

NACHHALTIGES BAUEN UNTER EXTREMBEDINGUNGEN

KLIMAGERECHE BAUWEISE FÜR DAS KRIEGSGEBIET NORD-SYRIEN



Bergische Universität Wuppertal
Fakultät für Architektur und
Bauingenieurwesen

Lehrstuhl Baukonstruktion,
Entwerfen und Materialkunde:

Prof. Dipl.-Ing. Annette Hillebrandt

M.Sc. Jan Martin Müller

Vorgelegt von:

cand. M.Sc. :
Omar Masfaka
Am Wichelhausberg 9
42275 Wuppertal

E-Mail:
omar_masfaka@hotmail.com

Matrikelnummer:
1738824

Abgabe:
Wuppertal, den 02.09.2024

MASTERABSCHLUSSARBEIT

NACHHALTIGES BAUEN UNTER EXTREMBEDINGUNGEN

KLIMAGERECHTE BAUWEISE FÜR DAS KRIEGSGEBIET NORD-SYRIEN



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken (dazu zählen auch Internetquellen) entnommen sind, wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Wuppertal, den 02.09.2024

Omar Masfaka

ABSTRAKT

Diese Masterarbeit befasst sich mit der Entwicklung eines nachhaltigen Bausystems für Konfliktgebiete wie Nord-Syrien. Das System kombiniert vorgefertigte Stahlbetonteile mit traditionellen Lehmbauweisen, um eine Lösung zu bieten, die den extremen klimatischen Bedingungen, den fortlaufenden Konflikten und den wirtschaftlichen Herausforderungen gerecht wird. Ziel ist es, ein modulares Bausystem zu schaffen, das sich sowohl für temporäre als auch für dauerhafte Bauten eignet und an verschiedene Bauprojekte, wie Wohnhäuser oder Schulen, angepasst werden kann.

Die Arbeit analysiert die klimatischen und politischen Rahmenbedingungen Syriens und untersucht die Eigenschaften der verwendeten Baumaterialien, insbesondere Lehm und Stahlbeton. Das entwickelte Bausystem zeichnet sich durch Flexibilität und Skalierbarkeit aus, wobei weitere technische Untersuchungen, wie Statikberechnungen und bauphysikalische Analysen, zur Optimierung erforderlich sind.

Durch die Einbindung lokaler Materialien und die aktive Beteiligung der Bevölkerung fördert das System den Wiederaufbau und unterstützt die regionale Wirtschaft. Eine Fallstudie zum Bau einer Schule in Nord-Syrien demonstriert die praktische Anwendbarkeit des Systems und dessen Potenzial für nachhaltige Bauprojekte in Krisengebieten.

This master's thesis focuses on the development of a sustainable construction system for conflict regions such as northern Syria. The system combines prefabricated reinforced concrete elements with traditional earthen construction techniques to provide a solution that addresses the extreme climatic conditions, ongoing conflicts, and economic challenges in the region. The goal is to create a modular building system that can be adapted for both temporary and permanent structures, including various projects such as housing and schools.

The thesis analyzes Syria's climatic and political context and examines the properties of the materials used, particularly earthen materials and reinforced concrete. The developed system is characterized by its flexibility and scalability, though further technical studies, such as structural calculations and building physics analyses, are necessary for optimization.

By incorporating local materials and actively involving the community, the system promotes reconstruction efforts and supports the regional economy. A case study on the construction of a school in northern Syria demonstrates the system's practical applicability and its potential for sustainable building projects in conflict-affected regions.

INHALTSVERZEICHNIS

1: EINLEITUNG

- 1.1: HINTERGRUND UND RELEVANZ DES THEMAS
- 1.2: ZIELSETZUNG DER ARBEIT
- 1.3: VORGEHENSWEISE UND AUFBAU DER ARBEIT

2: ANALYSE

- 2.1: KLIMAAANALYSE DER VERSCHIEDENEN REGIONEN SYRIENS
- 2.2: ANALYSE DER POLITISCHEN SITUATION IN SYRIEN
- 2.3: ANALYSE DER VORHANDENEN BAUMATERIALIEN UND BAUWEISEN IN SYRIEN

3: GRUNDLAGEN ÜBER STAHLBETON UND LEHMBAU

- 3.1: BETON – ERFINDUNG, ENTWICKLUNG UND EIGENSCHAFTEN
- 3.2: VERWENDUNG VON STAHLBETON IN BAUKONSTRUKTIONEN AUS FERTIGTEILEN
- 3.3: BETON ALS NACHHALTIGES BAUMATERIAL – HERSTELLUNG, WIEDERVERWENDUNG, WIEDERVERWERTUNG
- 3.4: LEHMBAU – ERFINDUNG, ENTWICKLUNG UND EIGENSCHAFTEN
- 3.5: LEHMBAU IN NORDSYRIENSREGIONEN
- 3.6: VERWENDUNG VON LEHM IN BAUKONSTRUKTIONEN AUS FERTIGTEILEN
- 3.7: LEHM ALS NACHHALTIGES BAUMATERIAL – HERSTELLUNG, WIEDERVERWENDUNG, WIEDERVERWERTUNG

4: TECHNISCHE ENTWICKLUNG DES BAUSYSTEMS

- 4.1: ENTWICKLUNG EINES NACHHALTIGEN BAUSYSTEMS FÜR SYRIEN
- 4.2: DIE INTEGRATION VON LEHMBAU IM SYSTEM
- 4.3: NACHHALTIGKEIT UND WIEDERVERWENDUNG VON BAUMATERIALIEN IM RAHMEN DES BAUSYSTEMS
- 4.4: ENTWICKLUNGSMATRIX FÜR DIE KONZEPTION DES BAUSYSTEMS
- 4.5: BAUTEILE-ÜBERSICHT FÜR DAS ENTWICKELTE SYSTEM

5: BEISPIELANWENDUNG FÜR DAS SYSTEM: ENTWURF EINER SCHULE IN NORD-SYRIEN

6: FAZIT UND AUSBLICK

- 6.1: ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE
- 6.2: AUSBLICK AUF ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN UND ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN

Anhang
Literaturverzeichnis



1. EINLEITUNG

- 1.1 Hintergrund und Relevanz des Themas**
- 1.2 Zielsetzung der Arbeit**
- 1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit**

1.1 HINTERGRUND UND RELEVANZ DES THEMAS

In den letzten Jahrzehnten haben sich die Natur und Dynamik von Konflikten grundlegend verändert. Während früher groß angelegte militärische Operationen zwischen Staaten im Vordergrund standen, sind heutige Konflikte oft komplex, langwierig und geprägt von wechselnder Kontrolle über die betroffenen Gebiete. Diese Kriege werden häufig durch internationale Akteure unterstützt, wodurch sie indirekt beteiligt sind (vgl. O’Driscoll 2021). Beispiele hierfür sind der syrische Konflikt, der seit 2011 andauert, und der Ukraine-Russland-Krieg seit 2022. In diesen Situationen gelten Regionen wie Nord-Syrien über Jahre hinweg als umkämpftes Gebiet, was die Zivilbevölkerung zwingt, unter unsicheren Bedingungen zu leben, oft ohne Fluchtmöglichkeiten.

Der Konflikt in Nord-Syrien hat dazu geführt, dass viele Menschen wiederholt flüchten und anschließend in dieselben oder nahegelegene Gebiete zurückkehren mussten, um dort neue Unterkünfte zu errichten. Diese werden meist in informellen Siedlungen ohne umfassende Planung oder Rücksicht auf die klimatischen Bedingungen der Region gebaut. Vor dem Konflikt gängige Baumethoden und Materialien sind den extremen Herausforderungen sowie den wiederholten Zerstörungen nicht gewachsen.

Die anhaltenden Auseinandersetzungen und die wechselnden Machtverhältnisse in Nord-Syrien haben zu einer Vernachlässigung der Infrastruktur und des Städtebaus geführt. Dies zeigt sich in der Ausbreitung provisorischer Siedlungen, die oft ohne Berücksichtigung nachhaltiger Bauweisen errichtet werden. Die verwendeten Materialien und Techniken entsprechen häufig nicht den modernen Standards, die auf Umweltverträglichkeit und effiziente Ressourcennutzung abzielen.

Ein weiteres Problem ist die mangelnde Flexibilität der Bauweisen in Nord-Syrien. Angesichts der ständigen Gefahr erneuter Angriffe ist es entscheidend, dass beschädigte Gebäude schnell repariert oder ersetzt werden können. Die derzeit genutzten Methoden bieten jedoch kaum diese Möglichkeit, was dazu führt, dass Gebäude abgerissen statt instandge-

setzt werden müssen, wenn tragende Strukturen beschädigt sind.

Hinzu kommt, dass die verwendeten Baumethoden meist nicht auf Demontage und Wiederverwendung ausgelegt sind. Der durchgängig verbundene Betonrahmen, der vom Fundament bis zum Dach reicht, erschwert das Recycling von Materialien und behindert nachhaltige Bauweisen. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie nachhaltiges Bauen in Konfliktgebieten realisiert werden kann, um den speziellen Anforderungen gerecht zu werden.

Die gegenwärtige Kriegsführung erfordert nicht nur militärische Strategien, sondern auch eine Anpassung der zivilen Infrastruktur an die neuen Realitäten. Dabei müssen Baumethoden entwickelt werden, die widerstandsfähig genug sind, um wiederholten Zerstörungen standzuhalten und gleichzeitig begrenzte Ressourcen sowie extreme klimatische Bedingungen zu berücksichtigen.

Die Entwicklung neuer Bauweisen, die auf die Herausforderungen von Konfliktregionen zugeschnitten sind, ist daher essenziell. Diese Ansätze sollten sich auf die Nutzung lokaler Ressourcen, Anpassung an klimatische Bedingungen und Nachhaltigkeit konzentrieren.

Die Relevanz dieser Arbeit liegt in der dringenden Notwendigkeit, nachhaltige und flexible Bauweisen zu entwickeln, die den speziellen Herausforderungen in Nord-Syrien gerecht werden. Der Fokus liegt darauf, Bauansätze zu identifizieren und anzupassen, die den klimatischen Bedingungen der Region entsprechen und gleichzeitig den Menschen in einem anhaltenden Konflikt eine sichere und lebenswerte Umgebung bieten. Nord-Syrien steht dabei im Mittelpunkt, da die Region besonders stark vom Konflikt betroffen ist und dringend innovative Lösungen benötigt.

1.2 ZIELSETZUNG DER ARBEIT

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die in der Levante-Region, insbesondere im nördlichen Syrien, angewendeten Bausysteme kritisch zu analysieren und neu zu bewerten. Dabei werden zentrale Aspekte wie die grundlegende Funktionalität der Bauwerke, die Flexibilität der errichteten Gebäude angesichts der besonderen Herausforderungen durch Konflikte, Kriege und Naturkatastrophen wie Erdbeben sowie die ökologischen Auswirkungen, die durch die verwendeten Baumaterialien und Bauweisen entstehen, umfassend untersucht. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Herstellung, dem Transport und der Wiederverwendung der Baumaterialien sowie deren Schicksal nach Ablauf ihrer Nutzungsdauer.

Auf Grundlage dieser Analyse wird ein innovatives Bausystem entwickelt, das primär auf den in der Region verfügbaren Materialien basiert. Diese Methode soll sich grundlegend von den traditionellen Bauweisen unterscheiden, um den modernen Herausforderungen in diesen Gebieten besser gerecht zu werden. Gleichzeitig wird großer Wert auf die Einhaltung der Prinzipien des nachhaltigen und umweltfreundlichen Bauens gelegt.

Die Forschung zielt darauf ab, eine fortschrittliche Bauweise zu entwickeln, die nicht nur die geschätzte Lebensdauer eines normalen Gebäudes übersteigt, sondern auch den besonderen klimatischen und geopolitischen Bedingungen der Region, einschließlich der Belastungen durch Konflikte oder Kriege, gerecht wird. Es geht nicht darum, neue Baumaterialien zu erfinden oder zu testen, sondern bestehende Materialien und Bauweisen zu überdenken und nachhaltiger zu nutzen.

1.3 VORGEHENSWEISE UND AUFBAU DER ARBEIT

Die vorliegende Arbeit untersucht die Entwicklung eines nachhaltigen Bausystems für den Einsatz in Konfliktgebieten, insbesondere in der Region Nord-Syrien. Die Arbeit gliedert sich in sechs Hauptkapitel, die jeweils verschiedene Aspekte des Themas abdecken und methodisch aufeinander aufbauen.

Nach einer Einleitung, die den Hintergrund und die Relevanz des Themas beleuchtet, folgt die Zielsetzung der Arbeit. Die Zielsetzung umreißt die zentrale Fragestellung und die spezifischen Ziele, die mit dieser Forschung erreicht werden sollen. Im Anschluss daran wird die Vorgehensweise und der Aufbau der Arbeit beschrieben, um den Lesenden einen strukturierten Überblick über den Ablauf der Untersuchung zu geben.

Das zweite Kapitel widmet sich der Analyse der klimatischen, politischen und bautechnischen Rahmenbedingungen in Nord-Syrien. Zunächst wird eine Klimaanalyse der Region durchgeführt, gefolgt von einer Analyse der politischen Situation, die für die Bauprojekte von Bedeutung ist. Abschließend wird eine detaillierte Untersuchung der vorhandenen Baumaterialien und Bauweisen in der Region vorgenommen, um deren Eignung für nachhaltiges Bauen zu bewerten.

Im dritten Kapitel werden die theoretischen Grundlagen zu den Materialien Stahlbeton und Lehm behandelt. Es werden die Erfindung, Entwicklung und Eigenschaften dieser Baumaterialien erläutert, gefolgt von einer Untersuchung ihrer Verwendung in Baukonstruktionen aus Fertigteilen. Die Nachhaltigkeit dieser Materialien wird ebenfalls thematisiert, insbesondere in Bezug auf Herstellung, Wiederverwendung und Wiederverwertung.

Das vierte Kapitel konzentriert sich auf die technische Entwicklung des neuen Bausystems. Zunächst wird die Nachhaltigkeit und Wiederverwendung von Baumaterialien im Rahmen des Bausystems behandelt. Danach wird die methodische Entwicklung des Bausystems anhand einer Entwicklungsmatrix beschrieben, gefolgt von einer Übersicht der Bauteile für das

entwickelte BauSystem. Ein besonderer Fokus wird auf die Integration des Lehmbaues in das System gelegt, um die Vorteile dieses traditionellen Baumaterials zu nutzen. Abschließend wird der Einsatz des Bausystems in Kriegsgebieten unter Berücksichtigung logistischer und bautechnischer Herausforderungen untersucht.

Im fünften Kapitel wird die praktische Anwendung des entwickelten Bausystems anhand einer Fallstudie demonstriert. Dabei wird der Entwurf und die Errichtung einer Schule in Nord-Syrien als Beispiel verwendet, um die Funktionalität und Anpassungsfähigkeit des Systems unter realen Bedingungen zu veranschaulichen.

Das sechste Kapitel bietet eine Zusammenfassung der Ergebnisse und gibt einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und Anwendungsmöglichkeiten des entwickelten Bausystems. Ergänzende Materialien, Abbildungen und Daten werden im Anhang bereitgestellt, während das Abbildungsverzeichnis und das Literaturverzeichnis die in der Arbeit verwendeten visuellen und schriftlichen Quellen auflisten. In allen Abschnitten wird die Situation in Syrien thematisch passend integriert, um die spezifischen Herausforderungen in diesem Kontext umfassend zu beleuchten.



2. ANALYSE

2.1 Klimaanalyse der verschiedenen Regionen Syriens

- Ausgangspunkt für die Entwicklung des Bausystems
- Klimawandel in Syrien

2.2 Analyse der politischen Situation in Syrien

2.3 Analyse der vorhandenen Baumaterialien und Bauweisen in Syrien

- Traditionelle Baumaterialien und Bauweisen
- Aktuelle Baumaterialien und Branchenentwicklung
- Abschließende Betrachtungen und zukünftige Perspektiven

Zwischenfazit

Abbildungsverzeichnis

2.1 KLIMAANALYSE DER VERSCHIEDENEN REGIONEN SYRIENS

Syrien liegt im Westen Asiens und erstreckt sich über eine Fläche von 185.180 km². Das Land befindet sich zwischen 32 bis 37 Grad nördlicher Breite und 35 bis 42 Grad östlicher Länge (siehe Abb.2.1.1). Aufgrund seiner geografischen Lage und topografischen Vielfalt lässt sich Syrien in drei Hauptklimaregionen unterteilen: die Küstenregion, die Binnenregion und die Wüstenregion (siehe Abb.2.1.2) (vgl. Kassel/Hattab 2022: 29). Diese klimatischen und geografischen Unterschiede haben erhebliche Auswirkungen auf die Bauweise und die Auswahl der Baumaterialien, was in der vorliegenden Masterarbeit von zentraler Bedeutung ist.

1. Küstenregion

Die Küstenregion umfasst die westliche Küstenebene, die sich auf eine Höhe von 200-300 m über dem Meeresspiegel erhebt, sowie die östliche Alnaysayria-Gebirgskette, die eine Höhe von bis zu 1562 m erreicht. In dieser Region herrscht durchgehend hohe Luftfeuchtigkeit, und die Sommer sind mild (siehe Abb.2.1.3). Der Jahresniederschlag ist relativ hoch, insbesondere im Winter, und beträgt etwa 800 mm. Auf den Bergen der Region kann der Jahresniederschlag sogar 1000 mm erreichen (siehe Abb.2.1.4) (vgl. Weather Spark o. D. und Kassel/Hattab 2022: 29, 31). Für den Vergleich in den Abbildungen wurde die Stadt Tartous gewählt, die exemplarisch für die Küstenregion steht (siehe Abb.2.1.5). Diese klimatischen Bedingungen erfordern Bauweisen, die den besonderen Anforderungen einer feuchten und regenreichen Umgebung gerecht werden.

2. Binnenregion

Die Binnenregion besteht aus drei großen Gebieten, in denen sich die großen syrischen Städte wie Aleppo, Damaskus und Homs befinden, die durch unterschiedliche topografische Merkmale geprägt sind. Das Alasi Gebiet erstreckt sich mit einer Fläche von 16300 km² parallel zur Alnaysayria Gebirgskette zwischen der türkischen Grenze im Norden und der



Abb.2.1.1

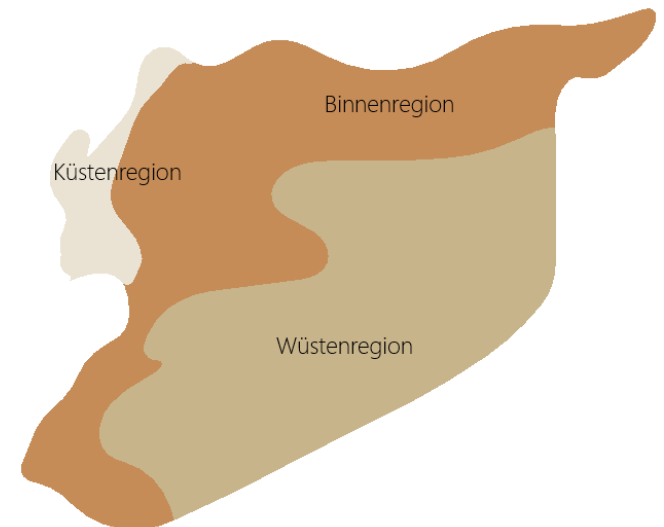


Abb.2.1.2

Abb.2.1.1
Syrien und die angrenzenden Kontinente:
Geographische Übersicht.

Abb.2.1.2
Landkarte Syriens mit den drei Hauptklimazonen.

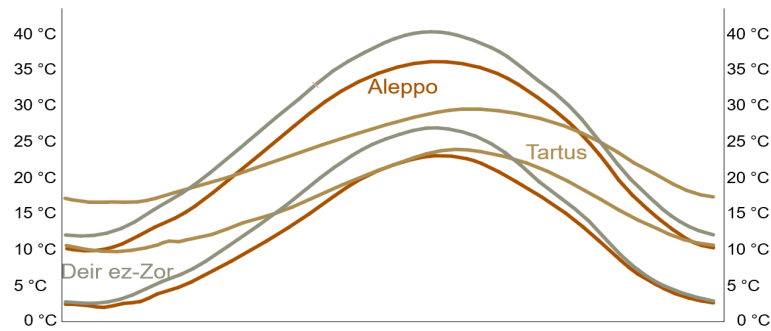


Abb.2.1.3

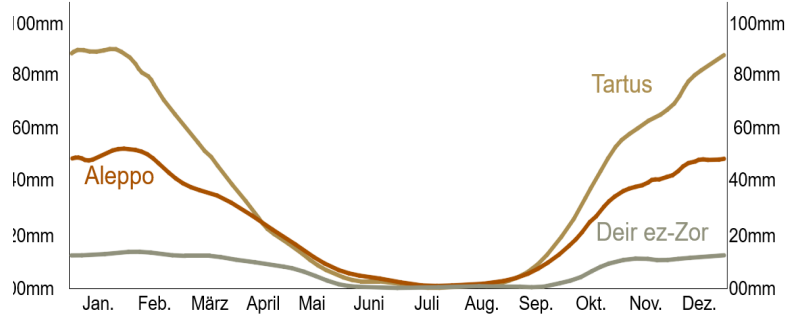


Abb.2.1.4

libanesischen Grenze in Süden. Das Südwestliche Gebiet (ca. 12500 km²) besteht zum großen Teil sowohl aus Ebene als auch aus Hügelland (etwa 450- 850 m.ü.d.M). Es erstreckt sich entlang der syrischen-jordanischen Grenze in Süden und syrischen- palästinischer Grenze in Westen bis zur-syrischen Wüstenregion in Osten. Das Ebene- Hügelland der Provinz Aleppo, dehnt sich vom östlichen Alasi Gebiet bis Wadi- Euphrat und von der syrischen- türkischen Grenze im Norden zum Al Bishrie Bergin Süden aus. Das Hügelland (etwa 350 bis 450 m. ü.d. M) zeichnet den großen Teildieses Gebietes aus. Diese Region ist charakterisiert durch regnerische Winter und heiße, trockene Sommer (siehe Abb.2.1.3). Der mittlere

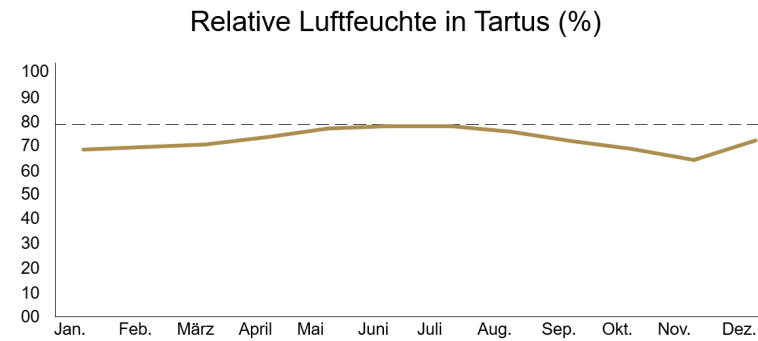


Abb.2.1.5

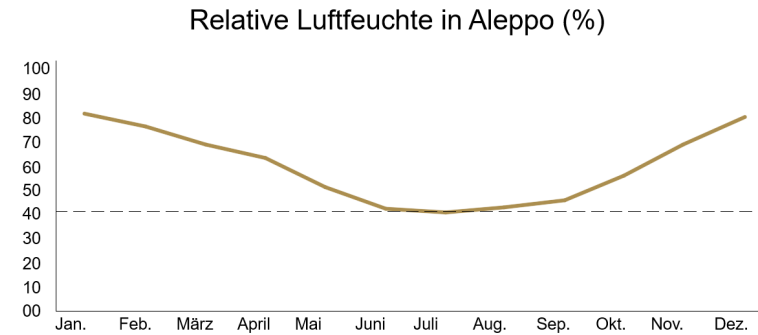


Abb.2.1.6

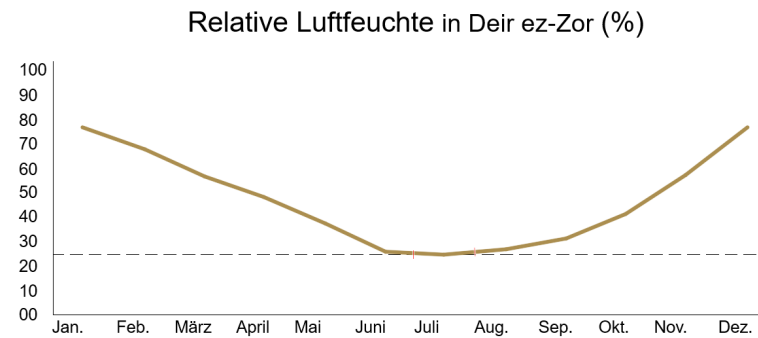


Abb.2.1.7

- Abb.2.1.3 Durchschnittliche Temperaturen in Syrien.
- Abb.2.1.4 Vergleich der monatlichen Niederschlagsmengen. Aleppo, Deir ez-Zor und Tartus.
- Abb.2.1.5 Relative Luftfeuchte in Tartus.
- Abb.2.1.6 Relative Luftfeuchte in Aleppo.
- Abb.2.1.7 Relative Luftfeuchte in Deir ez-Zor.

Jahresniederschlag variiert je nach Ort und liegt bei etwa 500 mm (siehe Abb.2.1.4). Die Temperaturen in dieser Region unterliegen starken Schwankungen zwischen Tag und Nacht, insbesondere in den Sommermonaten. Die relative Luftfeuchtigkeit sinkt im Sommer oft auf 40% (siehe Abb.2.1.6) (vgl. Weather Spark o. D. und Kassel/Hattab 2022: 29, 31). Aleppo wurde als repräsentative Stadt für diese Region gewählt, um die klimatischen Bedingungen zu veranschaulichen (siehe Abb.2.1.6). In dieser Region ist es wichtig, Bauweisen zu entwickeln, die sowohl den temperierten Winterbedingungen als auch den heißen Sommermonaten gerecht werden.

3. Wüstenregion

Die Wüstenregion Syriens bedeckt mehr als 50% der Landesfläche und weist ein extrem heißes und trockenes Sommerklima auf (siehe Abb.2.1.3). Der Jahresniederschlag ist sehr niedrig, und die relative Luftfeuchtigkeit sinkt im Sommer auf unter 30% (siehe Abb.2.1.7) (vgl. Weather Spark o. D. und Kassel/Hattab 2022: 31). Deir ez-Zor wurde für die Abbildungen als Beispiel für die klimatischen Bedingungen in der Wüstenregion gewählt (siehe Abb.2.1.7). Diese extremen klimatischen Bedingungen stellen besondere Anforderungen an die Bauweise, die an die extremen Temperaturen und die Trockenheit angepasst sein muss.

Ausgangspunkt für die Entwicklung des Bausystems

Die klimatischen Unterschiede in den verschiedenen Regionen Syriens stellen spezifische Anforderungen an die Bauweise und die Auswahl der Materialien. Während in der Küstenregion Bauweisen erforderlich sind, die sich den feuchten und regenreichen Bedingungen anpassen, müssen in der Binnenregion und der Wüstenregion Bauweisen entwickelt werden, die sowohl den heißen, trockenen Sommern als auch den winterlichen Bedingungen standhalten können. Da die Binnenregion und die Wüstenregion den Hauptteil Syriens repräsentieren, werden diese beiden Regionen als Ausgangssituation für die Entwicklung des Bausystems in dieser Masterarbeit genommen. Es ist entscheidend, dass die entwickelten Bauweisen den spezifischen klimatischen Herausforderungen gerecht werden,

um die Widerstandsfähigkeit der Infrastruktur zu gewährleisten und den klimatischen Bedingungen jeder Region optimal zu entsprechen.

Klimawandel in Syrien

Syrien, gelegen in einer ohnehin schon von extremen klimatischen Bedingungen geprägten Region, steht vor erheblichen Herausforderungen durch den Klimawandel. Die Region, in der Syrien liegt, ist stark von steigenden Temperaturen und abnehmenden Niederschlagsmengen betroffen. Diese klimatischen Veränderungen haben tiefgreifende Auswirkungen auf die Umwelt, die Landwirtschaft und die Wasserversorgung des Landes.

In den letzten Jahrzehnten haben sich die klimatischen Bedingungen in Syrien signifikant verändert. Die Sommer werden immer heißer und trockener, während die jährliche Niederschlagsmenge kontinuierlich abnimmt. Diese Veränderungen führen dazu, dass sich weniger Trinkwasser in den natürlichen Wasserspeichern ansammelt und die Flüsse, die für die Wasserversorgung und Bewässerung der Landwirtschaft essentiell sind, zunehmend austrocknen. Die Landwirtschaft, die einen bedeutenden Teil der syrischen Wirtschaft ausmacht, leidet stark unter diesen Bedingungen. Die Erträge sinken, was die ohnehin angespannte Versorgungslage im Land weiter verschärft (vgl. Klimawandel Damaskus o. D.).

Einige Wissenschaftlerinnen und Expertinnen führen den Klimawandel und seine Auswirkungen als einen der Hauptfaktoren für den Ausbruch des syrischen Krieges an. Der Rückgang der landwirtschaftlichen Produktion und die zunehmende Wasserknappheit haben die sozioökonomischen Spannungen in ländlichen Gebieten verstärkt und damit zur Instabilität beigetragen (vgl. Johnstone/Mazo 2013).

Die Abbildungen 2.1.8 und 2.1.9 verdeutlichen den Klimawandeltrend in Tartus, wobei die gestrichelte graue Linie den Anstieg der mittleren Jahrestemperatur und den Rückgang des jährlichen Niederschlags zeigt. Ähnliche Entwicklungen sind in Abbildung 2.1.10 und 2.1.11 für Aleppo, sowie in Abbildung 2.1.12 und 2.1.13 für Deir ez-Zor zu sehen. Diese Darstel-

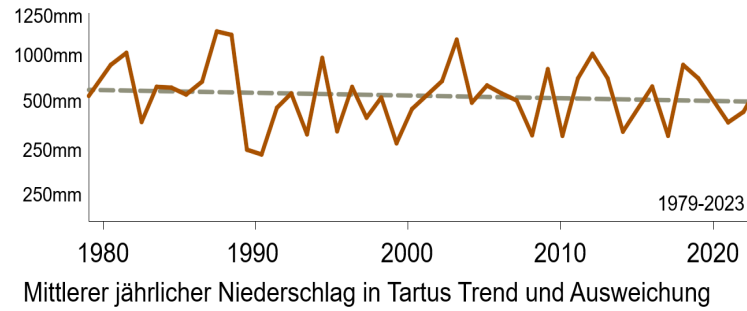
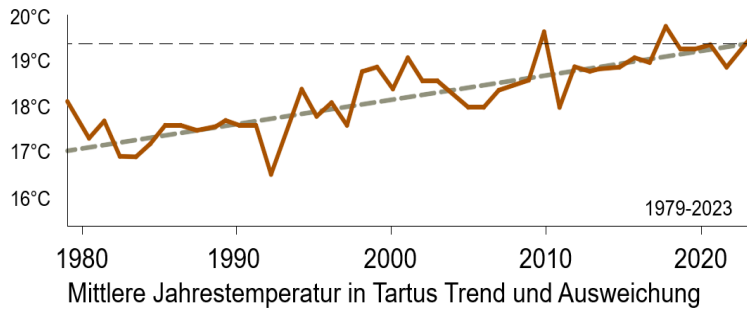


Abb.2.1.8

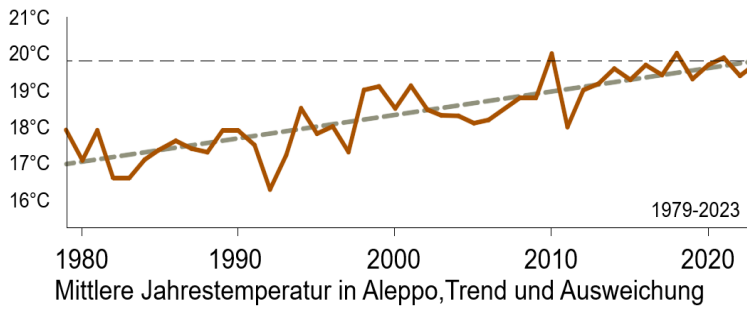


Abb.2.1.8

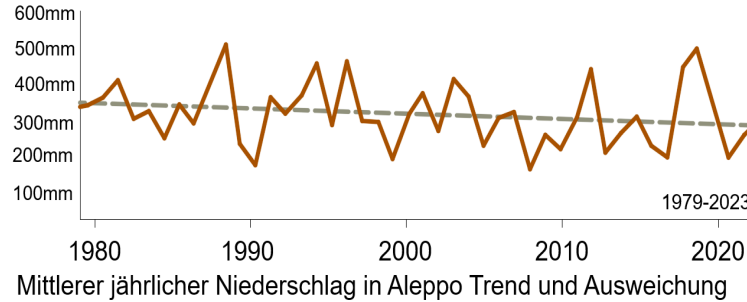


Abb.2.1.10

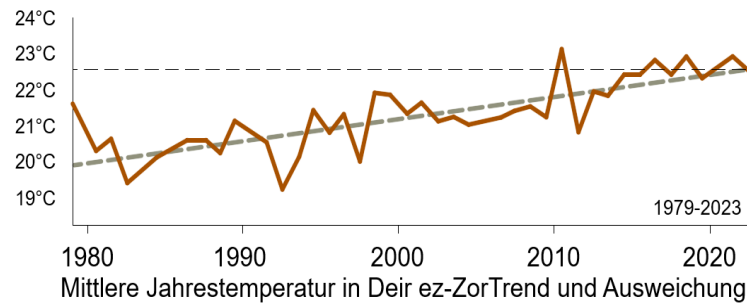
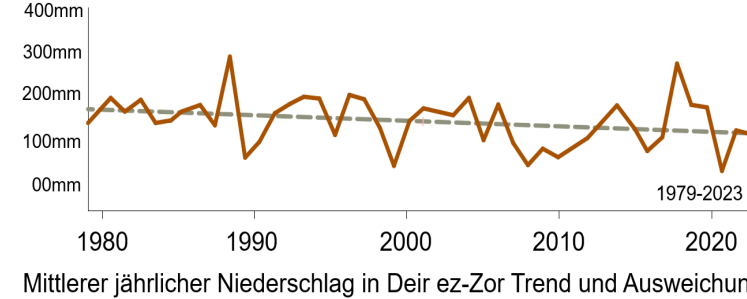


Abb.2.1.10



- Abb.2.1.7
Mittlere Jahrestemperatur in Tartus.
- Abb.2.1.8
Mittlerer jährlicher Niederschlag in Tartus.
- Abb.2.1.9
Mittlere Jahrestemperatur in Aleppo.
- Abb.2.1.10
Mittlerer jährlicher Niederschlag in Aleppo.
- Abb.2.1.11
Mittlere Jahrestemperatur in Deir ez-Zor.
- Abb.2.1.12
Mittlerer jährlicher Niederschlag in Deir ez-Zor.

Abb.2.1.12

Abb.2.1.12

lungen unterstreichen die gravierenden Auswirkungen des Klimawandels in Syrien, die sowohl die Umwelt als auch die soziale und wirtschaftliche Stabilität des Landes bedrohen. Es wird zunehmend notwendig, Bauweisen und Infrastrukturen an die verschärften klimatischen Bedingungen anzupassen, um die Widerstandsfähigkeit der Bevölkerung zu stärken.

2.2 ANALYSE DER POLITISCHEN SITUATION IN SYRIEN

Seit 2011 befindet sich Syrien in einem tiefgreifenden politischen und gesellschaftlichen Umbruch, der das Land bis heute prägt. Der anhaltende Bürgerkrieg hat weitreichende Auswirkungen auf alle Aspekte des gesellschaftlichen Lebens, insbesondere auf die Infrastruktur und die Bauwirtschaft (vgl. Rodgers et al. 2016).

Die Krise begann im März 2011, als friedliche Proteste gegen die Regierung von Präsident Bashar al-Assad im Zuge des „Arabischen Frühlings“ aufkamen. Die Demonstranten forderten politische Reformen und mehr Freiheiten. Die brutale Reaktion der Regierung führte zu einer Eskalation der Gewalt und verwandelte die Proteste bald in einen bewaffneten Aufstand, der von verschiedenen regionalen und internationalen Akteuren unterstützt wurde (vgl. Rodgers et al. 2016).

Im Laufe der Zeit entwickelte sich der Konflikt zu einem Stellvertreterkrieg, an dem viele regionale und internationale Mächte beteiligt sind. Staaten wie Russland, Iran, die Golfstaaten und die Türkei verfolgen in Syrien strategische, wirtschaftliche und geopolitische Interessen. Heute kontrollieren syrische Regierungstruppen, unterstützt von Russland und Iran, etwa zwei Drittel des Landes, darunter wichtige Städte wie Damaskus, Hama, Aleppo und Homs. Die Demokratischen Kräfte Syriens (SDF), die von den USA unterstützt werden, halten etwa ein Viertel des Landes, während türkische Streitkräfte und verbündete Milizen Gebiete entlang der Grenze zu Syrien kontrollieren (vgl. the European Union Agency for Asylum (EUAA) 2023).

Die Verlängerung des Krieges hat zu einer der schwersten humanitären

Krisen des 21. Jahrhunderts geführt. Millionen von Menschen wurden vertrieben, und die Infrastruktur des Landes liegt in Trümmern. Zahlreiche humanitäre Organisationen haben sich aufgrund der andauernden Kämpfe und der schwierigen Zugangsbedingungen zurückgezogen, sodass lokale Organisationen die Versorgung der Betroffenen übernehmen mussten. Organisationen wie das Molham-Team und Violet im Norden Syriens haben Wohnsiedlungen für Vertriebene errichtet und Schulen, Bildungsorganisationen und Krankenhäuser eingerichtet, indem sie Spenden von vor dem Krieg ins Ausland geflüchteten Syrer*innen gesammelt haben.

Dennoch bleiben die betroffenen Gebiete unsicher, da sie oft nur unter temporären Sicherheitsvereinbarungen stehen, die jederzeit enden können. Luftangriffe und andere militärische Aktionen des syrischen Regimes führen weiterhin zu Zerstörungen, was die Notwendigkeit flexibler und anpassungsfähiger Bauweisen unterstreicht. Gebäude müssen so konzipiert werden, dass sie bei Bedarf verlegt oder nach Schäden durch Bombenangriffe oder Explosionen repariert werden können.

Die nebenstehende Karte zeigt die Aufteilung der syrischen Landkarte zwischen den verschiedenen Streitkräften und dem Regime.

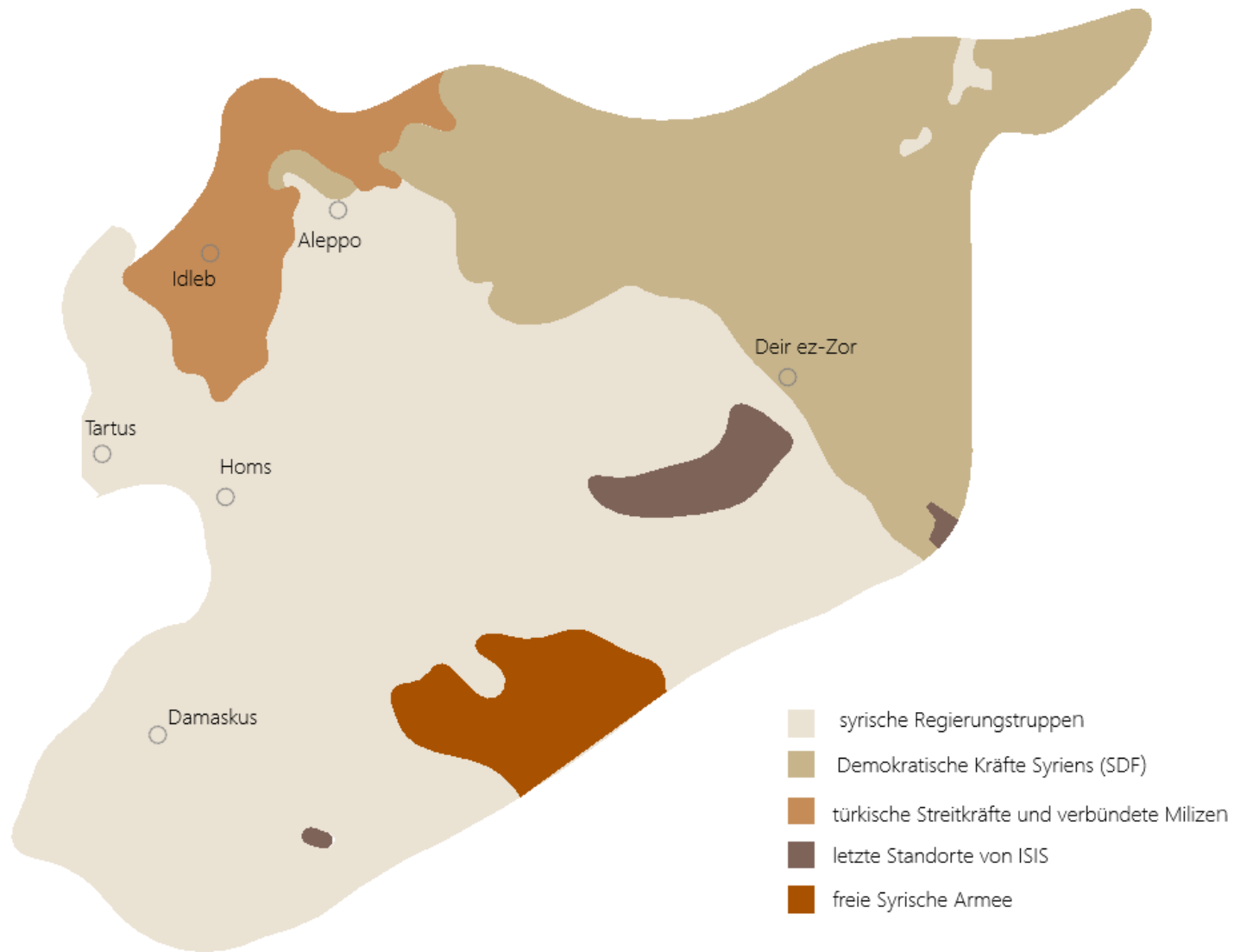


Abb.2.2.1
Syriens territoriale Kontrolle.

2.3 ANALYSE DER VORHANDENEN BAUMATERIALIEN UND BAUWEISEN IN SYRIEN

Die syrische Bauindustrie hat im Laufe der Jahrhunderte eine Vielzahl von Materialien und Bauweisen entwickelt, die sowohl von traditionellen Techniken als auch von modernen Einflüssen geprägt sind. Diese Analyse untersucht die gängigsten Materialien, ihre Anwendung und ihre Eignung im Kontext der spezifischen klimatischen und politischen Bedingungen Syriens.

Traditionelle Baumaterialien und Bauweisen

Die traditionelle syrische Architektur nutzt eine breite Palette von Bauweisen und Materialien, die stark von den geografischen und klimatischen Bedingungen sowie von der Verfügbarkeit lokaler Ressourcen geprägt sind. Diese Materialien und Techniken waren nicht nur funktional, sondern auch kulturell bedeutend und spiegelten das tief verwurzelte lokale Wissen wider. Zu den am häufigsten verwendeten Materialien zählen Lehm, Stein und Holz.



Abb.2.3.1

Lehm und Stampflehm wurden in ländlichen Gebieten und älteren städtischen Strukturen weit verbreitet verwendet (siehe Abb.2.3.1). Lehm ist aufgrund seiner hervorragenden Wärmespeicherungseigenschaften besonders gut für die extremen klimatischen Bedingungen Syriens geeignet. Stampflehm, der durch das Verdichten von Erdmaterial in Schalungen entsteht, bietet zusätzliche strukturelle Stabilität und natürlichen Wärmeschutz. Lehmziegelmauern wurden sowohl in der Stadt als auch auf dem Land errichtet und bieten durch ihre Dicke von 60-70 cm eine gute Isolierung. Diese Wände wurden oft auf Steinfundamenten gebaut, um eine stabile Grundlage zu schaffen, insbesondere in Gebieten mit lockerem Boden (vgl. CORPUS Levant 2015).

Ein markantes Beispiel für die Verwendung von Stein in der traditionellen syrischen Architektur ist der Einsatz von Steinmauern, die in den meisten syrischen Städten wie Aleppo und Damaskus weit verbreitet waren. Kalkstein und Basalt waren je nach Region die dominierenden Materialien. In Damaskus beispielsweise wurden Steinmauern mit einer Mischung aus Basalt und Kalkstein gebaut, um sowohl strukturelle Festigkeit als auch ästhetische Schönheit zu gewährleisten (siehe Abb.2.3.2). Diese Mauern, die



Abb.2.3.2

Abb.2.3.1
Traditionelle Lehmhäuser in Al-Frouqios,
Nordsyrien.

Abb.2.3.2
Die alte Stadt Damaskus.

oft eine Dicke von 50 bis 90 cm erreichten, wurden auf groben Steinfundamenten errichtet und zeigten eine abwechslungsreiche Farbpalette durch die Verwendung unterschiedlicher Steinschichten in den Farben Schwarz, Gelb und Weiß. Die Methode der Steinbearbeitung und die Verwendung von Lehm- und Kalkmörtel als Bindemittel verlieh den Mauern zusätzliche Stabilität und Langlebigkeit (vgl. CORPUS Levant 2015).

Die Vielfalt der Bautypologien in Syrien spiegelt die unterschiedlichen Lebensstile und die Verfügbarkeit von Materialien wider. In ländlichen Gegenden finden sich häufig Lehmhäuser mit Lehmdächern, während in städtischen Gebieten wie Aleppo und Damaskus Stein das dominierende Baumaterial ist. Besonders in den südlichen Regionen, wo vulkanisches Basaltgestein weit verbreitet ist, sind trockene Steinmauern zu finden, die keine Mörtelverbindungen benötigen und aufgrund ihrer Stabilität und Langlebigkeit geschätzt werden (vgl. CORPUS Levant 2015).

Die traditionelle Architektur Syriens zeichnet sich durch ihre handwerkliche Präzision und die Nutzung traditioneller Werkzeuge aus, die von Generation zu Generation weitergegeben wurden. Diese Techniken erforderten große Präzision und Geschicklichkeit, was zu langlebigen und widerstandsfähigen Strukturen führte. Auch wenn einige dieser Werkzeuge und Techniken im Laufe der Jahre modernisiert wurden, um den Anforderungen der heutigen Architektur gerecht zu werden, haben sie oft an Genauigkeit eingebüßt und liefern weniger präzise Ergebnisse als die traditionellen Methoden (vgl. CORPUS Levant 2015).

Die Baumaterialien und -techniken variierten stark je nach Verfügbarkeit in der jeweiligen Region, was zu einer Vielzahl von Bautypologien in verschiedenen Gebieten und Städten führte. In der Lehmarchitektur variierten beispielsweise die Bautechniken auch in den Dachmethoden: Während im Norden Syriens Lehmdächer vorherrschend waren, dominierten im Süden Flachdächer. Diese regionalen Unterschiede prägen bis heute das Bild der ländlichen Architektur Syriens.

Aktuelle Baumaterialien und Branchenentwicklung

Mit der Urbanisierung und Modernisierung Syriens seit den 1970er Jahren setzte sich Stahlbeton als dominierendes Baumaterial durch, insbesondere in den städtischen Gebieten. Eine Untersuchung der syrischen Regierung aus dem Jahr 2006 ergab, dass die Mehrheit der bestehenden Wohngebäude in Damaskus zwischen 1970 und 1980 errichtet wurde. Dabei kam Stahlbeton als Hauptbaumaterial zum Einsatz, und die Gebäude wurden überwiegend in Skelettbauweise mit Zementblockstein als Füllmaterial errichtet (siehe Abb.2.3.3). Diese Bauweise prägt heute das Stadtbild vieler syrischer Städte. Mehrfamilienhäuser machen einen Großteil der Wohnbauten in Syrien aus. In Städten wie Lattakia stellen sie etwa 74 % der Wohnbauten, während in Damaskus rund 50 % der Gebäude Mehrfamilienhäuser sind und etwa 48 % Einfamilienhäuser mit Höfen (siehe Abb.2.3.4) (vgl. Kassel/Hattab 2022: 49).

Die Baukosten in Syrien haben sich im Laufe der Jahre erheblich verändert. Zwischen 1995 und 2005 schwankten die Kosten für einen Quadratmeter Wohnfläche je nach Bauqualität und Sektor zwischen 30 und 60 Euro. In den darauffolgenden Jahren, insbesondere im Zeitraum von 2010 bis 2015, stiegen die Kosten jedoch drastisch an, was teilweise auf die Auswirkungen des syrischen Bürgerkriegs zurückzuführen ist. Im Jahr 2015 erreichten die Baukosten in Damaskus und anderen Städten etwa 175 Euro pro Quadratmeter (vgl. Kassel/Hattab 2022: 53).

Zementunternehmen standen vor enormen Herausforderungen. Verschiedene betriebliche, wirtschaftliche und logistische Aktivitäten litten erheblich, ebenso wie die Mitarbeiter. Diese Probleme waren hauptsächlich auf zwei Hauptursachen zurückzuführen: Zum einen wurden die Zementfabriken und die umliegenden Gebiete immer wieder von bewaffneten Gruppen angegriffen, was zu erheblichen Verlusten führte. Zum anderen gab es einen starken Rückgang der Nachfrage nach Zement auf den lokalen Märkten, wobei der Absatz auf weniger als 30 % des Niveaus von 2011 sank (vgl. Annual Report of Al Badia Cement Company (S.A.E.) for the period from January 1, 2016 to December 31, 2021). Der



Abb.2.3.3



Abb.2.3.4

andauernde Konflikt und die damit verbundenen Zerstörungen haben die Materialbeschaffung und den Wiederaufbau in Syrien erheblich erschwert. Gleichzeitig stellt der Klimawandel eine zusätzliche Herausforderung dar, die sowohl traditionelle als auch moderne Bauweisen auf die Probe stellt. Angesichts dieser Bedingungen könnte die Rückbesinnung auf traditionelle Materialien und Techniken, kombiniert mit modernen Bauansätzen, eine nachhaltige Lösung für den Wiederaufbau und die Anpassung an die sich verändernden klimatischen Bedingungen bieten.

Abschließende Betrachtungen und zukünftige Perspektiven

Ein sich in den letzten vierzig Jahren beschleunigender Homogenisierungsprozess hat sich auf den Bestand der traditionellen Architektur ausgewirkt und dazu geführt, dass nach und nach alle Besonderheiten dieser Architektur verschwinden. Traditionelle Architektur weist ausgeprägte Elemente auf, die in ihren Konzepten einfach, lokal oder sogar primitiv sein können. In fast allen Fällen sind sie jedoch das Produkt von erfahrenen Handwerkern und Künstlern und nicht die Leistung moderner Architekten.

Diese Bauweisen wurden mit lokalem Wissen und traditionellen regionalen Materialien sowie überlieferten Formen und Techniken erstellt (vgl. CORPUS Levant 2015).

Besonders flexible und modulare Bauweisen könnten im Wiederaufbau eine wichtige Rolle spielen, da sie sich an die spezifischen Anforderungen von Konfliktgebieten anpassen lassen. Die Herausforderungen, die durch den Klimawandel und die politischen Instabilitäten entstehen, machen es erforderlich, dass sich auch die Baumaterialien und -techniken weiterentwickeln, um den neuen Gegebenheiten gerecht zu werden. Es wird immer wichtiger, dass die Bauindustrie in Syrien eine Balance zwischen traditionellen Bauweisen und modernen Anforderungen findet, um nachhaltig und widerstandsfähig gegenüber zukünftigen Herausforderungen zu bleiben.

Abb.2.3.3
Stahlbetonskelettbauweise mit Zementblockstein.
Abb.2.3.4
Altes Damaszener Haus mit Innenhof.

Zwischenfazit

Die klimatischen und politischen Herausforderungen in Syrien erfordern eine flexible und nachhaltige Herangehensweise an den Bau von Infrastrukturen. Die klimatischen Bedingungen des Landes, die von der feuchten Küstenregion bis zur extrem heißen und trockenen Wüstenregion reichen, stellen besondere Anforderungen an die Bauweise und die Auswahl der Materialien. Der Klimawandel verschärft diese Herausforderungen zusätzlich, indem er zu steigenden Temperaturen und abnehmenden Niederschlagsmengen führt, was die Verfügbarkeit von Wasserressourcen und die landwirtschaftliche Produktion beeinträchtigt.

Traditionelle Baumaterialien wie Lehm, Stein und Holz haben sich über Jahrhunderte hinweg bewährt und bieten aufgrund ihrer natürlichen Wärmespeicherung und Stabilität eine gute Anpassungsfähigkeit an die lokalen klimatischen Bedingungen. In den letzten Jahrzehnten hat jedoch die Modernisierung der Bauindustrie, insbesondere durch den Einsatz von Stahlbeton, das Bauwesen in städtischen Gebieten dominiert. Doch der andauernde Bürgerkrieg und die wirtschaftlichen Unsicherheiten haben die Bauindustrie massiv beeinträchtigt, sodass die Materialbeschaffung und der Wiederaufbau in Syrien vor großen Herausforderungen stehen.

Angesichts dieser Situation könnte eine Rückbesinnung auf traditionelle Baumaterialien und -techniken in Kombination mit modernen Ansätzen eine nachhaltige Lösung für den Wiederaufbau und die Anpassung an die veränderten klimatischen Bedingungen bieten. Zukünftige Bauweisen in Syrien müssen widerstandsfähig, anpassungsfähig und nachhaltig sein, um sowohl den aktuellen Bedürfnissen der Bevölkerung als auch den langfristigen Anforderungen gerecht zu werden. Nur durch eine bewusste Integration von traditionellem Wissen und modernen Technologien kann die syrische Bauindustrie erfolgreich auf die vielfältigen Herausforderungen des Landes reagieren.

Abbildungsverzeichnis

Abb.2.1.1: Syrien und die angrenzenden Kontinente: Geographische Übersicht.

Darstellung: Omar Masfaka

Syrien - Geographie und Landkarte (o. D.): [online] <https://www.transasi-en.org/pages/syrien/geographie.php>.

Abb.2.1.2: Landkarte Syriens mit den drei Hauptklimazonen.

Darstellung: Omar Masfaka

Hassan, Maya/Hui Xie (2019): Regional Protection and Risk Management for the Coastal Heritage Sites in Syria, in: Springer eBooks, S. 77–112, [online] doi:10.1007/978-981-13-8672-5_3.

Abb.2.1.3: Durchschnittliche Temperaturen in Syrien.

Abb.2.1.4: Vergleich der monatlichen Niederschlagsmengen.

Darstellung: Omar Masfaka

Das Wetter das ganze Jahr über an einem beliebigen Ort der Erde - Weather Spark (o. D.): Weather Spark, [online] <https://de.weatherspark.com/>.

Abb.2.1.5: Relative Luftfeuchte in Tartus.

Abb.2.1.6: Relative Luftfeuchte in Aleppo.

Abb.2.1.7: Relative Luftfeuchte in Deir ez-Zor.

Darstellung: Omar Masfaka

Länderdaten - die Welt in Zahlen (o. D.): Laenderdaten.info, [online] <https://www.laenderdaten.info/>.

Abb.2.1.7: Mittlere Jahrestemperatur in Tartus.

Abb.2.1.8: Mittlerer jährlicher Niederschlag in Tartus.

Abb.2.1.9: Mittlere Jahrestemperatur in Aleppo.

Abb.2.1.10: Mittlerer jährlicher Niederschlag in Aleppo.

Abb.2.1.11: Mittlere Jahrestemperatur in Deir ez-Zor.

Abb.2.1.12: Mittlerer jährlicher Niederschlag in Deir ez-Zor.

Darstellung: Omar Masfaka

Milotlamicha (o. D.): Klimawandel - überall?, Meteoblue, [online] https://www.meteoblue.com/de/blog/article/show/39905_Klimawandel-+-+%C3%BCberall%3F.

Abb.2.2.1: Syriens territoriale Kontrolle.

Darstellung: Omar Masfaka

aljazeera.net (2023): [ةيركسعالا ةرطيسلا ةطراخ عزوتت فيك ايروس ي ف](https://www.aljazeera.net/news/2023/10/6/%D9%83%D9%8A%D9%81-%D8%A%D8%A%D9%88%D8%B2%D8%B9-%D8%AE%D8%A7%D8%B1%D8%B7%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%8A%D8%B7%D8%B1%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%B9%D8%B3%D9%83%D8%B1%D9%8A%D8%A9-%D9%81%D9%8A), in: aljazeera.net, 06.10.2023, [online] <https://www.aljazeera.net/news/2023/10/6/%D9%83%D9%8A%D9%81-%D8%A%D8%A%D9%88%D8%B2%D8%B9-%D8%AE%D8%A7%D8%B1%D8%B7%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%B3%D9%8A%D8%B7%D8%B1%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D8%B9%D8%B3%D9%83%D8%B1%D9%8A%D8%A9-%D9%81%D9%8A>.

Abb.2.3.1: Traditionelle Lehmhäuser in Al-Frouqios, Nordsyrien.

CORPUS Levant (2015): Traditional Syrian architecture: The Building Arts, Issuu, [online] https://issuu.com/asociacionrehabimed/docs/m_livret_syrie040220.

Abb.2.3.2: Die alte Stadt Damaskus.

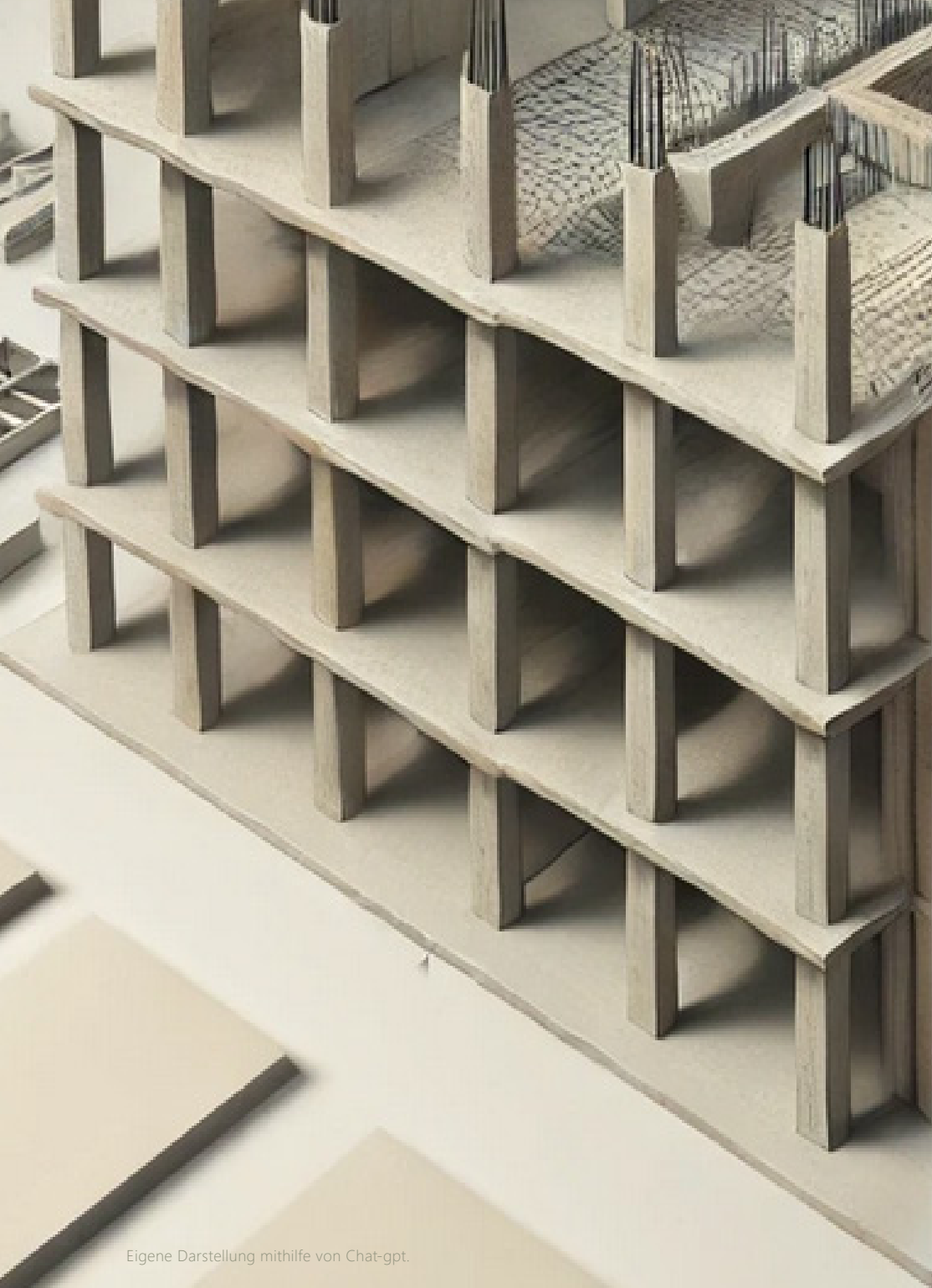
Plik:Ancient City of Damascus-107615.jpg – Wikipedia, wolna encyklopedia (o. D.): [online] https://pl.m.wikipedia.org/wiki/Plik:Ancient_City_of_Damascus-107615.jpg.

Abb. 2.3.3: Stahlbetonskelettbauweise mit Zementblockstein.

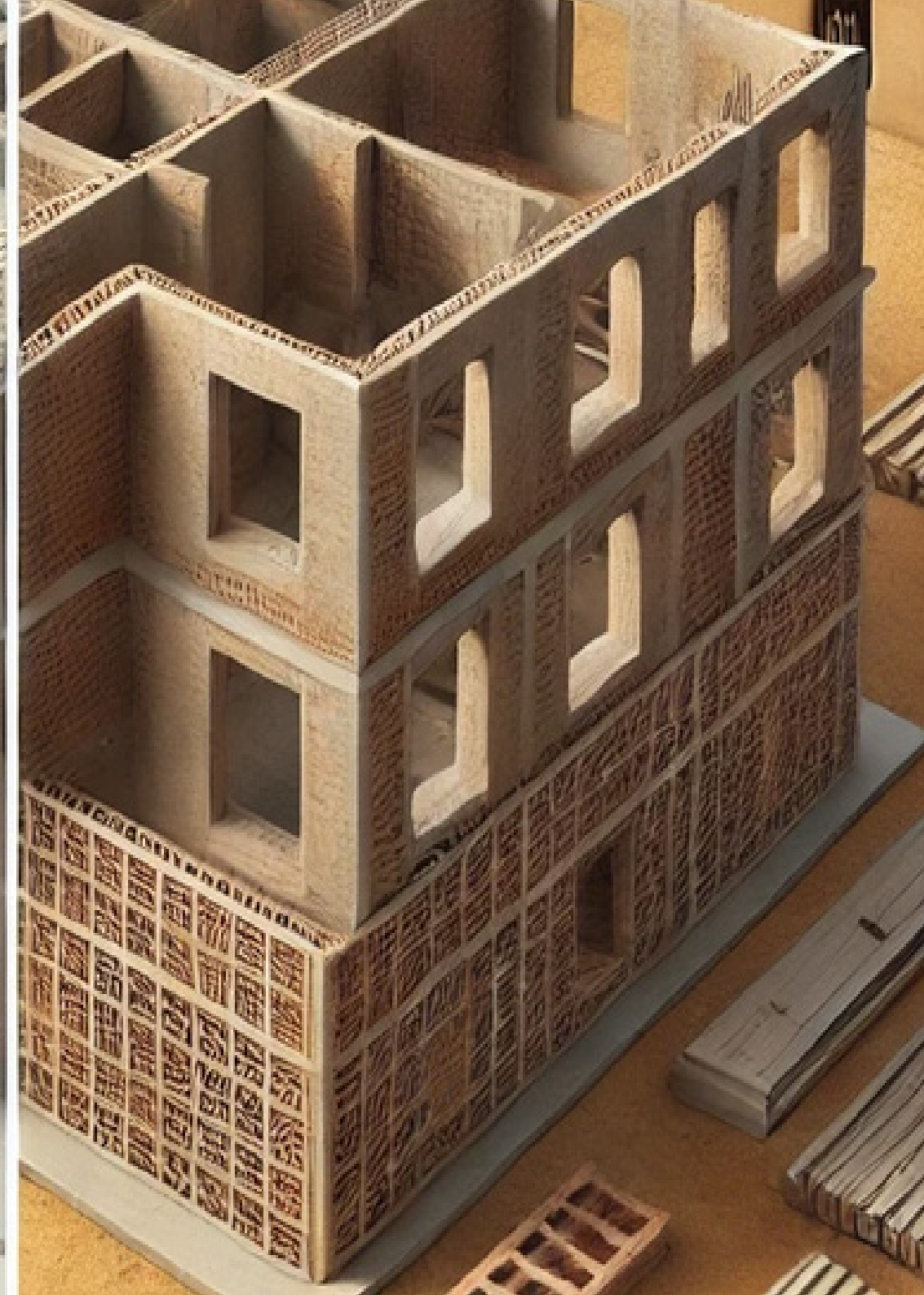
Kassel, Universität Kassel Fachbereich Architektur, Stadtplanung, Landschaftsplanung/Alaa Hattab (2022): Untersuchung von Sanierungsmaßnahmen zur Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes bei Wohngebäuden unter Berücksichtigung der lokalen klimatischen Gegebenheiten Syriens, in: kobra.uni-kassel.de, [online] doi:10.17170/kobra-202205236226.

Abb.2.3.4: Altes Damaszener Haus mit Innenhof.

Fest, Syria (2018): Old Damascus Houses - Syria Fest - Medium, in: Medium, 07.03.2018, [online] <https://medium.com/@SyriaFest/old-damascus-houses-38463de09a54>.



Eigene Darstellung mithilfe von Chat-gpt.



3. GRUNDLAGEN ÜBER STAHLBETON UND LEHMBAU

3.1 Beton – Erfindung, Entwicklung und Eigenschaften

3.2 Verwendung von Stahlbeton in Baukonstruktionen aus Fertigteilen

- Beispiele für den Einsatz von vorgefertigtem Beton

3.3 Beton als nachhaltiges Baumaterial – Herstellung, Wiederverwendung, Wiederverwertung

- Recyclingpotenzial und Herausforderungen
- Vorfertigung in Syrien als Lösung
- Potenzial von Betonbrechsanden
- Beispiel für nachhaltiges Recycling
- Mögliche Anwendung von Betonabfällen im Straßenbau

Zwischenfazit

3.4 Lehmbau – Erfindung, Entwicklung und Eigenschaften

- Uralte Beispiele
- Vorfertigung in Syrien als Lösung
- Lehmbau kann aushalten

- Kulturelle und soziale Bedeutung des Lehms

- Lehmbauweisen

- Lehmbau in Europa

- Eigenschaften und Besonderheiten von Lehm

- Lehmbau aus heutiger Sicht

3.5 Lehmbau in Nordsyriens Regionen

- Lehmbau in der Gegenwart und während des Konflikts

- Baukosten und Herausforderungen

3.6 Verwendung von Lehm in Baukonstruktionen aus Fertigteilen

3.7 Lehm als nachhaltiges Baumaterial – Herstellung, Wiederverwendung, Wiederverwertung

- Entsorgung von Lehm

- Recycling von Lehm

Zwischenfazit

Abbildungsverzeichnis

3.1 BETON – ERFINDUNG, ENTWICKLUNG UND EIGENSCHAFTEN

Beton gehört zu den grundlegendsten Baustoffen in der modernen Architektur und wird bereits seit Jahrtausenden verwendet. Schon in der Römerzeit war Beton ein bedeutender Baustoff und wurde für den Bau von imposanten Bauwerken wie dem Pantheon verwendet.

Die Betonbauweise hat sich durch ihre Vielseitigkeit, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit ausgezeichnet, was dazu führte, dass sie sich schnell an neue Anforderungen anpassen konnte. Im Laufe der Zeit wurden ständig neue Varianten des Baustoffs sowie neue Bauverfahren entwickelt, was die Anwendungsmöglichkeiten von Beton erheblich erweiterte (vgl. König/Tue 2003: 1).

Beton besteht traditionell aus Wasser, Zement und Gesteinskörnung, wobei dem Beton auch Luft, Zusatzmittel und Zusatzstoffe hinzugefügt werden können, die kontinuierlich weiterentwickelt werden. Diese Verbesserungen haben dazu geführt, dass der Baustoff Beton immer leistungsfähiger und vielseitiger einsetzbar wurde. Besonders die Konsistenz des Zementleims, die durch das richtige Verhältnis von Wasser und Zement erreicht wird, spielt eine entscheidende Rolle für die Qualität und Verarbeitbarkeit des Betons. Die Gesteinskörnung, die mengenmäßig den größten Anteil am Beton ausmacht, ist ebenfalls entscheidend für die Qualität. Es können sowohl gebrochene als auch ungebrochene Körner verwendet werden, die aus natürlichen Mineralien oder industriellen Nebenprodukten bestehen können. Diese Körnung muss jedoch bestimmte Anforderungen an Festigkeit und Dauerhaftigkeit erfüllen, um die Qualität des Betons zu gewährleisten (vgl. Hanses, 2015: 9).

Im 20. Jahrhundert trug Beton erheblich zum Bau von Infrastruktur sowie Wohn- und Arbeitsräumen bei und prägte die Ästhetik vieler Gebäude. In den letzten Jahren hat sich die Diskussion um den Einsatz dieses Materials jedoch gewandelt. Es werden nicht mehr nur ästhetische Aspekte

oder die Funktionalität von Betonbauten betrachtet, sondern zunehmend auch globale Fragen der Nachhaltigkeit und der Energieeffizienz. Somit wird Beton nicht nur als Baustoff für den Bau von Gebäuden angesehen, sondern auch als ein wichtiger Faktor, der die Zukunft unserer gebauten Umwelt maßgeblich beeinflussen kann (vgl. Peck, 2013: 9-10).

Beton wird aufgrund seiner wirtschaftlichen Vorteile und seiner breiten Verfügbarkeit geschätzt. Die Vielseitigkeit des Betons zeigt sich in der Errichtung verschiedenster Bauwerkstypen, von Straßen über Tunnel bis hin zu Hochhäusern. Seine Anpassungsfähigkeit und Langlebigkeit machen ihn nach wie vor zu einem unverzichtbaren Baustoff in der modernen Bauindustrie (vgl. König/Tue, 2003: 1). Gleichzeitig stellt sich jedoch die Herausforderung, den Betonbau so zu gestalten, dass er den Anforderungen der Nachhaltigkeit und der Ressourcenschonung gerecht wird. Für die Produktion von einer Tonne Zementklinker werden etwa 1000 kWh Energie benötigt, was erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt hat. Deshalb ist es umso wichtiger, dass Beton sparsam und effizient verwendet wird. Dies bedeutet, dass Architekten, Planer und Bauherren eine Verantwortung tragen, Beton nur dort einzusetzen, wo es notwendig und sinnvoll



Abb.3.1.1

ist, um die Auswirkungen auf die Umwelt zu minimieren und gleichzeitig Bauwerke zu schaffen, die über Generationen hinweg Bestand haben (vgl. Peck, 2013: 9-10).

3.2 VERWENDUNG VON STAHLBETON IN BAUKONSTRUKTIONEN AUS FERTIGTEILEN

Stahlbeton-Fertigteile sind in der modernen Bauindustrie weit verbreitet und kombinieren die Druckfestigkeit von Beton mit der Zugfestigkeit von Stahl, was zu robusten Konstruktionen führt. Die Fertigung in Fabriken gewährleistet eine höhere Bauqualität, während die schnelle Montage vor Ort die Bauzeiten verkürzt. Die Hauptgründe für den Einsatz von Fertigteilen sind die Kosteneinsparungen und die Effizienzsteigerung durch standardisierte Produktionsprozesse.

Die Vorfertigung von Stahlbetonbauteilen begann um 1900 und erlebte im Laufe des 20. Jahrhunderts eine stetige Weiterentwicklung, unterstützt durch die wachsende Nachfrage nach kostengünstigen und schnell errichteten Bauwerken. In den 1960er Jahren führte der wachsende Wohlstand zu einer erhöhten Nachfrage nach komfortablen Wohnräumen, was die industrielle Fertigung weiter ankurbelte. Trotz wirtschaftlicher Herausforderungen in den 1970er Jahren kam es in den 1980er Jahren zu einem erneuten Aufschwung. Hohe Lohnkosten und Facharbeitermangel zwangen die Fertigteilewerke, stärker auf mechanisierte und automatisierte Fertigungsmethoden umzusteigen, was die Effizienz weiter steigerte (vgl. Bachmann et al. 2010: 7).

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Fertigteilebauweise ist die Rationalisierung, die zu erheblichen Kosteneinsparungen führt. Die industrielle Fertigung ermöglichte eine erhöhte Produktivität und Qualität der Bauteile, insbesondere bei der Herstellung von Betonwaren und großformatigen Elementen wie Wänden und Deckenplatten (vgl. Bindseil 1991: 1-3).

In Syrien und der Region Levante wurde Beton vorwiegend als Ortbeton

genutzt. Der Einsatz von Fertigbetonteilen blieb aus, da es keine Probleme mit der Verfügbarkeit qualifizierter Arbeitskräfte gab und keine besondere Dringlichkeit für schnelle Bauprojekte bestand. Im Industriebau dominierte der Stahlbau, während Bildungsbauten in Stahlbetonskelettbauweise errichtet wurden (siehe Abb.3.2.2).

Die Fertigteilebauweise hat sich weltweit in der Bauindustrie fest etabliert, insbesondere in Ländern mit einer starken Wirtschaftslage. Aufgrund ihrer Effizienz und Umweltfreundlichkeit bleibt sie eine zentrale Methode, insbesondere im Hinblick auf die schnellere Erfüllung von Bauanforderungen. Diese Bauweise ermöglicht es, Projekte zügig abzuschließen, was beson-



Abb.3.2.1



Abb.3.2.2

Abb.3.2.1
Betonfertigteile.
Abb.3.2.2
Stahlbeton.

ders in ökonomisch fortgeschrittenen Ländern wichtig ist, wo der Bedarf an schnellem und kostengünstigem Bauen wächst. Durch standardisierte Produktionsprozesse und die Wiederverwendung von Bauelementen trägt die Fertigteilbauweise zudem zur Ressourcenschonung bei.

Darüber hinaus bietet vorgefertigter Beton nicht nur praktische Vorteile, sondern auch die Möglichkeit, visionäre Designs umzusetzen. Diese Technik ermöglicht es Architekten, kreative und innovative Bauwerke zu schaffen, die sowohl ästhetisch ansprechend als auch funktional sind. Die Präzision und Vielseitigkeit von vorgefertigtem Beton machen ihn zu einem unverzichtbaren Material in der modernen Architektur, das es ermöglicht, neue Maßstäbe in der Gestaltung und Konstruktion zu setzen.

Beispiele für den Einsatz von vorgefertigtem Beton

Beispiel 1: Sydney Opera House Australien

Die ikonische Dachstruktur dieses berühmten Gebäudes besteht aus 2.200 vorgefertigten Betonabschnitten, die von strukturellen Betonrippen getragen werden. Ohne den Einsatz von vorgefertigtem Beton wäre dieses komplexe Bauwerk kaum realisierbar gewesen (siehe Abb.3.2.3).

Beispiel 2: Jubilee Church Rom, Italien

Diese Kirche zeichnet sich durch ihre drei markanten, gebogenen Betonwände aus, die wie Segel aussehen. Der vorgefertigte Beton half nicht nur, diese präzise Form zu verwirklichen, sondern sorgt auch für Energieeffizienz durch Temperaturregulierung (siehe Abb.3.2.4).

Beispiel 3: Diego Portales Universität Chile

Dieses Gebäude nutzt vorgefertigte Betonmodule, um eine einzigartige Architektur zu schaffen, die sich in die umgebende Natur einfügt. Durchdachte Fensteröffnungen und Dachgärten tragen zur Energieeffizienz bei



Abb.3.2.3



Abb.3.2.4



Abb.3.2.5

Abb.3.2.3
Sydney Opera House Australien.

Abb.3.2.4
Jubilee Church Rom, Italien.

Abb.3.2.5
Diego Portales Universität Chile.

(siehe Abb.3.2.5).

Beispiel 4: Villa Saitan Japan

Eine Wohnanlage, die eher wie eine Kunstgalerie wirkt, mit Betonwänden, die Bäume und Blätter nachahmen. Die komplexen, geschwungenen Betonpaneele wurden durch präzise Vorfertigung realisiert.

Diese Beispiele verdeutlichen, wie vorgefertigter Beton sowohl ästhetische als auch praktische Vorteile bietet und in einigen der berühmtesten Bauwerke weltweit eingesetzt wird (vgl. Tindall Corporation 2024).



Abb.3.2.6

3.3 BETON ALS NACHHALTIGES BAUMATERIAL – HERSTELLUNG, WIEDERVERWENDUNG, WIEDERVERWERTUNG

Beton ist aufgrund seiner statischen Eigenschaften, seiner plastischen Formbarkeit und seiner brandschutztechnischen Vorteile ein unverzichtbarer Hochleistungsbaustoff. Besonders in Ländern des globalen Südens, in China und in den Golfstaaten bleibt die Nachfrage nach Beton weiterhin hoch, was ihn dort zur bevorzugten Wahl in der Bauindustrie macht. Gleichzeitig wird die Herstellung von Beton, insbesondere die Produktion

von Zement, zunehmend kritisch betrachtet. Zement, als Hauptbestandteil von Beton, ist sehr energieintensiv und verursacht erhebliche CO₂-Emissionen, was im Widerspruch zu den Zielen der Nachhaltigkeit steht.

Vor diesem Hintergrund wird intensiv daran gearbeitet, die Nutzung von Beton nachhaltiger zu gestalten. Dies umfasst sowohl die Entwicklung alternativer Baustoffe als auch die Optimierung der Prozesse rund um Beton selbst. Ein zentraler Ansatz ist dabei die Wiederverwendung und das Recycling von Betonbauteilen. Je länger ein Baustoff im Einsatz bleibt, desto nachhaltiger ist er. Wenn Beton nach seiner ersten Nutzungsphase in neuen Bauprojekten wiederverwendet wird, verlängert sich die Lebensdauer des Materials erheblich. Am Ende seines Lebenszyklus sollte Beton idealerweise recycelt oder zumindest downgecycelt werden, um die Ressourcenschonung zu fördern.

Recyclingpotenzial und Herausforderungen

In Deutschland, einem der führenden Länder im Baustoffrecycling, macht Beton über 40 % der verwendeten Baumaterialien aus, weshalb sein Recyclingpotenzial besonders bedeutend ist (vgl. Hillebrandt et al. 2018: 70). Eine der größten Herausforderungen beim Recycling von Beton ist die technologische Umsetzbarkeit. Innovative Verfahren wie die elektrodynamische Fragmentierung könnten helfen, Beton in seine Bestandteile Kies und Zementstein zu zerlegen. Rundkies könnte so zurückgewonnen werden, was die Materialeffizienz steigern würde. Allerdings ist eine großmaßstäbliche industrielle Umsetzung dieser Verfahren in naher Zukunft noch nicht absehbar (vgl. Hillebrandt et al. 2018: 70).

Der Anteil an Recycling-Gesteinskörnungen in neuen Betonen ist in Deutschland nach den Richtlinien des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) auf maximal 45 % begrenzt und wird bisher nur bei Betonen mit bestimmten Festigkeitsklassen eingesetzt. Zement und andere Zusätze sind derzeit kaum vollständig ersetzbar, was den Einsatz von Sekundärrohstoffen in neuen Betonbauteilen erschwert. In Deutschland werden zurzeit nur etwa 0,5 % des Betonbruchs zu Recycling-Gesteinskörnung

Abb.3.2.6
Villa Saitan Japan.

verarbeitet, während der EU-Durchschnitt bei etwa 6 % liegt. Untersuchungen zeigen, dass nur etwa 40 % der Gesteinskörnung aus Betonabbruch als Recyclingmaterial geeignet ist. Die restlichen 60 % werden oft in Downcyclingprozesse überführt, bei denen sie als Schüttgut für Trag- oder Frostschutzschichten verwendet werden. Aufgrund der hohen Transportkosten ist die Herstellung von Recyclingbeton nur dann wirtschaftlich, wenn sich die Sekundärrohstoffquelle in unmittelbarer Nähe zur Baustelle befindet, was On-site-Recycling ermöglicht. Unterschiede in Festigkeitsklassen, Gesteinskörnungen und den ursprünglichen Herstellungsbedingungen erschweren das Recycling von Beton zusätzlich (vgl. Hillebrandt et al. 2018: 70).

Vorfertigung in Syrien als Lösung

In Syrien gestaltet sich die Situation aufgrund der Kriegsschäden und der unzureichenden Infrastruktur viel schwieriger. Die großen anfallenden Bauschuttmassen aus Abrissen oder Konfliktgebieten werden oft einfach abtransportiert und deponiert, anstatt sie wiederzuverwenden. Der größte Teil dieser Bauschuttmassen besteht aus Betonbruch (siehe Abb.3.3.2).

Um diesen Herausforderungen in Syrien zu begegnen, gewinnt die Vorfertigung von Betonteilen zunehmend an Bedeutung. Vorgefertigte Betonteile, die so konzipiert sind, dass sie schnell montiert und demontiert werden



Abb.3.3.1
Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung.

Abb.3.3.1

können, ermöglichen eine einfachere Wiederverwendung. Die Herstellung in kontrollierten Umgebungen, wie etwa in Industriehallen, gewährleistet eine konsistente Qualität und erleichtert spätere Recyclingprozesse. Um den gesamten Prozess nachhaltiger zu gestalten, sollte die Fertigung regional erfolgen, um Transportwege zu minimieren und die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen. Zement wird beispielsweise regional im Süden Syriens, wie in der Badiat Alsham Fabrik nahe Damaskus, hergestellt. Laut einem Interview mit Herrn Lekhini, einem lokalen Architekten im Norden Syriens, wird in dieser Region Zement aus der Türkei importiert, da dies aufgrund der geografischen Nähe kosteneffizienter ist.

Die Technik und Ausstattung der Produktionshallen für die Fertigung von Betonteilen muss dabei nicht besonders umfangreich sein. Der Prozess umfasst ein durchdachtes Design, das statische und bauphysikalische Berechnungen berücksichtigt, sowie die Herstellung von Formen, die Positionierung der Bewehrung, das Mischen von Zement und Zuschlagstoffen und die anschließende Trocknung und Lagerung der Teile.

Potenzial von Betonbrechsanden

Betonbrechsande bieten großes Potenzial für das Betonrecycling, werden aber bisher kaum genutzt. Da sie hydratisierten Zement enthalten, stellen sie technische Herausforderungen dar. Durch innovative Aufbereitungsverfahren, die sich derzeit in Entwicklung befinden, könnte Betonbrechsand zukünftig als Ersatz für natürliche Sande und Portlandzement dienen und so die Umweltbelastung in der Betonherstellung reduzieren (vgl. Nolting et al. 2023: 10).

Beispiel für nachhaltiges Recycling

Ein Beispiel für einen nachhaltigen Wiederverwertungsprozess von Betonabbruchmaterial ist die Modernisierung der Mercedes-Benz Arena in Stuttgart. Hier wurde der Betonabbruch der alten Haupttribüne aufbereitet und für den Bau der neuen Anlage vor Ort wiederverwendet. Ein wesentlicher Vorteil war die nahegelegene Aufbereitungsanlage, wodurch

lange Transportwege vermieden werden konnten. Der LKW, der den Betonabbruch von der Baustelle zur Aufbereitungsanlage transportiert hat, nahm auf dem Rückweg die aufbereitete Gesteinskörnung mit und lieferte diese an ein Transportbetonwerk (vgl. Nolting et al., 2023: 41).

Mögliche Anwendung von Betonabfällen im Straßenbau

Angesichts der stark beschädigten Straßeninfrastruktur in Syrien könnten Betonabfälle aus alten Bausubstanzen sinnvoll im Straßenbau wiederverwendet werden. Autobahnen und Hauptstraßen könnten mit recyceltem Betonmaterial erneuert werden. Schon vor der syrischen Revolution war ein Großteil des Straßennetzes sanierungsbedürftig.



Abb.3.3.2



Abb.3.3.3

Abb.3.3.2
Zerstörte Häuser in Konfliktgebieten Syriens.
Abb.3.3.3
Abbrucharbeiten an der Mercedes-Benz Arena.

Zwischenfazit

Beton ist und bleibt ein unverzichtbarer Baustoff in der Bauindustrie, sowohl in der traditionellen als auch in der modernen Architektur. Seine Vielseitigkeit, Langlebigkeit und Anpassungsfähigkeit haben ihn zu einem Eckpfeiler des Bauens gemacht, von imposanten Bauwerken wie dem Pantheon in der Antike bis hin zu innovativen und visionären Projekten wie dem Sydney Opera House oder der Jubilee Church. Gleichzeitig steht die Betonindustrie vor erheblichen Herausforderungen, insbesondere in Bezug auf Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit.

Die Herstellung von Beton, insbesondere von Zement, ist energieintensiv und verursacht hohe CO₂-Emissionen. Um den globalen Herausforderungen des Klimawandels und der Ressourcenschonung gerecht zu werden, müssen sowohl die Produktion als auch der Einsatz von Beton nachhaltiger gestaltet werden. Recycling und Wiederverwendung von Betonbauteilen bieten vielversprechende Ansätze, um die Lebensdauer des Materials zu verlängern und den Ressourcenverbrauch zu minimieren. Innovative Techniken wie die elektrodynamische Fragmentierung könnten zukünftig das Recyclingpotenzial von Beton erheblich steigern.

In Syrien und anderen Konfliktgebieten steht der Wiederaufbau vor besonderen Herausforderungen. Die Vorfertigung von Betonteilen könnte eine effiziente und nachhaltige Lösung bieten, indem sie den Wiederaufbau erleichtert und gleichzeitig die Wiederverwendung von Baumaterialien fördert. Auch die Wiederverwertung von Betonabfällen im Straßenbau stellt eine sinnvolle Nutzung von Ressourcen dar, die dazu beitragen kann, die Infrastruktur in zerstörten Regionen wiederherzustellen.

Die Zukunft des Bauens mit Beton wird davon abhängen, wie gut es gelingt, innovative Lösungen für die Nachhaltigkeit zu entwickeln und gleichzeitig die bewährten Vorteile dieses Baustoffs zu nutzen. Durch eine Kombination aus modernen Technologien, Recyclingstrategien und einer bewussten Materialauswahl kann Beton auch weiterhin eine zentrale Rolle in der Bauindustrie spielen, ohne die Umwelt übermäßig zu belasten.

3.4 LEHMBAU – ERFINDUNG, ENTWICKLUNG UND EIGENSCHAFTEN

Die frühen Menschen dachten darüber nach, Wohnformen und Baumaterialien zu entwickeln, die den ihnen zur Verfügung stehenden Gegebenheiten entsprachen. Dies umfasste die klimatischen Bedingungen wie Wind, Regen, Hitze und Kälte sowie die verfügbaren Rohstoffe, Werkzeuge und die damals erfundenen oder entdeckten Techniken. Vor Tausenden von Jahren, insbesondere in heißen und relativ trockenen Regionen, begann der Mensch, Erde und Boden zur Errichtung von Unterkünften zu verwenden, die aus Wänden und einem Dach bestanden, um ihn im Sommer vor der Sonne und Hitze und im Winter vor Regen und Kälte zu schützen. Der Mensch erfand den Lehm, indem er Boden mit Wasser vermischte, um ein formbares Material zu schaffen, das sich anfangs leicht verarbeiten ließ und nach dem Trocknen hart und stabil wurde. Auf ähnliche Weise fertigte der Mensch in der Vergangenheit auch Haushaltsgegenstände wie Gefäße und Krüge für die Lagerung an. Es ist nicht genau bekannt, wann der Mensch Lehm zur Errichtung von Hauswänden verwendete, doch es gibt einige alte Überreste von Gebäuden, die vor Tausenden von Jahren aus Lehm errichtet wurden.

Uralte Beispiele

Zu den ältesten entdeckten Häusern, die aus Lehm gebaut wurden, gehören diejenigen in Palästina oder in Anatolien, Türkei, die auf ein Alter von 8000 Jahren geschätzt werden. Auch in China gibt es archäologische Funde von Lehmbauten, die mehrere Tausend Jahre alt sind (Abb.3.4.4/5). Ein berühmtes Beispiel für die Nutzung von Lehm als Baumaterial in China ist die Chinesische Mauer, die damals 50.000 Kilometer lang war. Dieses Bauwerk ist das größte bekannte Bauwerk, das der Mensch je errichtet hat, und besteht hauptsächlich aus Lehm sowie anderen je nach Region verfügbaren Materialien wie Holz und Steinen (siehe Abb.3.4.6). Später wurde die Mauer außen mit Steinen verkleidet. Das Alter der Mauer wird auf über 2000 Jahre geschätzt. Auch in Ägypten war die Verwendung von Lehm bekannt. Durch Zufall wurde beobachtet, dass der Nil, wenn er über



Abb.3.4.1



Abb.3.4.2

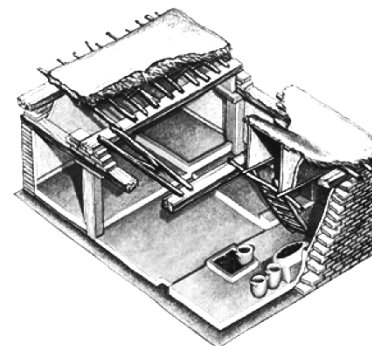


Abb.3.4.3

Abb.3.4.1
Konstruktionen aus Lehmsteinen: Jericho, Palästina
ca. 6000 v. u. Z.

Abb.3.4.2
Archäologische Grabungsstätte Çatal Höyük,
Anatolien/Türkei, ca. 6000 v.u. Z.

Abb.3.4.3
Modellskizze eines Lehmsteinhauses aus Çatal
Höyük, Anatolien, Türkei, ca. 6000 v.d.Z.



Abb.3.4.4



Abb.3.4.5



Abb.3.4.7

Abb.3.4.4
Lehmstampfbau im Alten China, Shang-Dynastie, ca. 1320 v. u. Z.

Abb.3.4.5
Herstellung von Lehmsteinen im Alten China zur Zeit der Ming-Dynastie.

Abb.3.4.6
Chinesische Mauer.

Abb.3.4.7
Herstellung von Lehmsteinen im Alten Ägypten, ca. 1500 v. u. Z.; Darstellung im Grabmal des Großwesirs Rechmire, Theben-West.

Abb.3.4.8
Lehmsteingewölbe nahe Luxor/Ägypten, ca.1300 v. u. Z.



Abb.3.4.6



Abb.3.4.8

die Ufer trat, Lehm aus benachbarten Ländern wie Äthiopien mitbrachte. Wenn das Wasser in sein natürliches Gerinne zurückkehrte, blieb der Lehm zurück, trocknete in der Sonne und verhärtete sich. Dieser Lehm konnte bei erneuter Befeuchtung leicht geformt werden. Diese Erfahrung war die Grundlage für die Erfindung des ungebrannten Ziegels oder luftgetrockneten Lehms, der später mit Sand und pflanzlichen Fasern vermischt wurde, um ihm zusätzliche Festigkeit zu verleihen (siehe Abb.3.4.7). In den Pyramiden Ägyptens wurden ebenfalls Zeichnungen und Wandbilder gefunden, die den Herstellungsprozess und die Verwendung von Lehmziegeln veranschaulichen. Darüber hinaus errichtete man im Lagerhaus des Pharaonengrabs von Ramses II das erste gewölbte Dach aus sonnentrockneten Lehmziegeln (siehe Abb.3.4.8) (vgl. Schroeder 2019: 2-6).

Die schlechte Wärmeleitfähigkeit von Lehm trug ebenfalls zur Verbreitung seiner Verwendung in heißen Regionen bei. Die alten Menschen erkannten diesen Effekt und bauten dicke Lehmwände, die dazu beitrugen, das Raumklima im Inneren des Hauses vor den hohen Außentemperaturen zu schützen.

Lehmbau kann aushalten

Die Techniken zur Verwendung von Lehm unterscheiden sich je nach Region und Gebiet. Einige Gießer formten das Lehmgemisch direkt zu einer Wand und ließen es an der Luft trocknen, während andere Lehmziegel in bestimmten Größen herstellten und sie in der Sonne trockneten, um sie später im Bau zu verwenden. Manche mischten den Lehm auch mit anderen Komponenten, um ihm zusätzliche Eigenschaften wie beispielsweise Festigkeit zu verleihen. Auch die Bauformen unterschieden sich von Ort zu Ort. Im Jemen erreichte der Lehmbau eine beeindruckende Weiterentwicklung, und ganze Städte wurden aus regionalem Lehm gebaut und kunstvoll gestaltet. Einige dieser Städte sind bis heute erhalten geblieben, wie etwa das Dorf Shibam, dessen aus Lehm errichtete Wohnhochhäuser aus dem 16. Jahrhundert stammen. Diese Stadt wird aufgrund der hohen Lehmbauten oft als „Manhattan der Wüste“ bezeichnet. Einige der Wohnhäuser in dieser kleinen Stadt sind bis zu 10 Stockwerke hoch und

immer noch bewohnt, was die Widerstandsfähigkeit von Lehm gegenüber klimatischen Einflüssen über lange Zeiträume sowie die Möglichkeit, hohe Gebäude zu errichten, unter Beweis stellt (siehe Abb.3.4.9) (vgl. UNESCO o. D.).

Kulturelle und soziale Bedeutung des Lehms

Der Lehm ist eng mit sozialen, kulturellen und ökologischen Gegebenheiten verbunden. Er ist das Produkt der Region, in der er entstanden und gewachsen ist, und war nicht dem Einfluss militärischer oder kultureller Kolonisierung unterworfen. Er wurde auch nicht von großen Baukonzernen gefördert, die mit allen Mitteln der Werbung und des Marketings versucht hätten, ihn als Symbol für Moderne und Fortschritt zu etablieren, wie es bei der Einführung von Zement und Beton in Ägypten oder im Nahen Osten vor und nach dem Zweiten Weltkrieg geschah. Lehm ist ein Material, das das Zuhause des Menschen zu einem lebendigen Ort werden lässt. Die Wände „atmen“ wie ein Organismus und reagieren auf Veränderungen der Luftfeuchtigkeit, ähnlich wie ein Lebewesen. Zudem benötigt Lehm regelmäßige Pflege: Tritt nach dem Winter etwa Rissbildung auf, ist eine einfache Instandhaltung notwendig, um das Material zu reparieren und langfristig zu erhalten.

Lehmbauweisen

Lehmbauweisen lassen sich in zwei Hauptgruppen einteilen: Massivbau- und Skelettbauweisen.

Massivbauweisen:

In dieser Bauweise dient Lehm als tragendes Baumaterial. Bei ausreichender Wandstärke und entsprechender Verarbeitung können damit auch mehrgeschossige Gebäude errichtet werden, wie in Nordafrika und dem Jemen. Zu den wichtigsten Techniken zählen der Lehmsteinbau, der Lehmstampfbau und der Wellerbau. Der Lehmsteinbau gehört zu den ältesten Bauweisen, bei der Lehmziegel luftgetrocknet und vermauert werden. Der Lehmstampfbau ist eine fortschrittliche Technik, bei der Wän-



de durch das Verdichten von Lehm zwischen Schalungen direkt errichtet werden. Diese Methode spart Zeit und hat sich weltweit etabliert (siehe Abb.3.4.10) (vgl. Volhard 2021: 12-13).

Skelettbauweisen:

Hier wird Lehm als nichttragendes Ausfachungsmaterial in einem Skelettbau verwendet, wobei das Tragwerk aus Holz oder einem anderen Material besteht. Diese Bauweise ist besonders in regenreichen und erdbebengefährdeten Regionen verbreitet, da das Dach den Lehm vor Witterungseinflüssen schützt und die Lasten auf stabile Stützen übertragen werden. Beispiele sind der Fachwerkbau in Europa und der traditionelle Holzbau in Japan. Historisch wurden Lehmwände häufig durch Flechtwerk oder Stroh verstärkt, um zusätzliche Stabilität zu gewährleisten (siehe Abb.3.4.11) (vgl. Volhard 2021: 14).

Lehmbau in Europa

Der Lehmbau hat eine lange Geschichte und war in vielen Kulturen und Epochen eine bedeutende Bautechnik. Bereits die alten Germanen bauten mit Lehm und Holz, während in Mitteleuropa Lehm im Neolithikum für Skelettwände mit Flechtwerk verwendet wurde. Auch Fachwerkbauten mit Lehmausfachungen prägten die Architektur bis in das 19. Jahrhundert. Lehmhäuser blieben jedoch oft auf bestimmte Regionen und Zeiträume beschränkt, vor allem in Zeiten von Materialknappheit und nach Kriegzeiten. Im 18. Jahrhundert erlebte der Lehmbau eine kurze Renaissance, insbesondere in Frankreich und Deutschland. Lehm galt als kostengünstige und feuerfeste Alternative zu Ziegeln und Holz, besonders angesichts der Holzknappheit und der hohen Kosten für Steinbauten. So förderte beispielsweise der preußische Staat den Lehmbau, um den Holzverbrauch zu reduzieren. Auch in Frankreich wurden zahlreiche Gebäude, von Dörfern bis zu Schlössern, in Lehmbauweise errichtet, insbesondere in der Rhône-Alpes-Region (siehe Abb.3.4.12) (vgl. Volhard 2021: 15-17). Im Laufe der Zeit führten wiederholte Hochwasser der Rhône zur Zerstörung vieler Lehmhäuser in der Stadt. Aufgrund des Überschwemmungsrisikos wurden ab dem 19. Jahrhundert die Lehmbauten in den tiefer gelegenen Stadt-

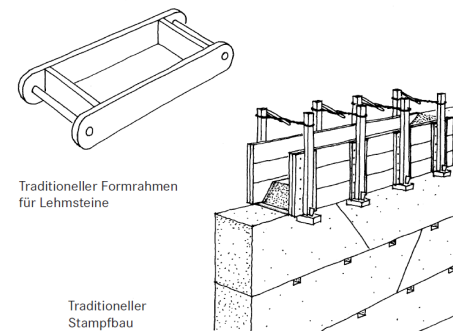


Abb.3.4.10



Abb.3.4.11



Abb.3.4.12

Abb. 3.4.9
Das Dorf Shibam in Jemen.

Abb. 3.4.10
Traditionelles Werkzeug für Stampf- und Steinbau.

Abb. 3.4.11
Geflecht mit Bewurf, Marburg.

Abb. 3.4.12
Stadtbild im Lyonnais, verputzte
Stampflehmhäuser.

vierteln abgerissen (vgl. Jeske/Clément Vergély Architectes (CVA) 2020).

Nach den beiden Weltkriegen wurde der Lehmbau in Deutschland als Notlösung wiederentdeckt. Aufgrund der Knappheit an industriellen Baumaterialien und Transportmöglichkeiten entstanden zahlreiche Lehmbauten, besonders in ländlichen Selbsthilfesiedlungen. In dieser Zeit wurden wissenschaftliche Untersuchungen und Regelwerke für den Lehmbau entwickelt, um die Technik zu standardisieren und zu verbessern. Doch mit dem wirtschaftlichen Aufschwung und der zunehmenden Industrialisierung der Bauwirtschaft geriet der Lehmbau in Deutschland erneut in Vergessenheit. Seit den 1970er Jahren, besonders nach der Energiekrise von 1973, wuchs das Interesse an umweltfreundlichen und energieeffizienten Baumaterialien wie Lehm wieder. In den 1980er Jahren begannen in Deutschland und anderen Ländern erste Initiativen zur Wiederbelebung des Lehmbaus, insbesondere im Bereich der Denkmalpflege und Fachwerksanierung (siehe Abb.3.4.13). Lehm wurde zunehmend als nachhaltiges Baumaterial geschätzt, und neue professionelle Lehmbauunternehmen entstanden. Es wurden vielfältige Lehm-Fertigprodukte entwickelt, und internationale Netzwerke zur Förderung des Lehmbaus bildeten sich, wie der Dachverband Lehm in Deutschland und AsTerre in Frankreich (vgl. Volhard 2021: 18-30).

Eigenschaften und Besonderheiten von Lehm

Lehmbaumstoffe zeichnen sich durch eine Vielzahl von Eigenschaften aus, die sie in unterschiedlichen Bereichen zu einem attraktiven Baumaterial machen. Ihre Rohdichte variiert je nach Mischung und Verarbeitung, von 300 kg/m³ für Leichtlehm-mischungen bis hin zu 2400 kg/m³ für Stampflehme, die somit an die Dichte von Beton heranreichen. Die Porosität von Lehmbaumstoffen liegt im Bereich anderer poröser Massivbaumstoffe, und der pH-Wert ist in der Regel neutral. Lehmbaumstoffe weisen eine stärkere Trockenschwindung auf, was sie von anderen Baumstoffen wie Beton unterscheidet. Die Druckfestigkeit variiert ebenfalls stark: Bei Wellerlehm liegt sie bei 0,6-1,5 N/mm² und bei Stampflehm bei 2-4 N/mm². Lehm als Putzmaterial zeigt jedoch ähnliche Festigkeitswerte wie andere gebräuchliche

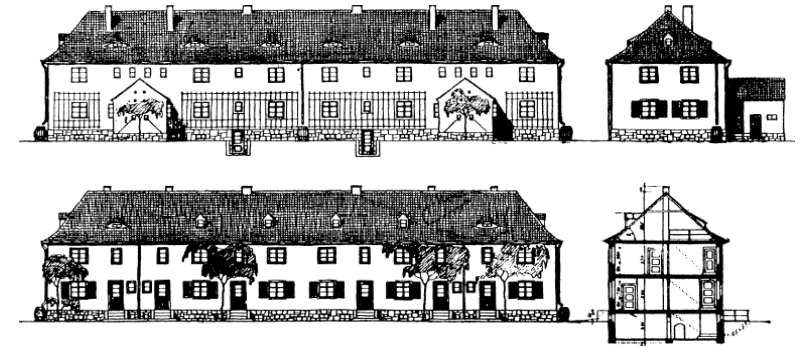


Abb.3.4.13

EIGENSCHAFTEN	EINHEIT	VON	BIS
ROHDICHTE	Kg/m ³	300	2400
DRUCKFESTIGKEIT	N/mm ²	0,6	12,0
HAFTFESTIGKEIT	N/mm ²	0,03	0,25
WÄRMELEITFÄHIGKEIT	W/mK	>0,1	1,4
WÄRMEKAPAZITÄT	J/kgK		1770
WASSERDAMPFDIFFUSIONSWIDERSTANDSZAHL	μ		5/10
WASSERAUFNAHMEKOEFFIZIENT	Kg/m ² h0,5	1,2	13,4

Tabelle 3.4.1

Abb. 3.4.13
Heimstättengenossenschaft: Sechsfamilien-Siedlungswohnhaus, Lehmstampfbau Dresden 1919/20.

Tabelle 3.4.1
Bandbreite mechanischer, bauphysikalischer und biologischer Eigenschaften von Lehmbaumstoffen.

Putzmörtel. Die Wärmeleitfähigkeit von Lehmstoffen ist moderat und nähert sich der Obergrenze herkömmlicher Dämmstoffe an, auch wenn Lehm kein klassischer Dämmstoff ist. Die Wärmekapazität ist vergleichbar mit der von anorganischen Baustoffen (siehe Tabelle 3.4.1) (vgl. Röhlen/Ziegert 2020: 38-41).

Ein weiteres Merkmal von Lehm ist seine hohe Diffusionsoffenheit, die ihm eine hervorragende Feuchtigkeitsregulierung ermöglicht. Darüber hinaus verfügt Lehm über eine hohe Wasseraufnahmekapazität sowie eine außergewöhnliche Feuchtesorptionsfähigkeit, vergleichbar mit unbehandeltem Holz. Lehmstoffe sind außerdem nicht brennbar und setzen kaum Schadstoffe frei. Ihre natürliche Radioaktivität ist niedrig und entspricht etwa der von anderen mineralischen Baustoffen. Umweltfreundlichkeit ist ein herausragendes Merkmal von Lehmstoffen, insbesondere wegen ihres geringen Energieverbrauchs und ihrer Wiederverwendbarkeit. Studien zeigen, dass Lehmstoffe deutlich weniger CO₂-Emissionen verursachen als andere Putzmörtel, und ihre Wiederverwertbarkeit macht sie in Zeiten knapper werdender Rohstoffe besonders ökologisch wertvoll (vgl. Röhlen/Ziegert 2020: 41-48).

Lehmbau aus heutiger Sicht

Heute ist der Lehmbau wieder ein fester Bestandteil der nachhaltigen Architektur, unterstützt durch moderne Techniken und Normen. Zahlreiche internationale Projekte und Bildungsprogramme, insbesondere in Ländern wie Frankreich, den USA und Australien, haben den Lehmbau weiter professionalisiert und zu einer Renaissance dieser traditionellen Bauweise geführt. Seit der Energiekrise von 1973 ist klar geworden, wie stark moderne Gesellschaften von fossilen Energieträgern abhängig sind. Dieses Erkenntnis hat zu einem verstärkten Fokus auf nachhaltigere Bauweisen geführt, und Lehm als natürlicher Baustoff hat hierbei zunehmend an Bedeutung gewonnen. Lehm trocknet mithilfe von Sonnenenergie, ist leicht verfügbar und kann ohne großen Energieaufwand wiederverwendet werden, was ihn zu einem umweltschonenden Baustoff macht. Lehmstoffe bieten daher zahlreiche Vorteile: Sie sind kostengünstig in der Herstellung und eignen

sich besonders für Selbstbauprojekte. Immer mehr Bauunternehmen und Hersteller von Baumaterialien erkennen das Potenzial von Lehm und entwickeln Techniken zur professionellen Nutzung in größeren Bauprojekten. Dennoch gibt es auch Einschränkungen: Im Vergleich zu Beton, der eine Druckfestigkeit von 30 - 45 N/mm² erreicht, weist Lehm eine geringere Festigkeit auf, was seine Einsatzmöglichkeiten bei tragenden Konstruktionen einschränkt. Zusätzlich kann die längere Trocknungszeit die Bauphase verlängern, besonders in Regionen mit hoher Luftfeuchtigkeit. In regenreichen Gebieten müssen die Arbeiten beim Stampflehmbau unterbrochen und die Wände abgedeckt werden, was den Bauprozess verlangsamt (vgl. Volhard 2021: 31-32).

In Europa stellt Lehm eine sinnvolle Alternative zu herkömmlichen Baustoffen dar, vor allem im Holzskelettbau, im Wohnungsbau, bei der Sanierung historischer Gebäude sowie für öffentliche Einrichtungen wie Kindergärten und Schulen. Trotz technischer Herausforderungen bleibt Lehm aufgrund seiner ökologischen Vorteile und der nachgewiesenen Langlebigkeit eine bewährte Lösung im modernen Bauwesen (vgl. Volhard 2021: 33).

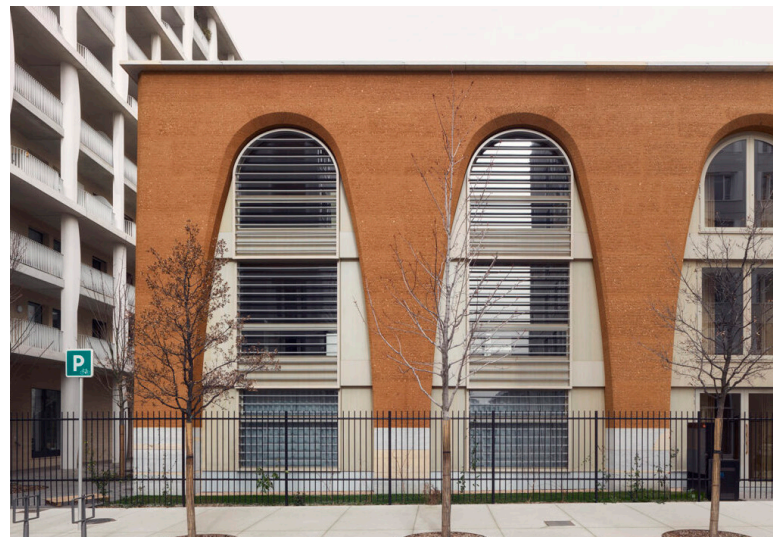


Abb.3.4.14

Abb. 3.4.14
L'ORANGERIE – Eine neue Generation von
Lehmbauten in Lyon, France.

Besonders in heißen und trockenen Gebieten zeigt sich die Lehmbauweise als ideal. In diesen Regionen bietet Lehm eine Vielzahl an Vorteilen, sowohl in ökologischer als auch in ökonomischer und sozialer Hinsicht. Diese Bauweise passt sich optimal an die klimatischen Gegebenheiten an und unterstützt nachhaltige Baukonzepte.

3.5 LEHMBAU IN NORDSYRIENS REGIONEN

Der Lehmbau hat in Syrien eine lange Tradition, die bis in die Zeit der antiken Zivilisationen zurückreicht. Seit Tausenden von Jahren nutzen die Menschen in dieser Region die natürlichen Ressourcen ihrer Umgebung, um robuste und klimafreundliche Bauten zu errichten. Besonders Lehm, ein vielseitiger und leicht verfügbarer Baustoff, spielte eine zentrale Rolle in der Entwicklung der Architektur Syriens. Die Verwendung von Lehm als Baumaterial lässt sich in zahlreichen archäologischen Funden nachweisen, die nicht nur die praktische Anwendung, sondern auch die kulturelle Bedeutung des Lehmbaus verdeutlichen. Vom alten Mesopotamien bis zu den heutigen Konfliktgebieten hat der Lehmbau in Syrien eine beständige Präsenz bewahrt.

Beispiel 1: Archäologische Forschung am Tell Schech

Ein bemerkenswertes Beispiel für den antiken Lehmbau in Syrien ist die archäologische Stätte Tell Schech im Nordosten des Landes. Die Biografie des dort entdeckten Gebäudes erstreckt sich von etwa 630 bis 540 v. Chr., was es zeitgleich mit dem legendären Turm zu Babel macht. Das Gebäude hat eine beeindruckende Grundfläche von 5400 Quadratmetern, verteilt auf 85 Räume in drei Gebäudeflügeln. Ungebrannte, luftgetrocknete Lehmziegel bildeten das zentrale Baumaterial – genau wie beim Turm zu Babel. Diese Bauweise zeigt die bedeutende Rolle von Lehm in der Architektur des alten Mesopotamiens und betont die Fähigkeit der damaligen Gesellschaften, große und komplexe Strukturen aus einfachen Materialien zu errichten. Die fortlaufenden Forschungen an diesem Ort geben tiefe Einblicke in die Bauweisen und die soziale Organisation der antiken Zivilisationen Syriens (siehe Abb.3.5.1) (vgl. Kühne 2017).



Abb.3.5.1



Abb.3.5.2



Abb.3.5.3

Abb.3.5.1
Archäologische Forschung am Tell Schech, Syrien.

Abb.3.5.2
Habuba al-Kabira, Syrien.

Abb.3.5.3
Tell Hilal, Syrien.

Beispiel 2: Habuba al-Kabira

Ein weiteres bedeutendes Beispiel für den Lehm- und Strohbau in der Geschichte Syriens ist die Siedlung Habuba al-Kabira, die am rechten Ufer des Euphrat liegt. Diese Stadt wurde Mitte des 4. Jahrtausends v. Chr. errichtet und zeigt eine bemerkenswerte Planung und Baukunst. Die massive Stadtmauer, die aus Lehmziegeln gebaut wurde, war drei Meter breit und mit rechteckigen Türmen verstärkt. Diese Befestigungsanlagen, kombiniert mit einem durchdachten Straßennetz und einem Entwässerungssystem, zeigen das hohe Niveau der Stadtplanung und Baukunst in dieser Zeit. Besonders beeindruckend ist die Verwendung von Lehmziegeln in der gesamten Architektur der Stadt, von den Befestigungen bis hin zu den Wohnhäusern, was die vielseitige Verwendbarkeit von Lehm als Baumaterial unterstreicht (siehe Abb.3.5.2) (vgl. Diab et al. 2015: 57-61).

Beispiel 3: Tell Hilal

Ein weiteres herausragendes Beispiel für die antike Lehmarchitektur in Syrien ist die Stätte Tell Hilal, die im 3. Jahrtausend v. Chr. besiedelt war. Die archäologischen Ausgrabungen zeigten, dass Lehm das primäre Baumaterial war, sowohl für öffentliche Gebäude als auch für Wohnhäuser. Die Stadtmauern, ebenfalls aus Lehmziegeln errichtet, umfassten eine Fläche von 25 Hektar. Diese Siedlung diente als wichtige Handels- und Verwaltungsstadt im nördlichen Mesopotamien. Die Verwendung von Lehmziegeln in so großem Umfang deutet darauf hin, dass der Lehm in der Region nicht nur als Baumaterial, sondern auch als Symbol für soziale und wirtschaftliche Macht diente (siehe Abb.3.5.3) (vgl. Syrian Researchers 2019).

Beispiel 4: Lehmkuppeln in Manbij, Aleppo

In der Region um Manbij bei Aleppo sind die traditionellen Lehmkuppelbauten ein weiteres Beispiel für die fortdauernde Nutzung von Lehm in der Architektur Syriens. Diese Kuppelbauten, die oft in ländlichen Gegenden zu finden sind, bieten eine ausgezeichnete Isolation gegen die extremen Temperaturen der Region. Die Kuppeln werden aus lokalem Lehm

errichtet, der mit Wasser und Stroh vermischt wird. Diese Bauweise hat sich über Jahrhunderte hinweg bewährt und ist ein lebendiges Beispiel für die Anpassungsfähigkeit und Nachhaltigkeit der traditionellen syrischen Architektur (siehe Abb.3.5.4) (vgl. ANHA 2020).

Lehm- und Strohbau in der Gegenwart und während des Konflikts

Während des aktuellen Konflikts in Syrien hat der Lehm- und Strohbau eine neue Bedeutung erlangt, insbesondere für die vielen Familien in Nordsyrien, die vor dem Krieg geflohen sind und in provisorischen Stoffzelten leben mussten. In Ermangelung anderer Ressourcen haben die Menschen begonnen, auf traditionelle Lehm- und Strohbauweisen zurückzugreifen, um einfache, aber stabile Unterkünfte zu errichten (siehe Abb.3.5.5). Diese Lehm- und Strohbauten werden von den Menschen selbst, nicht von Bauunternehmen, errichtet. Der Lehm wird vor Ort hergestellt, häufig direkt aus der Erde, die in der Umgebung verfügbar ist. Sollte die Erde nicht geeignet sein, wird sie aus der näheren Umgebung herangeholt (vgl. Baladi News 2019)

Die Bauweise, die derzeit angewendet wird, ist eine massive Lehm- und Strohbauweise mit Strohlehmziegeln. Diese Ziegel werden vor Ort gemischt, in Formen gegossen und einige Tage lang in der Sonne getrocknet (siehe Abb.3.5.6). Mit Hilfe von Familienmitgliedern und Freunden werden daraus Wohneinheiten mit ein oder zwei Räumen errichtet. Als Mörtel dient ebenfalls Lehmmörtel, und für das Dach werden regionale Baumstämme



Abb.3.5.4

Abb. 3.5.4
Lehmkuppeln in Manbij, Aleppo.

„Al-Hor Baum“ verwendet. Diese Baumstämme stammen oft von Euphrat-Pappeln, die in der Region verbreitet sind und in der Landwirtschaft häufig gepflanzt werden (siehe Abb.3.5.7) (vgl. Syria TV 2020).

Baukosten und Herausforderungen

Die Baukosten für eine kleine Wohneinheit von etwa 24 Quadratmetern belaufen sich auf rund 900 US-Dollar. Diese Summe deckt die Lehmwände, das Dach sowie den Innen- und Außenputz ab. Türen werden entweder aus Stahl oder Holz gefertigt, während einfache Fenster mit Einfachverglasung für Licht im Inneren sorgen. Einige Familien haben ihre Innenwände mit weißer Farbe gestrichen, die sie aus zermahlenem „Huwwar“-Stein und Wasser hergestellt haben, um eine helle und angenehme Atmosphäre zu schaffen. Ein neues Kunststoffzelt kostet dagegen in der Regel etwa 1.000 US-Dollar (vgl. Al Jazeera Mubasher 2017).

Die größten Herausforderungen beim Lehmbau während des Konflikts sind die begrenzten Ressourcen und die Notwendigkeit, mit einfachsten Mitteln stabile Unterkünfte zu schaffen. Trotz dieser Widrigkeiten hat sich der Lehmbau als kostengünstige und umweltfreundliche Lösung bewährt, die den Menschen in Nordsyrien in dieser schwierigen Zeit eine gewisse Stabilität bietet. Hervorzuheben ist, dass die Menschen diese Bauten als temporäre Behausungen errichteten, in der Hoffnung, dass der Krieg endet und sie in ihre Dörfer und Städte zurückkehren können. Viele leben jedoch seit über zehn Jahren unter diesen schwierigen Bedingungen und haben kaum noch Hoffnung auf eine Rückkehr. Sie versuchen mit allen möglichen Mitteln, die harten Umstände zu bewältigen. Ein wichtiger Schritt dabei ist es, ein festes Zuhause zu haben, das im Gegensatz zu den Zelten Schutz vor Hitze und Kälte sowie Privatsphäre und Sicherheit bietet.



Abb.3.5.5



Abb.3.5.6



Abb.3.5.7

Abb.3.5.5
Einfache handgefertigte Lehmbauten in Nordsyrien (Außen).

Abb.3.5.6
Strohlehmziegel.

Abb.3.5.7
Einfache handgefertigte Lehmbauten in Nordsyrien (Innen).

3.6 VERWENDUNG VON LEHM IN BAUKONSTRUKTIONEN AUS FERTIGTEILEN

In der Entwicklung des modernen Lehmbaus stellte sich die Frage, wie der Prozess der Herstellung von Stampflehmwänden beschleunigt werden kann, um die Bauzeit von Projekten zu verkürzen. Insbesondere bei großen Bauvorhaben wie Industriehallen oder Hochschulen wurde der Bedarf deutlich, die Stampflehmtechnik auf eine industrielle Ebene zu heben. Die Idee der Vorfertigung von Stampflehmwänden war eine Antwort auf diese Herausforderung. Martin Rauch, ein Pionier des ökologischen Bauens mit Lehm, nahm sich dieser Aufgabe an und entwickelte eine innovative Lösung, um die handwerkliche Stampflehmtechnik an die Anforderungen der industriellen Fertigung und Vorfertigung anzupassen. Er konzipierte eine spezielle Maschine – einen Roboter, der das Lehm-Material automatisch in die Schalung einbringt und mechanisch verdichtet. Dadurch können Schalungslängen von 50 bis 80 Metern und variable Schalungsstärken hergestellt werden. Nach dem Ausschalen werden die Stampflehmelemente auf die gewünschte Länge zugeschnitten, abhängig von der Transportfähigkeit und der Tragkraft der Kräne, die in der Regel bis zu fünf Tonnen betragen (siehe Abb.3.5.8). Diese neue Technik der Vorfertigung von Stampflehmwänden hat sich in mehreren Projekten bewährt und ermöglicht es, komplexe und groß dimensionierte Bauprojekte effizienter und schneller umzusetzen. Für seine bahnbrechenden Entwicklungen in diesem Bereich wurde Martin Rauch im Jahr 2021 mit dem Preis des neuen Europäischen Bauhauses ausgezeichnet (vgl. Kapfinger/Sauer 2022: 9).

3.7 LEHM ALS NACHHALTIGES BAUMATERIAL – HERSTELLUNG, WIEDERVERWENDUNG, WIEDERVERWERTUNG

Lehm ist ein wassergebundener Baustoff und dadurch wasserlöslich. Selbst nach Jahrzehnten kann Lehm ohne Wertverlust wiederverwendet oder in eine andere Form gebracht werden. Dieses Rückgewinnungspotential ist einzigartig und stellt ein Alleinstellungsmerkmal im Vergleich zu den meisten anderen Baustoffen dar. Aufgrund seiner

natürlichen Zusammensetzung ist Lehm umweltfreundlich und seine Entsorgung im Rahmen eines geschlossenen Kreislaufs möglich.

Entsorgung von Lehm

Lehm ist biologisch abbaubar und kann ohne Bedenken in den natürlichen Kreislauf zurückgeführt werden. Bei größeren Bauprojekten ist es jedoch sinnvoll, geeignete Entsorgungsmöglichkeiten zu prüfen, um Transportwege zu reduzieren und die Umweltbelastung zu minimieren. Die Entsorgung auf Deponien für mineralische Abfälle ist ebenfalls eine Option, wobei Lehm im Vergleich zu vielen anderen Baustoffen, wie Beton oder Ziegel, keine chemischen Zusätze enthält, was die Entsorgung umweltfreundlicher macht.

Recycling von Lehm

Lehm lässt sich hervorragend recyceln. Im Wesentlichen erfolgt das Recycling durch die Wiederaufbereitung des Materials. Alter Lehm wird zerkleinert, mit Wasser angemischt und kann für neue Bauvorhaben erneut verwendet werden. Dieser Prozess ist besonders energieeffizient, da keine aufwendige Produktion von Neumaterial erforderlich ist. Zudem kann Lehm vor Ort aufbereitet werden, was Transportkosten und CO₂-Emissionen reduziert.

Lehmprodukte wie Lehmputz können wiederaufbereitet und erneut in Bauprojekten verwendet werden. Die Untersuchung von Fiedler et al.



Abb.3.5.8

Abb.3.5.8
Vorgefertigter Stampflehmelement.

(o. D.) an der Bauhaus-Universität Weimar zeigt, dass Lehmputz durch Zerkleinern und Sieben in seine Bestandteile zerlegt und für neue Anwendungen nutzbar gemacht werden kann. Dabei bleibt die hohe Materialqualität erhalten, was eine Wiederverwendung in verschiedenen Bauprojekten ermöglicht.

Die Fähigkeit von Lehm, auch nach Jahrzehnten ohne Qualitätsverlust recycelt zu werden, ist ein entscheidender Vorteil gegenüber vielen anderen Baustoffen und unterstreicht seine Relevanz im nachhaltigen Bauen.



Abb.3.5.9
Lebenszyklusanalyse des Baustoffs Lehm.

Zwischenfazit

Lehmbau ist eine Jahrtausende alte Bauweise, die sich aufgrund ihrer Vielseitigkeit, Nachhaltigkeit und Anpassungsfähigkeit in verschiedenen Kulturen und Regionen bewährt hat. Von den antiken Zivilisationen Mesopotamiens über das mittelalterliche Europa bis hin zur modernen Architektur hat Lehm immer wieder seine Vorteile als Baumaterial gezeigt. Besonders in heißen und trockenen Klimazonen ist Lehm aufgrund seiner hervorragenden Wärmedämmung und Feuchtigkeitsregulierung ein ideales Baumaterial.

In der heutigen Zeit, in der Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung im Bauwesen zunehmend an Bedeutung gewinnen, erlebt der Lehmbau eine Renaissance. Lehm ist nicht nur ein umweltfreundlicher Baustoff, sondern auch vollständig recycelbar, was ihn zu einer idealen Wahl für das moderne, nachhaltige Bauen macht. Darüber hinaus bietet Lehm, durch seine Fähigkeit, immer wieder ohne Qualitätsverlust aufbereitet zu werden, einen enormen ökologischen Vorteil gegenüber vielen anderen Baumaterialien.

Die aktuellen Entwicklungen im Lehmbau, insbesondere in kriegsgebeutelten Regionen wie Nordsyrien, zeigen, dass Lehm auch in Zeiten von Ressourcenknappheit und schwierigen Umständen eine praktikable und kostengünstige Lösung bietet. Trotz der Herausforderungen, die durch den Konflikt und die begrenzte Verfügbarkeit von Baumaterialien entstehen, beweist der Lehmbau seine Widerstandsfähigkeit und Anpassungsfähigkeit.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Lehmbau durch seine Langlebigkeit, seine umweltfreundlichen Eigenschaften und seine kulturelle Bedeutung einen wertvollen Beitrag zur Zukunft des nachhaltigen Bauens leisten kann. Er bleibt eine wichtige Alternative zu konventionellen Baumaterialien und bietet Lösungen für eine umweltgerechte und ressourcenschonende Bauweise.

Abbildungsverzeichnis

Abb.3.1.1: Ortbeton.

Bodenplatte Fundamentbeton - einfache Bestellung | CEMEX Deutschland AG (o. D.): [online] <https://www.cemex.de/produkte/beton/ergoton>.

Abb.3.2.1: Betonfertigteil.

Betonfertigteile - Knecht Unternehmensgruppe (2024): [online] <https://www.knecht.de/de/betonfertigteile.html>.

Abb.3.2.2: Stahlbeton.

Leymann, Svenja (2023): Beton » Die richtige Körnung für die Bodenplatte, Hausjournal.net, [online] <https://www.hausjournal.net/beton-koernung-fuer-bodenplatte>.

Abb.3.2.3: Sydney Opera House Australien.

Abb.3.2.4: Jubilee Church Rom, Italien.

Tindall Corporation (2024): Precast concrete designs you should know about, Tindall Corporation, [online] <https://tindallcorp.com/precast-concrete-designs-you-should-know-about/>.

Abb.3.2.5: Diego Portales Universität Chile.

Contacto – Facultad de Administración y Economía UDP (o. D.): [online] <https://administracionyeconomia.udp.cl/contacto/>.

Abb.3.2.6: Villa Saitan Japan.

Designboom (2018): EASTERN design office carves nature influenced holes out of villa saitan in japan, Designboom | Architecture & Design Magazine, [online] <https://www.designboom.com/architecture/eastern-design-office-villa-saitan-kyoto-japan-08-28-2015/>.

Abb.3.3.1: Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung.

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2021a): Verwendung von Beton mit rezyklierter Gesteinskörnung, Infoblatt, [online] https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuvpubl/1_infob-

laetter/LANUV_Handout_Beton_neu.pdf.

Abb.3.3.2: Zerstörte Häuser in Konfliktgebieten Syriens.

picture-alliance/abaca/A. Al Bushy.

Knipp, Kersten (2019): Verbotene Waffen in Syrien im Einsatz, in: dw.com, 23.01.2019, [online] <https://www.dw.com/de/hrw-menschenrechtslage-in-syrien-verschlechtert/a-47185258>.

Abb.3.3.3: Abbrucharbeiten an der Mercedes-Benz Arena.

Anpiff zur Modernisierung der Mercedes-Benz Arena (o. D.): VfB Stuttgart, [online] <https://www.vfb.de/de/vfb/aktuell/neues/club/2022/anpiff-zur-modernisierung-der-mercedes-benz-arena/>.

Abb.3.4.1: Konstruktionen aus Lehmsteinen: Jericho, Palästina ca. 6000 v. u. Z.

Abb.3.4.2: Archäologische Grabungsstätte Çatal Höyük, Anatolien/Türkei, ca. 6000 v.u. Z.

Schroeder, Horst (2019): Lehmbau, Springer eBooks, [online] doi:10.1007/978-3-658-23121-7.

Abb.3.4.3: Modellskizze eines Lehmsteinhauses aus Çatal Höyük, Anatolien, Türkei, ca. 6000 v.d.Z.

Burenhult, Göran (o. D.): Die Menschen der Steinzeit : Jäger, Sammler und Frühe Bauern : illustrierte Geschichte der Menschheit, CiNii Research, [online] <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282271793627520>.

Abb.3.4.4: Lehmstampfbau im Alten China, Shang-Dynastie, ca. 1320 v. u. Z.

Abb.3.4.5: Herstellung von Lehmsteinen im Alten China zur Zeit der Ming-Dynastie.

Schroeder, Horst (2019): Lehmbau, Springer eBooks, [online] doi:10.1007/978-3-658-23121-7.

Abb.3.4.6: Chinesische Mauer.

Chinesische Mauer | Das eindrucksvollste Bauwerk (o. D.): SKR Reisen,

[online] <https://www.skr.de/china-reisen/sehenswuerdigkeiten/chinesische-mauer/>.

Abb.3.4.7: Herstellung von Lehmsteinen im Alten Ägypten, ca. 1500 v. u. Z.; Darstellung im Grabmal des Großwesirs Rehmire, Theben-West. Endruweit, Albrecht (1994): Städtischer Wohnbau in Ägypten: klimagerechte Lehmarchitektur in Amarna, [online] <https://ixtheo.de/Record/1621218112>.

Abb.3.4.8: Lehmsteingewölbe nahe Luxor/Ägypten, ca.1300 v. u. Z. Schroeder, Horst (2019): Lehm, Springer eBooks, [online] doi:10.1007/978-3-658-23121-7.

Abb. 3.4.9: Das Dorf Shibam in Jemen. Joe HaTTab (2024): تومرضح ضرأ - ديسال نيميل تلصو آرڤأو. YEMEN, [YouTube] <https://www.youtube.com/watch?v=l4VXcTvPsYk>.

Abb. 3.4.10: Traditionelles Werkzeug für Stampf- und Steinbau.

Abb. 3.4.11: Geflecht mit Bewurf, Marburg.

Abb. 3.4.12: Stadtbild im Lyonnais, verputzte Stampflehmhäuser.

Abb. 3.4.13: Heimstättengenossenschaft: Sechsfamilien-Siedlungswohnhaus, Lehmstampfbau Dresden 1919/20.

Volhard, Franz (2021): Bauen mit Leichtlehm, De Gruyter eBooks, [online] doi:10.1515/9783035624038.

Abb. 3.4.14: L'ORANGERIE – Eine neue Generation von Lehmbauten in Lyon, France.

Jeske, Stefan/Clément Vergély Architectes (CVA) (2020): L'ORANGERIE – Eine neue Generation von Lehmbauten in Lyon, LEHM, [online] https://www.dachverband-lehm.de/lehm2020_online/pdf/lehm2020_b_jeske-cva_de.pdf.

Abb.3.5.1: Archäologische Forschung am Tell Schech, Syrien.

Kühne, Hartmut (2017): Zum Erhalt assyrischer Lehmbauten in Tell Schech Hamad, Syrien, 2008 – 2010, [online] <https://www.fu-berlin.de/presse/publikationen/fundiert/2017-01/12-tell-schech/index.html>.

Abb.3.5.2: Habuba al-Kabira, Syrien.

Forster, Datalino - Christoph (o. D.): Deutsche Orient-Gesellschaft E.V. - publikationen, [online] <https://www.orient-gesellschaft.de/dog3.html>.

Abb.3.5.3: Tell Hilal, Syrien.

Syrian Researchers (2019): خيشلال ڤيرق ڤيروس ڤي ڤي نيطال ڤرامعلا لاله, www.syr-res.com, [online] <https://www.syr-res.com/article/20205.html>. Lehmarchitektur in Syrien, Dorf Sheikh Hilal.

Abb. 3.5.4: Lehmkuppeln in Manbij, Aleppo.

ANHA (2020): ڤل ڤفاحات لازت ال ڤن ڤي نيطال ببقلا, in: ANHA, 25.05.2020, [online] <https://hawarnews.com/ar/159047196034296>. Lehmkuppeln in Manbij

Abb.3.5.5: Einfache handgefertigte Lehmbauten in Nordsyrien (Außen).

مه لزانم نم دسأل مه مرح.. نيطال تاميخم - Orient (2022): زوين نيطال او نبف, [YouTube] <https://www.youtube.com/watch?v=pQ5fdji5UCw>.

Abb.3.5.6: Strohlehmziegeln.

Baladi News (2019): ڤه اولل دوعت (بوطلا) ڤي نيطال نبلل ڤانص ڤرح, [Youtube] https://www.youtube.com/watch?v=4uXvIYbWJGo&ab_channel=%D8%A8%D9%84%D8%AF%D9%8A%D9%86%D9%8A%D9%88%D8%B2-%D9%85%D9%8A%D8%AF%D9%8A%D8%A7. Das Handwerk der Herstellung von Lehmziegeln kehrt zurück, nachdem es aufgrund der steigenden Baukosten in Nordsyrien nahezu verschwunden war.

Abb.3.5.7: Einfache handgefertigte Lehmbauten in Nordsyrien (Innen).

Al Jazeera Mubasher (2017): رشابم ڤريزل ڤانق, [YouTube] https://www.youtube.com/watch?v=st_R_wkXh44. Architekten im ländlichen Idlib arbeiten am Bau von Lehm-Dörfern, um Unterkünfte für Waisenkinder bereitzustellen.

Abb.3.5.8: Vorgefertigter Stampflehmelement.

Stampflehmwand | Lehm Ton Erde, Martin Rauch, Vorarlberg (o. D.): [online] <https://www.lehmtonerde.at/de/produkte/produkt.php?alD=6>.

Abb.3.5.9: Lebenszyklusanalyse des Baustoffs Lehm.

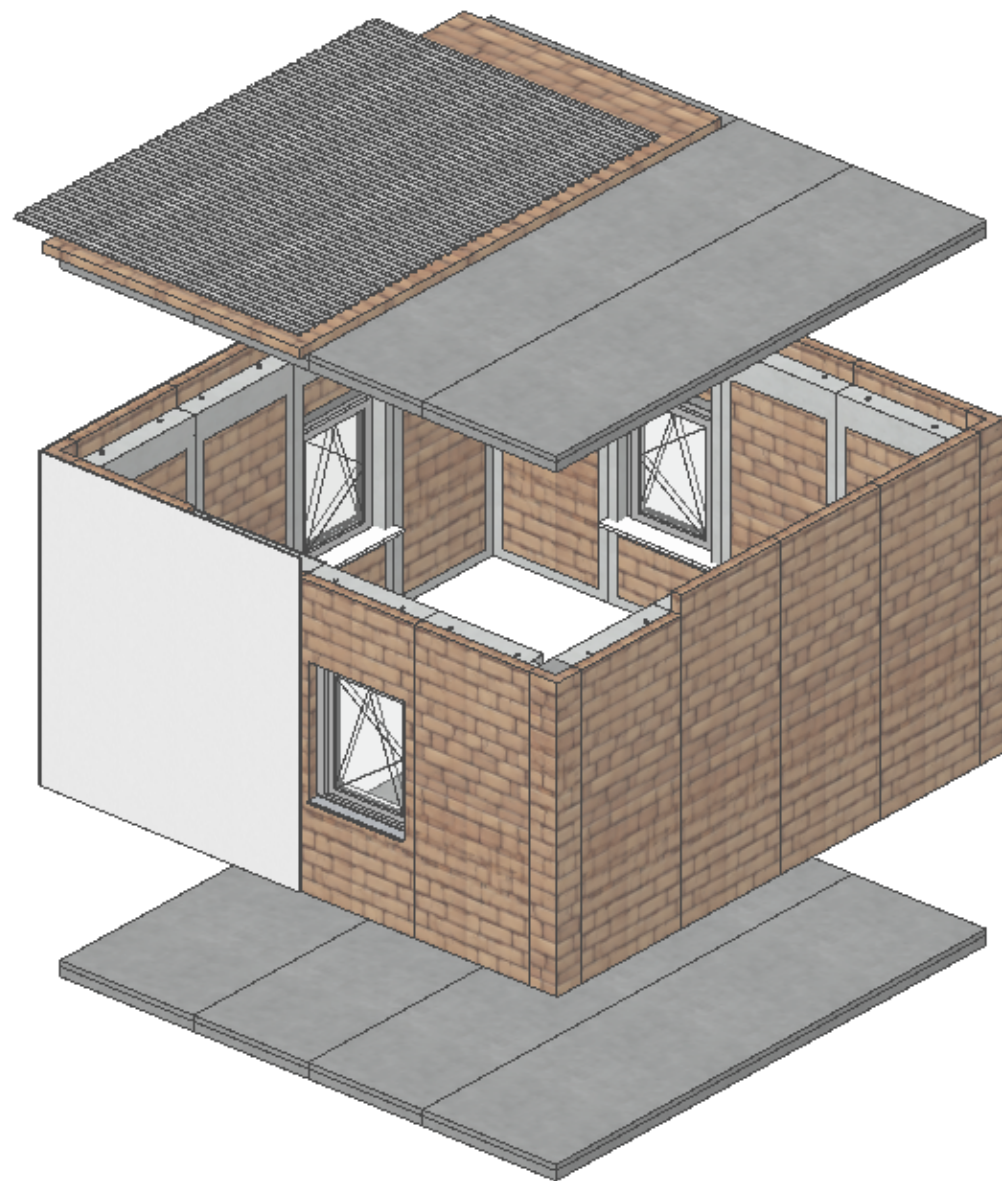
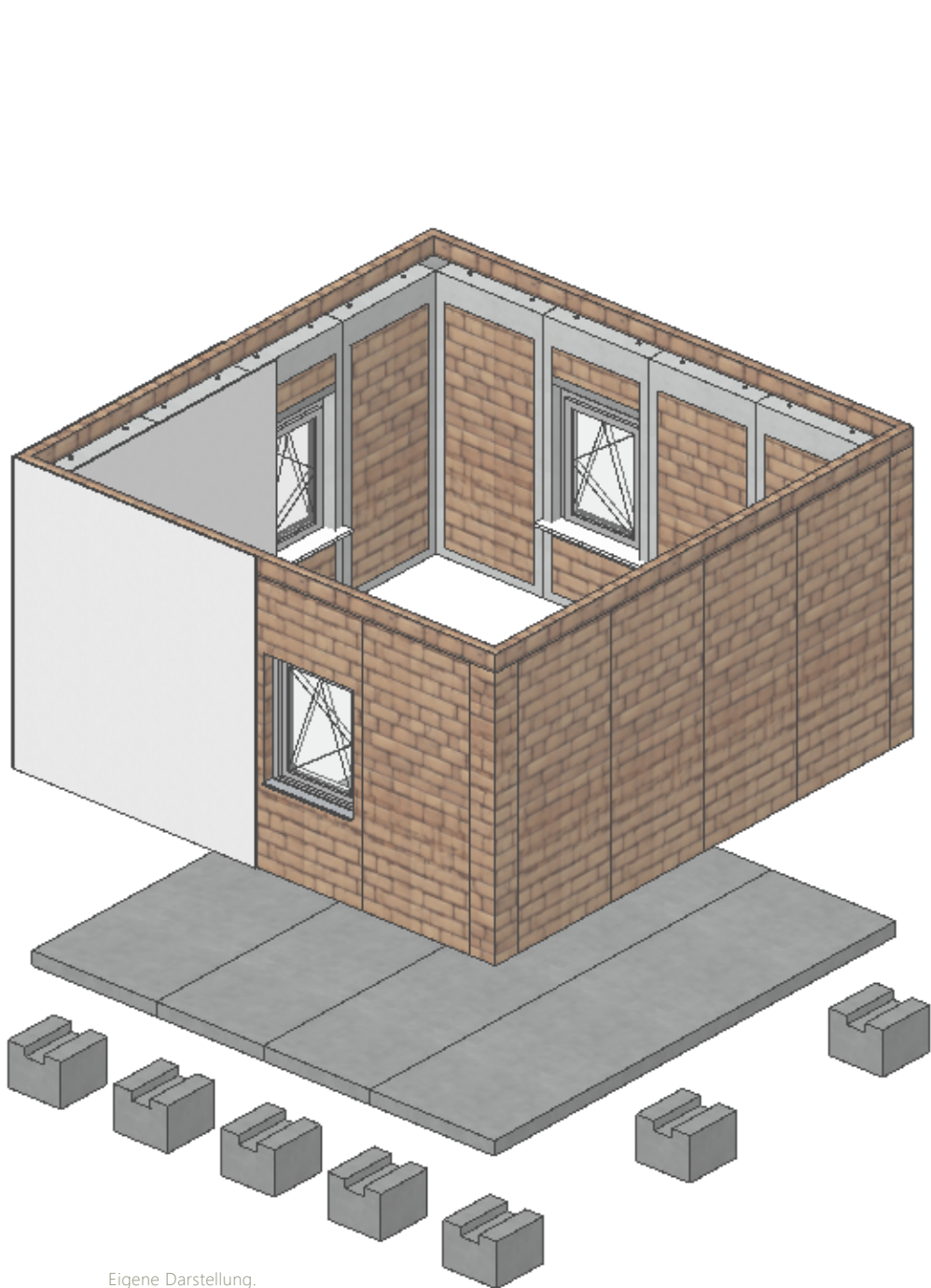
Glücklich, Detelf. (Ed.). (2005): Ökologisches Bauen: von Grundlagen zu Gesamtkonzepten. Deutsche Verlags-Anstalt.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.4.1: Bandbreite mechanischer, bauphysikalischer und biologischer Eigenschaften von Lehmbaustoffen.

Darstellung: Omar Masfaka.

Röhlen, Ulrich/Christof Ziegert (2020): Lehm-Bau-Praxis: Planung und Ausführung, Beuth Verlag GmbH.



Eigene Darstellung.

4. ENTWICKLUNG DES BAUSYSTEMS

4.1 Entwicklung eines nachhaltigen Bausystems für Syrien

- Vorfertigung und Flexibilität
- Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten
- Einsatz des Bausystems zur Deckung des dringenden Wohnbedarfs in Nordsyrien
- Bauprojekte und Fortschritte
- Herausforderungen und Ausblick

4.2 Die Integration von Lehm- und Ziegelbau im System

4.3 Nachhaltigkeit und Wiederverwendung von Baumaterialien im Rahmen des Bausystems

4.4 Entwicklungsmatrix für die Konzeption des Bausystems

4.5 Bauteile-Übersicht für das entwickelte System

- Beispiel 1: Wohnhaus mit 6 Wohneinheiten
- Beispiel 2: Schule in Nordsyrien
- Fundament
- Bodenteil

- Wandteil
- Ausfachung
- Innenwand
- Fenster und Tür
- Richtungswechsel
- Deckenteil
- Dachkonstruktion

4.6 Beispielhafte Bestellübersicht der Bauteile zur Errichtung der Beispielgebäude

- Beispiel 1: Wohnhaus mit 6 Wohneinheiten
- Beispiel 2: Schule in Nordsyrien

Zwischenfazit

Abbildungsverzeichnis

4.1 ENTWICKLUNG EINES NACHHALTIGEN BAUSYSTEMS FÜR SYRIEN

Angesichts der extremen klimatischen Bedingungen, der anhaltenden Konflikte und der wirtschaftlichen Herausforderungen in Syrien ist die Bauindustrie des Landes auf innovative und angepasste Lösungen angewiesen. Das vorgestellte Bausystem bietet eine Alternative, die diesen Anforderungen gerecht wird, indem es vorgefertigte Stahlbetonteile mit traditionellen Lehmbauweisen kombiniert. Diese Kombination verbindet die strukturelle Stabilität moderner Materialien mit den ökologischen und wirtschaftlichen Vorteilen traditioneller Bauweisen. Das Bausystem stellt eine nachhaltige und wiederverwendbare Option gegenüber der herkömmlichen Stahlbetonskelettbauweise dar. Hilfsorganisationen könnten es nutzen, um nachhaltigere temporäre Flüchtlingsunterkünfte zu errichten, die dank ihrer Flexibilität zukünftig in dauerhafte Unterkünfte umgewandelt werden können. Zusätzlich unterstützt das System die von der Bevölkerung in Nord-Syrien selbst initiierten Bauprojekte mit Lehm und bietet eine stabilere und wiederverwendbare Lösung. Die aktive Beteiligung der Menschen am Bau macht dieses System zu einer von Menschen für Menschen gedachten Initiative, die lokale Baumaterialien und traditionelle handwerkliche Techniken auf moderne und nachhaltige Weise revitalisiert.

Vorfertigung und Flexibilität

Das Bausystem basiert auf der Vorfertigung von Stahlbetonteilen in standardisierten Maßen. Diese Bauelemente werden in Produktionshallen hergestellt und können bei Bedarf schnell auf die Baustelle geliefert werden. Die Vorfertigung bietet Flexibilität in der Bauweise, da beschädigte Teile leicht ausgetauscht oder das gesamte System demontiert und an einem anderen Standort wieder aufgebaut werden kann.

Die Stahlbetonteile sind so dimensioniert, dass der Transport und Einbau einfach und effizient durchgeführt werden können. Beispielsweise sollen Wandteile maximal 400 Kilogramm wiegen und mit einem Minikran mon-

tiert werden. Größere Deckenplatten, die mit einem Kranwagen installiert werden, bieten die Möglichkeit, auch mehrstöckige Gebäude zu errichten.

Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten

Das System wurde entwickelt, um den besonderen Bedingungen in Syrien gerecht zu werden, einschließlich der Erdbebengefahr in einigen Regionen. Durch Anpassungen in der Produktion der Stahlbetonteile kann die Erdbebensicherheit gewährleistet werden. Dabei wurde bewusst auf hochmoderne Technologien verzichtet, um die vorhandenen Fachkräfte und Materialien effektiv nutzen zu können.

Dieses Bausystem verbindet moderne Vorfertigungstechniken mit traditionellen Bauweisen und bietet eine flexible, nachhaltige und an die lokalen Bedingungen angepasste Lösung. Es ermöglicht eine schnelle und kostengünstige Errichtung von Gebäuden und schafft gleichzeitig eine solide Grundlage für den Wiederaufbau und die zukünftige Entwicklung Syriens.

Einsatz des Bausystems zur Deckung des dringenden Wohnbedarfs in Nordsyrien

In den von der syrischen Opposition kontrollierten Gebieten befinden sich derzeit 1.489 Flüchtlingslager, in denen schätzungsweise 1,512 Millionen Menschen leben. Nach einem Jahr intensiver militärischer Konflikte kam es zu einer umfangreichen Fluchtbewegung, bei der mehr als eine Million Menschen in Richtung der türkischen Grenze flüchteten. Vor diesem Hintergrund haben türkische und syrische Hilfsorganisationen verschiedene Wohnprojekte initiiert, um den Vertriebenen angemessenen Wohnraum zur Verfügung zu stellen.

Bauprojekte und Fortschritte

Eine Vielzahl von Organisationen engagiert sich im Bau von Wohneinheiten für Vertriebene. Hier sind einige bedeutende Projekte und die Anzahl der bereits fertiggestellten oder geplanten Einheiten:

1. Türkische Hilfsorganisation IHH:

Bisher hat IHH 18.362 Wohneinheiten in den Provinzen Idlib und Aleppo errichtet und strebt den Bau von insgesamt 25.000 Einheiten an.

2. Katarischer Roter Halbmond:

Diese Organisation ist verantwortlich für den Bau von 5.724 Wohneinheiten in verschiedenen Teilen Nordsyriens.

3. Molham Team:

Diese syrische Freiwilligenorganisation hat bislang 2.100 Wohneinheiten errichtet, darunter 472 in Azaz und 300 in Form von Mehrfamilienhäusern. Sie planen, weitere 500 Wohnungen zu bauen.

4. Hilfsorganisation Atā:

Bis jetzt wurden 2.168 Wohneinheiten fertiggestellt, einschließlich 800 in Jarablus und 748 in Idlib.

5. Organisation Bonyan:

Bonyan hat 1.354 Wohneinheiten, hauptsächlich in der Region Jarablus, gebaut und setzt seine Bemühungen fort, weiteren Wohnraum zu schaffen.

Darüber hinaus hat die türkische Regierung den Bau von 52.800 Ziegelhäusern in Idlib zugesagt, während weitere Organisationen wie die „al-Hayat“-Gruppe und die „Ansr“-Organisation zusammen mit vielen anderen kleineren Projekten aktiv sind (vgl. Syria Today 2022).

Herausforderungen und Ausblick

Trotz bereits erzielter Fortschritte bleibt die Herausforderung groß, die verbleibenden 220.000 Familien, die noch in Flüchtlingslagern leben, in dauerhafte Unterkünfte umzusiedeln. Es wird geschätzt, dass jährlich etwa 44.000 Wohneinheiten gebaut werden müssten, um die Region innerhalb von fünf Jahren von den Lagern zu befreien. Dies würde Investitionen in Höhe von 660 Millionen US-Dollar erfordern, was internationale finanzielle Unterstützung unerlässlich macht. Lösungen wie das in dieser Arbeit



Abb.4.1.1

entwickelte Bausystem könnten den Bauprozess beschleunigen und die Kosten senken. Dabei wird nicht nur die unmittelbare Zukunft berücksichtigt, sondern auch die langfristige Entwicklung des Landes und des Planeten, indem Probleme wie CO₂-Emissionen, Klimawandel und Ressourcenknappheit in den Fokus genommen werden.

4.2 DIE INTEGRATION VON LEHMBAU IM SYSTEM

Lehm, ein traditioneller Baustoff in Syrien, ergänzt dieses System ideal. Lehmsteine, die vor Ort aus Lehm und Stroh hergestellt werden, können als Füllmaterial für die vorgefertigten Stahlbetonrahmen verwendet werden. Diese Kombination sorgt für eine stabile Struktur, während Lehm durch seine natürlichen Eigenschaften für ein angenehmes Wohnklima und eine gute Wärmedämmung sorgt. Zudem schützt die Lehmumhüllung die Stahlbetonteile vor Witterungseinflüssen und erhöht so deren Lebensdauer.

Ein weiterer Vorteil dieser Bauweise ist die Einbeziehung der lokalen Bevölkerung in den Bauprozess. Die Herstellung und Verarbeitung von Lehmsteinen kann von der Gemeinschaft vor Ort durchgeführt werden, was die Baukosten senkt und gleichzeitig die lokale Wirtschaft stärkt.

Abb.4.1.1
Al-Amal-Flüchtlingslager im Afrin-Gebiet in Aleppo, Syrien.

4.3 NACHHALTIGKEIT UND WIEDERVERWENDUNG VON BAUMATERIALIEN IM RAHMEN DES BAUSYSTEMS

Nachhaltigkeit ist ein zentrales Anliegen dieses Bausystems. Die Vorfertigung der Stahlbetonteile sowie deren demontierbares Design ermöglichen eine verlängerte Lebensdauer und Wiederverwendung der Bauelemente in anderen Projekten. Darüber hinaus wird das Recycling von Beton durch die standardisierte Produktion erleichtert, da die Zusammensetzung der Materialien bekannt ist.

Lehm, als natürlicher und vollständig recycelbarer Baustoff, minimiert Abfall und unterstützt den Baustoffkreislauf. Die Mischung von Lehm mit Stroh verbessert zudem die Wärmedämmung, was zu einem energieeffizienteren Gebäudebetrieb führt. Die Kombination von Lehm und Stahlbeton bietet somit eine ressourcenschonende und nachhaltige Lösung, die den Herausforderungen in Konfliktregionen gerecht wird.

Das Bausystem besteht aus fünf Hauptkomponenten: Fundament, Boden, Wand, Decke und Dach. Bei der Beschreibung dieser Komponenten wird das System allgemein erläutert und anhand eines Beispielprojekts veranschaulicht. Dieses Beispiel bezieht sich auf den Entwurf einer Grund- und Sekundarschule im Norden der Stadt Harim in Nordsyrien. Da die Schule als Sonderbau mit speziellen Anforderungen wie großen Spannweiten gilt, wird das System in einem anspruchsvollen Kontext getestet, um dessen Flexibilität zu überprüfen. Als Grundeinheit für die Schule wurde ein Klassenraum mit den Außenmaßen von 8 x 8 m festgelegt, und alle weiteren Abmessungen der Schule sind an diese Einheit angepasst. Der Entwurf der Schule wird im folgenden Abschnitt detailliert beschrieben.

Als Abschnittsmaß wurde 1,2 m als Orientierungsmaß festgelegt. Dieses Maß eignet sich hervorragend für den Zweck des Systems in Bezug auf die Funktionalität des Gebäudes, die Transportfähigkeit, die einfache Montage sowie realistische Fenster- und Türgrößen.

4.4 ENTWICKLUNGSMATRIX FÜR DIE KONZEPTION DES BAUSYSTEMS

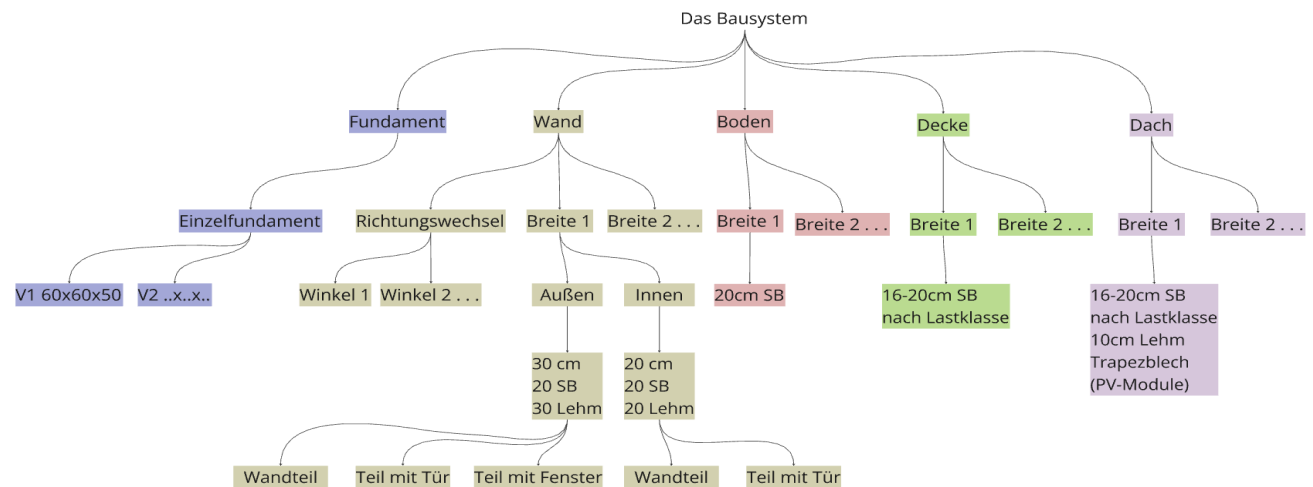


Abb.4.4.1
Entwicklungsmatrix.

4.5 BAUTEILE-ÜBERSICHT FÜR DAS ENTWICKELTE SYSTEM

Beispiel 1: Wohnhaus mit 6 Wohneinheiten

Bevor die einzelnen Teile des Bausystems erläutert werden, werden hier zwei Beispiele als mögliche Einsatzmöglichkeiten für das Bausystem genannt.

Beispiel 1 zeigt ein Wohnhaus mit 6 kleinen Wohneinheiten von jeweils ca. 36 m². Das Außenmaß des Hauses beträgt 10,6 m x 9 m und es besteht aus 3 oberirdischen Geschossen mit einer sehr einfachen Tragstruktur (siehe Abb.4.5.1).

Die Belichtung erfolgt über alle 4 Fassadenseiten. Auf die genaue Innenraumgestaltung sowie die Aufteilung der Bereiche Wohnen, Kochen, Schlafen und Badezimmer wurde verzichtet, da dieses Beispiel nur prinzipiell zur Überprüfung der Kompatibilität des Bausystems mit diesem Gebäudetyp dient.

Hervorzuheben ist, dass das Potenzial dieses Systems vor allem in der Wohnbau-Typologie liegt, da die Notsituation in Nordsyrien dies erfordert. Zudem ist der Wohnungsbau im Allgemeinen ein breiteres Anwendungsfeld als andere Nutzungsarten.

Beispiel 2: Schule in Nordsyrien

Beispiel 2 zeigt eine mögliche Anwendung des Systems in einer etwas komplexeren Bebauung. Die Schule, die als Entwurf für meine Masterarbeit konzipiert wurde, dient hier als Beispiel für den potenziellen Einsatz des Bausystems zur Errichtung der Schule. Der Entwurf selbst wird im nächsten Abschnitt ausführlich erläutert.

Grunddaten zur Schule:

- Dreigeschossig
- Kreisförmige Bauweise
- Standort: Nordsyrien, Stadt Harim
- Grundstücksfläche: 2.500 m²
- Kontext: Siehe Abb.4.5.2 (Lageplan).

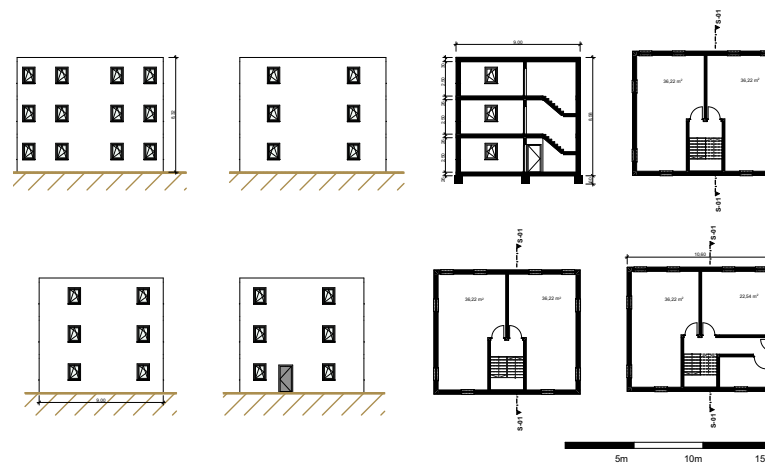


Abb.4.5.1

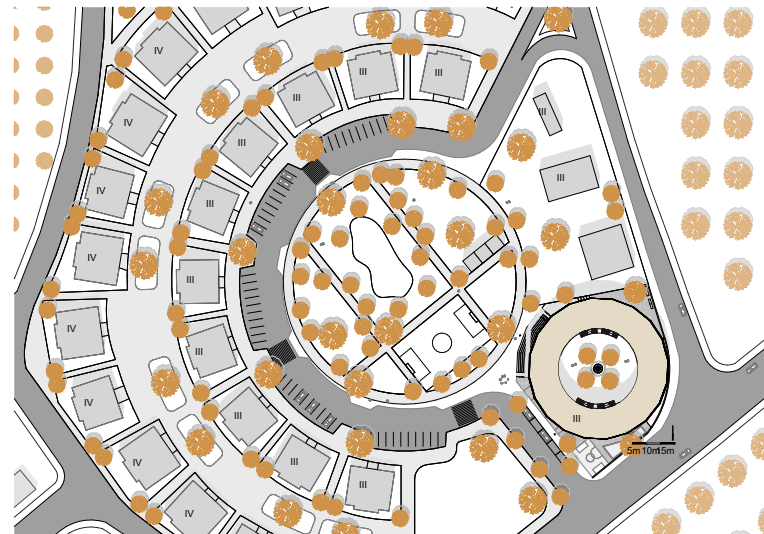


Abb.4.5.2

Abb.4.5.1
Beispiel 1 Entwurfspläne.
Abb.4.5.2
Beispiel 2 Lageplan.

Fundament

Für das Fundament wurde aus mehreren Gründen ein Einzelfundament aus vorgefertigtem Stahlbeton gewählt. Erstens ist es materialeffizienter als Streifenfundamente, und zweitens erleichtert es den Transport und Einbau. Je nach Belastungssituation können die Dimensionen und die Anzahl der Fundamente angepasst werden. An der oberen Seite der Fundamente ist ein 10 cm tiefer Schlitz vorgesehen, der eine bessere Stabilität und Verbindung zwischen Boden und Fundament gewährleistet und die Auswirkungen von Erdbeben abfedern soll, da ein Teil Nordsyriens als Erdbebengebiet gilt. Zuletzt erschütterte ein starkes Erdbeben Nordsyriens und die Südtürkei, bei dem viele Gebäude einstürzten und zahlreiche Menschen ums Leben kamen. Der Schlitz ist seitlich 5 mm breiter als das Fußteil des Bodens, um Toleranzen beim Einbau zu ermöglichen.

Im Beispielwohnhaus 1 wurden für das Gebäude 32 Einzelfundamente vorgesehen (siehe Abb.4.5.3). Sowohl beim Wohnhaus als auch bei der Schule geht es hier um das Prinzip, und es wurde keine statische Berechnung erstellt. Im Beispiel 2, der Schule, wurden 25 Einzelfundamente für ein Klassenzimmer mit einem Rohbauaußenmaß von 7,8 m x 7,8 m eingepflanzt, deren Anzahl sich nach dem Abschnittsmaß der Wand-, Boden- und Deckenelemente richtet. In diesem Fall beträgt das Abschnittsmaß 1,2 m. Dieses Maß ist auch die Basis für das Wohnhaus.

dick, um alle Lasten des Gebäudes – Eigengewicht und Verkehrslasten – aufzunehmen und gleichmäßig auf die Fundamente zu verteilen. Andere Geschossdecken werden dünner geplant. Im Wohnbau könnten die Deckenstärken reduziert werden, da die Spannweiten und Verkehrslasten geringer sind. Im Beispiel 1 wurden Fertigplatten mit einer Stärke von 16 cm vorgesehen (siehe Abb.4.5.3).

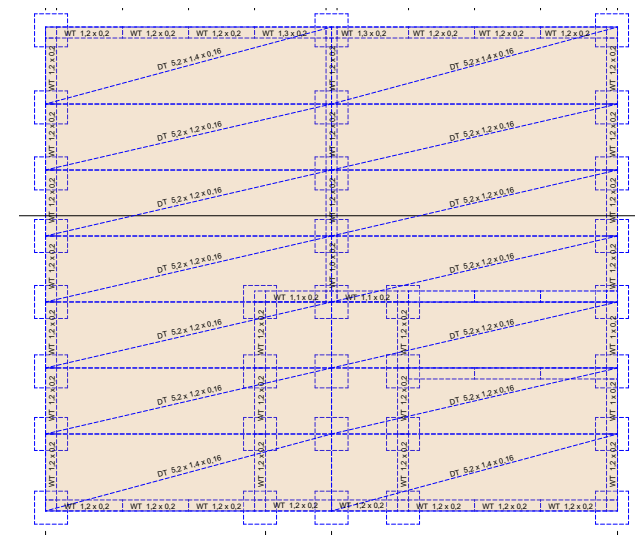


Abb.4.5.3

Bodenteil

Die Bodenteile sind so konzipiert, dass sie problemlos auf die Fundamente gesetzt werden können. Dank der Fußteile passen sie exakt auf die Fundamente und bieten zusätzlichen Schutz gegen horizontale Lasten, wie sie beispielsweise bei Erdbeben auftreten können. Eine genaue statische Berechnung wurde hier nicht durchgeführt, da es sich lediglich um das Prinzip handelt. Die Fußteile tragen das Eigengewicht der Platten, da bei großen Spannweiten hohe Eigenlasten auftreten können, die zu Schäden wie Durchbiegungen führen könnten. Ihre Konstruktion ähnelt im Prinzip π -Decken (siehe Abb.4.5.4). Die Bodenplatten sind bei der Schule 20 cm

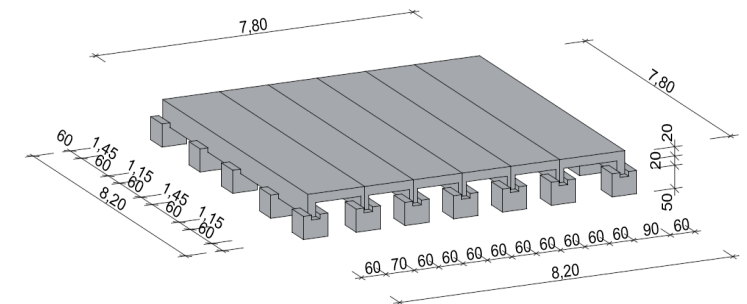


Abb.4.5.4

Abb.4.5.3
Beispiel 1 Fundamentplan.
Abb.4.5.4
Beispiel 2 Bodenteile.

Wandteil

Das Wandfertigteil war das erste Element, das im Rahmen des Bausystems entworfen wurde. Es verdeutlicht die Idee des Systems besonders gut, da hier der Lehm- und Stahlbetonbau zum Einsatz kommt. Die Wandteile bestehen aus vorgefertigten Stahlbetonrahmen mit einem Abschnittsmaß von 1,2 m. Andere Maße sind ähnlich wie die Bodenteile oder Deckenteile auch Systemkonfer-
tapel wie 1m oder 1,4m Wandteile (siehe Abb.4.5.5). Die Höhe der Teile soll in mehreren Varianten vorhanden erhältlich sein. Für die Schule wurde die Höhe 3m gewählt, während für das Wohnhaus 2,6m vorgesehen ist. Die unteren 10cm verschwinden immer im Bodenaufbau. Diese Rahmen tragen die Lasten der darüber liegenden Decken und leiten sie durch die seitensäulen nach unten ab. Die Lasten der Decken werden auf alle Wandteilen gleichmäßig verteilt so dass in der Regel keine Wandteil mehr durch die Lasten beansprucht werden als die andere Teile. Nur die Wände auf 2 Seiten des Raumes tragen die Lasten da die Deckenteile die Lasten immer in 2 Richtungen weitergeben. Die Armierung in die Wandteile können in 2 Varianten hergestellt werden, tragende wände und nicht tragende Wände. Die Wandteile werden an vier Seiten verschraubt, was für Stabilität sorgt und eine Rahmenaussteifung des Gebäudes gewährleistet.

Ausfächung

Als Ausfächung werden Strohhalmsteine verwendet. Das gesamte Wandteil ist 20 cm tief, wobei die Lehm- und Stahlbeton-
schicht 30 cm beträgt – 20 cm innerhalb des Rahmens und 10 cm außen. Diese 30 cm starke Lehm- und Stahlbeton-
schicht bietet mehrere Vorteile: Erstens verbessert sie die Dämmfähigkeit der Außenwand (U-Wert 0,73 W/m²K). Für das Fertigteil mit einem Anteil von 25 % wurde ein U-Wert von 1,199 W/m²K ermittelt, während der Gefach aus Strohhalmsteinen einen U-Wert von 0,581 W/m²K erreicht. Zum Vergleich: Eine 15 cm dicke Mauerwerkswand aus Hohlzementblöcken, wie sie in herkömmlicher Bauweise verwendet wird, kommt auf einen U-Wert von über 2,1 W/m²K. Zweitens schützt die Lehm- und Stahlbeton-
schicht die Stahlbetonteile vor Witterungseinflüssen und fördert deren Wiederverwendbarkeit. Drittens bildet die komplette Umhüllung des Gebäudes mit Lehm eine

einheitliche Schicht, die gleichmäßig auf Witterungseinflüsse reagiert, wie z. B. Temperaturunterschiede oder Luftfeuchtigkeit. Ohne die 10 cm dicke äußere Lehm- und Stahlbeton-
schicht bestünde das Risiko, dass Risse im Putz an den Übergangszonen entstehen, da Lehm und Beton unterschiedliche Materialeigenschaften haben. Auf die Innenseite ist die Lehm- und Stahlbeton-
schicht bündig mit dem Fertigteil (Siehe Abb.4.5.6). Als Putz wird Lehmputz für innen und außen verwendet. Nach einem regnerischen Winter können oberflächliche Risse im Putz auftreten, insbesondere wenn der Lehmputz nicht mit anderen Stabilisatoren oder chemischen Komponenten gemischt ist. Diese Risse sind jedoch nicht schädlich und können leicht von den Bewohnern oder Betreibern des Gebäudes repariert werden.

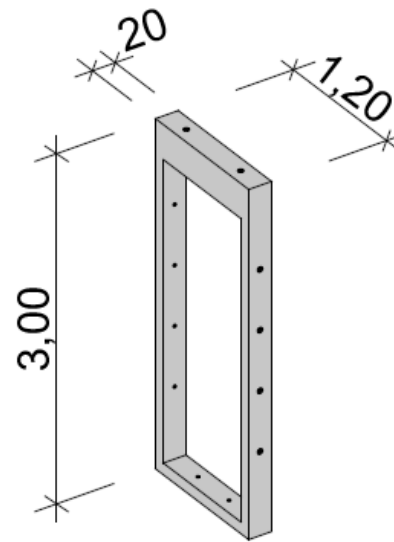


Abb.4.5.5

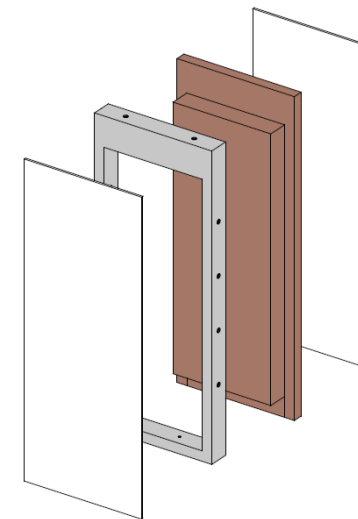


Abb.4.5.6

Abb.4.5.5
Wandteil.

Abb.4.5.6
Außenwand Aufbau.

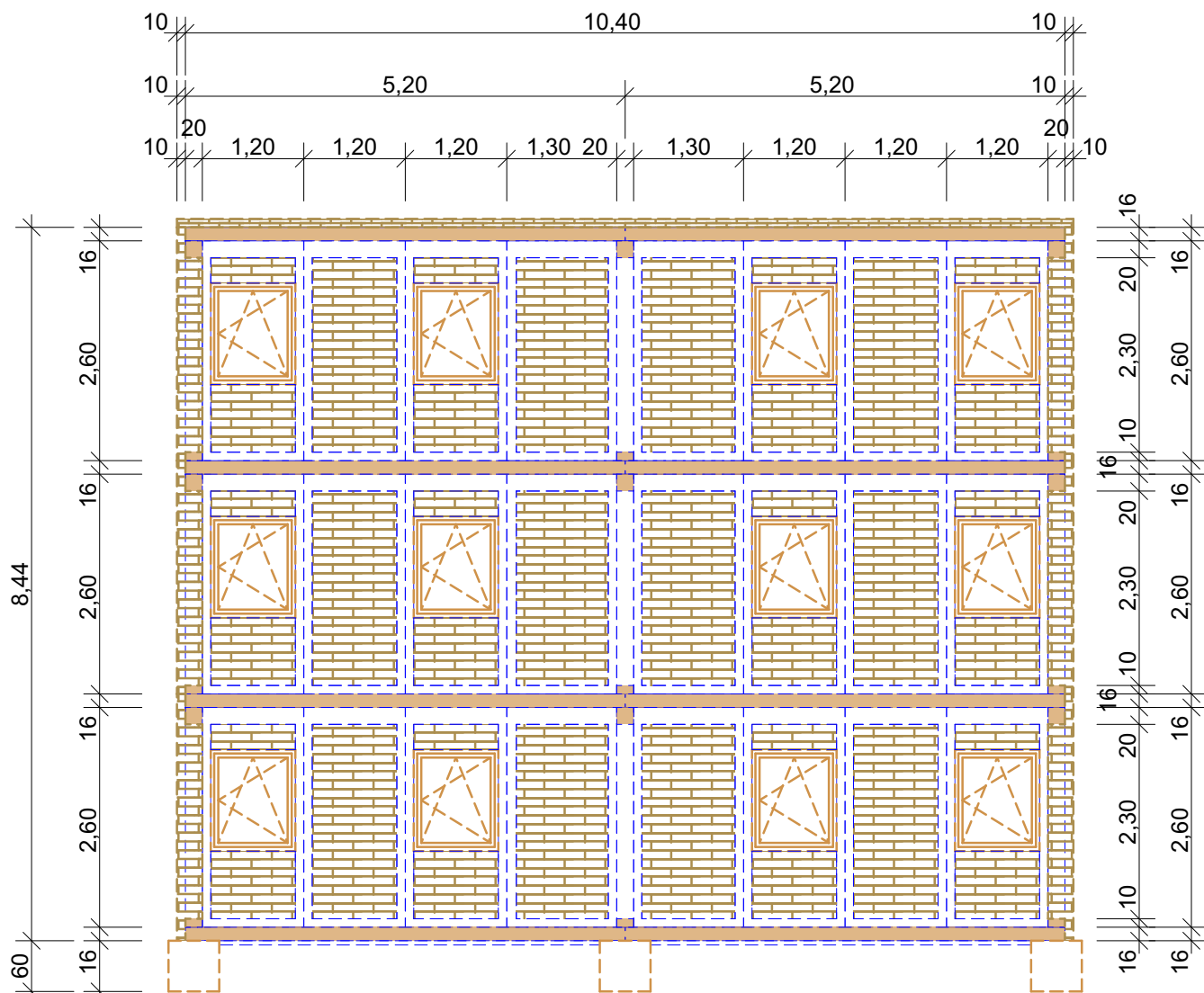


Abb.4.5.7
Beispiel 1 Konstruktionsschnitt.

Innenwand

Für die Innenwände werden dieselben Wandteile verwendet, jedoch mit einer geringeren Ausfachung aus Strohlehmsteinen, die 20 cm dick ist. Die zusätzlichen 10 cm der Ausfachung, wie sie bei den Außenwänden verwendet werden, sind hier nicht erforderlich, da sie keine zusätzlichen Vorteile bieten. Wie bei den Außenwänden werden auch die Innenwände auf beiden Seiten mit Lehmputz versehen.

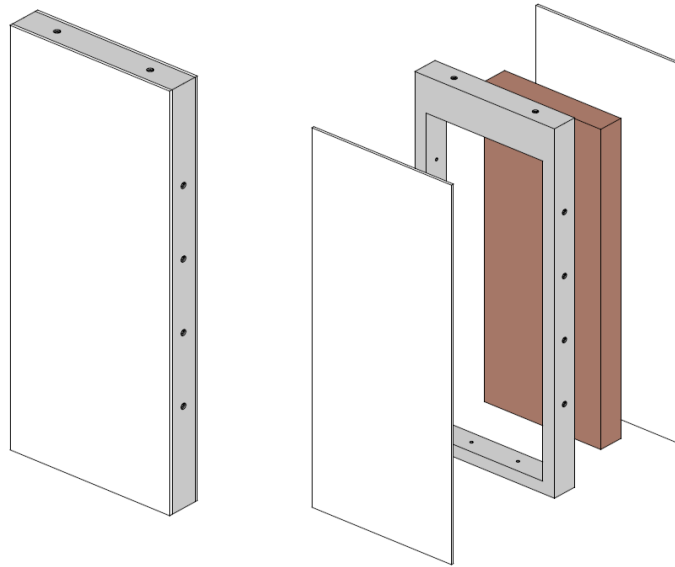


Abb.4.5.8

Abb.4.5.9

Fenster und Tür

Die Wandteile sind in mehreren Varianten erhältlich. Neben der geschlossenen Wand (Variante 1) gibt es Wandteile mit einer Tür (Variante 2) und solche mit einem Fenster (Variante 3). Fenster und Türen können direkt

im 20 cm dicken Stahlbetonteil befestigt werden. Die Höhe der Fenster kann nach Bedarf flexibel geplant werden, auch bodentiefe Fenster sind möglich. Die Breite der Fenster ist jedoch durch das Abschnittsmaß von 1,2 m auf ein Rohbaumaß von maximal 1 m begrenzt. In der Region Syrien sind große Fenster im Wohn- und Schulbau aufgrund der intensiven Sonneneinstrahlung und der dadurch verursachten unerwünschten Hitzeentwicklung im Innenraum weniger gefragt. Bei großen Fensterflächen wäre Wärmeschutz-Isolierglas erforderlich, das jedoch häufig aus wirtschaftlichen Gründen nicht verfügbar ist. Das System erfüllt dennoch die grundlegenden Anforderungen an Belichtung und Belüftung und bietet ausreichend Flexibilität für unterschiedliche Bedürfnisse. Falls erforderlich, können auch mehrere Fenster nebeneinander angeordnet werden, wobei stets ein 20 cm breiter Pfosten dazwischen bleibt.



Abb.4.5.10

Abb.4.5.11

Abb.4.5.8
Innenwandteil.
Abb.4.5.9
Innenwandteil Aufabu.
Abb.4.5.10
Wandteile / Tür.
Abb.4.5.11
Wandteile / Fenster.

Richtungswechsel

Für die Ecken des Gebäudes oder Raumes ist ein sogenannter Richtungswechsel vorgesehen. Dieses Fertigteil hat standardmäßig bei einem 90-Grad-Winkel eine Größe von 20 x 20 cm. Andere Winkel sind im System ebenfalls möglich, da solche Teile in unterschiedlichen Winkeln vorgefertigt werden können. Allerdings müssen bei abweichenden Winkeln möglicherweise die Deckenteile als Sonderanfertigungen hergestellt werden, wie es teilweise bei den Decken der Schule der Fall ist. Die Wandteile können dennoch problemlos weiterverwendet werden.

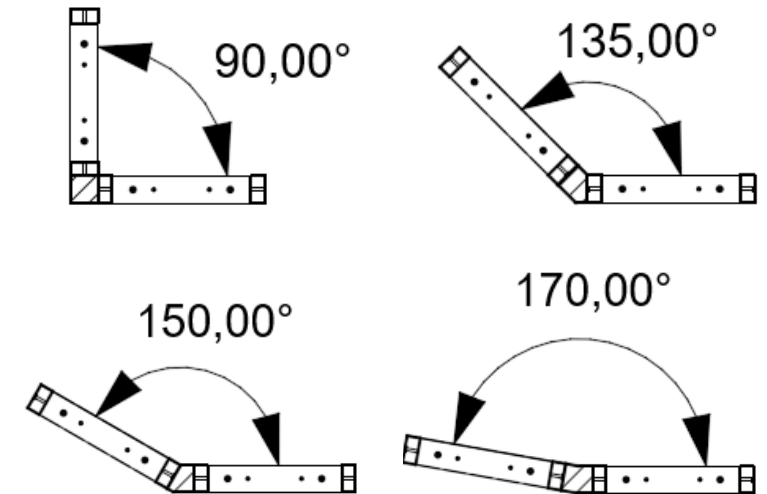
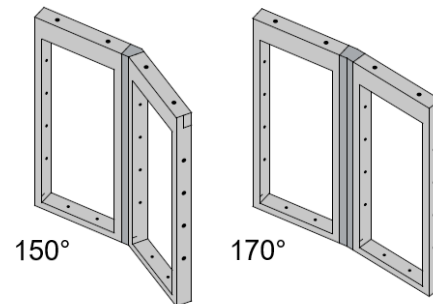
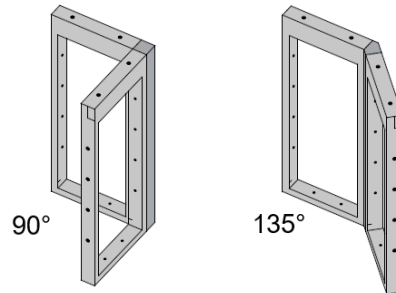


Abb.4.5.13

Deckenteil

Die Deckenteile sind so konzipiert, dass sie einfach auf die Wandelemente montiert werden können. Mithilfe eines Krans werden die Teile bündig auf den Wänden platziert und von unten befestigt und verschraubt. In der Schule sind die Spannweiten größer als im Wohnbau, daher sind die Deckenteile hier mit einer nach unten gerichteten Kante ausgeführt, was einer Rippendecke ähnelt. Die Gesamtdicke der Decke, einschließlich der Unterkante, beträgt 20 cm, während die Decke selbst 16 cm dick ist (siehe Abb.4.5.15). Im Wohnhaus können 16 cm dicke Deckenteile ohne zusätzliche Verstärkung verwendet werden (siehe Abb.4.5.16). Die Fugen zwischen den Deckenteilen sollen von oben mit Lehmörtel verschlossen werden. Die Maße der Deckenteile folgen dem Prinzip des Bausystems und betragen, wie auch bei den Wand- und Bodenteilen, 1,2 m. An den Seiten beträgt die Breite 20 cm mehr, um die Dicke des Außenwandteils zu bedecken.

Abb.4.5.12
Richtungswechsel.

Abb.4.5.13
Richtungswechsel Grundriss.

Abb.4.5.12

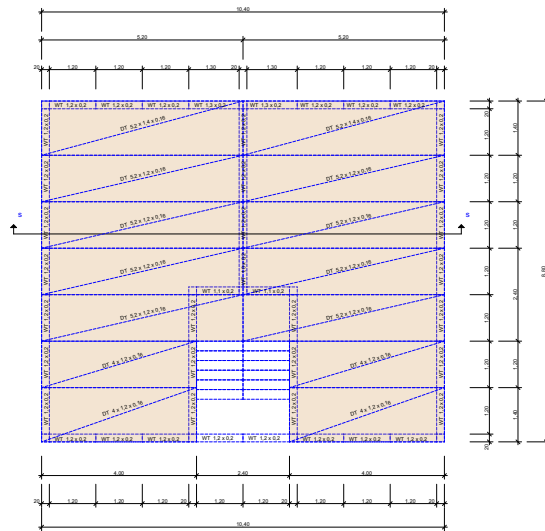


Abb.4.5.14

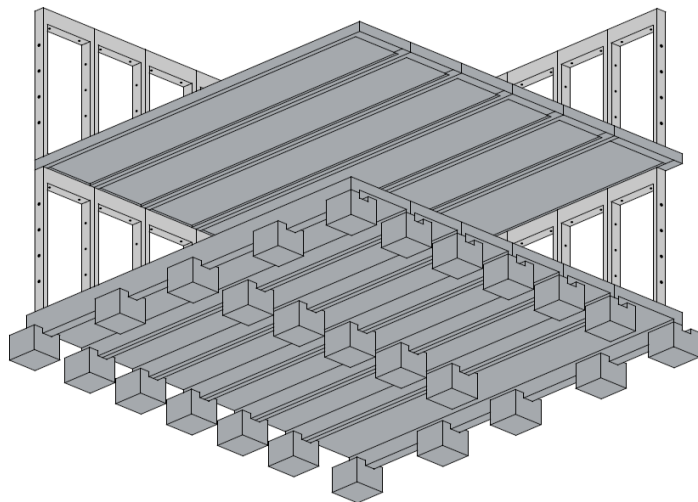


Abb.4.5.15

Dachkonstruktion

Im Mittelpunkt der Dachkonstruktion steht eine einfache Ausführung. Auf die normalen Deckenteile wird zunächst eine Unterkonstruktion für Trapezbleche in wasserdichter Ausführung befestigt. Auf die Deckenplatten kommt eine 10 cm dicke Schicht aus Strohlehm. Anschließend werden die Trapezblechplatten auf die Unterkonstruktion montiert. Diese fungieren als wasserabführende Schicht und leiten das Regenwasser mit einer leichten Neigung von etwa 2 % in die Regenrinne. Unterhalb der Trapezblechplatten befindet sich die Hinterlüftung des Daches, die das Dach (Betonteil und Lehmschicht) im Sommer vor direkter Sonneneinstrahlung schützt (siehe Abb.4.5.16). Da die Stromnetze in Syrien häufig instabil sind und es täglich mehrmals zu Stromausfällen kommt, werden häufig Photovoltaik-Module (PV) eingesetzt. Auf den Trapezblechplatten kann eine leichte Konstruktion zur wasserdichten Befestigung der PV-Module montiert werden. In einigen Bergregionen, in denen es im Winter zu Schneefall kommt, könnte eine zusätzliche Verstärkung der Unterkonstruktion erforderlich sein.

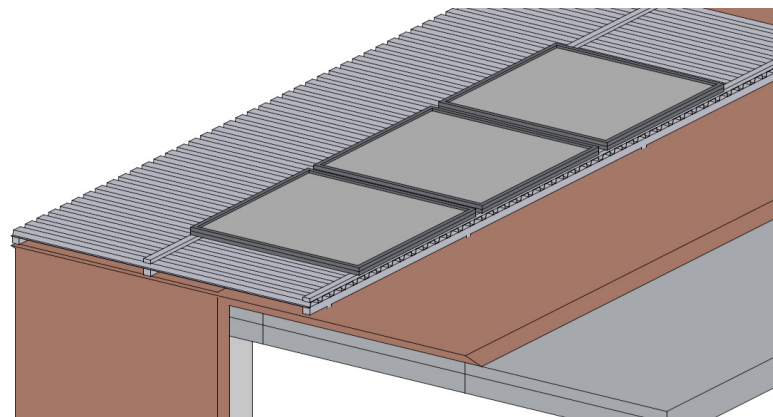


Abb.4.5.16

Abb.4.5.14
Beispiel 1 Deckenspiegelplan.

Abb.4.5.15
Deckenteil mit großer Spannweite.

Abb.4.5.16
Beispiel 1 Dachkonstruktion.

4.6 BEISPIELHAFTE BESTELLÜBERSICHT DER BAUTEILE ZUR ERRICHTUNG DER BEISPIELGEBÄUDE

Beispiel 1: Wohnhaus mit 6 Wohneinheiten

Als Beispiel für die Vorfertigung der Wand- und Deckenteile dienen die in Abb.4.6.2 dargestellten Pläne der Decke über dem 1. und 2. Obergeschoss sowie der Plan der Bodenteile des Wohnhauses. Die dargestellten Teile sind als Standardteile des Bausystems vorgesehen (siehe Abb.4.6.1/2). „WT“ steht für Wandteile, „FI - FIV“ für Deckenteile, „BI - BII“ für Bodenteile und „RW“ für den Richtungswechselteil.

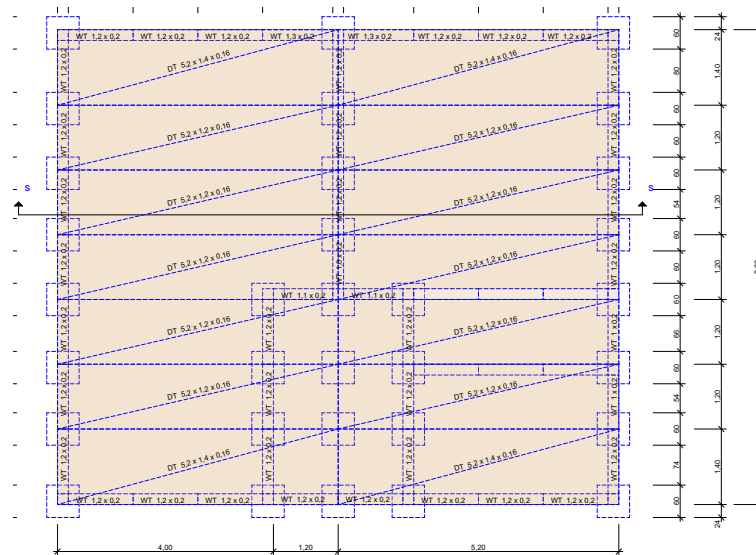
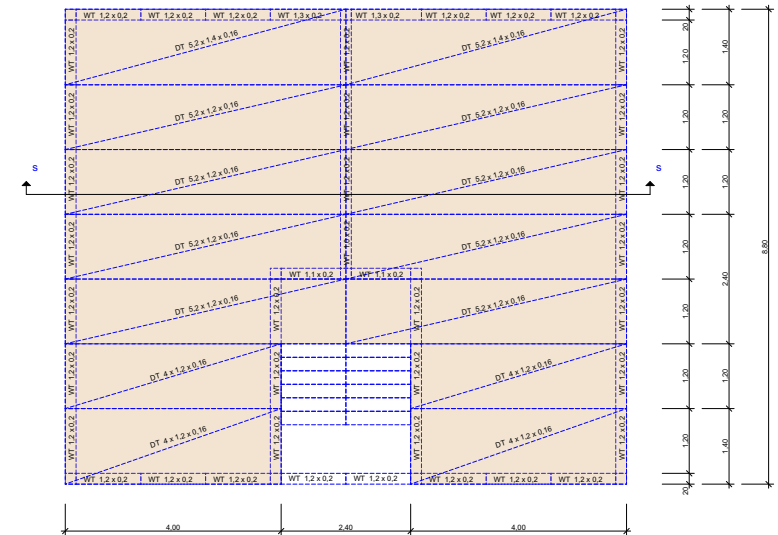


Abb.4.6.1



EG	1OG	2OG
26 X WT 1,2m/20cm	27 X WT 1,2m/20cm	27 X WT 1,2m/20cm
3 X WT/T 1,2m/20cm	2 X WT/T 1,2m/20cm	2 X WT/T 1,2m/20cm
8 X WT/F 1,2m/20cm	8 X WT/F 1,2m/20cm	8 X WT/F 1,2m/20cm
2 X WT 1,1m/20cm	2 X WT 1,1m/20cm	2 X WT 1,1m/20cm
1 X WT 1m/20cm	1 X WT 1m/20cm	1 X WT 1m/20cm
2 X WT 1,3m/20cm	2 X WT 1,3m/20cm	2 X WT 1,3m/20cm
2 X WT 1,3m/20cm		
2 X WT 1,3m/20cm		
2 X FI I 5,2 x 1,4 x 0,16	2 X FI I 5,2 x 1,4 x 0,16	2 X FI I 5,2 x 1,4 x 0,16
8 X FI II 5,2 x 1,2 x 0,16	8 X FI II 5,2 x 1,2 x 0,16	8 X FI II 5,2 x 1,2 x 0,16
2 X FI III 4 x 1,4 x 0,16	2 X FI III 4 x 1,4 x 0,16	2 X FI III 4 x 1,4 x 0,16
2 X FI IV 4 x 1,2 x 0,16	2 X FI IV 4 x 1,2 x 0,16	2 X FI IV 4 x 1,2 x 0,16
	7 X RW 20cm/20cm 90°	7 X RW 20cm/20cm 90°
4 X FI 5,2 x 1,4 x 0,16		
10 X FI II 5,2 x 1,2 x 0,16		
7 X RW 20cm/20cm 90°		

Abb.4.6.2

Abb.4.6.1
Beispiel 1 Fundament- und Bodenteile.
Abb.4.6.2
Beispiel 1 Wand- und Deckenteile.

Beispiel 2: Schule in Nordsyrien

Als Beispiel für die Vorfertigung der Wand- und Deckenteile dient der in Abb.4.6.3 dargestellte Plan der Decke über dem 1. Obergeschoss der Schule. Dabei könnten die Teile in zwei Listen unterteilt werden: Standardteile aus dem Bausystem (Z) und Teile, die als Sonderfertigung (F) hergestellt werden sollen (siehe Abb.4.6.3). „WT“ steht für Wandteile und „RW“ für den Richtungswechselteil.

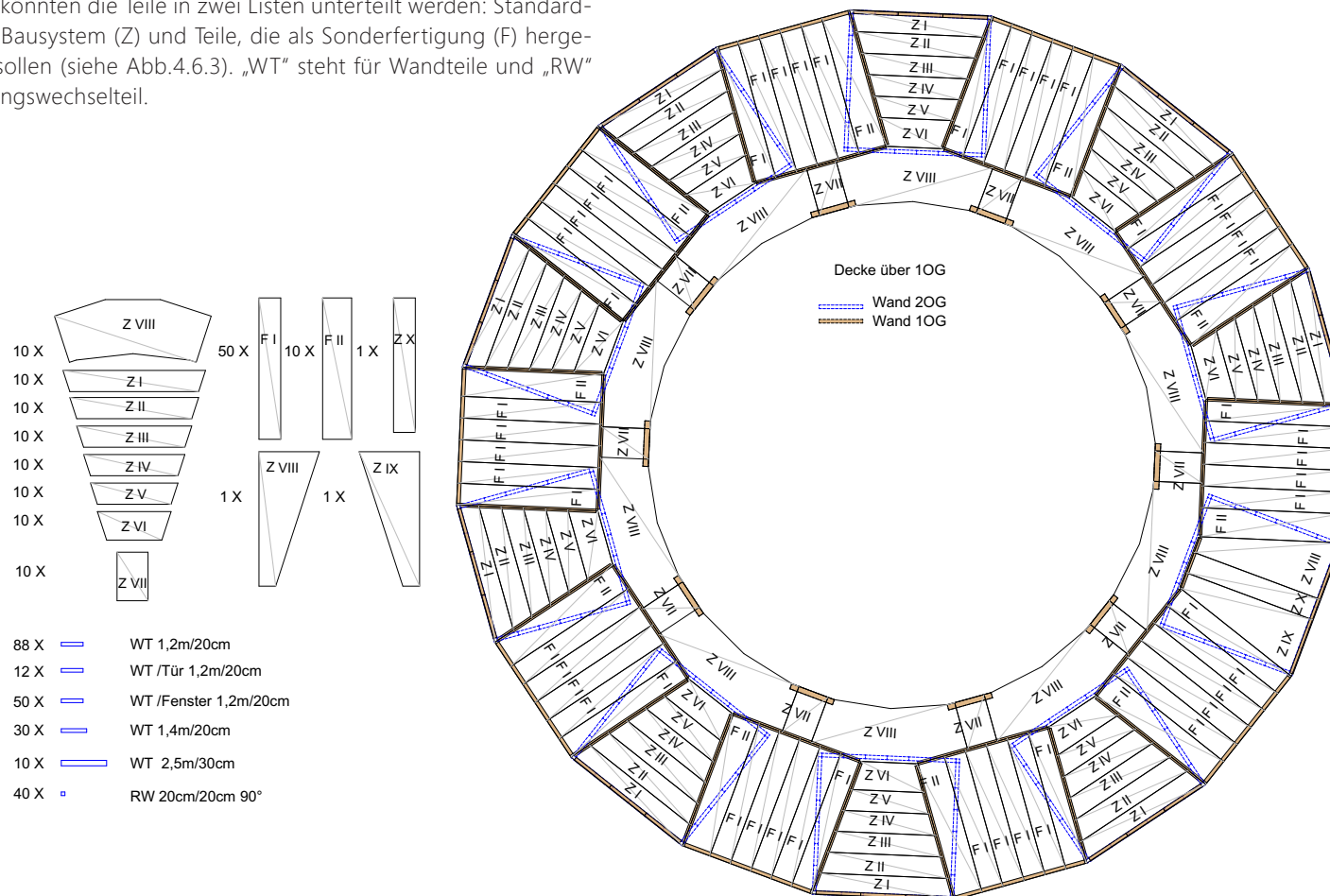


Abb.4.6.3
Beispiel 2 Wand- und Deckenteile.

Zwischenfazit

Das entwickelte Bausystem stellt eine nachhaltige und flexible Lösung für den Wiederaufbau und den Wohnungsbau in Syrien dar. Durch die Kombination von vorgefertigten Stahlbetonteilen und traditionellen Lehmbauweisen wird die strukturelle Stabilität moderner Materialien mit den ökologischen und wirtschaftlichen Vorteilen traditioneller Techniken vereint. Das System bietet nicht nur eine effiziente und kostengünstige Alternative zur herkömmlichen Bauweise, sondern auch die Möglichkeit zur Wiederverwendung der Bauelemente, was zur Reduzierung von Ressourcenverbrauch und CO₂-Emissionen beiträgt.

Dieses Bausystem zeigt großes Potenzial zur Bewältigung der Wohnungsnot in Nordsyrien, indem es temporäre Unterkünfte schafft, die zu dauerhaften Wohnlösungen weiterentwickelt werden können. Es fördert die Beteiligung der lokalen Bevölkerung, nutzt regionale Baumaterialien und revitalisiert traditionelles Handwerk, was sowohl die lokale Wirtschaft stärkt als auch die Baukosten senkt.

Die erfolgreiche Anwendung des Systems in verschiedenen Projekten, wie dem Beispielwohnhaus und der Schule, bestätigt die Vielseitigkeit und Anpassungsfähigkeit des Konzepts. Es kann in unterschiedlichen Bauvorhaben eingesetzt werden, von Wohngebäuden bis hin zu öffentlichen Einrichtungen, und erfüllt die Anforderungen an Funktionalität, Flexibilität und Nachhaltigkeit.

Angesichts der Herausforderungen in Syrien, insbesondere der anhaltenden Konflikte und des Wiederaufbaubedarfs, bietet dieses Bausystem eine zukunftsorientierte Lösung, die zur langfristigen Entwicklung und Stabilisierung des Landes beitragen kann. Internationale Unterstützung und Investitionen sind entscheidend, um das Potenzial dieses Systems voll auszuschöpfen und die Lebensbedingungen der betroffenen Bevölkerung nachhaltig zu verbessern.

Abbildungsverzeichnis

Abb.4.1.1: Al-Amal-Flüchtlingslager im Afrin-Gebiet in Aleppo, Syrien.

Abb.4.4.1: Entwicklungsmatrix.

Abb.4.5.1: Beispiel 1 Entwurfspläne.

Abb.4.5.2: Beispiel 2 Lageplan.

Abb.4.5.3: Beispiel 1 Fundamentplan.

Abb.4.5.4: Beispiel 2 Bodenteile.

Abb.4.5.5: Wandteil.

Abb.4.5.6: Außenwand Aufbau.

Abb.4.5.7: Beispiel 1 Konstruktionsschnitt.

Abb.4.5.8: Innenwandteil.

Abb.4.5.9: Innenwandteil Aufbau.

Abb.4.5.10: Wandteile / Tür.

Abb.4.5.11: Wandteile / Fenster.

Abb.4.5.12: Richtungswechsel.

Abb.4.5.13: Richtungswechsel Grundriss.

Abb.4.5.14: Beispiel 1 Deckenspiegelplan.

Abb.4.5.15: Deckenteil mit großer Spannweite.

Abb.4.5.16: Beispiel 1 Dachkonstruktion.

Abb.4.6.1: Beispiel 1 Fundament- und Bodenteile.

Abb.4.6.2: Beispiel 1 Wand- und Deckenteile.

Abb.4.6.3: Beispiel 2 Wand- und Deckenteile.

Darstellung: Omar Masfaka.



5. BEISPIELANWENDUNG FÜR DAS SYSTEM: ENTWURF EINER SCHULE IN NORD-SYRIEN

5.1 Entwurfsbeschreibung

- Städtebauliches Konzept
- Klimaanpassung und Nutzung lokaler Baustoffe
- Schulhöfe und Außenbereiche
- Funktionale Aspekte des Entwurfs
- Klimaanpassung und natürliche Belüftung
- Verwendung regionaler Baustoffe
- Nachhaltigkeit des Bausystems

5.2 Entwurfspläne

Abbildungsverzeichnis

5.1 ENTWURFSBESCHREIBUNG

Parallel zu dieser Arbeit wurde eine Schule für die Stadt Harim in Nordsyrien entworfen. Der Hilfsverein Molham-Team hat dort ein Wohnquartier errichtet, das für die Opfer des Erdbebens 2023 in der Türkei und Syrien bestimmt ist. Dieses neue Wohnquartier besteht aus 25 Gebäuden mit drei bis vier Geschossen, die in zwei Reihen in Form einer Mondsichel angeordnet sind. In der Mitte des Quartiers ist eine Parkanlage mit Grünflächen, Spielplätzen und einem Fußballfeld geplant.

Städtebauliches Konzept

Für das Schulgebäude wurde bewusst eine kreisförmige Anordnung gewählt. Diese Entscheidung basiert auf der besonderen Lage des Grundstücks in seiner Umgebung. Das Grundstück befindet sich gegenüber dem Wohnquartier, dessen Gebäude halbkreisförmig angeordnet sind. Die kreisförmige Struktur der Schule spiegelt diese Anordnung wider und schafft eine visuelle und räumliche Verbindung zum Wohnviertel. Ähnlich wie die Freiräume zwischen den Wohngebäuden dienen auch die Zwischenräume zwischen den Klassenräumen als Außenbereiche, die zur funktionalen und gestalterischen Einheit der Schule beitragen.

Für den Betrachter entsteht das Bild von drei ineinandergreifenden Kreisen: dem Schulgebäude, der halbkreisförmigen Anordnung der Wohngebäude und dem zentralen, kreisförmigen Park in der Mitte des Quartiers. Ein weiterer städtebaulicher Aspekt, der für die Kreisform spricht, ist die breite Straßenkurve hinter der Schule. Diese führt in einem sanften Bogen um das Schulgebäude herum, wodurch sich die runde Form optimal in den Straßenverlauf einfügt und das Erscheinungsbild des Gebäudes unterstützt (siehe Abb.5.2.2). Die Schule soll den Kindern ein Gefühl von Geborgenheit vermitteln und ihnen ein zweites Zuhause bieten. Es soll eine schöne, natürliche Atmosphäre schaffen, die sich harmonisch in die Umgebung einfügt und den Menschen ein angenehmes und vertrautes Umfeld bietet.

Klimaanpassung und Nutzung lokaler Baustoffe

Beim Entwurf der Schule wurden klimatische Bedingungen und die Nutzung lokaler Baustoffe in den Vordergrund gestellt. Die Schule soll den Kindern aus dem neuen Wohnquartier und dem nördlichen Stadtteil von Harim zugutekommen. Sie wird für etwa 420 Schüler eine wichtige Rolle spielen. Die Grund- und Sekundarschule besteht aus drei Etagen und verfügt über 14 Klassenräume, die auf zwei Ebenen verteilt sind. Im Erdgeschoss befinden sich spezielle Räume wie die Bibliothek, der Computerraum, die Cafeteria sowie ein Mehrzweckraum, der sich über zwei Etagen erstreckt, um vielfältige Innenraumaktivitäten zu ermöglichen.

Schulhöfe und Außenbereiche

Hauptschulhof: Über 600 m² groß, dient als zentraler Aufenthaltsbereich.
Schulhof 2 (Grundschulkindergarten): 250 m², ausgestattet mit kleinem Fußballfeld, Sandkasten und Kletterbereich.

Schulhof 3: 130 m², für Außenexperimente und Kunstunterricht vorgesehen.

Direkte Verbindungen zwischen den Höfen und ein seitlicher Ein- und Ausgang durch Schulhof 2 ermöglichen eine sichere Abholung der Grundschulkindergarten. Der große Fußballplatz für die Sekundarschule befindet sich im Park gegenüber der Schule. Während der Schulzeit ist der Platz für die Schüler reserviert; außerhalb dieser Zeiten steht er der Öffentlichkeit zur Verfügung, was die Nutzung nachhaltiger macht.

Funktionale Aspekte des Entwurfs

Zwei Hauptfaktoren beeinflussten den Entwurfsprozess: klimaangepasste Bauweise und Nutzung regionaler Baustoffe. Diese Faktoren bestimmten die Raumaufteilung, die vertikalen und horizontalen Verkehrsflächen, die Ausrichtung der Räume sowie die Belüftung und natürliche Kühlung.

Die Klassenräume haben ein Außenmaß von 8 x 8 Metern und dienen als Basiseinheit. Diese Struktur sorgt für eine klare und strukturierte Ausfüh-

zung. Zusätzliche Räume wie die Verwaltungsabteilung und der Computerraum folgen denselben Abmessungen, während die Cafeteria und der Hausmeisterraum halb so groß sind. Der Mehrzweckraum ist ein Vielfaches der Basiseinheit, die Position und Ausrichtung des Raumes ermöglichen eine direkte Verbindung zwischen Innenraum und Schulhof, sodass bei größeren Veranstaltungen, die nicht nur für die Schule, sondern auch für das gesamte Wohnquartier gedacht sind, der Innenhof der Schule mitgenutzt werden kann.

Die kreisförmige Anordnung der Innenräume schafft Zwischenräume, die als Lernnischen und Teamecken dienen und zur Anwendung attraktiver Lernmethoden beitragen, sie bilden zusammen mit den Laufgängen auf den unterschiedlichen Ebenen einen offenen Lernbereich und dienen während der Pausenzeiten als Außenraum und Aufenthaltsbereich. Der großzügige Eingangsbereich ist Richtung des zentralen Parks und Wohnquartiers ausgerichtet. Auf Barrierefreiheit wurde besonders geachtet, sodass die Schule auch für Menschen mit Mobilitätseinschränkungen problemlos nutzbar ist.

Klimaanpassung und natürliche Belüftung

Die Zwischenräume unterstützen die Lüftung und Kühlung der Innenräume dank der Überdachung und der gemusterten, gelochten Wand in der Fassade, der sogenannten „Mashrabiya“. Dieses Muster sorgt zudem für eine besondere Atmosphäre durch das Spiel von Licht und Schatten. Die Klassenräume sind mit diagonal angeordneten kleinen Fenstern in den Nischen ausgestattet, um eine leichte Querlüftung zu ermöglichen. Die Hauptfenster befinden sich auf den beiden anderen Wänden und sorgen für eine ausreichende Belichtung von zwei gegenüberliegenden Seiten. Diese Anordnung verbessert nicht nur die Helligkeit, sondern ermöglicht auch die Steuerung der Sonneneinstrahlung durch den Einsatz von Sonnenschutzelementen.

Der zentrale Wasserbrunnen im Hof - ähnlich wie in den Damaszener Hofhäuser - trägt zur Luftbefeuchtung in trockenen Zeiten bei. Durch die Fassadenöffnungen in alle Richtungen verteilt sich die Feuchtigkeit gleichmäßig. Der Brunnen ist in den Hofboden integriert, und eine leichte Nei-

gung des Bodens leitet Regenwasser in Richtung Brunnen ab, um es von den Innenräumen fernzuhalten. Der Boden des Hofes ist mit sickerfähigem Pflaster ausgestattet, das das Regenwasser in das Grundwasser versickern lässt. Ein Sonnensegel kann im Sommer über die Hoföffnung gespannt werden, um den Hof zu verschatten.

Verwendung regionaler Baustoffe

Die verwendeten Baumaterialien werden regional hergestellt. Das Bausystem basiert auf Beton und Lehm. Der Zement für den Beton stammt aus der Türkei, während die Zuschlagstoffe regional gewonnen werden. Die vorgefertigten Betonteile werden in Produktionshallen hergestellt und dann zur Baustelle geliefert.

Der Lehm wird ebenfalls lokal gewonnen. Die Erde wird durch mechanische Verfahren wie Sieben aufbereitet, um die gewünschte Körnung zu erhalten. Das Mischen, Formen und Trocknen der Strohlehmziegel erfolgt direkt neben der Baustelle.

Nachhaltigkeit des Bausystems

Die Fundamente und tragenden Elemente bestehen aus vorgefertigten Betonteilen, während die Wandteile mit Lehmziegeln ausgefacht werden. Als Dachhaut dienen Trapezblechplatten, die auch PV-Module tragen können. Diese Module erzeugen Strom für den Schulbetrieb, und überschüssiger Strom kann in das Stromnetz des Quartiers eingespeist werden, was die Nachhaltigkeit des Projekts weiter steigert.

5.2: ENTWURFSPLÄNE

Als nächstes werden die Entwurfspläne präsentiert, die das architektonische Konzept und die räumliche Gestaltung der Schule detailliert veranschaulichen. Die Pläne zeigen die Anordnung der Klassenräume, die Zwischenräume, die Außenbereiche sowie die Verbindung zwischen Innen- und Außenraum, die für eine harmonische und funktionale Nutzung der Schule sorgen.

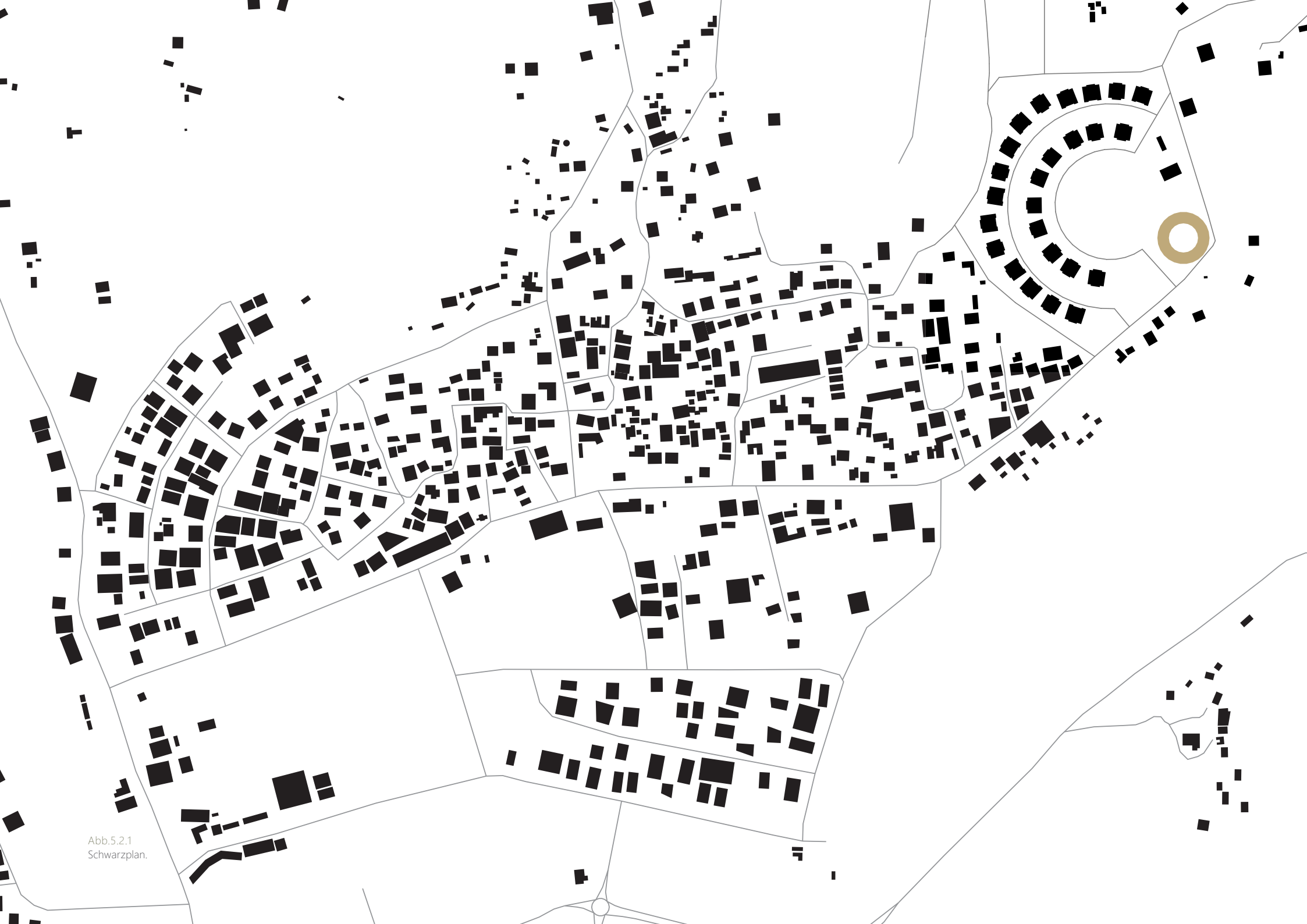


Abb.5.2.1
Schwarzplan.

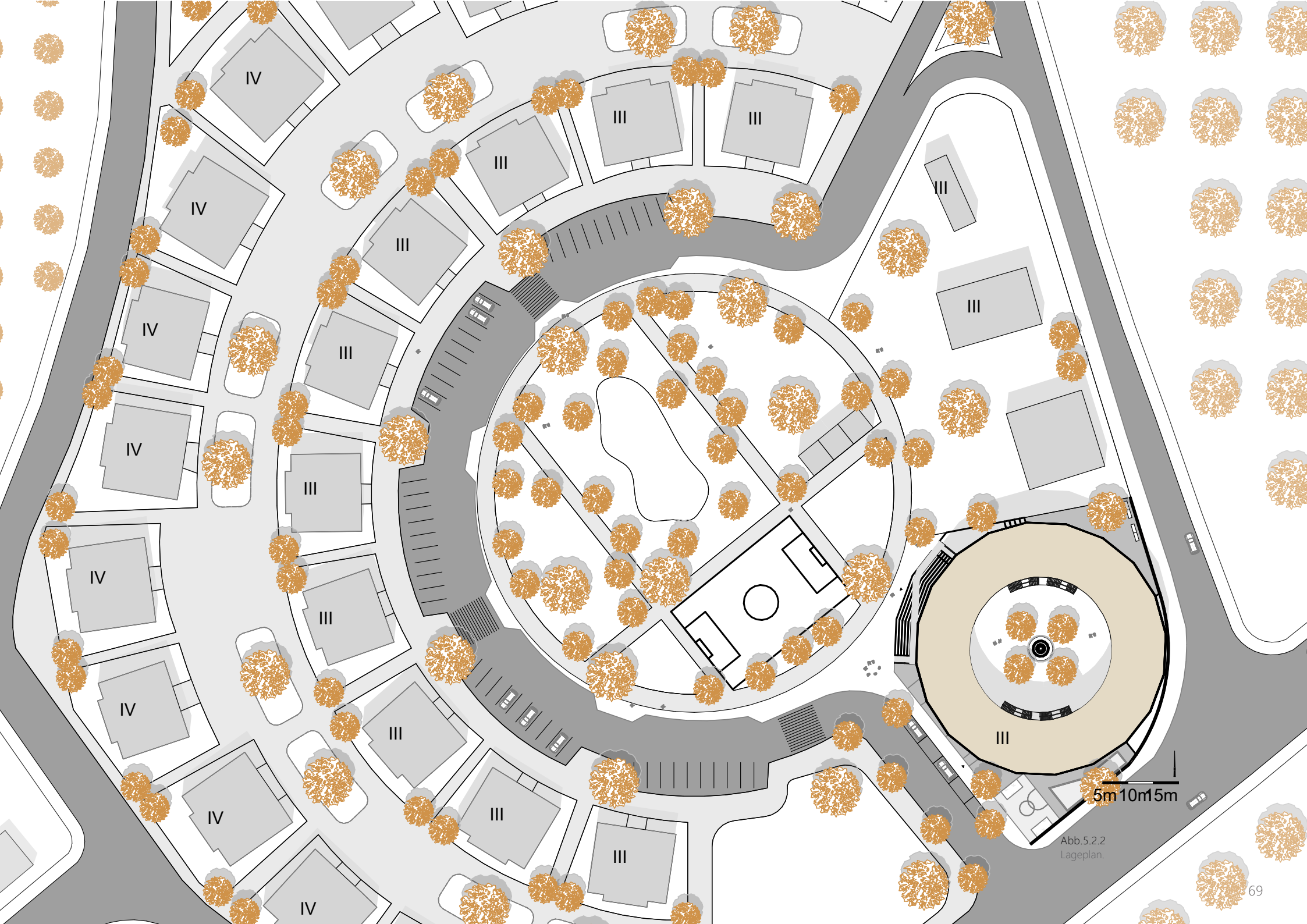


Abb.5.2.2
Lageplan.

- 1 Eingangsbereich
- 2 Bibliothek
- 3 Schullabor
- 4 Computerraum
- 5 Cafeteria
- 6 Mehrzweckraum
- 7 Hausmeister
- 8 Technikraum/ Toiletten
- 9 Verwaltung
- 10 Schulhof 1
- 11 Schulhof 2 für Labor und Kunst
- 12 Schulhof 3 für Grundschulkinder
- 13 Außenraum für Sonderräume
- 14 Lehrerzimmer
- 15 Klassenzimmer Grundschule
- 16 Lernnische/ Teamraum
- 17 Zwischenraum für Klassenraum
- 18 Klassenzimmer Sekundarschule
- 19 Kunstraum

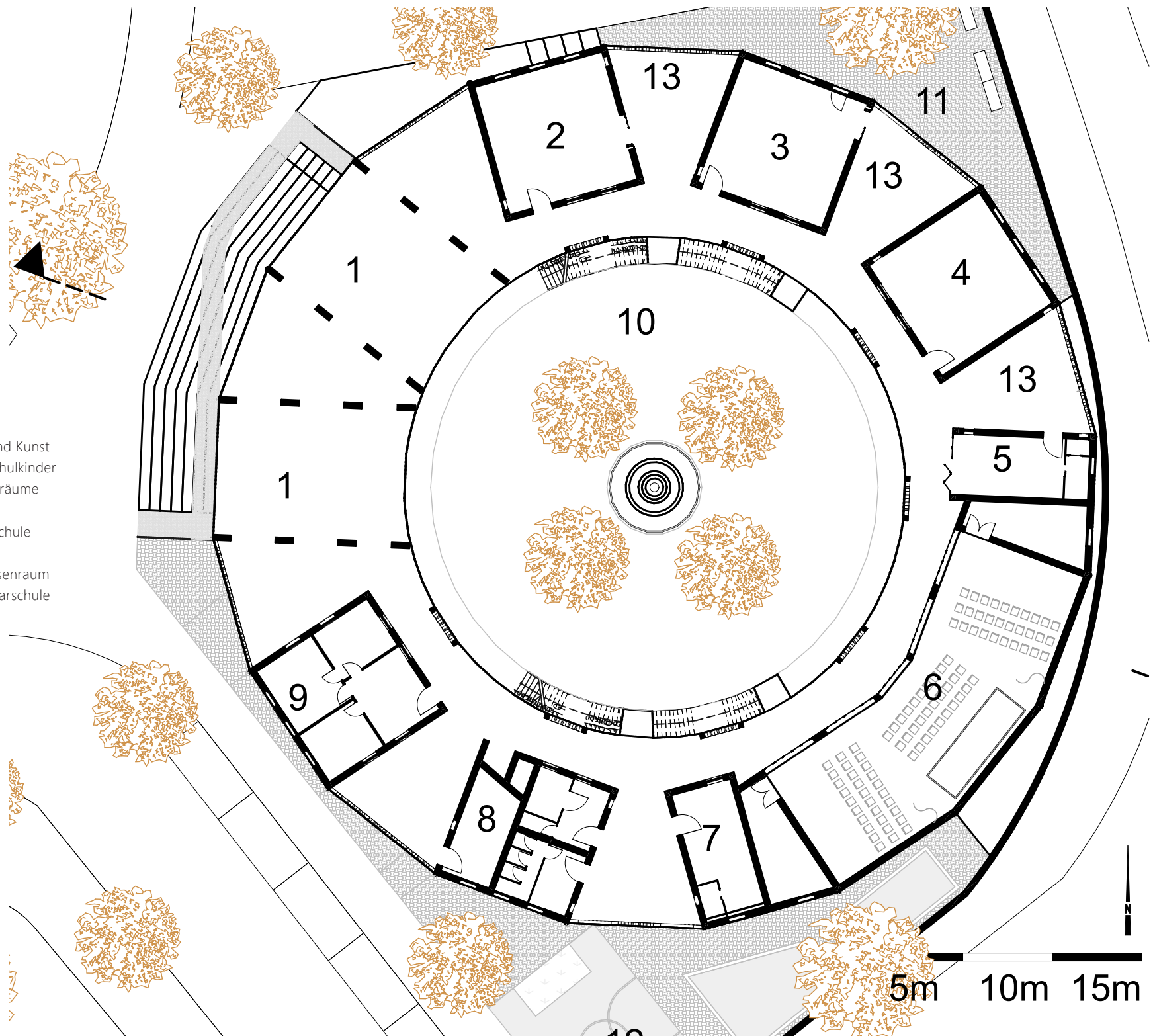
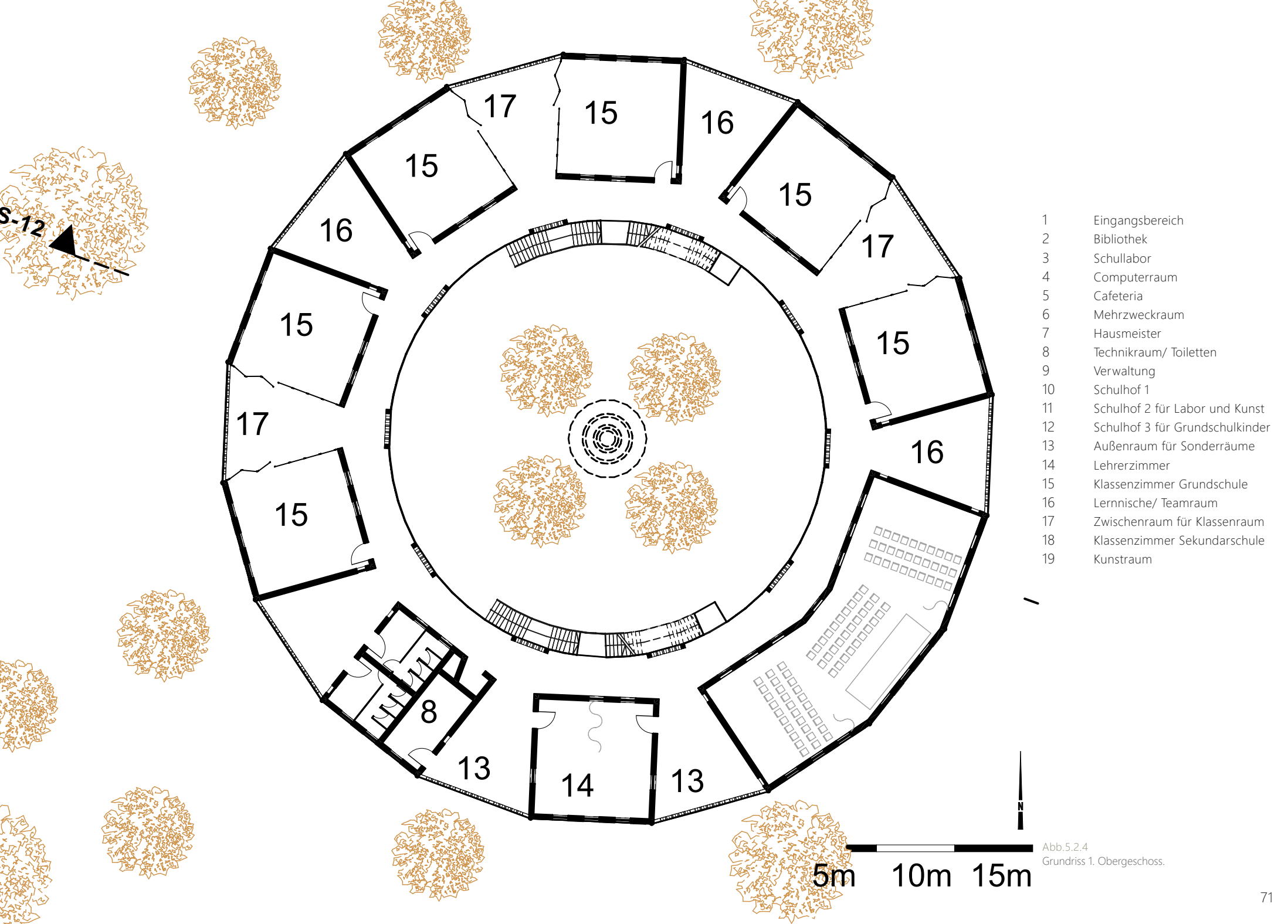


Abb.5.2.3
Grundriss Erdgeschoss.



- 1 Eingangsbereich
- 2 Bibliothek
- 3 Schullabor
- 4 Computerraum
- 5 Cafeteria
- 6 Mehrzweckraum
- 7 Hausmeister
- 8 Technikraum/ Toiletten
- 9 Verwaltung
- 10 Schulhof 1
- 11 Schulhof 2 für Labor und Kunst
- 12 Schulhof 3 für Grundschul Kinder
- 13 Außenraum für Sonderräume
- 14 Lehrerzimmer
- 15 Klassenzimmer Grundschule
- 16 Lernnische/ Teamraum
- 17 Zwischenraum für Klassenraum
- 18 Klassenzimmer Sekundarschule
- 19 Kunstraum

Abb.5.2.4
Grundriss 1. Obergeschoss.

5m 10m 15m

- 1 Eingangsbereich
- 2 Bibliothek
- 3 Schullabor
- 4 Computerraum
- 5 Cafeteria
- 6 Mehrzweckraum
- 7 Hausmeister
- 8 Technikraum/ Toiletten
- 9 Verwaltung
- 10 Schulhof 1
- 11 Schulhof 2 für Labor und Kunst
- 12 Schulhof 3 für Grundschul Kinder
- 13 Außenraum für Sonderräume
- 14 Lehrerzimmer
- 15 Klassenzimmer Grundschule
- 16 Lernnische/ Teamraum
- 17 Zwischenraum für Klassenraum
- 18 Klassenzimmer Sekundarschule
- 19 Kunstraum

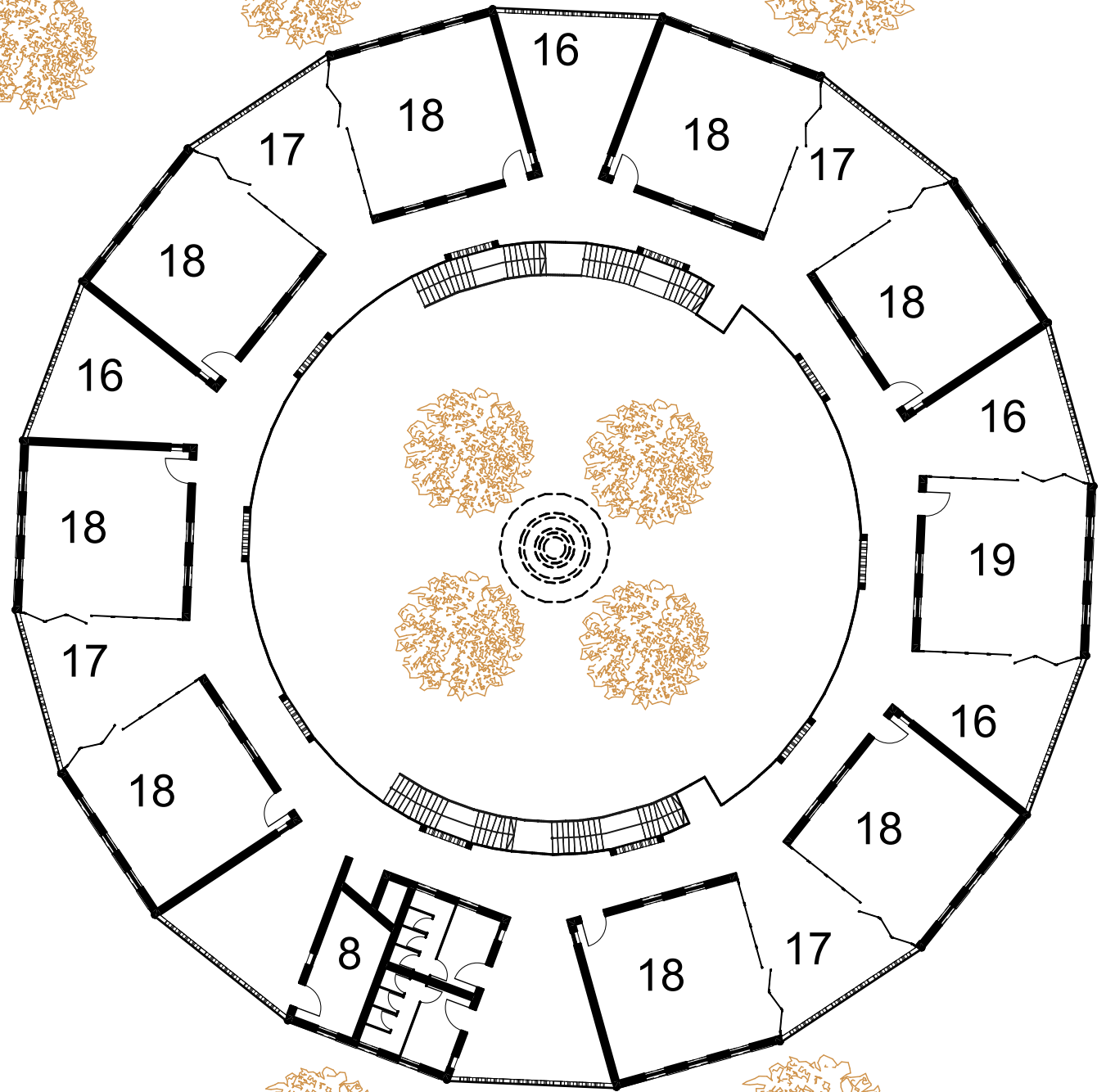


Abb.5.2.5
Grundriss 2. Obergeschoss.

5m 10m 15m

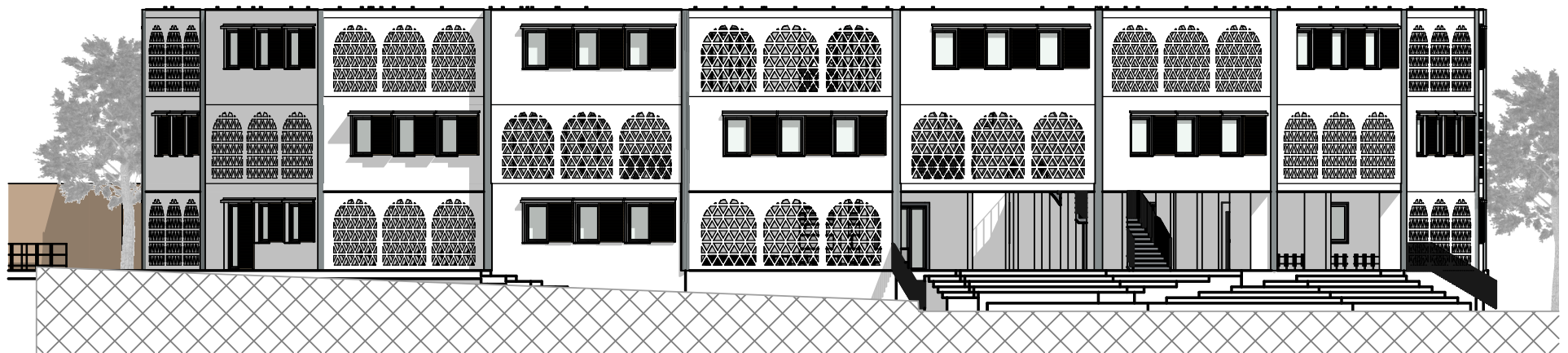
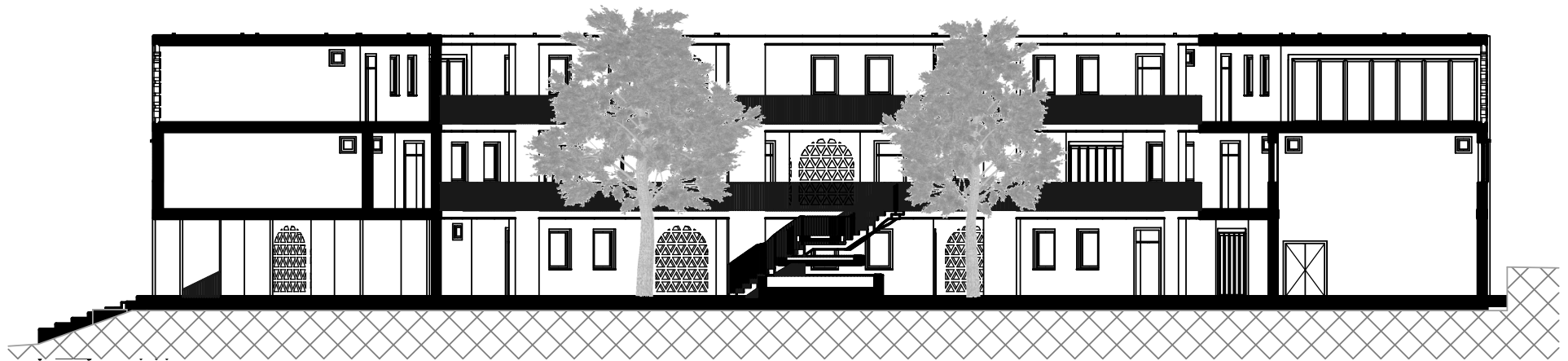


Abb.5.2.6
Schnitt/ Ansicht.

Abbildungsverzeichnis

Abb.5.2.1: Schwarzplan.

Abb.5.2.2: Lageplan.

Abb.5.2.3: Grundriss Erdgeschoss.

Abb.5.2.4: Grundriss 1. Obergeschoss.

Abb.5.2.5: Grundriss 2. Obergeschoss.

Abb.5.2.6: Schnitt/ Ansicht.

Darstellung: Omar Masfaka.

6. FAZIT UND AUSBLICK

6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

6.2 Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und Anwendungsmöglichkeiten

6.1 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Diese Arbeit untersucht die Entwicklung eines nachhaltigen Bausystems, das speziell auf die Herausforderungen in Konfliktregionen wie Nord-Syrien zugeschnitten ist. Die klimatischen, politischen und bautechnischen Rahmenbedingungen wurden analysiert, um ein innovatives Bausystem zu entwerfen, das vorgefertigte Stahlbetonteile mit traditionellen Lehmbauweisen kombiniert. Ziel war es, eine Lösung zu finden, die nicht nur den extremen klimatischen Bedingungen standhält, sondern auch flexibel genug ist, um den sich ständig ändernden Bedingungen in Konfliktgebieten gerecht zu werden.

Die durchgeführte Klimaanalyse zeigte die Notwendigkeit, Baumaterialien zu verwenden, die sich den extremen Bedingungen der Region anpassen können. Traditionelle Materialien wie Lehm erwiesen sich als besonders geeignet, da sie über hervorragende Wärmedämmeigenschaften verfügen und sich leicht wiederverwenden lassen. Lehm hat in der Geschichte der Region immer eine wichtige Rolle als Baumaterial gespielt und bietet durch seine natürlichen Eigenschaften eine starke Verbindung zur kulturellen Identität der Bevölkerung. Gleichzeitig ermöglicht der Einsatz von vorgefertigten Stahlbetonteilen eine schnelle Errichtung und Demontage von Gebäuden, was in Krisengebieten von entscheidender Bedeutung ist.

Ein wesentlicher Vorteil des entwickelten Bausystems liegt in seiner Vielseitigkeit. Es kann sowohl für temporäre Bauten wie Flüchtlingslager als auch für dauerhafte Strukturen wie Schulen und Wohngebäude verwendet werden. Diese Flexibilität macht das System besonders geeignet für den Einsatz in Konfliktgebieten, da es sich den wechselnden Anforderungen und Bedingungen vor Ort anpassen lässt.

Das entwickelte Bausystem stellt somit eine nachhaltige Alternative zur herkömmlichen Stahlbetonskelettbauweise dar. Es bietet Hilfsorganisationen die Möglichkeit, temporäre Unterkünfte zu errichten, die flexibel in dauerhafte Wohnlösungen umgewandelt werden können. Darüber hinaus unterstützt es die von der Bevölkerung selbst initiierten Bauprojekte, in-

dem es eine stabilere und wiederverwendbare Lösung bietet. Die Integration lokaler Materialien und die Beteiligung der lokalen Bevölkerung am Bauprozess machen das System zu einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Option für den Wiederaufbau.

Die praktische Anwendung des Systems wurde anhand des Entwurfs einer Schule in Nord-Syrien demonstriert. Diese Fallstudie zeigt, dass das Bausystem nicht nur im Wohnungsbau, sondern auch in öffentlichen Gebäuden erfolgreich eingesetzt werden kann. Die Flexibilität des Systems ermöglicht es, es an unterschiedliche Bauvorhaben anzupassen und dabei sowohl funktionale als auch ökologische Anforderungen zu erfüllen.

Insgesamt zeigt die Arbeit, dass durch die Kombination traditioneller Bauweisen mit modernen Techniken eine nachhaltige Lösung für den Wiederaufbau in Konfliktgebieten entwickelt werden kann. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei, die Baukultur vor Ort wieder umzustellen und das Bewusstsein der Menschen für die Vorteile solcher Systeme zu schärfen. Die Bevölkerung muss überzeugt werden, dass diese Bauweise nicht nur die Lebensqualität verbessert, sondern auch einen wichtigen Beitrag zur Zukunftssicherung für kommende Generationen leistet.

6.2 AUSBLICK AUF ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN UND ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN

Das entwickelte Bausystem bietet durch seine Kombination aus vorgefertigten Stahlbetonteilen und traditionellen Lehmbauweisen eine nachhaltige und flexible Lösung, die auf verschiedene Szenarien angewendet werden kann. In Zukunft müssen jedoch noch mehrere Aspekte, wie etwa Statikberechnungen, Bauphysik und andere technische Details, weiter untersucht werden, um die Tragfähigkeit und Effizienz des Systems vollständig zu gewährleisten.

Ein wichtiger nächster Schritt wäre die schrittweise Skalierung des Systems von kleineren Projekten hin zu größeren Bauvorhaben. Zunächst könnte das System in kleineren Kontexten, wie einzelnen Wohnhäusern oder Gemeinschaftsprojekten, getestet werden, um dann auf größere Bauprojekte wie Wohnsiedlungen, öffentliche Einrichtungen und gewerbliche Bauten ausgeweitet zu werden. Diese modulare Herangehensweise ermöglicht eine flexible Anpassung an unterschiedliche Projekte, von temporären Unterkünften bis hin zu dauerhaften Wohnlösungen. Insbesondere in post-konfliktuellen Regionen und Katastrophengebieten könnte das System als Modell für schnellen und nachhaltigen Wiederaufbau dienen.

In Bezug auf Materialien könnten zukünftige Entwicklungen die Integration weiterer nachhaltiger Baustoffe vorsehen. Neue Forschungsergebnisse zur Verbesserung der thermischen Effizienz von Lehm und zur Weiterverwendung von recycelten Materialien könnten die Nachhaltigkeit des Systems weiter erhöhen. Zudem könnten optimierte Produktionsprozesse die Vorfertigung und den Transport der Bauelemente noch effizienter gestalten, was die Bauzeit weiter verkürzt und die Kosten senkt.

Das System könnte auch für den Einsatz in verschiedenen Klimazonen weiterentwickelt werden. Die Flexibilität in der Kombination von Materialien ermöglicht eine Anpassung an die spezifischen Anforderungen anderer Regionen, wie zum Beispiel feuchtere Klimazonen oder extrem kalte Gebiete. Diese Anpassungsfähigkeit macht das Bausystem potenziell zu einer

globalen Lösung für nachhaltiges Bauen.

Ein weiterer Fokus zukünftiger Entwicklungen sollte auf der Schulung und Wissensvermittlung an die lokale Bevölkerung liegen. Durch Schulungsprogramme und praxisnahe Workshops könnten die Menschen vor Ort befähigt werden, das System eigenständig zu nutzen. Dies fördert nicht nur den Wiederaufbau, sondern trägt auch zur Stärkung lokaler Gemeinschaften bei und unterstützt langfristig eine nachhaltige Baukultur.

Die Zusammenarbeit mit internationalen Organisationen, NGOs und lokalen Behörden könnte die Verbreitung des Systems in anderen Krisen- und Entwicklungsregionen fördern. Durch Partnerschaften könnten die notwendigen Ressourcen und das Know-how bereitgestellt werden, um das Bausystem erfolgreich in verschiedenen Teilen der Welt zu implementieren.

Insgesamt zeigt das entwickelte Bausystem vielversprechende Ansätze für die Bewältigung von Bauherausforderungen in Konfliktgebieten und darüber hinaus. Mit kontinuierlicher Forschung und Weiterentwicklung könnte es eine Schlüsselrolle in der Gestaltung nachhaltiger und zukunftssicherer Infrastrukturen weltweit einnehmen.

ANHANG

Diab, Ahmed/Ola Al-Tunisi/Jamal Tamum (2015): Die antiken Ruinen der Levante, 1. Aufl., Veröffentlichungen der Universität Damaskus, [online] <https://ia601405.us.archive.org/30/items/15.8.2022/A03626.pdf>. arabischsprachiges Buch.

Fiedler, Anna-Lena/Joel Taudien/Carolin Fust/Theresa Unverricht (o. D.): Recycling von Lehm am Beispiel von Lehmputz, [online] https://www.uni-weimar.de/uploads/tx_showcase/Recycling.pdf.

Hanses, Katrin (2015): Basics Betonbau, Birkhäuser.

Hillebrandt, A., Riegler-Floors, P., Rosen, A. and Seggewies, J. 2018. Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource. München: DETAIL. <https://doi.org/10.11129/9783955534165>.

Jeske, Stefan/Clément Vergély Architectes (CVA) (2020): L'ORANGERIE – Eine neue Generation von Lehmbauten in Lyon, LEHM, [online] https://www.dachverband-lehm.de/lehm2020_online/pdf/lehm2020_b_jeske-cva_de.pdf.

Kapfinger, Otto/Marko Sauer (2022): Martin Rauch gebaute Erde, DETAIL eBooks, [online] doi:10.11129/9783955535728.

König, Gert/Nguyen Viet Tue (2003): Grundlagen des Stahlbetonbaus, [online] doi:10.1007/978-3-322-94054-4.

Kühne, Hartmut (2017): Zum Erhalt assyrischer Lehmbauten in Tell Schech Hamad, Syrien, 2008 – 2010, [online] <https://www.fu-berlin.de/presse/publikationen/fundiert/2017-01/12-tell-schech/index.html>.

Nolting, Ulrich/Frank Dehn/Mercedes Kind Vanessa (2023): Bauen mit Beton im Kreislauf - Recycling, Re-Use und Ressourcenschonung : 19. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 9. März 2023, KIT Scientific Publishing.

Peck, Martin (2013): Atlas Moderner Betonbau, De Gruyter eBooks, [online] doi:10.11129/detail.9783955531126.

Röhlen, Ulrich/Christof Ziegert (2020): Lehm-Bau-Praxis: Planung und Ausführung, Beuth Verlag GmbH.

Schroeder, Horst (2019): Lehm-Bau, Springer eBooks, [online] doi:10.1007/978-3-658-23121-7.

Syria TV دوعت ةميدق ةفرح نيطلاب ءانابلا (2020): ايروس نويزفلت لة ايجلل ةقرلا يف ةايجلل, [YouTube] <https://www.youtube.com/watch?v=kQ-V0Us9s5Pk>. Das Bauen mit Lehm, ein altes Handwerk, erwacht in Raqqa wieder zum Leben.

Syrian Researchers (2019): ةيرق ةيروس يف ةينطل ةرامعلا لاله, www.syr-res.com, [online] <https://www.syr-res.com/article/20205.html>. Lehmarchitektur in Syrien, Dorf Sheikh Hilal.

Tindall Corporation (2024): Precast concrete designs you should know about, Tindall Corporation, [online] <https://tindallcorp.com/precast-concrete-designs-you-should-know-about/>.

UNESCO (o. D.): Old Walled City of Shibam, unesco.org, [online] <https://whc.unesco.org/en/list/192/>. Volhard, Franz (2021): Bauen mit Leichtlehm, De Gruyter eBooks, [online] doi:10.1515/9783035624038.

Volhard, Franz (2021): Bauen mit Leichtlehm, De Gruyter eBooks, [online] doi:10.1515/9783035624038.