

Löffler_Schmeling Architekten PartGmbB

**Entwicklung eines neuen nachhaltigen Holzbausystems
aus Sengon-Leichtholz für subtropische Klimazonen
am Beispiel Borneo (Indonesien)**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter den **AZ 35144/01** und **AZ 35144/02**
von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Prof. Dipl.-Ing. Andreas Löffler

M.Sc. Alina Koger

Dr.-Ing. Marcus Flaig


Dipl.-Ing. Michael Steilner

B.A.Sc. Dustin Fleck

Dipl. Ingⁱⁿ Kristina Loike

Karlsruhe, Dezember 2022

PROJEKTKENNBLETT

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	35144	Referat	25	Fördersumme	144.373 €
Antragstitel		Entwicklung eines neuen nachhaltigen Holzbausystems aus Sengon-Leichtholz für subtropische Klimazonen am Beispiel Borneo (Indonesien)			
Stichworte		Wiederaufforstung, Bausystem, Pilotprojekt, nachwachsende Ressourcen, Holzbau, Leichtholz, Sengon, Plattenwerkstoff, Mehrschichtplatten, Leimholz			
Laufzeit		Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)	
3 Jahre und 4 Monate		24.06.2019	23.10.2022	1	
Zwischenberichte		20.12.2019	13.07.2020	03.03.2022	
Bewilligungsempfänger		Löffler_ Schmelting Architekten PartGmbH klimagerechte Architektur Prof. Dipl.-Ing. Andreas Löffler		Tel 0721 - 47000999	
		Waldstraße 58 76133 Karlsruhe		Projektleitung Prof. Dipl.-Ing. Andreas Löffler M.Sc. Alina Koger	
				Bearbeiter Prof. Dipl.-Ing. Andreas Löffler Dipl.-Ing. Matthias Schmelting M.Sc. Alina Koger	
Kooperationspartner		Fairventures Social Forestry GmbH Johannes Schwegler, Robert Bürmann Blaß & Eberhart Ingenieurbüro GmbH (BE Ingenieure GmbH) Dr.-Ing. Marcus Flaig Transsolar Energietechnik GmbH Prof. Volkmar Bleicher Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Holzbau und Baukonstruktionen Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Blaß			
Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens					
<p>In Kalimantan, auf Borneo (Indonesien) werden, wie in vielen anderen subtropischen Regionen der Erde, in großem Stil Urwälder abgeholzt. Häufig müssen diese Wälder für Palmölplantagen weichen. Die katastrophalen Auswirkungen, sowohl auf das Ökosystem, Flora wie Fauna gleichermaßen, als auch auf die Sozialstruktur und Lebensbedingungen der ansässigen indigenen Bevölkerungsgruppen, erfordern ein Umdenken.</p> <p>Die Nichtregierungsorganisation Fairventures Worldwide (FvW) hat es sich zur Aufgabe gemacht, abgeholzte Flächen wieder aufzuforsten. Innerhalb deren Programm wird für und mit der ansässigen Bevölkerung und lokalen Bauern schnell wachsendes Leichtholz angepflanzt. Besonders ergiebig sind Sengonbäume, die bereits nach ca. sieben Jahren einen Umfang von 90cm erreichen. Das Leichtholz kann somit regelmäßig geerntet und in lokalen Firmen zu Brettern geschnitten werden, die wiederum zu Mehrschicht- oder Leimholzplatten verarbeitet werden. Aktuell werden diese Produkte größtenteils im Möbelbau oder zur Inneneinrichtung verwendet.</p> <p>Das Ziel des Vorhabens war es, den Defiziten der aktuell verbreiteten Bauweise mit klima- und ressourcenschonendem Bauen zu begegnen. Dazu wird der Anwendungszweck von Leichtholz erweitert, so dass es auch im Hochbau eingesetzt werden kann. Die Leichtholzplatten werden Ausgangsprodukt für die Errichtung von Gebäuden, um Potentiale aufzuweisen und zur Verbesserung der Ressourceneffizienz im Bauwesen beizutragen.</p>					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bormau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de					

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die Leichtholzplatten aus Sengon, die das Ausgangsprodukt des Projekts darstellten, galt es zu Beginn auf deren Materialkennwerte am Karlsruhe am Institut für Technologie (KIT) zu prüfen. Es wurde von Löffler_Schmeling Architekten ein Grundsystem geplant, das aus statisch wirksamen Rahmen aus Holz besteht, um das eine nichttragende Hülle und Dach gezogen werden. Nach Ermittlung der Materialkenn-daten wurden von Blaß & Eberhart Ingenieuren geeignete Dimensionen und Verbindungsmittel festgelegt. Auf den ersten Entwurf des Systems und die Materialprüfung der Platten, folgte die Fertigung von Elementen nach erarbeiteten Plänen für einen Musteraufbau am KIT, der dann Belastungstests ausgesetzt werden konnte und Erkenntnisse zur Montage und Dimensionierung brachte. Diese Erkenntnisse erlaubten material- und kostensparende Optimierungen. Es folgte die Detailentwicklung des Bausystems durch Erstellen von Leitdetails, das Lösen der Anschlüsse und das Klären von bautechnischen und konstruktiven Aspekten des Systems. Hierbei wurde mit dem Kooperationspartner Transsolar Energietechnik GmbH an einem Klima- und Versorgungskonzept gearbeitet, das den innovativen Aspekten einer passiven Klimatisierung entspricht. Werkpläne sowohl von Architektenseite, als auch vom Ingenieurbüro und in Kooperation mit den Werkstoff- und Bauteilproduzenten vor Ort wurden angefertigt und ermöglichten die Umsetzung eines Pilotprojekts. Auch nach dem Förderzeitraum soll das Pilotprojekt überwacht und begleitet werden und diese Ergebnisse in künftige Weiterentwicklungen einfließen.

Ergebnisse und Diskussion

An einem Pilotprojekt in Indonesien wurde das Holzbausystem erprobt. Ausgewählter Standort für das Reallabor war zu Beginn des Projekts das Areal der Aufzuchtstation in Gunung Mas, Kalimantan. Nach Planung, Testaufbau in Deutschland und Kooperation und Austausch mit Partnern vor Ort, ergab sich die einmalige Gelegenheit, das Pilotprojekt auf dem Grundstück des Forstministeriums in Palangka Raya aufzubauen und damit mehr Aufmerksamkeit zu erlangen und die innovative Bauidee durch das Musterprojekt an die zum Teil sehr prominenten Multiplikatoren zu bringen.

Es fiel zudem die Entscheidung, die Rahmenkonstruktion aus Leimholz herzustellen, statt aus Holz-furnierplatten. Grund dafür war die Verfügbarkeit und leichtere Handhabung von Jarbonholz, ebenfalls ein lokal angebautes Leichtholz aus der Wiederaufforstung. In diesem Schritt sind wir außerdem auf eine Zangenkonstruktion umgestiegen, die den Aufbau - im Vergleich zum Musteraufbau am KIT - deutlich vereinfacht. Durch diese Veränderung konnten wir im Rahmen des Projekts gleich mehrfache Verwendungsmöglichkeiten von Leichtholz abbilden (Plattenwerkstoffen und Leimholz).

Um auf kostengünstigere Platten in Indonesien zurückgreifen zu können, wurden die Plattendimensionen der Fassade angepasst. Die Plattenstärke von 40 mm wurde auf 36 mm reduziert, was die Beschaffung einfacher und kostengünstiger machte. Bei Weiterentwicklung besteht hier Potential zu Optimierung.

Der Standortwechsel des Pilotprojekts, sowie spätes Anpassen der Tragkonstruktion und Werkstoffmaße haben dem Projekt nicht geschadet, im Gegenteil: Durch das Einbeziehen von lokalem Know-how und die Konsultation lokaler Experten war das Ergebnis erfolgreich und erhielt Anerkennung vor Ort. Insbesondere die Entscheidung, Brettschichtholzträger anstelle von Sperrholzträgern zu verwenden, führte zu erheblichen Kosten- und Zeiteinsparungen bei der Herstellung und Montage. Es ist ein Zeichen von Qualität und Robustheit, dass unser Bausystem solche lokalen Anpassungen ohne Problem und Qualitätsverluste und mit minimalem Planungsaufwand verträgt.

Obwohl die Ökobilanz zeigt, dass Sengon-Sperrholz nicht CO₂-neutral ist, sind die Umweltleistungen hervorragend, insbesondere im Vergleich zu herkömmlichen Baumaterialien wie Beton, Stahl und Aluminium. Die Fähigkeit von Holzwerkstoffen, Kohlenstoff und darüber hinaus CO₂ zu speichern, ist ein starkes Merkmal von Holz als Baumaterial, das Aussagen über das enorme Potenzial modularer Leichtholzkonstruktionen in Bezug auf positive Umweltauswirkungen beweist. Dies wurde in einer Lebenszyklusanalyse dargestellt.

Das Pilotprojekt entstand unter Aufsicht einer Bauleiterin, die in Kommunikation mit den Planenden (Architekten, Ingenieuren) vermittelte und koordinierte. Der Ablauf und die Ergebnisse werden im Abschlussbericht und dessen Anhängen ausführlicher aufgeführt.

Im Rahmen von genehmigten kostenneutralen Laufzeitverlängerungen könnte das Projekt wie angesetzt und durch zu Beginn festgelegte Arbeitspakete zum 23.10.2022 abgeschlossen werden. Bedingt durch die Covid-19 Pandemie, wurde eine Nachbewilligung in Höhe von 20% des ursprünglichen Antrags genehmigt.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Das Projekt wurde im gesamten Zeitraum umfassend von allen Kooperationspartnern dokumentiert und bereits im Rahmen von Tagungen und in lokalen Medien präsentiert. Darunter eine Veröffentlichung in den Badischen Neusten Nachrichten (BNN) mit dem Titel: "Nachhaltig bauen mit Segon-Holz".

In der DGNB Sustainability Challenge 2022 ist das Projekt als Finalist in der Kategorie Innovation gekürt worden. Im Rahmen der Veranstaltung „Tag der Nachhaltigkeit“ der DGNB am 08. Juli 2022 hatten wir außerdem die Möglichkeit, das Forschungsprojekt erneut in Form einer Kurzpräsentation und auf dem Marktplatz der Ideen vorzustellen und vielen Interessierten näherzubringen.

Das Eröffnungsevent des Pilotprojekts in Palangka Raya, Indonesien fand am 30.10.2022 unter Anwesenheit von deutschen Bundestagsabgeordneten (Mitglieder des Ausschusses für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) sowie Vertretern der indonesischen Regierung auf nationaler und regionaler Ebene statt. Johannes Schwegler, der Gründer von Fairventures, stellte das Modulhaus in einer Präsentation vor.

Fazit

Mit dem Projekt wurde das Ziel verfolgt, zukunftsfähige Konzepte und technologische Ansätze im Bau mit Leichtholz zu entwickeln und zu erproben, um dessen Potentiale aufzuweisen und zur Verbesserung der Ressourceneffizienz im Bauwesen beizutragen. Innovativ ist dabei besonders, die Nutzung von aufgeförstetem schnellwachsendem Holz und dessen Anwendung im Bauwesen. Die Praxisbezogenheit durch direkte Kooperation mit lokalen Experten stellt einen bedeutsamen Aspekt des Projekts dar. Trotz Verzögerungen in der Materialtestung, Zusammenbrechen der Lieferkette durch die Pandemie und der Entscheidung, die tragende Konstruktion spät im Projektverlauf zu optimieren, ist das Projekt zu einem gelungenen Abschluss gekommen.

Dank der interdisziplinären und internationalen Zusammenarbeit innerhalb des Projekts konnte das Projektteam das Pilotprojekt erfolgreich umsetzen und dabei neue Erkenntnisse im Umgang mit Leichtholz im Bauwesen gewinnen. Resümierend kann festgestellt werden, dass die Entwicklung der nachhaltigen Konzepte und technologischen Ansätze und deren Erprobung der Zielsetzung gerecht werden. Wir glauben, dass dieses Pilotprojekt einen neuen Meilenstein in der Entwicklung des Holzbaus in Indonesien setzt. Es zeigt, dass Leichtholz aus wiederaufgeförsteten Gebieten ein konkurrenzfähiger Baustoff sein kann, der im Vergleich zu anderen Baustoffen umweltfreundlicher ist. Daher öffnet die beispielhafte Umsetzung dieses modularen Hauses eine neue Tür für die Entwicklung einer nachhaltigen Leichtholzindustrie im Land. Der verstärkte Einsatz von Holz als nachwachsendem Rohstoff kann einen Hebel zur Verbesserung der Ressourceneffizienz darstellen. Dies ist nur der Anfang, den Bausektor zu erneuern, damit er wirtschaftlich und ökologisch immer nachhaltiger wird.

Basierend auf der durchgeführten Forschung wird weitere Forschung zur Optimierung des Bausystems und seiner breiteren Anwendung in größerem Maßstab dringend empfohlen.

INHALTSVERZEICHNIS

PROJEKTKENBLATT	II
INHALTSVERZEICHNIS	V
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VII
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IX
ZUSAMMENFASSUNG	X
1. Einleitung	2
2. Hauptteil.....	6
2.1. Arbeitsschritte – Methoden und Ergebnisse	6
2.1.1. Die tropische Holzart Sengon – eine Pionierpflanze.....	6
2.1.2. Plattenwerkstoffe als Grundlage – Materialprüfung	7
2.1.3. Projektentwicklung – Entwurf eines Holzbausystems.....	8
Modularität – Die Modularität als Kerngedanke	8
Grundprinzip – Der Rahmen trägt	9
Gestaltungsprinzipien – Ableitung bedeutender Charakteristiken.....	10
Bestandteile – Additives Fügen zu Gebäuden.....	11
2.1.4. Entwicklung des statischen Systems und der Verbindungsmittel.....	15
2.1.5. Musteraufbau am KIT – Evaluation und Optimierung	16
2.1.6. Detailentwicklung – Ein umfangreicher Detailkatalog	18
2.1.7. Innenraumgestaltung – das Raumnutzungskonzept.....	19
2.1.8. Klimaengineering – klimatischer Komfort und Versorgung.....	20
2.1.9. Bauleitung – Aufbau des Pilotprojekts	23
2.1.10. Vorortbericht – das Pilotprojekt auf Borneo	25
2.1.11. Ergänzende Forschung	26
Schindeltests – mögliche Dachdeckung	26
Holzbehandlung – Bewitterungstests.....	27
2.2. Diskussion der Ergebnisse	28
2.2.1. Umsetzung vor Ort	28
2.2.2. COVID-19-Pandemie.....	28
2.2.3. Optimierung der tragenden Rahmen.....	29
2.2.4. Optimierung der Plattenwerkstoffmaße.....	31
2.2.5. Ortswechsel von Mangkawuk nach Palangka Raya	31
2.2.6. Umfang des Bauvorhabens.....	32
2.2.7. Adaption des Klimakonzepts	32

2.2.8.	Beginn und Dauer des Projekts.....	33
2.2.9.	Erkenntnisse und Kurzfazit.....	33
2.3.	Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung.....	35
2.3.1.	Innovativer Charakter des Projekts	35
2.3.2.	Lebenszyklusanalyse	35
2.3.3.	Minimieren der Umweltbelastung.....	38
2.4.	Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse.....	39
2.4.1.	Veröffentlichungen.....	39
2.4.2.	Veranstaltungen	40
3.	Fazit	42
	LITERATURVERZEICHNIS	44
	ANHÄNGE	45
	A1: Broschüre Bausystem (<i>Fr. Koger</i>)	
	A2: Bericht Blaß & Eberhart GmbH (<i>Dr. Flaig</i>)	
	A3: Bericht Musteraufbau KIT (<i>Hr. Steilner</i>)	
	A4: Bericht Transsolar (<i>Hr. Fleck</i>)	
	A5: Bericht Aufbau Fairventures (<i>Fr. Loike</i>)	
	A6: Finalisten-Urkunde DGNB	

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Abholzung für Palmölplantage (Quelle: Löffler_Schmeling).....	2
Abbildung 2: gerodete Urwaldfläche (Quelle: Fairventures)	2
Abbildung 3: traditionelles Wohngebäude (Quelle: Löffler_Schmeling)	3
Abbildung 4: aufgeständert Wohnen (Quelle: Löffler_Schmeling)	3
Abbildung 5: traditionelles aufgeständertes Langhaus in Zentralkalimantan (Quelle: Löffler_Schmeling).....	3
Abbildung 6: Kohlendioxidspeicher (Quelle: Löffler_Schmeling)	4
Abbildung 7: Sengonsetzling in Baumschule (Quelle: Löffler_Schmeling)	6
Abbildung 8: Plattenwerkstoff in der Werkstatt (Quelle: Fairventures).....	6
Abbildung 9: Versuchsergebnis Kochwechselfersuche (Quelle: Blaß & Eberhart)	7
Abbildung 10: Versuchsergebnis (Quelle: Blaß & Eberhart).....	7
Abbildung 11: Erste Skizzen (Quelle: Löffler_Schmeling)	8
Abbildung 12: Modellstudien 1:50 (Quelle: Löffler_Schmeling)	8
Abbildung 13: Modularisierung des Systems (Quelle: Löffler_Schmeling)	9
Abbildung 14: schematische Abbildung des Systems (Quelle: Löffler_Schmeling)	9
Abbildung 15: schematische Abbildungen der Gestaltungsprinzipien (Quelle: Löffler_Schmeling).....	10
Abbildung 16: schematische Abbildung Klima und Versorgung (Quelle: Löffler_Schmeling)	11
Abbildung 17: Auszug aus der Broschüre zum Bausystem (Quelle: Löffler_Schmeling Architekten).....	11
Abbildung 18: Aufbauschema (Quelle: Löffler_Schmeling)	12
Abbildung 19: Varianten der Gebäudeform (Quelle: Löffler_Schmeling).....	13
Abbildung 20: Ansichten einer beispielhaften Zusammenstellung an Modulen (Quelle: Löffler_Schmeling).....	14
Abbildung 21: Schnitt durch eine mögliche Modulordnung (Quelle: Löffler_Schmeling).....	14
Abbildung 22: das statische System (Quelle: Blaß & Eberhart).....	15
Abbildung 23: Detailplan eines Bodenelements (Quelle: Blaß & Eberhart)	15
Abbildung 24: Zeichnung des Rahmenmoduls für den Testaufbau (Quelle: Blaß & Eberhart).....	16
Abbildung 25: Detail des Musteraufbaus - Additives Fügen (Quelle: Löffler_Schmeling).....	17
Abbildung 26: Detail des Musteraufbaus - Obere Ecke (Quelle: Löffler_Schmeling).....	17
Abbildung 27: Testaufbau Modul, aufgebaut in der Versuchsanstalt (Quelle: Fairventures)	18
Abbildung 28: Fassadenschnitt (Quelle: Löffler_Schmeling)	18
Abbildung 29: Visualisierung Innenraum – Büro (Quelle: Löffler_Schmeling).....	19
Abbildung 30: Visualisierung Innenraum – Unterkunft (Quelle: Löffler_Schmeling).....	19
Abbildung 31: Klima- und Komfortkonzept Holzmodul (Quelle: Transsolar)	20
Abbildung 32: Komponenten im Gesamtsystem der PV – Inselanlage (Quelle: Transsolar)	21
Abbildung 33: Versorgungskonzept (Quelle: Transsolar)	22
Abbildung 34: Wassertanks unter dem Gebäude (Quelle: Fairventures).....	22
Abbildung 35: Entwässerungsinfrastruktur unter dem Gebäude (Quelle: Fairventures).....	22

Abbildung 36: Sanitäreinheit (Quelle: Fairventures)	22
Abbildung 37: Küche aus Sengonholz (Quelle: Fairventures)	22
Abbildung 38: tragende Grundstruktur (Quelle: Löffler_Schmeling)	23
Abbildung 39: Arbeiten mit digitalen und analogen Plänen vor Ort (Quelle: Löffler_Schmeling)	23
Abbildung 40: der Rohbau Anfang August 2020 (Quelle: Fairventures)	24
Abbildung 41: Innenraum während der Bauphase (Quelle: Fairventures)	24
Abbildung 42: HKM Batu Bulan - ein Sengonwald (Quelle: Löffler_Schmeling)	25
Abbildung 43: vorne im Bild vor dem Pilotprojekt: P. Guawan, M. Schmeling, A. Löffler, Dr.-Ing. M. Flaig, A. Koger, J. Nanyan (v.l.n.r.) (Quelle: Löffler_Schmeling)	25
Abbildung 44: Sengonsetzlinge in der Baumschule (Quelle: Löffler_Schmeling)	25
Abbildung 45: Prof. Andreas Löffler vor Ort auf der Baustelle (Quelle: Löffler_Schmeling)	25
Abbildung 46: Schindeltest Vorbereitung (Quelle: Fairventures)	26
Abbildung 47: Schindeltest Aufbau (Quelle: Fairventures)	26
Abbildung 48: Schindeltest Aufbau nach 2 Jahren (Quelle: Löffler_Schmeling)	26
Abbildung 49: Aufbau des Bewitterungstest – Holzschutzmittel (Quelle: Fairventures)	27
Abbildung 50: vereinfachter Ablauf des Projekts (Quelle: Löffler_Schmeling)	28
Abbildung 51: Optimierung der Rahmen (Quelle: Löffler_Schmeling)	30
Abbildung 52: Produktionsplan Leimbinder (Quelle: PT Woodlam)	30
Abbildung 53: Verwendungsmöglichkeiten von Leichtholz (Quelle: Löffler_Schmeling)	30
Abbildung 54: neuer Aufbauort (Quelle: Google Maps)	31
Abbildung 55: Unterzeichnung zur Zusammenarbeit mit dem Forstministerium (Quelle: Fairventures)	31
Abbildung 56: Schnitte Pilotprojekt (Quelle: Löffler_Schmeling)	32
Abbildung 57: Grundriss Pilotprojekt (Quelle: Löffler_Schmeling)	32
Abbildung 58: das fertiggestellte Pilotprojekt in Palangka Raya (Quelle: Fairventures)	33
Abbildung 59: Außenansicht Pilotprojekt (Quelle: Fairventures)	34
Abbildung 60: Laubengang Pilotprojekt (Quelle: Fairventures)	34
Abbildung 61: Innenraum Pilotprojekt (Quelle: Fairventures)	34
Abbildung 62: cradle to grave (Quelle: Fairventures)	36
Abbildung 63: Produktsystem (Quelle: Fairventures)	37
Abbildung 64: Artikel in den BNN (Quelle: BNN)	39
Abbildung 65: Präsentation auf dem Tag der Nachhaltigkeit der DGNB (v.l.n.r.: Prof. A.Löffler, A.Koger, D. Fleck) (Quelle: DGNB)	40
Abbildung 66: Preisvergabe der Sustainability Challenge (Quelle: DGNB)	40
Abbildung 67: Johannes Schwegler präsentiert das Projekt zur Eröffnung (Quelle: Fairventures)	41
Abbildung 68: Eröffnung des Gebäudes (Quelle: Fairventures)	41
Abbildung 69: Tag der Eröffnung (Quelle: Fairventures)	41
Abbildung 70: Visualisierung einer möglichen Gebäudezusammenstellung (Quelle: Löffler_Schmeling)	42

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

DGNB	Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen
DINAS	Dinas Kehutanan Provinsi Kalimantan Tengah (dt.: <i>Forstministerium Panagka Raya</i>)
FSF	Fairventures Social Forestry
FvW	Fairventures Worldwide
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
LCA	Life Cycle Assessment (dt.: <i>Lebenszyklusanalyse</i>)
MLTC	Modular Lightwood Timber Construction (dt.: <i>modulare Leichtholzkonstruktion</i>)
NGO	non-governmental organisation (dt.: <i>Nichtregierungsorganisation</i>)
SDGs	Sustainable Development Goals (dt.: <i>Ziele für nachhaltige Entwicklung</i>)

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen eines Vorhabens, das Forschung zur Ressourcenschonung im Bauwesen und lokale Umsetzung eines Leichtholzgebäudes kombiniert, wurde das Leichtholz Sengon auf seine Tauglichkeit im Gebäudesektor untersucht. Gegenstand der Untersuchung waren Materialtestungen, Bausystementwicklung sowie statische Berechnungen, Erprobung im Musteraufbau und Optimierung des Systems, bevor es dann in Indonesien als Pilotprojekt an prominenter Stelle aufgebaut wurde.

Ziel des Projekts war es, basiert auf Holz aus wiederaufgeforsteten Gebieten, aufzuzeigen, dass Leichtholz ein konkurrenzfähiger Baustoff sein kann, der im Vergleich zu anderen derzeit vielverwendeten Baustoffen umweltfreundlicher ist.

Entstanden ist das Projekt in Kooperation mit:

- Löffler_Schmeling Architekten (*Hr. Löffler, Hr. Schmeling, Fr. Koger*)
- Fairventures Social Forestry GmbH (*Hr. Bürmann, Hr. Tanaka*)
& Fairventures Worldwide gGmbH (*Hr. Schwegler, Hr. Baum, Fr. Loike*)
- Blaß & Eberhart Ingenieurbüro GmbH (Jetzt: BuE Ingenieure GmbH) (*Hr. Flaig*)
- Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Holzbau und Baukonstruktionen (*Hr. Steilner, Fr. Glattacker*)
- Transsolar Energietechnik GmbH (*Hr. Bleicher, Hr. Fleck, Fr. Hur*)

Zusammengearbeitet wurde außerdem mit:

- Broszeit GmbH (*Holzlieferant Deutschland*)
- PT Woodlam (*Holzlieferant Indonesien*)
- PT PAAT (*Holzhandwerk vor Ort*)

Gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) unter dem Az. 35144/01-25.

Dank der interdisziplinären und internationalen Zusammenarbeit innerhalb des Projekts konnte das Projektteam das Pilotprojekt erfolgreich umsetzen und dabei neue Erkenntnisse im Umgang mit Leichtholz im Bauwesen gewinnen. Basierend auf der durchgeführten Forschung wird weitere Forschung zur Optimierung des Bausystems und seiner breiteren Anwendung in größerem Maßstab dringend empfohlen.

1. Einleitung

In Kalimantan, auf Borneo (Indonesien) werden, wie in vielen anderen subtropischen Regionen der Erde, in großem Stil Urwälder abgeholzt. Häufig müssen diese Wälder für Palmölplantagen weichen. Die katastrophalen Auswirkungen, sowohl auf das Ökosystem, Flora wie Fauna gleichermaßen, als auch auf die Sozialstruktur und Lebensbedingungen der ansässigen indigenen Bevölkerungsgruppen, erfordern ein Umdenken.



Abbildung 1: Abholzung für Palmölplantage
(Quelle: Löffler_Schmeling)



Abbildung 2: gerodete Urwaldfläche (Quelle: Fairventures)

Die Nichtregierungsorganisation Fairventures Worldwide (FvW) hat es sich zur Aufgabe gemacht, abgeholzte Flächen wieder aufzuforsten. Innerhalb deren Programm wird für und mit der ansässigen Bevölkerung und lokalen Bauern schnell wachsendes Leichtholz angepflanzt. Besonders ergebnisreich sind Sengonbäume (*Paraserianthes falcataria*), die bereits nach ca. sieben Jahren einen Umfang von 90cm erreichen. Das Leichtholz kann somit regelmäßig geerntet und in lokalen Firmen zu Brettern geschnitten werden, die wiederum zu Mehrschicht- oder Leimholzplatten verarbeitet werden. Aktuell werden diese Produkte großteils im Möbelbau oder zur Inneneinrichtung verwendet.

Unser Ziel ist es, den Anwendungszweck von Leichtholz zu erweitern, sodass es auch im Hochbau eingesetzt werden kann. Die Leichtholzplatten werden Ausgangsprodukt für die Errichtung von Gebäuden. Hierzu war im Rahmen des Projekts eine Kooperation von Forschung und Umsetzung eines Pilotprojekts vorgesehen, um innovative Entwicklungen im Bau mit tropischem Leichtholz zu fördern. Dazu sollte ein Bausystem auf Basis von nachwachsendem Leichtholz entwickelt werden, das den ökologischen und klimatischen Bedingungen des subtropischen Klimas gerecht wird und in großem Umfang lokal zur Anwendung kommen kann. Um auf regionale Gegebenheiten anpassbar sein zu können, soll dies aus einem modularen und additiven Grundsystem bestehen.

Besonders bedeutsam ist dabei die Umsetzung des Pilotprojekts, um theoretische Erkenntnisse und Annahmen auch zu prüfen und davon lernen zu können.

Indonesien erlebt eine seit Jahren stetig wachsende Bautätigkeit, wobei in großem Umfang energieaufwändig hergestellte Ausgangsprodukte aus Beton, Aluminium und Stahl eingesetzt werden. Eine Ursache dieser Entwicklung ist, dass Bauholz für tradierte Holzbauweisen aufgrund der Abholzung der Urwälder nicht mehr verfügbar ist und vielfach auf importierte Ressourcen zurückgegriffen wird. Zunehmend werden so traditionelle Bauweisen verdrängt. Dies bedeutet, dass weder Bauweise noch Material den klimatischen, ökologischen und hygienischen Anforderungen gerecht werden und es so vermehrt zu Schimmelpilzbildung und Überhitzung kommt. **Diesen Defiziten muss mit klima- und ressourcenschonendem Bauen begegnet werden.**

Das Ziel des Projekts war daher die Entwicklung eines Holzbausystems aus bereits genannten Mehrschichtplatten. Dabei soll Bezug auf die historische Bauweise in Kalimantan genommen und die traditionelle Bauweise modern interpretiert werden.



Abbildung 3: traditionelles Wohngebäude (Quelle: Löffler_Schmeling)



Abbildung 4: aufgeständertes Wohnen (Quelle: Löffler_Schmeling)



Abbildung 5: traditionelles aufgeständertes Langhaus in Zentralkalimantan (Quelle: Löffler_Schmeling)

Langfristig erstreben wir mit dem Holzbausystem eine Erhöhung der Akzeptanz von Holzbauten in Indonesien und das Bewusstsein für ressourcenschonendes Bauen und die Verarbeitung von lokalen Ressourcen vor Ort zu fördern. Dabei kann ebenfalls ein Bewusstsein geschaffen werden, mit passiven natürlichen klimatischen Prozessen hohe Standards im Bauwesen zu erreichen - ohne Einsatz komplizierter Technik.

Die Holzindustrie ist einer der Fokussektoren in Indonesien, um Arbeitsplätze zu schaffen und damit die Armut langfristig zu reduzieren. Durch das Hervorheben des Potenzials schnell wachsender Leichthölzer wird ein Impuls für die Transformation des Holzsektors geschaffen und Marktchancen sowie Verarbeitungs- und Nutzungsmöglichkeiten erweitert. Das Bauen mit Leichtholz könnte den Markt für diese schnell wachsenden Hölzer, die überwiegend von Kleinbauern angebaut werden, enorm vergrößern. Dies würde zu höheren, nachhaltigen Einkommen für die Bauern und einer deutlich geringeren Abhängigkeit von ausbeuterischen Mitteln der Einkommensgenerierung (Kleinbergbau oder Abholzung von Urwald) führen.

Die Kooperation mit der lokalen Bevölkerung und das Programm von FvW soll Einkommen und Entwicklung ländlicher Bevölkerung sichern und damit beispielsweise auch Fluchtursachen und Wanderbewegungen aufgrund von erodierten, nutzbaren Flächen reduzieren. Bereits während der Wachstumsphase werden unter den Bäumen Erdnüsse und Kakao angepflanzt, um den Bauern eine vorübergehende Einnahmequelle zu sichern. Die Wiederaufforstung leistet zudem einen wesentlichen Beitrag zur Erhaltung der Artenvielfalt von Flora und Fauna. Das Holzbausystem soll die zunehmende Verwendung energieaufwendiger und CO²-intensiv erzeugter Bauteile aus Beton oder Wellblech substituieren, das im Holz gespeicherte Kohlendioxid in Holzgebäuden einlagern und so die Umwelt nachhaltig entlasten.

Somit wird zur CO₂-Reduktion, der Biodiversität und der sozialen Gerechtigkeit beigetragen. Prozessketten (pflanzen, ernten, Herstellung von Baumaterialien, Bauproduktion, Wiederverwendung, Recycling) können optimiert und Wertschöpfungsketten, die über den reinen Verkauf von Holz hinausgehen, geschlossen werden. Die damit verbundenen agrarischen und manufakturrellen Prozesse leisten einen hohen Beitrag zur Armutsprävention.

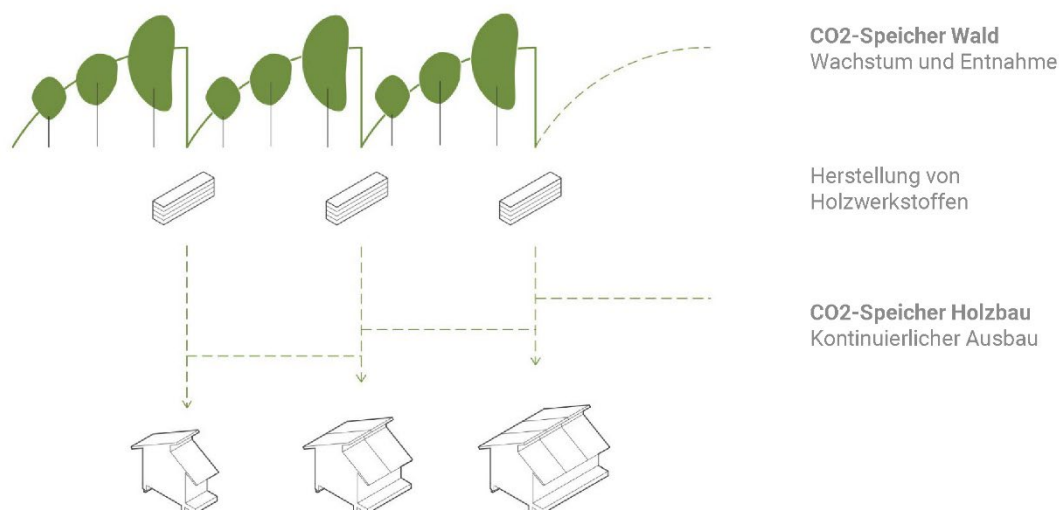


Abbildung 6: Kohlendioxidspeicher (Quelle: Löffler_Schmeling)

Dieser Projektansatz fördert einige der im Rahmen der Agenda 2030 von den Vereinten Nationen festgelegte Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs)¹ u.a.: Bekämpfung von Armut (1), Nachhaltiges Wirtschaftswachstum und menschenwürdige Arbeitsbedingungen (8), widerstandsfähige und nachhaltige Städte/ Siedlungen (11) und Landökosysteme schützen und wieder herstellen (15)².

Im Rahmen der Vorhabendurchführung war Folgendes vorgesehen:

Die Leichtholzplatten aus Sengon, die das Ausgangsprodukt des Projekts darstellten, galt es zu Beginn - neben den schon vorhandenen Materialkennwerten der Mehrschichtplatten - auf deren Materialkennwerte am Karlsruhe am Institut für Technologie (KIT) zu prüfen. (AP3)

Es wurde ein Grundsystem geplant, das aus statisch wirksamen Rahmen aus Holz besteht, um das eine nichttragende Hülle und Dach gezogen werden. (AP2) Nach Ermittlung der Materialkennwerten wurden von Blaß & Eberhart Ingenieuren geeignete Dimensionen und Verbindungsmittel festgelegt. (AP4). Auf den ersten Entwurf des Systems und die Materialprüfung der Platten, folgte die Fertigung von Elementen nach erarbeiteten Plänen durch die Firma Broszeit GmbH. Die Elemente wurden am KIT zu einem Musteraufbau (AP 5) gefügt und Belastungstests ausgesetzt (s. Anlage A3 für einen ausführlichen Bericht).

Es folgte die Detailentwicklung des Bausystems (AP6) durch Erstellen von Leitdetails, das Lösen der Anschlüsse und das Klären von bautechnischen und konstruktiven Aspekten des Systems. Hierbei wurde mit dem Kooperationspartner Transsolar GmbH an einem Klima- und Versorgungskonzept gearbeitet (AP7), das den innovativen Aspekten einer passiven Klimatisierung entspricht (s. Anlage A4 für einen ausführlichen Bericht). Werkpläne (AP8) sowohl von Architektenseite als auch vom Ingenieurbüro und in Kooperation mit den Werkstoff- und Bauteilproduzenten vor Ort wurden angefertigt und ermöglichten die Umsetzung eines Pilotprojekts. Aufbauanleitung und Visualisierungen sollen hierbei zur Kommunikation der Idee und des Ablaufs beitragen.

¹ (VEREINTEN NATIONEN, 2022)

² (Fairventures Worldwide, 2022a)

An einem Pilotprojekt (AP9) in Indonesien wurde das Holzbausystem erprobt und soll weiterhin evaluiert werden. Ausgewählter Standort für das Reallabor war zu Beginn des Projekts das Areal der Aufzuchtstation in Kalimantan. Das Pilotprojekt entstand unter Aufsicht der Bauleiterin Kristina Loike, die in Kommunikation mit den Planenden (Architekten, Statiker) vermittelte und koordinierte. (s. Anlage A5 für einen ausführlichen Bericht). Während der Nutzungsphase ist ein permanentes fachliches Monitoring (AP10) geplant. Da diese Phase außerhalb des Förderzeitraums liegt, werden die Ergebnisse in eine künftige Weiterentwicklung einfließen.

Das Projekt wurde im gesamten Zeitraum umfassend dokumentiert (AP1) und bereits im Rahmen von Tagungen und in lokalen Medien präsentiert. (AP12).

Im Rahmen von genehmigten kostenneutralen Laufzeitverlängerungen könnte das Projekt wie angesetzt und durch zu Beginn festgelegte Arbeitspakete abgeschlossen werden. Bedingt durch die Covid-19 Pandemie, wurde uns eine Nachbewilligung in Höhe von 20% des ursprünglichen Antrags zugesagt.

Die einzelnen Arbeitspakete und Aktivitäten wurden bereits im Antrag so angelegt, dass die unterschiedlichen Projektpartner jeweils ihre Expertise in unterschiedlichen Paketen verstärkt einbringen. Dies führt dazu, dass diese jeweils einen eigenen Abschlussbericht mit Fokus auf ihrem Arbeitspakete angefertigt haben, um die Vorgänge und Ergebnisse möglichst präzise zu dokumentieren. Auf Grund des Umfangs, sind diese im Anhang zu finden und im hier vorliegenden übergreifenden Abschlussbericht wird lediglich, für tiefgreifendere Informationen zum Ablauf und einzelnen Ergebnissen, darauf verwiesen.

2. Hauptteil

2.1. Arbeitsschritte – Methoden und Ergebnisse

2.1.1. Die tropische Holzart Sengon – eine Pionierpflanze

Sengon (*Paraserianthes falcataria*)³ ist eine Holzart, die besonders zur Aufforstung geeignet ist, da sie sehr geringe Anforderungen an Böden stellt und diese mit Nährstoffen anreichert. Von Vorteil ist außerdem der mit dem bereits erwähnten schnellen Wachstum stark verkürzte Erntezyklus, mit dem auch eine hohe Produktion an nutzbarem Rohstoff einhergeht. Sengon ist mit einer Rohdichte von 0,27 g/cm³ sehr leicht und hat eine überdurchschnittliche Festigkeit im Vergleich zum Gewicht. Verglichen mit konventionellen Hölzern ist Sengon knapp 75% leichter als die Fichte.⁴

Sengonsper Holz wird bislang nicht für tragende Zwecke im Bausektor verwendet. Die Nutzung beschränkt sich derzeit auf nichttragende Zwecke und Möbelherstellung.⁵ Doch voranschreitende technische Möglichkeiten in der Holzwerkstoffherstellung fördern die Untersuchung der Nutzbarkeit von Sengonsper Holz auch für tragende Zwecke.

Eine kurze Produktbeschreibung von Sperrholzplatten und deren Herstellung in Indonesien werden im Bericht der Fairventures Social Forestry (FSF) Anlage A5, Kapitel 4 abgebildet. Darüber hinaus werden die Standardgrößen von Sperrholz von 1,22m x 2,44m diskutiert, welche durch den Prozess der Sperrholzherstellung entstehen. Eine Marktanalyse und Informationen zur Lebenszyklusanalyse von Sengonsper Holz sind ebenfalls im genannten Bericht aufgeführt und werden auch hier in Kapitel 2.3.2. ausführlicher erläutert.



Abbildung 7: Sengonsetzling in Baumschule (Quelle: Löffler_Schmeling)



Abbildung 8: Plattenwerkstoff in der Werkstatt (Quelle: Fairventures)

³ (Lightwood, 2022a)

⁴ (Bleicher, M., 2022)

⁵ (Szemkus, N. und Müller, P. D., 2021)

2.1.2. Plattenwerkstoffe als Grundlage – Materialprüfung

Ausgangspunkt unserer Systemüberlegungen sind die aus dem Leichtholz hergestellten Mehrschichtplatten in verschiedenen Ausführungen und Qualitäten, sowohl in Furniersperrholz als auch in 3- oder 5-Schicht Platten. Je nach Schichten und Material der Deckschicht lassen sich ganz unterschiedliche Platten mit unterschiedlichem Tragverhalten produzieren. Aus diesem Grund war es von großer Bedeutung für das Projekt, wissenschaftliche Begleitung durch das KIT zu erhalten. Da bisher zu Sperrholz aus Sengon nicht ausreichend wissenschaftliche Forschung bezüglich der Anwendbarkeit des Materials im Bausektor betrieben wurde, wurden innerhalb des Forschungsvorhabens durch die Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine am KIT Materialkennwerte ermittelt. Zur Ermittlung von diesen Materialkennwerten wurden Vierpunkt-Biegeversuche, Lochleibungsversuche, Rohdichtemessungen und Druckversuche durchgeführt und ausgewertet. Die Auswertung der Versuchsergebnisse und der Vergleich mit den berechneten Lochleibungsfestigkeiten ergaben eine signifikante Abweichung der beiden Werte voneinander. Dies könnte an dem ungewöhnlichen Lagenaufbau der Testkörper gelegen haben, da diese sehr dünne Deckfurniere aufwiesen und die Querlagen im Verhältnis zu den Längslagen des Sperrholzes viel mehr Querschnittsanteil einnahmen. Eine ausführliche Dokumentation der Ergebnisse ist in Anlage A2, Kapitel 6 verfügbar.



Abbildung 9: Versuchsergebnis Kochwechselversuche
(Quelle: Blaß & Eberhart)



Abbildung 10: Versuchsergebnis Lochleibungsversuche
(Quelle: Blaß & Eberhart)

Um die Verklebung zwischen den Furnierlagen des Werkstoffes zu testen, wurden Kochwechselversuche durchgeführt. Hierbei wird der wechselnde Einfluss von Nässe in Kombination mit hohen Temperaturen und trockenen Umgebungsbedingungen getestet. Durch die Versuche konnte aufgezeigt werden, dass die Verklebung nicht ausreichend Widerstand gegen die Feuchtigkeitseinflüsse aufweist. Die Testreihe der Sengon-Leichtholzplatten musste in eine zweite Phase gehen, da bei der ersten Messreihe die Festigkeiten an der Grenze des Zulässigen lagen und kaum Reserven für mögliche Qualitätsschwankungen bei der Fertigung zur Verfügung standen. Zudem wurde dadurch ein erhöhter Aufwand bei den Verbindungsmitteln notwendig. Durch eine bessere Verklebung und besser gefügte Leichtholzurniere konnten die Festigkeitswerte dann erheblich verbessert werden. Aufgrund der COVID-19-Pandemie hat sich dieser Prozess über fast 4 Monate hingezogen. Diese wissenschaftlich-technischen Ergebnisse waren wesentliche Voraussetzungen für die Arbeit der anderen Projektteilbeteiligten. Diese kritische Phase konnte dann jedoch erfolgreich und mit Optimierung abgeschlossen werden.

2.1.3. Projektentwicklung – Entwurf eines Holzbausystems

Aus den örtlich verfügbaren Sengon-Sperrholzplatten wurde ein Holzbausystem entwickelt. Der Rahmen, bestehend aus Stützen und Trägern, sowie Dach-, Decken und Bodenelementen sowie Wandelemente wurden so gestaltet, dass sie aus den Grundplatten geschnitten werden können.

Dabei waren einige Anforderungen an das System besonders zu berücksichtigen:

1. Das System hat aus nachwachsenden Rohstoffen zu bestehen.
2. Es ist modular aufzubauen, um maximal flexibel reagieren zu können.
 - Die Trennung von tragenden und raumbildenden/ hüllenden bzw. deckenden Bauteilen, erhöhen diese Adaptionmöglichkeiten.
3. Es bestand die Anforderung, die Bauteilgrößen mit Fokus auf Transportierbarkeit und Handhabung beim Aufbau minimal zu halten.

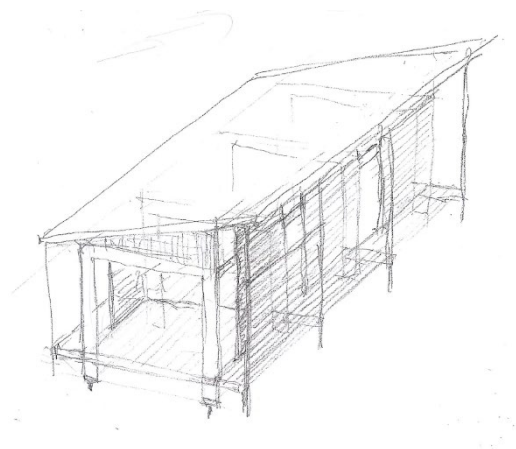


Abbildung 11: Erste Skizzen
(Quelle: Löffler_Schmeling)



Abbildung 12: Modellstudien 1:50
(Quelle: Löffler_Schmeling)

Modularität – Die Modularität als Kerngedanke

Das modulare Bausystem ist eine Auswahl von Bausteinen, die auf verschiedene Art konfiguriert werden und so an Bedürfnisse angepasst werden können.

Vorteile eines modularen Bausystems sind, dass das Gebäude in der Breite durch die Anzahl Module, in der Höhe durch die Größe des Rahmens und in der Zusammenstellung, durch die Verortung der Module zueinander, variieren kann. Es erlaubt eine Vielfalt an Gebäuden durch die Anordnung zu verschiedensten Konstellationen und es kann durch seine additive Fügungsweise im Laufe seiner Lebenszeit verändert und erweitert werden. Zudem kann durch die Vorfertigung in der Werkstatt die Produktion wetterunabhängiger stattfinden und die Baustellenzeit reduziert werden.

In diesem Vorhaben entschieden wir uns für einen Abstand zwischen den Rahmen von 2,52m. Ziel hierbei war es, die einzelnen Bauteilmaße im System dem Plattenmaß entsprechend zu gestalten und zwischen den Rahmen einzupassen.

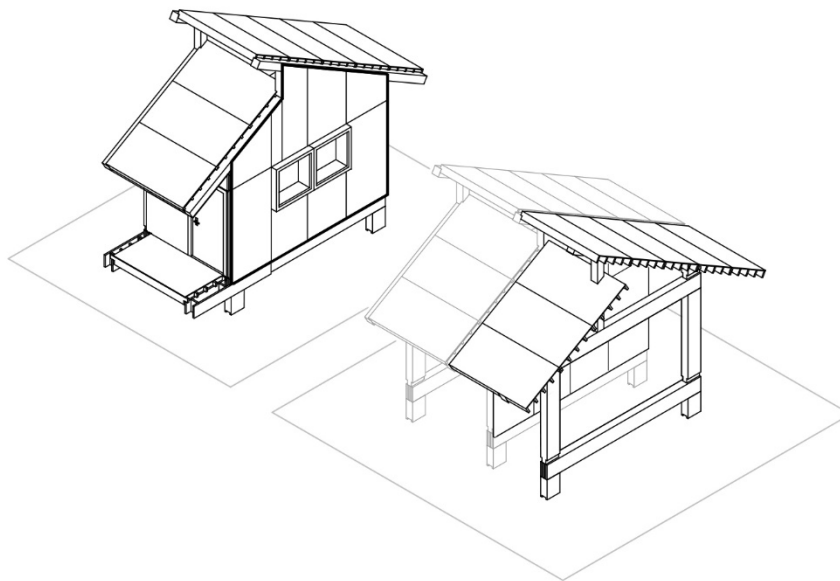


Abbildung 13: Modularisierung des Systems (Quelle: Löffler_Schmeling)

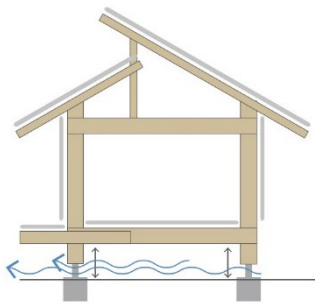
Grundprinzip – Der Rahmen trägt

Zentrales Bauteil in diesem System ist der tragende Rahmen. Alle Lasten werden hier gebündelt. Die Hülle ist statisch nicht tragend. Das hat den Vorteil, dass die Gebäude, unabhängig von Form und Gestalt, keine eigene statische Berechnung mehr benötigen. Durch die additive Fügungsweise ist die Gebäudehülle flexibel gestaltbar - auch bei Nutzungs- oder Bedürfnisänderung nach Fertigstellung noch.



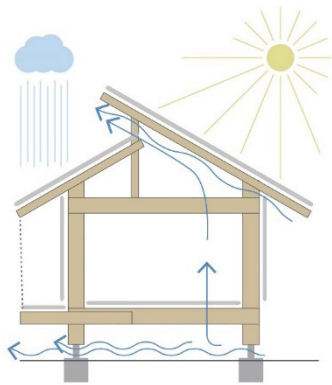
Abbildung 14: schematische Abbildung des Systems (Quelle: Löffler_Schmeling)

Gestaltungsprinzipien – Ableitung bedeutender Charakteristiken



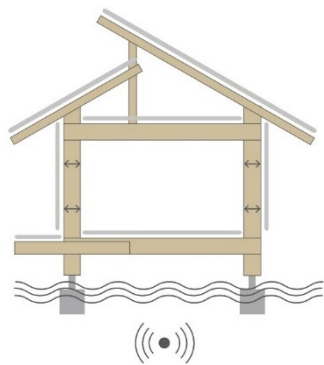
A. Aufständering

Gemäß den besonderen klimatischen Anforderungen ist der Rahmen vom Boden abgehoben. Dies stellt Regen- und Spritzwasserschutz dar und gewährleistet eine Durchlüftung unterhalb des Gebäudes.



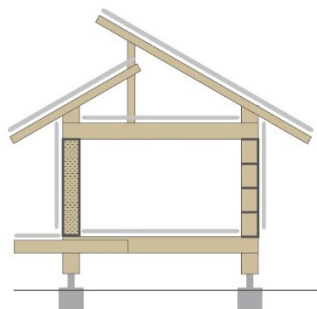
B. Dachform

Die Dachform als versetztes Satteldach fördert eine natürliche Durchlüftung des Innenraums. Die Ausprägung begünstigt die thermische Schichtung der Luft, sodass die warme Luft in den Dachraum steigt und oben ausströmen kann. Zudem bieten die weitauskragenden Dächer einen Sonnen- sowie Regenschutz.



C. Dimensionierung

Die Dimensionierung der tragenden Bauteile nimmt Rücksicht auf die Erdbebensicherheit. Somit ist das System in ganz Indonesien anwendbar und standhaft. Die Bemessung des Tragwerks ist in Anlage A2 zu finden.



D. Rahmentiefe

Die Rahmentiefe (bis zu max. 40cm) erlaubt eine vielfältige Nutzung des Zwischenraums. Dieser kann somit z.B. ausgefacht werden oder auch mit Regalbrettern versehen Stauraum bieten.

Abbildung 15: schematische Abbildungen der Gestaltungsprinzipien (Quelle: Löffler_Schmeling)

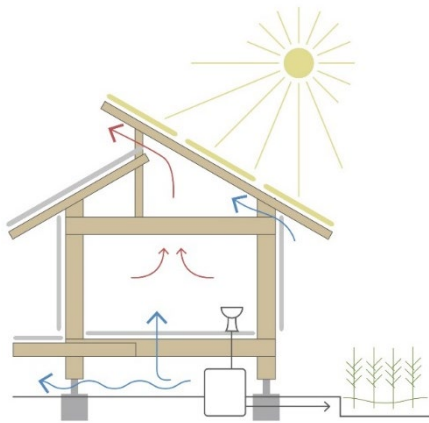


Abbildung 16: schematische Abbildung Klima und Versorgung (Quelle: Löffler_Schmeling)

E. Passive Klimatisierung und Versorgungskonzept

Besonderer Bedeutung kommt der passiven Klimatisierung durch natürliche Durchlüftung zu.

PV-Module zur Stromerzeugung sind denkbar. Schmutzwasserbehandlung soll über Kompostbehälter und Pflanzenkläranlage stattfinden. Ein ausführlicher Bericht hierzu ist in Anlage A4 zu finden.

Bestandteile – Additives Fügen zu Gebäuden

Ein Bauteilkatalog wurde angefertigt. Er bildet die tragenden und hüllenden Bestandteile des Systems ab und macht deren Aufgabe und Verortung deutlich. Die Visualisierung des Bauablaufs stellt die additiven Grundprinzipien und den Bauablauf schematisch dar.

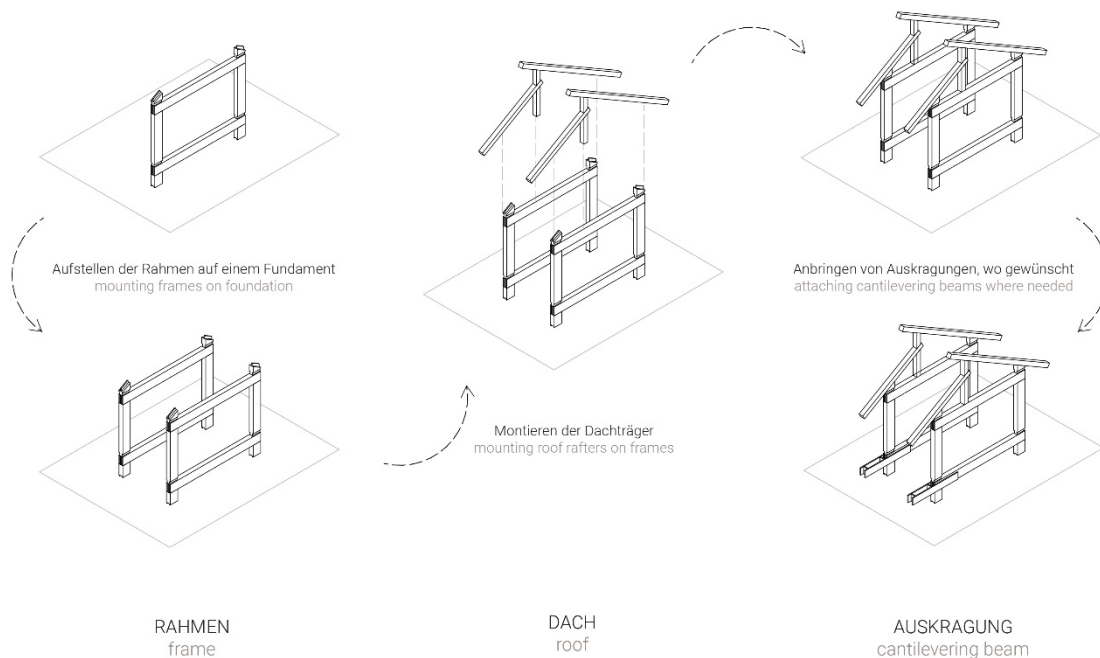
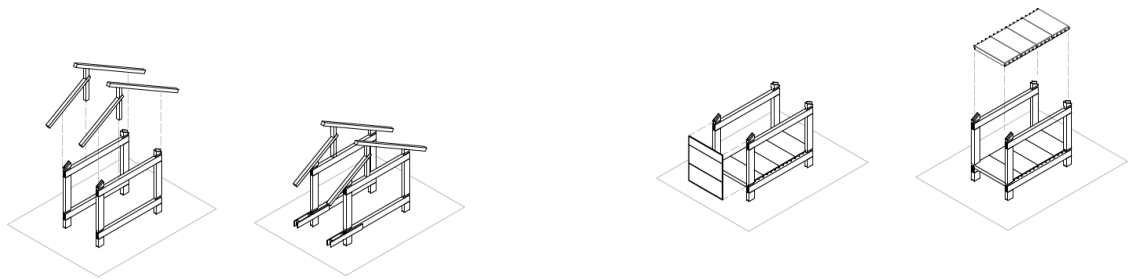
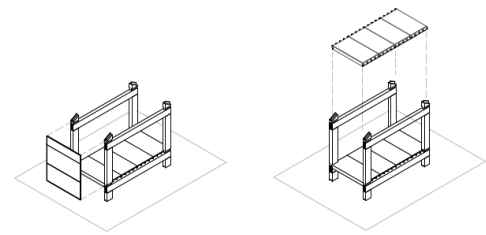


Abbildung 17: Auszug aus der Broschüre zum Bausystem (Quelle: Löffler_Schmeling Architekten)



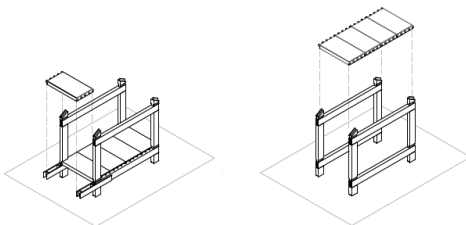
1. Montage der Rahmen mit Auskragung und Dachträgern und Aufstellen derer auf Fundamente. Dachelemente oder provisorische Dachdeckung bereits zu Beginn hinzufügen, um Struktur zu schützen.

1. Construct frames with cantilever beams and roof rafters and mount on foundation. Add roof elements already in this stage or transitional roof to protect structure.



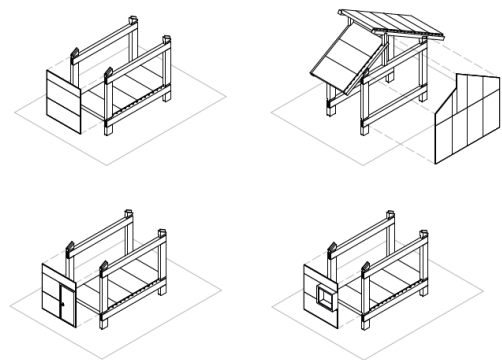
3. Einfügen der Deckenelemente und montieren der aussteifenden Fassaden.

3. Insert ceiling elements and install bracing facade components.



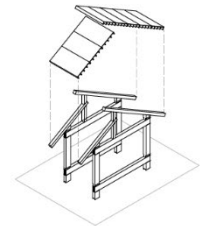
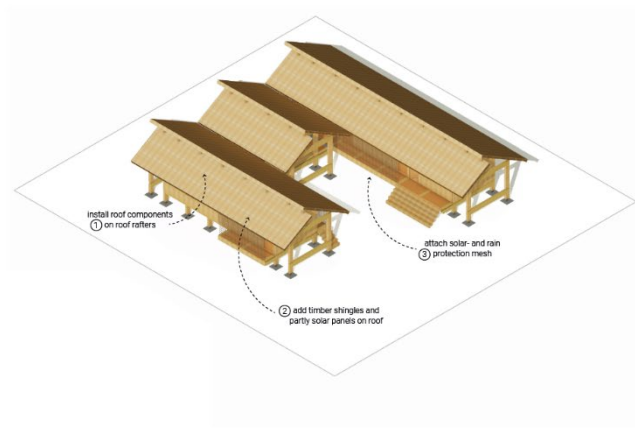
2. Einfügen von Bodenelementen im Innenraum, sowie außen und anbringen der Treppen.

2. Insert floor elements inside and outside and make accessible with stairways.



4. Montieren weiterer Wandelemente im Innen- und Außenraum (inklusive Türen und Fenster)

4. Add facade elements inside and outside (including doors and windows)



5. Aufbau des Dachs und Installation der Holzschindeln. Stellenweise versehen mit Solarpanelen. Montage von Sonnen- und Regenschutzlamellen am Laubengang.

5. Construct roof and build timber shingle roofing. Partly add solar panels on the roof and solar and rainprotection mesh on outer walkways.

Abbildung 18: Aufbauschema (Quelle: Löffler_Schmeling)

Ein Gesamtbauwerk kann aus mehreren Modulen zusammengesetzt werden. Je nach Anzahl Module und Anordnung derer zueinander, können lineare Gebäudeformen entstehen, aber auch Gebäude mit halb-offenem oder geschlossenem Hof oder ein Konglomerat aus einzelnen Gebäuden.

Das in Indonesien realisierte Pilotprojekt besteht aus sechs Rahmen. Es ist damit nur eine Variante von vielen anderen möglichen Zusammenstellungen der Module zu Gebäuden, die das Holzsystem mit Leichtholz zulässt.



Abbildung 19: Varianten der Gebäudeform (Quelle: Löffler_Schmeling)

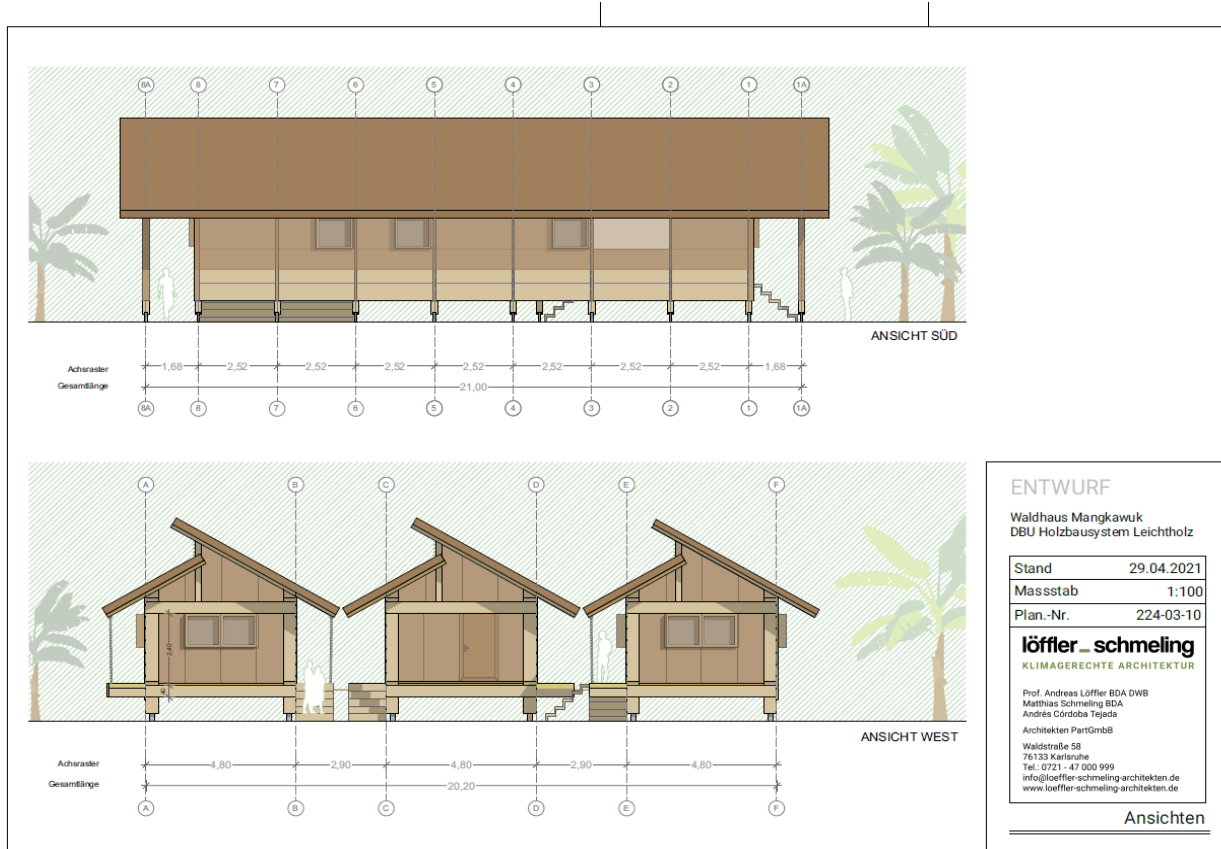


Abbildung 20: Ansichten einer beispielhaften Zusammenstellung an Modulen (Quelle: Löffler_Schmeling)

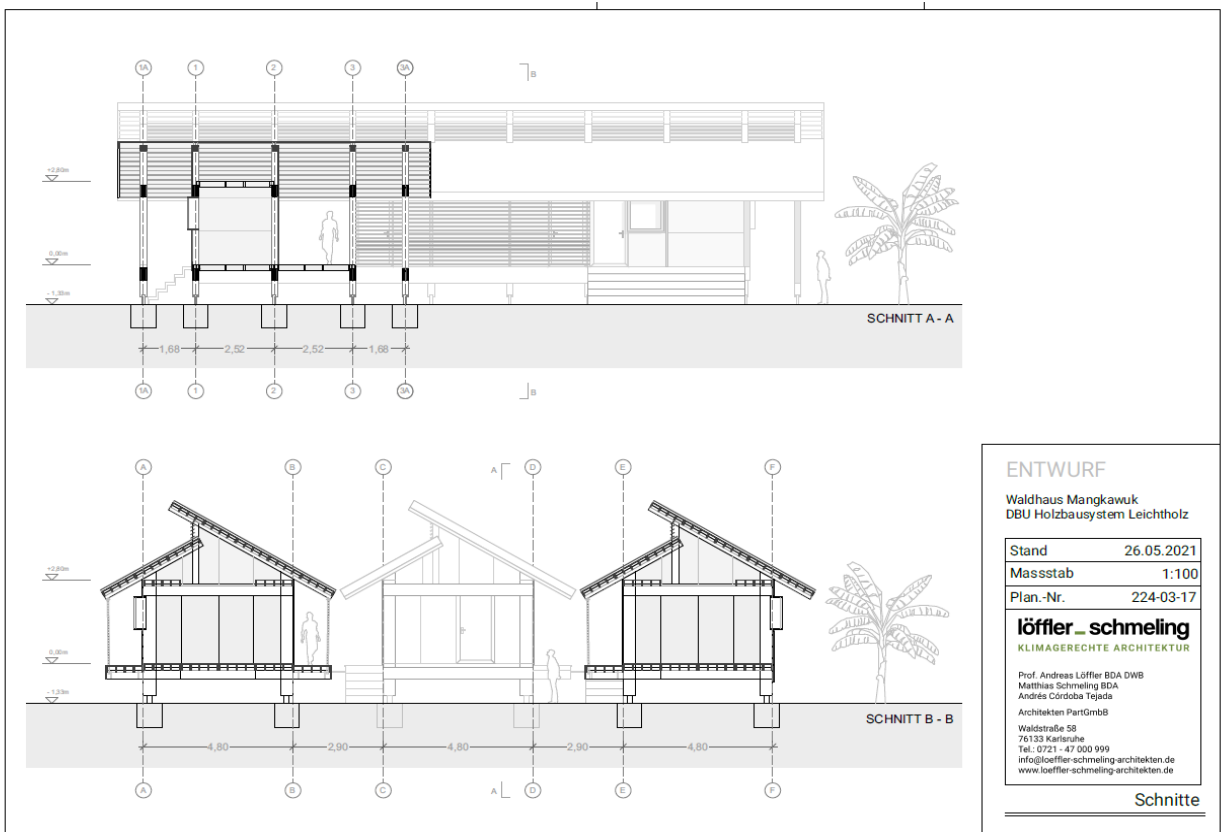


Abbildung 21: Schnitt durch eine mögliche Modulanordnung (Quelle: Löffler_Schmeling)

2.1.4. Entwicklung des statischen Systems und der Verbindungsmittel

Das geplante Bausystem besteht aus Holz, das zu mehrschichtigen Bauteilen zusammengesetzt und mit mechanischen Verbindungsmitteln verbunden wird. Der Rahmen wird mithilfe von Schrauben nachgiebig miteinander zu einem Rahmentragwerk verbunden. Diese stellen geeignete Verbindungsmittel dar, da sie auch mit einfachen Werkzeugen bedient werden können. In den Rahmenecken kommen Stützen und Riegel zusammen und werden durch den Einsatz von Stabdübeln biegesteif miteinander verbunden. Das Tragwerkskonzept und dessen Dimensionierung wurde von dem Projektpartner Blaß & Eberhart Ingenieuren entwickelt. Zur Bemessung des Tragwerks wurde ein Stabwerksmodell erstellt. Lastannahmen und Ergebnisse sind in Anhang A2 detailliert aufgeführt.

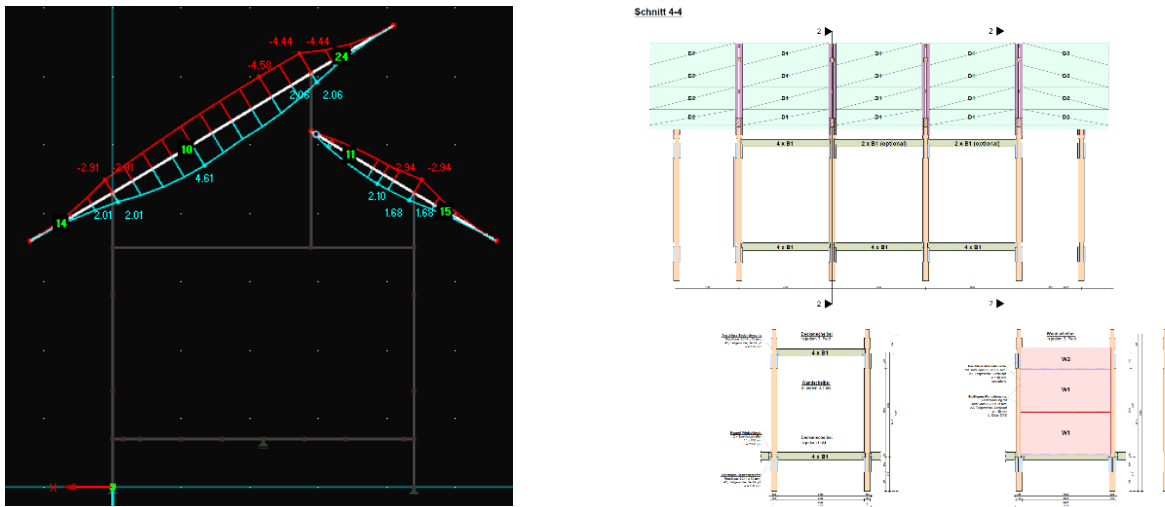
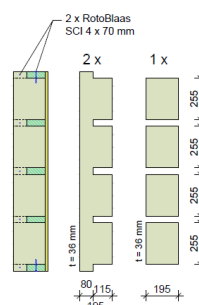
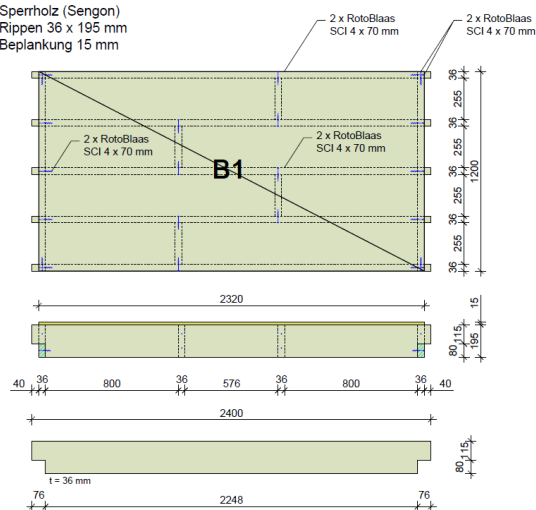


Abbildung 22: das statische System (Quelle: Blaß & Eberhart)

Dach- Decken- sowie Bodenelemente werden als Holztafelelemente mit Querrippen ausgebildet, wobei das Boden- und Deckenelement ausschließlich einseitig beplankt ist. Die Kastenträger werden mithilfe einer Ausklinkung an beiden Enden auf einen Rahmenriegel bzw. auf einer Dachpfette aufgelagert.

Bodenelement:

Sperrholz (Sengon)
Rippen 36 x 195 mm
Beplankung 15 mm



Einzelteile je Element

Plattenstreifen t = 36 mm	
Abmessungen	Anzahl
195 x 2400	5
195 x 1200	3
Beplankung t = 15 mm	
1200 x 2320	1

Koppel-/Abdeckbrett:

Sperrholz (Sengon)
t x B = 15 x 200 mm
L = 1200 mm

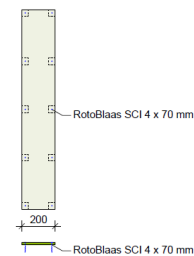


Abbildung 23: Detailplan eines Bodenelements (Quelle: Blaß & Eberhart)

Weitere statische Bauteil- und Systempläne sind im Anhang A2 zu finden. Quer zur Rahmenebene als auch in Rahmenebene können Wandelemente eingesetzt werden, um Raumabschlüsse zu ermöglichen und um die Anforderungen an die Aussteifung des Tragwerks zu erfüllen. Das Gesamttragwerk kann aus mehreren Modulen zusammengesetzt werden, wobei die Anforderungen an die Aussteifung senkrecht zur Rahmenebene eingehalten werden müssen.

Jedes Modul ist dafür bemessen, den Lastabtrag der auf zwei Rahmen wirkenden Kräfte zu gewährleisten. Somit ist eine modulare Erweiterung mit dem Aufstellen von nur einem zusätzlichen Rahmen möglich. Dadurch kann bei der modularen Erweiterung des Tragwerks deutlich Material eingespart werden. Die Gründung des Tragwerks besteht aus vier Einzelfundamenten. Die Lasteinleitung in die Gründung erfolgt über ein Stahlprofil, welches kraftschlüssig mit dem Tragwerk und dem Fundament verbunden werden muss.

Durch einen hohen Vorfertigungsgrad aller Bauteile kann eine passgenaue Produktion vorab in einem Werk durchgeführt werden, sodass die Bauteile auf der Baustelle nur noch zusammengesetzt und verbunden werden müssen. Alle Rahmenbauteile sowie Boden-, Wand- und Deckenelemente werden aus Sengon Sperrholz mit einer Materialstärke von 40 mm und 15 mm ausgebildet. Um ein möglichst wirtschaftliches Gesamttragwerk erzielen zu können wird bei den Abmessungen der Bauteile darauf geachtet, dass möglichst wenig Verschnitt einer einzelnen Platte mit den Maßen 1220 mm x 2500 mm entsteht. Diese zu Beginn zu Grunde gelegten Maße wurden im weiteren Planungsverlauf hinsichtlich der lokalen Verfügbarkeit optimiert.

2.1.5. Musteraufbau am KIT – Evaluation und Optimierung

Ziel des Testaufbaus war es, die Machbarkeit des Systems unter Beweis zu stellen. Hierbei wurde vor allem darauf geachtet, dass die Rahmen mit möglichst einfachen Mitteln zusammengebaut werden können. Die Rahmenriegel und die Rahmenstützen wurden aus jeweils 5 Lagen Furnierschichtholzplattenstreifen zusammengeklebt. Die Dicke einer Furnierschichtholzplatte betrug 40 mm. Die Elemente wurden vorgefertigt an die Versuchsanstalt geliefert. Der Musteraufbau wurden gemäß dem Vorentwurf hergestellt und Belastungstests ausgesetzt. Auf Grund der Verzögerung in der Materialprüfung konnte dieser erst verspätet beauftragt werden, erfolgte dann aber im Oktober 2020.

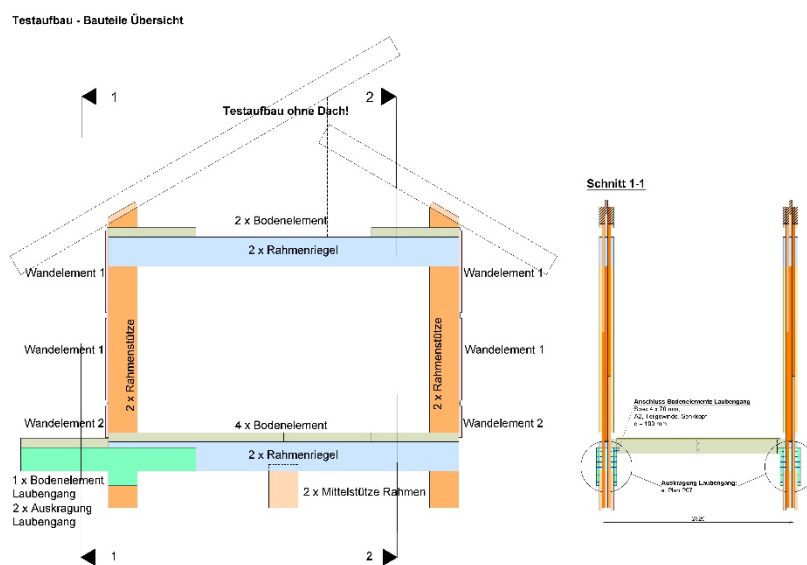


Abbildung 24: Zeichnung des Rahmenmoduls für den Testaufbau (Quelle: Blaß & Eberhart)

Ein fachliches Monitoring wurde durchgeführt, um eventuelle Schwachstellen am Baumaterial oder dem Bausystem zu identifizieren. Schwierigkeiten stellte das Zusammenstecken der Eckverbindungen mit ausgebildeten Zangen dar. Dadurch, dass das Plattenmaß dem Öffnungsmaß entsprach, bestand nur minimaler Spielraum beim Fügen der Bauteile. Die hohe Passgenauigkeit der Öffnungen lässt wenige Toleranzen und erschwerte den Prozess. Das Gewicht des Rahmens betrug etwa 500kg, weshalb ein Gabelstapler notwendig war. Der Aufbau des Testmoduls wird ausführlich im Bericht in Anhang A3 beschrieben.

Im Anschluss wurde die Durchbiegung des Rahmenriegels unter der Bemessungslast gemessen. Dazu wurde der Testaufbau für 4 Tage mit der maximalen Bemessungslast von 3,4 kN/m² belastet. Die Durchbiegung betrug nach 4 Tagen 4 mm. Es wurde festgestellt, dass die eing geplante mittelsestütze unter dem Rahmen nicht weiter notwendig ist.

Dieser Testaufbau war besonders bedeutungsvoll zur Evaluation und Anpassung des Systems und der Ressourcenminimierung. Durch die im Musteraufbau am KIT gewonnen Erkenntnisse und im Zusammenhang mit lokalem Knowhow aus Indonesien kam es im späteren Verlauf des Projekts zur teilweisen Überarbeitung und Anpassung des Bausystems. Die Querschnitte des Rahmens wurden im späteren Verlauf reduziert. Diese Optimierung wird in Kapitel 2.2.3. erläutert.



Abbildung 25: Detail des Musteraufbaus - Additives Fügen (Quelle: Löffler_Schmeling)



Abbildung 26: Detail des Musteraufbaus - Obere Ecke (Quelle: Löffler_Schmeling)



Abbildung 27: Testaufbau Modul, aufgebaut in der Versuchsanstalt (Quelle: Fairventures)

(Projektbeteiligte sind (von links nach rechts): K. Loike (Fairventures Worldwide gGmbH), M. Schmeling (Löffler & Schmeling Architekten), Prof. A. Löffler (Löffler & Schmeling Architekten), Dr. Ing. M. Flaig (Blaß & Eberhart Ingenieurbüro GmbH), M. Steilner (KIT Holzbau und Baukonstruktionen), A. Koger (Löffler & Schmeling Architekten).

2.1.6.Detailentwicklung – Ein umfangreicher Detailkatalog

Das Bausystem mit Entwurf und Werkplanung für Musteraufbauten wurde fertiggestellt. Im Zuge dessen wurden Leitdetails wie Gründung, Anschluss von Boden und Wand, der Anschluss von Wand zu Dach usw. entwickelt und präzisiert. Ergebnis davon ist ein umfangreicher Detailkatalog.

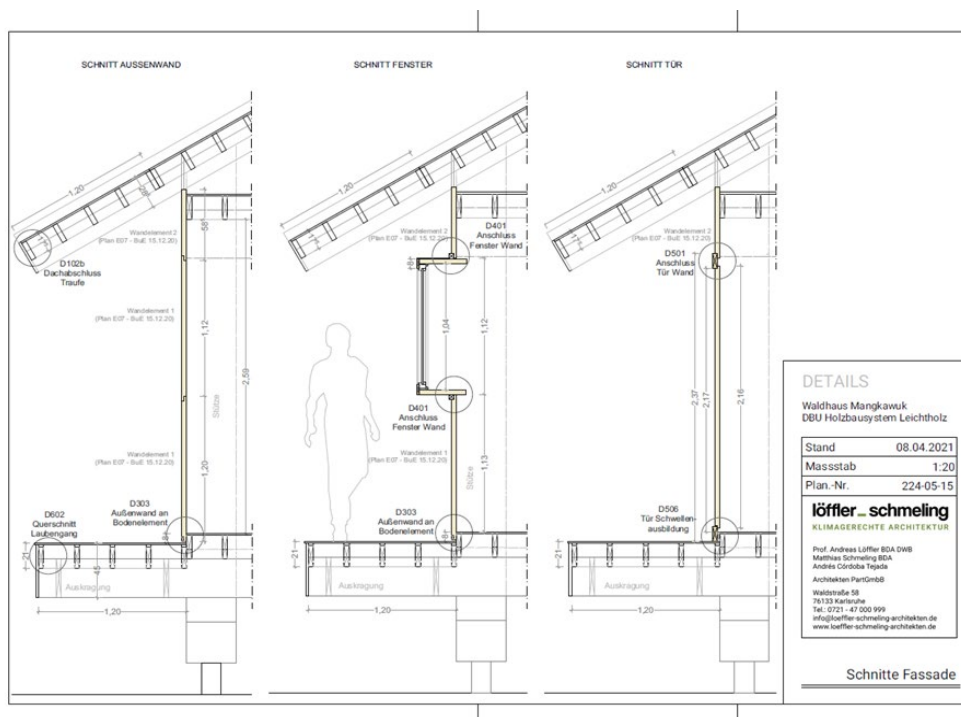


Abbildung 28: Fassadenschnitt (Quelle: Löffler_Schmeling)

2.1.7. Innenraumgestaltung – das Raumnutzungskonzept

Wie man den Innenraum gestaltet – von Oberflächen über Möblierung und Ausführung im Sanitärbereich – kann, je nach Anspruch (von einfach bis anspruchsvoll), individuell geklärt werden. Das Modulsystem eignet sich sowohl für Wohnbauten, Büronutzungen als auch Ausstellungsräume, Schulungs- und Seminarräume oder eine Unterkunft bzw. Hotelnutzung.

Zwischen den Rahmen können Wandschränke oder Regale eingebaut werden. Der Rahmenzwischenraum kann dabei auf Wunsch z.B. mit Lehmsteinen ausgefacht werden. Und in den Rahmen können Schiebetüren geführt und die Wände und auch Decken können mit anderen Hölzern beplankt werden.

Diese Nutzungsoffenheit erlaubt eine Bandbreite an Einsatzmöglichkeiten des Bausystems und gibt den späteren Nutzenden die Gelegenheit den Raum nach individuellen Bedürfnissen zu gestalten.



Abbildung 29: Visualisierung Innenraum – Büro (Quelle: Löffler_Schmeling)



Abbildung 30: Visualisierung Innenraum – Unterkunft (Quelle: Löffler_Schmeling)

2.1.8. Klimaengineering – klimatischer Komfort und Versorgung

Ein Konzept für eine passive Klimatisierung wurde in Kooperation mit Transsolar Energietechnik GmbH erarbeitet. Das Ziel war es, dass die Gebäude ein für die Region gutes Raumklima haben, auch bereits ohne aktive Gebäudetechnik. Durch passive bauliche Maßnahmen kann vermieden werden, dass sich die Raumtemperaturen über die Außentemperatur aufheizt. Hierzu werden bewährte Konzepte von traditionellen Bauten wiederaufgenommen. Aspekte wie die Querlüftung, die Lüftung nach oben (Kamineffekt), den Sonnenschutz und die Überhitzung außerhalb der Regenzeit wurden daher besonders beachtet.

Als Grundlage des Konzepts ist eine Klimaanalyse vorgenommen worden. Dokumentiert ist ein typisches tropisches Regenwaldklima. Das jährliche Temperaturprofil ist aufgrund der Nähe zum Äquator über das Jahr hinweg nahezu konstant. Hinsichtlich des thermischen Komforts sind somit Konzepte zur Kühlung vorrangig. Eine hohe solare Einstrahlung weist auf die Notwendigkeit von geeigneten Beschattungsstrategien hin. Nur durch die konsequente Verschattung und den Einsatz von Sonnenschutz, können Innenräume vor einer andauernden Überhitzung geschützt werden. Eine hohe Sonneneinstrahlung bietet jedoch optimale Bedingungen für die lokale Erzeugung von Elektrizität.

Maßnahmen zum Erhöhen des klimatischen Komforts sind somit:

1. die Materialwahl: Eine leichte Holzkonstruktion, mit geringer Speichermasse gibt die aufgenommene Wärme schnell wieder an die Umgebung ab.
2. die Verschattung: durch weitauskragende Dächer lässt sich der Wärmeeintrag über die Solarstrahlung reduzieren, auch als Regenschutz geeignet und beugt somit Feuchteschäden an der Holzkonstruktion vor
3. Verdunstungskühlung: durch das Aufhängen von nassem Stoff
4. Natürliche Lüftung: Aufständering fördert die Luftzirkulation um das Gebäude, leichte und z.T. durchlässige Wände lassen Querlüftung zu und Abluft über thermischen Auftrieb

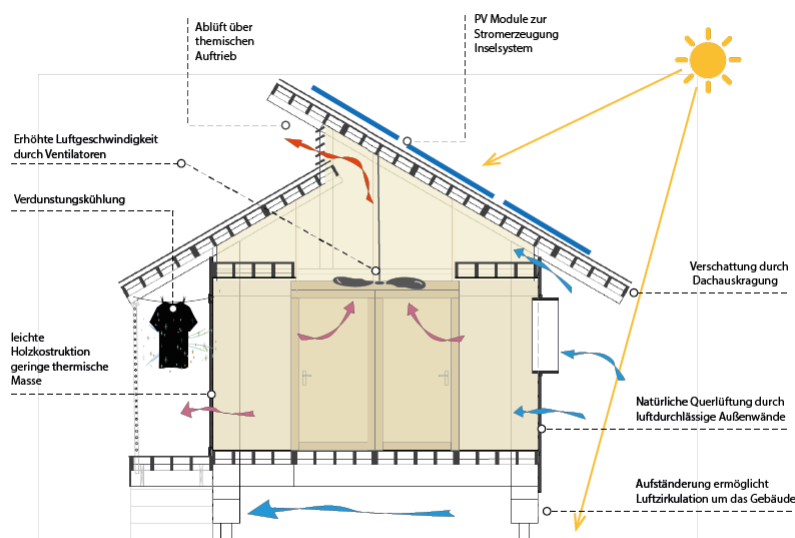


Abbildung 31: Klima- und Komfortkonzept Holzmodul (Quelle: Transsolar)

Versorgungskonzept

Ziel ist es geeignete Alternativkonzepte zu entwickeln, welche einen autarken Betrieb des Gebäudes ermöglichen. Hierzu sollen die lokal verfügbare Ressource nachhaltig genutzt werden, sodass daraus keine Auswirkungen auf das lokale Ökosystem entstehen. Aus technischer Sicht sind die Planungsbereiche, elektrische Stromversorgung, Trinkwasserversorgung sowie die Schmutzwasserbehandlung- und Gebäudeentwässerung zu bearbeiten.

Stromversorgung: Aufgrund der hohen solaren Einstrahlung am Standort bietet sich der Aufbau eines Photovoltaik-Inselsystems zur unabhängigen Stromversorgung des Gebäudes an. Der Bedarf und das Potenzial wurden ermittelt und darauf ein geeignetes Gesamtkonzept abgestimmt. Detaillierte Aufstellungen zum Strombedarf und dem PV-Potential können in Anlage A4 nachgelesen werden.

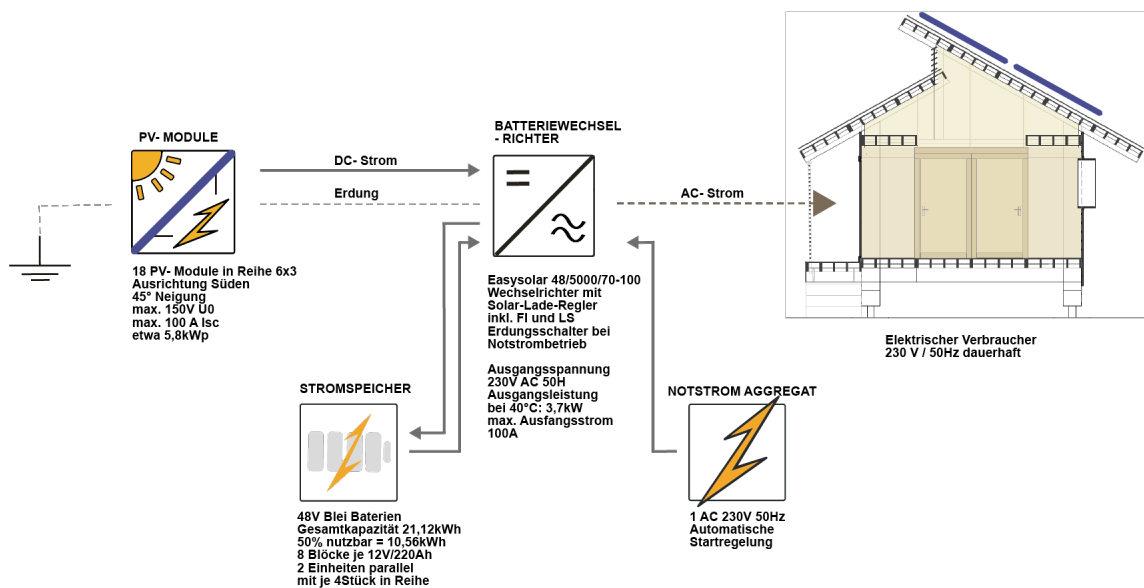


Abbildung 32: Komponenten im Gesamtsystem der PV – Inselanlage (Quelle: Transsolar)

Wasserversorgung: Zur Auslegung der Wasserversorgung wurde der Trinkwasserbedarf ermittelt. Als geeignete Quelle für die Wasserversorgung erwies sich das Sammeln von Niederschlagswasser. Die Wetterdaten zeigen regelmäßige und hohe Mengen an Niederschlag, sodass auch bereits auf kleinen Flächen ausreichend Wasser gesammelt werden kann.

Das Regenwasser wird über die großen Dachflächen aufgefangen und gesammelt. Zu Beginn der Planung waren zur Regenwassersammlung in den Boden eingelassen Betonrinnen vorgesehen, welche sich zu beiden Seiten des Dachs unmittelbar unter der Dachtrauf befinden. Gegenüber Dachrinnen bieten sie den Vorteil, dass sie auch für große Wassermengen, infolge eines Starkregenereignis, ausreichend dimensioniert werden können, ohne dabei ein konstruktives Sonderlösen für die Dachkonstruktion zu erfordern. Zudem lassen sich die Bodenrinnen leichter reinigen. Dies stellt auch eine gängige Bauweise der vernakulären Architektur dar. Demnach orientiert sich das Konzept an der Architektur, die historisch am Ort gewachsen ist, statt gezielt von Externen geplant zu werden. Im Pilotprojekt wurde an der größeren Dachfläche eine Regenrinne angebracht, von der aus das Wasser aufgefangen und in die Zisterne geleitet wird. Die Entscheidung zu dieser Änderung wird in Kapitel 2.2.7. aufgeführt.

Für die Versorgung mit Trinkwasser wird der Reinigung in der Zisterne eine weitere 5-stufige Wasserfiltration mit Umkehrosmose-Technik nachgeschaltet.

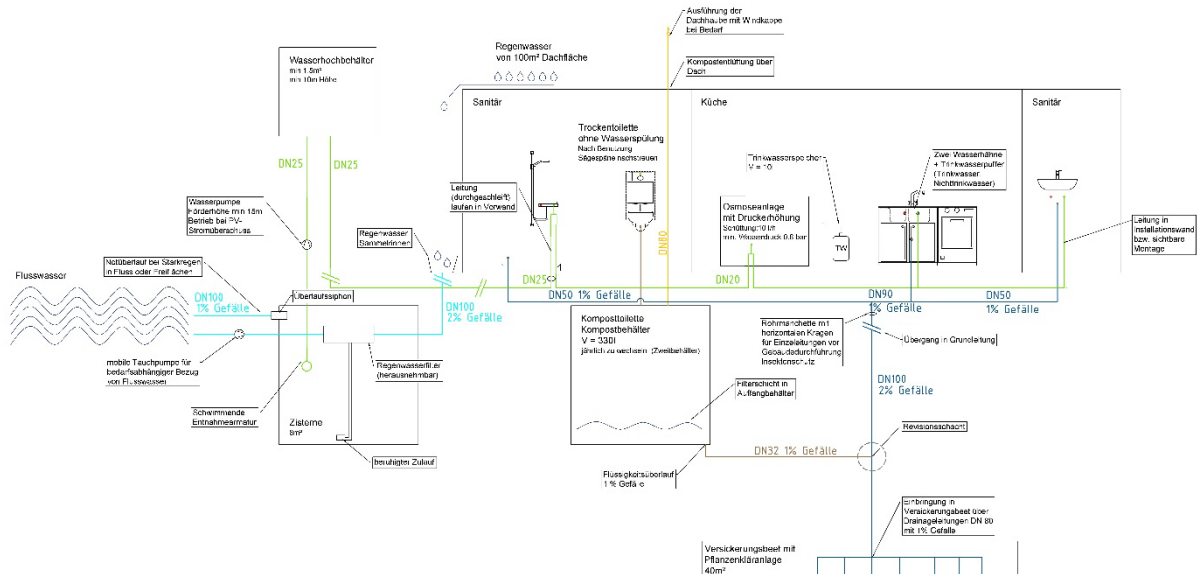


Abbildung 33: Versorgungs-konzept (Quelle: Transsolar)

Da das zu Beginn vorgesehene Grundstück nicht an eine Entwässerungsinfrastruktur mit einer zentralen Kläranlage angeschlossen ist, musste auch hierfür ein autarkes System gefunden werden, bei dem das Abwasser inkl. der organischer Bestandteile ohne Schäden für die Umwelt in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt wird. Die zentralen Elemente des Konzepts sind die Trennung von Grauwasser und Schmutzwasser sowie die generelle Reduktion des Schmutzwasseraufkommen durch den Einsatz von Kompost-/Trockentoiletten. Grauwasser kann über eine Pflanzenversickerungsanlage versickert werden, die Rückstände der Trockentoilette werden kompostiert und als Dünger eingesetzt. Im Rahmen eines Ortswechsels, war die Umsetzung des autarken Systems durch vorhandene Infrastruktur nicht notwendig. Das Konzept zeigt dennoch die Möglichkeit auf. (s. ebenfalls Kapitel 2.2.7)



Abbildung 34: Wassertanks unter dem Gebäude (Quelle: Fairventures)



Abbildung 35: Entwässerungsinfrastruktur unter dem Gebäude (Quelle: Fairventures)

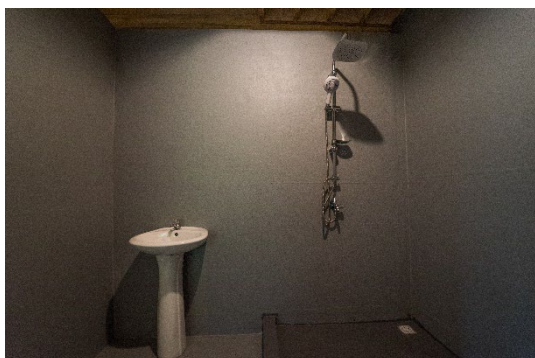


Abbildung 36: Sanitäreinheit (Quelle: Fairventures)



Abbildung 37: Küche aus Sengonholz (Quelle: Fairventures)

2.1.9. Bauleitung – Aufbau des Pilotprojekts

Ziel des Forschungsvorhabens beinhaltete unter anderem den Aufbau eines Gebäudes zur Überprüfung der Ansätze zum Bau mit Leichtholz in Indonesien. Dieser ist besonders bedeutungsvoll zur Evaluation und Anpassung des Systems und der Ressourcenminimierung in Zukunft. Wir erhofften uns, neue Erkenntnisse und ein Verständnis für die Wertschöpfungskette und Materialverfügbarkeit vor Ort. Diese Ziele sind erreicht und stellen eine wertvolle Grundlage für eine Weiterentwicklung in Zukunft dar.

Im Folgenden soll ein Einblick in die Abläufe zum Aufbau vor Ort gegeben werden. Ein wichtiger Schritt des Aufbaus war zunächst der Beschaffungsprozess der benötigten Materialien und der logistische Rahmen. Für die Produktion der Konstruktion aus Red Jabon Brettschichtholzträgern entschied sich die FSF für die Zusammenarbeit mit PT Woodlam. PT Woodlam ist der erste indonesische Brettschichtholz- und Brettsperrholzhersteller. Produziert wird auf der Insel Java. Das Sengonsperrholz in 15mm und 36mm konnte von lokalen Unternehmen erworben werden.

Das modulare System erlaubt ein Vor-Fabrikieren in der Werkstatt. Die Holzwerkstoffe wurden eingekauft, geliefert und in einer Halle vorgefertigt. Die Boden-, Decken und Dachelemente wurden verschraubt und beplankt. Die Arbeiter vor Ort wurden im Rahmen des Projekts geschult und fachgerecht angeleitet von Petrus Guawan, Leiter eines lokalen Baubetriebs PT PAAT. Zudem war mit Herrn Thomas Brönnimann ein Schreinermeister mit vielen Jahren Erfahrung am Bau in Indonesien vor Ort.

Die ausgewählte Fläche wurde vorbereitet, Fundamente gegossen und Wassertanks im Boden installiert. Die vorgefertigten Elemente konnten auf die Baustelle geliefert werden und mussten nur noch verschraubt werden. Die Montage des Mustergebäudes wurde dann vor Ort, unter Aufsicht der Bauleitung, durch einen lokalen Zimmermeister mit indonesischen Arbeitern gebaut. Die Rahmen wurden verschraubt, aufgestellt und im Fundament verankert und die Elemente eingehängt. Das Dach erhielt einen zusätzlichen Aufbau, ebenso die Terrasse. Fenster und Türen wurden von der Zimmerei produziert, geliefert und montiert. Nach Rücksprache wurde hier auf verfügbare lokale Gestaltung zurückgegriffen, die zuvor nicht so in den Plänen dargestellt war. Dies stellen besonders die herausragende Adaptionfähigkeit und Flexibilität des Systems und die Bedeutung von einer kulturübergreifenden Zusammenarbeit und Akzeptanz dar. Es folgte der Innenausbau, die Elektrik und Versorgungsleitungen. Im Anschluss wurde das Gebäude mit zuvor getesteten Holzschutzmitteln behandelt. Mehr dazu im Kapitel 2.1.11. Ein detaillierter Bericht, der den gesamten Ablauf inkl. Fotos dokumentiert, ist in Anhang A5 beigelegt.



Abbildung 38: tragende Grundstruktur
(Quelle: Löffler_Schmeling)



Abbildung 39: Arbeiten mit digitalen und analogen Plänen vor Ort
(Quelle: Löffler_Schmeling)



Abbildung 40: der Rohbau Anfang August 2020 (Quelle: Fairventures)



Abbildung 41: Innenraum während der Bauphase (Quelle: Fairventures)

2.1.10. Vorortbericht – das Pilotprojekt auf Borneo

Einige der Projektpartner konnten im Rahmen einer Exkursion zum Zeitpunkt der äußerst bedeutenden Phase des Rohbaus vor Ort sein und wichtige weitere Vorgehensweisen besprechen. Diese Kooperation garantierte gute Qualität und regen Austausch in interdisziplinärer und internationaler Zusammenarbeit.

Zudem erlaubte dies einen eigenen Eindruck des Baufortschritts und gab die Gelegenheit, die Baumschule in Mangkawuk (das zu Beginn gewählte Baugrundstück), sowie das HKm Batu Bulan, ein nachhaltiges forstwirtschaftliches Geschäftsmodell, im Inland zu besuchen. Die Reise beeindruckte, sowohl durch die kontinuierliche Weiterentwicklung des Programms von Fairventures als auch durch die Produktion vor Ort. Der Abschluss des Gebäudes war zu dem Zeitpunkt der Abreise absehbar und wurde gespannt von allen Projektbeteiligten erwartet.



Abbildung 42: HKm Batu Bulan - ein Sengonwald (Quelle: Löffler_Schmeling)



Abbildung 43: vorne im Bild vor dem Pilotprojekt: P. Guawan, M. Schmeling, A. Löffler, Dr.-Ing. M. Flaig, A. Koger, J. Nanyan (v.l.n.r.) (Quelle: Löffler_Schmeling)



Abbildung 44: Sengonsetzlinge in der Baumschule (Quelle: Löffler_Schmeling)



Abbildung 45: Prof. Andreas Löffler vor Ort auf der Baustelle (Quelle: Löffler_Schmeling)

2.1.11. Ergänzende Forschung

Im Rahmen der Materialforschung haben sich einige ergänzende Themen aufgetan, die es zu untersuchen galt, um fundiertere Entscheidungen im Pilotprojekt und für das Bausystem treffen zu können. Diese ergänzende Forschung war nicht im Rahmen des Antrags genehmigt und wurde daher auch nicht mit Mitteln der DBU finanziert.

Schindeltests – mögliche Dachdeckung

Die in Indonesien traditionell verwendeten Schindeln aus Eisenholz sind aufgrund des Abholzungsverbotes und der Ausbeutung des Regenwaldes nicht mehr verfügbar. Ersatzweise findet heute häufig Wellblech Verwendung. Folge davon ist eine hohe Hitzeentwicklung der Oberfläche und im Innenraum.

Eine innovative Alternative für die lokal verwendeten Wellblechdächer ist daher notwendig. Statt Bambus, sind wir im Projektverlauf durch Austausch mit lokalen Experten zu dem Entschluss gekommen, im Rahmen der Forschung verschiedenen Leichthölzer zu untersuchen, um deren Eignung als Dacheindeckung zu prüfen. Wir könnten die institutionellen, räumlichen und personellen Voraussetzungen für die Etablierung einer kleinen Forschungsstation schaffen. Die Schindeln wurden durch verschiedene Werkzeuge vorbereitet und auf Feuchtigkeitswerte geprüft. Der Testaufbau ist in Angang A5, Kapitel 5.2. abgebildet.



Abbildung 46: Schindeltest Vorbereitung (Quelle: Fairventures)



Abbildung 47: Schindeltest Aufbau (Quelle: Fairventures)



Abbildung 48: Schindeltest Aufbau nach 2 Jahren (Quelle: Löffler_Schmeling)

Nach der visuellen Untersuchung der Schindeln konnte ein schnelles Fazit gezogen werden. *Acacia Hybrid* funktioniert nicht so gut wie erwartet. Es scheint sich zu biegen und zu reißen, aber es funktioniert immer noch besser als *Jabon Putih*, wie in der Hypothese erwartet. *Masupang* und *Bangkira* sind tropische Holzarten, die nicht gepflanzt, sondern im Regenwald geerntet oder illegal geschlagen werden. Daher wurden diese Probekörper nicht berücksichtigt und dienten nur dem Sammeln von Vergleichswerten. Die Idee war, das leistungsfähigste schnell wachsende und nicht

aus Regenwald stammende Holz als Schindeln für die DBU-Modulbauweise zu verwenden. Der Test zeigte jedoch, dass keine Schindeln gut genug waren, um den rauen Bedingungen des Borneo-Klimas standzuhalten. So fiel die Entscheidung, stattdessen vorerst Bitumenschindeln zu verwenden, die erhältlich sind, günstig im Preis sind und länger standhalten als unbehandelte Holzschindeln. Weitere Testungen in diese Richtung sind jedoch denkbar.

Holzbehandlung – Bewitterungstests

Um herausfinden und zu analysieren, welche Holzbehandlung von Sengonsperrholz geeigneter ist, wurden Bewitterungstests in Palangka Raya durchgeführt. Dabei ist das Sengonholz mit drei unterschiedlichen Holzschutzmitteln behandelt, während ein Teil unbehandelt blieb.

Als Testmaterial wurde eine Sengon-Sperrholzplatte mit einer Größe von 1200mm x 2400mm und einer Dicke von 3 mm verwendet. Die verwendeten Behandlungsmaterialien waren nicht behandeltes Ultran Teaköl 555, Ultran Aqua Politur AQP-630, Ultran Aqua Deck Lasur ADL – 605. Aufgrund der begrenzten verfügbaren Materialien in Palangkaraya wurde entschieden, stattdessen Aqua Politur AQP-630 zu verwenden Ultran P-03 UV.

1. Zuerst wird Ultran Aqua Politur AQP-630 verwendet, diese Behandlung ergibt eine dunkle, helle Farbe oder ein Bonbonbraun.
2. Die zweite ist die Verwendung von Ultran Aqua Deck Lasur ADL – 605, diese Behandlung ergibt die dunkelste Farbe (Dunkelbraun).
3. Die dritte verwendet Ultran Teak Oil 555, diese Behandlung ergibt die hellste Farbe und weniger Dunkelheit.

Die erste und die zweite Testfarbe lieferten die besten Ergebnisse. Zudem wurden Interviews mit mehreren Mitarbeitern des FVW-Büros als Vertreter der Öffentlichkeit über das Interesse an den verwendeten Farben geführt, so dass der Schluss gezogen werden kann, dass die Verwendung von Ultran Aqua Politur AQP-630 (Candy Brown Q502) im Vergleich zu anderen am ästhetischsten ist. Für die Fassade/Außenelemente wurde das „Bonbonbraun“ und für die von außen sichtbare Tragstruktur die dunkelbraune Farbe verwendet.



Abbildung 49: Aufbau des Bewitterungstest – Holzschutzmittel
(Quelle: Fairventures)

2.2. Diskussion der Ergebnisse

2.2.1. Umsetzung vor Ort

In vorherigen Abschnitt wurden die einzelnen Aktivitäten und Schritte, die zur Umsetzung des Projekts notwendig waren, ausführlich erläutert.

Im Folgenden sollen die Herausforderungen verständlich gemacht werden, die mit dem Projekt entstanden sind und durch dynamische Entscheidungsfindung und ein agiles Team sowie Unterstützung durch Projektpartner überwunden wurden. Für jede Aktivität wird eine Begründung für die Abweichung vom ursprünglichen Plan angegeben.

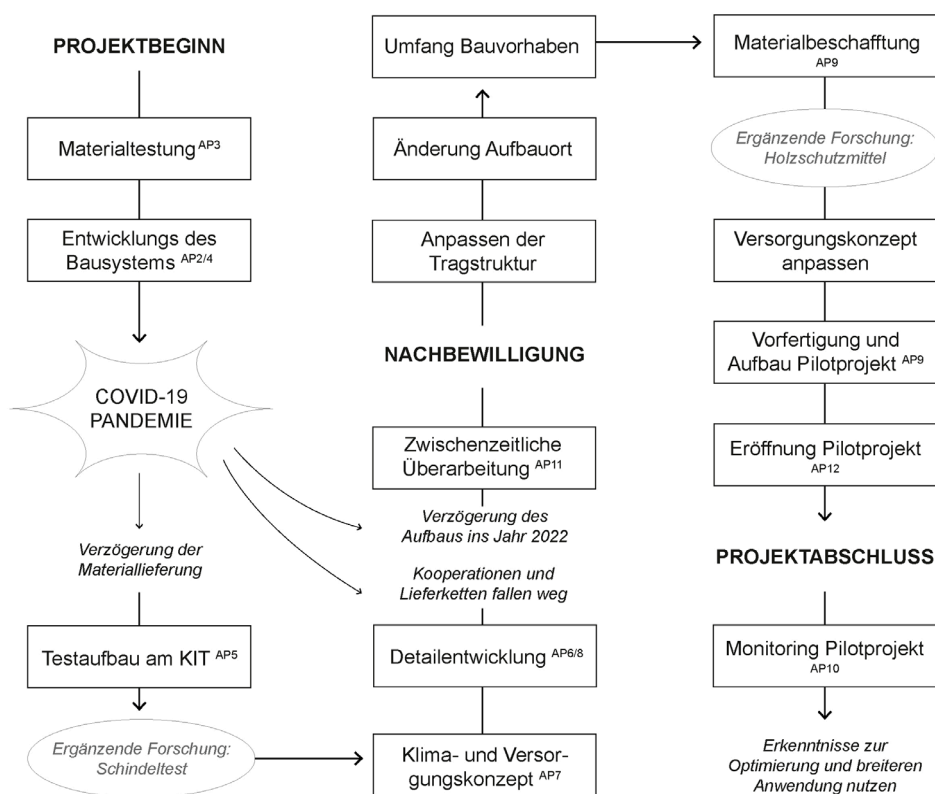


Abbildung 50: vereinfachter Ablauf des Projekts (Quelle: Löffler_Schmeling)

Nach der Planung, den Tests am KIT (Herausforderungen hierbei wurden bereits in Kapitel 2.1.2. erwähnt), der Abstimmung mit Transplan und dem Start der ersten Beschaffung des Materials war das Projekt auf Kurs und hätte wie ursprünglich geplant 2021 gebaut werden können.

2.2.2. COVID-19-Pandemie

Die Einschränkung und Beeinträchtigung durch die Pandemie hatten besonders auf den Zeitplan bedeutende Auswirkungen. Sie führte zu Komplikationen und Verzögerungen im Projekt.

Unsere Aktivitäten in Indonesien waren in verschiedenem Ausmaß von Sicherheitsmaßnahmen aufgrund der Corona-Pandemie betroffen. Über weite Strecken gab es Reisebeschränkung sowie Ausgangssperren im Land, internationale Reisen nach Indonesien waren eine Zeit lang überhaupt nicht möglich. Die dort für den Bau, durch unseren Projektpartner Fairventures aufgebaute Infrastruktur ist zusammengebrochen. Aufgrund dramatisch steigender Infektionszahlen durch die

Delta-Variante in Zentralkalimantan kamen weitere Einschränkungen hinzu: Unser Projektpartner Fairventures wurde, wie alle örtlichen Organisationen und Unternehmen dazu aufgefordert, die Aktivitäten in unserem Projektgebiet vorläufig einzustellen. Aus diesem Grund hatte sich FVW dazu entschieden, alle Mitarbeiter bis auf weiteres ins Homeoffice zu verlegen, das Büro bis auf Weiteres zu schließen und alle Feld- und Bauaktivitäten einzustellen, bis sich die Lage besserte. Davon war unser vorliegendes Projekt leider stark betroffen.

Diese Situation erlaubte es nicht, mit dem Einkaufsprozess des Holzes wie gehabt fortzufahren. Lieferketten sind unterbrochen und Zulieferer haben aufgrund des Lockdowns nur begrenzte Ressourcen und Möglichkeiten, überhaupt zu arbeiten. Für uns wichtige Firmen wie eine Zimmerei, hat die Arbeit eingestellt.

Dadurch kam es zu Verzögerungen im Projekt und etliche Aktivitäten mussten anders gestaltet werden als ursprünglich geplant und teilweise erneut ausgeführt werden. Dies resultierte in unvorhersehbaren coronabedingten Mehrkosten. Es kam zu Mehraufwendungen an Personalkosten in der Organisation, sowie bei unserem Kooperationspartner Fairventures durch die corona-bedingten Verzögerungen. Besonders der Arbeitspakete 1, 5 und 9 haben sich auf Grund von Corona zeitaufwendiger gestaltet und mehr Personalaufwand in Anspruch genommen.

Durch Engpässe in Transport und Verfügbarkeit, sowie erhöhte Transportkosten und steigende Holzpreise war eine Materialkostenerhöhung absehbar. Die DBU war bereit, uns im Rahmen einer Nachbewilligung zu unterstützen, um das Projekt erfolgreich abzuschließen.

Fertigstellung des Pilotprojekts

Die geplante Fertigstellung des Testaufbaus im Oktober 2021 konnte nicht realisiert werden, da die Regenzeit im November beginnt. Durch massive Regenfälle sind die Straßen teilweise nicht mehr befahrbar und die Bedingungen auf der Baustelle nicht mehr für eine Holzkonstruktion geeignet, da diese einen Zusammenbau bei weitgehend trockenen Verhältnissen erfordert.

Die Zeit bis zur nächsten Möglichkeit des Aufbaus nutzen wir und schafften so bald wie möglich neue Voraussetzungen für die Realisierung vor Ort und bauten erneut eine gute lokale Infrastruktur auf. Sobald eine Realisierung coronabedingt wieder möglich war, wurde vor Ort begonnen, erneut geeignete Firmen hinzuzuziehen. Das für den Projekterfolg nicht unwesentliches Know-how der Zimmerei vor Ort wurde aktiviert. Dieses Know-how wurde im weiteren Projektverlauf und für die Realisierung genutzt und führte dazu, das Projekt noch zu vereinfachen und das Ergebnis zu verbessern.

2.2.3. Optimierung der tragenden Rahmen

Die Zwischenzeit, in der wir nur eingeschränkt handlungsfähig waren, wurde genutzt, um - nach Ergebnis und Erkenntnissen des Musteraufbaus und mit Input von lokalen Fachleuten - das Bausystem zu optimieren.

Da es im Sinne der Projektziele ist, lokales Know-how, Verfügbarkeit und leichte Handhabung aktuell zu bedenken und zu bewerten, haben wir uns entschieden, im Austausch mit Experten der Produktion vor Ort, die Rahmenkonstruktion aus Leimholz herzustellen, statt diese aus 40mm starken Holz furnierplatten zu produzieren. Grund dafür war die Verfügbarkeit und leichtere Handhabung von Jabonholz. Es ist ebenfalls ein lokal angebautes Leichtholz aus der Wiederaufforstung, das jedoch eine etwas höhere Rohdichte und Festigkeit als Sengon aufweist.⁶

⁶ (Okuda, S. & Corpataux, L. & Muthukrishnan, S. & Kua, H., 2018)

Der Leimholzproduzenten Woodlam PT auf Java hat bereits Erfahrung mit Leimbindern und die notwendige Einrichtung, um Red-Jabon-Leimbinder der Festigkeitsklasse GL24 herzustellen. Die Statik konnte dadurch optimiert und Schwachstellen auf Grund besserer Fügechnik minimiert werden.

In diesem Schritt sind wir außerdem auf eine Zangenkonstruktion umgestiegen, die den Aufbau – im Vergleich zum Musteraufbau am KIT – deutlich vereinfacht. Bei der zuvor geplanten Konstruktion aus Sengonsperrholz waren die Stützenquerschnitte im Bereich der Rahmenecken zweiteilig, die Riegel dreiteilig, sodass insgesamt vier Berührflächen (Scherfugen) zwischen Stütze und Riegel vorhanden waren. Im Gegensatz dazu sind es bei der jetzt geplanten Konstruktion mit zweiteiligen Riegeln und einteiliger Stütze nur noch zwei Scherfugen. Durch die Änderung von Sperrholz zu Brettschichtholz kommt es zu größeren Verbindungsmittelabständen. Somit werden weniger Schrauben benötigt. Durch geringere Querschnitte der Rahmen wurde das Gewicht der Rahmen reduziert und diese handlicher.

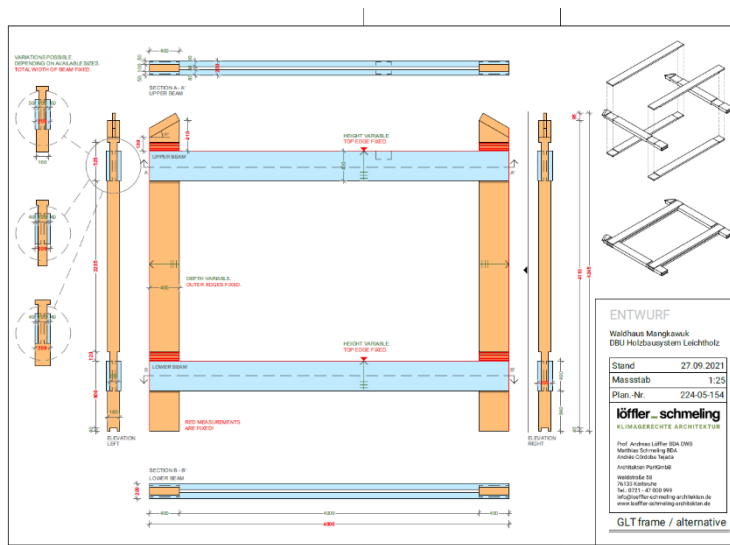


Abbildung 52: Optimierung der Rahmen (Quelle: Löffler_Schmeling)

Material	Quantity	Material	Quantity	Material	Quantity
100x100x3000	4	100x100x3000	4	100x100x3000	4
100x100x3000	4	100x100x3000	4	100x100x3000	4
100x100x3000	4	100x100x3000	4	100x100x3000	4
100x100x3000	4	100x100x3000	4	100x100x3000	4

Abbildung 51: Produktionsplan Leimbinder (Quelle: PT Woodlam)

Der überarbeitete Rahmen wurde von statischer Seite durch Blaß & Eberhart Ingenieure überprüft und freigegeben. Die Bauteile der Stützen und Träger wurden dann von der Firma Woodlam PT auf Java produziert. Es ist ein Zeichen von Qualität und Robustheit, dass unser Bausystem solche lokalen Anpassungen ohne Problem und Qualitätsverluste und mit minimalem Planungsaufwand

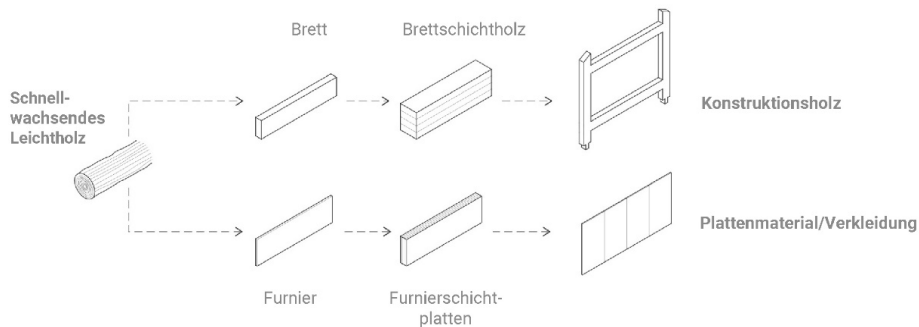


Abbildung 53: Verwendungsmöglichkeiten von Leichtholz (Quelle: Löffler_Schmeling)

verträgt. Das Bausystem funktioniert nach dieser Änderung weiterhin wie geplant und Großteils mit vorgesehenen Maßen.

Durch diese Veränderung konnten wir um Rahmen des Projekts gleich mehrfache Verwendungsmöglichkeiten von Leichtholz abbilden. Das Holz kann sowohl zu Plattenwerkstoffen verarbeitet und in unserem Fall für die Fassade verwendet werden als auch in Form von Brettern zu Leimholz verarbeitet werden. Dies ist im tragenden Rahmen abgebildet.

2.2.4. Optimierung der Plattenwerkstoffmaße

Die gesamte Konstruktion wurde auf der Annahme entworfen und berechnet, dass die Standardplattengrößen in Indonesien 1,22 x 2,50m betragen. Grundlage der Annahme waren die Sperrholzplatten für die Tests am KIT, die vom deutschen Plattenhersteller in diesen Maßen erhältlich waren und darauf schließen ließen, dass auch Standard-Sperrholzplatten aus Indonesien die gleiche Dimension haben, wie die auf den Datenblätter genannten. Es stellte sich heraus, dass die indonesische Standardplatten 1,22m x 2,44m groß sind. Um auf kostengünstigere Platten zurückgreifen zu können, wurden die Plattendimensionen der Fassade angepasst. Die 6cm Differenz kann das geplante System ohne Probleme aufnehmen. Auch die Plattenstärke von 40 mm wurde auf 36 mm reduziert, was die Beschaffung einfacher und kostengünstiger machte. Die Sperrholzstärke von 36 mm ist für Indonesien nicht Standard, war aber in dieser Bauphase notwendig, um die statische Stabilität zu gewährleisten. Bei Weiterentwicklung besteht hier Potential zu Optimierung.

2.2.5. Ortswechsel von Mangkawuk nach Palangka Raya

Nach Planung, Testaufbau in Deutschland und Kooperation und Austausch mit Partnern vor Ort, ergab sich während der Beschaffungsphase im April 2022 eine unglaubliche Gelegenheit. Das Projekt hatte zu diesem Zeitpunkt eine sehr positive Resonanz und Aufmerksamkeit erhalten und das Forstministerium *Dinas Kehutanan Provinsi Kalimantan Tengah* (DINAS) in Palangka Raya bot uns eine Fläche zur Errichtung in der Hauptstadt Kalimantan, zum Aufbau des Pilotprojekts, an einer sehr zentralen Stelle, an. Dies stellte sich als sehr viel praktikabler dar, um den Transfer der innovativen Bauidee durch das Musterprojekt an die zum Teil sehr prominenten Multiplikatoren zu bringen und deutlich mehr mediale Aufmerksamkeit zu erlangen als in Gunung Mas – einer sehr dünn besiedelten Region. Das Gebäude wurde daraufhin (und nach Rücksprache mit der DBU) auf dem Grundstück des Forstministeriums im Stadtzentrum errichtet. Die intensive Nutzung dieses Projekts an dieser Stelle ermöglicht eine gute Evaluation des Holzbausystems und möglicherweise kleine Anpassungen.

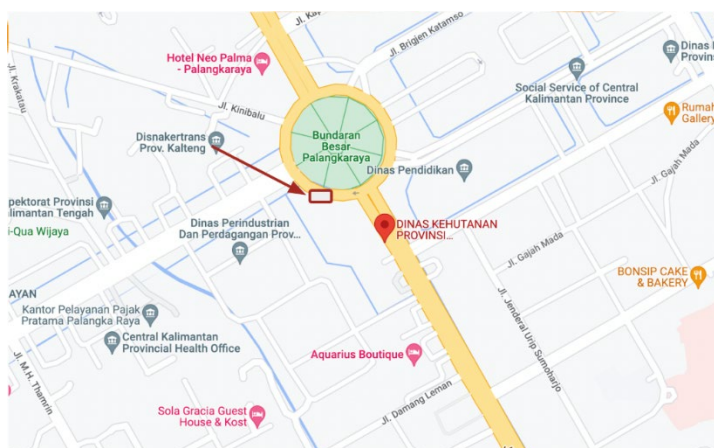


Abbildung 54: neuer Aufbauort (Quelle: Google Maps)



Abbildung 55: Unterzeichnung zur Zusammenarbeit mit dem Forstministerium (Quelle: Fairventures)

2.2.6. Umfang des Bauvorhabens

Bedingt durch die Verzögerung im Aufbau durch die Pandemie und die Entscheidung das Pilotprojekt in der Hauptstadt Palangka Raya auf dem staatlichen Grundstück DINAS aufzubauen, mussten Veränderungen an dem zu realisierenden Bauvorhabens vorgenommen werden. Da hier weniger Platz zur Verfügung steht, wurden vorerst drei Module mit zwei Vordachmodulen errichtet.

Besonders wichtig war uns dabei, die essentialen Bestandteile des Systems trotzdem alle im Pilotprojekt ausführen zu können. Das Raumprogramm des ersten Bauabschnitts umfasst daher eine Küche, eine Sanitäreinheit und einen Aufenthalts- und Seminarraum, sowie einen witterungsgeschützten Außenbereich. Somit können sowohl klima-, als auch versorgungstechnische Fragen an diesem Objekt untersucht werden.

Das Gebäude umfasst ein Aufenthaltsraum (Büro oder Seminarraum), eine Küche und ein Sanitärmodul. Die gesamte Fläche beträgt ca. 50m², bestehend aus 36m² Innenfläche und dem Balkon mit 14 m². Die gesamte Konstruktion inklusive Dachüberstand benötigt ca. 78,6 m² Platz.

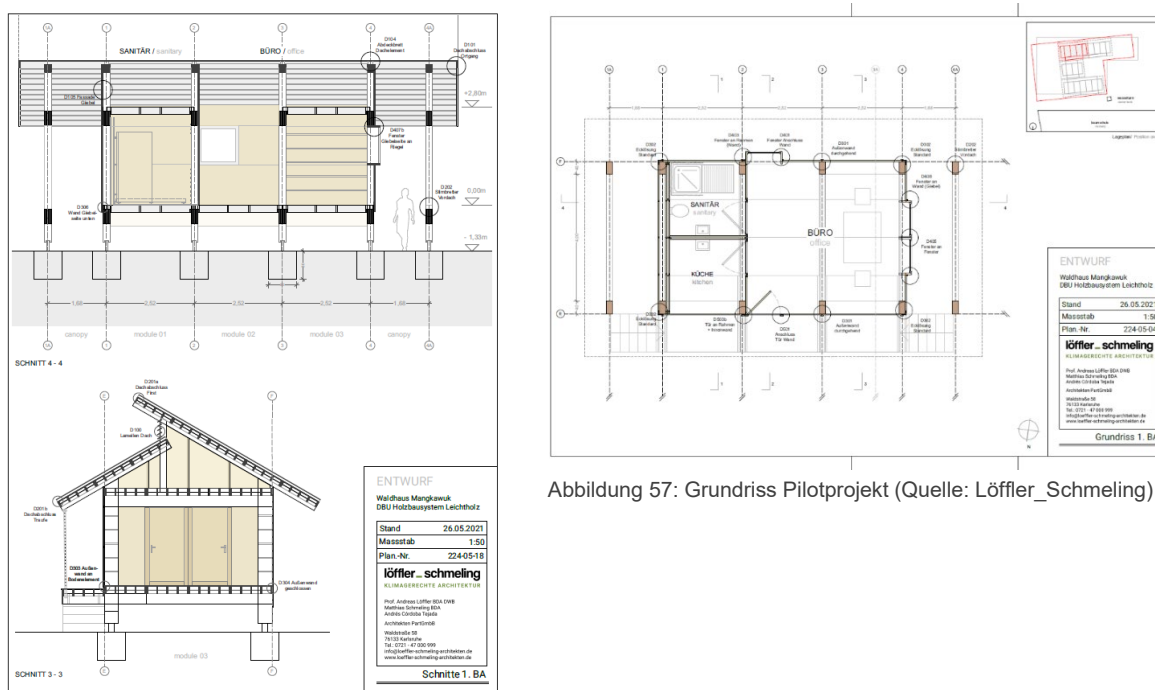


Abbildung 56: Schnitte Pilotprojekt (Quelle: Löffler_Schmeling)

Abbildung 57: Grundriss Pilotprojekt (Quelle: Löffler_Schmeling)

2.2.7. Adaption des Klimakonzepts

Dieser Standortwechsel ging einher mit einer Änderung des Klimakonzepts. Aufgrund des neuen Standortes wurde beschlossen, keine Sonnenkollektoren zu installieren. Zum einen, weil die Sonne die Module aufgrund des Schattens der Bäume nicht mit ausreichend Strom versorgt und zum anderen bereits Energie vorhanden ist. Somit wird der Strom genutzt, der bereits auf dem Gelände zur Verfügung gestellt wird. Zu anderen ist die Implementierung von Solarmodulen keine Innovation an sich, da diese Technologie in Indonesien bereits weithin bekannt ist. Zudem musste die ursprüngliche Idee, ein Pflanzenfiltersystem einzusetzen, angepasst werden, da die Fläche für den Bau einfach zu flach war und keine Entwässerung hätte gewährleistet werden können. Daher wurden einige Änderungen am Regenwassersammelsystem vorgenommen.

2.2.8. Beginn und Dauer des Projekts

Das Projekt begann bereits im Juni 2019. Aufgrund der coronabedingten Entwicklung ist es unmöglich gewesen, das Projekt in zu Beginn angesetzttem Zeitraum abzuschließen. Es wurden daher Laufzeitverlängerungen bis zum 23.10.2022 genehmigt. Das Pilotprojekt konnte somit im Rahmen des Förderzeitraums fertiggestellt werden und wurde am 30.11.2022 im Beisein von Johannes Schwegler, Gründer von Fairventures, Vertretern des Deutschen Bundestages sowie Vertreter der indonesischen Regierung auf nationaler und regionaler Ebene eröffnet. Mehr dazu in Kapitel 2.4.

2.2.9. Fertigstellung und Kurzfazit

Eine gründliche Analyse der verfügbaren Baumaterialien in Borneo sollte durchgeführt werden, um lange und kostspielige Transportgebühren und Emissionen zu vermeiden. Durch eine Produktion und Fertigung von mehr und mehr Baumaterialien vor Ort, kann in Zukunft der Versand derer über längere Distanzen vermieden werden.

Nach Auswertung der Testphase ist eine weitere Optimierung des Systems zur Ressourcenminimierung und Integration von ortsansässigem Know-how denkbar. Arbeitskräfte können im Rahmen dessen, im Umgang mit Leichtholz aber auch in der allgemeinen Holzbearbeitung geschult werden.

Wir sind stolz, das Projekt trotz Komplikationen abschließen zu können, da gerade die Umsetzung und das Monitoring des Pilotprojekts entscheidende Erkenntnisse über Dauerhaftigkeit der eingesetzten Materialien und Fügetechniken sowie der Leistungsfähigkeit der innovativen technischen Systeme bringt und in Zukunft bringen wird.



Abbildung 58: das fertiggestellte Pilotprojekt in Palangka Raya (Quelle: Fairventures)



Abbildung 59: Außenansicht Pilotprojekt (Quelle: Fairventures)

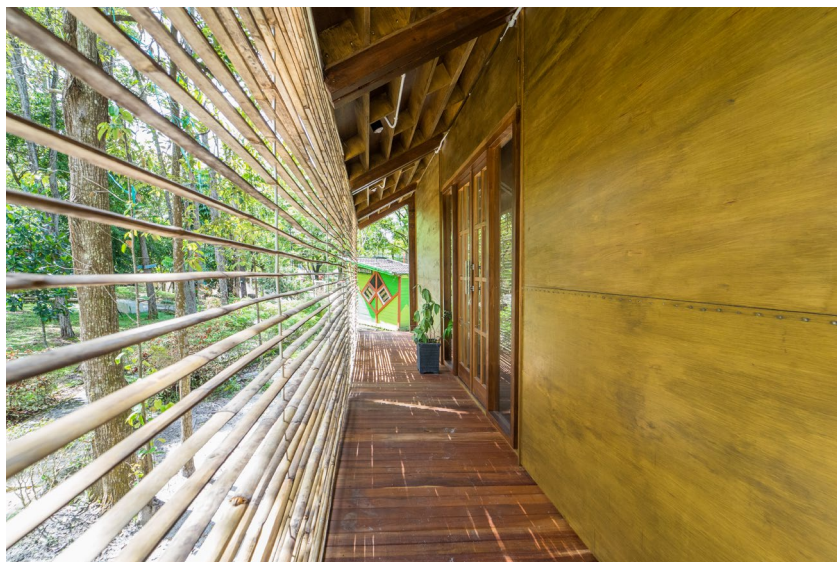


Abbildung 60: Laubengang Pilotprojekt (Quelle: Fairventures)



Abbildung 61: Innenraum Pilotprojekt (Quelle: Fairventures)

2.3. Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung

2.3.1. Innovativer Charakter des Projekts

Weltweite Rodungen von Urwäldern vernichten wertvolle Ökosysteme und haben globalen Folgen. Sie verschärfen den Klimawandel. Dies gilt insbesondere für das baldige Erreichen von Kipppunkten des Ökosystems, der in Borneo für viele Lebensarten wie z.B. Orang-Utans und Elefanten unmittelbar bevorsteht. Das Projekt zur Entwicklung eines Bausystems aus Leichtholz ergänzt die Arbeit der NGO Fairventures Worldwide, die große Erfolge mit Wiederaufforstungsprogrammen nachweisen kann. Deren Ziel ist die Aufpflanzung gerodeter Urwaldflächen und Sicherung von dauerhaftem Einkommen für die ländliche Bevölkerung und damit die Reduzierung des Verwertungsdrucks auf den Resturwald. Wie zu Beginn erwähnt hat diese Art der Wiederaufforstung sowohl einen ökologischen Nutzen als auch eine wesentliche soziale Komponente.

Ziel des Forschungsprojekts in Kooperation mit Fairventures ist das Vorantreiben von Leichtholzbau zur Verbesserung der Ressourceneffizienz im Bauwesen. Das dafür entwickelte Bausystem aus Leichtholz soll als Modellbauvorhaben die Potentiale und Möglichkeiten bei hoher Gestaltqualität aufzeigen. Dabei werden lokale Gegebenheiten sowie traditionelle Bauweisen umfassend einbezogen. Durch das Bausystem sollen derzeitige CO₂-intensive Bauteile aus Beton und Wellblech substituiert werden. Die Ausführung als Pilotprojekt ermöglicht eine umgreifende Evaluierung und zeigt zu optimierende Stellen, des Systems, von Produktionsabläufen und des Aufbaus dar. Die detaillierte Dokumentation erlaubt zudem eine Kommunikation der Ergebnisse und Erkenntnisse, einerseits für Weiterentwicklung aber auch für Bildungsmaßnahmen.

2.3.2. Lebenszyklusanalyse

Die Lebenszyklusanalyse oder LCA ist eine Methode zur Bewertung der Umweltauswirkungen, die mit allen Phasen des Lebenszyklus eines kommerziellen Produkts, Prozesses oder einer Dienstleistung verbunden sind. So können die Auswirkungen von der Rohstoffgewinnung und -verarbeitung (Wiege) über die Herstellung, den Vertrieb und die Nutzung des Produkts bis hin zur Wiederverwertung (Wiege) oder endgültigen Entsorgung der Materialien (Grab) erfasst werden.

Sengonsperrholz

Besonders bedeutsam in diesem Projekt ist das Interesse am Umweltaspekt des ausgewählten Materials und der Produktion und Verwendung von Sengonsperrholz, weshalb Fairventures Worldwide eine Lebenszyklusanalyse (LCA) zur Sengon-Sperrholzproduktion initiiert hat.⁷ Der erste Schritt in diese Richtung war ein Screening LCA, durchgeführt von Masterstudierenden der Universität Ulm, Teil deren Abschlussarbeiten diese Forschung umfasste.⁸ Einige der wichtigsten Ergebnisse der Forschung waren Informationen über die Menge an CO₂, die in Sengon-Sperrholz gespeichert ist und CO₂-Emissionen für die Produktion von Sperrholz und dessen Transport nach Europa (Deutschland). In einem Screening LCA⁹ wurde daraufhin folgende Erkenntnisse gewonnen:

- Mit DIN EN 16449 wurde die in 1m³ gespeicherte CO₂-Menge berechnet, um zu sehen, ob die Emissionen von Produktion und Transport höher sind als die gespeicherte Menge im Werkstoff. Das Ergebnis zeigt, dass ein m³ Sperrholz 544 kg CO₂ speichert.

⁷ (Fairventures Worldwide, 2022b)

⁸ (Szemkus, N. und Müller, P. D., 2021)

⁹ (Lightwood, 2022b)

- Während des Screenings zeigte die LCA, dass für die Produktion von 1m³ 616 kg CO₂ in die Atmosphäre freigesetzt wird. Rechnet man den Transport nach Europa hinzu, steigen die Emissionen auf 696 kg CO₂.

Daraus kann geschlossen werden, dass die Gesamtemissionen um 72 kg CO₂ höher sind als die gespeicherte CO₂-Menge. Wenn der Transport zum europäischen Markt hinzugerechnet wird, sind diese Emissionen mit 152 kg CO₂ höher. (s. Anhang A5, Kapitel 7)

Obwohl die Ökobilanz zeigt, dass Sengon-Sperrholz nicht klimaneutral ist, sind die Umweltleistungen hervorragend, insbesondere im Vergleich zu herkömmlichen Baumaterialien wie Beton, Stahl und Aluminium. Darüber hinaus ist es wichtig anzumerken, dass diese LCA, die sogenannte Screening-LCA, keine detaillierte LCA ist und dass Fairventures die Forschung von Sengonsperrholz im Rahmen einer LCA weiterentwickelt, indem es tiefer in die Untersuchung von Inputs und Outputs der Produktion über die gesamte Wertschöpfungskette einsteigen wird. Das war im Rahmen dieses Projekts nicht vorgesehen. Daher wird erwartet, dass neue Erkenntnisse in Zukunft ein klareres Bild über die Umweltauswirkungen und Vorteile von Sengonsperrholz geben werden.

Ökobilanz des modularen Leichtholzbaus

Um die Umweltleistung von Modulhäusern in Bezug auf die gesamten CO₂-Emissionen herauszufinden, wurde ebenfalls eine LCA durchgeführt. Aufgrund zahlreicher limitierender Faktoren, wie z.B. Zeit und Mangel an Primärdaten, wurde jedoch die Screening-Ökobilanz durchgeführt und daher bestimmte Baumaterialien, Hauselemente und Bauverfahren von der Studie ausgenommen. Es wurden somit nur die relevantesten Materialien unter Verwendung von Durchschnittsdaten betrachtet.

Ziel der Screening-Ökobilanz ist es, einen schnellen und groben Überblick über die Umweltauswirkungen der Modular Lightwood Timber Construction (MLTC)-Produktion in Indonesien für die Bauphasen A1-A5 „Cradle-to-Site“ zu erhalten (Abbildung 62). Detailliertere Informationen hierzu sind im Bericht der FSF in Anhang A5 zu finden.

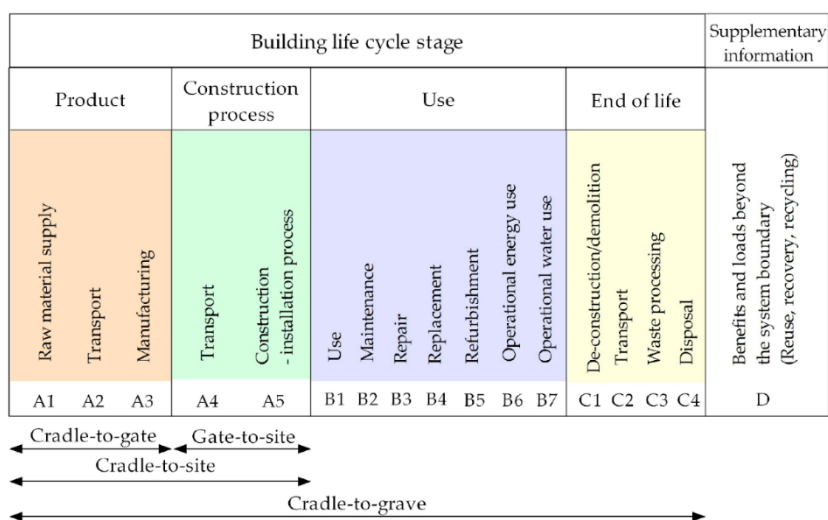


Abbildung 62: cradle to grave (Quelle: Fairventures)

Das vom MLTC abgeleitete Produktsystem betrachtet Zimmerei und Hausmontage als Hauptprozesse für den Hausbau, da in diesen beiden Prozessen die meisten Baumaterialien zusammengesetzt werden (wie in Abbildung 63 gezeigt). Der Transport von Brett-schichtholz und Sperrholz aus Java ist im Screening LCA enthalten und umfasst den Transport per LKW und Schiff. Darüber hinaus ist auch der Transport von Hauselementen von der Zimmerei zum Bauort in der Ökobilanz enthalten.

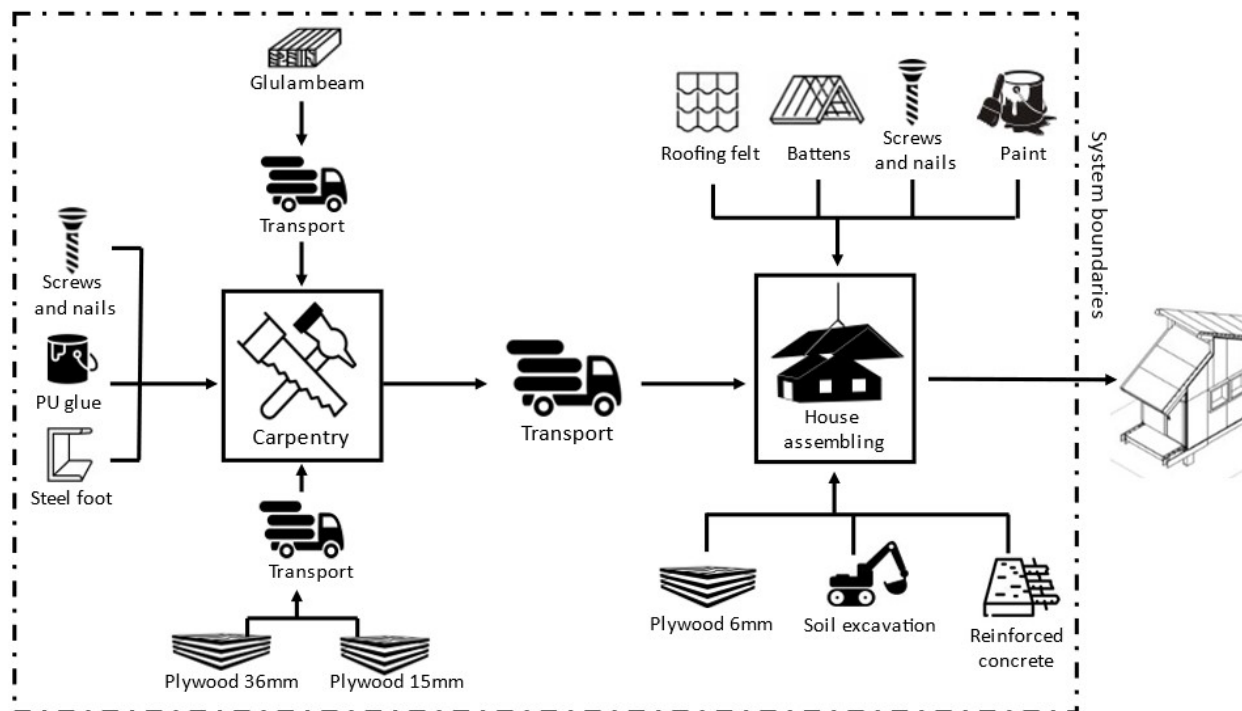


Abbildung 63: Produktsystem (Quelle: Fairventures)

Eine Hot-Spot-Analyse zeigte, dass die höchsten Emissionen mit einem Anteil von fast 80 % auf die Sperrholzproduktion zurückzuführen sind. Der Grund dafür liegt jedoch darin, dass die Sperrholzproduktion der einzige Prozess im System ist, der eine „Cradle-to-Gate“-Produktion beinhaltet. Dies bedeutet, dass die Sperrholzproduktionsprozesse die Pflege der Sämlinge, den Anbau, die Ernte, die Sperrholzproduktion und den Transport zwischen diesen Schritten umfassen. Während andere Prozesse einen engeren Umfang von Emissionen im Zusammenhang mit der Produktion haben (häufig nur Emissionen im Zusammenhang mit der Produktion in Fabriken, z. B. Brett-schichtholzträger). Der Transport hat einen Anteil von 13%, was angemessen ist, da dieser den Transport von Holz von Java nach Zentral-Borneo mit LKW und Schiff beinhaltet.

Die gesamten CO₂-Emissionen im Zusammenhang mit dem Bau einer MLTC-Einheit – welche aus einem Modul des Holzbausystems besteht, d.h. zwei Rahmen, Boden, Decke und Dach, sowie einseitige Auskragung und Fassaden (s. Abb. 13) – betragen 12,27 Tonnen CO₂-Äquivalent. Die überwiegend höchsten Emissionen stammen von Holzwerkstoffen (insbesondere Sengonsperrholz), was verständlich ist, da Holz als Hauptbaustoff verwendet wird.

Da Holz die Möglichkeit hat, Kohlenstoff zu binden, kann berechnet werden, wie viel CO₂ in MLTC gespeichert ist. Dies erfolgt durch Berechnung des biogenen Kohlenstoffgehalts von Holz und Umrechnung auf Kohlendioxid (DIN EN 16449:2014). Die Rechnung ergibt 21,4 Tonnen gebundenes CO₂. In Anhang A5, Kapitel 7 sind die Ergebnisse inkl. der Werte des gebundenen CO₂ für im Bau verwendete Holzmaterialien detailliert dargestellt.

Wenn man Emissionen und Bindung vergleicht, ist erkennbar, dass in einer Einheit MLTC **9,13 Tonnen CO2 mehr gespeichert als für den Bau emittiert** werden. Obwohl das Screening der Ökobilanz eine hervorragende Umweltleistung in Bezug auf die Umweltauswirkungen zeigte, sollte klar sein, dass dies keine vollständige Ökobilanz ist, insbesondere wenn es um die vorgelagerten Emissionen für die Jabon-Brettschichtträgerproduktion und andere Materialien geht. Dennoch zeigen die Ergebnisse ein enormes Potenzial in Bezug auf die positive Umweltwirkung in Bezug auf CO2-Emissionen, insbesondere im Vergleich zu herkömmlichen Häusern.

Eine CO2-Neutralität ist auf Grund der Verwendung von Holzwerkstoffen (die verklebt werden) nicht vollends zu gewährleisten. Perspektivisch könnten die Emissionen aber in Transportaufwendungen, Leimen und Elektrizitätserzeugung minimiert werden. Die Transportemissionen können durch die lokale Produktion und Nutzung des Endproduktes, sowie durch die vorgelagerte Herstellung und das geringere Transportvolumen von vorgefertigtem Furnier im Vergleich zum Rohmaterial minimiert werden und so eine bessere Ökobilanz des Holzprodukts erreicht werden. Der Aufbau und Ausbau der Leimholzproduktion in Kalimantan birgt daher viel Potential.

2.3.3. Minimieren der Umweltbelastung

Sengonholz wird bereits in großem Umfang auf Java verarbeitet, jedoch hauptsächlich zu Standardprodukten wie Sperrholz, anderen Kartonprodukten sowie Zellstoff und Papier. Es gibt nur einige wenige Firmen, die sich in der Leimholzproduktion spezialisieren. Mit PT Woodlam haben wir unsere Rahmenteile hergestellt. Das bedeutet, lokale Produktion in Indonesien ist gelungen, dennoch bestehen große Potentiale in dem Aufbau einer Produktion auf Borneo. Somit könnten Transportkosten und die Umweltbelastung minimiert und Experten vor Ort ausgebildet werden. Die lokale Markteinführung von Holzbauelementen wie Brettschichtholz kann herkömmliche Baustoffe mit hohen versteckten Energiekosten (graue Energie) wie Beton und Stahl ersetzen und gleichzeitig CO2 im verwendeten Holz speichern.

2.4. Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse

Das Projekt ist umfassend dokumentiert und im Rahmen von Tagungen und in der Presse vorgestellt worden.

2.4.1. Veröffentlichungen

Zeitungsartikel "Nachhaltig bauen mit Segon-Holz"

Das Projekt wurde in den Badischen Neusten Nachrichten (BNN) am 01.12.2020 veröffentlicht unter dem Titel: "Nachhaltig bauen mit Segon-Holz: Pilotprojekt auf Borneo verbindet Urwaldaufforstung, Materialforschung und Gemüseanbau"

"Bauern vor Ort produzieren das Holz und verbauen es auch. Das Holz bleibt im Land, generiert Handwerk und schafft Arbeitsplätze.", wird Andreas Löffler im Artikel zitiert.



Abbildung 64: Artikel in den BNN (Quelle: BNN)

SWR Aktuell: Klimaschutz und Hilfe zur Selbsthilfe vom KIT

In einem Audiobeitrag im Oktober 2020 unter dem Titel „SWR Aktuell: Klimaschutz und Hilfe zur Selbsthilfe vom KIT“ berichtet SWR Aktuell vom Sengon als Baumaterial der Zukunft. Zu Wort kommen auch Rainer Lang von Fairventures und der Architekt Andreas Löffler nach einem Gespräch beim Musteraufbau am KIT.

Innovatives Holzbausystem aus Leichtholz – Veröffentlichungen in Netz

In einem Blog-Beitrag berichtet Kristina Loike von dem Musteraufbau am KIT.¹⁰ Das Projekt wurde zudem in den Sozialen Medien von Fairventures geteilt, auf der Webseite von Löffler_Schmeling Architekten präsentiert und von der DBU online vorgestellt.

2.4.2. Veranstaltungen

Finalist der DGNB Sustainability Challenge 2022

Zur Darstellung des Projekts gegenüber der Jury und dem Publikum wurde eine Kurzpräsentation in Form eines Videos erstellt. Dieses ist auf der Seite der DGNB abgebildet und erlaubt die Abstimmung des Publikumspreises darunter.¹¹

Im Rahmen der Veranstaltung „Tag der Nachhaltigkeit“ der DGNB am 08. Juli 2022 hatten wir außerdem die Möglichkeit, unser Forschungsprojekt zu einem Holzbausystem aus Sengon-Leichtholz erneut in Form einer Kurzpräsentation und auf dem Marktplatz der Ideen vorzustellen. Wir freuen uns, ein Teil der DGNB Sustainability Challenge 2022 gewesen zu sein und danken erneut für die Nominierung und Auszeichnung als FINALIST in der Kategorie Innovation. In Anhang A6 ist die Finalisten-Urkunde beigelegt.



Abbildung 65: Präsentation auf dem Tag der Nachhaltigkeit der DGNB (v.l.n.r.: Prof. A.Löffler, A.Koger, D. Fleck) (Quelle: DGNB)



Abbildung 66: Preisvergabe der Sustainability Challenge (Quelle: DGNB)

¹⁰ (Lightwood, 2022c)

¹¹ (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V., 2022)

Die Eröffnung des Pilotprojekts

Das Eröffnungsereignis des Pilotprojekts in Palangka Raya, Indonesien fand am 30.10.2022 unter Anwesenheit von Bundestagsabgeordneten Dr. Christoph Hoffmann, Volkmar Klein, Susanne Menge, Nicolas Zippelius, Annika Klose und Cornelia Moehring (Mitglieder des Ausschusses für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) sowie Vertretern der indonesischen Regierung auf nationaler und regionaler Ebene statt. Johannes Schwegler, der Gründer von Fairventures, stellte das Modulhaus in einer Präsentation vor.

Sri Suwanto, der im Namen des Gouverneurs von Zentral-Kalimantan sprach, sagte: „Dies ist eine großartige Innovation und ein guter Weg, um die Verwendung von Leichthölzern zu fördern. Das wird viele Kleinbäuerinnen und Kleinbauern dazu ermutigen, mehr davon anzupflanzen.“

Eine positive Bilanz zog auch der Delegationsleiter des Deutschen Bundestages, Dr. Christoph Hoffmann: „Diese Initiative hat die volle Unterstützung der deutschen Regierung. Was wir in Zentral-Kalimantan gesehen haben, könnte ein großartiges Beispiel für ein ganzheitliches Modell der Wiederaufforstung sein.“¹²



Abbildung 68: Johannes Schwegler präsentiert das Projekt zur Eröffnung (Quelle: Fairventures)



Abbildung 67: Eröffnung des Gebäudes (Quelle: Fairventures)



Abbildung 69: Tag der Eröffnung (Quelle: Fairventures)

¹² (Fairventures Worldwide, 2022c)

3. Fazit



Abbildung 70: Visualisierung einer möglichen Gebäudezusammenstellung (Quelle: Löffler_Schmeling)

Mit dem Projekt wurde das Ziel verfolgt, zukunftsfähige Konzepte und technologische Ansätze im Bau mit Leichtholz zu entwickeln und zu erproben, um dessen Potentiale aufzuweisen und zur Verbesserung der Ressourceneffizienz im Bauwesen beizutragen.

Innovativ ist dabei besonders, die Nutzung von aufgeforstetem schnellwachsendem Holz und dessen Anwendung im Bauwesen. Die Praxisbezogenheit durch direkte Kooperation mit lokalen Experten stellt einen bedeutsamen Aspekt des Projekts dar.

Trotz Verzögerungen in der Materialtestung, Zusammenbrechen der Lieferkette durch die Pandemie und der Entscheidung, die tragende Konstruktion spät im Projektverlauf zu optimieren, ist das Projekt zu einem gelungenen Abschluss gekommen.

Der Standortwechsel des Pilotprojekts sowie spätes Anpassen der Tragkonstruktion haben dem Projekt nicht geschadet, im Gegenteil: Durch das Einbeziehen von lokalem Know-how und die Konsultation lokaler Experten war das Ergebnis erfolgreich und erhielt viel Aufmerksamkeit und lokale Anerkennung. Insbesondere die Entscheidung, Brettschichtholzträger anstelle von Sperrholzträgern zu verwenden, führte zu erheblichen Kosten- und Zeiteinsparungen bei der Herstellung und Montage, da der Leimholzproduzenten Woodlam PT auf Java bereits Erfahrung mit Leimbindern sowie die notwendige Einrichtung hat, um Red-Jabon-Leimbinder in benötigter Festigkeitsklasse herzustellen. Durch die Änderung von Sperrholz zu Brettschichtholz kommt es zu größeren Verbindungsmittelabständen. Somit werden weniger Schrauben benötigt.

Der Umstieg in diesem Schritt auf eine Zangenkonstruktion vereinfachte den Aufbau der Rahmen deutlich, da nun weniger Bauteile Bestandteil des Rahmens sind. Durch geringere Querschnitte der Rahmen wurde das Gewicht der Rahmen zudem reduziert und diese handlicher. Allerdings müssen die Maße weiter optimiert werden, um noch leichter und damit montagefreundlicher zu werden.

Eine zentrale Erkenntnis des Projekts ist, dass lokale Produktion, Handhabung sowie die Einbeziehung und Berücksichtigung lokaler Strukturen von großer Bedeutung sind und nicht vernachlässigt werden dürfen. Darüber hinaus muss eine tiefere Analyse der verfügbaren Materialien (Plattenabmessungen und Plattendicken) sowie der Verbindungsmittel durchgeführt werden. Eine umfangreiche Analyse der verfügbaren Produkte in Indonesien sollte ebenfalls durchgeführt werden, um lange und kostspielige Transportgebühren zu vermeiden und Emissionen zu reduzieren

Wir planen nicht nur für die lokale Bevölkerung, sondern auch mit ihnen. Daher ist die Zusammenarbeit mit lokalen Ingenieuren und Auftragnehmern von größter Bedeutung. In diesem Zusammenhang sehen wir großes Potenzial in der Schulung der Arbeiter im Umgang mit Holz im Allgemeinen und auch mit Leichtholz beim Bau von modularen Leichtholzkonstruktionen.

Obwohl die Ökobilanz zeigt, dass Sengon-Sperrholz nicht CO₂-neutral ist, sind die Umweltleistungen hervorragend, insbesondere im Vergleich zu herkömmlichen Baumaterialien wie Beton, Stahl und Aluminium. Dies wurde im Rahmen des Projekts nur eingeschränkt untersucht. Es entstand dadurch aber ein erster Eindruck und potenzielle Optimierungsstellen konnten identifiziert werden. Die Fähigkeit von Holzwerkstoffen, Kohlenstoff und darüber hinaus CO₂ zu speichern, ist ein starkes Merkmal von Holz als Baumaterial, das Aussagen über das enorme Potenzial modularer Leichtholzkonstruktionen in Bezug auf positive Umweltauswirkungen beweist.

Dank der interdisziplinären und internationalen Zusammenarbeit innerhalb des Projekts konnte das Projektteam das Pilotprojekt erfolgreich umsetzen und dabei neue Erkenntnisse im Umgang mit Leichtholz im Bauwesen gewinnen. Resümierend kann festgestellt werden, dass die Entwicklung der nachhaltigen Konzepte und technologischen Ansätze und deren Erprobung der Zielsetzung gerecht werden.

Wir glauben, dass dieses Pilotprojekt einen neuen Meilenstein in der Entwicklung des Holzbaus in Indonesien setzt. Es basiert auf Holz aus wiederaufgeforsteten Gebieten und zeigt, dass Leichtholz ein konkurrenzfähiger Baustoff sein kann, der im Vergleich zu anderen Baustoffen umweltfreundlicher ist. Daher öffnet die beispielhafte Umsetzung dieses modularen Hauses eine neue Tür für die Entwicklung einer nachhaltigen Leichtholzindustrie im Land. Der verstärkte Einsatz von Holz als nachwachsendem Rohstoff, der nicht aus dem Primärregenwald gewonnen wird, kann einen Hebel zur Verbesserung der Ressourceneffizienz darstellen. Dies ist nur der Anfang, den Bausektor zu erneuern, damit er wirtschaftlich und ökologisch immer nachhaltiger wird.

Basierend auf der durchgeführten Forschung wird weitere Forschung zur Optimierung des Bausystems und seiner breiteren Anwendung in größerem Maßstab dringend empfohlen.

LITERATURVERZEICHNIS

Bleicher, Moritz. 2022. Hochschule für Gestaltung Schwäbisch Gmünd [Online] Bachelorarbeit. Sengon – ein schnellwachsendes Holz im Überblick. [Zugriff am: 30. November 2022.] Verfügbar unter: <https://ausstellung.hfg-gmuend.de/w-2122/projekte/sengon-ein-schnell-wachsendes-holz-im-ueberblick/studiengang:pg>

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V. 2022. DGNB Blog rund um Nachhaltiges Bauen. [Online] Finalist: Fairventures Worldwide & Fairventures Social Forestry [Zugriff am: 30. November 2022.] Verfügbar unter: <https://blog.dgnb.de/dgnb-sustainability-challenge-2022/kategorie-innovation/fairventures-worldwide/>.

Fairventures Worldwide. 2022a. Fairventures Worldwide. [Online] Unsere Arbeit. [Zugriff am: 30. November 2022.] Verfügbar unter: <https://fairventures.org/unsere-arbeit/>

Fairventures Worldwide. 2022b. Fairventures Worldwide. [Online] Sind Holzprodukte gut fürs Klima? Eine Ökobilanz von Sengon-Sperrholz. [Zugriff am: 12. Dezember 2022.] Verfügbar unter: <https://fairventures.org/2020/11/20/sind-holzprodukte-gut-fuers-klima-eine-oekobilanz-von-sengon-sperrholz/>

Fairventures Worldwide. 2022c. Fairventures Worldwide. [Online] Eröffnung unseres modularen Leichtholzhauses: Eine nachhaltige Wohnlösung für die Zukunft [Zugriff am: 12. Dezember 2022.] Verfügbar unter: <https://fairventures.org/2022/11/28/eroeffnung-unseres-modularen-leichtholzhauses-eine-nachhaltige-wohnloesung-fuer-die-zukunft/>

Lightwood. 2022a. [Online] Wood species. [Zugriff am: 30. November 2022.] Verfügbar unter: <https://lightwood.org/indonesia/wood-species>.

Lightwood. 2022b. Loike, Kristina [Online] Environmental performance of Albasia plywood production – Screening LCA [Zugriff am: 12. Dezember 2022.] Verfügbar unter: <https://lightwood.org/environmental-performance-of-albasia-plywood-production-screening-lca/>

Lightwood. 2022c. Loike, Kristina [Online] Innovative Wood Construction System made of Sengon Lightweight Timber for Subtropical Climates has Passed KIT Tests. [Zugriff am: 30. November 2022.] Verfügbar unter: <https://lightwood.org/innovative-wood-construction-system-made-of-sengon-lightweight-timber-for-subtropical-climates-has-passed-kit-tests/>.

Szemkus, Nadine und Müller, P. Daniel. 2021. Fairventures Worldwide. [Online] Klimabilanz von Aufforstung und Sperrholzproduktion – Schnellwachsendes Leichtholz als Beitrag zum Klimaschutz? Fallstudie zur Ökobilanz von Sengon-Sperrholz aus Indonesien. Holz-Zentralblatt 13, Seite 220. [Zugriff am: 12. Dezember 2022.] Verfügbar unter: https://fairventures.org/wp-content/uploads/2021/09/Medien_Holzzentralblatt_13.pdf

Okuda, S. & Corpataux, L. & Muthukrishnan, S. & Kua, H. 2018. [Online] Cross laminated timber with renewable, fast-growing tropical species in Southeast Asia. [Zugriff am: 12. Dezember 2022.] Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/332961754_cross-laminated_timber_with_renewable_fast-growing_tropical_species_in_southeast_asia

VEREINTEN NATIONEN. 2022. UNRIC - Regionales Informationszentrum der Vereinten Nationen. [Online] 17 Ziele [Zugriff am: 30. November 2022.] Verfügbar unter: <https://unric.org/de/17ziele/>

ANHÄNGE

A1: Broschüre Bausystem (*Fr. Koger*)

A2: Bericht Blaß & Eberhart GmbH (*Dr. Flaig*)

A3: Bericht Musteraufbau KIT (*Hr. Steilner*)

A4: Bericht Transsolar (*Hr. Fleck*)

A5: Bericht Aufbau Fairventures (*Fr. Loike*)

A6: Finalisten-Urkunde DGNB