

Nachhaltige Schutzhütten für Flüchtlinge – Automatisierte Produktion vor Ort

Henning Lambertz, Adrian Riegel, Franka Waldmann

Technische Hochschule Ostwestfalen Lippe, Campusallee 12, 32657 Lemgo

Tel.: +49 5261 702 5588

E-Mail: henning.lambertz@stud.th-owl.de, adrian.riegel@th-owl.de,

franka.waldmann@stud.th-owl.de

In Krisen- und Konfliktzeiten steigt die Bedeutung von nachhaltigen und effizient produzierbaren Notunterkünften, die ein Leben in Sicherheit und Würde ermöglichen. Die Konstruktion einer solchen Unterkunft muss Anforderungen verschiedener Bereiche erfüllen u.a. Mindeststandards von humanitären Organisationen, bauliche Anforderungen bezüglich der Standsicherheit und fertigungstechnische Restriktionen. Die aus diesen Anforderungen resultierende Unterkunftslösung soll eine nachhaltige Alternative zu bereits existierenden Notunterkünften (v.a. Zelte) darstellen. Um dieses Ziel erreichen zu können, mussten bei der Konzeptionierung zwangsläufig einige Kompromisse eingegangen werden. Dabei galt das Prinzip: „Form follows function follows production“.

Schlüsselwörter: Notunterkunft, Nachhaltigkeit, serielles Bauen

Einleitung

Die zunehmende Häufigkeit von weltweit auftretenden Krisen- und Konfliktsituationen unterschiedlichster Art erfordert die Entwicklung innovativer Lösungen zur schnellen, kosteneffizienten und nachhaltigen Bereitstellung von Notunterkünften. Der Hohe Flüchtlingskommissar der Vereinten Nationen veröffentlicht jährlich einen „Mid-Year-Trend-Report“, in dem die Ausmaße der Flüchtlingsproblematik dargestellt werden. Laut UNHCR galten im Jahr 2023 weltweit 110 Mio. Menschen als zwangsvertrieben (UNHCR 2023). Mit den steigenden Flüchtlingszahlen sind Herausforderungen in Bezug auf internationalen Schutz und humanitäre Hilfe verbunden. Das übergeordnete Ziel ist es, Leben zu retten, Leiden zu lindern, die Menschenwürde zu wahren und die Rechte der be-

troffenen Personen zu schützen (*Hack 2023*). Ein wesentlicher Aspekt kann dabei die Zurverfügungstellung von Unterkünften sein, die den grundlegenden Bedürfnissen der betroffenen Menschen gerecht werden.

Nach A. M. Maslow unterliegen die menschlichen Bedürfnisse einer hierarchischen Struktur. Höhere Bedürfnisse gewinnen erst dann an Bedeutung, wenn die darunterliegenden bereits befriedigt sind (*Hering 2014*). Menschen, die aufgrund einer Notsituation ihre Heimat zurücklassen mussten, stehen unmittelbar vor der Herausforderung, grundlegende Bedürfnisse wie Nahrung, Schlaf und sicheres Wohnen zu erfüllen. Notunterkünfte sollen den Geflüchteten als Schutzraum eine erste bewohnbare und sichere Umgebung bieten. Dabei kann die Gestaltung der Unterkunft dazu beitragen, eine unterstützende Umgebung für ein gutes Zusammenleben zu schaffen (*UNHCR 2024*). Insgesamt ist die Bereitstellung einer angemessenen Unterkunft also nicht nur eine humanitäre Notwendigkeit, sondern auch ein entscheidender Schritt zur Erfüllung weitreichender Bedürfnisse und zum eigenständigen Leben der Schutzsuchenden.

Konzeption

Wichtige Akteure und Ansprechpartner für die Konzeptionierung von Notunterkünften sind der Hohe Flüchtlingskommissar der Vereinten Nationen (UNHCR) und die Internationale Föderation der Rotkreuz- und Rothalbmondgesellschaft (IFRC). Eine Orientierungsmöglichkeit bietet weiterhin die Sphere Association. Mit dem stetig weiterentwickelten Sphere-Handbuch werden Mindeststandards gesetzt. Der UNHCR stellt sowohl temporäre als auch nachträglich aufrüstbare Notunterkünfte zur Verfügung, die zumeist Kunststoff und Stahl als Hauptmaterialien aufweisen. Bei einer erwarteten Lebensdauer der Unterkünfte von einem bis drei Jahren ist deren Nachhaltigkeit zumindest diskutierbar.

Mit der Produktion einer Notunterkunft, die Holz als primäres Baumaterial verwendet, haben sich ab Wintersemester 2021 / 2022 Studierende der TH-OWL beschäftigt. Zunächst lag der Fokus vorrangig auf der Entwicklung einer mobilen automatisierten Produktionsanlage (Masterkurs MACI). Erst im Nachgang wurde das Konzept der Unterkunft selbst verfeinert.

Konstruktion

Die Unterkunft soll möglichst fertigungseffizient, nachhaltig und dennoch preiswert gestaltet sein. Als Hauptmaterialien werden OSB-Platten und Massivholz bei geringstem Verschnitt verwendet. Zudem haben möglichst große, un bearbeitete Flächen und Querschnitte den Vorteil, dass diese im Nachhinein für verschiedene andere Zwecke weitergenutzt werden können. Ähnliches gilt für die gekehlten Balken. Der Produktionsaufwand wird durch Verwendung möglichst vieler Gleichteile vermindert.



Abbildung 1 Unterkunfts-konzept Frontansicht (links) & Sicht in Innenraum (rechts)

Die Konstruktion (s. **Abb. I-1**) kann in eine tragende Primär- und Sekundärstruktur sowie in eine nichttragende Tertiärstruktur eingeteilt werden. Die Primärstruktur besteht dabei aus sechs Stützen sowie Querbalken und Dachsparren aus Nadelholz. Die sechs Hauptstützen werden fest mit vier OSB-Wänden verschraubt. Um die Schmalflächen der OSB-Wände vor Witterungseinflüssen zu schützen, werden die Eckstützen und Querbalken der Unterkunft gefalzt bzw. genutet. Die OSB-Platten, welche die mittragende Sekundärstruktur bilden, werden mittels Schrauben und Schraubnägeln an den Eckstützen befestigt. Strukturelle Verklebungen wären sinnvoll, wurden aber zu Gunsten der Demontierbarkeit und des Upcyclings verworfen. Nur in der vorderen Wand befinden sich eine Fenster- und eine Türöffnung.

Zu der nicht tragenden Tertiärstruktur zählt die nachträglich anbringbare Dämmung. Diese kann optional, je nach Aufstellgebiet der Unterkunft, von außen zwischen den OSB-Platten und der Vorderkante der Stützen befestigt werden. Als Material kommt dafür beispielsweise Styrodur in Frage. Alle Balkenlagen stehen nach vorne um das gleiche Maß vor, sodass mit einer zusätzlichen Ver-

kleidung auch andere Dämmmaterialien eingesetzt werden könnten. Verriegelbare Schiebefenster befinden sich zum einen auf der Vorderseite, zum anderen auf der Rückseite als Oberlichter. Die PC-Scheiben werden in Aluminium-Profilen geführt. Das Dach der Unterkunft bildet ein Trapezblech, das bei der Variante für heiße Einsatzgebiete lediglich von einer Baumwollplane unterspannt wird. Um möglichst lange und gut wiederverwendbare Blechabschnitte einsetzen zu können, wird das Blech längs montiert. Durch eine leichte Schrägstellung des Blechs wird dabei ein ausreichender Regenwasserablauf und ggf. eine Auffangmöglichkeit gewährleistet. Innerhalb der Unterkunft befinden sich einige fest montierte Möbelstücke, die eine mitaussteifende Funktion übernehmen. Als Schlafmöglichkeiten werden drei Etagenbetten eingesetzt, die an den OSB-Wänden montiert sind. Weitere Einbaumöbel bieten Platz zum Kochen, Sitzen und Lagern. Als Hauptmaterial der Innenmöbel dienen erneut OSB-Platten, die mit einer Schmalflächenbeschichtung versehen werden.

Bemessung der Notunterkunft

Die Bemessung der Unterkunft erfordert eine Einsortierung des Bauwerks in den Geltungsbereich von Normen. Die Unterkunft ist ein Holzbau, der als Wohnraum dienen soll. Die kurze Nutzungsdauer von ca. 4 Jahren und das ortsbundene Aufstellen der Unterkunft stimmt nicht mit den Anforderungen an fliegende Bauten überein (DIN EN 13782:2015). Weiterhin stellt die Unterkunft kein Gebäude im klassischen Sinne dar, da gemäß DIN EN 1990:2002 bereits die kürzeste für die Bemessung angenommene Nutzungsdauer einen Zeitraum von 10 Jahren vorsieht. Dies ermöglicht eine individuelle Annahme der Anforderungen an die Zuverlässigkeit. Als Anhaltspunkt für die Auslegung und Bemessung wurden die Normen des Eurocode-Programms herangezogen. Die Lastannahmen wurden der DIN EN 1991-1-1 bis DIN EN 1991-1-7 und die Rechenvorschrift der DIN EN 1995-1-1 entnommen.

Die bauliche Durchdringung des Tragwerks stellt durch die mehrfache funktionelle Verwendung verschiedener Bauteile, wie z.B. die Nutzung einer Leiter zum Erreichen des oberen Etagenbettes und zum Aussteifen der Außenwand, eine Abweichung von der Norm dar. Um dennoch eine aussagekräftige Vorhersage zum Versagensfall der Unterkunft zu treffen, wurde diese mittels Finite Elemente Methode und manuellen Berechnungen konzipiert. Dieser Ansatz ermög-

licht die Lösung des Randwertproblems der Unterkunft mit Hilfe endlicher Elemente (Barth, Rustler 2013). Mit den Ergebnissen wurde der Materialeinsatz und die mittragende Wirkung des Mobiliars optimiert.

Die Einspannsituation der 12 mm OSB-Platten in den Stützenprofilen wurde durch orientierende Experimente auf einer Universalprüfmaschine abgeklärt. Konstruktiv waren zunächst die Mindestrandabstände der Befestigungsmittel ausgereizt. Diese wurden nach den Experimenten vergrößert, was in Summe größere Querschnitte der gesamten Primärstruktur nach sich zog.

Ergänzend zu den Berechnungen wird zukünftig das Tragverhalten und die Standsicherheit der Unterkunft experimentell nachgewiesen.

Konzipierung der Fertigungslinie

Das Projekt wurde von vorneherein als Großserie ohne Varianten geplant. Die Unterkunft soll sich automatisiert fertigen und montieren lassen. Folgende Aspekte wurden daher besonders berücksichtigt:

- Verwendung von Vorrichtungen und / oder NC-Maschinen bei Fertigung und Montage
- ausgewiesene Bauteilbereiche, in denen diese transportiert, gegriffen oder manipuliert werden können
- Toleranzauslegung der wesentlichen Bauteile, vor allem hinsichtlich des Quellens und Schwindens der Bauteile aus Holz und Holzwerkstoffen und der thermischen Dehnungen metallischer Vorrichtungen
- Gestaltung der Fügeverbindungen im Hinblick auf die Positioniergenauigkeit von automatisierten Handhabungseinrichtungen
- Verwendung möglichst vieler Gleichteile bzw. standardisierte Bearbeitungen

Im ersten Konzept wurde eine U-förmige Fertigungsstraße entwickelt (Masterkurs MACI 2021 / 2022). Über zwei Linien werden einerseits der produzierte und vormontierte Fußboden auf einem Rollwagen mit entsprechenden Positionierungen zugeführt. Auf der anderen Linie werden die Wandelemente produziert. Der OSB-Fußbodenbelag wird auf der Wandlinie CNC-gefräst und dann entnommen. Kernstück der Anlage ist die teil-automatisierte Montagevorrichtung, in der die Rollwägen mit dem jeweiligen Fußboden auf die über Elektrohängebahnen zugesteuerten Wandelemente treffen.

Für diese Montagevorrichtung wurde die Machbarkeit durch ein entsprechendes Konstruktionskonzept (Bachelorkurs BMVH 2022) nachgewiesen. Die gesamte Produktionsanlage muss demontierbar oder faltbar sein. Alle positionsrelevanten Vorrichtungen dieses Anlagenteiles wurden daher auf einem faltbaren Modul untergebracht, das auf einem Tieflader als Sondertransport bewegt werden kann. Alle weiteren Module sollten mit einem Mobilkran montiert werden. Im Jahr 2023 deutete sich an, dass das Konzept der industriellen Großserienproduktion dieser Unterkünfte realisiert werden könnte. Eine entsprechende NGO ist in Canada im Aufbau. Einige Anforderungen wurden daher neu gefasst bzw. präzisiert. Zudem wurden Vereinfachungen in der Automation zu Gunsten eines geringeren Investments vorgenommen (s. **Abb. 2**).

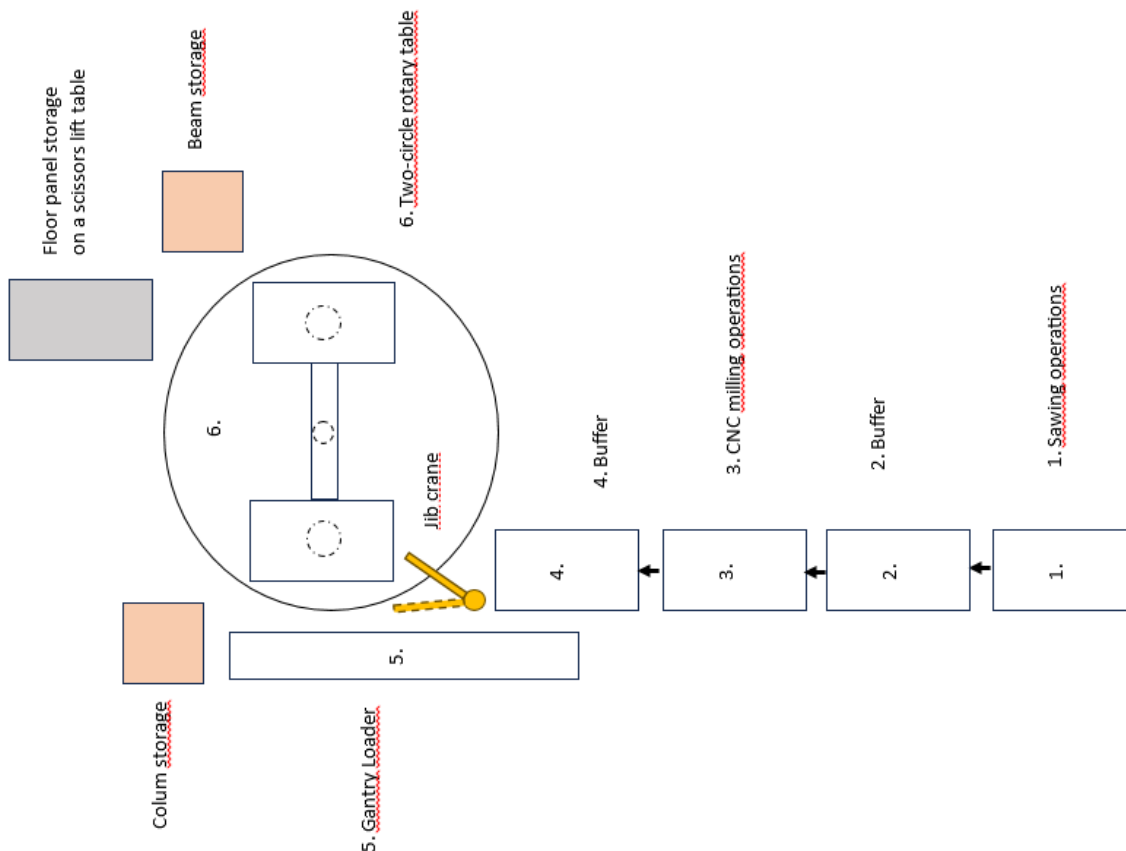


Abbildung 2 Konzept der Produktionsanlage

Aus der reinen 3-schichtigen Fließfertigung wurde bei einigen Bauteilen eine Chargenproduktion. Das CNC-Schrägbett-Bearbeitungszentrum produziert beispielsweise in einer Schicht nur Fußbodenbeläge und Seitenwände vor. Die zentrale Montagevorrichtung wurde als Rundtaktisch mit zwei Drehtellern ausgeführt (s. **Abb. 3**).

Dieser Anlagenteil soll als Sonderaufleger ähnlich dem Fahrgeschäft „Breakdancer“ ausgeführt werden. Da zwei Drehteller-Vorrichtungen fest auf dem hin- und herschwenkenden Rundtaktisch montiert sind, können sie mit Sensoren und Aktoren ausgestattet werden. Die HMI's werden komplexer. Aus Sicherheitsgründen sind jetzt die Manipulatoren als Balancer oder anderwärtig handgesteuerte Maschinen ausgeführt. Die Zykluszeit von 15 min konnte in der Transferstraße mit Fließfertigungsanteilen beibehalten werden.

Nach der Vormontage der Unterkunft erfolgt die Komplettierung als Baustellenfertigung auf zehn bis zwölf Plätzen in unmittelbarer Nähe. Erst nach dieser Fertigstellung werden die Unterkünfte mittels LKW und Ladekran im Camp auf der Endposition abgesetzt. Der Oberflächenschutz mittels schichtaufbauender Öle soll durch die Bewohner selbst vollendet werden

Neben einer spezialisierten Stammmannschaft sollen auch Bewohner des Camps in der Anlage ausgebildet und angestellt werden. Es verbleibt so hoffentlich das entsprechende

Holzbau-know-how vor Ort. Nach dem Wegfall der Krise kann dann das Upcycling der Komponenten vieler Unterkünfte zu Aufstockungen oder Neubauten erfolgen. Die Kernkomponenten der Produktionsanlage sollen durch die NGO einem neuen Einsatz zugeführt werden. Andere Bestandteile der Anlage wie Stapler, Stromaggregate, Bürocontainer usw. werden vermutlich vor Ort verbleiben.

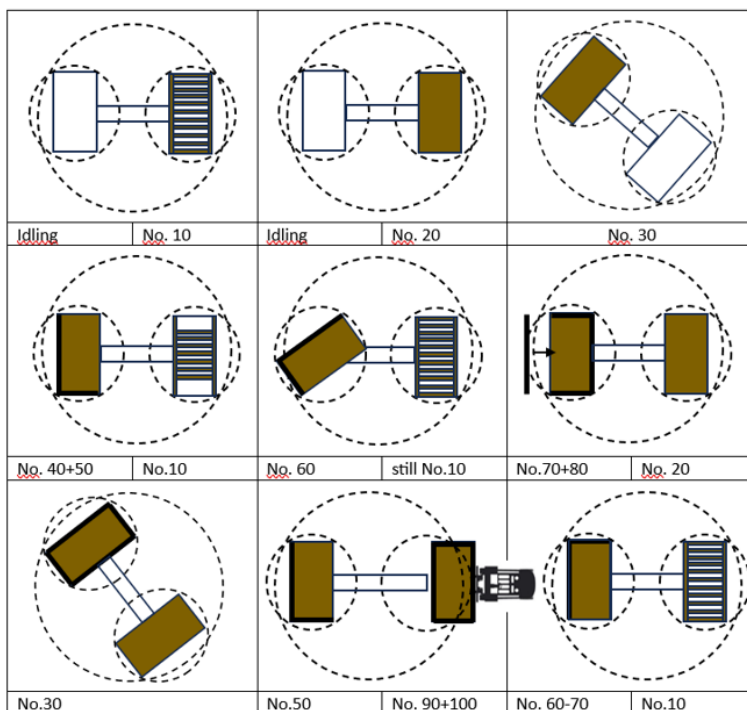


Abbildung 3 Zentrale Montagevorrichtung als Rundtaktisch

Ausblick

Im Sommersemester 2024 (Bachelorkurs BPMS) soll der Prototyp im Maßstab 1:4/5 gebaut werden, um die Realisierbarkeit, das Raumgefühl bzw. die Wohnbarkeit vor allem aber über die nächsten Jahre die Bewitterungsfähigkeit zu erproben. Nach der Gründung der NGO sollen dann die Vorschläge der Studierenden professionell insbesondere hinsichtlich verschiedenster Einsatzszenarien und –gebiete überarbeitet werden. Die realisierte Produktionsanlage soll als erstes in Nordamerika für Obdachlosen-Unterkünfte eingesetzt werden, um relativ abgesichert technische und organisatorische Erfahrungen sammeln zu können.

Quellen

Barth, Christian; Rustler, Walter (2013): Finite Elemente in der Baustatik-Praxis. Mit vielen Anwendungsbeispielen. 2. Auflage. Berlin: Beuth Verlag.

DIN EN 1990, 01.10.2021: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010

DIN EN 1991-1-1, 01.12.2010: DE: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009

DIN EN 1995-1-1, 01.12.2010: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004 + AC:2006 + A1:2008

DIN EN 13782, 01.06.2015: Fliegende Bauten - Zelte - Sicherheit; Deutsche Fassung EN 13782:2015

Hack, Stefanie (2023): Humanitäre Hilfe: Was ist Humanitäre Hilfe? | UNICEF. <https://www.unicef.de/informieren/aktuelles/blog/-/humanitaere-hilfe/311274>, Zugriff am 13.03.2024.

Hering, Ekbert (2014): Personalmanagement für Ingenieure. Wiesbaden: Springer Vieweg (Essentials).

UNHCR (2023): Mid-year-trends-2023. <https://www.unhcr.org/sites/default/files/2023-10/Mid-year-trends-2023.pdf>, Zugriff am 13.03.2024.

UNHCR (2024): Shelter | UNHCR. <https://www.unhcr.org/what-we-do/respond-emergencies/shelter>, Zugriff am 13.03.2024.

Sphere Association (2019): Das Sphere-Handbuch. Humanitäre Charta und Mindeststandards in der humanitären Hilfe. Bonn: Köllen Druck- und Verlagsgesellschaft mbH. Online verfügbar unter <https://spherestandards.org/wp-content/uploads/Sphere-Handbook-2018-German.pdf>, Zugriff am 13.03.2024.