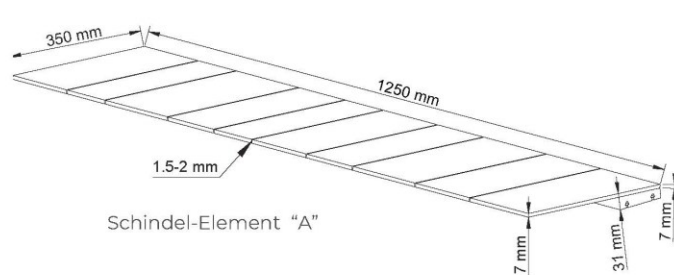
FARBE & AUSSEHEN

- Thermory-Esche hat eine satte braune Farbe über den gesamten Querschnitt
- Farbe verändert sich im Laufe der Zeit in Abhängigkeit von Bewitterungsintensität, Höhenlage und Ausrichtung in verschiedene Grautöne
- Farbe kann bei regelmäßiger Anwendung pigmentierter Öle erhalten bleiben
- Farbabweichungen (-varianten) sind natürlich



ALLGEMEINE ANGABEN:

STÄRKE DER ELEMENTE:	31 mm
BREITE DER ELEMENTE:	350 mm
LÄNGE ELEMENT "A":	1250 mm
LÄNGE ELEMENT "B":	625 mm
PAKETGRÖSSE:	ca. 48 m ² (ca. 24m ² für halbe Abdeckung)
SCHINDEL-CLAD UNTERKONSTRUKTION:	2 m lang; 22 JuAn®-Clips pro Element

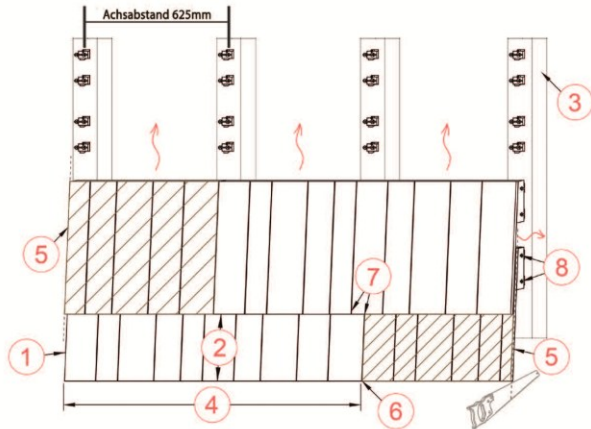


INSTALLATION:

Die Schindel-Elemente werden mit dem PaC-System® kombiniert. Die Schindel-CLAD Unterkonstruktion mit 22 vormontierten JuAn®-Clips wird an der Wand befestigt, so dass die Schindel-Elemente leicht eingeklickt werden können.

Hinterlüftung: Hinter den Schindeln muss eine ausreichende Luftzirkulation gewährleistet sein, um die Dauerhaftigkeit und Dimensionsstabilität der Schindeln sicher zu stellen. Die Unterkonstruktions-Leiste welche für die Schindel-Clad Unterkonstruktion verwendet wird, besteht aus Thermory-Kiefer und ist schräg geschnitten, damit die Feuchtigkeit abfließen kann.

1. Die Installation soll stets von der unteren linken Ecke nach oben durchgeführt werden.
2. Berechnung der Anzahl der benötigten Schindel-Elemente:
 - a.) messen Sie die abzudeckende Fläche aus
 - b.) Teilen Sie diese durch 0,5; dies entspricht der 50% Abdeckung die die Schindel-Elemente mit sich bringen.
3. Installieren Sie die Schindel-CLAD Unterkonstruktion vertikal. Verwenden Sie hierzu Setzlatte und/oder Richtschnur um eine waagrechte Ausrichtung zu bekommen. Die Unterkonstruktion muss mit einem Achsabstand von 625 mm installiert werden.
4. Die erste Reihe beginnt mit einem langen Schindel-Element "A" und kann komplett mit diesem Element weiter verlegt werden.
5. Die zweite Reihe beginnt mit dem Schindel-Element "B". Danach kommt auch in der zweiten Reihe ausschließlich das Element "A" zum Einsatz. Die dritte Reihe besteht wieder ausschließlich aus Elementen des Typs "A". Alternativ kann auf den Einsatz des Typs "B" vollständig verzichtet werden wenn Typ "A" mittig durchtrennt wird. Der rechte Teil des Elementes ist jeweils das Anfangsstück jeder geraden Reihe (2./4./6. etc.), während das linke Teil des Elementes immer am Ende jeder ungeraden Reihe (1./3./5. etc.) steht.
6. Zwischen den Schindel-Elementen soll ein Abstand von 1,5-2mm eingehalten werden, damit das Material auch bei nasser Witterung genug Platz hat für den Quell-/Schwund-Vorgang.
7. Bei korrekter Vorgehensweise gibt es niemals vertikale Fugen über zwei oder mehrere Reihen. Die Reihen verdecken die Fugen der jeweils darunterliegenden Reihe.
8. Die Schindelelemente werden einfach in die Clips der Schindel-CLAD Unterkonstruktion aufgeklickt.

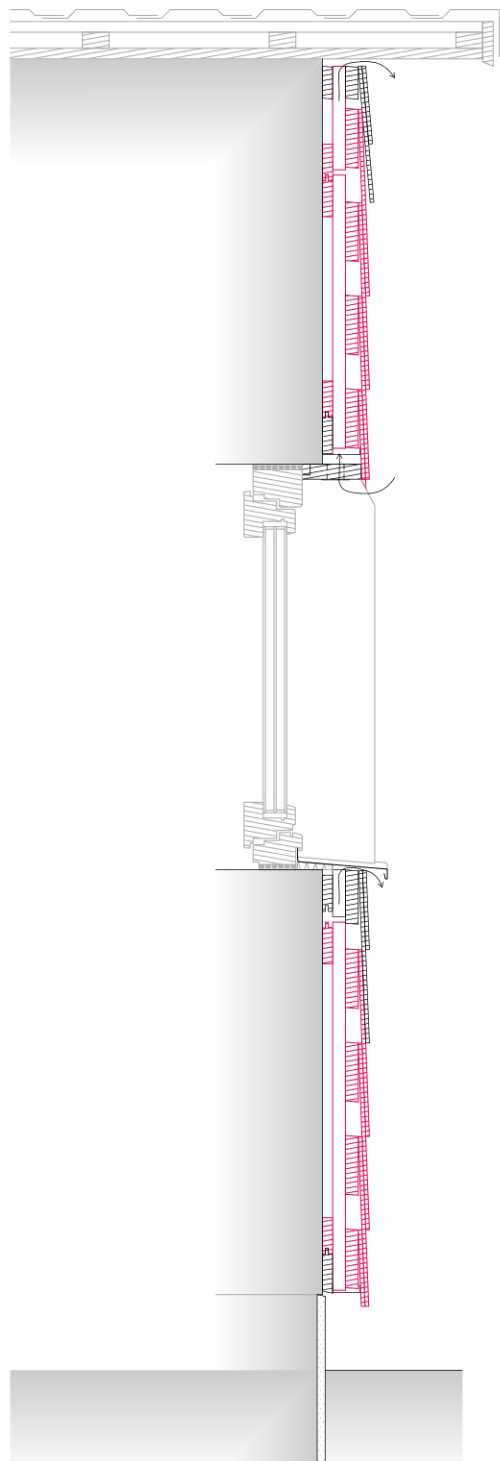


Die oben genannten Informationen sind nicht dazu bestimmt lokale Vorschriften zu ersetzen.

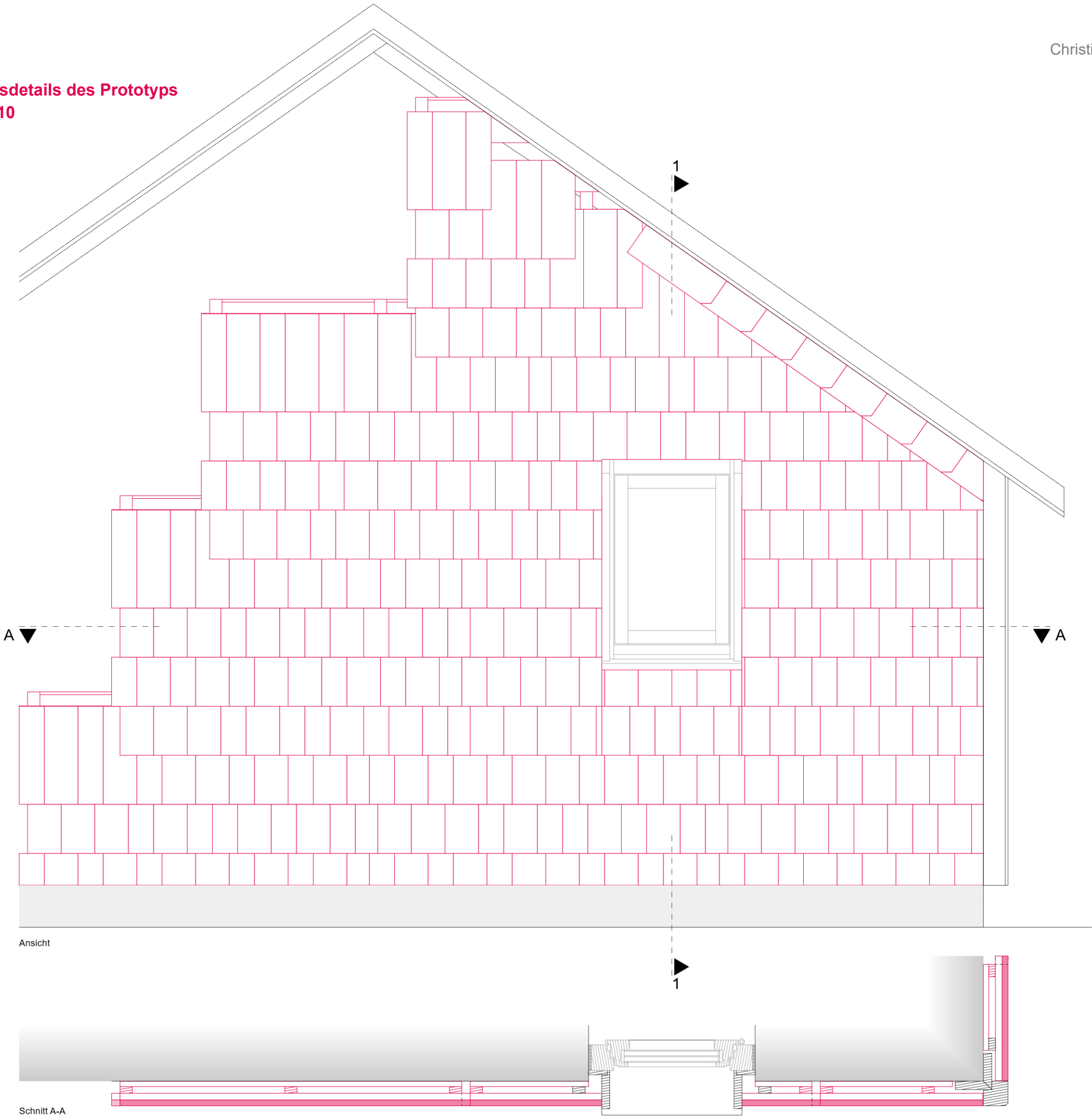


SWERO GMBH & CO. KG
Hiltensweiler 4/2
88239 Wangen im Allgäu
Fon: 07528/975388 / Fax: 07528/975389
Mail: info@swero.de / WEB: www.swero.de

Anhang C Dreitafelbild der Anschlussdetails des Prototyps mit Holzanschlüssen, M1:10



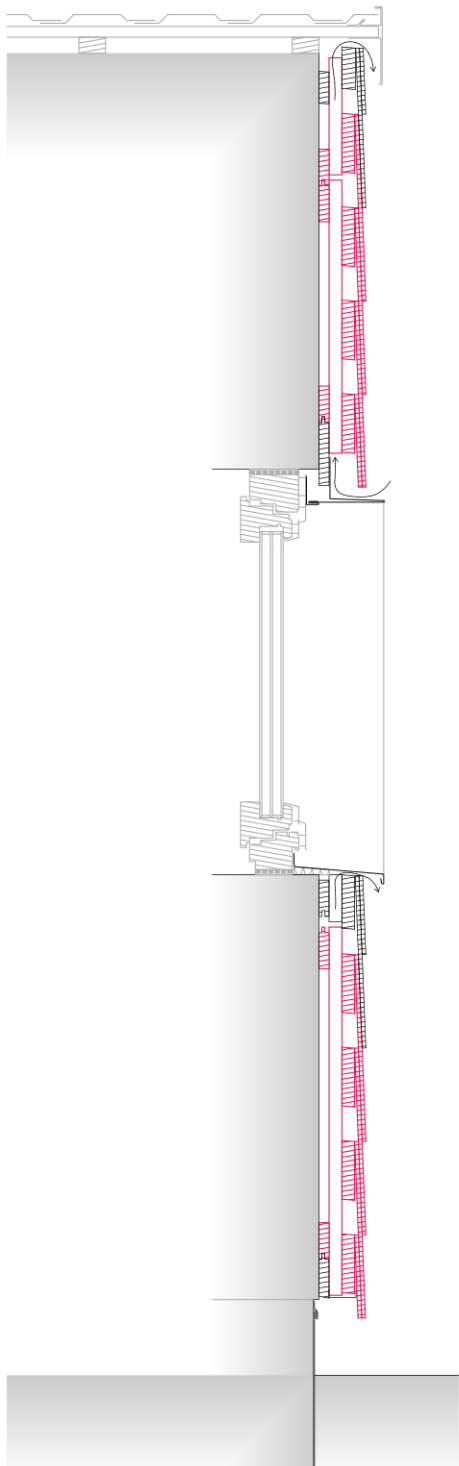
Schnitt 1-1



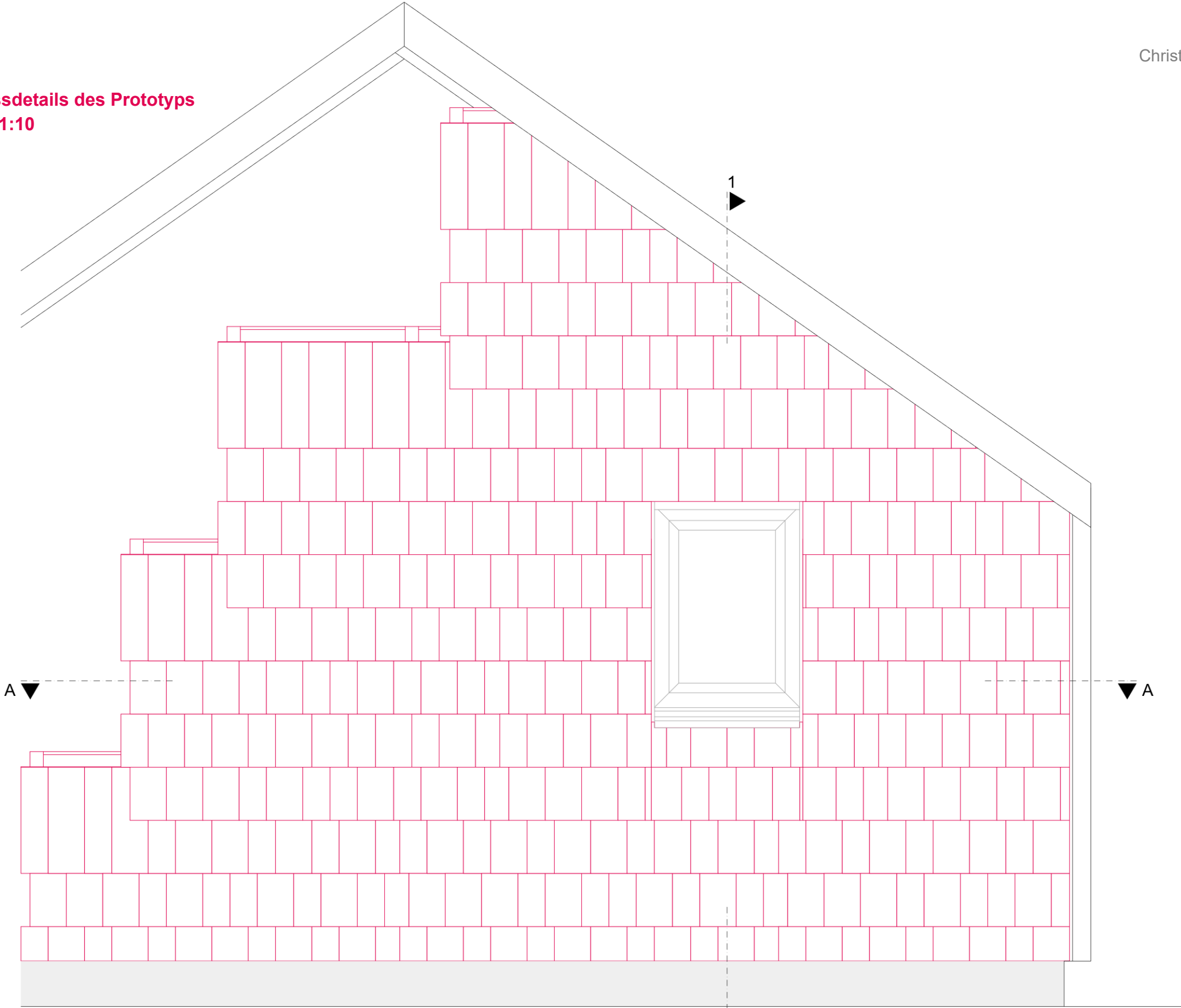
Ansicht

Schnitt A-A

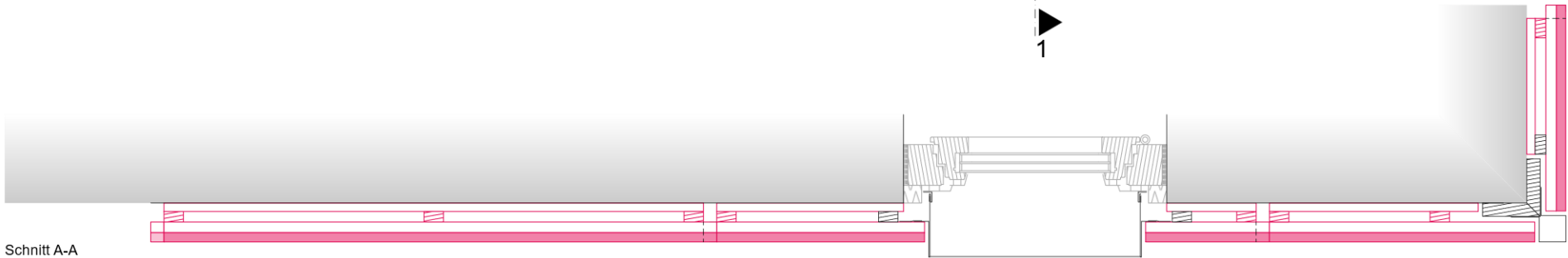
Anhang D Dreitafelbild der Anschlussdetails des Prototyps mit Blechanschlüssen, M 1:10



Schnitt 1-1



Ansicht



Schnitt A-A

Anlagenverzeichnis

Folgende Anlagen wurden der Arbeit in digitaler Form beigelegt:

Anlage 1: Berechnung der Lebenszykluskosten und der Ökobilanz des Beispielgebäudes

Bezeichnung: M13-Christian Fickler-Anlage1-LCC und LCA.xlsx

Beschreibung: Die Datei enthält Berechnungen zur Geometrie des betrachteten Referenzgebäudes, sowie zu den Lebenszykluskosten und der Lebenszyklusanalyse, die auf den Geometrien beruhen. Die Datengrundlage zur Berechnung der LCA kann in Anlage 2 eingesehen werden.

Anlage 2: Datengrundlage zur Lebenszyklusanalyse

Bezeichnung: M13-Christian Fickler-Anlage2-Datengrundlage LCA.pdf

Beschreibung: Die Datengrundlagen zur Lebenszyklusanalyse wurden als Screenshots der Internet-Software eLCA in einem PDF-Dokument zusammengefügt.

Anlage 3: Auswertung der Umfrage

Bezeichnung: M13-Christian Fickler-Anlage 3-Auswertung der Umfrage.xlsx

Beschreibung: Die Anlage enthält sowohl die Rohdaten der Umfrageergebnisse aus dem online-Tool „empirio“, sowie deren Aufbereitung und Auswertung.